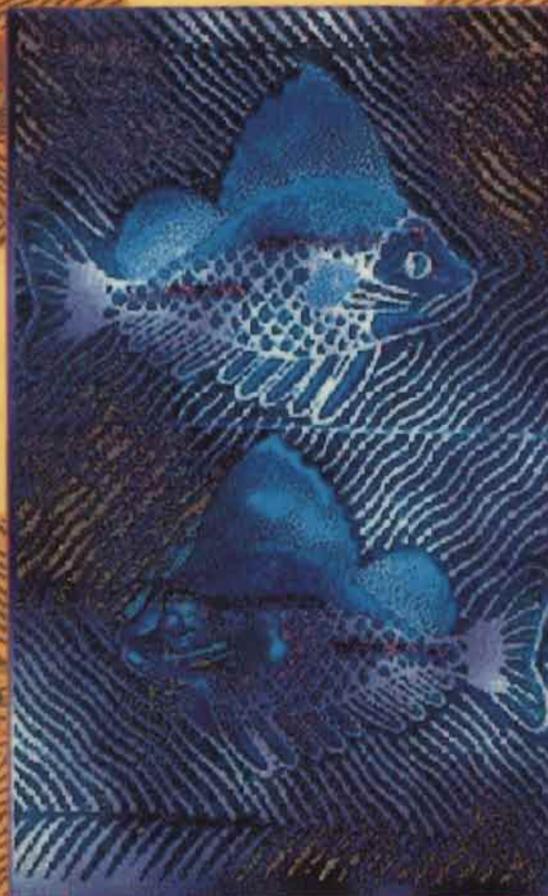


Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture



R.S.V. PULLIN
J. LAZARD
M. LEGENDRE

Sous la direction de

J.B. AMON KOTHIAS
D. PAULY
Traductions de
C. LHOMME-BINUDIN

République de Côte d'Ivoire



International Center for Living Aquatic
Resources Management



L'Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération



Centre de recherches océanologiques



Avec la coopération de

Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement

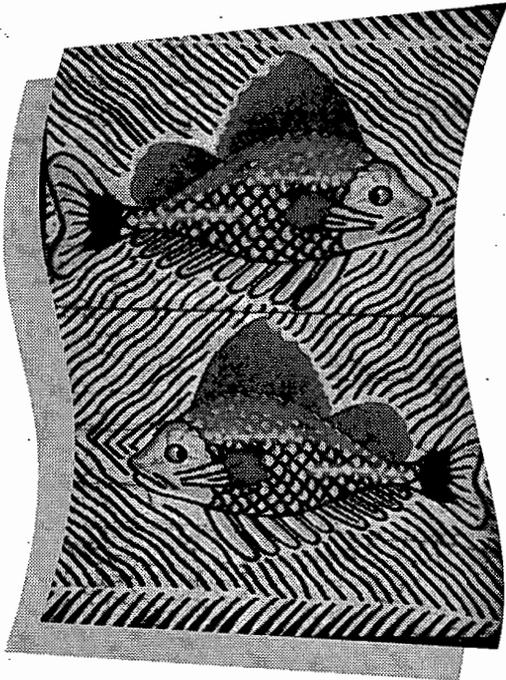


Coopération
française



Centre technique
de coopération agricole et rurale

Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture



Sous la direction de

R.S.V. PULLIN

J. LAZARD

M. LEGENDRE

J.B. AMON KOTHIAS

D. PAULY

Traductions de

C. LHOMME-BINUDIN

1996



International Center for Living Aquatic
Resources Management



L'Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération

République de Côte d'Ivoire



CRO

Centre de recherches océanologiques



Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement

Avec la coopération de



Coopération
française



Centre technique
de coopération agricole et rurale

Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture

Sous la direction de

R.S.V. PULLIN, J. LAZARD, M. LEGENDRE, J.B. AMON KOTHIAS et D. PAULY

Traductions de

C. LHOMME-BINUDIN

1996

Edité par le Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (ICLARM),
MCPO Box 2631, 0718 Makati City, Philippines ; le

Centre de recherches océanologiques (CRO) - Abidjan, 29, rue des Pêcheurs, BP V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire ;

L'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM),
213, rue La Fayette, 75480 Paris cedex 10, France ; et le

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement/
Département d'élevage et de médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT), Campus international de
Baillarguet, B.P. 5035, 34032 Montpellier Cedex 1, France.

Imprimé à Manille, Philippines.

Pullin, R.S.V., J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly, Editeurs 1996. Traduit
de l'anglais par C. Lhomme-Binudin. Le troisième symposium international sur le tilapia en
aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Relecture et corrections : Catherine Lhomme-Binudin, Lilybeth Eleccion, Marciana E. Araneta
et Jessica A. Moya

Mise en page : Ariel C. Aquisap

Maquette de la couverture : Alan Siegrfid Esquillon ; batik ivoirien représentant des tilapias

ISSN 0115-4435
ISBN 971-8709-88-6

ICLARM Contribution No. 1326

Table des matières

Avant-propos	viii
Préface	ix

A. EXPOSES D'ENSEMBLE

L'aquaculture du tilapia dans le monde : bilan et perspectives • R.S.V. Pullin	1
L'aquaculture des tilapias en Afrique francophone subsaharienne : bilan et perspectives • J. Lazard et J.-Y. Weigel	17

B. COMMUNICATIONS

Session I: Systèmes d'exploitation, gestion et production

Croissance comparée de <i>Oreochromis niloticus</i> et <i>Sarotherodon galilaeus</i> dans les petits lacs artificiels du Burkina Faso; comparaison avec les grands lacs d'Afrique • E. Bajjot, J. Barry, S. Bouda, K.H. Kabore et A.C. Traore	29
L'aquaculture extensive (acadja-enclos): son insertion dans le contexte villageois lagunaire en Côte d'Ivoire • J.R. Durand et S. Hem	34
Techniques d'élevage du tilapia aux Philippines : leur applicabilité dans le contexte africain • R.D. Guerrero III	44
L'acadja-enclos : un système d'exploitation piscicole extensive en Côte d'Ivoire • S. Hem et J.L.B. Avit	48
Chaulage des étangs de pisciculture au Malawi: étude comparative des étangs chaulés et non chaulés • D.M. Jamu et O.V. Msiska	56
Manipulation des stocks dans les élevages de tilapias au Malawi • E.K.W.H. Kaunda	64
Stratégies de mise en charge du tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) dans des étangs fertilisés • C.F. Knud-Hansen et C. Kwei Lin	73
La reproduction spontanée du tilapia : une chance ou un handicap pour le développement de l'aquaculture africaine ? • J. Lazard et M. Legendre	82
Echange sélectif de géniteurs de <i>Oreochromis niloticus</i> dans des hapas de reproduction de grande taille immergés dans des étangs de terre • D.C. Little, D.J. Macintosh et P. Edwards	99
Effets du sexe ratio à l'empoissonnement sur la croissance et le recrutement dans des étangs d'élevage de tilapias du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) • G.C. Mair et A.A. Van Dam	109
Comparaison des performances de croissance de <i>Oreochromis karongae</i> et de <i>O. shiranus</i> élevés en étang au Malawi • A.O. Maluwa et M.W. Dickson	118
Croissance, survie et sexe ratio chez <i>Oreochromis urolepis hornorum</i> , <i>O. niloticus</i> et leurs hybrides traités à la 17 α -méthyltestostérone • D.E. Meyer et R.O. Smitherman	123
Approche de nouveaux modèles d'exploitation piscicole adaptés au contexte rural ivoirien • P. Morissens, M. Oswald, F. Sanchez et S. Hem	130
Performances de croissance de <i>Oreochromis fidole</i> , <i>O. squamipinnis</i> , <i>O. shiranus</i> et <i>O. karongae</i> , espèces potentielles pour la pisciculture en eau libre et en étang au Malawi • O.V. Msiska et B.A. Costa-Pierce	142

Gestion des tilapias (<i>Oreochromis shiranus</i> et <i>Tilapia rendalli</i>) dans les étangs des petits producteurs de la région de Mwanza et de Zomba Ouest au Malawi • J.T.B. Mutambo et S.A. Langston.....	148
Utilisation des ressources de la ferme pour la pisciculture en Afrique rurale • R.P. Noble	155
Effets de la profondeur des étangs et du brassage mécanique de l'eau sur la production de <i>Oreochromis niloticus</i> dans des étangs de terre fertilisés • J.P. Szyper et K.D. Hopkins	167
Production d'alevins de tilapias rouges de Floride (<i>Oreochromis</i> sp.) dans des bassins d'eau saumâtre sous divers régimes alimentaires et densités de charge • W.O. Watanabe, S.J. Smith, W.D. Head et K.W. Mueller	176
Production de tilapias rouges de Floride (<i>Oreochromis</i> sp.) dans des bassins d'eau de mer au courant continu à trois densités de mise en charge • W.O. Watanabe, J.R. Chan, S.J. Smith, R.I. Wicklund et B.L. Olla.....	185

Session II. Nutrition

Emploi de végétation terrestre en aquaculture au Malawi • F.J.K. Chikafumbwa	193
Emploi de déchets végétaux dans l'alimentation des juvéniles de <i>Oreochromis shiranus</i> et <i>Tilapia rendalli</i> élevés en mono et polyculture • S.K. Chimatiro et B.A. Costa-Pierce	202
Etude du rapport protéine-énergie dans l'alimentation de <i>Sarotherodon melanotheron</i> (Rüppel, 1852) : influence sur la consommation alimentaire, la croissance et la composition corporelle • A. Cissé	213
Nourrissage des tilapias (<i>Oreochromis niloticus</i>) avec des tourteaux de coton dans des étangs de terre où les poisson-chats (<i>Clarias gariepinus</i>) ont une fonction de régulation • A.J. Middendorp	219
Détermination des coefficients de digestibilité apparents pour <i>Oreochromis niloticus</i> de sous-produits agro-industriels disponibles en Côte d'Ivoire • Y. Moreau	226
Modèles de prédiction de la consommation alimentaire chez les tilapias • M.L. Palomares et D. Pauly.....	234

Session III. Reproduction et génétique

Effets des différentes tailles d'hapas sur la préparation à la ponte de <i>Oreochromis niloticus</i> dans des étangs de terre fertilisés • A.J.D. Ambali et D.C. Little	246
Mise en évidence de proportions significatives de mâles inattendus dans les descendance individuelles de néomâles de <i>Oreochromis niloticus</i> issus d'une même fratrie • J.F. Baroiller	252
Comparaison des effets d'un stéroïde naturel, 11 β -hydroxyatrostènedione, et d'un androgène de synthèse, 17 α -méthyltestostérone, sur le sexe ratio chez <i>Oreochromis niloticus</i> • J.F. Baroiller et A. Toguyeni	261
Effets de fortes températures d'élevage sur le sexe ratio de descendance issues de néomâles de <i>Oreochromis niloticus</i> • J.F. Baroiller, A. Fostier, C. Cauty, X. Rognon et B. Jalabert	273
Cryorésistance chez les femelles tilapias pratiquant l'incubation buccale : estimation de l'héritabilité et corrélation avec les performances de croissance à des températures suboptimales • L.L. Behrends, J.B. Kingsly et M.J. Bulls	282

Analyse de trois souches de <i>Oreochromis niloticus</i> : utilisation d'endonucléases de restriction sur l'ADNmt et analyse enzymatique • J.B. Capili et D.O.F. Skibinski	292
Triploïdie induite par choc thermique chez <i>Oreochromis aureus</i> • S.L. Chang et I.C. Liao	300
Effets de la qualité de l'eau et de la présence d'un substrat dans les bassins de production saisonnière d'alevins de <i>Tilapia rendalli</i> • B.A. Costa-Pierce	308
Méthode quantitative pratique pour estimer l'activité relative de reproduction chez <i>Oreochromis niloticus</i> • A.E. Eknath, J.B. Capili, J.C. Danting, M.S. Palada-De Vera, E.E. Dionisio, H.L. Bolivar, R.A. Reyes et M.M. Tayamen	319
Recherche des mécanismes d'isolement chez les tilapias • U. Falter	330
Plasticité du cycle parental chez <i>Oreochromis niloticus</i> • J.Y. Gautier, M.A. Richard-Yris, B. Le Faucheur et M. Foraste	340
Inversion sexuelle chez des alevins de tilapias par immersion dans de l'eau contenant des oestrogènes • C.J. Gilling, D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore	347
Effets de la triploïdie sur la maturation sexuelle et la reproduction du tilapia du Nil <i>Oreochromis niloticus</i> L. • M.G. Hussain, D.J. Penman et B.J. McAndrew	353
Aspects de la stratégie de reproduction de <i>Sarotherodon melanotheron</i> : comparaison entre une population naturelle (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire) et différentes populations d'élevage • M. Legendre et J.M. Ecoutin	360
Efficacité de l'incubation buccale et fréquence de ponte de <i>Sarotherodon melanotheron</i> (Rüppel, 1852) en milieu d'élevage (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire) • M. Legendre et L. Trebaol	375
Recherche de régions d'ADN spécifiques du sexe chez <i>Oreochromis niloticus</i> • S.K.J. McConnell, D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore	387
Croissance comparée des hybrides (F ₁ , F ₂ et F ₃) de <i>Oreochromis niloticus</i> (L.) et <i>O. macrochir</i> (Blgr.) • J.-C. Micha, R. Cuvelier, Ch. Tilquin, B. Muraille, M. Bourgois et U. Falter	393
Comparaison des performances de croissance et des caractéristiques électrophorétiques de trois souches de <i>Oreochromis niloticus</i> présentes en Côte d'Ivoire • P. Morissens, X. Rognon et I. Dembele	400
Différenciation génétique de plusieurs populations de <i>Sarotherodon melanotheron</i> et <i>Tilapia guineensis</i> de Côte d'Ivoire, du Sénégal et de Gambie • L. Pouyaud et J.F. Agnèse	408
Croissance et développement gonadique de tilapias triploïdes (<i>Oreochromis niloticus</i>) • B. Puckhaber et G. Hörstgen-Schwark	417
Effets du comportement reproducteur des géniteurs <i>Oreochromis</i> vivant en captivité sur la qualité de leurs alevins • K.J. Rana	424
Observations sur les hybrides intergénériques chez les tilapias • K.J. Rana, B.J. McAndrew, G. Wohlfarth et I. Macgowan	433
Etude de la variation génétique chez les populations d'élevage de quelques espèces du genre <i>Oreochromis</i> • X. Rognon et R. Guyomard	441
Déterminisme du comportement sexuel et territorial chez les mâles de <i>Oreochromis niloticus</i> et <i>Oreochromis mossambicus</i> • Y. Rouger	450
Caractérisation morphométrique en réseau de huit souches de tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) • R.R. Velasco, M.J.R. Pante, J.M. Macaranas, C.C. Janagap et A.E. Eknath	459

Estimation de paramètres génétiques additifs et non additifs de la croissance d'alevins de trois souches de <i>Oreochromis</i> • C.V. Yapi-Gnaore	470
---	-----

Session IV. Biologie et écologie

Une nouvelle méthode de comparaison des performances de croissance des poissons, appliquée aux tilapias sauvages et d'élevage • D. Pauly, J. Moreau et F. Gayanilo, Jr.	477
Survie de <i>Tilapia guineensis</i> à de basses concentrations d'oxygène dissous et à un pH peu élevé • K. Wokoma et I.E. Marioghae	486

Session V. Physiologie

Rôle de la prolactine dans l'adaptation du tilapia à des milieux hypo et hyperosmotiques • B. Auperin et P. Prunet	493
Etude physiologique de l'adaptation de <i>Oreochromis niloticus</i> et de <i>O. aureus</i> à la salinité • M. Avella et T. Doudet	506

Session VI. Economie et Socio-économie

Rentabilité de l'aquaculture du tilapia dans les petits plans d'eau au Bangladesh • M. Ahmed, M.P. Bimbao et M.V. Gupta	517
Evolution au niveau régional de la production et des prix du tilapia aux Philippines • M.A.P. Bimbao et M. Ahmed	523
L'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal : les raisons d'un échec • P.S. Diouf et J.J. Albaret	536
Elevage du tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) dans des petits plans d'eau suivant divers traitements alimentaires et de fertilisation • M.V. Gupta, Md. Akhteruzzaman, A.H.M. Kohinoor et M.S. Shah	550
Développement rural de la pisciculture des tilapias en Afrique : comment passer du mythe à la réalité • C. Koffi, M. Oswald et J. Lazard	556
Quelle recherche pour quel développement de l'aquaculture des tilapias en Afrique subsaharienne ? • J. Lazard	567
Présentation de la pisciculture périurbaine dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire • M. Oswald, Y. Copin et D. Montferrer	578

C. PANNEAUX

Croissance et conversion alimentaire des alevins de cinq souches de tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) • B.O. Acosta, E.E. Dionisio et A.E. Eknath	591
Historique et aspects techniques de l'introduction de l'élevage du tilapia en Colombie • L.F. Castillo Campo	592
Travaux sur les performances de croissance et le développement des gonades du tilapia triploïde <i>Oreochromis aureus</i> • S.L. Chang, C.F. Chang et I.C. Liao	593
Projet de pisciculture dans les régions nord et centre du Malawi : recherches, progrès et perspectives • M. Dickson	594
Interactions entre le tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) et la communauté biologique des étangs à diverses densités de charge de poissons • F.A.R. Elhigzi et P. Larsson	595
Maîtrise du recrutement des tilapias dans le cadre d'une polyculture associant des prédateurs dans le sud-ouest du Nigéria • O.A. Fagbenro et A.A. Salami	596

Observations sur les possibles effets de la salinité, des divers traitements appliqués dans les étangs et du comportement sur l'élevage de <i>Tilapia guineensis</i> et <i>Sarotherodon melanotheron</i> • G.D. Igonifagha, S.N. Deekae et I.E. Marioghae	597
Composition périphtique et facteurs physico-chimiques au sein d'un habitat artificiel (acadja-enclos) pour <i>Sarotherodon melanotheron</i> — site d'Adiapoté, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire • A.A. Konan	598
Obtention de pseudo-femelles par un traitement à l'éthynylœstradiol chez <i>Oreochromis aureus</i> • CH. Mélard	599
Consommation du phytoplancton par <i>Oreochromis niloticus</i> dans le lac Muhazi (Rwanda) • J.C. Micha, J.P. Descy et F. Laviolette	600
Classement et évaluation des populations ghanéennes de <i>Oreochromis niloticus</i> en vue de leur élevage • J.K. Ofori et J.N. Padi	601
Induction de la ponte chez <i>Oreochromis niloticus</i> L. • E.E. Roderick, L.P. Santiago, M.-A. Garcia et G.C. Mair	602
Toxicité du permanganate de potassium, des dérivés du pétrole et des effluents provenant d'une usine textile sur <i>Oreochromis niloticus</i> • A.A. Salami et O.O. Oguyemi	603
Analyse morphométrique de trois tilapias (<i>Tilapia zillii</i> , <i>Sarotherodon galilaeus</i> et <i>Oreochromis niloticus</i>) et de leurs hybrides intergénériques • E. Schwanck et K. Rana	604
Mise au point d'un système pilote autonome fonctionnant en eau recyclée, destiné à la production associée du tilapia et d'une espèce maraîchère se comportant en épurateur du milieu • K. Souleymané, M. Didier et I. Quilleret	605
Présentation du registre de souches de tilapias dans la base de données FishBase • W. Villwock, U. Sienknecht, R. Froese et L. Agustin	607
Effets des glucides, des lipides, du phosphore et du zinc sur la croissance et l'indice de consommation du tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>) • L. Zhongzie, L. Wu et Y. Yunxia	608

D. SPONSORS ET COLLABORATEURS

Agence de coopération culturelle et technique (ACCT)	609
Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD)	610
Centre de recherches océanologiques (CRO)	611
Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA)	612
Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (ICLARM)	613
Institut national de la recherche agronomique (INRA)	613
Le Ministère français de la Coopération	615
L'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM)	616
Index des auteurs	618
Liste des participants	620

Avant-propos

L'intérêt que suscite l'élevage du tilapia unit éleveurs et chercheurs sur pratiquement tous les continents d'une manière qui évoque davantage l'importance que l'on peut accorder à un produit agricole de grand intérêt qu'à un poisson. Bien que l'élevage du tilapia soit une activité vieille de plus de 2000 ans, la plupart des recherches sur ce poisson ont été menées sur l'ichtyologie de ses populations naturelles et des poissons élevés en réservoirs. C'est dans les années 1980 toutefois que l'on a pu assister au développement, jusque là sans précédent, de l'élevage du tilapia, principalement du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et au déploiement de la recherche s'y intéressant, en particulier des études biologiques et génétiques.

Ce volume des actes du symposium témoigne du vif intérêt que suscite la recherche en matière de systèmes de production ainsi qu'en socio-économie. Il est certain que ces deux domaines de recherche recevront une attention croissante à mesure que grandira l'importance économique du tilapia et que nous maîtriserons mieux les questions de répartition des bénéfices que procureront les différentes techniques de production.

Parce que son élevage est relativement aisé et peu coûteux, le tilapia constitue potentiellement un aliment de base pour de nombreuses populations des pays tropicaux ainsi qu'un produit d'échange commercial sur les marchés mondiaux. Les tilapias sont utilisés vifs comme aliment dans l'élevage de certains poissons prédateurs de grande valeur et sont aussi commercialisés dans le monde entier comme produits à valeur ajoutée (filets, sashimi). Cette diversité dans l'utilisation potentielle de ce poisson signifie que la recherche future devra relever un certain nombre de nouveaux défis.

A la lumière des résultats de la recherche sur le tilapia et des nouveaux enjeux, c'est avec joie que l'ICLARM se joint au Centre de recherches océanologiques (CRO), Abidjan, Côte d'Ivoire, à l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), et au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) pour éditer ces actes du Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. Je remercie vivement les nombreux individus et organisations dont le généreux soutien a permis la tenue du symposium et la production de ces actes, notamment, le Ministère français de la Coopération, l'ORSTOM, le CIRAD, le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA), l'Agence de coopération culturelle et technique (ACCT), l'Institut national de recherche agronomique (INRA) et l'Institut des Savannes (IDESSA).

Meryl J. Williams
Directrice Générale
ICLARM

Préface

Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture (ISTA III) fut l'une des plus grandes conférences sur l'aquaculture jamais organisée en Afrique. Forts de l'expérience et des travaux présentés à l'ISTA I (Nazareth, 1983) et à l'ISTA II (Bangkok, 1987) ainsi que du soutien croissant à l'élevage des tilapias qu'apportent les nombreuses actions de recherche dans ce domaine, les actes de l'ISTA III, nous en sommes persuadés, constitueront, aux yeux de tous, une étape importante dans la progression de l'aquaculture du tilapia vers une reconnaissance mondiale comme ressource aquacole importante. Ces actes constituent également une contribution non négligeable au développement de ce type d'aquaculture.

L'Afrique, pourtant le berceau du tilapia, n'a pas encore recueilli le fruit des efforts consentis dans l'élevage de cette ressource comme d'autres régions ont pu en tirer profit jusqu'à présent. Toutefois, et en dépit des difficultés économiques auxquelles sont soumis les efforts de recherche et de développement aquacoles en Afrique, ces travaux donnent des résultats encourageants. Parmi les 64 communications et 17 panneaux publiés dans cet ouvrage, 20 émanent de participants africains. Nous espérons que le soutien au développement de l'aquaculture en Afrique — visant notamment l'utilisation d'espèces de tilapia et autres poissons de faible niveau trophique et pouvant être élevés avec efficacité et sans risque pour l'environnement — sera renforcé, et que l'Afrique deviendra un producteur plus important de tilapias d'élevage tant pour les marchés locaux qu'en vue de l'exportation dans le monde entier.

L'organisation de l'ISTA III et la publication des actes ont été possibles grâce au soutien généreux de l'Agence de coopération culturelle et technique (ACCT), du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département d'élevage et de médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT), du Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA), du Ministère français de la Coopération, de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA), et de l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM). Une présentation synthétique de ces organisations et des institutions organisatrices se trouve en fin d'ouvrage.

Nous regrettons vivement le grand retard pris dans la publication de ces actes. Les partenaires concernés ont sous-estimé la difficulté et l'ampleur de la tâche qu'a représenté la compilation de ces actes bilingues. Ce travail a nécessité un échange volumineux de correspondance avec certains auteurs et entre les membres de l'équipe responsable de l'édition qui ont désiré se conformer aux exigences des règles de la publication scientifique et inclure, autant que possible, toutes les informations présentées. Malgré ce long délai, nous espérons et pensons que la valeur de ces actes n'a en rien été diminuée.

Nous félicitons et remercions toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de l'ISTA III particulièrement le comité d'organisation : (Jean-François Baroiller, Adou Cissé, Jean-René Durand, Saurin Hem, Catherine Lhomme-Binudin, Pierre Luquet, Kassoum Traoré et Michael Vakily). Nous remercions également Jean Baptiste Avit, Adou Cissé, Ziriga Josué Otémé, Sylvain Gilles, Rémy Dugué, Jesus Nunez-Rodriguez et Jean-François Agnèse pour leur participation à la relecture des épreuves. Alors que nous allons sous presse, l'ISTA IV a déjà été annoncé. Cette réunion se tiendra à Orlando en Floride des 9 au 12 novembre 1997. ISTA IV sera, nous n'en doutons pas, une occasion pour le monde de constater les pas de géant réalisés dans le domaine de l'élevage du tilapia depuis l'ISTA III et nous souhaitons à ses organisateurs et aux participants tous les

succès possibles alors qu'ils contribuent à la progression d'un des secteurs les plus dynamiques de la production alimentaire mondiale.

Les éditeurs

A. EXPOSES D'ENSEMBLE

L'aquaculture du tilapia dans le monde : bilan et perspectives^a

R.S.V. PULLIN

*International Center for Living
Aquatic Resources Management (ICLARM)
MC PO Box 2631, 0718 Makati
Metro Manila, Philippines*

Pullin, R.S.V. 1996. L'aquaculture du tilapia dans le monde : bilan et perspectives, p. 1-16. In R.S.V Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.-B. Amon Kothias et D. Pauly (éds). Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Les tilapias sont exploités dans les zones tropicales et subtropicales sur tous les continents et dans certaines régions du globe où la présence d'eau tiède (eaux thermales ou géothermales) permet leur développement. Le bulletin des statistiques de la FAO (1985-88) rapporte que l'élevage du tilapia est actuellement pratiqué dans 68 pays, la production annuelle mondiale de tilapias d'élevage au cours de cette période étant restée pratiquement inchangée : 263.000 t en 1985 contre 264.000 t en 1988. Cependant, si la production pour l'Egypte et le Viêt-nam en 1988 (qui est parfois reflétée dans la catégorie des "poissons d'eau douce") a été estimée en supposant qu'il s'agissait de presque tous les tilapias pour l'Egypte et de 50 % pour le Viêt-nam, la production mondiale de tilapias d'élevage pour 1988 était en fait de 380.000 t environ. Actuellement, la production de tilapias est constituée à 95 % par l'élevage de *Oreochromis* spp. et leurs hybrides, *O. niloticus* étant l'espèce dominante. Les perspectives de développement de l'aquaculture du tilapia dépendront des efforts consentis pour que les initiatives de Recherche et Développement répondent aux besoins des producteurs (dont la plupart seront de nouveaux exploitants non seulement du tilapia mais de toutes autres formes de pisciculture) et à ceux des consommateurs de produits des marchés locaux et d'exportation. Les contraintes à l'expansion de l'aquaculture du tilapia sont généralement les mêmes qui pèsent sur tout élevage en eau tiède : attitudes et politiques négatives, races médiocres, systèmes de production dont la pérennisation est impossible, et éventuels effets indésirables sur l'environnement.

Statistiques de production et leur signification

Le tableau 1 présente les taux de production les plus fiables que l'on puisse disposer sur le tilapia de 1985 à 1988. En Afrique, des 29 pays producteurs de tilapias, sept seulement ont des rendements > 100 t·an⁻¹. En Asie par contre, neuf des 16 pays producteurs atteignent une production qui se chiffre en milliers, voire en dizaines de milliers de tonnes par an. Dans les autres régions du globe, les pays producteurs de tilapias sont en plus petit nombre avec dix pays en Amérique latine, sept dans les Caraïbes, les Etats-Unis

d'Amérique, un pays européen, cinq en Méditerranée/Asie occidentale, et deux dans le Pacifique, et leur production dépasse rarement les centaines de tonnes par pays par an. Toutefois, ces taux sont difficiles à obtenir dans les régions isolées et il existe également des problèmes de sous-notification. En revanche, sont parfois rapportées les captures des pêches à orientation piscicole comme par exemple à Cuba où la quasi totalité de la production provient de retenues artificielles. Que signifient en fait ces chiffres ? L'aquaculture du tilapia se porte-t-elle bien ? Cette production reflète-t-elle de bons revenus en regard des investissements réalisés dans le Recherche et le Développement ? Dans l'ensemble, la réponse est plutôt négative, tout du moins pas encore franchement positive.

^aICLARM Contribution No. 841.

Tableau 1. Production de tilapias d'élevage (1985-88). Les données entre parenthèses ont été rapportées à la FAO comme "poissons d'eau douce", non comme tilapias proprement dits, et figurent pour les pays qui ont une importante production de tilapias. Toutes les données proviennent de sources d'information récentes (FAO, 1990) à moins qu'une autre source ne soit mentionnée. Toutes les remarques ont été ajoutées par l'auteur. Le manque de données ne signifient pas nécessairement que la production est nulle mais peut également indiquer que les informations n'étaient pas disponibles. Ce tableau est modifié et adapté de Pullin (1991).

2

Pays	Espèces d'élevage	Production (t)				Remarques
		1985	1986	1987	1988	
AFRIQUE						
Angola	<i>Tilapia sparrmanii</i>	2	-	-	-	L'élevage d'autres espèces est envisagé.
Bénin	Divers tilapias	11	15	14	17	Il s'agit probablement de l'élevage de <i>Oreochromis</i> , <i>Sarotherodon</i> et <i>Tilapia</i> spp. Les espèces exotiques <i>O. niloticus</i> et <i>O. spilurus</i> ont été introduites récemment.
Burkina Faso	<i>O. niloticus</i>	43	40	36	7	L'élevage se concentrera probablement sur cette espèce.
Burundi	Divers tilapias	2	21	25	24	-
Cameroun	Divers tilapias	91	87	96	116	Les meilleures possibilités d'expansion de l'aquaculture sont offertes par <i>O. niloticus</i> .
Congo	<i>O. niloticus</i>	39	82	115	200	Comme pour le Cameroun.
Côte d'Ivoire	<i>O. niloticus</i>	559	503	648	740	De bonnes possibilités d'expansion pour l'élevage de <i>O. niloticus</i> . Recherches en cours sur les espèces ou hybrides candidats pour l'aquaculture lagunaire d'eau saumâtre.
Ethiopie	<i>O. niloticus</i> <i>T. zillii</i>	-	-	-	1	Trop haute altitude et températures trop basses dans la majeure partie du pays pour l'élevage du tilapia.
Gabon	Divers tilapias	(2)	(3)	(3)	(2)	Bonnes possibilités d'expansion de l'aquaculture du tilapia en eaux douce et saumâtre.
Ghana	<i>O. niloticus</i>	321	225	270	297	D'autres espèces d'élevage comprennent <i>S. gallaeus</i> , <i>S. melanotheron</i> et <i>T. zillii</i> .
Guinée	Divers tilapias	2	1	1	-	-
Kenya	<i>O. niloticus</i>	113	114	121	169	D'autres espèces d'élevage comprennent <i>O. spilurus</i> et <i>T. zillii</i> .
Libéria	<i>O. niloticus</i>	8	6	3	2	-
Madagascar	Divers tilapias	74	36	38	42	Elevage de quelques tilapias, notamment <i>O. niloticus</i> , avec la carpe commune.
Malawi	Divers tilapias	65	66	83	96	Bons résultats d'élevage du tilapia, notamment <i>O. shiranus</i> et <i>T. rendalli</i> , sur les plantations de cannes à sucre et dans les petits étangs.
Mozambique	Divers tilapias	-	5	17	20	Probablement <i>O. mossambicus</i> ; élevage d'autres tilapias autochtones; expansion future probable de l'élevage de <i>O. niloticus</i> .

voir page suivante

Pays	Espèces d'élevage	Production (t)				Remarques
		1985	1986	1987	1988	
Niger	<i>O. niloticus</i>	7	8	14	16	<i>O. niloticus</i> est la seule espèce d'élevage importante.
Nigéria	Divers tilapias	4.573	3.274	3.602	3.962	Bonnes possibilités d'expansion de l'aquaculture d'eau douce (<i>O. niloticus</i>) et côtière des espèces autochtones comme <i>S. melanotheron</i> et ses hybrides.
Ouganda	Divers tilapias	13	21	27	24	Essentiellement <i>O. niloticus</i> .
République centrafricaine	<i>O. niloticus</i>	283	190	85	77	Comme pour le Cameroun.
Rwanda	<i>O. niloticus</i>	35	24	55	28	Introduction de <i>O. niloticus</i> .
Sénégal	<i>O. niloticus</i>	1	2	2	10	Expansion de l'aquaculture de <i>O. niloticus</i> .
Sierra Léone	<i>O. niloticus</i>	9	14	18	20	Comme pour le Sénégal.
Soudan	<i>O. niloticus</i>	30	41	43	45	Production probable d'autres espèces de tilapias autochtones comme <i>T. zillii</i> .
Tanzanie	<i>O. niloticus</i>	21	32	35	37	Expansion future probable de l'élevage de tilapias autochtones et exotiques, notamment de <i>O. niloticus</i> .
Togo	<i>O. niloticus</i>	30	9	9	5	Expansion future probable de l'élevage d'espèces autochtones comme <i>S. galilaeus</i> et <i>T. zillii</i> et exotiques, notamment <i>O. niloticus</i> et <i>O. macrochir</i> .
Zaïre	<i>O. niloticus</i>	180	689	723	759	Expansion de l'élevage du tilapia. Elevage probablement important d'autres tilapias comme <i>O. macrochir</i> .
Zambie	<i>O. andersonii</i>	40	62	71	75	Les statistiques de production comprennent probablement d'autres espèces autochtones ; introduction de <i>O. niloticus</i> et ses hybrides.
Zimbabwe	Divers tilapias	38	42	46	49	Expansion actuelle de l'élevage de tilapias, allant des espèces autochtones comme <i>O. mossambicus</i> et <i>T. rendalli</i> aux espèces exotiques comme <i>O. niloticus</i> et les hybrides <i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i> .
<i>Sous-total pour 29 pays^a</i>	6.598	5.621	6.213	6.848		
AMERIQUE LATINE						
Brésil	Divers tilapias	-	-	-	-	L'aquaculture à caractère durable progresse lentement.
Colombie	<i>O. niloticus</i>	300	300	498	800	Expansion de l'élevage de <i>O. niloticus</i> essentiellement et des tilapias rouges.
	<i>T. rendalli</i>	2	2	2	2	
Costa Rica	Divers tilapias	50	50	120	142	Probablement <i>O. niloticus</i> , <i>O. aureus</i> essentiellement et quelques <i>T. rendalli</i> .

Tableau 1 (suite)

Pays	Espèces d'élevage	Production (t)				Remarques
		1985	1986	1987	1988	
Guatemala	Divers tilapias	70	70	103	103	Probablement des espèces de <i>Oreochromis</i> et leurs hybrides.
Guyane	<i>O. mossambicus</i>	12	11	13	13	-
Le Salvador	<i>O. niloticus</i>	15	15	16	15	Pas d'informations récentes disponibles.
Mexique	Divers tilapias	1.611	2.270	2.395	2.395	Comme pour le Guatemala.
Nicaragua	<i>O. aureus</i>	2	1	18	14	-
Panama	<i>O. niloticus</i>	69	126	166	140	Expansion future probable de l'élevage de <i>O. niloticus</i> dans les systèmes d'exploitation intégrée.
	<i>O. aureus</i>	4	7	9	0	
Pérou	Divers tilapias	-	-	-	7	Expansion future probable de l'élevage de <i>O. niloticus</i> et ses hybrides dans les régions forestières isolées des pêcheries marines.
	Divers tilapias	52	36	89	230	
<i>Sous-total pour 9 pays^b</i>		<u>2.187</u>	<u>2.888</u>	<u>3.429</u>	<u>3.861</u>	
ASIE						
Bangladesh	<i>O. niloticus</i>	-	-	-	-	L'élevage de <i>O. niloticus</i> est à ses débuts et se développera rapidement.
Cambodge	<i>O. niloticus</i>	-	-	-	-	Expansion future probable de l'élevage de <i>O. niloticus</i> dans les rizières et les étangs.
	<i>O. mossambicus</i>	-	-	-	-	
Chine	<i>O. niloticus</i>	23.800	29.500	34.800	39.000	Expansion de l'élevage des tilapias surtout dans les provinces plus chaudes du sud du pays.
Corée (Rép. de)	<i>O. niloticus</i>	118	120	56	92	Comme pour le Japon.
Hong Kong	<i>O. niloticus</i>	1.500	1.435	1.700	1.690	Disparition de l'élevage en eau douce à Hong Kong as mesure de l'augmentation de la valeur des terres.
Inde	<i>O. mossambicus</i>	-	-	-	-	Les traditions changent. Intérêt pour les souches performantes de <i>O. niloticus</i> .
Indonésie	<i>O. niloticus</i>	6.920	8.524	9.831	10.750	Expansion de l'élevage de tilapias, y compris l'élevage en cage des hybrides rouges.
	<i>O. mossambicus</i>	35.410	15.487	25.228	25.228	
Japon	Divers tilapias	4.180	4.113	4.624	4.760	Expansion future peu probable en raison du climat froid.
Laos	<i>O. niloticus</i> (et <i>O. mossambicus</i>)	-	-	-	-	Espèces disponibles pour l'aquaculture.

^bPas de données pour le Brésil.

Tableau 1 (suite)

Pays	Espèces d'élevage	Production (t)				Remarques
		1985	1986	1987	1988	
Malaisie	Divers tilapias	-	-	39	241	Les statistiques de production distinguent difficilement les espèces de leurs hybrides. Expansion future probable de l'élevage de <i>O. niloticus</i> .
	<i>O. mossambicus</i>	313	575	539	2.350	
Myanmar (Birmanie)	<i>O. mossambicus</i>	-	-	-	-	Espèces disponibles pour l'aquaculture.
Pakistan	<i>O. niloticus</i>	2	-	-	-	Regain d'intérêt pour l'élevage du tilapia, notamment pour l'acquisition de nouveaux stocks de <i>O. niloticus</i> .
	<i>O. mossambicus</i>	313	-	-	-	
Philippines	Divers tilapias	27.206	30.602	44.682	48.327	Intérêt pour l'élevage en eau de mer de <i>O. mossambicus</i> et ses hybrides. Expansion de l'élevage de <i>O. niloticus</i> .
	<i>O. niloticus</i>	15.434	25.217	31.087	26.719	
Taiwan	Surtout tilapias <i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i> et autres hybrides de <i>Oreochromis</i>	51.820	49.241	51.720	55.561	Dynamisme de l'élevage du tilapia dans le cadre de systèmes intensifs de production. Ces statistiques proviennent du Taiwan Fisheries Bureau.
Thaïlande	<i>O. mossambicus</i>	1.432	879	476	476	<i>O. niloticus</i> est l'espèce d'élevage préférée. Elevage également de quelques hybrides rouges.
	<i>O. niloticus</i>	15.128	18.886	16.920	16.920	
Viêt-nam	Divers tilapias	50.696	49.324	(115.000)	(115.000)	Expansion future probable de l'élevage du tilapia (essentiellement <i>O. niloticus</i> , <i>O. mossambicus</i> et leurs hybrides).
<i>Sous-total pour 14 pays^a.</i>		<u>234.272</u>	<u>233.903</u>	<u>221.702</u>	<u>232.114</u>	
CARAÏBES						
Bahamas	Divers tilapias	30	30	22	36	Systèmes de production en eau douce et eau de mer ; les tilapias rouges sont appréciés.
Cuba	<i>O. aureus</i>	14.675	14.942	15.270	13.268	Production essentiellement en réservoir ; production probablement sous-estimée dans la mesure où <i>O. niloticus</i> est également présent à Cuba. Expansion de la production.
Iles Vierges Am. Jamaïque	Divers tilapias	6	7	7	2	Probablement <i>O. aureus</i> essentiellement. Expansion rapide de la production.
	<i>O. niloticus</i>	1.046	1.442	1.500	2.400	
Porto Rico	Divers tilapias	-	-	-	3	Elevage d'eau douce en étang et cage actuellement encouragé.
	<i>O. niloticus</i>	-	-	-	7	
République dominicaine	?	3	3	3	3	Expansion actuelle probable de l'élevage du tilapia.
<i>Sous-total pour 6 pays</i>		<u>15.760</u>	<u>16.424</u>	<u>16.802</u>	<u>15.719</u>	

^aSauf Bangladesh, Cambodge, Laos (et Viêt-nam pour 1987, 1988)

Tableau 1 (suite)

Pays	Espèces d'élevage	Production (t)				Remarques
		1985	1986	1987	1988	
MEDITERRANEE/ASIE OCCIDENTALE						
Arabie Saoudite	<i>O. niloticus</i>	-	6	120	300	L'Arabie Saoudite et quelques Etats de la péninsule arabique recherchent la sécurité alimentaire par une production intensive. L'élevage du tilapia est à ses débuts.
	<i>O. spilurus</i>	-	-	18	28	
Chypre	Divers tilapias	2	2	1	1	Elevage limité d'espèces de <i>Oreochromis</i> et de leurs hybrides ; contraintes climatiques évidentes.
Egypte	<i>O. niloticus</i>	(47.346)	(50.000)	(51.300)	(57.100)	Elevages de <i>O. niloticus</i> , <i>O. aureus</i> et <i>T. zillii</i> . Toutefois, les statistiques récentes ne sont pas décomposées.
	<i>O. aureus</i> <i>T. zillii</i>					
Grèce	Divers tilapias	-	-	16	28	Comme pour Chypre. Seuls les systèmes de production intensive avec un contrôle saisonnier de l'environnement sont possibles.
Israël	Divers tilapias, surtout <i>O. niloticus</i> x <i>O. aureus</i> hybrids	4.114	3.238	4.025	4.536	Dynamisme de l'élevage du tilapia et systèmes de culture intensive. Expansion limitée par les contraintes climatiques, notamment, l'aridité.
Koweït	Divers tilapias	-	-	-	-	Un important effort de recherche en aquaculture des tilapias en eau de mer a révélé que <i>O. spilurus</i> était une espèce potentielle pour l'aquaculture.
Syrie	Divers tilapias	225	357	357	357	Contraintes climatiques similaires à Israël.
<i>Sous-total pour 6 pays^d</i>		4.341	3.603	4.537	5.249	

^dSauf l'Egypte ; pas de données pour le Koweït.

voir page suivante

Tableau I (suite)

Pays	Espèces d'élevage	Production (t)				Remarques
		1985	1986	1987	1988	
AUTRES REGIONS						
Belgique	<i>O. niloticus</i>	120	160	200	230	Elevage en eau chaude (centrale électrique). Quelques élevages d'espèces de <i>Oreochromis</i> et leurs hybrides dans les Etats du sud et dans les eaux géothermales. Les contraintes climatiques et les restrictions sur les introductions et les transferts d'espèces exotiques peuvent en limiter l'expansion. Toutefois, d'autres prédisent le contraire (Davlin, 1991).
Etats-Unis	Divers tilapias	5	-	-	20	
Fidji	<i>O. niloticus</i>	3	3	1	1	Intérêt croissant pour l'élevage de <i>O. niloticus</i> .
	Divers tilapias	-	-	-	-	
Guam	Divers tilapias	66	102	125	125	Essentiellement <i>O. niloticus</i> et ses hybrides, y compris les tilapias rouges.
Khazakstan	<i>O. niloticus</i> (et autres tilapias?)	-	-	-	-	
<i>Sous-total pour 4 pays^a</i>		194	265	326	376	Un élevage de <i>O. niloticus</i> dans une centrale électrique du Khazakstan a été signalé.
TOTALS		263.350	262.704	253.009	264.168	
TOTAUX AJUSTES		310.696 ^f	312.704 ^f	361.809 ^g	378.868 ^g	

^aPas de données pour le Khazakstan.

^fComprend les chiffres pour tous les poissons d'eau douce de l'Egypte comme s'il ne s'agissait que des tilapias (1985 [47.346 t], 1986 [50.000 t], 1988 [57.100 t]).

^gComprend les chiffres pour tous les poissons d'eau douce de l'Egypte comme s'il ne s'agissait que des tilapias (1987 [51.300 t], 1988 [57.100 t]) ainsi que les chiffres pour tous les poissons d'eau douce du Viêt-nam comme s'il ne s'agissait que de 50 % des tilapias (1987 [57.500 t], 1988 [57.500 t]).

Le succès des ISTA I (Fishelson et Yaron, 1983) et II (Pullin et coll., 1988) s'étant traduit par un regain d'enthousiasme pour l'élevage du tilapia, par un renforcement des initiatives de recherche complémentaire et par certains progrès notés dans les solutions trouvées à certains problèmes techniques longtemps posés (comme celui de la gestion des stocks), on pouvait dire, en se référant au développement de l'aquaculture du tilapia, que celle-ci avait atteint "l'âge mûr". Par ailleurs, l'aquaculture du tilapia n'a pas encore été sérieusement touchée par des problèmes de pathologie (seules cinq communications sur 259 — pour les trois ISTA — étaient consacrées à ce sujet) et il n'est pas difficile de persuader les poissons à se reproduire et à se nourrir d'aliments provenant d'un large éventail de produits à bon marché.

Cet enthousiasme n'est peut-être plus le même aujourd'hui. En effet, la production de tilapias ne s'est accrue entre 1985 et 1988 que de 7,3 % par an (Tableau 1) et n'a probablement pas beaucoup bougé depuis. Par exemple, la production à Taiwan, qui était de 47.089 t en 1989, n'a pu atteindre que 53.103 t en 1990 (Almanach des pêches pour la région de Taiwan, 1989-1990). Par ailleurs, dans les régions en développement productrices de tilapias, la quasi totalité de la production est souvent assurée par un seul ou au plus quelques uns des pays de cette région, tandis que les autres pays produisent relativement peu. Sachant que le tilapia est doté de nombreux attributs positifs (Pullin, 1985), la question se pose de savoir ce qui réellement retient son exploitation dans la plupart des pays en développement.

Contraintes

Ignorance et risques

Peu nombreuses sont les personnes qui maîtrisent bien les techniques d'élevage du

tilapia. Par ailleurs, les systèmes de production sont très variables. Aux Philippines, premier producteur mondial, on exploite les tilapias dans des bassins d'eau douce ou d'eau saumâtre, en élevage monosexé (mâles) ou mixte, en monoculture ou polyculture, et aussi en cage, en rizière, en réservoir, etc., systèmes que les éleveurs les plus progressistes tentent toujours d'améliorer. Les nouveaux exploitants potentiels ne savent pas comment s'y prendre et pensent que cette activité comporte bien trop de risques pour s'y aventurer. La solution ne peut se trouver que dans le développement de systèmes de production durables ne nuisant pas à l'environnement et dans lesquels les nouveaux éleveurs pourront s'investir en toute confiance. L'élevage du tilapia comme entreprise à temps partiel dans le cadre de systèmes d'exploitation intégrée est très attrayante car elle permet d'étaler les risques associés à toute exploitation (Edwards et coll., 1991).

Recherche complémentaire inadéquate

Des 2.400 publications de recherche sur le tilapia que Pullin et Maclean (1992) ont revues, la plupart correspondaient à un type de recherche unidisciplinaire, savoir la biotechnique (94 %) et les sciences sociales (économie essentiellement : 1,4 %). La base technique de l'aquaculture du tilapia présente donc de grandes lacunes en matière de recherche interdisciplinaire (5 % seulement) et en sciences sociales. Par ailleurs, il est encore fréquent de voir les scientifiques envisager les problèmes et les besoins sans consultation avec les éleveurs.

Attitudes anti-tilapia

Là où les tilapias sont des poissons autochtones, ils sont presque toujours considérés comme une source excellente pour la consommation humaine et une excellente ressource naturelle. On ne

rencontre des attitudes hostiles que dans les régions où ces poissons ont été ou pourraient être introduits comme espèces exotiques destinées à l'aquaculture ou à la pêche à orientation piscicole. Toutefois, la littérature primaire est pauvre à ce sujet, et les informations dont on dispose pour les régions où l'hostilité envers l'élevage du tilapia est la plus marquée (Amérique latine, Pacifique et Asie du Sud) sont, pour la plupart, sous forme de rapports ou de collections semi-techniques ou de vulgarisation. Uwate et coll. (1984) ont fait le point de la situation pour les Iles Pacifiques dont la plupart ne présentent guère le tilapia, Fidji formant la principale exception ; et Nelson et Eldredge (1991) ont évalué les effets des introductions de tilapias dans le Pacifique Sud et en Micronésie.

A la racine de ce problème d'attitude anti-tilapia se trouvent deux facteurs essentiels : (1) une préférence pour les espèces indigènes autres que les tilapias, produits alimentaires traditionnels, et l'impression qu'ils sont "supérieurs", et (2) des échecs dans l'introduction des tilapias ou l'ébrutement de ces mauvaises expériences.

Donner la préférence aux espèces autochtones n'est pas seulement compréhensible, c'est tout à fait raisonnable. L'aquaculture en Afrique doit manifestement se développer à partir des tilapias, des poissons-chats et autres espèces, y compris les carpes indigènes, et non pas à partir d'espèces exotiques comme peuvent le conseiller certains. Ce type d'approche qui valorise les espèces autochtones pour l'aquaculture a été adoptée en Côte d'Ivoire depuis le milieu des années 1970 et donne de bons résultats en même temps qu'elle laisse entrevoir de bonnes perspectives de développement (Hem et coll., 1994). De même, le Malawi s'efforce actuellement de réparer "l'erreur" d'avoir introduit la carpe commune *Cyprinus carpio* en en détruisant les stocks dans le sud du pays de crainte qu'ils n'atteignent le bassin hydrographique du

Lac Malawi et ne s'y établissent sans que l'on puisse en prévoir les conséquences au niveau écologique. L'Afrique possède, en dehors des tilapias, une grande richesse en espèces autochtones qu'il faudrait tester pour l'aquaculture.

En Asie, en Amérique latine et dans le Pacifique, la situation est déjà plus complexe. L'histoire des introductions de tilapias dans ces régions a débuté, comme dans toutes les régions en développement, par l'introduction de stocks de *Oreochromis mossambicus* de faible variabilité génétique qui provenaient de très petites populations sauvages. Non seulement ces introductions ont produit de mauvais stocks pour l'aquaculture mais les poissons qui se sont échappés se sont parfois établis dans un rayon très large dans des eaux intérieures ou côtières, entrant en compétition avec des espèces indigènes de grande valeur et perturbant les opérations d'aquaculture et de pêche (Philippart et Ruwet, 1992 ; Gillet, 1989).

Il n'existe aucun rapport comparable sur les conséquences écologiques de l'introduction de *O. niloticus*, espèce sur laquelle pratiquement toute l'aquaculture tropicale du tilapia d'eau douce est établie aujourd'hui. Dans de nombreux pays toutefois, *O. mossambicus* a malgré tout donné mauvaise réputation à toutes les espèces de tilapias. Espèce très opportuniste, euryhaline et eurytherme, *O. mossambicus* n'est cependant pas nécessairement une mauvaise espèce à tous points de vue. Par exemple, elle constitue une bonne pêche dans les retenues au Sri Lanka (De Silva et coll., 1988 ; Amarasinghe et De Silva, 1992) ainsi qu'une ressource alimentaire importante pour certaines populations côtières africaines très pauvres (Costa-Pierce, 1988). Sur ce continent toutefois, les stocks autochtones de cette espèce n'ont jamais été sérieusement testés pour l'aquaculture.

Les diverses attitudes à l'égard du développement de l'aquaculture des espèces exotiques de tilapia peuvent être classées de la manière suivante :

HOSTILES DEPUIS TOUJOURS ET SUSCEPTIBLES DE LE RESTER

- Les pays qui recherchent l'expansion de l'aquaculture mais qui n'ont jamais importé de tilapias et/ou qui en craignent les conséquences écologiques, leur faisant préférer les espèces indigènes comme par exemple au Népal.

- Les pays qui ont tenté de développer l'aquaculture (*O. mossambicus* essentiellement) et/ou dont les tentatives se sont soldées par des échecs, (perturbation écologique et/ou rejet du tilapia) comme par exemple au Kiribati.

- Les pays où les tilapias ont été introduits non officiellement ou accidentellement et où les poissons qui se sont échappés sont devenus des animaux nuisibles comme par exemple en Australie.

AUPARAVANT HOSTILES MAIS DISPOSÉS À CHANGER OU SUSCEPTIBLES DE CHANGER

- Les pays qui exploitent les espèces autochtones et craignent les perturbations que provoquerait l'introduction de tilapias mais qui ont tout de même besoin de bonnes espèces pour la petite exploitation à cycle court nécessitant peu de facteurs de production, ou pour la grande exploitation intensive comme par exemple au Bangladesh, en Inde et au Pakistan.

- Les pays peu versés dans l'aquaculture où il existe cependant un potentiel pour l'élevage du tilapia et dont les craintes à l'égard des perturbations écologiques diminuent à mesure des expériences positives obtenues avec *O. niloticus* et des hybrides tolérant les salinités élevées, comme par exemple à Porto Rico et dans d'autres pays des Caraïbes.

EN ÉVOLUTION DÉFAVORABLE ?

Les pays qui ont précédemment introduit les tilapias pour l'aquaculture mais qui mettent actuellement au point des techniques

aquacoles pour les espèces *autochtones* qu'ils préfèrent et/ou qui craignent encore les perturbations écologiques comme par exemple en Amérique du Sud.

EN ÉVOLUTION FAVORABLE

- Les pays où l'aquaculture est une activité nouvelle et où l'importance relative des carpes, des tilapias et des poissons-chats n'a pas encore été déterminée comme par exemple au Cambodge, au Laos et au Viêt-nam.

- Les pays où les facteurs géoclimatiques (saisons froide et/ou aridité) limitent l'élevage des tilapias à moins que des solutions appropriées et rentables ne soient adoptées comme par exemple en Chine (certaines régions), en Europe, au Japon, dans la péninsule coréenne, en Méditerranée, au Asie occidentale et aux Etats-Unis (partie continentale).

INTÉRESSÉS PAR LE DÉVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE DU TILAPIA

Les pays où le tilapia est apprécié comme poisson d'élevage et où il existe des possibilités d'accroissement de la production pour la consommation locale et/ou l'exportation comme par exemple en Chine méridionale, à Fidji, en Indonésie, en Malaisie, aux Philippines et en Thaïlande.

En ce qui concerne les transferts de tilapias, les erreurs du passé ne devraient pas être répétées et la déontologie internationale en matière de transferts d'espèces exotiques devrait être respectée. Il faut néanmoins s'attendre à ce que certains éléments du secteur privé et certains hauts fonctionnaires continuent à effectuer des transferts sans évaluation préalable appropriée. Deux précédents rapportés par Gillett (1989) illustrent bien cette attitude et les éventuelles répercussions de celle-ci, en général un legs irréversible.

- Au Samoa-Occidental, le conseil suivant fut donné au gouvernement pour

démarrer l'aquaculture du tilapia (*O. mossambicus*) :

"Il est certain qu'il serait préférable d'examiner tous les facteurs sur une année entière mais cette démarche occasionnerait d'importantes dépenses ; et même dans cette éventualité, certaines incertitudes pourraient subsister. Il est bien plus économique de démarrer par un étang expérimental et de l'empoisonner avec des tilapias (Van Pel, 1954)."

L'avis du Ministre des Ressources naturelles au Kiribati, rapporté par Iuta (1989) fut le suivant :

"Le tilapia, espèce bien connue, a été introduit dans nos étangs et enclaves lagunaires par des développeurs bien intentionnés dans le but d'accroître les apports en protéines. Il en a résulté que ce poisson hautement compétitif qui dépasse rarement 15 cm au Kiribati a évincé le chanos, poisson important du point de vue culturel, commercial et nutritif... Si seulement des recherches appliquées avaient été menées sur l'écologie du tilapia [...] avant de démarrer le projet."

Pérennité des problèmes techniques

GESTION DES POPULATIONS

La gestion des populations de tilapias d'élevage a été revue par Baroiller et Jalabert (1989) et par Mair et Little (1991). Ces auteurs font mention d'un large éventail de méthodes : inversion sexuelle par administration d'hormones androgènes, récoltes intermittentes, sexage manuel, prédation,

empoisonnement à haute densité, élevage en cage, retardement de la maturité sexuelle, stérilisation, hybridation et production de races "YY" de *O. niloticus*. De toutes ces options, très peu sont passées du stade expérimental à la généralisation de leur adoption par les aquaculteurs, exception faite pour les méthodes combinant inversion sexuelle par traitement hormonal et hybridation (méthodes largement répandues en Israël et à Taiwan) et inversion sexuelle par traitement hormonal sur *O. niloticus*, méthode plus répandue en Asie.

Partout ailleurs, l'approche à la gestion des populations reflétée dans les propositions de recherche et dans les projets de développement est plus ou moins de l'ordre du conjectural sans qu'une évaluation approfondie des perspectives d'utilisation (éleveur et consommateur) ne soit jamais effectivement réalisée.

RACES MÉDIOCRES

Pour l'aquaculture du tilapia, comme pour tout élevage de poissons en eau chaude, les possibilités d'amélioration des races d'élevage par des expériences de génétique appliquée ont mis du temps à être reconnues. D'après Pullin et Capili (1988), la plupart des tilapias d'élevage proviennent de très petits stocks fondateurs et, en dehors de quelques tentatives d'hybridation, peu de travaux d'amélioration des races ont été réalisés dans la plupart des pays producteurs (à l'exception d'Israël et de Taiwan). Jusqu'à une date récente, aucune expérience de sélection additive, technique utilisée avec succès sur le bétail et tentée seulement sur les Salmonidés en aquaculture (Gjedrem, 1985), n'avait été pratiquée sur les tilapias d'élevage.

Que de temps perdu : par exemple, un stock fondateur de *O. niloticus* capturé dans son milieu naturel en Egypte fut transféré au Japon en 1962 et ses descendants transférés en Thaïlande en 1965 (et de là aux Philippines en 1972). Cette "souche",

encore utilisée par les aquaculteurs, est connue sous le nom de souche "Chitralada" en Thaïlande et de souche "Thaïlande" aux Philippines. Au bout de 26 ans (certainement plus de 50 générations) de "domestication", les performances de croissance de la souche "Thaïlande" aux Philippines sont, dans un large éventail d'environnements différents, inférieures ou similaires aux performances d'un nouveau stock fondateur de poissons égyptiens sauvages capturés en 1988 (Pullin et coll., 1991 ; Eknath et coll., 1993).

Le peu d'importance accordée à la génétique appliquée dans l'élevage du tilapia et l'ignorance chez les aquaculteurs des conséquences génétiques de la gestion des stocks, a conduit, pour la plupart des tilapias, à des performances d'élevage proches des performances des espèces sauvages, quand ces performances ne sont pas en fait inférieures. La solution de ce problème réside dans une gestion judicieuse des stocks (Eknath, 1991), dans la mise en place de programmes nationaux de sélection (Eknath et coll., 1991) et dans la réalisation chez les chercheurs que la meilleure voie vers un progrès génétique durable est de marier les monotéchniques de gestion des ressources génétiques qu'ils préfèrent (parce qu'elle constitue un "raccourci" : hybridation, polyploïdie, et transgénose éventuelle) avec les techniques aux effets à long terme de la sélection additive.

SYSTÈMES D'EXPLOITATION PEU PERFORMANTS

Il est impossible d'éclater la production de tilapias en production ou élevage en cage, en étang, en rizière, en réservoir et autres. Il est vrai que l'ICLARM a proposé de baptiser le tilapia le "poulet aquatique" car son élevage est rentable dans un large éventail de systèmes d'exploitation, de la production très artisanale à l'exploitation hautement intensive des fermes industrielles — comme c'est le cas pour la volaille.

Le succès de tout système d'exploitation des tilapias dépend des possibilités de

pérennisation de ces systèmes et de leur compatibilité avec l'environnement qui, à son tour, dépend d'une utilisation rentable et judicieuse des ressources (sol, eau, capital et autres facteurs) et de leur coexistence avec d'autres entreprises et activités de protection de l'environnement. A l'heure actuelle, la plupart des nouveaux élevages de tilapias sont encore au stade expérimental et continueront à l'être aussi longtemps que les systèmes de production des tilapias ne seront pas mieux connus comme par exemple la production de volaille.

La clé des systèmes de production plus fiables est peut-être simple. Par exemple, l'adoption des techniques de prégrossissement en hapa a permis à des éleveurs du nord-est de la Thaïlande de s'investir en toute confiance et avec succès dans l'aquaculture sur leur petite exploitation rizicole (Little et coll., 1991). Le prégrossissement en hapa des alevins de tilapias et autres poissons permet à l'éleveur de les surveiller quotidiennement, de les voir se nourrir et finalement de libérer des juvéniles plus gros, plus résistants à la prédation dans des petits bassins et rizières.

Un des problèmes non encore résolu de l'aquaculture du tilapia est d'établir s'il devrait y avoir, et dans quelle mesure, une gestion distincte des opérations d'écloserie et d'alevinage, d'une part, et des opérations de grossissement, d'autre part. Ces opérations sont en effet séparées dans la plupart des entreprises aquacoles et tendent à l'être dans les régions où l'aquaculture du tilapia est la plus développée comme en Israël et à Taiwan. Partout ailleurs, l'approvisionnement en alevins aux éleveurs est assurée tant par le secteur public que privé, et certains éleveurs produisent leurs propres alevins.

Pullin et Maclean (1992) recommandent une recherche sur la "dynamique des entreprises piscicoles et leurs interactions avec d'autres spéculations (agricoles, halieutiques, forestières, de loisir et de gestion des déchets). Les flux de ressources

et les échanges en termes de monnaies courantes (terre, eau, nutriments, énergie et liquidités) doivent être quantifiés afin que les options visant à équilibrer et à intégrer le développement aquacole puissent être évaluées au sein même des exploitations, des communautés, et des zones côtières et bassins hydrographiques plus larges.”

Dans ce cadre général, il est clair que les grandes catégories de systèmes d'exploitation des tilapias font face à un certain nombre de problèmes (Tableau 2). Les solutions viendront d'une collaboration plus étroite entre les aquaculteurs et les scientifiques. En outre, en raison des interactions possibles entre génotype et environnement, la recherche visant l'amélioration des systèmes de production et des races doit être interactive.

L'avenir

Les commentaires ci-dessus s'appliquent non seulement à la petite aquaculture dans les pays en développement mais aussi aux grandes entreprises aquacoles. Davlin (1991) prévoit l'entrée d'un nombre croissant de grosses entreprises dans l'industrie aquacole, et pense que ces initiatives garantiront le succès des futurs systèmes d'exploitation intensive. Il signale que :

“L'industrie aquacole a été guidée par le monde universitaire et des biologistes marins pendant 30 ans. Ce sont les exploits technologiques qu'ils ont pu réaliser qui ont permis aux petits éleveurs de voir dans l'aquaculture une source supplémentaire de revenus. En fait, cette activité a été considérée par l'exploitant comme un style de vie, et le milieu universitaire et les pisciculteurs sont devenus très tôt un couple curieux.”

Cette notion de “couple curieux” caractérise encore aujourd'hui les relations qu'entretiennent la recherche académique sur le tilapia et les éleveurs de tilapias. De nombreuses sociétés s'aventurent seules dans l'aquaculture et apprennent de leurs propres erreurs.

Les scientifiques ignorent généralement que la technologie placée au service de la production alimentaire, qu'elle soit issue de recherches financées par le secteur privé ou par le secteur public, n'est pas une technologie neutre. Celle-ci favorisera soit les grandes entreprises aquacoles soit la petite exploitation mais très rarement les deux à la fois.

Il est probablement plus économique, plus rentable et plus acceptable du point de vue écologique, d'élever des poissons tropicaux dans des systèmes *moins* intensifs dans les pays en développement ; par exemple, pour des produits à valeur ajoutée comme le filet de tilapia (Pullin, 1984), Davlin (1991) signale de nouveaux accords commerciaux entre la Colombie et les Etats-Unis portant sur l'emballage et le traitement des tilapias produits en Colombie, et la production par Solar Aquafarms, Inc. en Californie (qui utilise une technologie de recyclage intensive) de plus de 2.000 tonnes de tilapias en 1992. Dans ces conditions, les petits pisciculteurs auront-ils encore une place sur les marchés locaux et d'exportation ? La conclusion de Davlin (1991) est la suivante :

“A notre avis, au cours de cette décennie, le tilapia rejoindra le poisson-chat comme poisson à prix modéré dominant aux Etats-Unis.”

L'avenir de l'exploitation du tilapia reste prometteur en dépit des chiffres récents quelque peu décevants. En Afrique, dans les régions où l'aquaculture d'eau douce est une entreprise prospère, les tilapias sont susceptibles d'être l'un des produits principaux, sinon le produit principal

Tableau 2. Problèmes associés aux différents systèmes d'élevage du tilapia.

Système	Problèmes principaux	Besoins des éleveurs
Cages	Modèles improvisés ou empruntés à d'autres spéculations ; indice de conversion médiocre ; pollution ; durée de vie du système trop courte.	Systèmes spécialement conçus pour l'élevage des tilapias en eau douce, eau saumâtre et eau de mer.
Enclos, acadja-enclos, etc.	Encore à un stade expérimental.	Fiabilité et pérennisation des systèmes en accord avec leurs ressources.
Etangs	Système pauvre en nutriments ; gestion des stocks non structurée ; approvisionnement/qualité de l'eau.	Pérennisation du système, intégration avec d'autres spéculations.
Bassins, raceways et autres systèmes intensifs, y compris le recyclage	Largement expérimental ou conjectural, selon les sites	Bons principes de gestion — comme il en existe pour l'élevage de la truite.
Ecloserie/alevinage	Production faible ou saisonnière d'alevins et fingerlings ; les conséquences au niveau génétique de la gestion des géniteurs ne sont pas prises en compte ; les techniques de production de semence monosex sont peu utilisées.	Bons systèmes d'approvisionnement en semence qui maintiennent, dans la mesure du possible, une bonne qualité génétique et une production de semence mâle à 100 %.

d'élevage aquacole. En Asie, les possibilités d'expansion de l'exploitation du tilapia sont considérables en Chine et en Indochine (Cambodge, Laos, Viêt-nam) et probablement dans quelques uns des autres pays producteurs principaux (Philippines, Thaïlande). En Amérique latine et dans les Caraïbes, la situation est moins claire. La production de tilapias peut s'accroître dans les pays où elle a déjà remporté des succès comme par exemple à Cuba et à la Jamaïque. Toutefois, les espèces autochtones seront peut-être préférées dans la plupart de ces régions. En Méditerranée et en Asie occidentale, les contraintes climatiques et le manque de ressources seront probablement autant de contraintes à l'expansion de l'élevage du tilapia. Ceci s'applique également à l'Europe et à l'Asie du Nord-Est. Exception faite pour Fidji, l'élevage du tilapia dans le Pacifique est peu susceptible de susciter grand intérêt. Aux Etats-Unis, si le marché du tilapia se développe comme Davlin (1991) l'a prédit, l'approvisionnement sera certainement assuré à partir d'un nombre croissant de fermes établies aux Etats-Unis même, ainsi que par les importations.

Pullin (1991) prévoit que la production mondiale de tilapias doublera au cours des dix prochaines années. Cette prévision peut être réalisée, voire dépassée, si la recherche est mieux dirigée vers les besoins des éleveurs, si de meilleures races et des systèmes de production plus performants sont mis au point et adoptés les uns et les autres simultanément, si les attitudes anti-tilapia changent chaque fois que celles-ci sont sans fondement, si l'élevage du tilapia devient une entreprise dont la pérennisation et la compatibilité avec l'environnement peuvent être assurées, et si cela devient une activité bien intégrée aux autres initiatives de développement.

Littérature citée

- Amarasinghe, U.S. et S.S. De Silva. 1992. Population dynamics of *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus* in two reservoirs in Sri Lanka. *Asian Fish. Sci.* 5:37-61.
- Baroiller, J.F. et B. Jalabert. 1989. Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapias. *Aquat. Living Resour.* 2:105-116.
- Costa-Pierce, B.A. 1988. ICLARM and South-South technology transfer: Philippine aquaculture technology and Indonesia. Part I. *Naga, ICLARM Q.* 11(4):10-11.
- Davlin, A. Jr. 1991. The nineties: a booming decade for the aquaculture industry! The aquaculture industry. *Aquaculture Analyst's Report III(1):1-6.*
- De Silva, S.S., J. Moreau et K.A.D.W. Senaratne. 1988. Growth of *Oreochromis mossambicus* as evidence of its adaptability to Sri Lankan reservoirs. *Asian Fish. Sci.* 1:147-156.
- Edwards, P., R.S.V. Pullin et J.A. Gartner. 1991. Recherche et formation pour le développement des systèmes de production intégrée agriculture-élevage-pisciculture sous les tropiques. *ICLARM Studies and Reviews* 16, 71 p. Edition française traduite et adaptée par C. Lhomme-Binudin.
- Eknath, A.E. 1991. Simple broodstock management to control indirect selection and breeding: Indian carp example. *Naga, ICLARM Q.* 14(2): 13-14.
- Eknath, A.E., H.B. Bentsen, B. Gjerde, M.M. Tayamen, T.A. Abella, T. Gjedrem et R.S.V. Pullin. 1991. Approaches to national fish breeding programs: pointers from a tilapia pilot study. *Naga, ICLARM Q.* 14(2):10-12.
- Eknath, A.E., M.M. Tayamen, M.P. de Vera, J.C. Dantin, R.A. Reyes, E.E. Dionisio, J.B. Capili, H. Bolivar, T.A. Abella, A. Circa, H.B. Bentsen, B. Gjerde, T. Gjedrem et R.S.V. Pullin. 1993. The performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in eleven different farming systems. *Aquaculture* 111:171-188.
- FAO. 1990. Fishery Information, Data and Statistics Service 1990. *Aquaculture production 1985-1988.* FAO Fish. Circ. 815. Rev. 2, 136 p.
- Fishelson, L. et Z. Yaron, Compilers. 1983. Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Israël. 624 p.
- Gillett, R. 1989. Tilapia in the Pacific Islands: are there lessons to be learned? *SPC Fish. Newsl.* 49:27-30.
- Gjedrem, T. 1985. Improvement of productivity through breeding schemes. *Geo Journal* 10(3): 233-241.
- Hem, S., M Legendre, L. Trebaol, A. Cissé, Z. Otémé et Y. Moreau. 1994. L'aquaculture lagunaire, p. 455-505. In J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral et S.G.F. Zabi (eds.) *Environnement et ressources aquatiques de la Côte d'Ivoire. Tome II - Les milieux lagunaires.* Editions ORSTOM, Paris, 543 p.
- Iuta, T. 1989. Formal address and personal letter from the Minister for Natural Resources Development

- to participants of the Kiribati Applied Atoll Research Consultation. In R. Thaman (ed.) Applied atoll research for development. Proceedings of the Kiribati Applied Atoll Research for Development Consultation, 27 février - 2 mars 1989, Tarawa. Ministry for Natural Resources Development, Tarawa, Kiribati.
- Little, D.C., N.L. Innes-Taylor, D. Turongruang et S. Komolmart. 1991. Large fish seed for small-scale aquaculture. *Aquabyte* 4(2):2-3.
- Mair, G.C. et D.C. Little. 1991. Population control in farmed tilapias. *Naga*, ICLARM Q. 14(3):8-13.
- Nelson, S.G. et L.G. Eldredge. 1991. Distribution and status of the genera *Oreochromis* and *Tilapia* in the islands of the South Pacific and Micronesia. *Asian Fish. Sci.* 4:11-22.
- Philippart, J.-Cl. et J.-Cl. Ruwet. 1982. Ecology and distribution of tilapias, p. 15-59. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (eds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Pullin, R.S.V. 1984. Tilapia - potentially an international food commodity. *INFOFISH Marketing Digest* 3(84):35-36.
- Pullin, R.S.V. 1985. Tilapia: 'everyman's fish'. *Biologist* 32(2):84-88.
- Pullin, R.S.V., Editor. 1988. Tilapia genetic resources for aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 16, 108 p.
- Pullin, R.S.V., T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean, Editors. 1988. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pullin, R.S.V. et J.B. Capili. 1988. Genetic improvement of tilapias: problems and prospects, p. 259-266. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (eds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pullin, R.S.V. 1991. Cichlids in aquaculture, p. 280-309. In M.H.A. Keenleyside (ed.) Cichlid fishes: behaviour, ecology and evolution. Chapman and Hall, London.
- Pullin, R.S.V., A.E. Eknath, T. Gjedrem, M.M. Tayamen, J.M. Macaranas et T.A. Abella. 1991. The genetic improvement of farmed tilapias (GIFT) project: the story so far. *Naga*, ICLARM Q. 14(2):3-6.
- Pullin, R.S.V. et J.L. Maclean. 1992. Analysis of research for the development of tilapia farming - an interdisciplinary approach is lacking. *Neth. J. Zool.* 42(213):512-522.
- Uwate, K.R., P. Kunatuba, B. Raobati et C. Tenakanai. 1984. A review of aquaculture activities in the Pacific Islands Region. Pacific Islands Development Program, East-West Center, Honolulu, Hawaii. 392 p.
- Van Pel, H. 1954. Possibilities of fish culture in ponds in Western Samoa. Commission du Pacifique sud, Nouméa. 7 p.

L'aquaculture des tilapias en Afrique francophone subsaharienne : bilan et perspectives

J. LAZARD

*Programme aquaculture et pêche
Département d'élevage et de médecine vétérinaire
Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement (CIRAD-EMVT)
GAMET-BP 5095-34033 Montpellier Cédex 1
France*

J.-Y. WEIGEL

*Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération (ORSTOM)
Service culturel, Ambassade de France-29
Thanon Sathorn Tai - 10120, Bangkok
Thaïlande*

LAZARD, J. et J.-Y. WEIGEL. 1996. L'aquaculture des tilapias en Afrique francophone subsaharienne : bilan et perspectives, p. 17-28. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Une étude menée en 1989 et 1990 sur le développement de l'aquaculture en Afrique subsaharienne a permis de mettre en relief une typologie des divers systèmes aquacoles existants utilisant principalement les tilapias comme espèces d'élevage. Il s'agit de : (1) l'aquaculture à des fins d'autoconsommation (aquaculture de subsistance) ; (2) l'aquaculture artisanale dans le cadre d'une petite entreprise commerciale ; (3) l'aquaculture "segmentée" où participent des opérateurs spécialisés à chaque niveau du processus de production ; et (4) l'aquaculture industrielle. Pour chacun de ces types d'aquaculture sont analysés les principaux éléments suivants : populations cibles, techniques d'élevage, encadrement/vulgarisation, bilan économique et financier des exploitations, aspects fonciers ainsi que le crédit et la commercialisation. Dans la mesure où ces activités aquacoles, lorsqu'elles revêtent une certaine importance, sont menées dans le cadre de projets de développement, ceux-ci sont étudiés à partir de cas précis sous l'angle de leur identification et de leur dynamique (incluant la problématique de "l'après-projet"). Cette analyse met en évidence, notamment, que de nombreuses interrogations pèsent encore sur les deux formes extrêmes de pisciculture (autoconsommation et industrielle) en termes de viabilité économique et de reproductibilité. Elle montre également qu'une pisciculture durable nécessite de la part des différents partenaires un professionnalisme qui a manqué dans la plupart des cas du fait d'une formation insuffisante des aquaculteurs. Sur ces bases, des propositions sont faites en vue d'un développement futur plus harmonieux de l'aquaculture sur le continent africain au niveau des Etats, des bailleurs de fonds et des opérateurs.

Introduction

La pisciculture en Afrique n'en finit pas de redémarrer et d'être relancée, semblable en cela à beaucoup d'autres activités, agricoles ou industrielles sur ce continent (Freud, 1988 ; Pisani, 1988). En 1989,

l'Afrique subsaharienne aurait, selon la FAO (1991), produit 33.000 t de poisson d'aquaculture où les tilapias occupent la première place en termes d'espèces (14.500 t). Cette production s'inscrit dans un volume total mondial estimé la même année à 14 Mt dont 7.300.000 t de poisson

soit une contribution inférieure à 0,5 % à la pisciculture mondiale.

Si l'on se réfère au volume total de financements accordés au secteur de la pisciculture en Afrique subsaharienne : 15 M US\$ environ par an en moyenne entre 1980 et 1990, l'essentiel étant consacré à la mise en oeuvre de projets de développement et de recherche-développement (62 % des financements ; FAO, 1990), cette situation soulève de multiples questions :

- L'absence de tradition de culture irriguée et d'élevage en stabulation constitue-t-elle un handicap au développement d'une activité encore considérée comme nouvelle telle que la pisciculture ?

- Doit-on différencier une pisciculture à vocation d'autosubsistance d'une pisciculture à vocation de rente tant dans la conception des projets que dans les stratégies à mettre en oeuvre pour leur réalisation ? Selon les objectifs poursuivis (action caritative, production paysanne ou industrielle), quels sont les systèmes de pisciculture à promouvoir et comment les intégrer dans l'environnement et les aménagements (bas-fonds, périmètres hydro-agricoles) et dans les systèmes de production agricole existants ?

- Quels doivent être les acteurs de cette nouvelle activité et, plus précisément, quels acteurs pour quel type de pisciculture (Satia et coll., 1992) ? Ou encore, à l'instar d'un slogan largement répandu sur le continent ces dernières années, la pisciculture peut-elle être "l'affaire de tous" (FAO, 1984) ? Les acteurs (paysans, pêcheurs, fonctionnaires, retraités, etc.) une fois identifiés, quelle est leur stratégie vis-à-vis de la pisciculture ? Devient-elle l'activité principale ou une activité annexe ? Constitue-t-elle une activité d'autosubsistance, de rente, de loisir, de prestige, etc. ? Constitue-t-elle pour les paysans une possibilité de diversifier leur production et donc de minimiser leurs "risques" ?

- Quelles dispositions convient-il de prendre pour que la pisciculture soit

considérée comme une activité agricole (ou agro-industrielle) et donc intégrée pleinement dans le secteur "agriculture-élevage" auquel elle s'apparente naturellement ?

- En fonction du degré d'autonomie visé et autorisé par le système aquacole retenu, quelle organisation de la production piscicole promouvoir : industrielle, coopérative (Depelchin et Depelchin, 1984 ; Bérubé, 1992), association de producteurs, autarcie, etc. ?

- Quel niveau de technicité requiert chaque type de pisciculture dont le développement est envisagé et quels types de formation et d'appui technique et de gestion économique et financière procurer à ses acteurs ?

- Quel marché vise-t-on avec le produit de la pisciculture dont les coûts de production sont, d'une façon générale, élevés et qui présente des caractéristiques particulières (programmation de la production, fraîcheur, calibrage, monospécificité, etc.), notamment en comparaison des produits issus de la pêche ?

- Quels sont les éléments prioritaires, de nature scientifique, technique et socio-économique à prendre en compte avant le lancement d'une opération de développement de la pisciculture ? De telles opérations doivent-elles obligatoirement être précédées de phases pilotes, en grandeur réelle, destinées à vérifier et valider les acquis de la recherche ?

- Quelle stratégie d'encadrement des pisciculteurs adopter en termes de couverture géographique ? Faut-il en encadrer beaucoup, répartis sur l'ensemble du territoire (et produisant peu individuellement) ou un nombre restreint, concentré géographiquement (et produisant beaucoup individuellement) ? Quelle solution permet de mieux aborder l'"après-projet" ?

- Quelle tutelle "administrative" envisager pour les projets de développement ? L'administration des Eaux et Forêts, en charge dans la quasi-totalité des pays francophones de ce secteur d'activité est-elle, du fait de

sa vocation initiale de protection et de conservation du milieu naturel et donc de contrôle, la mieux indiquée pour promouvoir une nouvelle activité de production à caractère spéculatif ?

- Quel environnement mettre en place en termes de politiques d'accompagnement (crédit, subventions, formation, encadrement, fiscalité, organisation professionnelle et des marchés, etc.) pour garantir la pérennité de l'activité aquacole "après les projets" ?

- Quelle politique de financement adopter pour le lancement de cette nouvelle activité, tant au niveau des investissements que du fonctionnement (subventions, crédits, etc.) ?

L'absence de réponse à ces questions (ou serait-ce le fait de ne les avoir jamais posées ?) fait qu'aujourd'hui, ce qui frappe à l'étude de la pisciculture africaine, c'est le décalage existant entre, d'une part, les investissements de tous ordres réalisés dans ce domaine depuis un demi-siècle ainsi que l'importance des écrits qui leur sont relatifs et, d'autre part, la faible importance des réalisations productives (FAO, 1987 ; Satia, 1989).

Aujourd'hui, l'aquaculture africaine se trouve à la croisée des chemins. Les différents diagnostics sincères convergent pour admettre qu'il y a eu depuis 20 ans une grande dispersion des efforts de recherche et de développement, un manque de clarté, voire une absence de réflexion sur les options de développement retenues, une rentabilité économique douteuse voire inexistante, des problèmes non résolus d'insertion de l'activité piscicole dans les systèmes de production agricoles ou halieutiques africains au sens large ; d'où un démarrage difficile et un avenir encore incertain.

Une des caractéristiques les plus marquantes de cette spéculation nouvellement greffée sur les activités traditionnelles est l'importance des passions qu'elle a fait jaillir de toutes parts et qui imprègne souvent les motivations des

différents acteurs impliqués : chercheurs, développeurs, pisciculteurs, administrateurs, consultants. L'élevage hors-sol, artisanal ou industriel, de porc ou de poulet en Afrique n'a jamais mis en jeu autant d'idéal et de passions que l'aquaculture depuis ses débuts sur le continent : il s'est pourtant développé à une autre échelle. S'il est bien sûr à souhaiter que les éleveurs de porc et de volaille aiment leur métier, il est certain qu'ils sont parfaitement clairs sur la raison pour laquelle ils l'exercent : gagner leur vie et réaliser le maximum de bénéfices.

En aquaculture, cela ne semble ni aussi clair, ni aussi simple. Si tous les acteurs de l'aquaculture s'accordent pour souhaiter, à terme, un retour de l'argent — ou de l'effort — investi et même un profit, celui-ci n'est pas, loin de là, la seule raison profonde à l'engagement dans cette activité. D'autres motivations, faisant intervenir la façon que chacun des opérateurs a de considérer la société et d'y agir sont souvent bien plus fortes. Il est tout à fait révélateur, à ce titre, qu'un manuel de pisciculture tropicale traite d'élevage de volaille, de porc, de riziculture irriguée, d'hydraulique rurale, de santé (maladies transmises par l'eau, etc.) ; aucun ouvrage relatif à ces activités ne traite quant à lui de pisciculture. Certes, la pisciculture est liée, voire associée, à ces autres activités mais n'est-ce pas surtout du fait que la pisciculture recherche des points d'ancrage et qu'à ce titre, les "pisciculteurs" se sentent autorisés à s'exprimer sur toutes ces activités associées ?

Ces motivations expliquent sans doute en partie la ténacité, voire l'entêtement, dont font preuve beaucoup d'opérateurs — les plus divers — de l'aquaculture. Elles contribuent également à faire de l'aquaculture une activité témoin, reflet par son évolution des courants de pensées et d'actions qui président au développement rural et agro-industriel des différents continents, et d'Afrique en particulier.

A un moment où la pisciculture africaine, prise entre ses grandes difficultés pratiques (qui font qu'elle n'existe encore réellement qu'à titre expérimental, pilote, ou marginal) et ses idéaux manifestés par les nombreux écrits sur ce sujet, hésite entre les soubresauts d'une naissance qui se prolonge et ceux de la mort précoce, il semblait intéressant d'y porter un regard : tel est l'objectif de l'étude dont les principaux enseignements sont rapportés ci-après.

Typologie des activités piscicoles

Une étude (Lazard et coll., 1991) a été réalisée entre 1989 et 1991 à la demande du Ministère français de la Coopération et du Développement qui souhaitait analyser la situation de la pisciculture en Afrique subsaharienne et proposer des orientations pour l'avenir. Cette étude a consisté en la compilation de l'abondante bibliographie disponible sur ce sujet et en la réalisation de missions de terrain en Côte d'Ivoire, Guinée, Mali, Burkina Faso, République centrafricaine (RCA), Cameroun et Congo. En outre, une mission auprès de la Banque Mondiale et de diverses organisations non gouvernementales (ONG) américaines a permis de compléter les informations disponibles.

A la lumière d'études de cas concrets d'opérations de développement mises en oeuvre en Afrique depuis une trentaine d'années, quatre grands types de pisciculture basés sur des critères de développement et non pas sur les critères d'intensification généralement utilisés (pisciculture extensive, semi-intensive, intensive, etc.) ont été identifiés :

1. pisciculture d'autoconsommation ;
2. pisciculture artisanale de "petite" production marchande ;
3. pisciculture de type "filrière" ou "segmentée" ; et
4. pisciculture industrielle.

C'est la pisciculture d'autoconsommation qui, essentiellement avec le soutien d'organisations internationales et d'ONG, dans le cadre de projets de dimensions très variables, a bénéficié du plus grand effort dans les différents domaines (production d'alevins, vulgarisation, formation, encadrement, etc.) hormis, paradoxalement, celui de la recherche. Les résultats d'ensemble peuvent, aujourd'hui, en être considérés comme globalement négatifs, les principales raisons de cet échec étant les suivantes :

- Pour les pisciculteurs, la satisfaction de leurs seuls besoins ne constitue pas une motivation économique suffisamment attrayante compte tenu du degré de technicité que requiert cette activité. De plus, le modèle de pisciculture proposé dans la quasi-totalité des cas ne répondait pas à cet objectif (productivité du travail insuffisante dans le temps et dans l'espace, trop grande dépendance vis-à-vis de l'encadrement pour la gestion de l'exploitation piscicole).

- Pour les initiateurs de projets, il apparaît que la mise en oeuvre de cette activité doit nécessiter une approche fine de son milieu d'implantation (milieu physique, humain, économique).

En définitive, cette forme de pisciculture prônée dans un premier temps par des administrations coloniales puis reprise comme objectif essentiel de la plupart des projets de développement est certainement à l'origine d'un quiproquo qui brouille les pistes du développement de cette activité depuis maintenant 50 ans.

La pisciculture artisanale de "petite" production marchande commence à se développer, notamment en zone périurbaine du fait de l'existence, dans ce type d'environnement, à la fois de sources d'intrants et d'un marché susceptible d'absorber la production à un prix plus intéressant pour le producteur (Copin et Oswald, 1988). Ce type de pisciculture reste à mettre au point en milieu rural : intégré

aux systèmes de production agricole existants, il doit également constituer un des moteurs de leur dynamique en contribuant à un apport de revenus supplémentaires, à la diversification et à l'intégration des activités d'agriculture et d'élevage.

La pisciculture "segmentée" se caractérise par un morcellement structurel des différentes phases d'élevage (alevinage, fabrication de l'aliment, prégrossissement, production de poisson marchand). Elle correspond particulièrement bien à certains milieux (lacs, lagunes, cours d'eau) et à certaines populations : pêcheurs pour qui la pisciculture peut constituer une activité alternative lorsque les revenus procurés par la pêche deviennent insuffisants (épuisement de la ressource), citadins et entrepreneurs qui voient dans la pisciculture une opportunité de placer des capitaux et une source potentielle de profits (Morissens et coll., 1986 ; Parrel et coll., 1986). Elle exige, pour une mise en oeuvre satisfaisante sur le plan économique, le respect d'un certain nombre de contraintes : degré de technicité, disponibilité en crédit, capacité de gestion, etc.

La pisciculture industrielle se caractérise par des unités de production de grande dimension qui, par rapport aux précédentes formes, devrait se justifier par les économies d'échelle qu'il est possible de réaliser. L'objectif dans ce cas est strictement économique, voire financier. Les paramètres biotechniques une fois maîtrisés, il s'agit de produire du poisson à un coût aussi faible que possible. Il apparaît à présent que la plupart des opérations de ce type ont échoué, par rapport à l'objectif visé : les prix de revient restent largement supérieurs aux prix du marché. De façon plus structurelle, cette option industrielle, au moins pour le moment, semble mal correspondre aux formes d'organisation qui prévalent dans le tissu socio-économique en raison de l'intensité capitalistique élevée qu'elle requiert. Le fait que l'on privatise ces unités

peut laisser croire à une certaine rentabilité de celles-ci. En réalité, l'opacité des comptes d'exploitation et la multiplication des subventions ne permettent pas d'en juger réellement (Anon., 1987 ; Lazard, 1987) et la privatisation consiste dans la plupart des cas en un simple désengagement institutionnel, mais non économique, de l'Etat. En outre, cette pisciculture industrielle risque de concurrencer le développement d'unités artisanales ou de petites et moyennes entreprises de production aquacole. Son développement doit donc être réalisé avec une grande prudence et nécessite une rigueur toute particulière lors de l'identification des projets (et notamment de la faisabilité économique).

Par contre, une ferme industrielle pourrait également constituer le moteur d'une dynamique de développement en participant, par exemple, à la réalisation de recherches ou à l'entretien d'un secteur amont (intrants, formation, etc.) sur lequel pourraient s'appuyer des spéculations aquacoles articulées selon d'autres logiques.

De l'expérimentation à l'exploitation ; des exploitants formés et organisés

Sur le plan biotechnique, un certain nombre de systèmes d'élevage (étangs, cages, enclos, raceways, etc.) de quelques espèces autochtones (tilapias, Siluriformes : *Clarias*, *Chrysichthys*, etc.) ou introduites (carpe commune principalement) ont été mis au point en station de recherche et validés en vraie grandeur dans le cadre de projets pilotes de recherche-développement. L'Afrique possède une gamme d'espèces d'intérêt aquacole démontré ou potentiel (Hem et coll., 1994) tout à fait satisfaisant qui justifie la poursuite et l'amplification des travaux de recherche en cours, de même qu'une meilleure connaissance et valorisation de ses ressources génétiques. Mais sur le plan économique, micro-économique notamment,

peu de données sont disponibles concernant l'activité piscicole en dehors d'opérations pilotes. Le caractère expérimental de celles-ci limite la reproductibilité et l'extrapolation des résultats du fait de leur niveau d'échelle, de la densité de l'encadrement et de la spécificité des multiples aides (subventions, crédit, etc.). Quoiqu'il en soit, il apparaît que les opérations de développement de la pisciculture à mettre en oeuvre devraient viser en priorité la rentabilité des exploitations elles-mêmes avant celle des projets qui les ont promues et qui les appuient.

Actuellement, il semble que ce soit sur la pisciculture artisanale ou entrepreneuriale que se fondent les meilleurs espoirs. En effet, elle permet à la fois d'être un outil de production et un outil de développement (Lazard, 1975 et 1977). Si le modèle périurbain a déjà fait ses preuves, un modèle performant utilisant des intrants autres que ceux déjà identifiés de l'agro-industrie reste à mettre au point (composts, association avec l'élevage, implantation d'acacias, polyculture). Le contexte actuel de crise de l'agriculture africaine, qui renforce la nécessité de diversification, permet d'espérer une réponse beaucoup plus rapide des populations concernées dès qu'un modèle piscicole "rural" performant aura fait ses preuves. Dans ce cadre, il faut prendre garde, à la lumière des expériences passées, au fait que le niveau d'intensification n'est pas obligatoirement lié au niveau de technicité des aquaculteurs.^a

Technicité, professionnalisme et organisation des pisciculteurs africains : là semble se situer la clé de l'avenir de la pisciculture sur le continent. Dans ce contexte, un cer-

tain nombre d'actions menées jusqu'à présent sans véritable objectif social, c'est-à-dire sans avoir défini avec précision le type de population à promouvoir, pourront prendre une autre signification et voir une efficacité accrue. Parmi celles-ci, figure en tête la formation car elle conditionne une élévation rapide de la productivité. Les populations cibles des futurs projets devront être sélectionnées avec soin en fonction des objectifs techniques, sociaux, économiques qu'ils s'assignent et du modèle de pisciculture retenu (Koffi, 1992). L'effort de formation devra porter en priorité sur les pisciculteurs et viser, en matière d'encadrement beaucoup plus la qualité que la quantité, contrairement à ce qui a été fait jusqu'à présent dans la plupart des opérations de développement. A la formation strictement biotechnique, il conviendra d'associer une formation dans le domaine de la gestion au sens large (gestion de l'exploitation agricole dans son ensemble, comptes d'exploitation, comptes de trésorerie, etc.). La formation dans ce domaine, cependant, a souvent été un leurre avancé par de nombreux projets, soit pour obtenir une prolongation, soit pour masquer une politique de développement erronée, telle que par exemple la généralisation de l'utilisation d'un aliment composé coûteux ou le recours systématique à des alevins en station d'alevinage dont le coût de production est élevé (Galbreath et Ziehi, 1992). La pisciculture doit en effet s'intégrer à l'environnement de la population cible : elle doit donc être en mesure de mieux valoriser les facteurs de production existants tels que le foncier, l'eau, la main-d'oeuvre, les intrants, etc. L'organisation de la production avec notamment l'émergence d'associations professionnelles adaptées à ce nouveau secteur d'activité devra constituer une priorité.

Ces organisations professionnelles, outre leur rôle de "groupe de pression" pour la défense des intérêts de leurs adhérents, devront progressivement prendre en charge elles-mêmes la formation et la diffusion

^aIl peut s'avérer plus difficile de gérer un élevage qualifié de "semi-intensif" basé sur l'utilisation d'effluents d'élevage, de composts, etc., requérant un "sens" de l'élevage, qu'une pisciculture qualifiée d'intensive ayant recours à des sous-produits agricoles de composition connue pour lesquels on dispose de tables d'alimentation testées qu'il suffit d'appliquer à la lettre.

technique. Si (ou lorsque) un modèle technique fait ses preuves, le premier rôle des organisations professionnelles, formelles ou informelles, sera d'assurer l'extension quantitative du modèle (nombre de pisciculteurs, d'étangs, etc.) ce qui lui confèrera une dimension sociale. Aujourd'hui, ces organisations devraient avoir pour premier objectif une reproduction aussi "spontanée" que possible du modèle, c'est-à-dire avec un minimum d'interventions de l'Etat : c'est à ce prix qu'un modèle piscicole s'appuiera réellement sur une dynamique paysanne.

A technicité et professionnalisme des pisciculteurs, devra correspondre la qualité scientifique et technique de la recherche, c'est-à-dire des chercheurs formés au plus haut niveau et, plus encore, à une grande rigueur par la recherche, pouvant travailler dans un environnement scientifique stimulant. Cet objectif passe sans doute momentanément par un certain couplage avec les chercheurs et laboratoires du Nord et la constitution, au Sud, de masses critiques de chercheurs et de moyens, à rechercher dans un premier temps sur des bases régionales, transnationales.

En même temps que le professionnalisme et la technicité, le métier de pisciculteur doit prendre une dimension sociale dont les acteurs pourront alors définir eux-mêmes leurs propres contraintes.

Maîtriser l'espace aquacole (le foncier), emprunter pour produire, produire pour vendre

Maîtriser les problèmes fonciers

Le problème foncier se pose évidemment différemment selon le système d'élevage retenu, par exemple, selon qu'il implique l'appropriation de bas-fonds ou de surfaces lagunaires ou lacustres. D'une manière générale dans ce domaine comme dans d'autres, il apparaît que les responsables des opérations de développement simplifient

le problème de la maîtrise et de l'usage du foncier.

L'analyse de la conception des projets indique que les responsables, tout en niant les problèmes de l'accès au foncier, calquent explicitement ou implicitement des conceptions juridiques étrangères aux sociétés concernées. En particulier, en Afrique francophone, ils peuvent même s'appuyer sur une législation qui affirme la propriété de l'Etat sur les espaces aquatiques, en inadéquation avec les pratiques foncières. Or, dans certains cas, il peut exister une pratique traditionnelle de la maîtrise et de l'usage des surfaces terrestres ou aquatiques (lagunes, fleuves, bas-fonds, estuaires, etc.). Ne pas prendre en compte ces pratiques traditionnelles peut aboutir à de sérieux conflits : rappelons que dans les sociétés paysannes ou de pêcheurs, tant la maîtrise que la tenure de la terre ou des espaces aquatiques reflètent des liens de dépendance traditionnels, subordonnés à des rapports classiques ou lignagers et à des rapports sociaux entre individus d'un même lignage ou de lignages différents.

En définitive, il est indispensable que les opérations de développement de l'aquaculture intègrent des investigations préalables relatives à la maîtrise et à l'usage des surfaces terrestres ou aquatiques concernées. Pour le maître ou l'usager de ces espaces, le choix d'allouer ou non ceux-ci, se fait en fonction du coût d'opportunité de cette ressource. Des négociations préalables avec les aquaculteurs potentiels, mais également avec les autorités de tutelle traditionnelles (démarche qui s'oppose à une allocation autoritaire de la part des autorités administratives) devraient permettre de réduire les risques d'émergence de conflits susceptibles d'entraver les opérations d'aquaculture en cours de développement.

Emprunter pour produire

En règle générale, en Afrique, la situation actuelle dans le domaine du crédit est

caractérisée par la crise des grandes structures officielles de financement agricole. Par conséquent, il est préférable que ce soit les projets qui gèrent eux-mêmes les opérations relatives au crédit, car l'expérience passée indique que cette solution induit un meilleur suivi et des coûts de gestion financière inférieurs. Évidemment, à partir d'un certain volume d'opérations, le volet crédit ne peut être mis en place que par des organismes spécialisés : dans ce cas, en tirant la leçon des expériences passées, il est nécessaire que les modalités du crédit aient fait l'objet de négociations avec les aquaculteurs potentiels, et qu'il n'y ait pas de confusion entre crédits d'investissement et de fonctionnement de manière à pouvoir suivre correctement la rentabilité des exploitations.

Le système de financement non institutionnel est à même de participer à la mise en place d'opérations de développement aquacole. Ces crédits traditionnels non institutionnels sont adaptés au cycle de production aquacole dans la mesure où ils tendent à atténuer, de par leur flexibilité, le caractère risqué et heurté de cette activité, et à équilibrer sur l'année le cycle production-consommation. En effet, intégrés à un système socio-économique caractérisé par une forte personnalisation des rapports sociaux à travers des relations lignagères, ethniques ou villageoises, les prêteurs informels consentent des prêts moyennant un préavis très court, exigent peu de garanties et tendent à placer peu de restrictions sur la façon d'utiliser les fonds. Tenir compte de ces possibilités de financement non institutionnel nécessite des enquêtes préalables suivant une méthodologie adaptée et déjà testée ; cette prise en compte serait le signe d'une intégration des projets aquacoles aux systèmes socio-économiques sur lesquels ils interviennent.

Produire pour vendre

Une constante apparaît en Afrique subsaharienne pour l'ensemble des pays

considérés : le tilapia d'aquaculture qui peut être assimilé aux tilapias pêchés dans les eaux continentales est un poisson relativement cher, dès que l'on quitte les zones immédiates de production, mais répond à une demande spécifique du consommateur africain qui valorise fortement le poisson d'origine "continentale".

Cependant, la situation du marché pour le tilapia d'aquaculture varie selon les pays ou les régions africaines subsahariennes : un essai de typologie conduit à retenir trois situations caractérisées chacune par un état du marché et donc des potentialités du tilapia d'aquaculture par rapport à ces marchés.

- La première situation est celle qui a cours dans les pays et régions où il y a une demande très forte en protéines animales sous l'effet d'une forte pression démographique et d'une concentration urbaine ou périurbaine importante, mais également où il existe une catégorie d'acheteurs au pouvoir d'achat relativement élevé. Dans ces pays (Côte d'Ivoire, Nigéria, Togo, Bénin, Congo), si la demande populaire en poisson est satisfaite par un recours massif aux importations à bas prix, il existe une forte demande en poisson "continental" satisfaite quasi-exclusivement par la pêche en eau douce ou saumâtre, au vu des quantités généralement négligeables offertes par l'aquaculture (Weigel, 1989). Potentiellement, le tilapia d'aquaculture pourrait utiliser ce créneau du poisson continental dans la mesure où il reste compétitif avec le poisson issu de la pêche et où il ne modifie pas radicalement les quantités offertes.

- La deuxième situation est celle qui a cours dans les pays qui sont de gros producteurs par rapport à leur propre demande et donc où, globalement, l'offre est supérieure à la demande sans recours massif aux importations. Qu'il s'agisse d'une production marine ou continentale, le prix du poisson est moins élevé que dans le cas précédent mais la demande est soutenue à cause d'habitudes alimentaires anciennes et généralisées. Dans ces pays, tels que le

Ghana, le Sénégal, le Mali et le Tchad, l'aquaculture a du mal à être compétitive avec le poisson de pêche. Cependant, la généralisation de situations de surexploitation alliée à une demande potentielle importante liée aux habitudes alimentaires, laisse entrevoir dans le futur des potentialités pour une aquaculture dont les coûts de production seraient maîtrisés avec beaucoup de rigueur.

• La troisième situation est celle des zones faiblement consommatrices de poisson dont la cause peut être une faible production non compensée par des importations massives, un faible pouvoir d'achat ou bien un rejet du poisson comme habitude alimentaire. Des pays comme le Burkina Faso, le Niger, la RCA, le Rwanda, le Burundi ou Madagascar, connaissent à titre divers, cette situation. Dans ces conditions, le marché potentiel pour le tilapia d'aquaculture est forcément restreint, d'autant plus que la faiblesse du pouvoir d'achat correspond fréquemment à un tissu économique très lâche qui augmente les coûts de la production aquacole (manque de résidus agro-industriels, nécessité d'importer le matériel, etc.).

Dans cette situation, il est difficile pour l'aquaculture du tilapia d'émerger comme secteur de production ayant sa dynamique propre sur une grande échelle. Par contre, une alternative est d'encourager des actions piscicoles dans le cadre de projets de développement agricole ou d'élevage ; celle-ci a comme avantage de garantir la fourniture des intrants nécessaires qui sont ainsi valorisés, mais également de réduire les coûts d'infrastructure ou de fonctionnement piscicoles.

De manière à rester compétitif avec le poisson de la pêche traditionnelle, il est nécessaire de réduire les coûts et les marges unitaires de commercialisation. Cette contrainte implique soit de raccourcir la filière, soit de jouer sur des économies d'échelle, soit les deux. Ces options commerciales sont évidemment très liées aux systèmes de production en vigueur. Ainsi, une pro-

duction aquacole de faible quantité et décentralisée aura intérêt à se rapprocher le plus possible des lieux de consommation (par exemple, la pisciculture périurbaine) ; une production aquacole importante et centralisée pourra jouer sur des économies d'échelle en créant une structure de commercialisation performante.

Conclusion

Il apparaît donc aujourd'hui difficile de justifier sur de seuls critères financiers la mise en oeuvre d'opérations de développement de la pisciculture sur le continent africain en dehors de situations particulièrement favorables. D'autres paramètres doivent être pris en considération tels que la rémunération de la journée de travail (en termes de coût d'opportunité, par exemple), la valorisation du foncier, de l'eau, des intrants, etc.

Il s'agit donc, en l'état actuel des choses, d'un investissement pour l'avenir dont on imagine mal qu'il se fasse sans aquaculture compte tenu de la stagnation de la production halieutique (et même de sa diminution pour certains milieux continentaux) et de l'augmentation de la demande. Ce "pari" semble d'autant plus "jouable" que les nombreux travaux de recherche et de recherche-développement menés avec une intensité croissante depuis 15 ans commencent à porter leurs fruits. Par ailleurs, le poisson importé à bon marché en grandes quantités par certains pays déficitaires ne restera peut-être pas longtemps encore à ce prix du fait, notamment, des changements de système économique intervenus dans les pays de l'Est (principaux fournisseurs actuels de poisson de mer des pays africains), de l'incidence des coûts d'énergie (pêche, transports, etc.) et de la dévaluation du franc CFA en 1994.

Dans cette optique, la pisciculture peut constituer, à terme, un outil de régulation de la production de ressources aquatiques

vivantes par rapport à un environnement qui a montré son caractère fluctuant. Par son existence même et son développement, la pisciculture amène à s'interroger sur un certain nombre de raisonnements économiques concernant l'utilisation du milieu aquatique et l'exploitation extensive de ses ressources piscicoles (notamment dans la perspective de la fixation d'une valeur à l'eau, au foncier, à la pollution, etc.). En outre, la pisciculture devrait faire l'objet d'une analyse comparative avec les autres productions animales en termes, par exemple, de valorisation des sous-produits agricoles et de qualité des protéines produites. La pisciculture doit dès à présent être considérée comme un des éléments des systèmes de production agricole.

Dès aujourd'hui, la mise en place de projets de développement de la pisciculture productifs mettant en oeuvre des techniques d'élevage éprouvées et intégrées dans un contexte socio-économique favorable peut être envisagée. Parallèlement, et plus globalement, le développement de l'aquaculture sur le continent africain nécessitera, encore pour un certain temps, la réalisation de travaux de développement expérimental, voire de recherche au sens strict dans certains domaines. Dans ce dernier cas, il ne faudra pas craindre d'afficher clairement ces priorités vis-à-vis de tous les opérateurs et partenaires concernés qui pourraient souhaiter déboucher trop précipitamment sur des projets productifs.^b

Cette dimension expérimentale ne doit pas empêcher de préparer le délicat exercice du passage à l'après-projet. L'expérience l'a démontré, il n'y a pas encore d'exemple réussi d'après-projet dans le domaine de la pisciculture en Afrique. La préparation et la mise en oeuvre de cette phase dont

dépendra le décollage de cette nouvelle activité doivent nécessairement associer, à parts égales, ses quatre principaux acteurs : les administrations nationales (d'une façon générale les "tutelles" des projets et les agents qui en relèvent directement), les populations cibles (les pisciculteurs et les différents intervenants de la filière piscicole : fabricants d'aliments, producteurs d'alevins, etc.), les opérateurs (bureaux d'étude, assistance technique, etc.) et les bailleurs de fonds.

Par ailleurs, dans l'état actuel des choses en Afrique, il ne faut pas craindre de bannir le mot "pisciculture" du vocabulaire de certaines régions où les contraintes liées à son implantation et à son développement (sites, concurrence du poisson provenant de la pêche, populations cibles, etc.) rendent sa rentabilité à peu près inaccessible.

Ainsi, le rôle des bailleurs de fonds quels qu'ils soient (agences internationales, fonds de coopération, ONG, banques de développement, etc.) et des administrations nationales paraît déterminant pour donner un second souffle à l'aquaculture africaine.

Les premiers doivent s'attacher les compétences nécessaires assorties d'objectivité, lors de l'élaboration des projets de développement aquacoles par une analyse détaillée de toutes leurs composantes : objectifs du projet, données biotechniques disponibles, identification des populations cibles, évaluation du marché, commercialisation, disponibilité en sites pour l'implantation des infrastructures d'élevage, prospective sur l'après-projet, etc. Une fois cette identification approfondie du projet effectuée, les bailleurs de fonds devraient faire en sorte que le projet devienne rapidement opérationnel. Et ce en dehors de tout contexte de surenchère tant entre bailleurs de fonds qu'entre opérateurs par une mise en compétition excessive de ces derniers, mais moyennant un travail de suivi-évaluation rigoureux et, si nécessaire, de réorientations en cours de projet.

^bLa plupart des projets de développement de la pisciculture en Afrique se révèlent, en effet, *a posteriori*, avoir servi en fait de justificatif plus ou moins avoué à de la recherche soit au sein même du projet, soit sous forme de recherches d'accompagnement.

Dans cet esprit, l'évaluation des projets devrait privilégier le critère qualitatif plutôt que le critère quantitatif : l'inscription du projet dans une politique globale de développement rural, sa reproductibilité et sa viabilité dans l'"après-projet" devraient plus compter que le tonnage produit ou que le nombre d'opérations de développement aquacole en cours. Cela n'est actuellement que rarement le cas.

Les administrations africaines, quant à elles, devraient favoriser cette tendance en assouplissant leurs procédures administratives mais aussi en renforçant leur participation technique au sens le plus large et leur capacité de proposition lors de l'élaboration et de la mise en oeuvre de ces projets. Celles-ci doivent donc être plus constructives et plus impliquées. Elles doivent par ailleurs désormais admettre que la pisciculture est une activité de production relevant à la fois de l'agriculture et de l'élevage, voire dans certains cas de l'industrie et non une action s'inscrivant dans un simple contexte de conservation des ressources naturelles, généralement et traditionnellement du ressort des Services des Eaux et Forêts. Par essence, une administration n'a pour vocation ni de produire, ni de vendre : elle a donc tout intérêt à demeurer en dehors de ces processus et à adopter une attitude bienveillante, au mieux de catalyseur vis-à-vis de toutes les initiatives privées même lorsque celles-ci remettent en cause ce qu'elle considérait comme faisant partie de ses prérogatives.

Dans cette optique, l'administration ne doit pas se substituer aux agents économiques impliqués dans l'activité aquacole mais les conforter par :

- la définition d'une politique sectorielle aquacole, articulée sur la politique agricole, en matière de fiscalité, de subventions, de crédit, de régime foncier, de politique des prix, de commercialisation, de promotion des associations professionnelles, etc. ; et
- la mise en oeuvre de cette politique par les différentes actions d'accompagnement

nécessaires : statistiques de production, formation, recherche, suivi des opérations, contrôle, etc.

Dans le contexte actuel, la privatisation, souci croissant des Etats dans un objectif de désengagement, et des bailleurs de fonds, doit reprendre son vrai sens. Ce n'est pas seulement en transférant les charges de l'Etat à une société privée (anonyme, d'économie mixte, etc.), avant d'avoir fait la preuve de sa rentabilité, que l'on intègre la pisciculture à l'économie de marché. Privatisation signifie également :

- l'articulation de l'activité piscicole à développer avec tous les opérateurs privés existants : fabriques d'aliments, entrepreneurs, paysans, pêcheurs, etc. ;
- la création d'un environnement économique favorable au développement de tous les opérateurs impliqués dans la filière piscicole ;
- le désengagement de l'Etat de créneaux qui ont fait la preuve de leur rentabilité afin qu'il puisse jouer pleinement son rôle de moteur et de catalyseur de cette nouvelle activité en assurant des fonctions telles que la formation et la recherche, notamment ; et
- stimuler une dynamique de pisciculture paysanne qui constitue pour l'Etat le développement ayant le plus de potentialités ; pour cela, il faudra s'efforcer de ne proposer aux paysans que des unités de production aquacole s'intégrant réellement dans leur système de production.

Tous ces éléments, qui s'ajouteront aux éléments positifs déjà réunis, constituent autant de conditions de fond à remplir pour assurer enfin l'essor de l'aquaculture africaine.

Littérature citée

- Anon. 1987. Projet pilote de développement de l'aquaculture lagunaire. Bilan des travaux 1985-1986. 1 : Rapport général. 2 : Annexes. Ministère de la Production animale, Direction des Pêches, Abidjan : 100 p. et 3 annexes.
- Bérubé, M. 1992. Une expérience de coopérative

- piscicole en République centrafricaine, p. 370-381. In G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC-MR308 ef. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada.
- Copin, Y. et M. Oswald. 1988. La pisciculture semi-intensive de tilapia devient une réalité sociale et économique. Une démonstration concrète en Côte d'Ivoire. *Aquarevue* 17:15-21.
- Depelchin, J. et A. Depelchin. 1984. G.V.C. de Nambekaha. Rapport des Commissaires aux comptes sur le premier cycle de production (de 1982 à janvier 1984). Korhogo, Côte d'Ivoire. 18 p. multigr.
- FAO. 1984. La pisciculture, c'est l'affaire de tous. Ministère du Développement rural de Côte d'Ivoire. Développement de la Pisciculture en milieu rural.
- FAO. 1987. Thematic evaluation of aquaculture. Joint study by UNDP-Norwegian Min. of Dev. Coop.-FAO, Rome. 85 p. + 9 annexes.
- FAO. 1990. Aquaculture minutes. Inland Water Resources and Aquaculture Service (FIRI), FAO, Rome.
- FAO. 1991. Aquaculture production (1986-1989). FAO Fish. Circ. (815). Rev. 3, 141 p.
- Freud, C. 1988. Quelle coopération ? Un bilan de l'aide au développement. Editions Karthala, Paris. 270 p.
- Galbreath, P.F. et A.D. Ziehi. 1992. Pratique de l'élevage monosexé de *Tilapia nilotica* en milieu rural en Côte d'Ivoire, p. 337-356. In G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC-MR308 ef. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada.
- Hem, S., M. Legendre, L. Trebaol, A. Cissé, Z. Otémé et Y. Moreau. 1994. L'aquaculture lagunaire, p. 455-505. In J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral et S.G.F. Zabi (éds.) Environnement et ressources aquatiques de la Côte d'Ivoire. Tome 2 - Les milieux lagunaires. Editions ORSTOM. Paris, France. 543 p.
- Koffi, C. 1992. Aspects économiques de la production piscicole en étang : l'expérience de la pisciculture rurale au centre-ouest et au centre de la Côte d'Ivoire, p. 49-63. In G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC-MR308 ef. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada.
- Lazard, J. 1975 et 1977. Etude des ressources disponibles pour le développement de la production piscicole continentale et lagunaire (Côte d'Ivoire). CTFT Nogent-sur-Marne - 1ère partie : 220 p. - 2ème partie : 203 p. multigr.
- Lazard, J. 1987. Projet aquaculture de Banfora (Burkina Faso). Bilan diagnostique. Propositions de relance. CTFT Nogent-sur-Marne. 55 p.
- Lazard, J., Y. Lecomte, B. Stomal et J.Y. Weigel. 1991. Pisciculture en Afrique subsaharienne. Situation et projets dans des pays francophones. Propositions d'action. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, France. 155 p.
- Morissens, P., P. Roche et C. Aglinglo. 1986. La pisciculture intensive en enclos dans les grandes lagunes du Sud-Est Bénin, p. 47-66. In J. Lazard, P. Morissens, P. Parrel, C. Aglinglo, I. Ali et P. Roche (éds.) Méthodes artisanales d'aquaculture du tilapia en Afrique. CTFT-CIRAD, Nogent-sur-Marne, France.
- Parrel, P., I. Ali et J. Lazard. 1986. Le développement de l'aquaculture au Niger : un exemple d'élevage de tilapia en zone sahélienne, p. 23-46. In J. Lazard, P. Morissens, P. Parrel, C. Aglinglo, I. Ali et P. Roche (éds.) Méthodes artisanales d'aquaculture du tilapia en Afrique. CTFT-CIRAD, Nogent-sur-Marne, France.
- Pisani, E. 1988. Pour l'Afrique. Editions Odile JACOB, Paris. 252 p.
- Satia, B. 1989. A regional survey of the aquaculture sector in Africa south of the Sahara. ADCP/REP/89/36, 60 p. FAO, Rome.
- Satia, B.P., P.N. Satia et A. Amin. 1992. Large scale reconnaissance survey of socioeconomic conditions of fish farmers and aquaculture practices in the west and northwest provinces of Cameroon, p. 64-90. In G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC-MR308 ef. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada.
- Weigel, J.Y. 1989. La commercialisation du poisson en pays lagunaire ivoirien. Editions ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Paris. 138 p.

B. COMMUNICATIONS

SESSION I. SYSTEMES D'EXPLOITATION, AMENAGEMENT ET PRODUCTION

Croissance comparée de *Oreochromis niloticus* et *Sarotherodon galilaeus* dans les petits lacs artificiels du Burkina Faso ; comparaison avec les grands lacs d'Afrique

E. BAIJOT*

I. BARRY

S. BOUDA

K.H. KABORE

A.C. TRAORE

Projet "Valorisation du potentiel halieutique au Burkina Faso"

B.P. 1625 Ouagadougou, Burkina Faso

BAIJOT, E., I. BARRY, S. BOUDA, K.H. KABORE et A.C. TRAORE. 1996. Croissance comparée de *Oreochromis niloticus* et *Sarotherodon galilaeus* dans les petits lacs artificiels du Burkina Faso ; comparaison avec les grands lacs d'Afrique, p. 29-33. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La croissance de *Sarotherodon galilaeus* et de *Oreochromis niloticus*, espèces dominantes dans les petites retenues artificielles au Burkina Faso, a été évaluée au moyen d'une lecture d'écaillés et d'une analyse des fréquences de tailles. L'application de l'indice de croissance $\phi' = \log(K) + 2 \cdot \log(L_{\infty})$ de D. Pauly et J.L. Munro (1984) révèle que le potentiel de croissance des deux espèces est similaire et que leur croissance est inférieure à celle enregistrée dans d'autres milieux de plus grand volume en Afrique. Les implications écologiques de ces résultats sont analysées et discutées.

Introduction

Le Burkina Faso dispose d'environ 350 lacs artificiels de surface comprise entre 10 et 1.500 ha, tous caractérisés par les fortes variations de superficie entre la crue et l'étiage. Créés à partir des années 40, essentiellement pour l'approvisionnement en eau, ces lacs sont l'objet, depuis 15 ans, d'une exploitation piscicole que l'on cherche à rationaliser dans le cadre du

projet "Valorisation du potentiel halieutique au Burkina Faso". Ces retenues sont peuplées naturellement de plusieurs espèces dont *Oreochromis niloticus* et *Sarotherodon galilaeus*. L'attention des responsables du projet a été très vite attirée par les petites tailles maximales observables chez ces populations de tilapia. C'est pourquoi le présent travail a été entrepris. Les buts ont été :

- l'estimation de la croissance et de la longévité de ces populations ; et
- la comparaison des résultats obtenus avec les informations similaires disponibles ailleurs en Afrique.

*Adresse actuelle : 5, rue Saint Urbain, 6851 Nolleaux, Belgique.

Matériel et méthodes

L'étude a eu lieu dans les lacs répertoriés sur le tableau 1. Ces retenues ont été choisies car elles sont faciles d'accès et sont représentatives de l'éventail des superficies des plans d'eau du Burkina Faso.

La croissance a été déterminée soit par le dénombrement des annuli sur les écailles selon les techniques habituelles (Merona et coll., 1988) soit par l'analyse des histogrammes de fréquences de longueur selon la méthode de Pauly et David (1981). Les échantillons utilisés proviennent de pêches expérimentales à la senne de plage pratiquées pendant l'étiage.

La relation âge-longueur a été ajustée selon l'équation de von Bertalanffy (1957) :

$$L(t) = L_{\infty} (1 - \exp(-K (t-t_0))) \quad \dots 1$$

Dans laquelle :

$L(t)$ est la longueur à l'âge t ;

L_{∞} est la longueur asymptotique, atteinte à un âge infini ;

K est le coefficient de croissance mesurant la vitesse à laquelle la courbe se rapproche de son asymptote ; et

t_0 est l'abscisse du point d'intersection avec l'axe des âges pour lequel $L(t) = 0$.

L'ajustement a été fait selon la méthode de Gaschütz et coll. (1980) résumée par Pauly (1982). Les longueurs sont des longueurs totales en cm.

La comparaison de croissance linéaire entre plusieurs populations de poissons ne peut être faite en se référant uniquement à K ou L_{∞} : ces deux paramètres doivent être considérés simultanément. Pauly (1979) puis Pauly et Munro (1984) ont développé un indice qui considère ces deux paramètres. Celui-ci est à présent souvent utilisé et prend la forme :

$$\phi' = \log(K) + 2 \cdot \log(L_{\infty}) \quad \dots 2$$

qui a d'ailleurs été employée pour la première fois chez les tilapias par Moreau et coll. (1986). C'est cet indice qui a servi dans la présente étude.

Tableau 1. Caractéristiques générales des lacs artificiels considérés.

Lac	Année	Surfaces (ha)		T (°C)		Peuplement (Observations)
		Min	Max	Min	Max	
Boromo	1978	100	300	18	32	<i>Sarotherodon galilaeus</i> (dominant souches d'arbres)
Boulmigou	1948	3	45	18	34	<i>Oreochromis niloticus</i> (dominant eaux troubles)
Kokolo	-	2	20	19	35	Idem
Manga	1962	10	90	18	33	<i>S. galilaeus</i> (dominant eaux troubles)
Ramitenga	1985	3	25	18	35	Idem
Sourou	1985	2.000	10.000	20	32	<i>S. galilaeus</i> et <i>O. niloticus</i> (cohabitant).
Tanguiga	1984	2	30	19	35	<i>O. niloticus</i> (dominant empoissonnements)
Tapoa	1950	300	800	18	30	<i>O. niloticus</i> (dominant végétaux aquatiques abondants)

Les clés âge-longueur issues des lectures d'écaillés ainsi que les distributions de fréquences de longueur ayant été traitées par la méthode de Pauly et David (1981) sont toutes disponibles auprès des auteurs.

Résultats

Les tableaux 2 et 3 appellent les remarques suivantes :

Au Burkina Faso, les valeurs moyennes de ϕ' (2,14 et 2,15) sont les mêmes pour les deux espèces. Les valeurs individuelles sont comprises dans les

deux cas entre les mêmes limites (1,90 et 2,32):

Les valeurs observées de ϕ' sont plus faibles que dans les autres milieux africains cités par Moreau et coll. (1986) (cf. Tableau 3): Il faut remarquer que dans le reste de l'Afrique subsaharienne, les deux espèces ont, tout comme au Burkina Faso, les mêmes performances de croissance.

La croissance faible de *S. galilaeus* et *O. niloticus* au Burkina Faso peut s'expliquer de différentes façons :

Les milieux considérés sont relativement pauvres et subissent des conditions écologiques sévères pendant les

Tableau 2. Paramètres de croissance et indices ϕ' chez *Oreochromis niloticus* et *Sarotherodon galilaeus* des lacs artificiels du Burkina Faso.

LAC	L_{∞} (cm ; LT)	K (an ⁻¹)	ϕ'	Méthodologie
<i>O. niloticus</i>				
Sourou	22	0,7	2,53	ADFT* (ELEFAN I)
Tapoa	36	0,39	2,32	ADFT (ELEFAN I)
Ramitenga	18,22	0,58	2,28	Scalimétrie
Boromo	21,3	0,522	2,37	Scalimétrie
Tanguiga	17,6	0,462	2,16	Scalimétrie
Boulmigou	23,7	0,286	2,21	Scalimétrie
Kokolo	23,3	0,196	2,03	Scalimétrie
			2,33	
<i>S. galilaeus</i>				
Sourou	30	0,36	2,51	ADFT (ELEFAN I)
Tapoa	30	0,38	2,53	ADFT (ELEFAN I)
Ramitenga	17,36	0,448	2,13	Scalimétrie
Boromo	36,2	0,222	2,46	Scalimétrie
Tanguiga	17,8	0,52	2,22	Scalimétrie
Manga	20,0	0,21	1,92	Scalimétrie
			2,30	

*ADFT : Analyse des distributions de fréquences de tailles.

Source : Baijot et coll., 1994.

Tableau 3. Comparaison des performances de croissance de *Oreochromis niloticus* et *Sarotherodon galilaeus* au Burkina Faso et ailleurs en Afrique.

Espèces	Burkina Faso			Afrique		
	ϕ' min	ϕ' moyen	ϕ' max	ϕ' min	ϕ' moyen	ϕ' max
<i>O. niloticus</i>	2,03	2,33	2,7	2,41	2,65	3,11
<i>S. galilaeus</i>	1,92	2,3	2,53	2,33	2,65	3,04

étiages (turbidité élevée, déficit en oxygène dissous) principalement lorsqu'ils sont de petite superficie. On peut noter que c'est dans les lacs Taoua et Sourou, qui sont les plus grands lacs et où, simultanément, la quantité des eaux est supérieure, que la croissance est maximale. Deux explications, sans être mutuellement exclusives, sont offertes :

- ces populations, génétiquement isolées depuis plusieurs années et confinées dans des milieux de faible volume, subissent une dégénérescence par consanguinité et l'on se trouverait en présence de formes de nanisme ; et
- les petites tailles sont dues à un stress que suscitent les conditions hostiles du milieu (Pauly, 1979).

Ces deux hypothèses sont compatibles avec les petites tailles de première maturité observées (Pauly, 1984).

Il n'est pas possible de faire ici la part relative des deux phénomènes. On peut simplement noter que dans les rivières situées en zone forestière soudanienne, en Sierra Leone, sans plaines d'inondation attenante, Payne et McCarton (1985) ont aussi relevé des croissances très faibles des tilapias autochtones. Ceci plaide en faveur de problèmes écologiques pour les tilapias du Burkina Faso.

Discussion

Deux points d'ordre méthodologique doivent être discutés :

1. Le premier est la validité des lectures d'écaillés. Les annuli étaient le plus souvent nettement marqués et correspondent à un arrêt de croissance par an comme c'est le cas en zone sahélienne (Merona et coll., 1988). Toutefois, chez quelques populations, on a pu noter la présence d'annuli doubles analogues à ceux signalés chez

certaines populations du lac Tchad (Merona et coll., 1988). Ces annuli sont sans doute dus à l'arrêt de croissance normal survenant pendant les basses températures (décembre à février) suivi d'un arrêt surnuméraire lié aux conditions écologiques de l'étiage (mai, juin). Les tilapias, planctonophages, se trouvent dans des eaux très troubles où la photosynthèse est pratiquement interrompue et où leur nourriture vient à manquer.

2. Certaines valeurs de L_{∞} sont élevées et nettement supérieures à la longueur maximale observable chez les poissons en question. Cela peut venir de la faible longévité. Sauf au lac Tapoa, il est impossible de disposer d'individus de plus de quatre ans pour lesquels la croissance en longueur se ralentit significativement, permettant des évaluations de L_{∞} conformes aux données observées. Les mortalités massives des poissons âgés peuvent être dues à la pêche pratiquée intensivement dans l'ensemble des retenues.

En conclusion, on observera que dans les retenues du Burkina Faso, la croissance des tilapias est faible, par comparaison avec ce que l'on en connaît ailleurs en Afrique. La raison majeure semble être d'origine écologique. Toutefois, un phénomène de nanisme d'origine génétique n'est pas à écarter.

Remerciements

Les auteurs remercient J. Moreau (INP de Toulouse, France) pour son aide dans l'élaboration du manuscrit de la présente communication.

Littérature citée

- Baijot, E., J. Moreau et S. Bouda. 1994. Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahélienne. Centre technique de coopération agricole et

- urale, Ede, Bruxelles et Commission des communautés européennes. 250 p.
- Bertalanffy, L. von, 1957. Quantitative laws of metabolism and growth. *Q. Rev. Biol.* 32: 217-231.
- Gaschütz, G., D. Pauly et N. David. 1980. A versatile BASIC program for fitting weight and seasonally oscillating length growth data. ICES CM 1980/D:6 Statistics Committee. 23 p.
- Merona, B. de, T. Hecht et J. Moreau. 1988. La croissance des poissons d'eau douce africains, p. 191-219. *In* C. Levêque, M.N. Burton et G.W. Ssentongo (éds.) *Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains*. Trav. Doc. ORSTOM. 508 p. Publ. ORSTOM, Paris, France.
- Moreau, J., C. Bambino et D. Pauly. 1986. Indices of overall performance of 100 tilapia (Cichlidae) populations, p. 201-206. *In* J.L. Maclean, L.B. Dizon et L.V. Hosillos (éds.) *The First Asian Fisheries Society Forum*. Asian Fisheries Society, Manille, Philippines.
- Pauly, D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. *Ber. Inst. Meereskd. Christian-Albrechts-Univ. Kiel.* (63), XV + 156 p.
- Pauly, D. 1982. Studying single species dynamics in a tropical multispecific context, p. 33-70. *In* D. Pauly et G.I. Murphy (éds.) *Theory of management of tropical fisheries*. ICLARM Conf. Proc. 9, 360 p.
- Pauly, D. 1984. A mechanism for the juvenile-to-adult transition in fishes. *J. Cons. CIEM* 41: 280-284.
- Pauly, D et N. David. 1981. ELEFAN 1: a basic program for an objective extraction of the growth parameters from length frequency data. *Meeresforschung* 28:205-211.
- Pauly, D. et J. Munro. 1984. Once more on growth comparisons in fish and invertebrates. *Fishbyte* 2(1):21.
- Payne, A.I. et B. MacCarton. 1985. Tilapia ecology in rivers in Sierra Leone. *J. Fish Biol. Spec. Issue*.

L'aquaculture extensive (acadja-enclos) : son insertion dans le contexte villageois lagunaire en Côte d'Ivoire

J.R. DURAND*

*Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM)
213, rue Lafayette, 75480 Paris Cédex 10, France*

S. HEM^b

*Centre de recherches océanologiques (CRO)
BP. V 18, Abidjan, Côte d'Ivoire*

DURAND, J.R. et S. HEM. 1996. L'aquaculture extensive (acadja-enclos) : son insertion dans le contexte villageois lagunaire en Côte d'Ivoire, 34-43 p. *In* R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc.* 41. 630 p.

Résumé

La production par la pêche de 150 à 200 kg·ha⁻¹·an⁻¹ dans les lagunes côtières de l'Afrique de l'Ouest ne répond pas à la demande locale, accentuée par la pression démographique de grandes villes qui se développent aux alentours de ces lagunes. La lagune Ebrié en Côte d'Ivoire sous l'effet du développement de la ville d'Abidjan en est un exemple. Face à cette nouvelle situation, l'objectif d'une production accrue sur les mêmes unités de surface lagunaire, suscite de plus en plus d'intérêt. L'acadja-enclos et l'aquaculture en enclos lagunaire sont deux exemples de cette évolution.

Alors que l'aquaculture en enclos, basée sur l'élevage de Siluriformes, est du type intensif et fait plutôt appel à l'investissement privé, la conception des acadja-enclos fait appel à un mode d'exploitation extensif et à un mode d'insertion plus complexe dont le développement doit passer par des communautés villageoises.

Nous évoquons successivement les problèmes liés à la compétition éventuelle avec l'exploitation des stocks naturels par la pêche (espace et ressources), à l'introduction dans des communautés villageoises et à la rentabilité économique.

Introduction

L'insertion d'une nouvelle méthode de production se répercute sur l'ensemble du système d'exploitation. A partir de l'exemple des acadjas béninois, nous présentons ici les perspectives ivoiriennes. Celles-ci se posent dans des termes assez différents des lagunes béninoises, tant au niveau de l'environnement global qu'à celui des

transformations techniques. Néanmoins, les problèmes centraux demeurent en termes de compétition avec l'exploitation halieutique et d'appropriation d'espace aquatique (Durand et Verdeaux, 1991 ; Verdeaux, 1994).

Vers l'aquaculture

Les ressources vivantes aquatiques naturelles sont potentiellement des ressources renouvelables dont l'importance et les taux de renouvellement dépendent de l'efficacité des transformations successives au sein des diverses chaînes trophiques conduisant à la production terminale. Ceci implique qu'elles

*Adresse actuelle : ORSTOM, Kemang Indah Kav L2, Jl. Kemang Selatan 1/2, Djakarta 12730, Indonésie.

^bAdresse actuelle : ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cédex 1, France.

sont variables (en fonction de leur degré d'exploitation). Cette variabilité est modelée à la fois par des facteurs intrinsèques (compétition d'espèces, succès de la reproduction) et la variabilité climatique. Cette combinaison introduit divers ordres de variabilité, tant à l'échelle saisonnière qu'à l'échelle interannuelle. La production terminale est donc elle aussi fluctuante et *a fortiori* les captures liées à un système d'exploitation complexe.

Les milieux lagunaires du nord du Golfe de Guinée sont parmi les plus productifs de la planète et l'on peut situer de 150 à 200 kg par hectare le rendement annuel moyen des pêches dans des conditions optimales. Cependant, tant les besoins en protéines animales que la difficulté de contrôle de l'exploitation ont généralement conduit à des pressions excessives sur les stocks et à des conflits fréquents entre pêcheries. D'où la logique de la démarche vers l'élevage aquatique qui devrait théoriquement permettre de s'affranchir des conditions naturelles ou de les minimiser tout en apportant une production supplémentaire nouvelle.

Ce n'est pas le lieu ici de souligner qu'un engouement irraisonné pour l'aquaculture a conduit à bien des déceptions. Cette analyse est faite par ailleurs dans le cadre de ce symposium en ce qui concerne l'Afrique (cf. en particulier Lazard et coll., 1990 ; Lazard, même volume) et notre propos n'est pas de dénier toute perspective de développement. Bien au contraire, nous plaçons ici pour l'adaptation de techniques pouvant permettre le démarrage de l'aquaculture extensive en lagune. Or, il est clair que tout nouveau projet doit tenir compte de l'analyse des échecs antérieurs dont les principales causes sont :

- le manque de connaissance de base ;
- l'absence de réflexion sur le long terme ;

- la faiblesse des analyses économiques ; et

- la sous-estimation des aspects socio-culturels.

Enfin, il n'est peut-être pas inutile de préciser le type d'aquaculture qui nous intéresse ici. En effet, si la notion d'élevage est claire quand il s'agit de mises en oeuvre très productives et très contrôlées, il n'en est pas nécessairement de même pour l'extensif où il subsiste une certaine dépendance vis-à-vis de l'environnement naturel. On peut proposer la définition générale suivante : on peut parler d'aquaculture dès qu'une modification orientée des conditions naturelles induit une augmentation de la productivité. Une telle définition s'applique bien au cas des "acadjas".

Acadjas et enclos

Acadjas et enclos ont en commun d'être implantés dans les milieux naturels, sur des fonds meubles peu profonds. Les enclos ne sont pas d'origine autochtone et dérivent de traditions du sud-est asiatique (Hem, 1982). Installés sur les hauts-fonds ou le long des rives, ils consistent en filets de petites mailles (14 mm) de fabrication industrielle tendus sur des piquets enfoncés dans les sédiments. L'enclos peut être utilisé seul, comme par exemple pour l'élevage semi-intensif de Siluriformes (*Heterobranchus longifilis*, *Chrysichthys nigrodigitatus* : Hem et coll., 1994) ; il peut aussi être combiné avec l'acadja (Hem et Avit, même volume).

Le terme d'"acadja" est d'origine Goun (Ouémé) d'après Pliya (1980) et recouvre une grande variété de mises en oeuvre dont le principe consiste à planter dans des fonds meubles de 1 m à 1,5 m des branchages dont la nature, la densité et l'extension déterminent le type. Avec des variantes, le principe est retrouvé dans de nombreuses régions de la planète (Kapetsky, 1981) ; c'est cependant au

Bénin qu'il a connu son plus grand développement : 245 ha dans le lac Ahémé en 1969 (Pliya, 1980). C'est là une forme originale de "récif artificiel" qui offre un refuge contre la prédation, peut jouer un rôle dans la reproduction de certaines espèces et surtout intervient pour l'alimentation. En effet, les bois morts concourent à une augmentation de la productivité naturelle en permettant le développement spontané et rapide de périphyton tant animal que végétal, apprécié par des espèces brouteuses, tout particulièrement de certains Cichlidae.

L'exploitation des acadjas dans les lacs et lagunes côtières au Bénin a suscité beaucoup d'intérêt de la part des scientifiques et des développeurs au cours des 30 dernières années (Buffe, 1958 ; Péliissier, 1963 ; CTFT, 1965 ; Hurault, 1965 ; FAO/UNDP, 1971 ; Bourgoignie, 1972). Il faut accorder une place particulière aux travaux de Welcomme (1971, 1972) qui a tenté une approche halieutique du mode d'exploitation ainsi qu'à Pliya (1980) pour sa description approfondie de l'exploitation dans les eaux du sud-ouest du Bénin ainsi que de la crise des "acadjas".

On insistera ci-après sur les origines socio-économiques des conflits associés à l'exploitation d'acadjas mais on ne peut non plus négliger les éventuelles conséquences pour l'environnement (Rabier et coll., 1979 ; Tixier et coll., 1979). En effet, la rapidité du comblement des lagunes par sédimentation des matériaux d'érosion est étroitement liée à :

- d'une part, la présence des amas de branchages implantés dans l'eau freinant les écoulements et favorisant ainsi la sédimentation des matériaux en suspension ; et
- d'autre part et surtout, à l'absence de couverture végétale pour les bassins versants qui favorise leur érosion. L'exploitation des branchages (matière

première pour construire les acadjas) a entraîné la déforestation de la zone environnante.

La destruction trop rapide des branchages joue aussi son rôle (70 % doivent être remplacés annuellement, ce qui représente, selon Welcomme [1972], environ une trentaine de tonnes par ha et par an) ; il s'agit d'une énorme décharge organique qui peut polluer le milieu.

Milieux naturels et systèmes d'exploitation

"La pêche, pour exister, nécessite la réunion d'au moins trois ensembles : des pêcheries, des poissons et des commerçants [...] Chacun de ces trois ensembles agit sur les deux autres [...] directement ou indirectement" (Quensière, 1990). Pour un milieu donné, l'exploitation des ressources aquatiques vivantes par la pêche constitue donc un système. Toute modification d'un élément du système peut retentir sur l'ensemble. Une nouvelle méthode de production a donc, directement ou indirectement, des répercussions car elle induit des modifications du partage et/ou de l'accès aux ressources. Plus généralement, on peut dire que ce qui est en cause c'est le rapport du milieu, autrement dit, la "combinaison des représentations, rapports de force et enjeux sociaux [...] (qui) [...] induisent règles et pratiques d'utilisation dudit milieu" (Verdeaux, 1986).

Dès qu'il s'agit de milieux ou les enjeux sont importants : productivité élevée, exploitation ancienne et demande forte, c'est-à-dire le cas général en Afrique de l'Ouest, l'absence de prise en compte des répercussions potentielles conduit souvent à des conflits : on peut en fournir plusieurs illustrations pour les milieux littoraux du Golfe de Guinée (Durand et Verdeaux, 1991).

En lagune Ebrié (Verdeaux, 1981 ; 1986), l'invention et l'adoption par certains villages riverains d'une petite senne de rivage spécialisée sur une espèce entraîne des divergences d'interprétation quant à ses lieux possibles d'utilisation. Les villages pratiquant la pêche à l'aide d'engins passifs refusent de les accepter sur les fonds qu'ils exploitent. Les conflits intercommunautaires qui s'ensuivent amènent l'administration à intervenir. Celle-ci obtient des villages concernés qu'ils fixent les limites territoriales à l'intérieur desquelles chaque village sera désormais libre de pratiquer les techniques de son choix. L'ancien mode d'exploitation qui voyait alterner les techniques selon les saisons sur l'ensemble de la lagune est désormais éclaté en autant de sous-systèmes qu'il y a de villages.

Rappelons aussi pour mémoire la crise majeure intervenue il y a une dizaine d'années. D'abord acceptées et limitées à certaines régions lagunaires, les sennes de rivage eurent un tel impact sur la ressource qu'elles furent totalement interdites sous la pression des pêcheurs individuels autochtones (Ecoutin et coll., 1994).

Dans le lac Ahémé (Pliya, 1980), les acadjas introduits par le service des pêches remportèrent un vif succès auprès d'une partie des populations riveraines mais aussi d'intervenants extérieurs attirés par l'importance de la rente qu'ils procuraient. Les autres pêcheurs s'opposèrent à cette technique en alléguant que la multiplication des acadjas réduisait la disponibilité du poisson en eau libre. L'impossibilité tant pour les autorités locales que pour les pouvoirs publics d'endiguer le phénomène et de maîtriser les conflits qu'ils occasionnèrent, amena l'Etat à faire arracher par la force les branchages et à interdire l'usage jusqu'à nouvel ordre, laissant l'exploitation du lac aux seules

techniques classiques. Un processus analogue conduisit à la même interdiction au lac Togo en 1975 (Weigel et coll., 1989).

En lagune Abi (Charles-Dominique, 1988 ; Verdeaux, 1989), l'introduction des sennes tournantes menée par le service des pêches, une banque de développement et un organisme d'encadrement rural s'inscrit dans un contexte de compétition entre deux catégories sociales : les propriétaires de sennes de plage d'une part et, les producteurs directs associés autour du filet "syndicat" d'autre part. Ces derniers, en voie de marginalisation, saisissent l'opportunité des plans de financement qui leur sont offerts pour acquérir ces unités plus performantes que leurs anciens filets. Le nombre de ces unités croît rapidement ; la production atteint plus de 10.000 tonnes en 1979-1980 puis s'effondre à moins de 1.000 tonnes l'année suivante, contraignant les autorités à fermer momentanément la pêche.

Toutes les innovations remettent en cause, chacune selon une combinaison particulière, les conditions d'accès au milieu.

C'est avec ces exemples à l'esprit qu'il faut considérer les perspectives d'insertion des acadjas dans les lagunes ivoiriennes. L'innovation proposée ne sera pas sans conséquences sur le système d'exploitation et, pour réussir, elle doit être acceptée par les acteurs : pêcheurs et villageois riverains. On peut analyser les problèmes posés en termes de compétition potentielle d'une part sur la ressource, d'autre part sur l'espace.

Compétition sur la ressource

Si l'installation d'enclos sur les hauts-fonds lagunaires pose le problème de l'appropriation de l'espace, on peut estimer en revanche que ses effets sur

la ressource sont très marginaux. Ils se limitent en effet au passage d'alevins (Cichlidae très prédominants) au travers des mailles du filet (de 14 mm de côté). Plus que d'un prélèvement sur les stocks, il s'agit plutôt d'une gêne pour l'aquaculture classique, soit qu'il y ait pullulation et donc à terme croissance ralentie sinon nanisme, soit qu'il y ait présence d'espèces indésirées.

L'implantation d'acadjas "classiques" se poserait dans des termes très différents puisque le mode de fonctionnement de l'acadja dépend de son âge. On peut donc distinguer trois phases :

- Tout d'abord, c'est l'effet de *refuge* qui prévaut et à ce stade, l'acadja jeune se comporte comme un simple piège. La capture précoce des poissons constitue bien alors une compétition avec les autres pêches artisanales s'exerçant en eaux libres. Ce premier peuplement de l'acadja correspond en effet à une biomasse produite dans les eaux libres de la lagune. Notons ici que le peuplement de l'acadja est d'emblée très particulier. Dans les régions mixohalines près d'Abidjan, c'est *Lutjanus goreensis* qui prédomine (Hem et Avit, 1991 ; A. Bert, comm. pers.) ; dans les eaux oligohalines, c'est *Sarotherodon melanotheron* avec 70 à 90 % de la biomasse, observation faite aussi bien en lagune Ebrié (Hem et Avit, 1991) que dans le lac Nokoué (Welcomme, 1972).

- Dans un deuxième temps, l'acadja joue un rôle de récif artificiel, les branchages voient s'installer algues, protistes et zooplancton associés dont les poissons se nourrissent. Cette augmentation considérable de la productivité naturelle bénéficie alors à l'ensemble du système.

- Enfin, la reproduction et la croissance aidant, le peuplement de l'acadja atteint une biomasse équilibrée par rapport au volume offert et à ses capacités trophiques, et l'on peut imaginer qu'il

y ait exportation de l'acadja vers les eaux libres et les pêcheries qui les exploitent.

Il semble donc que deux éléments soient à retenir en ce qui concerne la compétition entre acadjas et autres techniques artisanales de pêche :

- le peuplement des acadjas est nettement différent de celui des eaux libres : l'éventuelle compétition ne s'exerce donc que pour les espèces susceptibles de coloniser l'acadja ; et
- pour ces dernières, la compétition dépend du mode d'exploitation. Si les acadjas sont visités très fréquemment (tous les deux à trois mois, par exemple), ils doivent fonctionner comme des pièges et les poissons capturés auraient pu l'être par des techniques classiques. En revanche, si le rythme d'exploitation est plus lent, c'est la production propre (reproduction, croissance) qui l'emporte et les captures ne doivent plus rien aux peuplements extérieurs.

On peut donc avancer que, sous réserve d'un espacement suffisant des pêches, les acadjas engendrent une productivité supplémentaire et ne gênent en rien, du point de vue de la ressource, les autres pêcheries artisanales. Il est même probable que les rendements de celles-ci puissent augmenter avec l'exportation depuis les acadjas d'une partie de cette production nouvelle. Notons aussi que les rendements des acadjas sont sans commune mesure avec ceux des pêcheries d'eaux libres puisque Welcomme (1972) cite des rendements de $2-9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, en fonction de la densité des branchages, de la taille des acadjas et de la périodicité des pêches. Pour le lac Ahemé, en 1969, les 35 hectares d'acadjas avaient un rendement moyen de $5-6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$.

Pourtant, alors que la production globale augmentait sans que pour autant les pêcheurs traditionnels en pâtissent, des conflits se développèrent très

rapidement à cause d'une dégradation des conditions d'implantation des acadjas : "l'excellence technique des acadjas allait échouer faute d'un encadrement valable, faute d'une rigoureuse organisation administrative et d'une connaissance suffisante du milieu sociologique..." (Pliya, 1980).

Appropriation de l'espace

Permanence de l'appropriation

Sous les deux formes envisagées, acadjas et enclos, les techniques aquacoles monopolisent en permanence des portions d'espace, y interdisant de faire l'exercice d'autres activités. Aux surfaces occupées s'ajoutent, dans le cas des acadjas, des interdits de proximité pour la pêche. Les fonds propices à leur implantation étant inégalement répartis, le risque d'y voir se concentrer l'activité y est d'autant plus grand que l'accès au milieu est plus libre. Le cas du lac Ahémé en est une illustration puisqu'en fin d'expérience, des secteurs entiers y étaient interdits à la pêche. Ces appropriations permanentes d'espace ne peuvent aller sans susciter des conflits si elles ne sont pas régies par des principes collectivement admis, dont le respect soit assuré par une autorité localement reconnue. La complémentarité théorique entre pêche et aquaculture extensive s'est muée, dans le cas béninois, en opposition conflictuelle en raison principalement de la transformation du lac en front pionnier, conquérant et confisquant le milieu (espace et ressource) au profit d'un ensemble socialement hétéroclite échappant à tout contrôle. Le détournement technique de l'acadja en simple piège à poisson en est une autre manifestation : si les autorités traditionnelles ne parviennent

pas à canaliser et à limiter l'expansion spatiale du phénomène, le service des pêches n'est pas plus en mesure de faire respecter les normes d'exploitation qu'il a fixées. De façon plus générale, l'appropriation permanente d'espace aquatique par une technique exclusive constitue une dérogation aux pratiques les plus répandues de l'activité halieutique. Les justifications fournies et les précautions prises lorsque c'est malgré tout le cas dans les modes d'exploitation anciens (ou encore actuels), montrent combien ces formes d'utilisation du milieu ont toujours été considérées comme dangereuses socialement, et devant par conséquent être étroitement codifiées.

Des espaces stratégiques

Le type d'espace utilisé par l'aquaculture, les hauts-fonds, peut, comme dans le cas des lagunes ivoiriennes, être affecté d'une forte charge symbolique (Verdeaux, 1981 ; 1986). Même s'ils semblent dans l'immédiat inutilisés ou banalisés, ils ont fait l'objet d'appropriation collective pour la mise en oeuvre des pêcheries-barrages, constructions qui concrétisaient l'ensemble du système de relations sociales. Les hauts-fonds sont à l'origine du choix d'implantation des villages selon les traditions d'installation. Portant chacun un nom propre, ils sont inclus dans les territoires aquatiques communautaires et ne sont libres d'accès que pour des engins de pêche mobiles.

La réintroduction d'appropriation permanente de ce type d'espace pour des formes d'aquaculture, quelles qu'elles soient, ne peut donc manquer de susciter des réactions. Il serait en particulier difficilement concevable que des intervenants extérieurs puissent se voir attribuer ces emplacements sans passer par l'accord préalable des

responsables familiaux et villageois. Le précédent des eaux territoriales villageoises en lagune Ebrié qui incluent les emplacements de pêcheries (et les hauts-fonds) autrefois exploités par les ressortissants du village, permet au moins de circonscrire les risques de contestation à chacun des établissements humains. Encore faut-il qu'à l'intérieur de ceux-ci, personne ne soit lésé et que certains y trouvent un intérêt. Faute de chercher en priorité quelle place ces nouvelles techniques peuvent occuper à l'intérieur des systèmes sociaux locaux (et la situation peut varier d'un village à l'autre), les projets de vulgarisation de techniques aquacoles s'exposent à des réactions difficilement maîtrisables.

De l'appropriation à la privatisation

Enfin, l'implantation de formes d'aquaculture en milieu naturel transforme le statut des espaces ainsi utilisés. En les rapprochant de celui de la terre en agriculture, elles leur confèrent une valeur marchande et tendent par conséquent à la privatisation de cet espace. Si un hectare de lagune représente désormais, en tant que support de production, une possibilité de produire "n" tonnes de poisson en se livrant à l'élevage, il devient possible d'établir la valeur de cet hectare dont la productivité et la rentabilité ne dépendent que de la gestion de l'exploitant et non plus de l'intensité globale de l'exploitation comme pour la pêche.

Or, en marge brute, un hectare d'enclos équivaut à plusieurs dizaines d'hectares de palmiers par exemple (Lirola, 1986), et la comparaison vaut aussi pour les acadjas. En dehors de toute considération sur le mode d'exploitation du milieu, ces techniques, à des degrés divers, risquent donc de créer des enjeux sociaux aux conséquences imprévisibles.

Dans un contexte de saturation foncière agricole par exemple, elles peuvent apparaître comme un palliatif au manque de terre, et donner lieu, de la part d'acteurs inattendus, à des stratégies d'occupation de l'espace lagunaire.

Discussion

A considérer les difficultés rencontrées dans le contexte béninois et l'analyse des causes de conflits survenus, on pourrait être tenté de porter un diagnostic très pessimiste sur l'exportation de la technique des acadjas à d'autres contextes africains. Il n'en est rien en fait si l'on tient compte des spécificités respectives des milieux littoraux béninois et ivoiriens.

En ce qui concerne les effets sur l'environnement, plusieurs inconvénients majeurs ont été soulignés pour le Bénin : déforestation, accélération du comblement et pollution organique. Aucun de ces problèmes ne devrait se poser en Côte d'Ivoire. Le contexte hydro-climatique permet le maintien d'un couvert végétal dense et luxuriant (précipitations annuelles de l'ordre de 2.000 mm sur le littoral) et l'utilisation du bois n'impliquerait pas un risque d'érosion et d'apports sédimentaires accrus aux lagunes. En outre, il est proposé de substituer le bambou au bois, ce qui offre de multiples avantages (Hem et Avit, 1991), et en particulier minimise l'apport de matière organique. Il faut aussi considérer que les lagunes ivoiriennes sont beaucoup plus vastes et profondes (5 m en moyenne pour la lagune Ebrié). Même en supposant que l'ensemble des hauts-fonds et des zones littorales propices soit couvert d'acadjas dans les régions oligohalines occidentales, seules vraiment favorables, cela ne présenterait encore que 1 à 2 % de la superficie totale. La compétition

pour la ressource avec les pêches artisanales n'est pas non plus une objection rationnelle : du fait de la composition spécifique des captures, il ne porte pas significativement atteinte aux autres formes d'exploitation. De plus, globalement, son usage augmente la production totale. Il n'en reste pas moins que l'appropriation permanente et visible d'une partie du terroir lagunaire peut être mal ressentie par des pêcheurs qui seraient exclus des acadjas. Enfin, l'analyse en vraie grandeur de la faisabilité technique et de la rentabilité économique de l'acadja-enclos dans diverses hypothèses de mise en oeuvre montre des résultats très encourageants (Hem et Avit, 1991).

C'est donc dans le domaine socio-culturel que réside l'inconnue majeure. Dans l'hypothèse où l'aquaculture prendrait une place importante dans le domaine lagunaire, les deux effets potentiellement les plus déstabilisants seraient le déplacement des enjeux et le transfert de l'exploitation à de nouvelles catégories d'intervenants. La question centrale demeure celle de la place que peuvent occuper ces méthodes dans les systèmes sociaux de production. Le clivage qui peut s'opérer entre pêcheurs et aquaculteurs entraînerait la formation de deux catégories inégalement placées dans le système d'exploitation et d'appropriation du milieu. Cette situation présenterait des analogies avec celle qui a prévalu, dans le domaine halieutique, sur les lagunes ivoiriennes. L'opposition entre producteurs directs et propriétaires de sennes s'est traduite tantôt par des conflits, tantôt, on l'a vu, par un accroissement d'activité suivi de surexploitation. Par contre, la pérennité de l'appropriation spatiale ainsi que de la rente procurée par ces deux formes d'aquaculture (enclos, acadja) les apparenterait davantage à l'économie

de plantation, laquelle, relevant d'un système extensif, atteint, dans ces régions, la saturation foncière. Les acadjas pourraient, dans ce contexte, jouer le rôle de prolongement lagunaire, voire de substitut d'autant plus opportun à ces productions que leurs cours sur le marché mondial sont sujets à des fluctuations à la baisse. Il reste cependant à savoir dans quelle mesure un apport important de poissons d'élevage sur le marché intérieur modifierait les prix à la production.

Conclusion

La conception d'un nouveau mode de production pour les lagunes ivoiriennes est le fruit d'approches comparatives et multidisciplinaires portant sur l'environnement, les ressources et les sociétés. Elle tient compte des leçons apportées par les échecs fréquents de projets aquacoles et les conflits liés à l'exploitation des ressources aquatiques. Elle s'inspire enfin d'une certaine conception de l'élevage avec une priorité à l'extensif et à la minimisation des intrants, d'où priorité aux espèces autochtones et à l'implantation dans le milieu naturel. Ces réflexions nous ont conduit à formuler trois types de recommandations :

- vérifier les performances des acadjas tant sur le plan biologique que sur le plan économique en adaptant le mode d'exploitation (combinaison ou non avec enclos, formes et tailles des acadjas, matériaux, etc.) ;
- procéder à l'analyse anthropohistorique des transformations du rapport des sociétés au milieu : représentations et appropriations de l'espace, place de l'activité halieutique dans les systèmes de production, etc. ; et
- cartographie écologique des sites physiquement propices, complétée d'un

inventaire de leurs utilisations et utilisateurs éventuels.

Quels que soient les modes de production aquacoles adoptés, il reste aussi à savoir, au-delà de la satisfaction immédiate des besoins locaux, comment le marché réagira à des apports de poissons d'élevage : attitude des consommateurs, constitution des prix et capacité de commercialisation.

L'insertion de ce nouveau mode de production réclame donc, sur le long terme, des efforts de recherche et de développement non négligeables. Mais nous pensons que la technique des acadjas, adaptée et transformée, peut constituer une activité nouvelle appropriée au contexte lagunaire qui, en s'ajoutant aux techniques traditionnelles de pêche, permettra une meilleure gestion des espèces avec une production accrue et mieux contrôlée.

Littérature citée

- Bourgoignie, G.E. 1972. Les hommes de l'eau : ethnologie du Dahomey lacustre. Editions universitaires. Paris. 391 p.
- Buffe, J. 1958. Les pêcheries en branchages "acadja" des lagunes du Bas-Dahomey. Bois For. Trop. 59:19-24.
- Charles-Dominique, E. 1988. La pêche artisanale en lagune Aby, Côte d'Ivoire. Statistiques de pêche 1982-1987. ORSTOM, Montpellier, France. 24 p. + annexes multigr.
- CTFT. 1965. Etude sur la pêche lagunaire (République du Dahomey). Rapport de synthèse 1962-1965, Centre technique forestier tropical, Nogent-sur-Marne, France. 33 p.
- Durand, J.R. et F. Verdeaux. 1991. Pêches artisanales et élevages aquatiques : complémentarités supposées et conflits potentiels, p. 871-879. In J.R. Durand, J. Lemoalle et J. Weber (éds.) La recherche face à la pêche artisanale. Symposium international du 3-7 juillet 1985, Montpellier, France. Colloques et Sémin. Vol. 2. ORSTOM, Paris, France.
- Écoutin, J.M., J.R. Durand, R. Lae et J.P. Hie Dare, XVI. 1994. L'exploitation des stocks, p. 399-444. In J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral et S.G. Zabi (éds.) Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. II. Les milieux lagunaires. ORSTOM, Paris. 546 p.
- FAO/UNDP. 1971. Rapport au gouvernement du Dahomey sur l'évolution de la pêche intérieure, son état actuel et ses possibilités. Rap. FAO/UNDP TA, 2938, 97 p.
- Hem, S. 1982. L'aquaculture en enclos : adoption en milieu lagunaire ivoirien. Aquaculture 27:261-272.
- Hem, S. et J.B. Avit. 1991. Acadja-enclos, étude et synthèse. Rapport final. Projet CRDI-Réf. n° 3-p86-0211. Avec illustrations. 94 p.
- Hem, S., M. Legendre, L. Tréabot, P. Cissé, Z. Otémé et Y. Moreau. 1994. p. 455-505. In J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral et S.G. Zabi (éds.) Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. II. Les milieux lagunaires. ORSTOM, Paris. 546 p.
- Hurault, J. 1965. Les pêcheries acadjas du lac Nokoué, Dahomey. Institut de géographie nationale, Paris, 9 p.
- Kapetsky, J.M. 1981. Some considerations for the management of coastal lagoons and estuarine fisheries. FAO Fish. Tech. Pap. 218, 47 p.
- Lazard, J., J.Y. Weigel, B. Stomal et B. Leconte. 1990. Bilan, orientation de la pisciculture en Afrique francophone subsaharienne. Ministère de la Coopération et du Développement. 205 p. multigr.
- Lirola, A. 1986. Etude socio-économique des populations cibles pour le développement de l'aquaculture lagunaire en Côte d'Ivoire. Centre de recherches océanologiques, Abidjan. 61 p. multigr.
- Pélissier, P. 1963. Le pays du Bas Ouémé : une région témoin du Dahomey méridional. Faculté des lettres et sciences humaines, Dakar. 173 p.
- Pliya, J. 1980. La pêche dans les eaux du sud-ouest du Bénin. Agence de coopération culturelle et technique, Paris, France. 296 p.
- Quensière, J. 1990. Systémique et pluridisciplinarité : l'exemple du programme d'étude de la pêche dans le delta intérieur du Niger, p. 475-492. In C. Mullon (éd.) Seminform 4 : le transfert d'échelle. Colloques et Sémin. ORSTOM, Paris, France.
- Rabier, J., A. Klingebiel et J. Lang. 1979. Etude sédimentologique de la lagune de Porto Novo (Bénin-Afrique de l'Ouest). Bull. Inst. Géol. Bass. Aquitaine 25:31-55.
- Tixier, H., C. Dossou et B. Colleuil. 1979. Etudes d'environnement lagunaire du domaine marginolittoral sud-bénois. Etude hydrologique préliminaire du lac Nokoué. Bull. Inst. Géol. Bass. Aquitaine, 25:149-166.
- Verdeaux, F. 1981. L'Aïzi pluriel chronique d'une ethnie lagunaire de Côte d'Ivoire. Paris. 303 p. Thèse de l'École des hautes études en sciences sociales.
- Verdeaux, F. 1986. Du pouvoir des génies au savoir scientifique. Les métamorphoses de la lagune

- Ebrié (Côte d'Ivoire). Cah. Etud. Afr. 101-102, 26(1-2):145-171.
- Verdeaux, F. 1989. Généalogie d'un phénomène de surexploitation, lagune Abi 1935-1982. Cah. Sci. Humaines, ORSTOM 25(1-2):191-211.
- Verdeaux, F. 1994. Le contexte sociologique, p. 367-398. In J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral et S.G. Zabi (éds.) Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. II. Les milieux lagunaires. ORSTOM, Paris. 546 p.
- Weigel, J.Y, R. Lae et S. Hem. 1989. Bilan préliminaire d'aménagement des pêches du système togolais. Ministère du Développement rural/COFAD GmbH. 111 p. + annexe.
- Welcomme, R.L. 1971. A description of certain indigenous fishing methods from Southern Dahomey. J. Afr. Trop. Hydrobiol. Fish. 12:128-140.
- Welcomme, R.L. 1972. An evaluation of the acadja method of fishing as practised in the coastal lagoons of Dahomey (West Africa). J. Fish Biol. 4:39-55.

Techniques d'élevage de tilapias aux Philippines : leur applicabilité dans le contexte africain

R.D. GUERRERO III

*Philippine Council for Aquatic and Marine
Research and Development
Los Baños, Laguna, Philippines*

GUERRERO, R.D. III. 1996. Techniques d'élevage de tilapias aux Philippines : leur applicabilité dans le contexte africain, p. 44-47. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Dans les années 1970, le gouvernement philippin et ses instituts de recherches ont mis au point des techniques très économiques de production de semences¹ et de contrôle de la reproduction des tilapias pour résoudre les problèmes d'approvisionnement en semences et les problèmes d'arrêt de croissance dus à la prolificité des tilapias élevés en étangs. Ces techniques ont ensuite été commercialisées par le secteur privé. L'Asie du Sud-Est et l'Afrique ayant de nombreux points communs sur les plans géographiques, économiques et culturels, l'adaptation, en Afrique, des techniques de production de semences et de contrôle de la reproduction développées aux Philippines, paraît possible. Dans la présente communication sont exposées des méthodes d'alevinage et d'inversion hormonale du sexe chez le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) que les petites exploitations peuvent mettre à profit ; leur applicabilité dans le contexte africain fait l'objet d'une discussion.

Introduction

Bien que l'on ait signalé l'élevage de tilapias dès 1924 au Kenya (Balarin et Hatton, 1979), un certain nombre de contraintes comme le manque de personnel formé aux techniques de vulgarisation et l'absence d'organisations spécialisées dans les pêcheries n'ont pas permis à l'aquaculture africaine de se développer au-delà d'une aquaculture de subsistance, à l'exception de quelques établissements industriels dans certains pays de ce continent. En 1988, la production aquacole en Afrique était estimée à 45.000 t, provenant essentiellement des élevages de tilapias en étangs d'eau douce (Balarin, 1988).

Les pays d'Asie du Sud-Est où la production de tilapias donne des rendements importants (comme aux Philippines par

exemple, Tableau 1) et les pays africains présentent de nombreux points communs sur les plans géographiques, climatiques, et économiques. En Asie du Sud-Est et en Afrique, la plupart des fermes piscicoles d'eau douce sont gérées par des petits exploitants sur des superficies inférieures à 2,5 ha de terre. Dans ces deux régions, la pisciculture est aussi étroitement liée ou intégrée à l'agriculture. Tant aux Philippines qu'en Afrique, le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) est le poisson le plus important en aquaculture d'eau douce (Guerrero, 1987 ; Balarin et Hatton, 1979).

Cet exposé présente certaines techniques d'élevage du tilapia pouvant être mises à profit en Afrique, et met l'accent sur l'élevage en étang d'eau douce. Puisse l'expérience Philippine aider à promouvoir l'élevage de tilapias en Afrique.

¹Tout au long de l'ouvrage, le terme anglais "seed" a été traduit par "semence" pour désigner oeufs, sperme et alevins. Le terme "frai" aurait peut-être été plus approprié.

Tableau 1. Répartition de la production de tilapias d'élevage aux Philippines en 1991 (Source : BFAR, 1992)

Système de production	Production (t)	% du total
Etangs d'eau douce	37.358	49
Etangs d'eau saumâtre	14.072	18
Cages (eaux continentales)	21.048	28
Enclos (lacs)	4.092	5
Total	76.046	100

Elevage des tilapias aux Philippines : techniques applicables à l'Afrique

Comme beaucoup d'autres pays pratiquant l'élevage du tilapia ou désirant développer cette activité, les Philippines ont dû faire face à deux contraintes majeures : le manque de semences de poisson et les problèmes d'arrêt de croissance chez les tilapias élevés en étang.

Dans la deuxième moitié des années 1970, des instituts philippins de recherches ont mis au point des techniques très économiques de production massive d'alevins et de fingerlings de tilapia du Nil que le secteur privé a ensuite considérablement développées en étang d'eau douce et en hapas dans les années 1980 (Escover et coll., 1987). Dans les années 1970 également, des chercheurs philippins se sont sérieusement penchés sur les problèmes de croissance et de prolificité des tilapias dans les étangs d'élevage. Ces études ont mis en évidence que la technique d'inversion sexuelle par traitement hormonal pour la production d'alevins de tilapias mâles à 95-98 % était la méthode la plus pratique et la plus économique pour accroître les rendements des récoltes de tilapias de taille marchande (Guerrero, 1979).

Techniques de production de semences

Il existe actuellement aux Philippines des milliers d'écloseries de tilapias d'eau douce gérées par le secteur privé. La plupart des écloseries sont des petites exploitations d'une superficie de 0,1 à 0,5 ha et la production de semences de tilapia (alevins et fingerlings) est le plus fréquemment réalisée en étangs de terre ou en enclos de type "hapas".

Les étangs de terre

Des étangs de terre de 200 à 400 m² sont creusés manuellement sur des sols argileux où l'approvisionnement en eau est abondant (par exemple dans les rizières irriguées). Ces étangs sont rectangulaires et ont une profondeur de 0,5 à 1 m.

Les étangs de terre sont fertilisés avec de la litière de poulailler à raison de 250 kg·ha⁻¹·semaine⁻¹ et empoissonnés à une densité de 4 géniteurs·m⁻². Les géniteurs pèsent 50 à 100 g chacun et le sexe ratio est de un mâle pour trois femelles. A cette densité de charge, l'aliment complémentaire est le son de riz distribué à raison de 5 % de la biomasse par jour.

Deux semaines après l'introduction des géniteurs, des bancs d'alevins, récoltés tous les matins, sont transférés dans des enclos ou cages en filets de type "hapas" et y sont stockés avant leur transfert dans des étangs de prégrossissement à une densité de 200 à 400·m⁻² fertilisés avec de la litière de poulailler. L'alimentation est à base de son de riz à raison de 10 % de la biomasse. Au bout de quatre semaines, les fingerlings sont récoltés par sennage et vidange des étangs de prégrossissement. Le taux de survie atteint généralement 60-80 %.

Cette méthode de production de semences de tilapia dans les petits étangs, souvent aménagés dans des rizières, est directement applicable dans les pays africains où les ressources en eau et sol sont similaires.

Production de semences dans des enclos de type "hapas"

Les hapas en filets à mailles très fines (cages en filets) constituent une méthode simple et efficace pour la production de semences de tilapia. Les hapas ont tout d'abord été introduits en Inde pour l'élevage de carpes mais leur application à la production de tilapias est une initiative philippine (Guerrero, 1977). Pour la production commerciale de semences de tilapia du Nil, des hapas de 1,5x1x1 m, 3x3x2 m et 12x4x2,5 m ont été employés. Ceux-ci sont fabriqués avec de filets à mailles très fines cousus à la machine avec du fil de nylon. Les hapas sont ensuite mis en place dans des étangs de terre ou dans des lacs peu profonds où ils sont attachés à des perches de bambou ou à des piquets enfoncés dans le sol. La partie supérieure de l'hapa (si celui-ci est couvert) doit se trouver à au moins 0,25 m au-dessus de la ligne de flottaison. Pour les hapas découverts, un franc-bord de 0,5 m est nécessaire pour empêcher la fuite des poissons. La densité de charge des géniteurs généralement pratiquée dans les cages est de 4·m⁻² suivant un sexe ratio de un mâle pour trois femelles.

A l'empeisonnement, les géniteurs pèsent entre 60 et 80 g. Un aliment à base de son de riz (75 %) et de farine de poisson (25 %) est distribué deux fois par jour (matin et après-midi) à raison de 3 % de la biomasse. Le cycle de reproduction dans les cages dure en principe quatre semaines, comme dans les étangs. Chaque cycle est suivi par un intervalle d'au moins une semaine pendant laquelle les géniteurs, triés par sexe, sont préparés pour le cycle suivant. Ils sont remplacés quand leur poids atteint 250 à 350 g.

L'installation de caillebotis ou pontons en bois ou en bambou facilite la récolte des alevins et des fingerlings dans les hapas, soit à l'épuisette soit par le relevage des cages. La récolte quotidienne d'alevins, 10 à 12 jours après la mise en charge des géniteurs, produit plus d'alevins que les récoltes périodiques (c'est-à-dire tous les 15 jours) qui favorisent un cannibalisme plus important.

Des hapas d'alevinage, les alevins sont ensuite transférés dans des cages de prégrossissement à une densité de 1.000 alevins·m⁻² la première semaine, et un aliment riche en protéines (35 % de protéines brutes) leur est distribué quatre fois par jour à 2 heures d'intervalle à raison de 15 à 20 % de la biomasse. Dès la deuxième semaine, la densité est réduite à 500 alevins·m⁻² et le taux d'alimentation est abaissé à 12-15 % de la biomasse ; dans la troisième semaine, la densité est de 250 alevins·m⁻² et l'alimentation est fixée à 10-12 %.

Afin de réduire la mortalité due à la qualité médiocre de l'eau, les hapas sont nettoyés régulièrement ou remplacés. Le tri par classe de taille des fingerlings est nécessaire pour réduire le cannibalisme et assurer une croissance uniforme.

En Afrique, l'utilisation d'hapas pour la production d'alevins peut présenter des problèmes en raison des difficultés à se procurer des filets en polyéthylène à mailles très fines pour leur fabrication. Des moustiquaires usagées peuvent servir de

substitut dans la mesure où l'on utilise, pour des questions de résistance, du fil de nylon et non de coton. Récemment, les hapas d'alevinage et d'élevage de tilapias ont fait l'objet de travaux expérimentaux au Malawi par le Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (R.S.V. Pullin, comm. pers.).

Technique d'Inversion sexuelle par traitement hormonal

Afin de résoudre les problèmes d'arrêt de croissance et de prolifération des tilapias dans les étangs, diverses techniques, y compris le recours à des prédateurs, l'hybridation, le sexage manuel et l'inversion sexuelle par traitement hormonal, ont été mises en oeuvre aux Philippines. De ces techniques, la méthode d'inversion sexuelle s'est révélée la plus intéressante sur le plan commercial (Guerrero et Guerrero, 1988), et au moins quatre établissements piscicoles industriels dans le pays l'ont adoptée.

La manière la plus simple de produire des fingerlings de tilapia du Nil mâles à 99 % est de distribuer aux alevins sexuellement non différenciés un aliment contenant $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de 17α -méthyltestostérone (aliment à base d'hormones) dans les hapas pendant trois semaines. Ce traitement est facilement intégré à la période d'alevinage en utilisant les installations disponibles. Cette technique d'inversion hormonale dont le coût est très raisonnable peut être adoptée par les petits pisciculteurs dont les ressources sont limitées.

La mise en pratique de la technique d'inversion sexuelle par traitement hormonal dans les petites exploitations de tilapias aux Philippines a demandé beaucoup d'années d'expérimentations. La production d'alevins d'âge approprié et en quantité adéquate pour appliquer le traitement hormonal exige un système d'écloserie efficace.

L'accès aux aliments à base d'hormones par les petits exploitants a été rendu possible par le secteur privé.

Partout où les consommateurs africains ont une préférence pour les tilapias de grande taille (300 g par poisson ou plus), il est nécessaire de gérer les étangs d'élevage de tilapia du Nil de manière à contrôler leur prolifération. La technique d'inversion sexuelle peut être appliquée partout où les conditions le permettent.

Littérature citée

- Balarin, J.D. 1988. Development planning for tilapia farming in Africa, p. 531-538. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (eds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 628 p.
- Balarin, J.D. et J.P. Hatton. 1979. Tilapias: a guide to their biology and culture in Africa. University of Stirling, Scotland. 174 p.
- BFAR. 1992. 1991 Philippine fisheries profile. Bureau of Fisheries and Aquatic Resources. Department of Agriculture, Quezon City, Philippines.
- Escover, E.M., O.T. Salon et I.R. Smith. 1987. The economics of tilapia fingerling production and marketing in the Philippines. Aquacult. Fish. Manage. 18:1-13.
- Guerrero, R.D. III. 1977. Production of tilapia fry in floating net enclosures. FAO Aquacult. Bull. 8(3-4):4.
- Guerrero, R.D. III. 1979. Culture of male Tilapia *mossambica* produced through artificial sex-reversal, p. 166-168. In T.V.R. Pillay et W.A. Dill (éds.) Advances in aquaculture. Fishing News Books, Farnham, Surrey, R-U.
- Guerrero, R.D. III. 1987. Commercial production of tilapia in freshwater ponds and cages in the Philippines, p. 14-20. In R.D. Guerrero, D.L. de Guzman et C.M. Lantican (éds.) Proceedings of the First National Symposium and Workshop on Tilapia Farming. PCARRD Book Ser. No. 48, 68 p. Los Baños, Philippines.
- Guerrero, R.D. III et L.A. Guerrero. 1988. Feasibility of commercial production of sex-reversed Nile Tilapia fingerlings in the Philippines, p. 183-186. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.

L'acadja-enclos : un système d'exploitation piscicole extensive en Côte d'Ivoire

S. HEM*

*Institut français de recherche scientifique pour
le développement en coopération (ORSTOM)
Centre de recherches océanologiques (CRO)
BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire*

J.L.B. AVIT

*Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche
scientifique en Côte d'Ivoire (MESRS)
Centre de recherches océanologiques (CRO)
BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire*

HEM, S. et J.L.B. AVIT. 1996. L'acadja-enclos : un système d'exploitation piscicole extensive en Côte d'Ivoire, p. 48-55. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'acadja est une pêcherie traditionnelle largement pratiquée dans les lagunes côtières du Bénin. Son principe consiste à implanter, dans des eaux peu profondes, des fagots épais de bois et branchages, ces constructions ayant pour effet d'attirer des poissons sauvages en grands nombres. La production annuelle dans ces systèmes est très élevée, atteignant entre 7 et 20 t·ha⁻¹. Aménagé pour une période relativement courte (deux à trois mois), le dispositif fonctionne tout simplement comme un piège à poisson ou un dispositif d'agrégation. En revanche, si la récolte a lieu au bout d'une période plus longue (six à 12 mois), on parle alors d'un système de production (rétention, reproduction, propagation, alimentation naturelle et croissance). La présente communication explore l'acadja-enclos dans cette dernière fonction. L'expérience décrite ici a porté sur deux systèmes de production : un acadja-enclos (enclos avec acadja) et un enclos sans acadja qui a servi de témoin. Au bout de 12 mois, une biomasse équivalente à 8 t·ha⁻¹ a été récoltée dans l'acadja, soit une production huit fois plus élevée que dans l'enclos de contrôle. Parmi les 18 espèces de poissons récoltés, *Sarotherodon melanotheron* constituait 79 % de la biomasse. L'analyse de la population de poissons a révélé que des jeunes alevins se sont introduits dans l'acadja-enclos par les mailles des filets au début de l'expérience et s'y sont développés. Au niveau des facteurs de condition, aucune différence n'a été observée entre *S. melanotheron* vivant dans l'acadja-enclos et ceux vivant en eau libre. D'autres essais ont permis de montrer que les acadja-enclos utilisant le bambou comme substrat conviennent parfaitement comme système de production de poissons dans les régions rurales de Côte d'Ivoire. L'acadja-enclos est un système qui semble considérablement accroître la productivité des exploitations piscicoles lagunaires. Le même principe d'exploitation pourrait être appliqué en aquaculture extensive ou dans le cadre de certains programmes d'aménagement aquatique. La recherche doit toutefois poursuivre ses efforts pour comprendre les bases de cette productivité élevée.

Introduction

Les lagunes côtières, zone vaste et féconde, offrent de nombreuses possibilités de développement de l'aquaculture en Afrique de l'Ouest (Pauly, 1976), encore

que l'aquaculture lagunaire en eau saumâtre n'ait débuté que récemment. De nombreux projets piscicoles ont été proposés (Dada, 1976) mais la mise en oeuvre de ceux-ci n'a pas toujours suivi. En Côte d'Ivoire, l'aquaculture lagunaire expérimentale a démarré en 1978 avec un poisson-chat de l'espèce *Chrysichthys nigrodigitatus* (Hem, 1987). Toutefois, le coût d'alimentation des

*Adresse actuelle : ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cédex 1, France.

poissons (environ 50 % du coût de production) pose une réelle contrainte budgétaire aux éleveurs ruraux qui ne peuvent guère se permettre de se lancer dans ce type d'entreprise. Soucieux de mettre au point des systèmes d'exploitation piscicoles extensifs adaptés aux conditions rurales, le Centre de recherches océanologiques (CRO) d'Abidjan a mis en place un nouveau programme de recherche aquacole orienté sur le développement de systèmes de production simples sur le plan technique, ne nécessitant qu'un minimum d'intrants exogènes (énergie, granulés, etc.) et utilisant les ressources et la main-d'oeuvre locales.

L'acadja est une pêcherie traditionnelle largement pratiquée au Bénin (Afrique de l'Ouest). Habituellement aménagé en eau peu profonde (1 m de profondeur environ), un acadja est un "parc de branchages" qui attire les poissons. Bien que l'on rencontre ce type de pêcherie dans de nombreux pays (Kapetsky, 1981), le système est particulièrement bien conçu et largement développé dans les lagunes du Bénin (Welcomme, 1972). La haute productivité du système acadja (des récoltes de 4 à 20 t·ha⁻¹·an⁻¹ ont été relevées) est imputée à deux facteurs essentiels : (1) attraction et migration des poissons sauvages dans l'acadja, et (2) reproduction et croissance des poissons à l'intérieur du système (Fig. 1, I). Toutefois, la rapide expansion de ces systèmes dans les lagunes du Bénin est à l'origine de graves conflits sociaux (Pliya, 1980). Il s'agit, d'une part, de conflits entre les propriétaires d'acadjas et les pêcheurs lagunaires qui se plaignent de la disparition des poissons sauvages dans les acadjas (compétition au niveau des ressources naturelles), et d'autre part, de conflits entre les opérateurs d'acadjas et la navigation (compétition au niveau de l'espace lagunaire). En réponse à ce problème, l'aménagement d'acadjas a été interdit dans certaines régions, comme par exemple dans le lac Ahémé au Bénin et dans le lac Togo au Togo.

Notre recherche a donc été conçue de manière à éviter ce type de conflits et à convertir l'acadja en un système de production que nous avons appelé "acadja-enclos" (Fig. 1, II). Dans cet objectif, nous avons modifié l'acadja traditionnel en encerclant l'ensemble des matériaux et branchages avec des filets.

Matériel et méthodes

L'expérience a été réalisée à la Station de recherche aquacole de Layo dans la lagune Ebrié (eau saumâtre d'une salinité de 0-5 ‰). Trois enclos de 25x25 m entourés par des filets n° 210/60 (côté de maille=14 mm) ont été aménagés autour des dispositifs et fixés sur le fond sableux par une technique déjà utilisée pour les enclos à poissons-chat (Hem, 1982). Tous les poissons se trouvant dans les trois structures au début de l'expérience ont été retirés à l'aide d'une senne à mailles fines (côté de maille=8 mm). Le premier enclos a été aménagé sans aucun matériau à l'intérieur et a servi de structure de contrôle (Fig. 2). Dans le deuxième enclos, une aire de 100 m² entourée de bambous fixés dans la sable (Fig. 2, section AB) a été garnie de *Sclera* sp., sorte d'herbe aquatique flottante qui prolifère en bordure de la lagune. Cette plante aquatique constitue un des habitats naturels de *Sarotherodon melanotheron*, colonisateur principal des acadjas. L'expérience était conçue pour explorer d'autres sources et sortes de substrats pouvant remplacer le bois dont l'épuisement dans les environs a des effets indésirables sur l'environnement.

Le troisième enclos a été aménagé en acadja-enclos, c'est-à-dire en un parc de branchages construit dans la tradition des acadjas béninois. Cent fagots de branches sèches ont été disposés sur une aire de 100 m² entourée également de bambous (Fig. 2, section CD).

Aucune mise en charge de fingerlings n'a été effectuée. Le premier recrutement

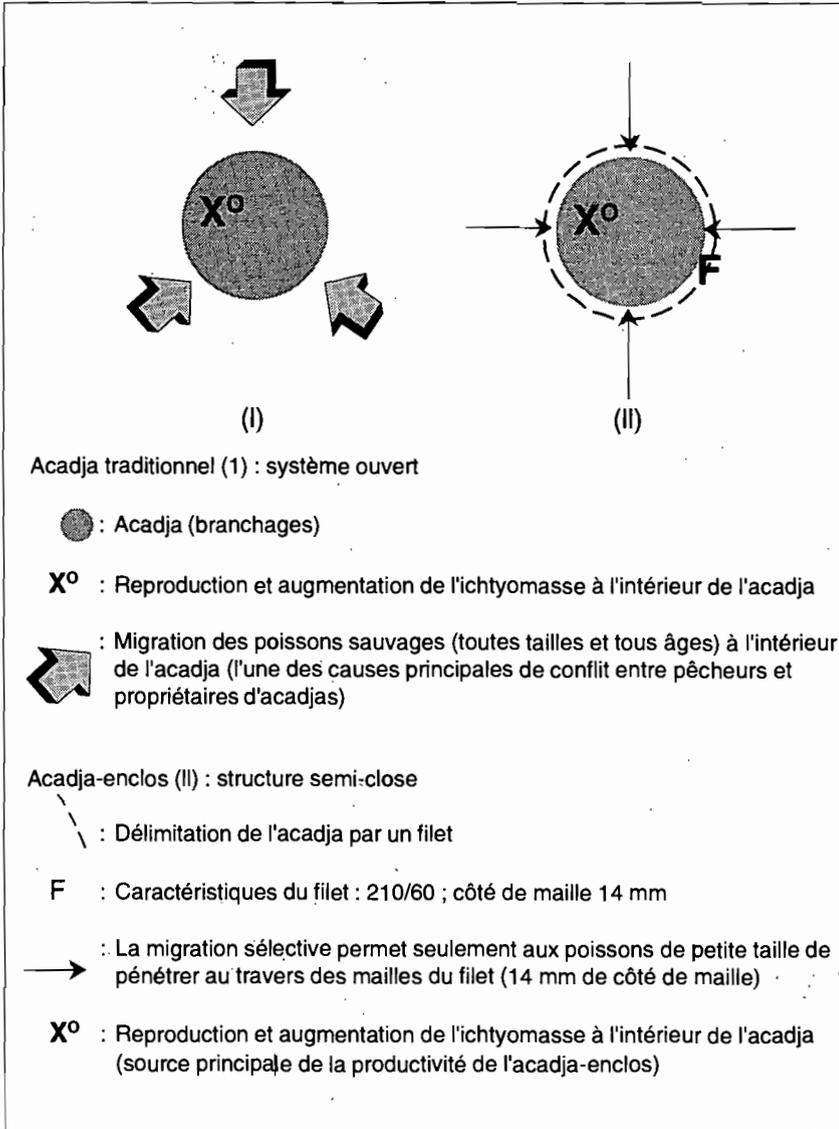


Fig. 1. Schéma d'un acadja traditionnel (I) et d'un acadja-enclos (II).

a débuté avec des petits poissons sauvages (poids individuel : 1-2 g) s'étant introduits dans l'acadja-enclos en passant au travers des filets (filet n° 210/60, côté de maille=14 mm). Une fois à l'intérieur du système, ils s'alimentent et se développent jusqu'à ce qu'ils soient piégés dans la structure.

Exception faite pour inspecter les filets toutes les trois semaines, aucune intervention particulière sur les enclos n'a été nécessaire tout au long de la période expérimentale.

Au bout de ce cycle de 12 mois, les poissons présents dans les trois structures ont été récoltés et chaque poisson a été pesé et mesuré (longueur totale).

Résultats et discussion

La production totale obtenue dans chaque dispositif est présentée dans le tableau 1 : 11,7 kg et 18,2 kg ont été respectivement récoltés dans l'enclos de contrôle et dans

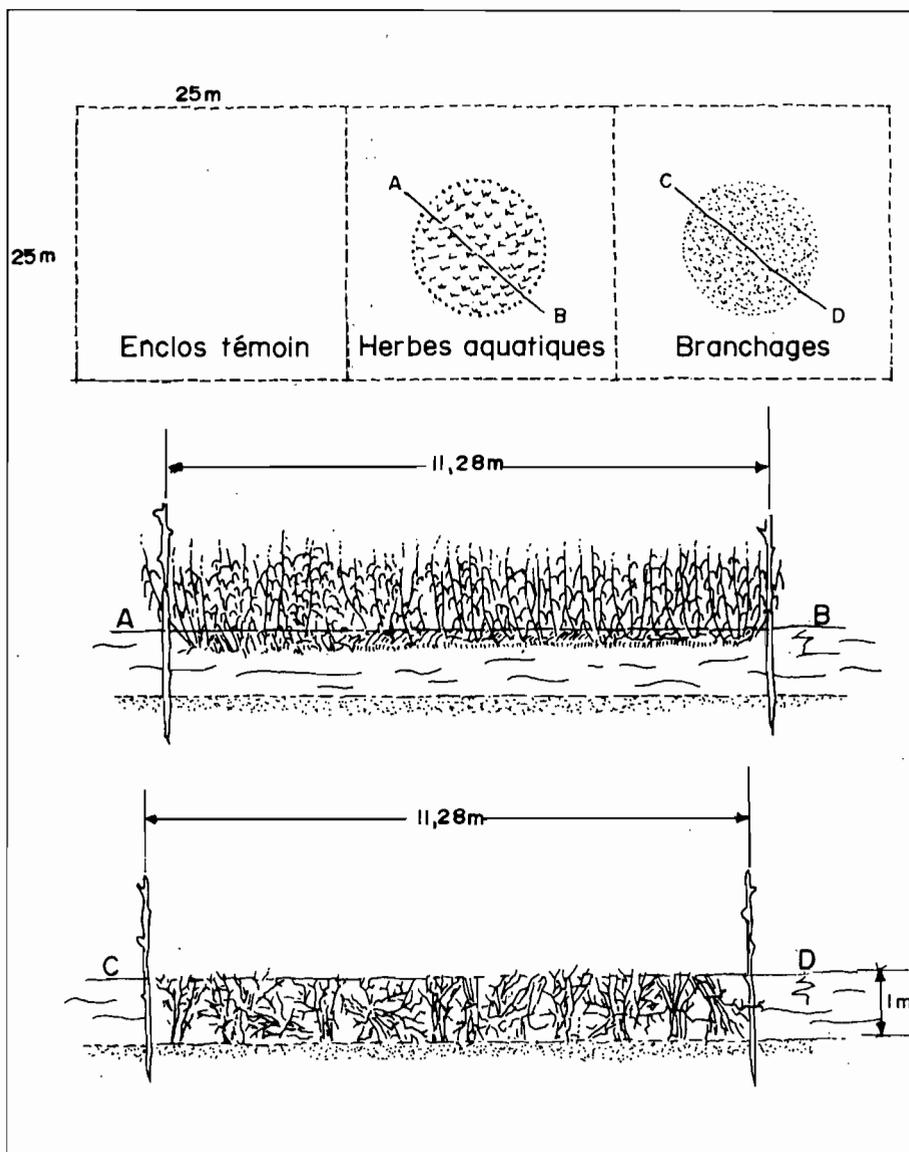


Fig. 2. Schéma expérimental d'acajja-enclos comme système de production. Le dispositif est entouré par des filets n° 210/60, côté de maille=14 mm. Section AB : acajja-enclos utilisant des herbes aquatiques comme substrat ; et section CD : acajja-enclos utilisant des branchages.

l'acajja-enclos garni d'herbes aquatiques. Par ailleurs, une récolte de 80,5 kg a été enregistrée dans l'acajja-enclos contenant des branchages, donnant une production environ sept fois supérieure à celle de l'enclos de contrôle.

Les résultats de la récolte obtenue dans cet acajja-enclos ont donné une ichtyomasse composée à 79 % par *S. melanotheron*. Il semble que le comportement de ce poisson soit particulièrement bien adaptée à ce type de dispositif qui appelle à la colonisation

et favorise la croissance des poissons. Les autres espèces figurant dans le tableau 1 ne représentent qu'une part négligeable de la biomasse relevée dans l'acadja-enclos. Toutefois, la présence d'un autre poisson-chat, *Heterobranchus longifilis*, espèce à croissance très rapide et prédateur de *S. melanotheron* et d'autres espèces, pourrait faire baisser la biomasse.

Une analyse plus détaillée de la part importante qu'occupe *S. melanotheron* dans l'ichtyomasse s'avère nécessaire. La croissance des jeunes *S. melanotheron* s'étant introduits dans l'acadja-enclos en passant au travers des filets correspond à une croissance d'un an (poids individuel moyen de 210 g pour les femelles et 160 g pour les mâles).

La comparaison des indices de condition n'a révélé aucune différence entre *S. melanotheron* se développant dans l'acadja-enclos et ceux vivant en eau libre.

Acadja-enclos aménagés avec des fagots de bois et branchages. Après cette première

expérience, des répliques de l'acadja-enclos ont été réalisées sur de plus grandes superficies (200 m², 400 m² et 2.500 m²). Les récoltes de deux acadja-enclos de 200 m² ont donné 109,1 kg et 195,9 kg, soit un rendement de 5,4 t et 9,8 t·ha⁻¹·an⁻¹ respectivement. L'acadja-enclos de 400-m² a produit 131,9 kg, soit un rendement de 3,3 t·ha⁻¹·an⁻¹, et quatre acadja-enclos de 2.500 m² ont donné des récoltes de 241,1 kg, 358,8 kg, 337,1 kg et 877,5 kg, donnant un rendement moyen de 1,8 t·ha⁻¹·an⁻¹ (Hem et Avit, 1991). Aucune relation proportionnelle n'a été observée entre la taille des acadja-enclos et leurs rendements respectifs. Curieusement, les rendements diminuaient dans les acadja-enclos de plus grandes tailles. Ces résultats indiquent que les bénéfices générés dans les grands acadja-enclos (superficie supérieure à 500 m²) sont inférieurs à ceux obtenus dans les acadjas-enclos plus petits. Toutefois, le problème que présente les acadja-enclos avec branchages est plus

Tableau 1. Biomasse (g) des différentes espèces récoltées dans les trois acadja-enclos ; voir le texte.

Espèce	Contrôle	Herbes aquatiques	Branchages
<i>Elops lacerta</i>	75	16	51
<i>Ethmalosa fimbriata</i>	22		
<i>Hepsetus odoe</i>		34	
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>			91
<i>Chrysichthys maurus</i>	2.212	831	2.936
<i>Synodontis</i> spp.	176		888
<i>Heterobranchus longifilis</i>	7.104	2.108	8.311
<i>Gerres</i> spp.			32
<i>Hemichromis fasciatus</i>	240	710	1.514
<i>Tylochromis jentinki jentinki</i>	26		24
<i>Tilapia guineensis</i>	313	3.058	762
<i>Sarotherodon melanotheron</i>	1.491	10.437	63.697
<i>Tilapia mariae</i>			355
<i>Ctenopoma kingsleyae</i>		54	464
<i>Eleotris senegalensis</i>		377	1.316
<i>Citharichthys stampflii</i>		134	
<i>Synaptura lusitanica</i>			
<i>Cynoglossus senegalensis</i>	18	347	
<i>Penaeus notialis</i>	72	72	7
<i>Macrobrachium</i> spp.		69	74
<i>Callinectes</i> spp.		48	
	11.749	18.295	80.522

d'ordre environnemental que d'ordre économique.

En effet, l'aménagement d'acadja-enclos de plus grandes dimensions peut être à l'origine des problèmes écologiques et sociaux. Il faut 18 à 20 t de bois et de branches pour construire un acadja-enclos de 2.500 m². L'abattage de ces quantités de matériaux ligneux a déjà des effets clairement visibles dans les forêts environnantes. De plus, la destruction annuelle des acadjas (60 à 70 % dans ce cas) ainsi que l'accumulation de matière organique dans les lagunes auraient, à long-terme, des effets indésirables sur l'environnement. Ainsi, l'idée d'utiliser des branches dans la construction des acadja-enclos a été abandonnée en faveur de l'emploi de bambous.

Acadja-enclos aménagés avec des bambous. La recherche de nouveaux substrats pour l'acadja-enclos nous a conduit à tester le bambou (Fig. 2). Les premiers essais ont été réalisés dans des acadja-enclos de petites tailles alors que les répliques étaient de plus grandes dimensions (800 m², 1.250 m² et 2.500 m²) avec des densités de 10 bambous par m². Les résultats étaient très encourageants, donnant des rendements moyens de 8,3 t·ha⁻¹·an⁻¹ (voir le tableau 2). Par ailleurs, non seulement le bambou présente l'avantage de durer plus longtemps (cinq à six ans) mais aucune accumulation de matière organique n'a été observée avec ce matériau. De plus, les bambous enfouis verticalement constituent un substrat idéal pour la prolifération d'aliments naturels pour

la consommation des poissons : péryphyton et aufwuchs (Planches 1 et 2).

Afin d'évaluer la productivité totale des acadja-enclos, nous avons dû retirer tous les piquets pour procéder à la récolte. Cette procédure s'est avérée nécessaire dans le cadre de notre expérience mais ne serait pas raisonnable dans le cadre d'une opération commerciale. En effet, la récolte totale inclut les petits poissons qui ne sont pas commercialisables d'une part, et le recrutement du prochain cycle devient incertain d'autre part (Fig. 3). Une autre stratégie de récolte est illustrée sur la figure 4.

D'autres programmes de recherches se pencheront davantage sur des techniques permettant la récolte des poissons sans qu'il soit nécessaire de retirer les bambous. Un exemple d'acadja-enclos utilisant le bambou comme substrat et conçu pour une récolte sélective est présenté sur la figure 5.

Il est certain que les acadja-enclos offrent la possibilité d'améliorer la productivité des lagunes en Afrique de l'Ouest. Techniquement simple et utilisant les ressources et la main-d'oeuvre locales, l'acadja-enclos est une technique d'exploitation piscicole qui semble tout à fait adaptée aux conditions du milieu rural africain. Le manque, actuellement, de bambous dans certaines régions ne devrait pas poser de contrainte majeure ; l'aménagement de plantations de bambous devrait pouvoir résoudre ce problème rapidement. Le bambou, considéré en Asie comme une "plante miraculeuse",

Tableau 2. Résultats de quatre essais d'acadja-enclos utilisant le bambou comme substrat.

	1988	1989	1990	1991
Surface des acadja-enclos utilisant le bambou (m ²)	800	2.500	800	800
Biomasse récoltée au bout de 12 mois (kg·an ⁻¹)	878,4	1.530	771	518
Productivité extrapolée (t·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	11,0	6,1	9,6	6,5



Planche 1. Vue des piquets en bambou.



Planche 2. Marques de dents des poissons broutant les bambous.

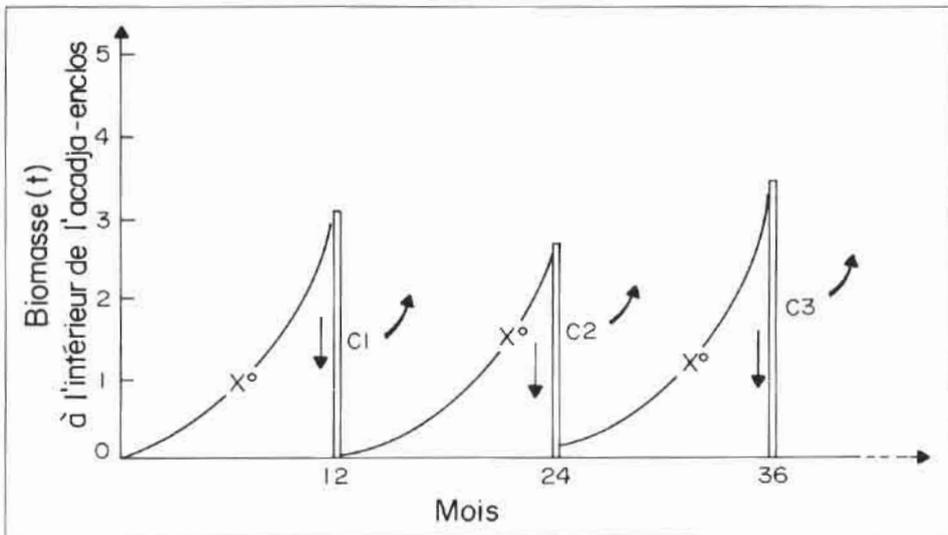


Fig. 3. Ichtyomasse dans un acadja-enclos construit avec des bambous (sur la basse de récoltes annuelles totales).

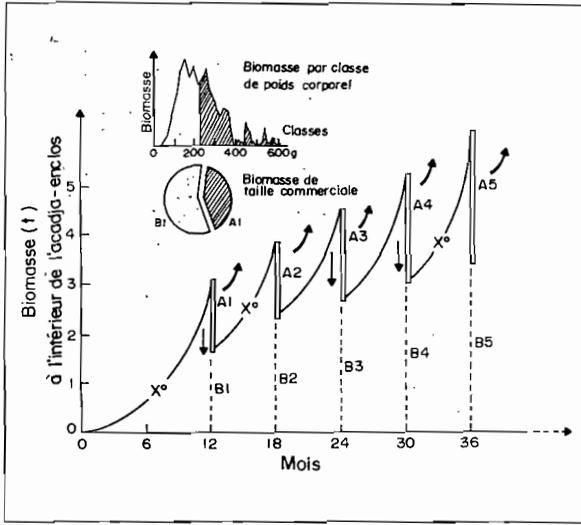


Fig. 4. Ichtyomasse dans un acadja-enclos où une récolte sélective est réalisée tous les six mois. Les petits poissons et les jeunes poissons sont conservés et seuls les poissons de taille marchande sont retirés du système.

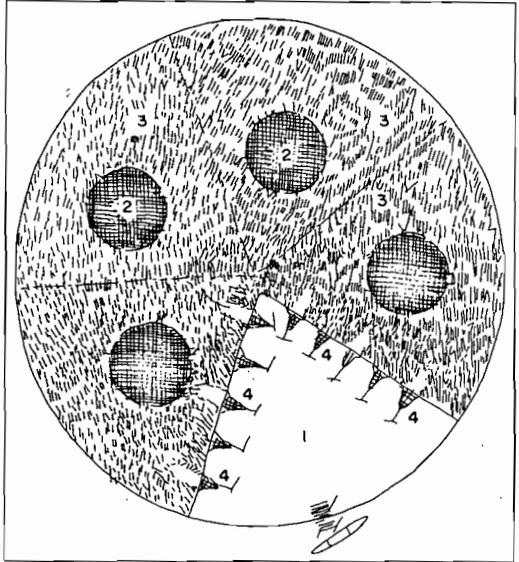


Fig. 5. Schéma d'un acadja-enclos permettant la récolte sélective sans qu'il soit nécessaire de retirer les bambous.

1. Aire d'attraction des poissons (par les aliments) servant à la fois d'aire de récolte.
2. Aires de reproduction aménagées avec des branches sèches.
3. Bambous.
4. Accès à l'aire libre.

protège aussi les sols de l'érosion et son usage est multiple.

Bien que ces quelques essais préliminaires aient donné des résultats très encourageants, il est nécessaire, avant de se lancer dans l'application de ces techniques d'exploitation en milieu rural, de considérer certains aspects économiques et sociaux, ceci afin d'augmenter les chances d'un développement fructueux à long-terme.

Remerciements

Ce programme de recherches a été réalisé grâce au soutien financier du Centre de recherche pour le développement international (CRDI), Ottawa, Canada.

Littérature citée

Dada, B.F. 1976. Present status and prospects for

aquaculture in Nigeria. In Symposium on aquaculture in Africa, Ghana, 30 septembre - 2 octobre 1975. CIFA Tech. Pap. Suppl. 1:79-84.

Hem, S. 1982. L'aquaculture en enclos : adaptation au milieu lagunaire ivoirien. *Aquaculture* 27: 261-272.

Hem, S. 1987. Research on lagoon fish farming in Côte d'Ivoire. A French-Ivoirian cooperation program. *Infish Mark. Dig. No. 4/87*: 23-24.

Hem, S. et J.B. Avit. 1991. Acadja-enclos : études et synthèses. Rapport final pour le CRDI, Ottawa, Canada. 85 p.

Kapetsky, J.M. 1981. Some considerations for the management of coastal lagoon and estuarine fisheries. *FAO Fish. Tech. Pap.* 218, 48 p.

Pauly, D. 1976. The biology, fishery and potential for aquaculture of *Tilapia melanotheron* in a small West African lagoon. *Aquaculture* 7:33-49.

Pliya, J. 1980. La pêche dans le sud-ouest du Bénin. Agence de coopération culturelle et technique, Paris. 296 p.

Welcomme, R.L. 1972. An evaluation of acadja method of fishing as practised in the coastal lagoons of Dahomey (West Africa). *J. Fish Biol.* 4:39-55.

Chaulage des étangs de pisciculture au Malawi : étude comparative des étangs chaulés et non chaulés^a

D.M. JAMU

*ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project
P.O. Box 229, Zomba, Malawi*

O.V. MSISKA

*Department of Research and Environmental Affairs
P.O. Box 30745, Lilongwe, Malawi*

JAMU, D.M. et O.V. MSISKA. 1996. Chaulage des étangs de pisciculture au Malawi : étude comparative des étangs chaulés et non chaulés, p. 56-63. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Cette étude fait le bilan des expériences réalisées sur l'emploi de cendre de bois de feu et de chaux agricole dans des étangs de pisciculture expérimentaux aménagés sur des sols délavés, ferrugineux et dépourvus de bases solubles dans le sud du Malawi, et évalue les besoins en chaux de ces étangs. Le statut nutritif des sols sur les terres disponibles pour la construction d'étangs au Centre national d'aquaculture de Zomba au Malawi a été déterminé en fonction de leur teneur en C %, N %, P, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, et en comparant ces taux aux niveaux recommandés pour la fertilité des sols au Malawi. Les besoins en chaux des anciens étangs ont été calculés selon la procédure de Boyd (1979). Des individus de *Oreochromis shiranus* et de *Tilapia rendalli* de 13-18 g ont été introduits en polyculture en proportions égales dans des étangs de 200 m² à raison de 1,5 poissons·m⁻². Les traitements, répétés trois fois, ont consisté en des applications de phosphate de diammonium à raison de 100 kg·ha⁻¹·mois⁻¹ et d'un compost de chaumes de maïs à raison de 5 % du poids moyen des poissons par jour. Un groupe d'étangs a été chaulé à raison de 2,5 t·ha⁻¹ d'un mélange de cendre et de chaux agricole dans un rapport de 60:40 pendant qu'un autre groupe d'étangs est resté sans traitement. L'alcalinité totale, la chlorophylle *a*, le pH, le nitrate, la nitrite et la visibilité au disque de Secchi ont été calculés pour chaque traitement et comparés. Le statut nutritif des sols des étangs récemment creusés sur le site de l'étude était généralement pauvre avec une forte acidité (pH = 4,10-4,50). Le pH des sols des anciens étangs était plus élevé (pH = 5,11-6,22) tout en variant considérablement. Les besoins en chaux des anciens étangs ont été déterminés entre 0 et 3.970 kg·ha⁻¹. La méthode de Boyd (1979) n'a pas pu être utilisée dans les étangs très acides. Les rendements en poissons ont atteint entre 276 et 631 kg·ha⁻¹·an⁻¹ dans les étangs non chaulés et entre 434 et 661 kg·ha⁻¹·an⁻¹ dans les étangs chaulés. Aucune différence significative (P>0,05) n'a été observée d'un traitement à l'autre sauf pour le traitement exclusivement à base de compost de chaumes de maïs qui a donné des rendements significativement plus bas (P<0,05). Les applications de cendre et de chaux à raison de 2,5 t·ha⁻¹ n'ont pas permis de maintenir les taux d'alcalinité dans la fourchette "optimale" de 15-20 mg·l⁻¹ sous forme de CaCO₃. Ceci a été attribué aux pertes d'eau par infiltration et évaporation (10-150 mm·jour⁻¹) et éventuellement à l'application d'engrais à base de diammonium dans les étangs.

Introduction

En Afrique, les problèmes de la qualité de l'eau et donc de rendements insuffisants dans les étangs de pisciculture ont eu pour effet de décourager les éleveurs. Au Malawi,

bien que les avantages du chaulage dans les étangs de tilapias aient été démontrés dès les premières années du développement de la pisciculture, et que ce procédé soit bien maîtrisé en agriculture (Adams et Evans, 1962, par exemple), ce n'est que récemment que ses principes ont été mis au clair en aquaculture (Boyd, 1979). La relation

^aICLARM Contribution No. 974.

insaturation de base/pH n'est pas la même selon qu'il s'agit de la vase des étangs d'élevage ou des sols de culture ; aussi est-ce une erreur d'évaluer les besoins en chaux des étangs en prenant les sols de culture pour référence.

En Afrique tropicale, les besoins en chaux des étangs d'élevage ont été calculés, pour la plupart, suivant les recommandations de Maar et coll. (1966) et de Miller (1975) qui préconisaient 1.680-2.240 t·ha⁻¹ pour les nouveaux étangs au sol argileux et 1.120-1.680 t·ha⁻¹ pour les nouveaux étangs au sol sablonneux ; 1.120 t·ha⁻¹ pour les anciens étangs au sol argileux ; et 560-1.120 t·ha⁻¹ pour les anciens étangs au sol sablonneux. Or, ce barème, outre son application trop simpliste, recommande des taux de chaulage insuffisants pour obtenir le pH désiré.

Boyd (1979) a mis au point une méthode simple de calcul des besoins en chaux à partir du pH de la vase et du pH d'une solution de vase à laquelle a été ajouté un tampon de nitrophénol. Selon cette méthode, les sols dont le pH est supérieur à 5,75 sont censés ne pas avoir besoin de chaux. Toutefois, les dosages de Boyd ont été calculés pour les populations de poisson-lune qui, contrairement aux tilapias, dépendent davantage de la production primaire. Chez les tilapias, la tolérance aux diverses conditions environnementales varie selon l'espèce (Philippart et Ruwet, 1982). Au Malawi par exemple, *Oreochromis shiranus chilwae* tolère les conditions environnementales les plus diverses ; cette espèce est présente dans le lac Chilwa où la salinité varie de 0,30 à 16,7 ‰ (Morgan, 1972 ; Cantrell, 1988). La qualité de l'eau, en particulier le pH et l'alcalinité, semble être un facteur important de la productivité des étangs piscicoles (Msiska, 1988).

Au Malawi, bien que l'on reconnaisse l'importance du chaulage dans les étangs d'élevage, les pisciculteurs n'ont pas un pouvoir d'achat suffisamment élevé et ne sont pas assez sûrs des bénéfices que

peut leur garantir l'aquaculture pour investir dans un programme de chaulage à base de chaux exclusivement. Compte tenu de cette situation, Jamu (1990) a examiné les propriétés neutralisantes d'autres agents plus économiques comme la cendre de bois provenant des feux de cuisson des foyers ruraux. Cette communication fait le bilan des travaux de chaulage des étangs à base d'engrais organiques et chimiques, et évalue les effets de l'application des recommandations en matière de chaulage sur un large éventail de sols dans les étangs de pisciculture.

Matériel et méthodes

Détermination des besoins en chaux dans les étangs de pisciculture

Afin de calculer les besoins en chaux des étangs, des échantillons de sol prélevés aux points les plus et les moins profonds dans divers étangs construits à partir des années 1960 au Centre national d'aquaculture (NAC) de Zomba ont été séchés, réduits en poudre et passés au tamis (0,85 mm) pour obtenir des prélèvements de 20 g. Un mélange de vase et d'eau distillée en proportions égales a été réalisé pour calculer le pH initial de la vase auquel a été ajouté un tampon de p-nitrophénol (pH 8,0 ± 0,1) suivant la méthode de Boyd (1979). Cette solution a alors été agitée pendant 20-30 minutes jusqu'à obtenir un pH stable. Les calculs de pH ont été réalisés à l'aide du dispositif de Hatch (Modèle 43800-00).

Des prélèvements effectués sur des terrains adjacents dépourvus d'étangs (témoins) ont été envoyés à la Station de recherche agricole de Bvumbwe pour des analyses chimiques et la lecture du pH. Les teneurs en carbone (C %, HCO₃⁻, CO₃⁻), azote (N %, NO₃⁻), phosphore, magnésium, calcium, potassium et sodium des sols ont été calculées selon les méthodes classiques (APHA, 1989).

Etude comparative des étangs fertilisés avec des engrais organiques et chimiques, avec et sans chaulage

MISE EN CHARGE ET PRELEVEMENTS
DE POISSONS

Des individus de *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli* ont été stockés dans des étangs de 200 m² et élevés en polyculture (1:1) à une densité totale de 1,5 poissons·m². Les poids moyens de mise en charge étaient compris entre 11,2 et 20,0 g pour *O. shiranus* et entre 9,0 et 20,4 g pour *T. rendalli*. Tous les 15 jours, 10 % de tous les poissons introduits par espèce et par étang étaient prélevés, mesurés (longueur totale et longueur standard) et pesés. Les taux de croissance spécifique et de mortalité ainsi que les paramètres de production étaient également calculés.

FERTILISATION ET CHAULAGE

Les expériences ont porté sur trois régimes de fertilisation : (1) phosphate de diammonium (PDA) à raison de 50 kg·ha⁻¹ appliqué en solution tous les 15 jours ; (2) compost de chaumes de maïs (CCM) anaérobie (Little et Muir, 1987) appliqué à raison de 3 % de la biomasse des poissons par jour ; et (3) PDA+CCM avec ou sans chaulage (application de fond d'un mélange de chaux agricole et de cendre de feux de cuisson dans un rapport de 60:40 [Jamu, 1990] mixé à la main dans un récipient en plastique et épandu à la volée). Ces six traitements ont été répétés trois fois suivant un mode totalement aléatoire.

QUALITE DE L'EAU

Les températures minimales et maximales ont été mesurées tous les jours entre 8h00 et 9h00. L'oxygène dissous (OD), le pH, la visibilité au disque de Secchi (VDS), l'alcalinité totale (mg·l⁻¹ sous forme de CaCO₃), le NH₄, le PO₄, la conductibilité, et la perte en eau (en mm) au bout de 48

heures étaient calculés toutes les semaines. La chlorophylle a était calculée tous les 15 jours. Toutes ces mesures ont été réalisées selon les méthodes classiques (APHA, 1989).

ANALYSES STATISTIQUES

Une analyse de variance à un seul facteur a été réalisée pour rendre compte des différences entre les traitements. Le test de Duncan (Zar, 1984) a été utilisé pour montrer les différences obtenues entre les valeurs moyennes des traitements.

Résultats

Besoins en chaux et statut nutritif des sols des étangs

D'après les résultats obtenus, le statut nutritif des sols des nouveaux étangs du CNA s'est révélé très médiocre, avec une forte acidité (Tableau 1) et un pH plus faible (4,1-4,5) que dans les anciens étangs (5,1-6,2 Tableau 2). La méthode de Boyd (1979) n'a pas permis de calculer les besoins en chaux des sols des nouveaux étangs car leur pH était inférieur à 4,7 (valeur minimale pour la procédure de Boyd).

Les valeurs de pH de la vase se sont révélées très variables (Tableau 2), se reflétant dans le calcul des besoins en chaux : de 0 à 3.970 kg·ha⁻¹.

Effets du chaulage dans des étangs fertilisés avec des engrais organiques et chimiques

QUALITE DE L'EAU

Les paramètres de la qualité de l'eau se situaient dans la gamme de valeurs acceptable pour l'élevage en étang de *O. shiranus* et *T. rendalli*, sauf pour l'alcalinité totale qui est restée au-dessous de 20 mg·l⁻¹ malgré le chaulage (Fig. 1). Celle-ci a diminué dans tous les traitements, particulièrement

Tableau 1. Caractéristiques chimiques des sols des nouveaux étangs du Centre national d'aquaculture de Domasi au Malawi.

Paramètre	Moyenne	Fourchette	N	Statut nutritif*
pH	4,23	4,1-4,5	4	très acide
HCO ₃ ⁻ (meq.l ⁻¹)	1,38	1,05-1,70	4	NA
CO ₃ ²⁻ (meq.l ⁻¹)	<1,00	<1,00	4	NA
NO ₃ ⁻ (mg.l ⁻¹)	24	22-27	4	NA
% C	2,6	1,8-8,3	4	moyen
% N	0,04	0,03-0,04	4	très pauvre
PO ₄ ³⁻ -P(μg.l ⁻¹)	1,00	1,00	4	très pauvre
Mg ²⁺ (mg.l ⁻¹)	0,03	0,03	4	très pauvre
Ca ²⁺ (mg.l ⁻¹)	<1,00	<1,00	4	très pauvre
K ⁺ (mg.l ⁻¹)	0,028	0,027-0,030	4	très pauvre

*Par rapport au seuil des valeurs recommandées pour l'application d'engrais au Malawi (Lupwayi, 1990).

dans les traitements chaux-PDA et chaux-PDA-CCM. La perte en eau due au suintement et à l'évaporation était élevée dans tous les traitements (10-150 mm.jour⁻¹).

RENDEMENTS EN POISSONS

Les rendements les plus bas (276 kg·ha⁻¹·an⁻¹ par extrapolation) ont été obtenus dans les étangs où seul le CCM a été appliqué (Tableau 3). Ces résultats sont significativement différents (P<0,05) des résultats des autres traitements. En revanche, les applications de chaux ont significativement (P<0,05) augmenté les rendements (434 kg·ha⁻¹·an⁻¹ par extrapolation). Aucune différence significative n'a été observée entre les autres traitements. Les taux de croissance spécifique (TCS) de *O. shiranus* étaient significativement plus élevés (P < 0,05) dans le traitement PDA-compostchaux. Aucune différence significative n'a été observée entre les poids moyens et les TCS de *T. rendalli* au bout de 174 jours.

Discussion

Au Malawi, comme la procédure de Boyd (1979) ne peut être utilisée en raison de la trop grande acidité des sols, il est nécessaire de mettre au point des courbes d'étalonnage et des tableaux de chaulage. Dans ce pays, il existe aussi des sols où le drainage est important, où les sols sont acides et/ou dépourvus de bases (sols latériques), caillouteux (lithosols) et peu profonds (Anon, 1979). Comme les besoins en chaux varient considérablement au CNA même, il se peut que ce type de situation se retrouve ailleurs dans le pays. L'importante perméabilité des sols pourrait expliquer le fait que l'alcalinité ne dépasse jamais 20 mg.l⁻¹ sous forme de CaCO₃. Là encore, les calculs réalisés à partir de méthodes mises au point pour les sols du sud-est des Etats-Unis n'étaient pas applicables. Teichert-Coddington et Phelps (1989) ont également observé que les tableaux de chaulage de Boyd (1979)

Tableau 2. Besoins en chaux calculés pour les sols de divers anciens étangs du Centre national d'aquaculture de Domasi au Malawi. Les échantillons ont été prélevés aux points les moins et les plus profonds des étangs.

Traitements utilisés auparavant	Etang n°	pH de la vase	pH de la vase dans la solution avec tampon de nitrophénol	Besoins en chaux (kg·ha ⁻¹)
FP/SM	1	P 6,1	7,9	0
		p 6,2	7,7	0
PPP	13	P 5,6	7,3	880
		p 5,6	7,3	880
SM	14	P 5,4	7,2	2.320
		p 5,7	7,3	640
SM	15	P 5,1	7,1	3.970
		p 5,2	7,1	3.520
SM/SR	16	P 6,0	7,1	0
		p 5,8	7,4	0
SM/SR	20	P 6,1	7,5	0
		p 6,1	7,9	0.390
SM/SR	23	P 5,4	7,9	290
		p 6,1	8,0	0
SM/SR	11	P 5,8	7,8	270
		p 6,4	7,9	0

- P = Partie de l'étang la plus profonde
 p = Partie de l'étang la moins profonde
 PPP = Purée pour poules pondeuses
 SM = Son de maïs
 SR = Son de riz

pouvaient ne pas répondre aux besoins des sols dans les pays tropicaux.

L'importance du chaulage a été démontrée par l'accroissement des rendements obtenus dans les étangs où un traitement chaux-CCM avait été appliqué (augmentation par rapport à l'application de CCM seulement). Comme les traitements à base de CCM donnent des rendements presque similaires, le chaulage peut ne pas être le seul moyen d'accroître les rendements dans les étangs où l'eau est peu fertile. D'autres sources

de carbone peuvent être tout aussi importantes. Toutefois, Mandel et Boyd (1980) ont montré que le carbone pouvait être un facteur de limitation dans certains systèmes aquacoles. T.M. Williams (données non publiées) a trouvé que le rapport C:N de la plupart des sols des étangs au Malawi était bas (4,0-14,5).

L'insuffisance des rendements observée dans les traitements à base de PDA est peut-être due en partie à l'éventuelle neutralisation de l'alcalinité par l'acidité apportée

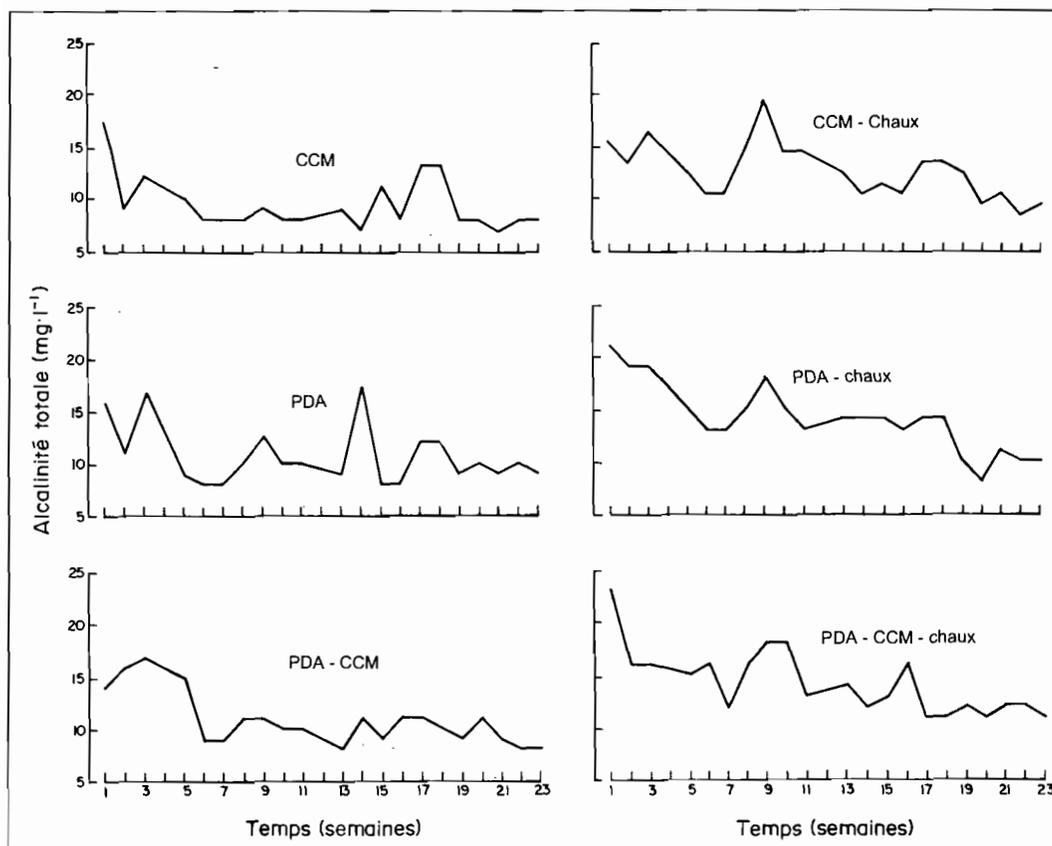


Fig. 1. Alcalinité totale ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ sous forme de CaCO_3) dans des étangs de 200 m^2 chaulés (60:40 mélange cendre/chaux) et non chaulés, fertilisés avec un compost de chaumes de maïs (CCM) à raison de 3 % du poids moyen des poissons par jour, et des engrais à base de diammonium (PDA) à raison de $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 2$ semaine $^{-1}$.

par l'engrais, comme Hunt et Boyd (1981) ont pu le montrer. Ces résultats suggèrent que l'application d'engrais ammoniacaux dans des eaux dont le pH et l'alcalinité ont des valeurs marginales devrait être réalisée avec prudence.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Dr. Barry Costa-Pierce pour son aide dans la conception de cette étude sur le chaulage et pour les remarques pertinentes qu'il a bien voulu

apportées au manuscrit. Nous remercions également le personnel du Centre national d'aquaculture pour leur précieuse assistance. Cette étude a été financée par une subvention de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH octroyée au Gouvernement Malawien et au Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (ICLARM). D.M. Jamu a pu assister à la conférence grâce à une aide du Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) et O.V. Msiska, grâce à une aide de la Fondation internationale pour la science (IFS).

Tableau 3. Paramètres de production d'une polyculture en proportions égales de *Oreochromis shiranus* (OS) et *Tilapia rendalli* (TR) dans des étangs de 200 m² fertilisés et chaulés au bout de 174 jours d'expérience (PDA = phosphate de diammonium ; CCM = compost de chaumes de maïs ; la chaux est un mélange de chaux agricole et de cendre de bois ; voir le texte). Les données des rangées portant la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P < 0,05$).

Paramètres de production	PDA		PDA-CCM		PDA-chaux		CCM-chaux		PDA-CCM-chaux		Compost	
	OS	TR	OS	TR	OS	TR	OS	TR	OS	TR	OS	TR
Poids individuel de mise en charge (g)	13,8a	13,4a	15,3a	19a	16,8a	14,4a	16,6a	14,7a	15,1a	14,4a	18,9a	15,7a
Poids individuel de récolte (g)	31,9b	23,4a	30,4b	23,2a	34,1b	26,0a	24,6b	21,9a	44,9c	25,8a	19,5a	21,7a
Poids total de mise en charge (kg·étang)	1,7a	1,6a	1,7a	2,7a	2,7a	2,8a	1,4a	1,9a	1,9a	1,7a	2,5a	2,0a
Poids total de récolte (kg·étang)	2,2a	1,1a	3,2ab	2,3a	3,5ab	1,9a	2,5a	1,4a	3,4b	1,9a	1,8a	1,1a
% mortalité	52a	68a	30b	34a	28a	52a	23b	52a	39a	46a	50a	26a
Taux de croissance spécifique (%·jour ⁻¹)	0,45	0,30	0,38	0,11	0,39	0,32	0,21	0,22	0,60	0,33	0,22	0,19
Nombre total d'alevins produits (OS + TR)	1.738a		2.045a		2.061ab		1.105a		1.736ab		476c	
Poids total des alevins (OS + TR)	2,0a		1,9a		2,5a		1,5a		2,1ab		0,7b	
Poids total des alevins + poissons (kg)	4,2ab		6,4a		6,7a		4,4a		6,2a		2,8b	
Rendement total extrapolé (OS + TR) (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	416,6ab		631a		661a		434a		612a		276b	

Littérature citée

- Anon. 1979. The National Atlas of Malaŵi. Department of Surveys, Government of Malaŵi, Zomba, Malawi. 79 p.
- Adams, F. et C.E. Evans. 1962. A rapid method for measuring lime requirements of red-yellow podzolic soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26:355-357.
- APHA. 1989. Standard methods for the examination of water and wastewater. 17^e éd. American Public Health Association, Washington, DC. var. pag.
- Boyd, C.E. 1979. Water quality management in warmwater fishponds. Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama. 359 p.
- Cantrell, M.A. 1988. Effects of lake level fluctuations on the habitats and benthic invertebrates in a shallow tropical lake. *Hydrobiologia* 158:125-131.
- Hunt, D. et C.E. Boyd. 1981. Alkalinity losses from ammonium fertilizers used in fish ponds. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110:81-85.
- Jamu, D.M. 1990. Studies on ash as a liming agent in fish ponds. Biology Department, University of Malaŵi, Zomba, Malaŵi. 193 p. Mémoire de maîtrise.
- Little, D. et J. Muir. 1987. A guide to integrated warmwater aquaculture. Institute of Aquaculture, Stirling, Ecosse. 238 p.
- Lupwayi, N.Z. 1990. The nutrient status of soils cultivated at Bunda. *Bunda J. Agric. Res.* 2:38-58.
- Maar, A., M.A.E. Mortimer et I. van der Lingen. 1966. Fish culture in central East Africa. FAO, Rome. 158 p.
- Mandel, B.K. et C.E. Boyd. 1980. Reduction of pH in waters with high alkalinity and low total hardness. *Prog. Fish. Cult.* 42:183-185.
- Miller, J.W. 1975. Fertilization and feeding practices in warmwater pond fish culture in Africa. CIFA Tech. Pap. 4:512-541.
- Morgan, P.R. 1972. Cause of mortality in endemic tilapia in Lake Chilwa (Malaŵi). *Hydrobiologia* 90:101-109.
- Msiska, O.V. 1988. Preliminary studies on the performance of *Oreochromis shiranus* in ponds with respect to water quality and temperature, p. 63-68. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Philippart, J.-Cl. et J.-Cl. Ruwet. 1982. Ecology and distribution of tilapias, p. 15-59. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Teichert-Coddington, B.R. et R.P. Phelps. 1989. Effects of seepage on water quality and productivity of inorganically fertilized tropical ponds. *J. Aqua. Trop.* 4:85-92.
- Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. 2^e éd. Prentice-Hall, New Jersey. 718 p.

Manipulation des stocks dans les élevages de tilapias au Malawi

E.K.W.H. KAUNDA*

*ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project
Box 229, Zomba, Malawi*

KAUNDA, E.K.W.H., 1996. Manipulation des stocks dans les élevages de tilapias au Malawi, p. 64-72. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des expériences de manipulation des stocks ont été menées au Centre national d'aquaculture au Malawi pour étudier les effets de la biomasse des poissons sur l'arrêt de croissance de deux espèces de tilapias, *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli* (Cichlidés).

Dans le cadre de ces expériences, les diverses manipulations des stocks de poissons n'ont fait apparaître aucune différence significative (ANOVA ; $P > 0,05$) au niveau de leurs performances individuelles de croissance. En revanche, et dans les mêmes conditions expérimentales, des différences significatives (ANOVA ; $P < 0,05$) ont été observées au niveau de la production obtenue. En effet, les rendements obtenus dans les étangs où aucun poisson n'avait été retiré étaient significativement inférieurs à ceux obtenus dans les étangs où une manipulation (élimination de poissons) avait eu lieu. Les meilleurs résultats, compte tenu des coûts que représentent ces manipulations et des revenus qu'elles offrent, ont été obtenus dans les étangs où les traitements consistaient à éliminer la moitié des recrues tous les 37 jours. Cette communication examine les implications que peuvent avoir ces résultats pour les petites exploitations.

Introduction

Au Malawi, les tilapias (*Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli*, Cichlidés) constituent la plus grosse partie de la biomasse totale des poissons récoltés dans les étangs des petits pisciculteurs (Mandeng, 1988). Les élevages s'organisent autour d'un système de production mixte (mâles et femelles), d'où la prolifération des poissons dans les étangs de pisciculture et une certaine fréquence du phénomène de nanisme (Balarin, 1984 ; Pullin, 1985 ; Msiska, 1987 ; Maluwa, 1990).

Un certain nombre de techniques peuvent être utilisées pour gérer la taille

et la structure des populations de tilapias : élevage monosexé, élevage à haute densité de mise en charge et recours aux prédateurs (Guerrero, 1982 ; Mair et Little, 1991). Dans le cadre de l'élevage monosexé, des alevins monosexés peuvent être produits par sexage manuel, hybridation ou par l'administration d'hormones stéroïdiennes. L'utilisation de prédateurs exige d'empoisonner les étangs avec des poissons qui se nourrissent des alevins de tilapias qui s'y trouvent en excédant (Guerrero, 1982). Ces techniques sont généralement coûteuses et/ou exigent des efforts de gestion et d'aménagement importants, ce qui peut présenter certains problèmes pour les petits exploitants. Il existe toutefois d'autres méthodes de contrôle du surpeuplement dans les étangs de pisciculture. Celles-ci consistent à manipuler les stocks, les irradier,

*Adresse actuelle : University of Malawi, Animal Science Department, Bunda College of Agriculture, Box 219, Lilongwe, Malawi.

et à utiliser des chimiostérilisants et des inhibiteurs de la reproduction. Il est cependant important de poursuivre les recherches pour déterminer toutes les possibilités d'utilisation systématique de ces techniques (Guerrero, 1982).

La manipulation des stocks, généralement sous forme de récolte rythmée dans le temps est peut-être plus économique (dans les régions où la main d'œuvre est peu coûteuse) et exige moins d'aménagements que les autres méthodes mentionnées ci-dessus. Cette méthode peut effectivement convenir aux petits pisciculteurs du Malawi.

La récolte séquentielle des tilapias a fait l'objet d'une étude par van Someren et Whitehead (1961). Deux étangs ont été stockés avec le "*Tilapia nigra*" (*Oreochromis spilurus niger*) à la même densité de charge. Dès que les poissons commençaient à se reproduire, les parents de l'étang A et les alevins ou fingerlings de l'étang B étaient retirés tous les mois à l'aide d'une senne. Cette manoeuvre a eu pour effet de réduire les rendements de l'étang A par rapport à l'étang B et "l'alevin le plus gros dans l'étang B n'a jamais atteint la taille des poissons stockés en raison de l'effet de surpeuplement". Van Someren et Whitehead (1961) ont donc suggéré une procédure progressive pour l'élimination des alevins.

Cette étude est inspirée des travaux de van Someren et en assure le suivi en examinant les effets des systèmes de récolte successive sur la croissance individuelle des poissons, la biomasse totale des poissons au moment de la récolte et les revenus que ces récoltes peuvent apporter.

Matériel et méthodes

Les expériences ont été menées dans 10 étangs de 200 m² et les traitements

ont été répartis aléatoirement entre tous les étangs (Fig. 1). Des individus de *O. shiranus* et de *T. rendalli* d'un poids corporel moyen de $5,5 \pm 0,4$ g (PCM ± 1 ET ; min.-max. = 4,8-6,22) et $3,2 \pm 0,3$ g (PCM ± 1 ET ; min.-max. = 3,2-4,2 respectivement) ont été stockés à raison de 2 poissons·m⁻² dans un rapport de charge de 1:1, les 22 et 23 mai 1990.

Les poissons étaient nourris avec du son de maïs à raison de 2,5 % du poids corporel moyen (Kadongola, 1990), un ajustement étant effectué tous les 15 jours jusqu'au 9 septembre 1990 et tous les mois par la suite pour rendre compte de l'évolution de la croissance des poissons. Ces ajustements dans le nourrissage ont été interrompus le 23 octobre 1990 dès que la biomasse est devenue pratiquement constante du fait de l'équilibre atteint entre croissance et mortalité.

Les prélèvements de poissons ont été effectués à l'aide d'une senne de nylon (15,5 m, 10 mm vide de maille) tous les 15 jours jusqu'au 4 septembre 1990 et tous les mois par la suite pour réduire le taux de mortalité des poissons dû au stress.

Au début, les procédures d'échantillonnage des poissons ont été réalisées une à trois fois dans chaque étang. Du 21 août 1990 jusqu'à la fin de l'expérience, trois passages par mois étaient effectués régulièrement. Les poissons capturés étaient appelés "adultes" s'il s'agissait de poissons stockés ou "juvéniles" s'il s'agissait de poissons nés dans l'étang. Pour ces derniers une ségrégation par espèce était effectuée (*T. rendalli*, *O. shiranus*) dès que leur développement le permettait.

Environ 94 % (min.-max. = 64-100) des adultes capturés ont été pesés et mesurés (longueur total et longueur standard). Pour les "juvéniles" qui étaient trop nombreux pour être mesurés individuellement, des procédures standards

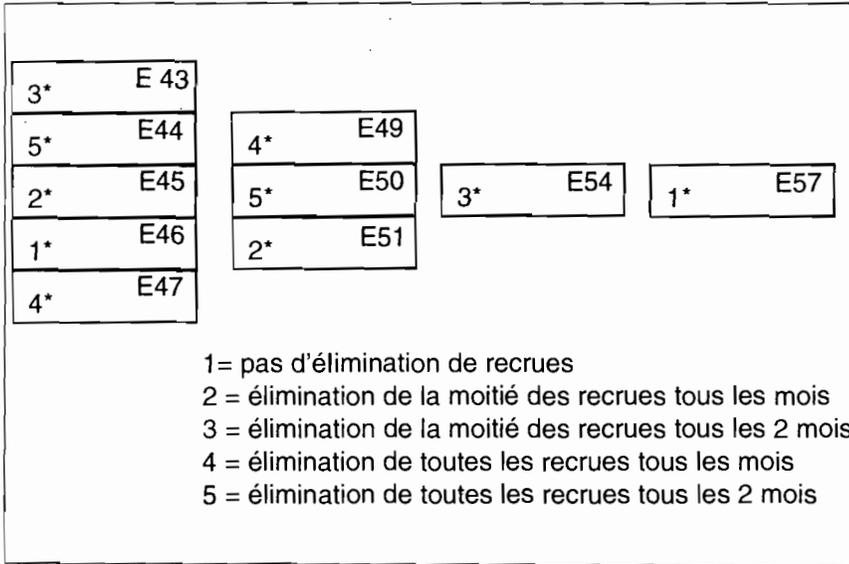


Fig. 1. Dispositif expérimental (n* = traitement n°; E = étang n°).

(Okpanefe, 1982 ; Sparre et coll., 1989) ont été utilisées pour calculer les distributions des fréquences de taille. Une fois les procédures d'échantillonnage terminées, tous les poissons étaient retournés dans les étangs. A la fin de l'expérience, les étangs ont été vidangés à l'aide d'une pompe à eau de 50 hp et tous les poissons restants ont été attrapés à la main.

La manipulation des stocks associée à des échantillonnages a débuté le 7 novembre 1990, 132 jours après la mise en charge initiale. Pour les traitements qui exigeaient de retourner les poissons dans les étangs, les recrues capturées lors des trois échantillonnages étaient pesées, celles de plus grande taille étant sélectionnées, mises sur une balance par ordre de taille décroissant jusqu'à ce que la moitié du poids total de l'échantillon soit atteint, et retournées dans l'étang après avoir été pesées et mesurées individuellement. Les plus petits poissons étaient éliminés.

La croissance en longueur a été déterminée en calculant les paramètres L_{∞} et K de l'équation de croissance de von Bertalanffy, selon laquelle :

$$L_t = L_{\infty} \left(1 - e^{-K(t-t_0)} \right) \quad \dots 1)$$

où :

L_t est la longueur à l'âge t ;

L_{∞} est la longueur asymptotique, c'est-à-dire la longueur moyenne que le poisson atteindrait s'il pouvait croître indéfiniment ;

K est le rythme (ici en années) auquel L_{∞} est atteinte ; et

t_0 est l'"âge" théorique (et généralement négatif) pour une longueur nulle. (Nous ne reviendrons pas sur ce paramètre dans la présente communication).

Les estimations de L_{∞} et de K ont été effectuées à l'aide du programme ELEFAN I (Pauly et David, 1981 ; Pauly, 1987) pour calculer l'équation (1) avec les données de fréquences de longueur (L/F) provenant des échantillonnages séquentiels mentionnés ci-dessus.

Vu le rapport inversé entre L_{∞} et K , les comparaisons de performances de croissance ne peuvent être calculées uniquement à partir de L_{∞} ou de K . Ainsi, l'indice :

$$\phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_{\infty} \quad \dots 2)$$

de Pauly et Munro (1984), calculé à l'aide du programme de Vakily (1988), a été utilisé pour toutes les comparaisons de performances de croissance ; les comparaisons ont été réalisées par analyse de variance (ANOVA) appliquée à un dispositif expérimental à blocs randomisés.

Les rapports de poids pour longueur selon lesquels :

$$W = a \cdot L^b \quad \dots 3)$$

ont été calculés pour les deux espèces en prenant les logarithmes de W et L, et en ajustant des régressions linéaires aux couples de données log (poids) - log (longueur) (Pauly, 1984).

Les paramètres a et b de l'équation (3) ont ensuite été utilisés pour transformer les distributions de fréquences de taille observées en distributions de fréquences de poids et, après un ajustement pour rendre compte de l'évolution dans le nombre des poissons, pour calculer la biomasse des poissons dans chaque étang.

La production totale a été définie comme la somme du poids total des poissons à la récolte et du poids total des recrues éliminées au cours de la période expérimentale. Le recrutement a été défini comme le pourcentage que représente le poids total des recrues (au cours de la période expérimentale) par rapport à la production totale. Le recrutement et la production totale ont été analysés par analyse de variance pour deux facteurs.

Le concept d'analyse "marginale" a été utilisé pour déterminer quelle était la meilleure procédure de manipulation des stocks (Panayotou, 1982). Chaque procédure a reçu un score : l'élimination de toutes les recrues capturées tous les

mois par les trois passages à la senne, c'est-à-dire sept opérations entre novembre 1990 et mai 1991 a été considéré comme un traitement standard recevant un score de 1. La formule suivante a été utilisée pour déterminer les scores des autres procédures de manipulation des stocks :

$$S = G \cdot H / T \quad \dots 4)$$

où :

- S est le score ;
- G est le nombre d'opérations d'élimination des recrues dans le traitement considéré ;
- H est la fraction des recrues éliminées à chaque opération dans le traitement considéré ; et
- T est le nombre d'opérations dans le traitement standard.

Les différentes procédures de manipulation des stocks ont impliqué des coûts différents. Le coût d'opération était le seul coût variable considéré lors de l'établissement de la courbe du coût total. Un autre coût inclus dans les calculs était le coût du travail nécessaire pour manoeuvrer les sennes, calculé au taux fixé par le gouvernement à K0,28/heure^b. La courbe du coût marginal (CM) est la pente de la courbe du coût total (Panayotou, 1982) :

$$CM = \frac{\text{modification du coût total}}{\text{modification du score}} \quad \dots 5)$$

Le prix de vente pour *O. shiranus* a été calculé sur le produit de huit récoltes à K3,94/kg (min.-max. = 1,63-4,40), pour *T. rendalli* à K2,21/kg (min.-max. = 1,66-2,40), et pour des fingerlings (<10 g)

^b(Kwacha 1 = US\$ 0,22) (taux pour août 1993).

à K1, 11/kg. Le revenu total pour chaque traitement a été calculé d'après la formule de Panayotou (1982) selon laquelle :

$$\text{Revenu total} = P_{V_1}Pr_1 + P_{V_2}Pr_2 + P_{V_3}Pr_3 \quad \dots 6)$$

où :

- P_{V_1} est le prix de vente de *O. shiranus* ;
- Pr_1 est la production totale de *O. shiranus* ;
- P_{V_2} est le prix de vente de *T. rendalli* ;
- Pr_2 est la production totale de *T. rendalli* ;
- P_{V_3} est le prix de vente des fingerlings de *T. rendalli* et *O. shiranus* (<10 g) ; et
- Pr_3 est la production totale de fingerlings.

La courbe du revenu marginal (RM) a été obtenue à partir de la pente de la courbe du revenu total (Panayotou, 1982), c'est-à-dire

$$CM = \frac{\text{modification du revenu total}}{\text{modification du score}} \quad \dots 7)$$

Résultats et discussion

Les tableaux 1 et 2 présentent les valeurs estimées pour tous les paramètres de croissance considérés. Ces résultats indiquent que les performances de croissance n'ont pas été affectées par les diverses procédures de manipulation des stocks (ANOVA ; $P < 0,05$). L'indice de croissance obtenu pour *T. rendalli* (moyenne ± 1 ET = $2,46 \pm 0,14$; $n=10$) n'était pas significativement différent des indices publiés dans Pauly et coll. (1988) (moyenne ± 1 ET = $2,59 \pm 0,41$; $n=4$). L'indice de croissance obtenu pour *O. shiranus* (moyenne ± 1 ET = $2,52 \pm 0,07$; $n=10$) était inférieur à ceux de Pauly et coll. (1988) (3,08 ; $n=1$). Toutefois, ces différences peuvent

être dues à l'échantillon de $n=1$ pour cette dernière valeur.

Les rapports longueur-poids suivants ont été obtenus :

$$W = 0,03(LT)^{2,82} \quad \text{pour } T. \text{rendalli} \quad \dots 8)$$

$$W = 0,02(LT)^{2,83} \quad \text{pour } O. \text{shiranus} \quad \dots 9)$$

$$W = 0,025(LT)^{2,83} \quad \text{pour les "recrues non identifiées"} \quad \dots 10)$$

L'augmentation de la biomasse des poissons est représentée dans la figure 2. Cet accroissement s'est stabilisé au bout de 240 jours environ en raison de l'espace limité disponible dans les étangs ou d'une chute de la reproduction due à la haute densité des poissons présents dans les mêmes étangs. Ceci conforte les conclusions de Moav et coll. (1977) selon lesquelles les récoltes annuelles donnent des taux de production inférieurs aux taux enregistrés lors de récoltes intermittentes. Par ailleurs, les résultats d'une enquête menée auprès de 30 éleveurs malawiens ont révélé que la plupart d'entre eux n'effectuaient que des récoltes annuelles (Maluwa, 1990). D'après les résultats de la présente étude, ces éleveurs pourraient accroître leurs rendements en procédant à des récoltes intermittentes.

D'importantes variations ont été enregistrées au niveau des résultats de production totale, ces différences étant essentiellement dues à l'emplacement des étangs (effet de bloc) et aux différences de traitement (procédures de manipulation des stocks). Les étangs 43 à 47 (un seul réplicat pour chaque traitement, Fig. 1) ont donné des rendements plus élevés que les étangs 49 à 54 (ANOVA ; $P < 0,05$). Des résultats similaires ont été obtenus au niveau du

Tableau 1. Paramètres de croissance dans les élevages mixtes de *Tilapia rendalli*.

Traitement n ^{oa}	Etang n ^o	Période d'élevage (jours)	L _∞ (LT, cm)	K (an ⁻¹)	φ'	r	ddl	F	Pays ^b
1	46	303	30,9	0,45	2,63	0,027	11	0,31	Malawi
	57	358	23,3	0,51	2,44	0,056	13	0,77	Malawi
2	45	358	18,8	0,86	2,48	0,040	13	0,55	Malawi
	51	358	13,1	1,21	2,32	0,224	12	3,47	Malawi
3	43	358	16,5	1,03	2,45	0,114	14	1,81	Malawi
	54	358	43,9	0,20	2,59	0,006	13	0,07	Malawi
4	47	357	13,8	1,00	2,28	0,044	14	0,65	Malawi
	49	359	21,5	0,48	2,35	0,018	13	0,24	Malawi
5	44	358	58,8	0,15	2,71	0,003	13	0,04	Malawi
	50	358	13,8	1,05	2,30	0,110	13	1,60	Malawi
-	-	>60	33,9	0,185	2,33	-	-	-	Zambie
-	-	>60	21,7	0,615	2,46	-	-	-	Zambie
-	-	>60	13,8	3,19	2,78	-	-	-	Zambie
-	-	>60	13,1	3,785	2,81	-	-	-	Uganda

^aVoir Fig. 1.

^bLes résultats concernant le Malawi proviennent de la présente étude et ont été calculés selon Vakil (1988) ; les résultats concernant la Zambie et Uganda proviennent de Pauly et coll. (1988).

Tableau 2. Paramètres de croissance dans les élevages mixtes de *Oreochromis shiranus* au Malawi^a.

Traitement n ^{ob}	Etang n ^o	Période d'élevage (jours)	L _∞ (TL, cm)	K (an ⁻¹)	φ'	r	ddl	F
1	46	267	27,3	0,51	2,58	0,019	10	0,19
	57	358	18,0	0,91	2,47	0,104	13	1,51
2	45	358	15,3	1,71	2,60	0,124	13	1,84
	51	358	15,3	1,11	2,42	0,120	12	1,64
3	43	265	18,4	1,12	2,58	0,023	11	0,26
	54	-	-	-	-	-	-	-
4	47	357	14,2	1,26	2,40	0,056	14	0,83
	49	304	13,9	1,78	2,54	0,112	11	1,39
5	44	302	25,8	0,56	2,57	0,035	11	0,42
	50	358	13,3	1,72	2,48	0,134	13	2,55
-	-	>60	11,0	9,87	3,08	-	-	-

^aTels que calculés à l'aide de la formule et du programme de Vakil (1988) sauf pour le dernier rang dont les données proviennent de Pauly et coll. (1988).

^b1 = aucune élimination de recrues

2 = élimination de la moitié des recrues tous les mois

3 = élimination de la moitié des recrues tous les 2 mois

4 = élimination de toutes les recrues tous les mois

5 = élimination de toutes les recrues tous les 2 mois

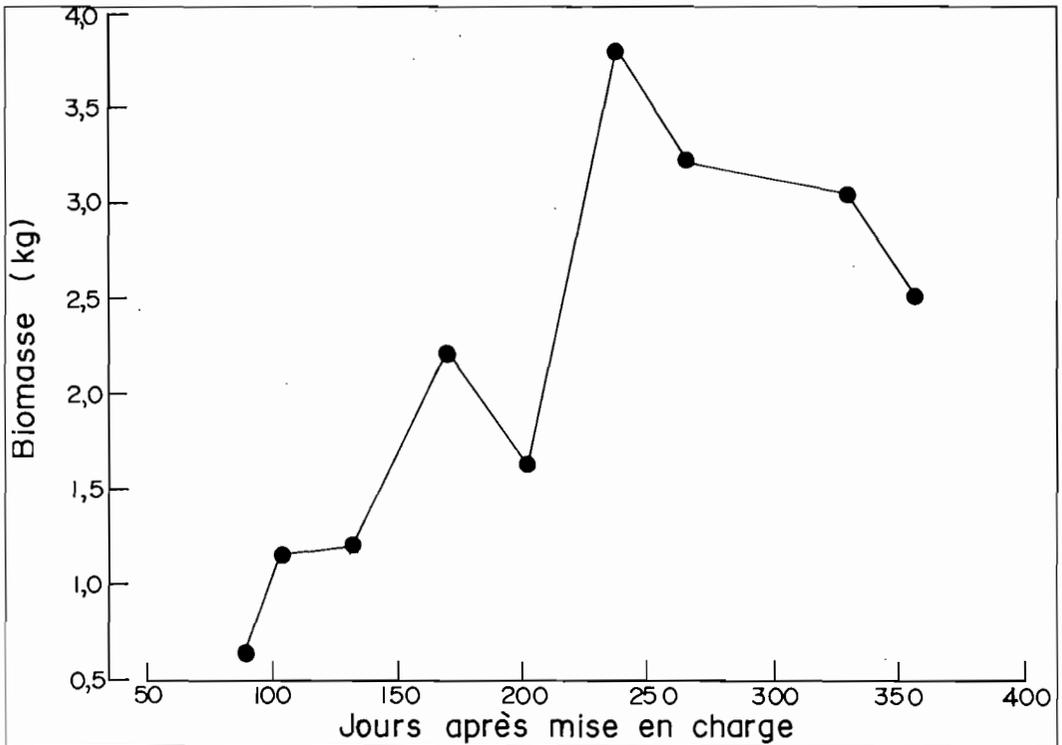


Fig. 2. Evolution dans le temps de la biomasse des poissons dans les étangs ; exemple de l'étang n° 57 d'une superficie de 200 m² (traitement 1, voir Fig. 1).

recrutement. Les 10 étangs dans lesquels les expériences ont été menées, n'avaient jamais été utilisés auparavant ; les étangs 43 à 47 (Fig. 1) étaient prêts plus tôt que les étangs 49 à 54 en raison de problèmes d'infiltration dans ces derniers. L'âge de ces étangs et les problèmes d'infiltration ont fait que dans les deux blocs d'étangs ainsi créés, les régimes alimentaires n'ont pas été les mêmes, ce qui a sans doute mené à des résultats différents.

Le tableau 3 donne les rendements moyens obtenus pour les différents traitements. Les rendements moyens dans les étangs ayant reçu le traitement 1 (aucune élimination des recrues) étaient plus bas que dans tous les autres traitements ($P < 0,05$). En revanche, les traitements consistant à éliminer la moitié des recrues tous les deux mois (traitement 3) ont donné les meilleurs rendements.

L'intersection des courbes des coûts marginaux et des revenus (Fig. 3) suggèrent que le meilleur "score" obtenu se situe entre les traitements 3 et 2, c'est-à-dire un "score" de 0,42. D'après l'équation (4), il est estimé que la procédure de manipulation donnant les meilleurs résultats est celle qui consiste à éliminer la moitié des recrues tous les 37 jours. Toutefois, aucune indication sur les rendements possibles avec cette procédure n'a été donnée. On peut s'attendre cependant à une augmentation de la production et des revenus pour les éleveurs.

Remerciements

L'auteur tient à remercier le Dr. Daniel Pauly pour son assistance dans la préparation de cette communication. Ces

Tableau 3. Différences dans les moyennes des pourcentages de recrutement de tilapias dans les différents étangs (voir le texte).

Traitement n° (par ordre croissant de pourcentage de recrutement)	1	4	2	5	3
Pourcentage de recrutement	45 ^a	46 ^a	56 ^b	57 ^b	64 ^b
Production (g)	3.870	7.540 ^c	6.860 ^c	7.450	8.225

*Voir Fig. 1.

Les valeurs portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (différences testées par erreurs-types ; Bailey, 1981).

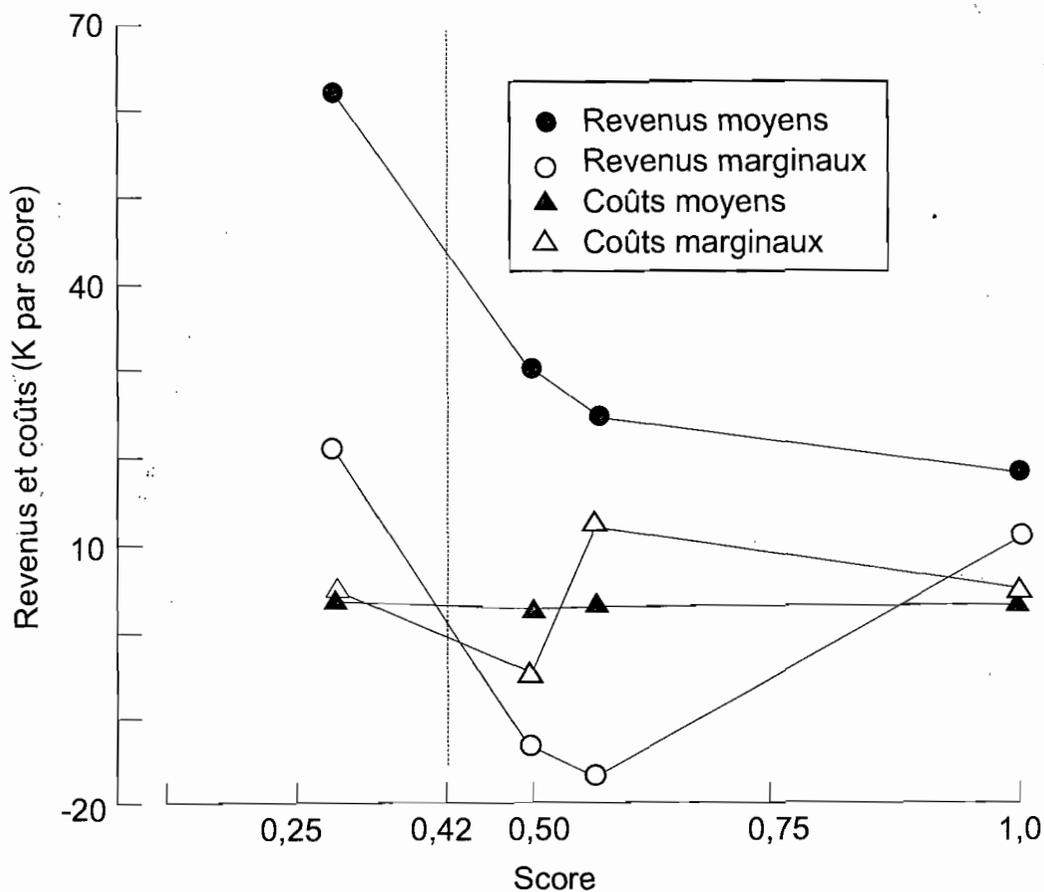


Fig. 3. Courbes des coût marginaux (CM) et des revenus marginaux (RM) indiquant les étangs obtenant les meilleurs scores (0,42).

travaux ont été financés par la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

Littérature citée

- Bailey, N.T.J. 1981. Statistical methods in biology. Second edition. Hodder and Stoughton Ltd., Londres. 99 p.
- Balarin, J.B. 1984. Tilapia, p. 391-397. In I.L. Mason (éd.) Evolution of domesticated animals. Wiley, New York.
- Guerrero, R.D. III. 1982. Control of tilapia reproduction, p. 309-316. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7. 432 p.
- Kadongola, W.K. 1990. Maize (*Zea mays*, Linnaeus) bran as supplemental feed in the culture of *Tilapia rendalli* - Boulenger and *Oreochromis shiranus* (Boulenger). University of Malaŵi, Department of Biology, Zomba. 138 p. Mémoire de maîtrise.
- Mair, D.C. et D.C. Little. 1991. Population control in farmed tilapias. Naga, ICLARM Q. 14(3): 8-13.
- Maluwa, A.O. 1990. Reproductive biology and fry production of *Oreochromis shiranus*. University of Malaŵi, Department of Biology, Zomba. 165 p. Mémoire de maîtrise.
- Mandeng, O. 1988. The diffusion of fish culture in southern region of Malaŵi. Malaŵi-Germany Fishery Project No. 85.2218.8 - 01.100. Zomba, Malawi. 33 p.
- Moav, O.V., G. Wohlfarth, G.L. Schoeder, G. Hulata et H. Barash. 1977. Intensive polyculture of fish in freshwater ponds. 1. Substitution of expensive feeds by liquid cow manure. Aquaculture 10:25-43.
- Msiska, O.V. 1987. Appropriate aquaculture technology for Malaŵi and research needs. Report presented at the ICLARM/GTZ Conference on Awareness Programme of Tropical South-East Asia Aquaculture Technology, Chancellor College, 21-28 septembre 1987, Zomba, Malaŵi. 15 p.
- Okpanefe, M.O. 1982. Sampling the catch of fishing trawlers. Nigerian Institute for Oceanography and Marine Research. Victoria Island, Nigéria. Tech. Pap. No. 2, 8 p.
- Panayotou, T. 1982. Management concepts for small scale fisheries: economic and social aspects. FAO Fish Tech. Pap. 228, 53 p.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. ICLARM Stud. Rev. 8, 325 p.
- Pauly, D. 1987. A review of the ELEFAN system for analysis of length frequency data in fish and aquatic invertebrates, p. 7-34. In D. Pauly et G.R. Morgan (éds.) Length-based methods in fisheries research. ICLARM Conf. Proc. 13, 468 p.
- Pauly, D. et N. David. 1981. ELEFAN I, a BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length frequency data. Meeresforschung/Rep. Mar. Res. 28(4): 205-211.
- Pauly, D. et J.L. Munro. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. Fishbyte 2(1):21.
- Pauly, D., J. Moreau et M. Prein. 1988. A comparison of overall growth performance of tilapia in open waters and aquaculture, p. 469-479. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pullin, R.S.V. 1985. Tilapias: everyman's fish. Biologist 32(2):84-88.
- Sparre, P., E. Ursin et S.C. Venema. 1989. Introduction for tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fish. Tech. Pap. No. 306.1, 203 p.
- Vakily, J.M. 1988. Estimation and comparison of fish growth parameters from pond experiments: a spreadsheet solution. ICLARM Software 3, 12 p.
- van Someren, V.D. et P.J. Whitehead. 1961. The culture of *Tilapia nigra* (Günther) in Ponds VI - The effect of selective cropping methods on breeding populations. E. Afr. Agric. Forest. J. 26(4):202-209.

Stratégies de mise en charge du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) dans des étangs fertilisés

C.F. KNUD-HANSEN

*Department of Fisheries and Wildlife
Michigan State University
East Lansing, Michigan 48824
Etats-Unis d'Amérique*

C. KWEI LIN

*Asian Institute of Technology
Agricultural and Food Engineering Program
G.P.O. Box 2754, Bangkok 10501
Thaïlande*

KNUD-HANSEN, C.F. et C. KWEI LIN. 1996. Stratégies de mise en charge du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) dans des étangs fertilisés, p. 73-81. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Au cours d'une expérience de grossissement d'une durée de 149 jours, nous avons testé les effets de la densité de charge, des récoltes partielles et des mises en charge intermédiaires sur les rendements nets en poissons (RNP) et le poids de récolte des tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*). Des néomâles de tilapias ont été stockés dans des étangs de terre de 280 m² fertilisés avec des fientes de volaille à raison de 8 kg de poids sec·ha⁻¹·jour⁻¹, auxquels ont été ajoutés des compléments d'urée et de superphosphate triple pour donner une fertilisation totale de 4,0 kg N·ha⁻¹·jour⁻¹ et de 1,0 kg P·ha⁻¹·jour⁻¹. Cinq traitements ont été appliqués : trois d'entre eux ont consisté en trois densités de charge différentes (0,8, 1,6 et 2,4 poissons·m⁻²), le quatrième, à ajouter, au bout de 2,5 mois, 0,8 poisson·m⁻² au traitement dont la densité initiale était de 0,8 poisson·m⁻², et le cinquième, à récolter, au bout de 2,5 mois, 50 % des poissons stockés initialement à 1,6 poissons·m⁻².

Les résultats obtenus ont montré que la production de poissons était significativement affectée par la densité de charge ($r^2=0,57$; $P<0,02$), l'extrapolation des rendements nets moyens dans les étangs empoisonnés à raison de 0,8, 1,6 et 2,4 poissons·m⁻² ayant respectivement donné 14,2, 19,2 et 25,7 kg·ha⁻¹·jour⁻¹, et les valeurs pondérales moyennes par poisson ayant respectivement atteint 335, 230 et 214 g. Les RNP moyens pour les premiers 2,5 mois ont dépassé 39,0 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ dans des étangs empoisonnés à raison de 2,4 poissons·m⁻². Les mises en charge supplémentaires ont donné des RNP légèrement plus élevés que ceux obtenus dans les récoltes partielles, soit 21,7 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ contre 18,0 kg·ha⁻¹·jour⁻¹. L'empoisonnement supplémentaire n'a pas significativement affecté la croissance des poissons stockés en début d'expérience. En effet, dans le quatrième traitement, les poids moyens de récolte des poissons stockés à 0,8 poisson·m⁻² au bout de 2,5 mois étaient similaires au poids de ceux stockés en début d'expérience. Ces résultats font apparaître que l'adoption d'une stratégie de mise en charge intermédiaire et de récolte partielle peut conduire à des rendements annuels de tilapias de 30 kg·ha⁻¹·jour⁻¹, avec des poids moyens de plus de 300 g·poisson⁻¹. Les implications de ces résultats au niveau de la gestion des étangs pour obtenir des rendements plus élevés aux poids moyens désirés, font l'objet d'une discussion.

Introduction

La manipulation des densités de charge est un principe d'aménagement établi dans les étangs de pisciculture. Les rendements nets en poissons (RNP) tendent à s'accroître à mesure que les densités de charge augmentent (Milstein et coll., 1988 ; Colman et coll., 1990). Or, la compétition au niveau des aliments naturels (Diana et coll., 1991) et le comportement territorial agressif des poissons (Balarin et Haller, 1982 ; Fishelson, 1983 ; Owusu-Frimpong, 1987) imposent des limites à cette heureuse relation. Si l'un ou l'autre de ces deux facteurs est en rapport avec la taille des poissons, la compétition peut être réduite en élevant des poissons de deux classes de taille différentes dans le même étang, donnant ainsi de plus gros rendements.

L'expérience suivante a été conçue pour tester les effets de la récolte partielle et/ou la mise en charge intermédiaire sur les RNP et/ou le poids des tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) lors de la récolte finale. L'objectif était d'accroître les RNP et le poids des poissons par l'adoption de stratégies de mise en charge et de récolte différentes.

Matériel et méthodes

Les travaux présentés ici ont été menés au Centre Ayutthaya des pêcheries d'eau douce du ministère royal thaïlandais des Pêches à Bang Sai (14°11' N, 100°30' W), situé à environ 60 km au nord-ouest de Bangkok en Thaïlande. Le secteur considéré dans cette étude est un bas-fonds tropical dont la température moyenne annuelle est de 28°C avec des précipitations de 1.370 mm (Egna et coll., 1987). L'expérience a été menée dans quinze étangs de terre de

280 m² et d'environ 0,95 m de profondeur. Les expériences de grossissement ont duré cinq mois, du 24 avril au 20 septembre 1990.

Le but de l'expérience était (1) d'évaluer, dans des étangs fortement fertilisés, les effets des densités de charge initiales de tilapias du Nil sur les RNP et le poids des poissons à la récolte, et (2) d'évaluer les effets d'une mise en charge supplémentaire ou d'une récolte partielle sur les RNP et la croissance des poissons. Cinq traitements ont été appliqués (Fig. 1). Dans les trois premiers traitements dont l'intérêt était de traiter le premier sujet de recherches, des densités de charge initiales de 0,8, 1,6 et 2,4 poissons·m⁻² ont été appliquées. Les quatrième et cinquième traitements, dont l'intérêt était de traiter le deuxième sujet de recherches, ont respectivement consisté à ajouter, au bout de 2,5 mois, 0,8 poisson·m⁻² au traitement dont la densité initiale était de 0,8 poisson·m⁻², et à récolter, au bout de 2,5 mois, 50 % des poissons stockés initialement à 1,6 poissons·m⁻². Ces deux derniers traitements ainsi que les traitements utilisant 0,8 et 1,6 poissons·m⁻² ont constitué une expérience factorielle 2 à 2 (Fig. 1).

Les traitements ont été répétés trois fois suivant un mode de répartition totalement aléatoire. Des néomâles de tilapias du Nil d'un poids individuel de 10 g environ et ayant préalablement subi un traitement hormonal à la 17 α -méthyltestostérone (Buddle, 1984), ont été utilisés dans tous les traitements. Tous les étangs ont été fertilisés à la fiente de volaille à raison de 70 kg de poids sec·ha⁻¹·semaine⁻¹, auxquels ont été ajoutés des suppléments d'urée et de phosphore (P) sous forme de TSP (45 % P₂O₅) pour obtenir un taux d'azote (N) de 0,4 g N·m⁻²·jour⁻¹ et un rapport pondéral N:P de 4:1.

Les analyses de variance et de régression dont les résultats sont présentés ici ont été réalisées selon Steele et Torrie (1980) à l'aide du programme informatique de statistiques Statgraphics 4. Les données chiffrées sont les moyennes obtenues et les erreurs standards (\pm ES) données entre parenthèses.

Résultats

Réponse aux densités de charge initiales

La relation entre RNP et densités de charge initiales a changé entre la première période de 2,5 mois de grossissement et la deuxième (Fig. 2). Dans les étangs empoissonnés à raison de 2,4 poissons·m⁻², les RNP moyens ont atteint 39,4 (\pm 5,8) kg·ha⁻¹·jour⁻¹ pendant les premiers 2,5 mois, c'est-à-dire des rendements significativement supérieurs ($P < 0,05$) à la production

obtenue dans les étangs empoissonnés à une densité de 0,8 et 1,6 poissons·m⁻² qui n'ont respectivement donné que 16,2 (\pm 1,2) kg·ha⁻¹·jour⁻¹ et 20,9 (\pm 3,1) kg·ha⁻¹·jour⁻¹. Les RNP pour ces deux densités de charge (0,8 et 1,6 poissons·m⁻²) ont très peu varié entre la première période de 2,5 mois et la seconde tandis qu'ils ont diminué de plus de la moitié (moyenne = 17,7 [\pm 3,5] kg·ha⁻¹·jour⁻¹) dans le traitement à la densité de 2,4 poissons·m⁻². Sur toute la période de grossissement (5 mois), les RNP ont considérablement augmenté avec les densités de charge initiales (Fig. 3).

Au bout de 2,5 mois de grossissement, aucune relation n'a pu être mise en évidence entre le poids des poissons et la densité de charge initiale, les poids individuels moyens se situant autour de 150 g (Fig. 4). Des différences plus nettes sont apparues au bout de 5 mois de grossissement. A la récolte, les poissons initialement stockés à raison de 0,8 poisson·m⁻² ont atteint des poids

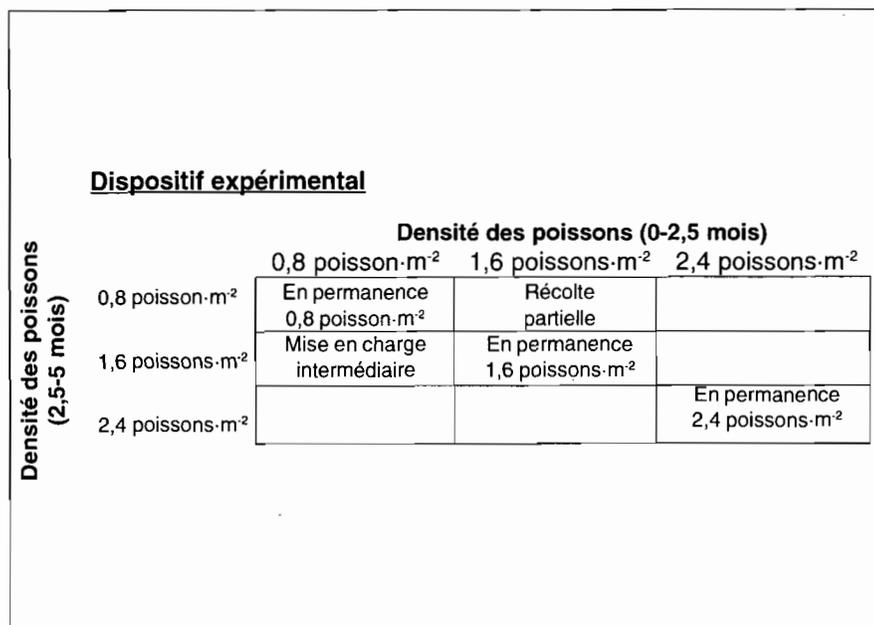


Fig. 1. Dispositif expérimental pour examiner les effets de la densité de charge initiale, de la mise en charge intermédiaire et de la récolte partielle sur la croissance des tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) et leurs rendements.

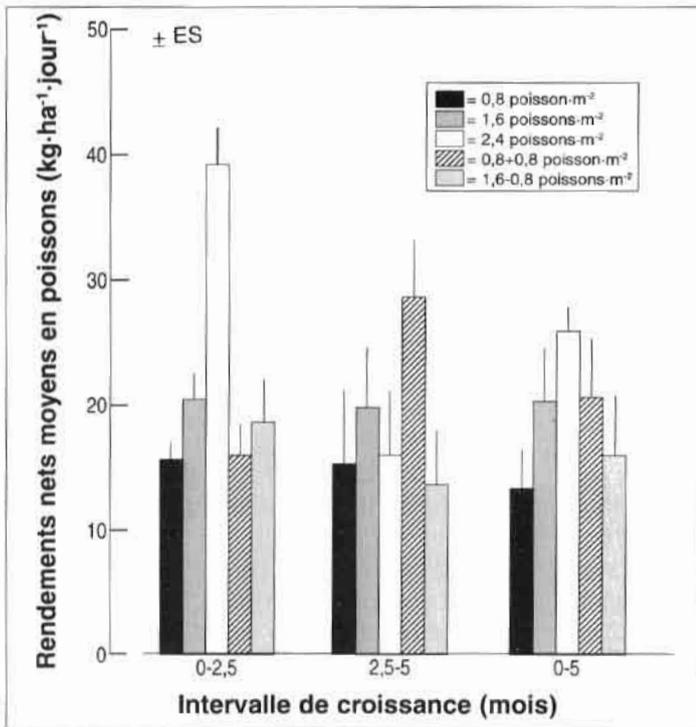


Fig. 2. Rapport entre les rendements nets (\pm ES) en tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) et les différentes densités appliquées. Le traitement "0,8 + 0,8" désigne une densité de charge initiale de 0,8 poisson·m⁻² et une mise en charge supplémentaire de 0,8 poisson·m⁻² au bout de 2,5 mois de grossissement. Le traitement "1,6-0,8" désigne une mise en charge de 1,6 poissons·m⁻² dont 0,8 poissons·m⁻² sont récoltés au bout de 2,5 mois de grossissement.

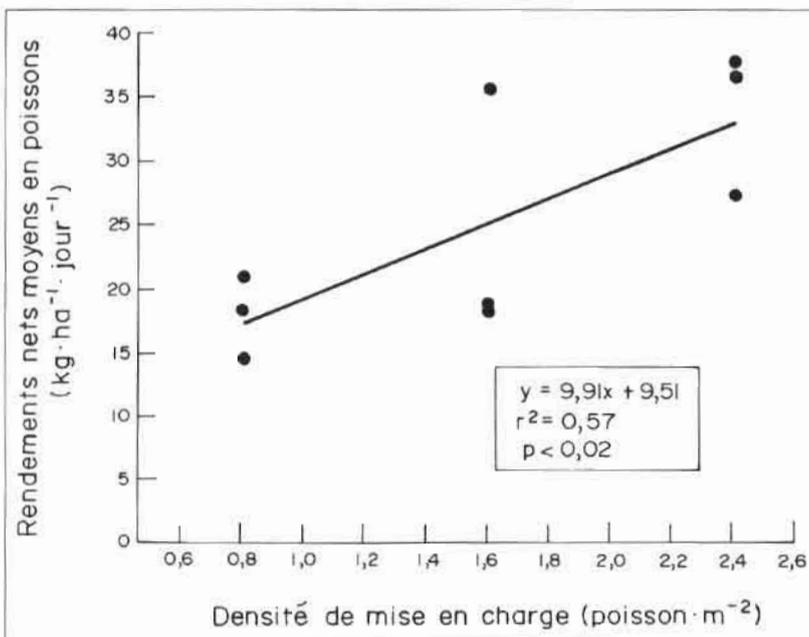


Fig. 3. Rapport entre la densité de charge initiale et le rendement net (kg·ha⁻¹·jour⁻¹) en tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) au bout de 5 mois de grossissement.

moyens de 315,9 ($\pm 41,6$) g tandis que ceux stockés à raison de 1,6 et 2,4 poissons $\cdot m^{-2}$ ont donné des poids moyens assez similaires (209,1 [$\pm 43,9$] et 203,8 [$\pm 24,9$] g), respectivement.

Réponse aux changements de densité

De tous les cinq traitements, le traitement consistant en une mise en charge supplémentaire est celui qui a donné les moyennes de RNP les plus élevées au cours de la seconde période de croissance de 2,5 mois (Fig. 2). Sur toute la durée de l'expérience, les RNP ont atteint des moyennes de 23,6 ($\pm 6,4$) kg $\cdot ha^{-1}\cdot jour^{-1}$. Les poids moyens des poissons à la récolte étaient de 339,3 ($\pm 39,9$) g pour les poissons initialement stockés, et de 129,7 ($\pm 18,2$) g pour les poissons de la mise en charge supplémentaire au bout de 2,5 mois (Fig. 4).

Le traitement consistant en une récolte partielle a donné des RNP similaires à ceux obtenus pour les poissons stockés à raison de 1,6 poisson $\cdot m^{-2}$ au cours des premiers 2,5 mois, et similaires à ceux obtenus pour les poissons stockés à une densité de 0,8 poisson $\cdot m^{-2}$ au cours de la seconde période. Sur toute la durée de l'expérience, les RNP ont atteint des moyennes de 17,9 ($\pm 3,5$) kg $\cdot ha^{-1}\cdot jour^{-1}$, résultats intermédiaires entre les RNP observés pour les poissons stockés initialement à une densité de 0,8 et 1,6 poissons $\cdot m^{-2}$. Les poids enregistrés traduisent une croissance intermédiaire entre les deux densités de charge, avec un poids moyen en fin d'expérience de 286,8 ($\pm 61,3$) g (Fig. 4).

La comparaison des données concernant les poissons des traitements factoriels 2 à 2 (Fig. 1) a débouché sur plusieurs conclusions possibles en ce qui concerne les effets des changements

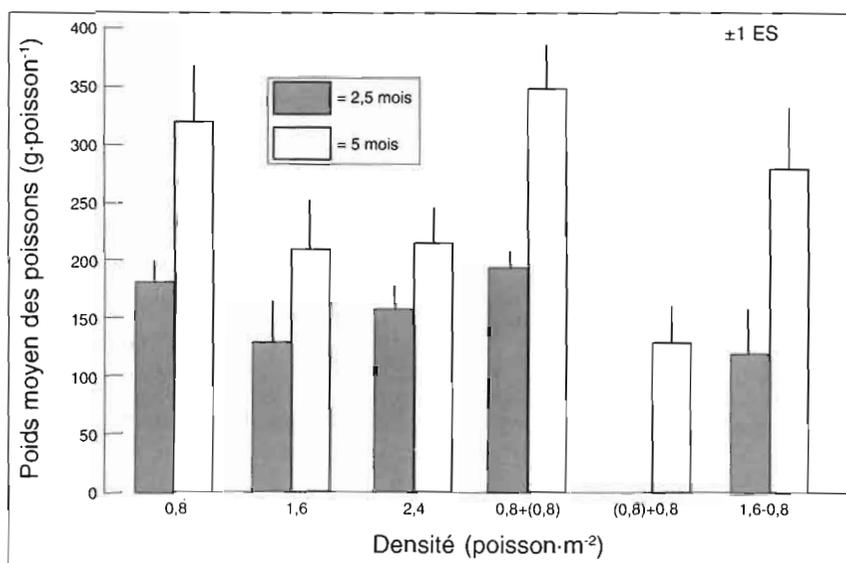


Fig. 4. Rapport entre le poids moyen en fin d'expérience ($\pm ES$) des tilapias du Nil (*O. niloticus*) et les différentes densités de charge initiales. Le traitement "0,8+0,8" désigne une densité de charge initiale de 0,8 poisson $\cdot m^{-2}$ et une mise en charge supplémentaire de 0,8 poisson $\cdot m^{-2}$ au bout de 2,5 mois de grossissement. La désignation "0,8+(0,8)" représente seulement les poissons stockés initialement. Le traitement "1,6-0,8" désigne une mise en charge de 1,6 poissons $\cdot m^{-2}$ dont 0,8 poisson $\cdot m^{-2}$ sont récoltés au bout de 2,5 mois de grossissement.

de densité sur la croissance et les rendements :

1. Les tilapias adultes ont eu une meilleure croissance à des densités de charge réduites. La croissance des poissons restant dans le traitement consistant en une récolte partielle (c'est-à-dire à une densité de 0,8 poisson·m⁻²) a atteint, au cours de la seconde période de 2,5 mois, une moyenne de 15,2 (±3,5) kg·ha⁻¹·jour⁻¹. Ces taux sont similaires aux moyennes des RNP obtenues pour les poissons stockés aux densités constantes de 0,8 et 1,6 poissons·m⁻², c'est-à-dire 15,5 (±2,6) kg·ha⁻¹·jour⁻¹ et 10,3 (±2,7) kg·ha⁻¹·jour⁻¹, respectivement. Les taux de croissance individuelle relativement plus bas relevés chez les poissons stockés initialement à une densité de 1,6 poisson·m⁻² ne semblent pas avoir eu d'effet sur l'aptitude des poissons à accroître leurs taux de croissance quand la densité des poissons a été réduite de moitié au bout de 2,5 mois.

2. La croissance des fingerlings élevés avec d'autres fingerlings s'est révélée similaire à celle observée chez les fingerlings élevés avec des adultes (poids individuel d'environ 150 g ou plus) pour les mêmes densités totales de charge. Les fingerlings stockés lors d'une mise en charge intermédiaire (0,8 poisson·m⁻²) au bout de 2,5 mois ont donné, à la fin de la deuxième période, des rendements de 12,2 (±1,3) kg·ha⁻¹·jour⁻¹ à un poids moyen de 129,7 (±18,2) g. Ces données de croissance sont similaires à celles enregistrées pour les fingerlings stockés à 0,8 poisson·m⁻² avec d'autres fingerlings également stockés à 0,8 poisson·m⁻² (soit à une densité de 1,6 poissons·m⁻²). Pendant le premier intervalle de croissance, les fingerlings stockés avec d'autres fingerlings ont donné des RNP moyens de 10,5±1,6 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ à un poids moyen de 124,6±16,1 g. Ces résultats font apparaître que l'effet de

densité observé sur la croissance des fingerlings de tilapias n'a pas été influencé par la taille des tilapias coexistants.

3. Les adultes (poids individuel d'environ 150 g ou plus) ont eu une meilleure croissance élevés avec des fingerlings qu'élevés avec d'autres adultes à la même densité totale de charge. Les premiers poissons stockés dans le traitement consistant en une mise en charge supplémentaire ont donné des RNP moyens de 17,9±5,1 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ au cours de la deuxième période et un poids individuel moyen de récolte de 339,3±39,9 g. Bien qu'il y ait eu 0,8 poisson·m⁻² supplémentaire dans les étangs, la croissance des poissons était très similaire à celle observée dans les étangs où la densité de charge n'était que de 0,8 poisson·m⁻² (RNP=15,5±2,6 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ ; poids de récolte=315,9±41,6 g). Les adultes stockés à raison de 0,8 poisson·m⁻² et élevés avec d'autres adultes stockés également à 0,8 poisson·m⁻² (soit 1,6 poissons·m⁻²) ont donné des rendements moyens de 10,3±2,7 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ à un poids moyen de récolte de 209,1±43,9 g.

Les taux de survie ont atteint 86,4 % en moyenne (min. 75,9 ; max. 94,1) pour tous les traitements et mises en charge (n=15).

Discussion

Les résultats de la présente étude confortent ceux de Milstein et coll. (1988), savoir que l'augmentation des densités de charge initiales entraîne un accroissement progressif des RNP pour les tilapias stockés entre 0,15 et 0,9 poisson·m⁻², résultats qui se sont avérés dans le cadre d'une expérience en bassin de courte durée avec des densités initiales allant jusqu'à 5 poissons·m⁻² (Colman et coll., 1990). En revanche,

Diana et coll. (1991) ont rapporté que les RNP de tilapia du Nil décroissaient à mesure que les densités de charge augmentaient de 1 à 3 poissons·m⁻². Les étangs n'étaient fertilisés qu'avec de la fiente de volaille à un taux d'apport d'azote n'atteignant que 20 % du taux appliqué dans le cadre de nos propres recherches. Comme l'alimentation des tilapias est essentiellement composée d'algues (Colman et Edwards, 1987 ; Schroeder et coll., 1990), il est fort probable que les densités préconisées par Diana et coll. (1991) aient été trop fortes par rapport à la quantité de nourriture disponible. Dans notre étude, les taux élevés de fertilisation inorganique en azote et phosphore se sont souvent traduits par des concentrations d'oxygène dissous l'après-midi supérieures à 25 mg·l⁻¹ et par des concentrations de chlorophylle *a* supérieures à 300 mg·m⁻³. La productivité primaire s'étant accrue, les problèmes de nourriture à des densités de charge plus élevées ne se sont pas posés. Toutefois, lors d'une étude ultérieure où les mêmes taux élevés de fertilisation et une densité de charge d'environ 3 poissons·m⁻² ont été appliqués, les RNP obtenus n'étaient pas significativement différents de ceux obtenus avec des densités de 2,4 poissons·m⁻² lors des première et deuxième périodes de croissance de 2,5 mois (Knud-Hansen, données non publiées).

On ne comprend pas bien pourquoi les fingerlings n'ont pas provoqué un effet de densité sur la croissance des adultes alors que l'augmentation des densités des fingerlings et des adultes ont eu un effet sur la croissance et le rendement d'autres fingerlings. Ceci pourrait éventuellement s'expliquer par un phénomène de compétition au niveau de la nourriture et/ou de l'espace. En effet, comme la fertilisation des étangs était relativement élevée et que ceux-

ci étaient assez verts, il semblerait que les poissons adultes aient posé des limites à la croissance des fingerlings en les devançant dans leur course au phytoplancton. Des questions de différences de calibre du phytoplancton absorbé par les poissons pourraient expliquer pourquoi les adultes n'ont pas été affectés par la présence des fingerlings mais elles n'expliquent pas pourquoi la croissance de fingerlings a été négativement affectée par la présence d'adultes. Les questions de territorialité constatées chez les tilapias mâles (Balarin et Haller, 1982 ; Owusu-Frimpong, 1987) où l'agressivité se manifesta uniquement entre poissons de taille similaire ou supérieure semblent offrir davantage d'éclaircissements. Fishelson (1983) a observé une importante corrélation entre le rang social et l'agressivité des tilapias mâles. En effet, il suffit aux poissons se trouvant au sommet de la hiérarchie sociale de nager aux côtés des poissons de moindre rang pour maintenir leur dominance. Les grandes différences de taille entre les poissons nouvellement stockés et ceux ayant déjà 2,5 mois (10 g contre 150 g) suffisent à elles seules pour établir une nette dominance par les plus grands poissons. Les fingerlings seraient donc affectés par les adultes mais non l'inverse.

Bien que les récoltes partielles n'aient pas, à elles seules, suffi pour accroître les rendements, conclusion soutenue par Moav et coll. (1977), l'association de celles-ci avec des mises en charge intermédiaires pourrait déboucher sur un "compromis" entre rendements élevés de poissons de plus petite taille stockés à des densités plus élevées et rendements moins importants de poissons plus gros stockés à faible densité. Le fait que la croissance des adultes n'ait pas été affectée par la mise en charge de nouveaux alevins suggère

qu'il est possible d'adopter une stratégie de récolte et de mise en charge où de nouvelles mises en charge de fingerlings seraient effectuées toutes les 10 semaines, et où les adultes seraient récoltés toutes les 10 semaines également, cela au bout de 20 semaines (Tableau 1). La mise en charge de poissons à une densité de 0,8 poisson·m⁻² toutes les 10 semaines dans des étangs fertilisés à raison d'environ 4 kg N·ha⁻¹·jour⁻¹ pourrait hypothétiquement donner des rendements réguliers d'environ 10.000 kg·ha⁻¹·an⁻¹ à des poids moyens dépassant 300 g.

Le tableau 2 présente différentes stratégies de mise en charge selon le poids désiré des tilapias à la récolte. Les rendements et le poids des poissons

calculés à cet effet sont des extrapolations réalisées à partir des données de la présente étude. Les périodes de grossissement ont été calculées sur la base d'une mise en charge de poissons d'environ 5 à 10 g dans des étangs fertilisés à raison de 4 kg N·ha⁻¹·jour⁻¹ auxquels ont été ajoutés du phosphore et du carbone en quantités suffisantes pour maintenir les taux d'azote (Knud-Hansen et coll., 1991 ; Knud-Hansen et Batterson, 1994). Pour obtenir des poissons d'un poids moyen de 125 g ou 225 g, les densités de charge les plus élevées ont respectivement donné des extrapolations de RNP de 14.000 kg·ha⁻¹·an⁻¹ et de 9.500 kg·ha⁻¹·an⁻¹, soit les extrapolations les plus hautes. Bien que cela n'ait pas encore

Tableau 1. Rendements nets théoriques pour le tilapia du Nil sur la base d'un poids individuel moyen de 325 g en adoptant une stratégie de mise en charge intermédiaire et de récolte partielle, à des taux de fertilisation importants.

Traitement/rendement	Semaines					
	0	10	20	30	40	50
Densité de charge (poisson·m ⁻²)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Rendements nets (kg·ha ⁻¹ ·jour ⁻¹)		12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
			17,80	17,8	17,8	17,8
Récolte			2.100	2.100	2.100	2.100

Tableau 2. Stratégies d'empoissonnement des tilapias du Nil pour obtenir des RNP au poids désiré. Les étangs ont été fertilisés à raison de 4 kg N ha⁻¹·jour⁻¹ et 1 kg P·ha⁻¹·jour⁻¹).

Poids moyen des poissons (g·poisson ⁻¹)	Densité de charge (poisson·m ⁻²)	Période de grossissement (semaines)	Extrapolation des RNP moyens (kg·ha ⁻¹ ·jour ⁻¹)	Extrapolation des RNP moyens (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)
125	0,8	8	15	5.500
	1,6	8	26	9.500
	2,4	8	39	14.000
225	0,8	14	15	5.500
	1,6	26	18	6.500
	2,4	26	27	9.500
325	0,8	21	15	5.500
	1,6	40	13	5.000
	2,4	50	20	7.000
	RP/EI*	20	30	11.000

*Récolte partielle/empoissonnement intermédiaire (voir le tableau 1).

été vérifié, les mises en charge intermédiaires et les récoltes partielles devraient donner des rendements encore plus importants pour les poissons de plus grande taille. Pour obtenir des poissons d'environ 325 g, la stratégie décrite dans le tableau 1 devrait donner les RNP les plus élevés, soit 11.000 kg·ha⁻¹·an⁻¹ environ.

Remerciements

Les travaux présentés dans cette communication ont été conjointement menés par l'université d'Etat du Michigan (E.-U.), l'université du Michigan (E.-U.), l'Institut national des pêcheries continentales (AIT, Thaïlande), et l'Institut asiatique de technologie (Thaïlande), dans le cadre du Programme de soutien à la recherche collaborative sur la dynamique des étangs et l'aquaculture (CRSP) financé par l'Agence pour le développement international, subvention n° DAN-4023-G-SS-7066-00 et par des institutions associées audit programme. Cette communication est aussi incluse (*en anglais uniquement, NdT*) dans la série Pond Dynamics/Aquaculture sous le numéro 1064. Nous tenons à remercier la Station de recherche agricole du Michigan pour son soutien à ces travaux. Nous sommes aussi redevable envers le personnel du laboratoire d'aquaculture de l'AIT pour leur assistance technique.

Littérature citée

- Balarin, J.D. et R.D. Haller. 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages, p. 265-355. In J.F. Muir et R.J. Roberts (éds.) Recent advances in aquaculture. Westview Press, Boulder, Colorado. 443 p.
- Buddle, C.R. 1984. Androgen-induced sex-inversion of *Oreochromis* (Trewavas) hybrid fry stocked into cages standing in earthen ponds. *Aquaculture* 40:233-239.
- Colman, J. et P. Edwards. 1987. Feeding pathways and environmental constraints in waste-fed aquaculture: balance and optimization, p. 240-281. In D.J.W. Moriarty et R.S.V. Pullin (éds.) Detritus and microbial ecology in aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Colman, J., P. Edwards, M. Yomchinda et C. Pacharaprakiti. 1990. Extending the limits of fish production in manured static-water ponds. *Aquaculture* 89:27-41.
- Diana, J.S., D.J. Dettweiler et C.K. Lin. 1991. Effect of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) on the ecosystem of aquaculture ponds, and its significance to the trophic cascade hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48:183-190.
- Egna, H.S., N. Brown et M. Leslie. 1987. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research data reports. Vol. 1. General reference: site descriptions, materials and methods for the global experiment. Oregon State University, Corvallis. 84 p.
- Fishelson, L. 1983. Social behavior of adult tilapia fish in nature and in captivity, p. 48-59. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Knud-Hansen, C.F. et T.R. Batterson. 1994. Effect of fertilization frequency on the production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 123:271-280.
- Knud-Hansen, C.F., C.D. McNabb et T.R. Batterson. 1991. Application of limnology for efficient nutrient utilization in tropical pond aquaculture. *Trav. Assoc. Int. Limnol. Théor. Appl.* 24:2541-2543.
- Milstein, A., G. Hulata et G.W. Wohlfarth. 1988. Canonical correlation analysis of relationships between management inputs and fish growth and yields in polyculture. *Aquacult. Fish. Manage.* 19:13-24.
- Moav, R., G. Wohlfarth, G.L. Schroeder, G. Hulata et H. Barash. 1977. Intensive polyculture of fish in freshwater ponds. I. Substitution of expensive feed by liquid cow manure. *Aquaculture* 10:25-43.
- Owusu-Frimpong, M. 1987. Breeding behavioural pattern of the lake fish *Tilapia discolor* Gunther (Teleostii, Cichlidae) in captivity. *J. Fish Biol.* 30:1-5.
- Schroeder, G.L., G. Wohlfarth, A. Alkon, A. Halevy et H. Krueger. 1990. The dominance of algal-based food webs in fish ponds receiving chemical fertilizers plus organic manures. *Aquaculture* 86(2/3):219-230.
- Steele, R.G.D. et J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. 2^e éd. McGraw-Hill, New York. 633 p.

La reproduction spontanée du tilapia : une chance ou un handicap pour le développement de l'aquaculture africaine ?

J. LAZARD

*Programme aquaculture et pêche
Département d'élevage et de médecine vétérinaire
Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement (CIRAD-EMVT)
Groupe aquaculture continentale
méditerranéenne et tropicale (GAMET)
BP 5095-34033 Montpellier Cédex 1
France*

M. LEGENDRE

*Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération (ORSTOM)
Groupe aquaculture continentale
méditerranéenne et tropicale (GAMET)
BP 5095-34033 Montpellier Cédex 1
France*

LAZARD, J. et M. LEGENDRE. 1996. La reproduction spontanée du tilapia : une chance ou un handicap pour le développement de l'aquaculture africaine ? p. 82-98. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon-Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La reproduction spontanée et continue, au cours de l'année, des tilapias en captivité a d'abord été considérée comme un atout inespéré pour le développement de la pisciculture en Afrique, puis rapidement comme un handicap sérieux dans l'optique de l'élevage de ce poisson en étang, du fait de la surpopulation qu'elle engendrait. Différentes techniques ont permis de surmonter cet obstacle.

On peut s'interroger sur les avantages et les inconvénients de la sexualité des tilapias pour l'approvisionnement en alevins des aquaculteurs. Parmi les atouts figure la possibilité pour les aquaculteurs artisans de produire leurs propres alevins. Parmi les inconvénients figure la difficulté de gérer la qualité des géniteurs. Les faibles quantités d'oeufs produites à chaque ponte obligent à travailler sur un grand nombre de géniteurs, et l'asynchronie entre les pontes rend délicate la production simultanée de grandes quantités d'alevins calibrés. Enfin, le contrôle des reproductions indésirées en élevage implique l'utilisation de populations monosexes.

Ces différents éléments sont analysés et discutés à trois niveaux : stratégies de développement, micro-économie et identification de thèmes de recherche à développer pour améliorer les différentes options. Les données relatives à trois espèces de tilapias (*Oreochromis niloticus*, *Sarotherodon melanotheron* et *Tilapia guineensis*) sont comparées à celles obtenues avec deux espèces de silures africains de la famille des Clariidés (*Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis*) nécessitant des techniques de reproduction induite, mais beaucoup plus fécondes.

Introduction

La pisciculture africaine a démarré il y a environ 50 ans avec les tilapias comme espèces de base. Les atouts essentiels de ce poisson étaient sa reproduction spontanée en captivité, un alevinage facile et son régime alimentaire à la fois situé en début de chaîne alimentaire et très plastique. L'inconvénient majeur présenté par ce poisson était sa maturité sexuelle très précoce en captivité correspondant à une taille fréquemment inférieure à sa taille marchande. Cette maturité précoce induit très rapidement en étang (infrastructure principalement utilisée en pisciculture africaine) surpopulation et nanisme au cours des élevages.

Les différentes recherches menées dans les années 1970 sur le continent africain et ailleurs ont permis à la fois une meilleure maîtrise des inconvénients liés à l'élevage des tilapias en structures fermées (monosexage, élevage mixte avec prédateur) et le développement des élevages en structures ouvertes (cages, enclos). Par ailleurs, la maîtrise du cycle biologique d'autres espèces d'intérêt aquacole (notamment de Siluriformes) a été obtenue.

Les principales espèces de tilapias étudiées dans le cadre de la présente réflexion sont *Oreochromis niloticus*, *Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis* qui couvrent ainsi les trois genres du groupe des tilapias, et *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis*, deux silures africains de la famille des Clariidés dont l'intérêt aquacole a été démontré plus récemment. Les traits relatifs à la biologie de la reproduction et aux méthodes d'obtention des oeufs et des alevins en captivité seront tout d'abord comparés pour les deux groupes d'espèces. L'incidence sociale et économique de ces différentes

caractéristiques biologiques et techniques sur le développement de l'élevage des tilapias et des Clariidés sera ensuite analysée.

Données biologiques relatives à la reproduction de quelques tilapias et silures

Le bilan comparatif de la reproduction des tilapias et des silures est donné dans le tableau 1.

Age de première maturation sexuelle

L'âge et la taille de première maturation sexuelle varient avec l'environnement dans lequel sont placés les poissons. Chez les cinq espèces étudiées, la maturité sexuelle intervient plus précocement et à une taille plus réduite en condition d'élevage que dans le milieu naturel.

Pour *O. niloticus*, la première maturation sexuelle intervient généralement vers l'âge de deux à trois ans en conditions optimales dans le milieu naturel (lac) alors qu'en conditions défavorables telles que la captivité dans de petits étangs, la reproduction peut intervenir dès l'âge de trois mois (McBay, 1961 ; Ruwet et coll., 1976). Pour *S. melanotheron* et *T. guineensis* élevés en enclos lagunaire, la première maturation sexuelle intervient à six à huit mois (50 g) et à sept à neuf mois (60 g), respectivement. En milieu naturel (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire), le poids de première maturation de ces deux espèces est plus élevé (130 et 80 g, respectivement) pour un âge non déterminé (Legendre et coll., 1990).

Chez *C. gariepinus*, la maturité sexuelle intervient vers deux ans dans le milieu naturel (Richter, 1976). En conditions d'élevage, la maturité est atteinte vers huit à 10 mois (Pham, 1975) ou cinq à

Tableau 1. Reproduction comparée tilapias-silures : données biologiques et contraintes (ONI, *Oreochromis niloticus* ; SME, *Sarotherodon melanotheron* ; CGA, *Clarias gariepinus* ; et HLO, *Heterobranchus longifilis*).

	Tilapias	Silures
Fécondité, prolificité	Ponte spontanée en captivité 350-3.500 oeufs/♀ (ONI)	Induction de la ponte nécessaire 60.000-80.000 oeufs/kg de ♀
Fréquence de ponte	2 semaines (SME) à 6 semaines (ONI)	6-8 semaines (CGA) 4-8 semaines (HLO)
Contrôle de la reproduction (contraintes)	Sexe ratio à respecter Densité de mise en charge Poids individuel des ♀ et ♂ Durée de reproduction/ remplacement des géniteurs	Choix de géniteurs matures (biopsie, examen papille génitale) Induction hormonale de l'ovulation Fécondation artificielle Incubation des oeufs
Réforme des géniteurs	Environ 18 mois	CGA (?) ; HLO (>6 ans)
Relations à la taille marchande	Taille reproduction < taille marchande	taille reproduction ≥ taille marchande CGA : 200 g HLO : 300-1.500 g
Dimorphisme de croissance	♂ > ♀	CGA : ♂ > ♀ HLO : ♂ = ♀
Hybrides	Qualité des souches Fécondité hybrides < fécondité intraspécifique	Hybridation CGA x HLO possible
Elevage larvaire	Pas d'élevage larvaire chez <i>Oreochromis</i> et <i>Sarotherodon</i> Brève phase larvaire chez <i>Tilapia</i>	Elevage larvaire nécessaire
Bilan des contraintes	Planification de la production Nombre de géniteurs élevé Pas de synchronisation des pontes (donc nombreuses structures nécessaires)	Induction de l'ovulation + fécondation artificielle Elevage larvaire

sept mois (Legendre et coll., 1992), à un poids de 100 à 200 g.

Chez *H. longifilis*, la maturité sexuelle intervient à l'âge de 12 à 14 mois à un poids qui varie de 300 à 1.500 g selon les conditions d'élevage (Legendre et coll., 1992). Dans le milieu naturel, la

première maturation sexuelle intervient à deux ans (Motwani, 1970).

Fécondité

Chez les tilapias, comme chez les autres poissons, la fécondité absolue

augmente avec la taille des femelles. Chez *O. niloticus*, la fécondité absolue minimale observée est de 340 ovules pour une femelle de 26 g, la fécondité maximale de 3.500 ovules pour une femelle de 550 g (Mélard, 1986). Chez *S. melanotheron* la fécondité absolue moyenne est, en enclos, de 450 oeufs pour une femelle de 100 g, de 700 oeufs pour une femelle de 200 g et 1.000 oeufs pour une femelle de 300 g (Legendre et coll., 1990). Pour des poids équivalents, la fécondité est respectivement de 4.000, 8.000 et 12.000 oeufs par femelle de *T. guineensis* élevée en enclos (Legendre et coll., 1990).

En revanche, la fécondité relative (exprimée en nombre d'oeufs fécondés ou d'alevins produits par kilogramme de femelle) varie en sens inverse du poids moyen des femelles de tilapia. Ceci oblige, pour une production maximale d'alevins avec une même biomasse de géniteurs, à conserver un nombre élevé de femelles de petite taille, d'environ 100 à 150 g chez *O. niloticus* (Mélard, 1986).

Chez les Clariidés étudiés, la fécondité relative moyenne rapportée au kilogramme de femelle varie relativement peu avec leur poids individuel. Chez *C. gariepinus*, la fécondité absolue est de 39.000 oeufs pour une femelle de 500 g, 81.000 oeufs pour une femelle de 1 kg et 132.600 oeufs pour une femelle de 1,5 kg, soit environ 80.000 oeufs par kg de femelle (Hogendoorn, 1983).

Chez *H. longifilis*, la fécondité est maximale en saison des pluies. Elle est en moyenne de 130.000 oeufs pour une femelle de 2 kg et de 344.000 oeufs pour une femelle de 4 kg (Legendre, 1986). De fortes variations saisonnières de fécondités sont observées : 28.000 oeufs par kg de femelle en saison sèche et 68.000 oeufs par kg de femelle en saison des pluies.

Fréquence de ponte

Fréquence de ponte et quantité d'alevins produits sont directement corrélées chez les tilapias et il semble plus logique de raisonner sur des valeurs moyennes durant une période de reproduction donnée que sur la base des résultats concernant des pontes unitaires. En conditions optimales et à une température de 25 à 28°C, une femelle de *O. niloticus* peut se reproduire tous les 30 à 40 jours (Ruwet et coll., 1976), mais on observe une très forte variabilité individuelle (Mires, 1982). Ainsi, selon cet auteur, la fréquence de ponte en aquarium d'une femelle de *O. niloticus* de 400-500 g de poids moyen varie de 23 à 50 jours avec une très grande variabilité du nombre total de pontes obtenu (deux à sept) durant la période d'observation considérée (11 mois).

Chez *S. melanotheron* et chez *T. guineensis*, la fréquence de ponte moyenne observée en bassins de béton de 4 m² (sexe ratio 1:1) est sensiblement plus élevée, avec un intervalle entre deux pontes de deux semaines et de trois semaines, respectivement (Legendre et coll., 1990).

D'une façon générale, la ponte au sein d'une population de géniteurs de tilapias (même âge, même taille, même stade de maturité sexuelle) se fait de façon irrégulière, asynchrone pour les différentes femelles.

Chez *C. gariepinus*, dans des conditions optimales d'élevage (alimentation, température, qualité et renouvellement d'eau), la fréquence minimale d'induction répétée de l'ovulation par traitement hormonal sur une même femelle est de l'ordre de six à huit semaines sans perte de la fécondité par ponte unitaire (Hogendoorn, 1983).

Chez *H. longifilis*, la fréquence de ponte de femelles traitées avec HCG est

de deux mois sans perte de fécondité (Legendre, 1986) et pourrait sans doute être inférieure (un mois, Z. Otémé, comm. pers.).

Contrôle de la reproduction

Chez les tilapias, l'induction hormonale de la ponte n'est pas pratiquée. Une gestion rigoureuse des stocks de géniteurs est toutefois nécessaire dans le cadre d'une production massive d'oeufs et d'alevins. Ainsi, chez *O. niloticus*, les résultats peuvent être optimisés par les pratiques et conditions d'élevage suivantes :

- séparation des sexes avant mise en place des géniteurs en structures de production (étangs, hapas, bassins en béton) pour une production plus rapide et plus régulière en alevins (Guerrero, 1987 ; Parrel et coll., 1990) ;

- remplacement des géniteurs à des fréquences élevées : tous les 21 jours en hapas selon Lovshin et Ibrahim (1987), ce qui permet un accroissement de la production d'oeufs et d'alevins de l'ordre de 16 % ; et

- densités de mise en charge de 0,7 géniteurs·m⁻² en étangs de 400 m² (Lazard, 1984) ou de 4 à 5 géniteurs·m⁻² en hapas (Bautista, 1987 ; Guerrero, 1987) et sexe ratio optimal (♀:♂) généralement de l'ordre de 3:1.

Il est à noter que pour *S. melanotheron* chez lequel l'incubation buccale des oeufs est pratiquée par le mâle, le sexe ratio optimal est de 1:1.

La reproduction sans aucun recours à l'induction hormonale de l'ovulation est possible chez les silures *C. gariepinus* et *H. longifilis*, mais elle donne des résultats médiocres en termes de nombre d'oeufs et d'alevins produits. Ainsi, chez *C. gariepinus*, la reproduction naturelle en étang où l'on simule une crue (remplissage de l'étang en une journée) conduit à une production d'alevins de

l'ordre de 145 individus par 100 m², 1,5 mois après l'empoissonnement en géniteurs sexuellement matures.

Les meilleurs résultats chez *C. gariepinus* sont obtenus par induction de l'ovulation avec des hormones de différents types : HCG, extraits hypophysaires de carpes et LH-RHa associée au pimozide. Chez *H. longifilis*, l'HCG donne 100 % de réponse.

Réforme des géniteurs

La période la plus productive des géniteurs de tilapias recouvre les 18 premiers mois d'activité sexuelle (Rana, 1988), période à l'issue de laquelle il est recommandé de renouveler le stock de géniteurs.

En revanche chez les silures, aucune baisse de fécondité ne semble avoir été mise en évidence dans le cadre des expérimentations réalisées jusqu'à présent sur chacune des espèces étudiées ici. Chez *C. gariepinus*, aucune référence relative à l'âge recommandé pour la réforme des géniteurs ne semble exister et chez *H. longifilis*, aucune baisse de fécondité relative n'a été observée jusqu'à l'âge de six ans (6 kg de poids moyen).

Maturation et taille marchande ; dimorphisme sexuel de croissance

Chez les principaux tilapias utilisés en aquaculture, la maturité sexuelle intervient bien avant la taille marchande en élevage. En outre, chez tous les tilapias, on observe un dimorphisme de croissance en faveur des mâles dont on ignore encore le déterminisme précis. D'où les différentes méthodes employées pour produire des populations monosexes mâles (traitements hormonaux, hybridation interspécifique, principalement).

Chez le silure *H. longifilis*, aucune différence significative de la croissance

des mâles et des femelles n'a été mise en évidence (Legendre et coll., 1992). En revanche, un important dimorphisme de croissance en faveur des mâles est observé chez *C. gariepinus* (Henken et coll., 1987). Legendre et coll. (1992) rapportent, après 307 jours d'élevage en bassins cimentés, un poids moyen pour *H. longifilis* de 700 g chez les femelles et 680 g chez les mâles, et de 260 g et 450 g, respectivement, pour les femelles et les mâles de *C. gariepinus*.

Hybridation

La production d'hybrides de *Oreochromis* est réalisée depuis une trentaine d'années et a atteint dans les années 1970 une dimension commerciale (en Israël au début, puis dans de nombreux autres pays ensuite). Le but recherché par ces hybridations est généralement double : héritage de qualités parentales favorables (croissance, résistance au froid, meilleure capturabilité, coloration du mésentère, etc.) et obtention d'un fort pourcentage de mâles.

L'utilisation de ces croisements interspécifiques s'est toujours heurtée à un double problème de faible fertilité en comparaison des reproductions intraspécifiques (Rothbard et coll., 1983) et de maintien de lignées pures de géniteurs en vue d'obtenir des descendance proches de 100 % de mâles. Une prolificité accrue a pu être obtenue en sélectionnant les souches parentales (Hulata et coll., 1985) ou en utilisant des hybrides F₁ comme géniteurs, un traitement hormonal masculinisant étant ensuite appliqué aux descendance (Rothbard et coll., 1983).

L'hybridation est également possible chez les Clariidés par le biais de fécondations *in vitro* (Legendre et coll., 1992). L'hybride *H. longifilis* x *C. garie-*

pinus présente une croissance équivalente ou supérieure en fonction des conditions environnementales à celle du parent le plus performant (*H. longifilis*). Le sexe ratio des hybrides est équilibré ; ils sont fertiles mais avec une mauvaise efficacité de leur gamétogenèse ; mâles et femelles ont une croissance équivalente. Par rapport à l'utilisation de *H. longifilis*, l'intérêt aquacole d'un tel hybride de mise au point récente reste à mettre en évidence (résistance éventuelle à certaines conditions de milieu, à certaines pathologies, etc.).

Taille des oeufs et élevage larvaire

Les oeufs de *Oreochromis* et *Sarotherodon* présentent une taille (2,5 à 4,5 mm) nettement supérieure à celle des *Tilapia*, d'une part (1,5 à 2,0 mm), et des Clariidés, *C. gariepinus* et *H. longifilis* (1,5 mm), d'autre part.

Cette situation a un impact direct sur la phase d'alevinage : à l'issue de la résorption vitelline, au moment de leur entrée en phase trophique (20 mg environ), *Oreochromis* et *Sarotherodon* présentent déjà la morphologie définitive des adultes ; ils sont robustes et leurs besoins alimentaires sont simples à satisfaire.

A l'inverse, les larves de Clariidés dont le poids est d'environ 1,8 mg au moment de leur entrée en phase trophique nécessitent une alimentation spécifique et des conditions d'élevage particulières.

Les tilapias du genre *Tilapia* qui présentent une brève période larvaire constituent une situation intermédiaire, avec la possibilité d'une forte mortalité au moment de la première alimentation (observations faites sur *T. guineensis* ; Legendre et coll., 1990).

Données biotechniques sur la production d'alevins et de fingerlings de tilapias et de silures

Infrastructures utilisées : contraintes biologiques et techniques

TILAPIAS

Au début du développement de l'aquaculture africaine, les mêmes étangs étaient utilisés pour réaliser toutes les phases de production : reproduction, prégrossissement et grossissement (élevage par classes d'âge mélangées). Les résultats étaient médiocres (surpopulation, compétition alimentaire, cannibalisme) pour les trois phases et le nombre d'alevins récoltés était faible, entre 0,5 et 1,2 individus·m⁻²·mois⁻¹, avec une grande hétérogénéité des tailles. Par ailleurs, avec ce système, il n'était pas possible de faire la distinction entre les alevins récemment éclos et les poissons de petite taille atteints de nanisme et se reproduisant de façon précoce (néoténie).

Deux techniques plus récentes et plus performantes seront brièvement décrites ici : la production d'alevins en étang la plus répandue et celle qui semble la mieux adaptée à l'Afrique, d'une part, et la production en hapas ou petites cages, très répandue en Asie et qui pourrait convenir à de nombreuses situations africaines car peu exigeante en investissements et superficie, d'autre part.

En étang. Les nombreux essais de production d'alevins de *O. niloticus* réalisés ces dernières années conduisent à recommander, en étang, les principales méthodes résumées dans le tableau 2.

En termes de conditionnement et gestion des géniteurs, ceux-ci sont mis au repos sexuel et reconditionnés pour la

reproduction suivante (séparation des sexes, aliment riche en protéines à 4 % du poids vif·jour⁻¹) durant une à deux semaines (après une activité sexuelle de reproduction de trois à quatre semaines en étang de 300-500 m²) selon Guerrero (1985) ou durant une période équivalente à la période de reproduction (quatre mois en étang de 350 m²) selon P. Parrel (comm. pers.). Pour Guerrero (1987), les géniteurs femelles doivent avoir une taille légèrement supérieure à celle des mâles (20 à 30 g de plus) pour des géniteurs de 100 à 200 g. Lazard (1984) utilise, quant à lui, des mâles plus gros que les femelles (240 contre 100 g) et Parrel et coll. (1990) recommandent des géniteurs de poids moyen supérieur à 200 g. Guerrero (1987), partant de géniteurs de 50 à 100 g pour des reproductions en petit étang, recommande leur remplacement lorsqu'ils ont atteint le poids moyen de 250 à 350 g.

Le prégrossissement en étang, à partir d'alevins de 0,5-1 g s'effectue jusqu'à 5 g à la densité de 25 individus·m⁻² durant 60 jours avec un aliment composé comportant 20 % de farine de poisson.

Le prégrossissement à partir d'alevins de poids inférieur à 0,1 g s'effectue en hapas à la densité de 500 à 1.000·m⁻² durant une à deux semaines, puis en étang à la densité de 200 à 400·m⁻² durant deux à quatre semaines selon la taille finale désirée.

En hapas. La production d'alevins de poids moyen compris entre 60 et 80 g en petites cages ou hapas s'effectue généralement à la densité de 4 géniteurs·m⁻², avec un sexe ratio de 3:1. La fréquence de récolte des alevins est variable : elle peut être journalière, la première débutant 10 à 12 jours après la mise en charge des géniteurs (Guerrero, 1987) ou peut s'effectuer à intervalles de 15-21 jours avec récolte totale des alevins (Bautista, 1987). La

Tableau 2. Données biotechniques sur la production d'alevins de *Oreochromis niloticus* de différentes tailles en étang (SR, son de riz ; TA, tourteau d'arachide ; et FP, farine de poisson).

Superficie des étangs (m ²)	4.500	350	200
Densité de géniteurs (ind·m ⁻²)	0,16	0,7	4
Poids moyen des géniteurs (g)	62-356	100 (♀) 240 (♂)	80-100
Sexe ratio (♂:♀)	3:1	3:1	3:1
Durée d'élevage (jours)	250	120	45-60
Première récolte d'alevins (jours après mise en charge)	60	35	14
Intervalle entre 2 récoltes (jours)	30*	15*	6 fois/jour à 2 heures d'intervalle à partir de 7h00**
Aliment/fertilisation	fertilisation organique et minérale	50 % SR + 50 % TA	fertilisation organique + SR (75 %) + FP (25 %)
Nombre d'alevins produits (ind·m ⁻² ·mois ⁻¹)	8,0	45,4	200-250
Poids moyen des alevins produits	4,3 g	0,7 g	quelques mg à 0,1 g
Référence	Broussard et coll. (1983)	Lazard (1984)	Guerrero (1987)

*Pêche à la senne.

**Pêche à l'épuisette à mailles fines.

production obtenue en hapas est comprise entre 10 et 15 alevins·m⁻²·jour⁻¹ quelle que soit la fréquence de pêche. La durée du cycle de production en hapas peut varier de 30 jours (Guerrero, 1987) à 11 mois (Bautista, 1987). L'alimentation se fait à partir d'un mélange de 75 % de son de riz + 25 % de farine de poisson distribué à raison de 3 % de la biomasse de géniteurs par jour en deux distributions.

Le premier prégrossissement s'effectue en hapas durant trois semaines (densité de 1.000·m⁻² la première semaine jusqu'à 250·m⁻² la troisième semaine) avec un aliment comportant 10 % de farine de poisson et 40 % de tourteau de coprah jusqu'à une taille de 0,5-1 g (Guerrero, 1987). Le grossissement ultérieur est généralement effectué en étang.

SILURES

Les méthodes de reproduction du silure *C. gariepinus* ont déjà été largement décrites (Hogendoorn, 1983).

La reproduction de *H. longifilis* (Legendre, 1986) s'effectue toute l'année en lagune à partir de géniteurs stockés en enclos (1 individu·m⁻²). Le poids des géniteurs utilisés est de 3 à 5 kg. Après injection hormonale (HCG), la fécondation artificielle est pratiquée en éclosérie et la production moyenne d'oeufs est de 68.000·kg⁻¹ de femelle en saison des pluies et 28.000·kg⁻¹ en saison sèche. Un mâle est en mesure de féconder (après sacrifice) environ 600.000 oeufs. Après éclosion, on récupère en moyenne 75 % de larves normales d'un poids moyen de 1,8 mg en fin de résorption vitelline.

En écloserie, l'élevage larvaire avec alimentation à base d'*Artemia* aboutit après deux semaines à des alevins de poids moyen compris entre 150 et 300 mg et une survie de 65 % en moyenne (Legendre et coll., 1991).

En cages à petite maille (0,6 mm) de 1 m³ placées en étang préalablement chaulé (Legendre et coll., 1991), les larves de 2 mg atteignent 100 à 300 mg au bout de deux semaines (alimentation naturelle la première semaine, complétée par un aliment truitelle la seconde semaine). Les densités de mise en charge par cage sont de 2.000 à 15.000 larves, soit 2.000 à 15.000·m⁻². Au bout de deux semaines, la survie en cage est de l'ordre de 25 % (1 à 50 %). Les alevins sont ensuite placés en étang de prégrossissement à la densité de 15·m⁻². Avec un aliment artificiel à 35-40 % de protéines, les alevins atteignent au bout de 2,5 mois un poids moyen de 30 à 50 g avec un taux de survie moyen de 60 % environ.

Dimension des installations requises pour la production d'alevins et de fingerlings

Si l'on se fixe l'objectif de production annuelle de 1 million d'alevins ou de fingerlings, quels sont les moyens à mettre en oeuvre pour parvenir à ce niveau en termes d'infrastructures ou d'effectifs de géniteurs, pour chacune des espèces étudiées ?

TILAPIAS

En étang. Production d'alevins de 0,5-1 g. Avec la méthode "semi-intensive" de production d'alevins de *O. niloticus* décrite au tableau 1 (Lazard, 1984), la production annuelle de 1 M d'alevins de 0,5-1 g requiert 0,35 ha d'étangs de 300-400 m² et 1.550 géniteurs en production (sur la base de 10 mois d'exploitation

par an), soit un effectif total de géniteurs double compte tenu de la phase de repos sexuel à respecter (environ 3.000 géniteurs de 100-300 g à entretenir en permanence).

Production de fingerlings de 5 g. Si l'objectif est de produire des fingerlings de 5 g, la superficie d'étangs supplémentaires requise est d'environ 0,4 ha en tenant compte des rotations, sur la base d'une densité de mise en charge de 60 individus·m⁻² et d'une survie de 70 %, ce qui correspond au prégrossissement de 1,4 M d'alevins.

Production de fingerlings de 30 g. Dans ce cas, la superficie d'étang supplémentaire requise est de 1,2 ha environ, en tenant compte des rotations sur la base de 260 individus·m⁻², d'une survie de 90 % et de cycles d'une durée moyenne de 60 jours.

En hapas. En hapas, la production de 1 M d'alevins de *O. niloticus* de 0,5-1 g nécessite :

- 350 m² de hapas de reproduction + 100 m² pour le conditionnement des géniteurs ; et
- 300 m² de hapas de prégrossissement (500·m⁻², 70 % de survie).

Cette production nécessite le maintien permanent en reproduction de 1.500 géniteurs de poids moyen compris entre 60 et 80 g et d'un stock correspondant aux géniteurs en phase de repos sexuel (50 % du temps de reproduction, soit 700 géniteurs). Au total, le maintien d'un stock de 2.200 géniteurs est nécessaire.

SILURES

Si l'on prend comme exemple *H. longifilis*, les moyens nécessaires à la production de 1 million de fingerlings sont les suivants^a.

^aDonnées extrapolées à partir de résultats obtenus en station expérimentale.

Une femelle de 3 kg produit en moyenne sur l'année 144.000 oeufs par ponte en tenant compte des variations saisonnières de la fécondité. L'éclosion conduit à l'obtention d'environ 100.000 larves.

Dans une première option (cas n° 1) correspondant à un alevinage en éclosérie avec une alimentation à base d'*Artemia*, on obtient 65.000 alevins au bout de deux semaines en auge (10.000 larves environ par auge de 2x0,5 m).

Dans une seconde option (cas n° 2) d'alevinage en cages implantées en étang avec alimentation naturelle puis distribution d'un aliment composé, on obtient 25.000 alevins au bout de deux semaines avec un empoissonnement initial de 6.000 à 8.000 larves environ par cage de 1 m³.

Le prégrossissement en étang des alevins de 150 à 300 mg à une densité de 15·m⁻² aboutit, au bout de 2,5 mois, à la production de 39.000 fingerlings (poids moyen : 30 à 50 g) dans le cas n° 1 et de 15.000 fingerlings dans le cas n° 2.

Si l'on se base sur une fréquence de 10 reproductions par an :

- le cas n° 1 requiert l'utilisation de trois femelles et un mâle par cycle, 30 auges d'élevage larvaire et 1,3 ha d'étangs pour la production de fingerlings ; et

- le cas n° 2 requiert l'utilisation de sept femelles et un mâle par cycle, 70 cages d'élevage larvaire placées dans sept étangs de 500 m² et 1,3 ha d'étangs pour la production de fingerlings.

Il est recommandé d'entretenir, quelle que soit l'alternative retenue, un stock minimum permanent d'environ 50 géniteurs (sexes confondus) à raison de 1·m⁻² en enclos (soit une superficie nécessaire de 50 m² d'enclos) pour

maintenir la variabilité génétique de l'espèce.

L'expérience de la production d'alevins de *C. gariepinus* sur la station de La Landjia en République centrafricaine (RCA) (Janssen, 1984) indique, outre le recours à une éclosérie, la nécessité de disposer de 17 étangs de 400 m² pour produire 1.200.000 alevins de 1 à 2 g par an en six cycles. Le nombre de géniteurs de 500 g stockés en permanence en étang est de 400 à raison de 1·m⁻².

Données économiques

Afin de ne considérer que des situations comparables, on se contentera de fournir ici des coûts relatifs au continent africain.

Coûts de production d'alevins et de juvéniles de tilapias

Les coûts donnés ici (Tableau 3) ont été obtenus en vraie grandeur au Niger en étang (station d'alevinage de Sona ; 34 étangs de 350 m² ; alimentation en eau par pompage) et en petites cages flottantes de prégrossissement placées dans le fleuve Niger.

Il ressort du tableau 3 :

- un prix de revient (coût de production) de l'alevin de *O. niloticus* de 0,5-1 g de 4,3 F CFA^b (3,67 F CFA sans amortissement) ;

- un prix de revient de l'alevin de *O. niloticus* de 5 g de 6,5 F CFA (sans amortissement des étangs ; 7,5 à 8 F CFA y compris l'amortissement) ; et

- un prix de revient des fingerlings de *O. niloticus* de 20-25 g produit en cage

^bUS\$1=250 à 300 F CFA jusqu'au 1^{er} janvier 1994.

Tableau 3. Données économiques sur la production d'alevins (0,5-1 g), de juveniles (5 g) et de fingerlings (30 g) de *Oreochromis niloticus* dans différents systèmes de production au Niger (Parrel et coll., 1990).

	Infrastructures d'élevage		
	Etangs en terre (station d'alevinage de Sona) 3.120.000 alevins·an ⁻¹	Etangs en terre (0,4 ha) 3 cycles·an ⁻¹ 520.000 fingerlings·an ^{-1a}	Cages flottantes (5 m ³) 3 cycles·an ⁻¹ 7.200 fingerlings·an ⁻¹
Charges fixes*	10.200.000	-	13.800
Charges variables*	3.250.000	-	144.000
Total charges*	13.450.000	4.950.000 ^b	157.800
Coût unitaire/ poisson*	4,3	9,5	21,9

*En F CFA 1990 (US\$1,00=250-300 F CFA).

^aDans le cadre d'une exploitation privée (pas d'amortissement).

^bY compris marge bénéficiaire.

de 22 F CFA (48 F CFA par fingerling mâle ; sexe ratio = 45 % ♂) ; en étang, le coût de production des fingerlings mâles serait de 45 F CFA hors amortissement (53 F CFA avec amortissement) selon Parrel et coll. (1986).

Coûts de production d'alevins et de juveniles de silures

Les coûts de production des fingerlings de *C. gariepinus* produits en RCA en 1984 s'établissent de la façon suivante (Tableau 4) :

- pour un fingerling de 1 g produit en éclosérie : 9,7 F CFA avec amortissement et 6,7 F CFA sans amortissement ; et

- pour un fingerling de 1-3 g produit en éclosérie, puis prégrossi en étang : 8,2 F CFA avec amortissement et 5,15 F CFA sans amortissement.

Le coût de production des alevins de *H. longifilis* (150 mg) en éclosérie (alimentation avec *Artemia* + aliment truite) est de 4 à 6 F CFA l'unité. En cages placées en étang, ce coût est de 3,6 F CFA (avec une survie de 20 %) et de 1,7 F CFA (avec une survie de 50 %). Le coût de production des fingerlings de *H. longifilis* (survie 60 %)

est de 41 F CFA l'unité (poids moyen de 45 g). Pour cette dernière espèce, les coûts ont été calculés dans des conditions expérimentales sans amortissement des investissements (Barros, 1990).

Le bilan comparé des coûts de production de tilapias et de silures est donné dans le tableau 5.

Alevinage et développement aquacole

Fonctionnement général

Les alevins destinés à l'embouche après grossissement par les pisciculteurs artisans peuvent provenir de trois sources, correspondant à trois options (Lazard et coll., 1991).

• Option 1 : de l'exploitation elle-même (autoalevinage)^c ou de piscicultures voisines ayant des alevins en excédent ou s'étant spécialisées dans la production de juveniles.

^cDix à 20 % de la superficie totale de l'exploitation piscicole doivent, dans ce cas, être consacrés à la production d'alevins et de fingerlings de *O. niloticus* (20-30 g ; taille requise pour le sexage manuel ; Lazard, 1984).

Tableau 4. Données économiques sur la production d'alevins de six jours de *Clarias gariepinus* en République centrafricaine (Janssen, 1984).

	Infrastructures d'élevage	
	Écloserie Ponte + prégrossissement 1.242.000 unités·an ⁻¹	Écloserie + étangs en terre Ponte + démarrage (6 jours) 1.242.000 unités·an ⁻¹
Charges fixes*	5.330.000	5.770.000
Charges variables*	6.740.000	4.490.000
Total charges*	12.070.000	10.260.000
Coût unitaire/ poisson*	9,7	8,2

*En F CFA 1984 (US\$1,00=250-300 F CFA).

Tableau 5. Données économiques comparées de la production d'alevins et juvéniles de tilapias et de silures (coûts unitaires) pour : *Oreochromis niloticus* (Lazard, 1984 ; Parrel et coll., 1986 ; Parrel et coll., 1990) ; *Clarias gariepinus* (Janssen, 1984) ; et *Heterobranchus longifilis* (Barros, 1990).

Poids progéniture	<i>Oreochromis niloticus</i> ^a	Silures
150 mg		<i>Heterobranchus longifilis</i> ^b écloserie : 4 à 6 F* écloserie + cage : 1,7 à 3,6 F*
0,5-1 g (<i>Oreochromis niloticus</i>)	étang 3,7 F*	<i>Clarias gariepinus</i> ^a écloserie + étang : 5,15 F* écloserie + étang : 8,2 F**
1-3 g (<i>Clarias gariepinus</i>)	4,3 F**	
5 g	étang 6,5 F* 7,5 à 8 F**	écloserie : 6,7 F* écloserie : 9,7 F**
10 g	étang 10 à 12 F* étang 20 F* 24 F** cage 25 F**	
40-50 g		<i>Heterobranchus longifilis</i> ^b étang : 41 F*

F : en F CFA.

*Sans amortissement.

**Avec amortissement.

*Station de production.

- Option 2 : de stations d'alevinage. Il s'agit dans ce cas encore aujourd'hui de stations d'Etat, gérées par un projet ou par l'Administration.

- Option 3 : du milieu naturel. Le pisciculteur capture directement dans le milieu naturel (ou achète à un pêcheur) les poissons destinés à être mis en charge dans ses étangs.

Ces différentes options sont choisies et/ou varient dans le temps et l'espace en fonction de trois critères principaux :

- Espèce d'élevage : seul le tilapia se prête à un développement artisanal et décentralisé d'une pratique d'auto-alevinage (option 1) car sa production et son prégrossissement sont aisés et ne font appel à aucune technique sophistiquée. Le développement de l'aquaculture des autres espèces (Siluriformes, carpes ou autres espèces en cours de domestication) passe par une phase plus ou moins complexe de reproduction et d'élevage larvaire qui ne peut guère s'envisager, au moins dans la situation actuelle, que dans le cadre d'une station d'alevinage ou écloserie (option 2). Ces espèces peuvent également être capturées dans le milieu naturel avec tous les aléas que l'option 3 comporte : saisonnalité, hétérogénéité des tailles, mélange d'espèces, stockage et transport après capture.

- Politique de développement (choix des pisciculteurs ?) : le mode d'alevinage, dans la mesure où il s'agit encore d'une activité largement "guidée", s'inspire en fait de la philosophie du projet (ou de l'Administration).

Certaines opérations de développement privilégient pour les tilapias l'option 1, d'autres l'option 2, voire même l'option 3. Pour ces poissons, le recours aux stations d'alevinage pose de nombreux problèmes (coûts de production élevés entraînant généralement une subvention à la vente, coûts de trans-

port, restitution partielle des recettes de vente des alevins à la station, etc.) qui se posent également pour les autres espèces mais qui, elles, n'offrent pas d'autre choix que la capture en milieu naturel ou la production en écloserie. Cependant, pour les tilapias, lorsqu'une production massive de juvéniles est nécessaire, le recours à l'écloserie est inévitable.

- Evolution dans le temps : les projets ayant opté pour les stations d'alevinage voient les pisciculteurs évoluer progressivement mais systématiquement vers l'auto-alevinage en tilapias. Cela s'explique à la fois par la professionnalisation de certains pisciculteurs et la faillite économique de ces stations d'alevinage.

Pour les Siluriformes (*C. gariepinus*), les rares écloséries existantes subventionnent très largement les alevins et ne survivent généralement que très mal aux projets qui leur ont donné naissance : l'offre reste ainsi très inférieure à la demande et les pisciculteurs doivent souvent avoir recours à l'option 3.

Les options 1 et 3 ont tendance à se généraliser lorsque les projets s'appuyant sur des stations d'alevinage disparaissent.

Etude de cas

TILAPIAS

La majorité des projets de développement de la pisciculture en Afrique ont conçu la station d'alevinage, notamment pour la production d'alevins de tilapias, comme une pierre angulaire de leur stratégie (Lazard et coll., 1991). C'est ainsi qu'ont été restaurées ou construites de très nombreuses stations dans différents pays (Côte d'Ivoire, RCA, Congo, Cameroun, Madagascar, Niger, etc.) ces dernières années.

L'expérience du fonctionnement de ces stations met en évidence les contraintes suivantes :

- coûts d'exploitation élevés pour des stations fonctionnant selon le modèle administratif ;
- faible niveau technique des agents responsables de ces stations induisant des productions faibles d'alevins en termes de rendement à l'unité de surface ; et
- problèmes logistiques posés pour la livraison des alevins ou des fingerlings aux pisciculteurs.

C'est ainsi qu'en RCA, du fait de problèmes liés au fonctionnement de la station de la Landjia (problème d'alimentation en eau et manque de moyens), les services chargés de la vulgarisation de la pisciculture sont amenés à acheter des alevins à certains pisciculteurs pour les revendre à d'autres.

En Côte d'Ivoire, la situation est plus complexe. La demande en alevins de tilapias auprès des stations d'alevinage du projet FAO - Eaux et Forêts diminue car les pisciculteurs tendent à produire leurs propres alevins et à les commercialiser directement entre eux. En 1989, 60 % du total des alevins de tilapias utilisés par les pisciculteurs encadrés par le projet étaient produits par les pisciculteurs eux-mêmes (directement ou vente entre pisciculteurs). Cette même année, les stations du projet produisaient 800.000 alevins dont seulement 300.000 étaient livrés aux pisciculteurs, cet écart s'expliquant notamment par l'absence de moyens pour le transport de ces alevins. Le prix de revient des alevins (3-10 g) de *O. niloticus* était de 7 F CFA l'unité et celui des fingerlings mâles (30 g) de 20 F CFA. Les prix de vente aux pisciculteurs étaient respectivement de 3 et 10 F CFA l'unité, la différence étant donc supportée par le projet.

SILURES

Outre les installations nécessaires à la réalisation des différentes étapes (écloserie avec bacs, bouteilles de Zoug ou auges d'incubation ; étangs particulièrement soignés), la reproduction de ces espèces nécessite de l'aliment de haute qualité (pour les géniteurs et les juvéniles), des hormones pour l'induction de la ponte et des aliments spécifiques pour les larves (*Artemia*, généralement).

Ces exigences sont généralement couvertes tant que le projet initiateur de l'écloserie est en cours.

Celui-ci assure en effet l'encadrement scientifique et technique pour sa bonne marche et les coûts de fonctionnement, généralement élevés, se traduisent par une subvention, généralement importante, au niveau de la vente aux pisciculteurs.

En Côte d'Ivoire, par exemple, l'examen du fonctionnement de l'écloserie de Clarias de La Loka met en évidence :

- la difficulté de résoudre le problème technique de l'alevinage et du prégrossissement (25 mg à 5 g) conduisant à un taux de mortalité très élevé : 2 % de survie entre le stade larvaire sorti de l'écloserie et les juvéniles de 5 g livrés aux pisciculteurs en 1988 (39.000 juvéniles effectivement livrés sur 1.500.000 larves produites en écloserie) ;
- le niveau élevé de subvention, avec un prix de revient de l'alevin de Clarias estimé à 15-20 F CFA et un prix de cession aux pisciculteurs de 10 F CFA ;
- le problème de formation technique du personnel, mis en évidence à l'occasion du départ d'un responsable de l'écloserie dont le remplacement est problématique ; et
- la difficulté d'approvisionnement en intrants coûteux (extraits

hypophysaires, *Artemia*) lorsque le projet s'arrête.

En RCA, la fin de différents projets de développement a induit l'arrêt de l'écloserie de Clarias de La Landjia qui ne produisait plus d'alevins de cette espèce en 1990, pour les mêmes raisons que celles exposées ci-dessus.

Au Cameroun, la station d'alevinage-écloserie de Ku-Bomé (près de Bamenda) produit des alevins de tilapias, de carpes communes et de *C. gariepinus*. L'écloserie construite en 1986 n'a jamais fonctionné (en 1991) faute de financement pour l'achèvement des infrastructures d'incubation. La reproduction des carpes et Clarias se fait donc en étangs (méthode des kakabans pour la première ; crue simulée pour la seconde). L'insuffisance de crédits rend problématique l'acquisition d'hormones pour l'induction de la ponte. En 1989, cette station a produit 20.000 alevins de carpe commune et 15.000 alevins de Clarias (commercialisés 25 F CFA pièce à un poids moyen de 12-18 g). Ce volume de production reste très inférieur à la demande d'autant que les pisciculteurs, auprès desquels ont été vulgarisées des techniques d'élevage de ces deux espèces, montrent des réticences à retourner à l'élevage du tilapia. Par ailleurs, la livraison des alevins aux pisciculteurs pose des problèmes logistiques (véhicule, carburant) non résolus.

Conclusion

La reproduction spontanée des tilapias en captivité a-t-elle constitué un véritable moteur pour le développement de l'aquaculture de ce poisson sur le continent africain ?

Outre les inconvénients liés à la sexualité des tilapias pour la production de poisson marchand (prolifération anarchique d'alevins), celle-ci implique éga-

lement un certain nombre de contraintes, liées à la faible fécondité individuelle et à l'asynchronie des pontes, pour une production massive, contrôlée et planifiée d'alevins et de fingerlings :

- superficie d'étangs importante ;
- nombre élevé de géniteurs requis ;
- gestion des géniteurs relativement complexe en vue d'optimiser en quantité et en qualité (calibrage, taux de survie, etc.) la production d'alevins ;
- bon niveau de technicité des pisciculteurs indispensable ; et
- planification relativement complexe de l'utilisation des étangs (de stockage des géniteurs, de ponte et de prégrossissement des alevins) pour un approvisionnement régulier en aval des pisciculteurs pratiquant le grossissement dans diverses structures d'élevage.

En définitive, le faible niveau de technicité apparemment requis pour l'aquaculture des tilapias a longtemps fait croire que celle-ci pouvait être l'affaire de tous, notamment pour la production d'alevins. L'alevinage a longtemps été réalisé dans les mêmes étangs que ceux destinés à la production de poisson marchand.

L'analyse des coûts de production des alevins de *O. niloticus* indique un niveau relativement élevé de prix de revient pour une production de qualité (homogène, programmée) dont il convient de tenir compte pour l'établissement des prix de cession aux aquaculteurs. La faillite des stations d'alevinage tient sans doute en grande partie à ce manquement lié à l'absence de maîtrise des coûts de production et à une technicité insuffisante. Il n'en reste pas moins que les tilapias présentent l'avantage considérable de pouvoir être produits, par les pisciculteurs, en étangs, dans le cadre d'exploitations artisanales.

Les silures, dont la production a été longtemps limitée par une faible

disponibilité en alevins peut constituer le deuxième groupe de poissons pour assurer le développement de l'aquaculture africaine. Les coûts de production des juvéniles, de *C. gariepinus* et *H. longifilis* ne diffèrent pas très sensiblement de ceux des tilapias. En outre, le niveau de technicité requis pour la mise en oeuvre de la reproduction de ces espèces de silures n'est pas supérieur à celui nécessaire pour assurer la bonne marche d'une station de production d'alevins de tilapias (programmes, calibrés et monosexes).

Littérature citée

- Barros, A. 1990. Evaluation et optimisation de l'intégralité de la filière d'élevage d'*Heterobranchus longifilis*, de la reproduction à la commercialisation. Rapport de stage au CRO d'Abidjan. Ecole nationale supérieure agronomique, Toulouse, France. 54 p. + annexes.
- Bautista, A. 1987. Tilapia hatchery and nursery systems: operation and management. Tilapia farming, p. 8-13. In R.D. Guerrero III, D.L. Guzman and C.M. Lantican (éds.) Proceedings of the First National Symposium and Workshop on Tilapia Farming. PCARRD Book Series No. 48. PCARRD, BFAR et SEAFDEC Aquaculture Department, Los Baños, Laguna.
- Broussard, M.C., Jr., R. Reyes et F. Raguindin. 1983. Evaluation of hatchery management schemes for large scale production of *Oreochromis niloticus* fingerlings in Central Luzon, Philippines, p. 414-424. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Guerrero, R.D. III. 1985. Tilapia farming in the Philippines. Practices, problems and prospects, p. 3-14. In I.R. Smith, E.B. Torres et E.O. Tan (éds.) Philippine tilapia economics. ICLARM Conf. Proc. 12, 261 p.
- Guerrero, R.D. III. 1987. Tilapia farming in the Philippines. National Bookstore Inc., Manila, Philippines. 84 p.
- Henken, A., J. Boon, B. Cattel et H. Løbee. 1987. Differences in growth rate and feed utilization between male and female African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture 63:221-232.
- Hogendoorn, H. 1983. The African catfish (*Clarias lazera* C. et V., 1840). A new species for aquaculture. Agriculture University, Wageningen, Les Pays-Bas. 135 p. Thèse de doctorat.
- Hulata, G., S. Rothbard, J. Itzkovich, G. Wohlfarth et A. Halevy. 1985. Differences in hybrid fry production between two strains of the Nile tilapia. Prog. Fish-Cult. 47:42-49.
- Janssen, H. 1984. Calcul et analyse des prix de revient des fingerlings de *Clarias lazera* et de l'alimentation. Projet GCP/CAF/007/NET, note technique n° 25, Bangui, RCA. 16 p.
- Lazard, J. 1984. L'élevage du tilapia en Afrique. Données techniques sur sa pisciculture en étang. Rev. Bois For. Trop. 206(1984) : 33-50.
- Lazard, J., Y. Lecomte, B. Stomal et J.Y. Weigel. 1991. Pisciculture en Afrique subsaharienne ; situations et projets dans des pays francophones d'action. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, France. 155 p.
- Legendre, M. 1986. Seasonal changes in sexual maturity and fecundity, and HCG-induced breeding of the catfish *Heterobranchus longifilis* Val. (Clariidae), reared in Ébrié lagoon (Côte d'Ivoire). Aquaculture 55: 201-213.
- Legendre, M., J.M. Ecoutin, S. Hem et A. Cissé. 1990. Recherches sur les tilapias lagunaires de Côte d'Ivoire. In J. Lazard, B. Jalabert et T. Doudet (éds.) L'aquaculture des tilapias : du développement à la recherche. Cah. Sci. STFT 10:93-116.
- Legendre, M., J. Slembrouck, N. Kerdchuen et Z. Otémé. 1991. Evaluation d'une méthode extensive d'alevinage des Clariidae en cages implantées en étangs. Document ORSTOM, Montpellier. 4, 35 p. + annexes.
- Legendre, M., G.G. Teugels, C. Cauty et B. Jalabert. 1992. A comparative study on morphology, growth rate and reproduction of *Clarias gariepinus*, *Heterobranchus longifilis* and their reciprocal hybrids (Pisces, Clariidae). J. Fish Biol. 40:59-79.
- Lovshin, L.L. et H.H. Ibrahim. 1987. Effects of broodstock exchange on *Tilapia nilotica* eggs and fry production in net enclosures, p. 231-236. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthal et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- McBay, L.G. 1961. The biology of *Tilapia nilotica* (Linnaeus). Proc. Annu. Conf. Southeast. Assoc. Game Fish Comm. 15:208-218.
- Mélard, Ch. 1986. Les bases biologiques de l'élevage intensif du tilapia du Nil. Cah. Ethol. Appl. 3(6) :244 p.
- Mires, D. 1982. A study of the problems of the mass production of hybrid tilapia fry, p.

- 317-329: *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Motwani, M.P. 1970. Report to the Government of Nigeria on the fishery investigations on the Niger and Benue rivers in the Northern region and development of a program of riverine fishery management and training. FAO Fish. UNDP (TA) Rep No. 2771, 196 p.
- Parrel, P., I. Ali et J. Lazard. 1986. Le développement de l'aquaculture au Niger : un exemple d'élevage de *Tilapia* en zone sahélienne. Rev. Bois For. Trop. 212:71-94.
- Parrel, P., J. Lazard, Y. Lecomte et A. Litaudon. 1990. Bilan du projet de développement de l'aquaculture au Niger (phase I et phase II). 1981-1990. CTFT et DSA/CIRAD. 87 p.
- Pham, A. 1975. Données sur la production en masse d'alevins de *Clarias lazera* Val. à la station de Bouaké (Côte d'Ivoire), p. 49-57. *In* Notes Doc. Pêche Piscic. nouvelle série n° 10, CTFT, Nogent-sur-Marne, France.
- Rana, K.J. 1988. Reproductive biology and the hatchery rearing of *Tilapia* eggs and fry, p. 343-406. *In* J. Muir et R.S. Roberts (éds.) Recent advances in aquaculture. Vol. 3. Croom Helm, Londres.
- Richter, C.J.J. 1976. The African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.), a new possibility for fish culture in tropical regions? Misc. Pap. 13:51-70. Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Rothbard, S., E. Solnil, S. Shabbath, R. Amado et I. Grabie. 1983. The technology of mass production of hormonally sex-inversed all-male tilapias, p. 425-434. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Ruwet, J.C., J. Voss, L. Hanon et J.C. Micha. 1976. Biologie et élevage du tilapia. *In* Proceedings of the FAO/CIFA Symposium on Aquaculture In Africa, Accra, Ghana. CIFA Tech. Pap. 4:332-364.

Echange sélectif de géniteurs de *Oreochromis niloticus* dans des hapas de reproduction de grande taille immergés dans des étangs de terre

**D.C. LITTLE
D.J. MACINTOSH*
P. EDWARDS**

*Division of Agricultural and Food Engineering
Asian Institute of Technology
P.O. Box 2754
Bangkok 10501
Thaïlande*

LITTLE, D.C., D.J. MACINTOSH et P. EDWARDS. 1996. Echange sélectif de géniteurs de *Oreochromis niloticus* dans des hapas de reproduction de grande taille immergés dans des étangs de terre, p. 99-108. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'échange de géniteurs et l'incubation artificielle sont des techniques qui permettent d'améliorer la productivité des systèmes intensifs de production de tilapias où les oeufs et larves vésiculées sont retirés de la bouche de femelles incubant au bout d'une période de cinq jours. Un dispositif expérimental mis en place pour une durée de 100 jours a permis de comparer, dans les hapas de ponte, la productivité des femelles échangées avec des poissons préparés à la ponte ou conditionnés pendant 10 (T1), 15 (T2) et 20 (T3) jours, et répartis en différents groupes monosexes de poissons stockés à haute densité. Les performances des femelles immatures ou ayant pondu, et échangées sélectivement avec des femelles visiblement matures et conditionnées pendant un minimum de 10 jours, ont également été comparées (T4). La mise en place d'un traitement supplémentaire a permis de comparer les performances des mâles et des femelles échangées (T5), les poissons des deux sexes étant conditionnés pendant 10 jours et répartis en groupes monosexes stockés à haute densité. La prolongation du conditionnement des femelles de 10 à 15 jours n'a pas amélioré la production d'oeufs ; en revanche la prolongation de 10 à 20 jours a eu pour effet de réduire la production d'oeufs de 18 %. La quantité totale d'oeufs récoltés des femelles échangées sélectivement représentait une augmentation de pratiquement 50 % de la production qu'aurait donné chaque récolte si toutes les femelles avaient été échangées (90,1 et 64,6 oeufs·m⁻² d'hapa de ponte·jour⁻¹ pour T4 et T1, respectivement). L'efficacité de la production de géniteurs femelles s'est améliorée par leur échange sélectif (314 et 233 oeufs·kg⁻¹·jour⁻¹, pour T4 et T1, respectivement). L'échange des mâles a augmenté significativement la production d'oeufs (80,5 oeufs·m⁻² d'hapa de ponte·jour⁻¹). Le volume des oeufs retirés de la bouche des femelles échangées sélectivement et des mâles était nettement supérieur par rapport aux résultats du traitement témoin (T1).

Introduction

La synchronisation des pontes constitue l'un des problèmes majeurs de la production massive d'alevins de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). Contrairement à

ce que l'on observe chez de nombreuses autres espèces de poissons chez qui la formation de bancs et la reproduction se produisent de manière synchrone, la complexité du comportement et de la biologie de la reproduction de *Oreochromis* spp. pose un frein à la production massive de semence chez ces espèces. Toutefois, il est possible d'obtenir une production élevée et durable d'alevins si l'on mène ces élevages

*Adresse actuelle : Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, Ecosse, Royaume-Uni.

dans le cadre de systèmes de production intensive en bassin ou hapa. Les poissons peuvent être maintenus dans leur condition ou état de géniteurs si l'on réduit la période de ponte naturelle et d'incubation à cinq jours seulement au bout desquels les oeufs sont retirés de la bouche des femelles. Ainsi, la productivité des poissons peut être améliorée en alternant récolte d'oeufs et période de conditionnement des poissons répartis en groupes monosexes stockés à haute densité. Une période de 10 jours de ce type de conditionnement avant transfert dans un environnement de ponte de moindre densité a donné de meilleurs résultats au niveau de la synchronisation des pontes et de la productivité globale du système. Comme l'intervalle moyen séparant deux pontes (IMP) s'est révélé varier entre 15 et 20 jours (Little, 1989), un temps de repos de plus de 10 jours permettrait donc d'améliorer davantage la production d'oeufs et d'obtenir une meilleure synchronisation des pontes. Toutefois, une période plus longue de conditionnement entraînerait des frais de gestion supplémentaires étant donné que le nombre nécessaire de poissons reproducteurs se verrait considérablement augmenté.

Les expériences précédentes ont montré que l'échange non sélectif de toutes les femelles au bout de cinq jours de ponte n'augmentait pas le nombre de poissons matures présents dans l'hapa ; malgré 10 jours de conditionnement, un certain nombre de femelles n'avaient pas atteint le stade de maturité nécessaire à la ponte. De même, au bout de cinq jours de ponte potentielle, certaines femelles non seulement n'avaient pas pondu mais étaient restées immatures. Le tri des femelles destinées aux hapas de ponte, effectué de la même manière dont sont triées les carpes destinées à la reproduction provoquée, pourrait se traduire par une augmentation de la proportion des poissons se reproduisant effectivement.

La disposition à la ponte et la production d'alevins sont des phénomènes

considérés comme dépendant essentiellement du conditionnement des femelles (Uchida et King, 1962 ; Peters, 1983) mais les demandes exercées sur les mâles risquent d'être plus importantes quand les femelles ayant pondu sont continuellement remplacées par des femelles matures que l'on a conditionnées. Ainsi, l'échange de mâles s'est révélé améliorer la production d'oeufs de *O. niloticus* par rapport aux résultats obtenus avec l'échange seul de femelles dans un hapa où les récoltes étaient séparées par un intervalle de 21 jours (Lovshin et Ibrahim, 1989). Toutefois, on ignore encore les conséquences de l'échange des mâles dans un système plus intensif dans lequel les pontes sont plus concentrées. Les producteurs d'alevins laissent normalement s'écouler plusieurs jours au cours desquels les mâles définissent leur territoire et se livrent à la parade nuptiale (Rothbard et coll., 1983). Toutefois, les avantages que présente le conditionnement des mâles peuvent être ravis par le peu de temps qu'il leur reste pour la parade et la ponte avec des femelles réceptives.

Matériel et méthodes

Des individus de *O. niloticus* (souche Chitralada pure) ont été obtenus d'une expérience sur la reproduction dans le cadre de laquelle des alevins de la même origine (poids individuel : 1,5-3 g) étaient élevés sur une période de cinq mois jusqu'à maturité dans des étangs en terre fertilisés où un aliment composé était fourni. Les géniteurs étaient alors sexés et maintenus dans les hapas de conditionnement et de ponte immergés à une profondeur de 60 cm dans les mêmes étangs (1.740 m² de surface) pour une période expérimentale de 106 jours s'étalant de la saison chaude et sèche jusqu'au début des pluies (mars à juin 1987). La température ambiante journalière était comprise entre 26 à 35°C. Les géniteurs des différents traitements étaient introduits

dans les hapas de ponte (8,0x5,0x0,9 m) à raison de 2 poissons·m⁻² selon un sexe ratio de 1:1. Chaque traitement comportait au moins trois réplicats. Les groupes de femelles introduits dans les hapas au minimum au nombre de trois (Tableau 1) étaient échangés successivement tout au long de la période expérimentale. Au total, 20 récoltes ont été réalisées à intervalles de cinq jours. Au bout de chacune de ces périodes, le dispositif de fermeture de l'hapa était relâché ; les géniteurs étaient regroupés à l'une des extrémités de l'hapa à l'aide d'une tige de bambou glissée sous l'hapa, et les géniteurs étaient retirés un à un à l'aide d'une épuisette double. Chaque géniteur était examiné et tous les oeufs et alevins vésiculés retirés par rinçage de la bouche des femelles. Les oeufs passaient par les grosses mailles de l'épuisette et se concentraient dans l'épuisette à mailles fines placée au-dessous. Les lots d'oeufs étaient conservés individuellement dans des bols en plastique afin de permettre leur calibrage suivant leur stade de développement avant de les conserver dans du formol à 4 % (Peters, 1983) dans un verre fermé hermétiquement ou dans des bouteilles en plastique. Les oeufs de même stade de développement provenant de femelles d'un même traitement étaient regroupés. Le calcul du nombre et du poids moyen des oeufs était effectué en dénombrant et pesant d'abord les oeufs de trois sous-échantillons de 100 oeufs chacun, et en pesant ensuite la totalité des lots sur une balance (Mettler Pe 3600) calibrée au centième de gramme. L'humidité de surface était retirée avant la pesée en tenant les oeufs dans un filet à mailles fines sur du papier absorbant. A la récolte, les oeufs étaient calibrés en utilisant une échelle arbitraire de développement pouvant être établie sur place : (1) oeufs non embryonnés, (2) oeufs embryonnés, (3) oeufs pré-éclos et (4) oeufs éclos, larves vésiculées.

Les géniteurs récoltés étaient placés dans des hapas flottants avant de les amener sur le bord de l'étang pour effectuer une estimation de l'évolution des poids.

Les géniteurs mâles et femelles étaient conditionnés séparément en fonction du traitement dans de petits filets en nylon (3,0x1,8x0,9 m) à une densité de 7,5 poissons·m⁻² (Tableau 1). Tous les géniteurs femelles étaient retirés et remplacés par des femelles conditionnées à la fin de la période de ponte potentielle de cinq jours dans les traitements (T) 1, 2, 3 et 5. Dans le traitement 4 (T4), deux catégories de femelles, (a) femelles ayant pondu et (b) n'ayant pas pondu mais immatures, étaient retirées au moment de la récolte et remplacées par un nombre égal de femelles matures sélectionnées à cet effet dans l'hapa de conditionnement. Le critère principal de sélection pour la maturité des femelles était un abdomen arrondi et lisse. Les femelles étaient ainsi sélectionnées pour obtenir un nombre maximum de ce type de femelles stockées dans l'hapa de ponte au début de chaque période de ponte.

Dans le traitement 5 (T5), les mâles étaient également retirés et remplacés tous les cinq jours par des poissons conditionnés en hapa pendant 10 jours.

Tous les hapas étaient remplacés tous les 10 jours et nettoyés à la brosse et au jet avant leur réutilisation.

Des échantillons d'eau étaient prélevés tous les matins à 9h00 pour mesurer l'oxygène dissous (dosage de Winkler), la chlorophylle *a*, l'ammoniaque total et le pH.

Les poissons des hapas de conditionnement et de ponte étaient nourris à volonté trois fois par jour avec des granulés flottants pour poisson-chat (Charoen Pokphand, Bangkok ; teneur en protéines brutes = 30 %).

Les comparaisons des moyennes journalières de production d'oeufs, du nombre d'oeufs·kg femelle·jour⁻¹ et du nombre d'oeufs·kg poisson·jour⁻¹ ont été réalisées au moyen d'un test-*t*.

Les comparaisons des pourcentages moyens d'oeufs récoltés au stade non embryonné ont été réalisées par l'analyse de variance pour un facteur de Kruskal-Wallis.

Tableau 1. Dispositif expérimental montrant les différents traitements et le nombre de géniteurs (*Oreochromis niloticus*) utilisés.

Traitement	Durée du conditionnement avant l'échange (jours)		Groupes de géniteurs (x 40 individus)	
	Femelles	Mâles	Femelles	Mâles
T1	10	-	3	1
T2	15	-	4	1
T3	20	-	5	1
T4	un minimum de 10 jours puis utilisées en fonction de leur degré de maturité		3	1
T5	10	10	3	3

Une analyse de variance a été réalisée pour déterminer les effets relatifs des stades de développement et des traitements sur les caractéristiques des lots d'oeufs. Le coefficient de corrélation des rangs de Spearman a été appliqué pour décrire le rapport entre le stade de développement des oeufs et le volume des lots récoltés.

Résultats

La production moyenne journalière d'oeufs a significativement augmenté ($P < 0,05$) dans les hâpas où les femelles avaient été sélectivement échangées (T4) ou dans lesquels tous les mâles avaient été échangés par rapport au T1 où seules les femelles étaient échangées au bout d'une période de ponte potentielle de cinq jours (Fig. 1).

Les périodes de conditionnement de 10 à 15 jours ont donné des niveaux de production comparables en ce qui concerne le nombre total d'oeufs $\cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ mais la prolongation à 20 jours a eu pour effet de réduire la production d'oeufs d'environ 18 % (53 oeufs $\cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$ contre 65 oeufs $\cdot m^{-2} \cdot jour^{-1}$) (Fig. 1). La durée de conditionnement des femelles a eu un effet plus évident sur le nombre des oeufs récoltés par rapport au

poids total des femelles. L'utilisation d'un plus petit nombre de géniteurs (T1) a eu pour effet de pratiquement doubler la production d'oeufs par rapport aux résultats enregistrés lorsque davantage de femelles étaient utilisées pour permettre une période de conditionnement de 20 jours (T3).

La productivité des femelles et de la totalité des géniteurs a baissé avec l'allongement de la durée de conditionnement (Fig. 1). L'échange sélectif des femelles et l'utilisation d'un seul groupe de mâles (T4) ont donné, dans l'ensemble, les meilleurs résultats (T5 : 120 oeufs $\cdot kg$ géniteur $\cdot jour^{-1}$). Des fluctuations importantes ont été observées dans la production d'oeufs en fonction du temps écoulé, particulièrement dans les traitements d'échange sélectif des femelles (T4, Fig. 1).

Aucune différence significative n'a été observée au niveau de la synchronisation des pontes d'un traitement à l'autre (Tableau 2). Des pontes tardives ont été signalées dans 23-35 % des cas de ponte (Stade 1) et des pontes précoces dans 40 à 60 % des cas, comme l'indiquent les résultats des récoltes d'oeufs bien développés (Stades 3 et 4).

Une corrélation a été mise en évidence entre le poids moyen individuel des oeufs et le stade de développement mais pas avec

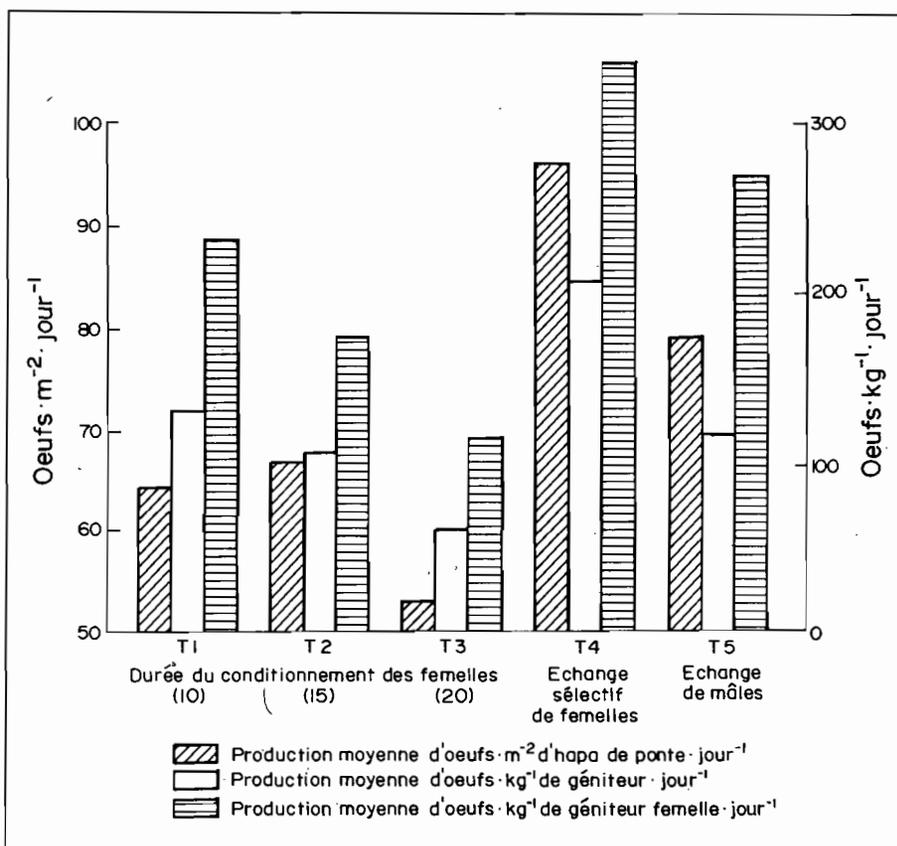


Fig. 1 Valeurs moyennes des performances des géniteurs du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) ayant pondu dans de grands hapas de nylon sous différents régimes de conditionnement des femelles (10 jours, T1 ; 15 jours, T2 ; et 20 jours, T3), échange sélectif de femelles (T4) et échange de mâles (mâles et femelles conditionnés pendant 10 jours, T5).

Tableau 2. Pourcentages moyens de la totalité des oeufs récoltés au stade 1 (oeufs non embryonnés) dans les hapas de ponte (surface=40 m², stockés avec 80 géniteurs par unité [sexe ratio femelle:mâle=1] ; temps=106 jours) gérés selon différents régimes de conditionnement et d'échange.

Traitement	Pourcentages moyens de la totalité des oeufs au stade 1 (n)
T1	32,8 (20)
T2	23,2 (20)
T3	34,4 (20)
T4	31,2 (19)
T5	31,8 (19)
Chi-carré	5,1*

*Valeur du chi-carré de l'analyse de variance pour un facteur de Kruskal-Wallis ANOVA ; =P>0,05.

le traitement, les larves vésiculées écloses étant plus lourdes que les oeufs non éclos.

Les variations dans le volume des oeufs s'expliquent tant par le traitement que par le stade de développement des oeufs récoltés ; une interaction significative entre les deux sources de variation a été remarquée. Le volume moyen des oeufs récoltés chez les femelles échangées sélectivement (872 ; T4) et chez les femelles ayant pondu avec des mâles échangés (844 ; T5) était plus gros que le volume moyen des oeufs pondus par les femelles soumises à une stratégie d'échanges non sélectifs (673 ; T1), cet effet étant plus prononcé quand des alevins vésiculés étaient récoltés (ponte précoce T1, 249) (Tableau 3). Le volume relatif des oeufs (nombre d'oeufs·g⁻¹ de femelle ayant pondu) n'a pas varié d'un traitement à l'autre. La taille et le poids moyens des lots étaient corrélés avec le stade de développement auquel les oeufs étaient récoltés ($P < 0,001$, $r^2 = 0,4$). Les lots d'oeufs pondus tardivement tendent à être à la fois plus lourds et plus gros que les oeufs pondus précocement et que les alevins éclos également précocement. Le volume des oeufs après éclosion (Stade 4) était de pratiquement 20 % inférieur au volume des oeufs récoltés au stade non éclos.

L'allongement de la période de conditionnement a eu forcément pour effet d'écourter le temps que les femelles ont individuellement passé dans les hapas de ponte, d'un nombre total de 35 jours (T1) à 21 jours seulement (T3) pendant l'expérience. Bien que l'intervalle moyen séparant deux pontes ait augmenté en fonction des périodes de conditionnement des femelles (Tableau 4), aucune différence n'a été observée au niveau de l'intensité de ponte ou du nombre moyen de pontes enregistrées par jour passé individuellement par les femelles dans les hapas de ponte. Les femelles ont pondu plus fréquemment après l'échange des mâles (T5) ou quand elles étaient échangées sélectivement (T4) que

lorsqu'elles étaient soumises à un échange non sélectif (T1) ($P < 0,05$).

Des comparaisons avec la productivité d'autres systèmes peuvent être faites si l'on tient compte des pertes subies lors de l'incubation artificielle. La production de semence exprimée en termes d'alevins à la vésicule résorbée obéit aux mêmes tendances.

Discussion

L'optimisation des systèmes de reproduction est particulièrement importante pour les espèces qui produisent relativement peu d'oeufs à chaque ponte. Toutefois, le recours à des stratégies d'amélioration de la production individuelle doit être comparé avec les coûts supplémentaires qu'occasionne la manipulation d'un plus grand nombre de poissons dans le cadre de dispositifs plus complexes.

Le choix de ces méthodes pour accroître la synchronisation des pontes et la productivité, dans le cadre de systèmes intensifs (dispositifs où les géniteurs peuvent être aisément attrapés et manipulés), n'est pas sans rapport avec le niveau de confort qu'accordent ces aménagements et le coût de production des alevins. Une stratégie optimale consisterait à accroître le nombre et le rythme des pontes tout en réduisant le nombre et donc le coût des géniteurs.

Cette étude met en évidence que la productivité individuelle des géniteurs ne peut être améliorée si les périodes de conditionnement des femelles dépassent 10 jours. De fait, un abaissement de la production d'oeufs a été observé avec l'allongement des périodes de conditionnement des femelles, cette tendance s'avérant encore plus nette si l'on regarde le nombre d'oeufs produits par poids de géniteur. L'échange sélectif des femelles améliore la production d'oeufs en termes du nombre total des oeufs produits et du volume individuel des lots d'oeufs. L'amélioration

Tableau 3. Volume des lots d'oeufs^a récoltés dans la bouche des femelles soumises à diverses stratégies de gestion des géniteurs.

Traitement	Procédure	Moyenne \pm ES ^b
T1	10 jours de conditionnement	673 \pm 58,7c
T2	15 jours de conditionnement	704 \pm 38,9c
T3	20 jours de conditionnement	721 \pm 34,4c
T4	Echange sélectif de femelles ayant pondu	872 \pm 44,6d
T5	Echange de mâles seulement	844 \pm 39,8d

^aPoids moyen basé sur le poids frais de tous les oeufs d'un seul lot. Les moyennes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P > 0,05$).

^bErreur standard.

Tableau 4. Intervalle moyen séparant deux pontes (IMP) et pourcentages de femelles pondant lors de la période de ponte potentielle de cinq jours.

Traitement	Procédure	IMP (\pm ES)	% moyen de pontes
T1	10 jours de conditionnement	36,7 \pm 1,7	41,0
T2	15 jours de conditionnement	49,2 \pm 4,6	43,0
T3	20 jours de conditionnement	67,0 \pm 5,1	38,5
T4	Echange sélectif de femelles ayant pondu	34,4 \pm 5,6	48,0
T5	Echange de mâles seulement	30,4 \pm 2,5	51,0

des performances des femelles gérées de cette manière pourrait être consécutive au fait que les poissons sélectionnés aient eu des pontes plus complètes et/ou que les oeufs produits aient été de meilleure qualité et donc survivant mieux.

En revanche, il se peut que les femelles conditionnées pour des périodes dépassant 15 jours aient produit une plus grande proportion d'oeufs en état de surmaturité et de qualité inférieure. Peters (1983) a observé que l'atrésie d'ovocytes dans les ovaires commençait dans la semaine qui suivait le moment où l'indice gonadosomatique (IGS) critique pour *Oreochromis* spp. était atteint, sans que cela empêche la ponte. Toutefois, pour les oeufs produits par des poissons

trop matures chez lesquels l'IGS maximum avait été atteint pendant une période dépassant la période critique, la survie des embryons était médiocre, ce qui expliquerait que le volume des oeufs et le nombre total d'oeufs récoltés aient été plus petits.

L'importante variabilité observée dans la production d'oeufs dans le cas des échanges sélectifs de femelles (T4) suggère que le maintien de poissons matures n'a pas toujours été réalisé dans des conditions optimum. Le dispositif expérimental a certainement influencé ces résultats dans la mesure où un grand nombre des femelles devaient être retirées de l'hapa de ponte — si une proportion importante d'entre elles avaient pondu — et échangées avec des

féelles maintenues en nombre restreint dans l'hapta de conditionnement.

L'aptitude des mâles de *Oreochromis* spp. à frayer plusieurs fois par jour (Lowe-McConnell, 1959 ; Peters, 1971 ; Polder, 1971) est contrariée par une insuffisance à féconder successivement plusieurs lots d'oeufs (Rana, 1986). Les meilleures performances en termes du nombre et du volume d'oeufs produits, et en termes d'IGS réduit observées dans les échanges de mâles par rapport aux seuls échanges de féelles, peuvent être consécutifs à un taux de fécondation plus élevé dans les lots d'oeufs pondus et/ou à une plus grande vigueur témoignée lors de la parade et de la ponte. L'intérêt d'une "condition" chez le mâle a été reconnue par les établissements commerciaux et se reflète dans le sexe ratio des géniteurs stockés dans les bassins de reproduction (Mires, 1982 ; Hughes et Behrends, 1983). Cependant, il se peut que le sexe ratio soit un indicateur médiocre de la disponibilité réelle en mâles destinés à la ponte dans la mesure où des facteurs de hiérarchie peuvent empêcher des mâles dominés à prendre part aux activités de ponte dans des systèmes intensifs (Turner, 1986 ; Little, 1989). De plus, il se peut que les pontes perdent de leur régularité dans les systèmes intensifs du fait d'une tendance chez les féelles à préférer les mâles aux gonades matures n'ayant pas frayer (Silverman, 1978a, 1978b). Nakatsuru et Kramer (1982) ont signalé que des féelles du Characidé *Hyphessobrycon pulchripinnis* tendaient à choisir des mâles qui n'avaient pas récemment frayer. Les résultats de cette étude confortent ceux de Lovshin et Ibrahim (1989) qui ont signalé une amélioration des résultats de ponte après échange de mâles.

Leurs résultats suggèrent que l'échange de mâles est plus important que l'échange de féelles mais leur intervalle de récolte, et donc l'intervalle de conditionnement des féelles, était prolongé (21 jours), ce qui peut avoir affecté la productivité des féelles (voir ci-dessus). L'aptitude à la fécondation

du tilapia du Nil mâle a augmenté de 22 à 100 % après une période de repos d'une semaine (Rana, 1986), et il se pourrait que la période de conditionnement des mâles soit réduite à cinq jours, et qu'il n'y ait plus que deux groupes de géniteurs, ce qui réduirait également les coûts de gestion.

La diminution du volume des lots individuels d'oeufs en fonction du stade de développement des oeufs récoltés ou de la durée de l'incubation naturelle peut être interprétée conformément à Rana (1990). L'enlèvement des oeufs non fécondés de la cavité buccale, les contacts avec les dents pharyngiennes après l'éclosion et la dislocation du vitellus pendant les mouvements d'agitation liés à l'incubation naturelle ont constitué les causes principales de pertes observées avant et après l'éclosion chez les féelles maintenues en bassin et en aquarium. Marshall (1979) n'a trouvé, chez *O. macrochir*, aucun rapport entre le nombre d'oeufs présents dans la bouche et le stade de développement des oeufs au moment de la récolte à la senne dans un lac naturel mais il écarté des féelles qui avaient, semble-t-il, déjà perdu des oeufs ou des alevins. D'autres chercheurs (Aronson, 1949 ; Lowe-McConnell, 1959 ; Riedel, 1965) ont associé la diminution du nombre des alevins lors de l'incubation à la taille limitée de la cavité buccale, avis que les travaux de Rana (1986) ont infirmé.

Aucune différence significative n'a été observée dans la synchronisation des pontes d'un traitement à l'autre, comme le montrent les différences observées au niveau des stades de développement des oeufs. Toutefois, plus de 40 % de la totalité des féelles ont pondu au bout de cinq jours après un conditionnement de 10-15 jours avant la mise en charge. Quand les féelles étaient échangées sélectivement et que les mâles étaient également échangés, la fréquence de ponte s'est vue augmentée jusqu'à 50 %.

L'échange et le conditionnement des géniteurs féelles et mâles devraient être réalisés de manière sélective et fréquente

pour améliorer la production d'oeufs et la productivité individuelle des géniteurs. La sélection individuelle de géniteurs femelles matures demande du temps, et le maintien du double du nombre des mâles augmenterait le coût des géniteurs. L'enlèvement précoce et fréquent des oeufs exige aussi que ceux-ci soient placés en incubation artificielle avant qu'une comparaison stricte avec des méthodes de récolte des alevins en âge de s'alimenter puisse être faite. Toutefois, dans la cadre de la présente étude, des rendements atteignant presque deux fois les plus hauts rendements obtenus auparavant (Little et coll., 1993), ont été rapportés.

Remerciements

Cette étude a été réalisée alors que l'auteur principal était Associé de recherche à la CEE. Les travaux des Dr P. Edwards et D.J. Macintosh ont été financés à l'AIT par l'Administration du développement outre-mer, Royaume-Uni. L'étude a été financée au titre du contrat TSD-A-090-UK(H) attribué par la Commission des Communautés européennes dans le cadre de son programme "Science et technologie pour le développement". Les travaux de recherche ont été entièrement menés sur le campus de l'AIT avec l'aide du personnel de cet institut, que les auteurs remercient vivement.

Littérature citée

- Aronson, K.R. 1949. An analysis of reproductive behavior in the mouthbreeding cichlid fish, *Tilapia macrocephala* (Bleeker). *Zoologica* (N.Y.) 34:133-158.
- Hughes, D.G. et L.L. Behrends. 1983. Mass production of *Tilapia nilotica* seed in suspended net enclosures, p. 394-401. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Little, D.C. 1989. Evaluation of *Oreochromis* fry production for sex-reversal. University of Stirling, Stirling, R-U. 376 p. Thèse de doctorat.
- Little, D.C., D.J. Macintosh et P. Edwards. 1993. Improving spawning synchrony in the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquacult. Fish. Manage.* 24:339-405.
- Lovshin, L.L. et H.H. Ibrahim. 1989. Effects of broodstock exchange on *Oreochromis niloticus* egg and fry production in net enclosures, p. 231-236. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthal et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Lowe-McConnell, R.H. 1959. Breeding behaviour patterns and ecological differences between *Tilapia* species and their significance for evolution within the genus *Tilapia* (Pisces: Cichlidae). *Proc. Zool. Soc. Lond.* 132:1-30.
- Marshall, B.E. 1979. Observations on the breeding biology of *Sarotherodon macrochir* (Boulenger) in Lake Mcllwaine, Rhodesia. *J. Fish Biol.* 14:419-424.
- Mires, D. 1982. Study of the problems of mass production of hybrid tilapia fry, p. 317-329. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.
- Nakatsuru, K. et D.L. Kramer. 1982. Is sperm cheap? Limited male fertility and female choice in the lemon tetra (Pisces, Characidae). *Science* 216:753-755.
- Peters, H.M. 1971. Testis weights in *Tilapia* (Pisces: Cichlidae). *Copeia* 1:13-17.
- Peters, H.M. 1983. Fecundity, egg weight and oocyte development in tilapias (Cichlidae, Teleostei). Traduit de l'allemand par D. Pauly, ICLARM Transl. 2, 28 p.
- Polder, J.J.W. 1971. On gonads and reproductive behavior in the cichlid fish *Aequidens portalegrensis* (Hensel). *Neth. J. Zool.* 21(3):265-365.
- Rana, K.J. 1986. Parental influences on egg quality. Fry production and fry performance in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) and *O. mossambicus* (Peters). Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, R-U. Thèse de doctorat.
- Rana, K.J. 1990. Reproductive biology and the hatchery rearing of tilapia eggs and fry, p. 343-406. *In* J.F. Muir et R.J. Roberts (éds.) Recent advances in aquaculture. Croom Helm Ltd., Londres.
- Riedel, D. 1965. Some remarks on the fecundity of *Tilapia* (*Tilapia mossambica* Peters) and its introduction into Middle Central America (Nicaragua) together with a first contribution towards the limnology of Nicaragua. *Hydrobiologia* 25:357-388.
- Rothbard, S., E. Solnik, S. Shabbath, R. Amado et I. Gracie. 1983. The technology of mass production of hormonally sex-reversed all-male tilapias, p. 425-434. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.

- Silverman, H.I. 1978a. Effects of different levels of sensory contact upon reproductive activity of adult male and female *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* (Peters). Pisces: Cichlidae. Anim. Behav. 26:1081-1090.
- Silverman, H.I. 1978b. The effects of visual social stimulation upon age at first spawning in the mouthbrooding cichlid fish *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* (Peters). Anim. Behav. 26:1120-1125.
- Turner, G.F. 1986. Territory dynamics and cost of reproduction in a captive population of the colonial nesting mouthbrooder *Oreochromis mossambicus* (Peters) J. Fish Biol. 29:573-587.
- Uchida, R.N. et J.E. King. 1962. Tank culture of tilapia. US Fish Wildl. Serv. Fish. Bull. 62:21-52.

Effets du sexe ratio à l'empoissonnement sur la croissance et le recrutement dans des étangs d'élevage de tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*)^a

G.C. MAIR^b

School of Biological Sciences
University College of Swansea
Swansea SA2 8PP, Wales, R-U

A.A. VAN DAM^c

ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project
P.O. Box 229
Zomba, Malawi

MAIR, G.C. et A.A. VAN DAM. 1996. Effets de sexe ratio à l'empoissonnement sur la croissance et le recrutement dans des étangs d'élevage de tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus* L.), p. 109-117. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Dans le cadre de la présente étude, des étangs de terre de 200 m² ont été empoissonnés avec des juvéniles de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) manuellement sexés, et des populations constituées à 50, 80, 95, 98 et 100 % par des mâles (deux réplicats) à une densité de 1 ind·m⁻². La croissance des poissons stockés et le recrutement ont été évalués sur des échantillons prélevés deux fois par mois. Une récolte complète des étangs a été effectuée au bout de 24 semaines. Le recrutement a été observé dans tous les étangs où les recrues représentaient entre 4,7 et 31,4 % de la biomasse totale de récolte. Les erreurs de sexage manuel ont conduit à l'introduction dans les étangs d'un petit nombre de femelles et donc à l'apparition de quelques recrues dans les étangs de mâles. A l'analyse de variance, la proportion des mâles s'est révélée avoir un effet significatif ($P=0,01$) sur la biomasse des recrues ainsi qu'un effet sur le gain pondéral moyen des poissons stockés. L'analyse de régression multivariée a révélé un effet positif significatif ($P=0,001$) de la proportion des mâles sur la croissance des poissons stockés et un effet négatif ($P=0,01$) sur la biomasse et le nombre des recrues. Le recrutement et la croissance décrivaient une évolution similaire dans les étangs stockés à 95, 98 et 100 % avec des mâles. Ces résultats suggèrent que le recrutement est encore bien trop haut dans les étangs peuplés avec des proportions élevées de mâles bien que la croissance y ait été positive et le recrutement en baisse. Des efforts devraient être consentis pour éliminer toutes les femelles des étangs afin de totalement supprimer les effets nuisibles du recrutement chez les tilapias dans les étangs de grossissement.

Introduction

L'élevage monosexé de tilapias mâles a longtemps été proposé comme solu-

tion au problème de reproduction excessive et de surpopulation dans les étangs d'élevage de tilapias. Les méthodes existantes (sexage manuel, hybridation et inversion sexuelle par traitement hormonal) ne parviennent pas à donner de manière consistante des descendance 100 % mâles. Nous avons pu constater par exemple que dans les travaux de manipulation génétique du déterminisme sexuel visant à produire

^aICLARM Contribution No. 995.

^bAdresse actuelle : Freshwater Aquaculture Center, Central Luzon State University, Nuéva Ecija 3120, Philippines.

^cAdresse actuelle : Thorbeckestraat 60, 6702 BS Wageningen, Pays-Bas.

des mâles YY (Scott et coll., 1989 ; Mair et coll., 1991) pour la constitution d'élevages monosexes de *Oreochromis niloticus*, un certain nombre de reproducteurs YY produisaient un petit nombre de femelles. Si l'incidence aberrante de cette petite proportion de femelles est d'origine génétique, contrairement aux hypothèses de déterminisme monofactoriel du sexe chez cette espèce, il deviendrait possible de procéder à des sélections en sens inverse sur plusieurs générations de mâles YY. Cependant, la mise en place d'un tel programme de sélection exigeant des investissements considérables, il est important de savoir si la production de populations à 100 % mâles est réellement désirable.

Plusieurs auteurs ont suggéré que si des descendance de mâles à 95 % ou plus pouvaient être créées, les problèmes liés à la reproduction et à la surpopulation seraient négligeables (Mires, 1977 ; Macintosh et coll., 1988) ; peu de données toutefois viennent à l'appui de ces affirmations. Des travaux sur les effets de la présence d'un petit nombre de femelles (parfois 2,5 % seulement) ont révélé que ceux-ci pouvaient être très significatifs sur la croissance des poissons stockés et sur les rendements dans les étangs d'élevage où les recrues constituent jusqu'à 70 % de la récolte. Dans le cas des étangs peuplés de néomâles, la présence de ne serait-ce qu'une seule femelle (0,35 %) a quand même donné des rendements constitués jusqu'à 44 % par des recrues (Anderson et Smitherman, 1978).

Dans le cadre d'une étude sur les effets de l'introduction d'un petit nombre de femelles *O. niloticus* dans des étangs peuplés avec des hybrides tous mâles (*O. niloticus* x *U. urolepis hornorum*), Lovshin et coll. (1990) ont démontré que la croissance de ces mâles était 121

et 69 % supérieure à celle des populations contenant respectivement 2,5 et 5,0 % de femelles. Les rendements obtenus, recrues comprises, dans les élevages comprenant 5,0 % de femelles étaient les plus élevés.

La présente recherche a été conçue pour déterminer, en étudiant les effets des proportions déjà connues de femelles sur la croissance, les rendements et le recrutement — particulièrement chez les populations à proportions très élevées de mâles — s'il existait une proportion minimale acceptable de femelles dans les élevages en étang de *O. niloticus*.

Matériel et méthodes

Des alevins en âge de s'alimenter et issus de la reproduction d'un certain nombre de souches philippines de *O. niloticus* disponibles localement — y compris quelques tilapias rouges (*Oreochromis* sp.) — ont été répartis en quatre lots et mis en charge à densités égales dans des bassins cimentés de 5 m². Trois des quatre lots d'alevins ont reçu une alimentation contenant de la 17 α -méthyltestostérone (40 mg·kg⁻¹ d'aliment) pendant 28 jours afin que soient produits des mâles en plus grand nombre.

Après traitement, tous les poissons ont été regroupés et mis en grossissement pendant 114 jours dans des hapas à mailles fines jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids moyen de 20-24 g, taille à laquelle ils pouvaient être sexés par examen de la papille génitale. Les poissons ainsi sexés ont été répartis en cinq groupes de traitement : 50, 80, 95, 98 et 100 % de mâles ; chaque traitement ayant été répété une nouvelle fois. Ces poissons ont ensuite été stockés à une densité de 1 ind·m⁻² dans des étangs en terre de 200 m² selon un plan d'expérience à blocs complètement randomisés.

Les poissons ont été élevés pendant 126 jours, période au cours de laquelle des prélèvements d'environ 25 % de la population étaient réalisés tous les 15 jours. Le poids moyen des poissons stockés (PM), la biomasse (BIOMP) et le nombre (NBREP) des recrues prélevées (fingerlings >5g, récoltés à la senne) étaient alors relevés. Les étangs étaient fertilisés tous les 15 jours à raison de 1.000 kg·ha⁻¹ de fientes de volaille et 50 kg·ha⁻¹ d'engrais chimique (N-P-K, 16-20-0). Aucune alimentation supplémentaire n'a été donnée. Les paramètres de la qualité de l'eau, la température, le pH, et l'oxygène dissous étaient mesurés tous les 15 jours à 7h00 et à 16h00.

Au moment de la récolte, les poids moyens individuels ont été relevés pour les poissons stockés, et les recrues (qui pouvaient être facilement distinguées des poissons stockés par l'important différentiel de taille) ont été calibrées, comptées et pesées. Les poids moyens (PM) et la biomasse des poissons stockés (BIOMST) et des recrues (BIOMREC), ainsi que la biomasse totale (BIOMTOT) ont été comparés par analyse de variance (ANOVA).

Une analyse de régression multivariée a été réalisée pour déterminer les effets d'un certain nombre de facteurs de prévision sur trois variables dépendantes : le taux de croissance des poissons stockés (TCST, en g·jour⁻¹), BIOMP et NBREP. Les facteurs de prévision étaient : le poids initial des poissons (PIN, en g) ; le pourcentage des mâles à la récolte (PMALE, en %) ; les réplicats (BLC, variable dichotomique) ; l'âge des poissons stockés depuis la première alimentation (AGE, en jours) ; la proportion de tilapias rouges dans la population (PROUG, en %) ; la survie pendant le grossissement en étang (SURV, en %) ; la concentration d'oxygène dissous (OD, en

mg·ml⁻¹) ; la température de l'eau (TEMP, en °C) ; et le pH (PH). Toutes ces variables ont été mesurées à chaque période d'échantillonnage, c'est-à-dire tous les 15 jours. Au total, 90 ensembles de données ont été collectés (N=90 : 5 traitements*2 réplicats*9 périodes d'échantillonnage) conformément à la méthode de Pauly et Hopkins (1983).

Pour chacune des variables dépendantes et pour les calculs logarithmiques de BIOMP et de NBREP, un modèle de régression a été mis au point en combinant des facteurs de prévision qui, pris ensemble, expliquaient la variation autant que possible (R² le plus haut possible). Pour chaque modèle ainsi construit, les déviations importantes du modèle de régression multivariée prévu (multicolinéarité, erreur moyenne nulle, variance constante d'erreur et autocorrélation des résidus) ont été recherchées et corrigées (Costa-Pierce et coll., 1993). Les variables qui exprimaient des proportions (PROUG, PMALE et SURV) ont été calculées à l'arcsinus de leur racine carrée (TPROUG, TPMALE et TSURV). L'importance relative des facteurs de prévision dans un quelconque modèle a été évaluée par les coefficients de régression standardisés (Costa-Pierce et coll., 1993).

Résultats et discussion

Les erreurs de sexage manuel à la mise en charge se sont traduites par de petits écarts des sexe ratios attendus à la récolte. Ceci est important dans le cas des étangs peuplés avec des fingerlings "tous mâles". Une femelle a été trouvée dans un étang de répétition stocké uniquement avec des mâles et l'on a trouvé des recrues dans les deux étangs. Tous les étangs étaient équipés d'une pompe pour l'approvisionnement en eau

et d'un filtre placé au niveau du collecteur, aussi peut-on éliminer toute idée de contamination par des poissons sauvages. On admet que les populations monosexes mâles comprenaient entre 0,5 et 1,0 % de femelles, ce qui les confondait pratiquement avec la population du traitement à 98 % de mâles.

Les gains de poids moyens les plus élevés ont été obtenus dans les trois traitements comprenant 95 % de mâles et davantage. Par ailleurs, la biomasse des recrues dans ces traitements était inférieure à celle des traitements à 50 et 80 % de mâles (Tableau 1). Les divers traitements n'ont pas eu un effet significatif sur le gain pondéral moyen, la biomasse des poissons stockés et la biomasse totale récoltée mais on a observé un effet de bloc significatif (ANOVA, voir le tableau 2). Par contre, ce sont les effets inverses qui ont été observés au niveau de la biomasse des recrues (Tableau 2). Toutefois, la présence des contrastes linéaires reflétait des différences significatives au niveau du gain pondéral moyen et de la biomasse des poissons stockés entre les traitements à 50 et 80 % d'une part, et entre les traitements à 95, 98 et 100 % de mâles d'autre part ($P=0,05$; voir aussi la figure 1). Etant donné que les traitements n'ont été répétés que deux fois, l'analyse de variance n'a pas donné des résultats probants (Van Dam, 1990). Par ailleurs, les niveaux de probabilité des variables non significatives dans l'analyse de variance pour PM et BIOMREC (environ 0,08 pour les deux variables) suggèrent que ces effets auraient pu être significatifs si le nombre des réplicats avait été plus élevé. L'effet de bloc était probablement dû aux différences de "maturité" des étangs : les étangs du bloc 1 se trouvaient dans leur deuxième cycle de production tandis que ceux du bloc 2 étaient dans leur premier cycle.

Aucune tendance nette n'a pu être établie dans le recrutement tout au long de la période expérimentale. De même, les résultats obtenus étaient très variables (Fig. 2), ceci probablement dû à certaines insuffisances au niveau des procédures d'échantillonnage. On peut dégager toutefois que le recrutement a commencé plus tard et dans de plus faibles proportions dans les traitements à hauts pourcentages de mâles. De même, le recrutement a diminué avec le temps dans tous les traitements, probablement du fait d'une diminution de la fréquence des pontes chez les poissons stockés à mesure que la biomasse augmentait, ou bien du cannibalisme des plus jeunes alevins par les recrues juvéniles plus âgées.

La biomasse totale récoltée ne s'est pas révélée significativement différente d'un traitement à l'autre, laissant supposer que la capacité de charge maximale (en l'absence d'alimentation complémentaire) ait pu être atteinte dans tous les étangs, et que les différences d'un traitement à l'autre aient pu se traduire par des différences au niveau de la proportion relative des recrues et des poissons stockés (Tableau 1, Fig. 3).

L'analyse de régression multivariée a donné des modèles significatifs pour TCST ($R^2=0,669$), BIOMP ($R^2=0,553$) et NBREP ($R^2=0,432$). Le poids des poissons en début d'expérience et le nombre de réplicats sont apparus comme les variables explicatives les plus importantes pour TCST (Tableau 3 et Fig. 4). La proportion de mâles était positivement corrélée avec TCST.

L'âge des poissons stockés est apparu comme une variable essentielle pour expliquer la variabilité observée au niveau de BIOMP et de NBREP (Fig. 4). La diminution du recrutement (Fig. 2) avec le temps n'a pas été exprimée dans cette analyse parce que l'effet de l'âge

Tableau 1. Gain pondéral et recrutement à la récolte dans des étangs de tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) stockés selon différents sexe ratios. Dans les cas où aucune femelle n'avait été stockée, les recrues étaient dues à des erreurs de sexage (voir le texte).

Sexe ratio poissons stockés (♂ : ♀)	Sexe ratio poissons récoltés (♂ : ♀)	Poids moyen initial (g)	Poids moyen à la récolte (g)	Gain pondéral (g)	Survie %	Biomasse des recrues (g)	Recrues en % de la biomasse récoltée
100:100	97:87	21,03	36,49	15,46	92,0	2.847	29,55
100:100	94:91	19,61	44,59	24,98	92,5	3.825	31,45
160:40	164:25	21,47	42,60	21,13	94,5	1.517	15,72
160:40	147:26	20,10	51,95	31,85	86,5	2.157	19,18
190:10	181:9	21,81	46,13	24,32	95,0	973	9,85
190:10	170:9	21,51	57,93	36,42	89,5	654	5,87
196:4	180:4	21,68	40,69	19,01	92,0	538	6,52
196:4	174:6	20,71	59,96	39,25	90,0	1.097	9,14
200:0	189:0	21,38	50,40	29,02	94,5	472	4,68
200:0	174:1	21,25	58,91	37,66	87,0	1.063	9,25

Tableau 2. Moyenne des carrés de l'analyse de variance (ANOVA) sur le gain pondéral moyen (PM, en g), la biomasse des poissons stockés à la récolte (BIOMST), la biomasse des recrues à la récolte (BIOMREC, en g) et la biomasse totale des poissons à la récolte (BIOMTOT) pour toute la durée de l'expérience (126 jours). Les seuils de signification sont indiqués (*=5 %, **=1 % et ***=0,1 %).

Effet	DDL	PM	BIOMREC	BIOMST	BIOMTOT
Réplicat	1	374,789**	604668,100 ^b	6571193,756*	11162500*
Traitement	4	49,089*	2482037,650**	1816682,803	218532,696
Résidus	4	10,836	116443,850	514865,264	609053,481

*Niveau de probabilité : 0,086.

**Niveau de probabilité : 0,085.

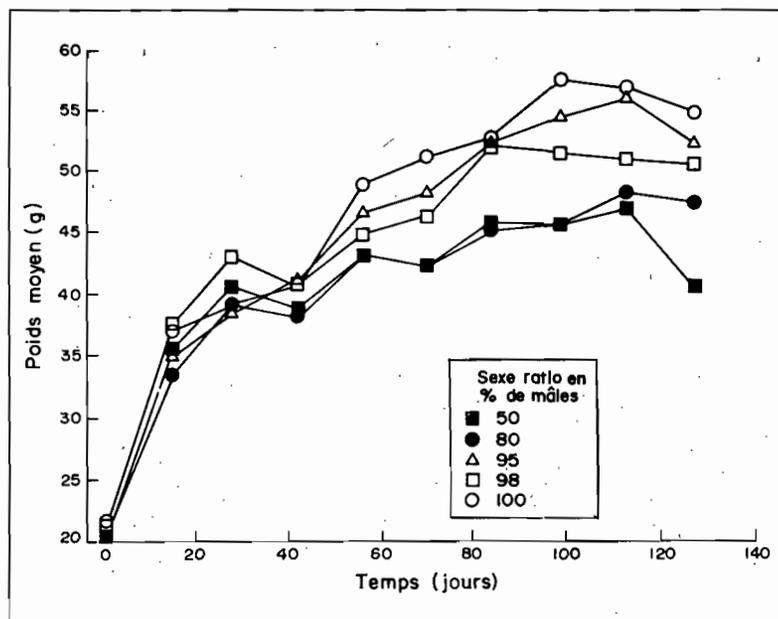


Fig. 1. Croissance des populations de *Oreochromis niloticus* stockées en étangs selon différents sexe ratios (moyenne des réplicats).

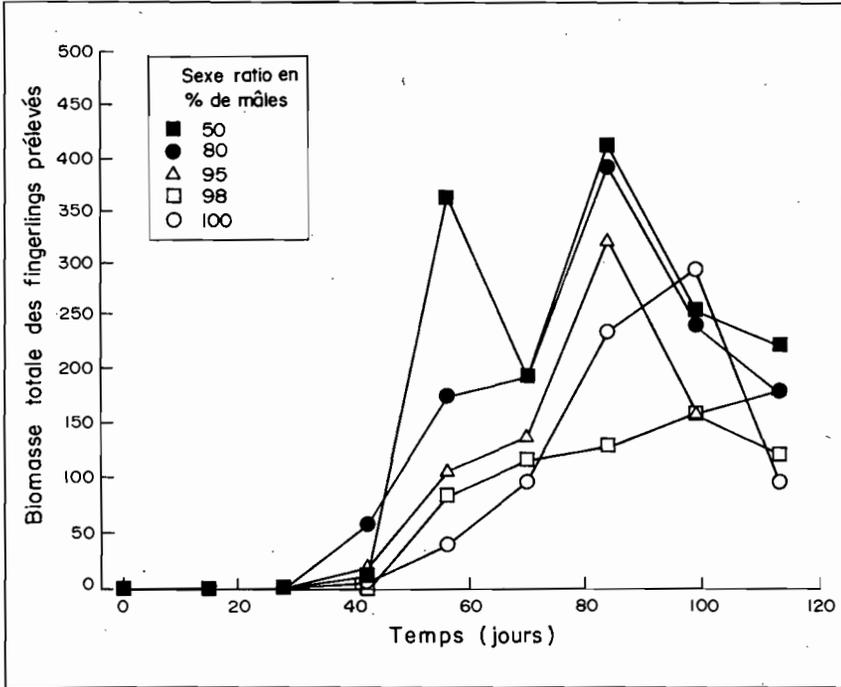


Fig. 2. Recrutement au cours de la période d'élevage de populations de *Oreochromis niloticus* stockées selon différents sexe ratios (moyennes des répliqués).

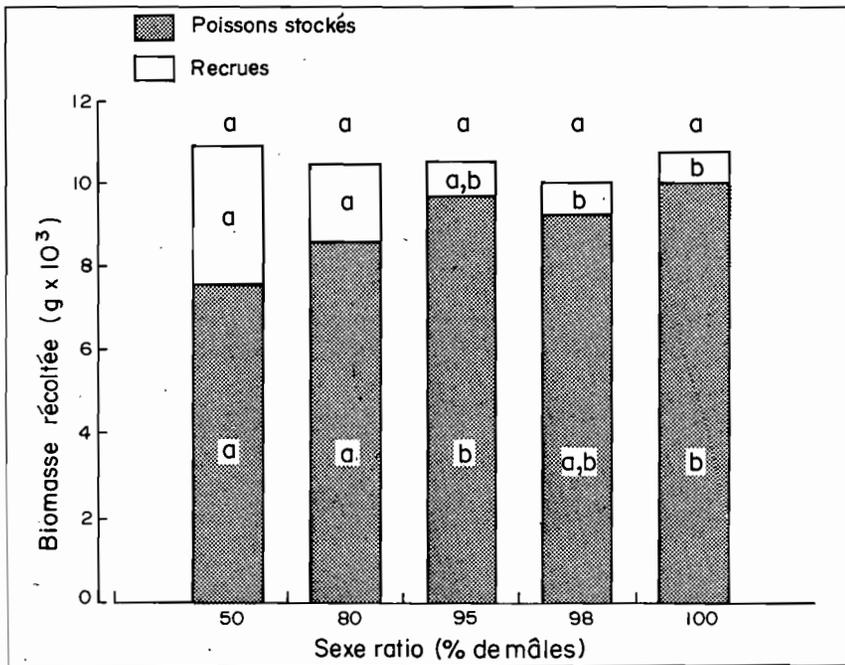


Fig. 3. Moyenne des rendements des étangs d'élevage de *Oreochromis niloticus* (poissons stockés et recrues) peuplés selon différents sexe ratios. Les colonnes portant différentes lettres ont des moyennes significativement différentes (P=0,05).

Tableau 3. Résultats de l'analyse de régression multivariée pour le taux de croissance (TCST, en g·jour⁻¹), la biomasse des recrues (BIOMP, en g) et le nombre des recrues (NBREP) à chaque période (15 jours) d'échantillonnage de l'expérience avec diverses variables de prévision (N=90). Les seuils de signification des variables sont indiqués (*=5 %, **=1 % et ***=0,1 %). Voir le texte pour les abréviations des variables de prévision.

Variables de prévision	TCST		BIOMP		NBREP	
	b	ES ^a	b	ES ^a	b	ES ^a
PIN	-0,031	0,002***				
PMALE	0,379	0,099***	-104,916	37,148**	-38,843	10,836**
BLC	0,488	0,057***				
TEMP	0,050	0,019*	13,691	7,194 ^a		
OD			17,304	6,155**	4,794	1,779**
AGE			2,546	0,259***	0,541	0,076***
Constante	-0,653		-712,216		-48,111	
R ² ajusté	0,669		0,553		0,432	
Valeur de F	46,050		28,486		23,543	
Durbin-Watson	1,787		1,905		1,878	
Probabilité	<0,001		<0,001		<0,001	

^aErreur standard.

^bNiveau de probabilité : 0,060.

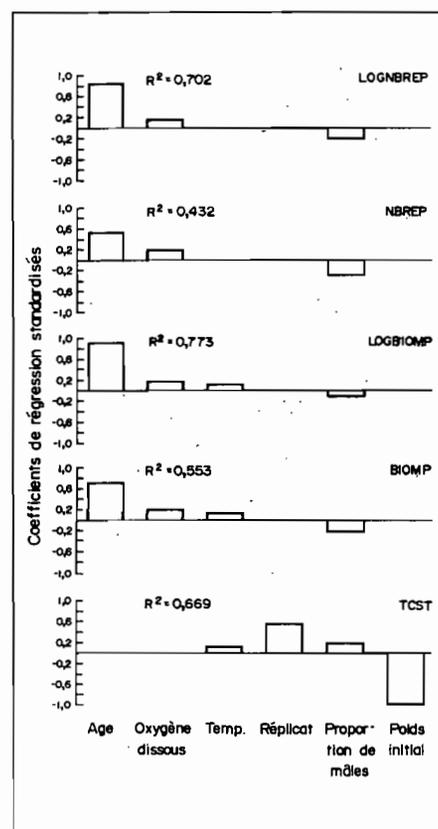


Fig. 4. Coefficients de régression standardisés des modèles pour le taux de croissance, la biomasse et le nombre des recrues. Voir le texte ainsi que les tableaux 3 et 4 pour une explication.

est décrit linéairement (nous n'avons pas fait d'analyse avec les effets non linéaires de l'âge).

Une corrélation positive a été observée entre l'oxygène dissous, NBREP et BIOMP, signifiant l'importance de l'oxygène dans la croissance et la survie des fingerlings. La température semble n'avoir eu d'effet que sur la biomasse des recrues, suggérant que cette variable avait moins d'importance au niveau de la survie. Une corrélation négative significative a été observée entre la proportion des mâles, la biomasse et le nombre des recrues.

Aucune corrélation sérielle positive ou négative significative n'a été observée entre les résidus (test de Durbin-Watson, $P=0,001$). La transformation logarithmique des valeurs de BIOMP et de NBREP s'est traduite par une bien meilleure adéquation des modèles (Tableau 4 ; LOGBIOMP : $R^2=0,773$; LOGNBREP : $R^2=0,702$) révélant chez ceux-ci une corrélation sérielle positive entre les résidus dans le test de Durbin-Watson.

Ces résultats indiquent que l'accroissement du sexe ratio en faveur des mâles à l'empoissonnement a un effet significatif sur les rendements en poissons de taille marchande (augmentation du poids des poissons stockés et abaissement du recrutement). Il faut noter toutefois que l'effet remarqué dans cette étude n'était pas aussi prononcé que l'effet observé dans d'autres travaux similaires (Macintosh et coll., 1988 ; Lovshin et coll., 1990). Ces différences pourraient s'expliquer par le fait que la période de grossissement dans le cadre de la présente étude était plus courte. Il faut aussi remarquer que tous les autres travaux ont incorporé une alimentation supplémentaire qui a pu amplifier les effets de compétition directe entre les recrues et les poissons stockés.

Rien ne semble mettre en évidence que les populations composées essentiellement par des mâles (>95 %) aient des distributions de poids individuel plus homogènes. En effet, peu de différences significatives dans les

Tableau 4. Résultats de l'analyse de régression multivariée pour les valeurs logarithmiques de la biomasse des recrues (LOGBIOMP) et le nombre des recrues (LOGNBREP) pour chaque période (15 jours) d'échantillonnage de l'expérience avec diverses variables de prévision (N=90). Les seuils de signification des variables sont indiqués (*=5 %, **=1 % et ***=0,1 %). Voir le texte pour les abréviations des variables de prévision.

	LOGBIOMP		LOGNBREP	
	b	ES*	b	ES*
Variables de prévision				
PMALE	-1,078	0,515*	-1,319	0,420**
TEMP	0,226	0,100*		
OD	0,270	0,085**	0,228	0,069**
AGE	0,062	0,004***	0,041	0,003***
Constante	-14,688		-4,668	
R ² ajusté	0,773		0,702	
Valeur de F	76,623		70,919	
Durbin-Watson	1,280		1,300	
Probabilité	<0,001		<0,001	

*Erreur standard.

caractéristiques des populations des étangs peuplés avec 95, 98 et "100 %" de mâles ont été observées. Les résultats d'autres travaux (Lovshin et coll., 1990 ; Mair, données non publiées) suggèrent que des augmentations significatives de rendement peuvent être obtenues si le recrutement est nul chez les populations entièrement monosexes mâles. Aussi, l'élimination de toutes les femelles devrait être un objectif important des programmes de manipulation des sexes.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Lolita Santiago pour son assistance technique. Cette communication est une contribution du Projet de recherche Freshwater Aquaculture Center/Central Luzon State University-University College of Swansea sur l'amélioration génétique du tilapia, soutenu par une subvention de l'Administration du développement outre-mer (R.4452) accordée à J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. Le détachement de A.A. Van Dam à l'ICLARM a été financé par le Directeurat général pour la coopération internationale, Ministère des Affaires étrangères, Pays-Bas.

Littérature citée

- Anderson, C.E. et R.O. Smitherman. 1978. Production of normal male and androgen sex reversed *Tilapia aurea* and *T. nilotica* fed a commercial catfish diet in ponds, p. 34-42. In R.O. Smitherman, W.L. Shelton et J.H. Groves (éds.) Culture of exotic fishes symposium proceedings. Fish Culture Section, American Fisheries Society, Auburn, Alabama.
- Costa-Pierce, B.A., A.A. van Dam et M.V. Kapeleta. 1993. Multiple regression analysis of growth of *Tilapia rendalli* in polyculture with *Oreochromis shiranus* as affected by water quality and pond inputs, p. 88-96. In M. Prein, G. Hulata et D. Pauly (éds.) Multivariate methods in aquaculture research: case studies of tilapias in experimental and commercial systems. ICLARM Stud. Rev. 20, 221 p.
- Lovshin, L.L., A.B. da Silva, A. Carneiro-Sobrinho et F.R. Melo. 1990. Effects of *Oreochromis niloticus* females on the growth and yield of male hybrids (*O. niloticus* female x *O. hornorum* male) cultured in earthen ponds. Aquaculture 88:55-60.
- Macintosh, D.J., T.B. Singh, D.C. Little et P. Edwards. 1988. Growth and sexual development of 17 α -methyltestosterone- and progesterone-treated Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in earthen ponds, p. 457-463. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Mair, G.C., A.G. Scott, D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1991. Sex determination in the genus *Oreochromis* I. Sex reversal, gynogenesis, and triploidy in *O. niloticus* (L.) Theor. Appl. Genet. 82:144-152.
- Mires, D. 1977. Theoretical and practical aspects of the production of all-male tilapia hybrids. Bamidgeh 29(3):94-101.
- Pauly, D. et K.D. Hopkins. 1983. A method for the analysis of pond growth experiments. ICLARM Newsl. 6:10-12.
- Scott, A.G., D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1989. The "YY" supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. Aquaculture 78:237-251.
- Van Dam, A.A. 1990. Is ANOVA powerful enough for analyzing replicated pond experiments? Aquabyte 3(3):3-5.

Comparaison des performances de croissance de *Oreochromis karongae* et de *O. shiranus* élevés en étang au Malawi

**A.O. MALUWA
M.W. DICKSON**

*Malawi Department of Fisheries/
EEC Central and Northern Regions Fish Farming Project
P.O. Box 700, Mzuzu, Malawi*

MALUWA, A.O. et M.W. DICKSON. 1996. Comparaison des performances de croissance de *Oreochromis karongae* et de *O. shiranus* élevés en étang au Malawi, p. 118-122. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Cet exposé présente les résultats de deux expériences d'élevage en étang d'une espèce autochtone de tilapia *Oreochromis karongae* à Mzuzu, Malawi. La première expérience visait à comparer le gain pondéral de *O. karongae* mis en charge à deux différentes densités dans des étangs de 150 m² (1 et 2 poissons·m⁻²) et de *O. shiranus*, l'espèce plus fréquemment utilisée en aquaculture au Malawi. Aux deux densités ci-dessus, le poids de *O. karongae* est passé en 16 semaines de 54 g à 104 g en moyenne alors que pour *O. shiranus*, il n'est passé en moyenne que de 39 g à 55 g. *O. shiranus* produit beaucoup plus d'alevins et de fingerlings (plus de 8.000/étang contre 200-300 pour *O. karongae*). La deuxième expérience visait à comparer la croissance des juvéniles de *O. karongae* dans des étangs de 300 m² fertilisés avec trois engrais différents (fientes de volaille, compost d'herbes et phosphate de diammonium) sans alimentation complémentaire. Chaque traitement a été répété trois fois. En l'espace de 12 semaines, le poids des alevins est passé de 1,3 g à 14-20 g. Aucune différence significative ($P>0,05$) n'a été observée au niveau des poids moyens obtenus en fin d'expérience avec les trois engrais. La possibilité d'utiliser *O. karongae* en pisciculture au Malawi est discutée à la lumière des résultats obtenus dans ces expériences.

Introduction

Le Malawi possède une ichthyofaune très riche répartie en deux zones écologiques principales : la zone de captage du lac Malawi (y compris le cours supérieur du Shire) et le cours inférieur du Shire, qui possède la même faune que le Zambèze inférieur. La faune du lac Malawi est particulièrement riche avec peut-être un millier d'espèces de poissons dont un grand nombre n'ont pas encore été décrits. Le Projet d'exploitation piscicole des régions centrale et septentrionale concentre l'ensemble de ses opérations dans le bassin hydrographique du lac Malawi.

Un de ses objectifs principaux est de rechercher s'il existe des espèces autochtones pouvant répondre aux exigences de l'exploitation piscicole. En fait, il existe deux espèces de tilapias autochtones, *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli*, qui sont élevées au Malawi depuis les années cinquante mais leur croissance est relativement lente et leur maturité précoce en étangs (Vincke, 1981).

Il existe des tilapias à tasseau autochtones appartenant au sous-genre *Nyasalapia* : *Oreochromis lidole*, *O. saka*, *O. karongae* et *O. squamipinnis* (Trewavas, 1983). Ce sont des espèces importantes que l'on pêche pour la

consommation courante. Elles sont nommées localement chambo. L'intérêt que ces espèces peuvent présenter pour la pisciculture n'a pas été étudié de manière approfondie car on avait pensé qu'elles ne pouvaient pas se reproduire dans les étangs peu profonds (Msiska, 1988). Toutefois, quelques chambos stockés dans un étang à la Station de recherches halieutiques de la baie de Nkhata se sont reproduits au début de 1990 en même temps que des travaux menés au sud du Malawi montraient que le chambo pouvait se reproduire en étang. Ces observations étaient assez encourageantes pour que la recherche se penche davantage sur ces espèces comme espèces candidates pour l'exploitation piscicole.

Des individus de chacune de ces espèces ont alors été capturés dans le lac Malawi et mis à pondre dans les bassins de la baie de Nkhata et de la station de Mzuzu. Les récents travaux de Turner dans la baie des Singes au sud du Malawi suggèrent que *O. saka* forme un sous-groupe de *O. karongae* et qu'il n'y a que trois espèces du sous-genre *Nyasalapia* : *O. karongae*, *O. lidole* et *O. squamipinnis* (Turner et Robinson, 1991). Ceci correspond à nos propres observations et c'est cette nomenclature que nous avons utilisée dans la présente communication. Nous avons trouvé que *O. karongae* était l'espèce la plus facile à capturer et celle qui se reproduit le plus facilement en captivité.

Les deux expériences décrites ici ont eu pour objectif de rendre compte de la croissance en étang de *O. karongae*. Dans la première expérience, les différentes densités de charge de *O. karongae* et *O. shiranus* ont été comparées tandis que dans la deuxième, des poissons plus petits ont été utilisés et différentes méthodes de fertilisation des étangs pouvant convenir aux éleveurs ruraux ont été appliquées.

Matériel et méthodes

Expérience n° 1

Cinq étangs de 150 m² ont été stockés avec des fingerlings de *O. karongae* issus de géniteurs sauvages provenant de la baie de Nkhata et de la baie des Singes ainsi qu'avec des fingerlings de *O. shiranus* issus de géniteurs provenant de la station de Mzuzu.

Les fingerlings étaient du même âge (16 semaines) avec un poids corporel moyen de 35 à 55 g. Chaque étang était fertilisé à raison de 200 g de phosphate de diammonium par semaine et une alimentation à base de son de maïs était distribuée à raison de 3 % de la biomasse totale des poissons par jour. Au début de l'expérience, 30 poissons par étang ont été pesés et marqués, le marquage facilitant l'identification des poissons lors de la pesée et permettant ainsi l'utilisation de poids individuels pour l'analyse statistique plutôt que de recourir à la répétition des traitements.

Deux tiers des poissons de chaque étang étaient pesés au gramme près par groupes de 10 tous les 28 jours, et les longueurs totale et standard individuelles de 20 poissons étaient mesurées au millimètre près.

Des échantillons d'eau étaient prélevés à 5h00 dans chaque étang pour mesurer, selon les méthodes de Stirling (1985), l'oxygène dissous, le pH, la dureté totale, l'alcalinité totale, la chlorophylle *a*, l'ammoniacque, le nitrite, le nitrate et le phosphore disponible. Au bout de 16 semaines, tous les poissons ont été comptés et pesés, marquant la fin de l'expérience.

Expérience n° 2

Neuf étangs de 300 m² ont été stockés avec 900 fingerlings de *O. karongae* chacun (poids moyen = 1,3 ± 0,5 - 1,3 ±

0,8 g). Les trois traitements : litière sèche ($7 \text{ kg} \cdot \text{étang}^{-1} \cdot \text{semaine}^{-1}$), phosphate de diammonium ($300 \text{ g} \cdot \text{étang}^{-1} \cdot \text{semaine}^{-1}$) et compost d'herbes (application initiale de 1 m^3 d'herbe hachée sèche — 6,5 % protéines brutes — placées dans une compostière dans un coin de l'étang, suivie par des applications hebdomadaires de $10 \text{ kg} \cdot \text{étang}^{-1}$) ont été répartis chacun de manière aléatoire entre les étangs de répétition.

Aucune alimentation complémentaire n'a été distribuée. Des échantillonnages étaient effectués dans tous les étangs tous les 28 jours et les poissons étaient pesés et mesurés. Des échantillons d'eau étaient également prélevés mensuellement et analysés comme dans l'expérience n° 1. L'expérience a été interrompue par une inondation peu de temps après l'échantillonnage à la fin de la douzième semaine. Une analyse de variance non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisée avec le logiciel Statgraphics (Statistical Graphics Corporation, Etats-Unis).

Résultats

Les poissons marqués ayant malencontreusement perdu leur étiquette, il n'a pas été possible de réaliser l'analyse statistique des résultats des traitements. Toutefois, on a pu observer que la croissance de *O. karongae* était supérieure à celle de *O. shiranus* aux deux différentes densités de charge ($P < 0,05$ si tous les résultats de chaque espèce sont regroupés) comme présenté dans le tableau 1 pour l'expérience n° 1. *O. karongae*, stocké à raison de 2 poissons $\cdot \text{m}^{-2}$ semble donner les meilleurs résultats au niveau de la production globale, ces poissons donnant d'aussi bons résultats de croissance que lorsqu'ils sont stockés à 1 poisson $\cdot \text{m}^{-2}$.

L'expérience n° 2 ayant été interrompue par une inondation, les données présentées dans le tableau 2 proviennent des échantillonnages. Il n'a pas été possible d'évaluer le taux de mortalité ou la production totale. La croissance de *O. karongae* d'un traitement à l'autre n'était pas significativement différente ($P > 0,05$).

Dans les deux essais, les paramètres de l'eau sont restés dans des limites acceptables pour la croissance des tilapias. La température de l'eau était comprise entre 21 et 26°C.

Discussion

Les résultats de ces expériences mettent en évidence des différences de performances d'élevage entre *O. karongae* et *O. shiranus*. *O. shiranus* peut se reproduire dès 8 g (Maluwa, 1990), et une fois que la reproduction commence, la croissance ralentit considérablement. La période de croissance de *O. karongae* avant la reproduction est plus longue et il atteint une plus grande taille. Au début de la première expérience, *O. shiranus* avait déjà atteint sa taille de reproduction tandis que *O. karongae*, bien que plus grand à la mise en charge, n'a commencé à se reproduire qu'après avoir atteint 90 g. Cette différence serait importante si à la récolte les poissons devaient être de grande taille. Au Malawi toutefois, la plupart des marchés acceptent volontiers des poissons de petite taille et dans ce cas, il importe peu que le poids de récolte de *O. shiranus* soit faible. Le rendement, en termes de poids par unité de surface, semble être, pour les éleveurs, le facteur le plus important. L'expérience n° 1 montre également qu'en termes de production globale, *O. karongae* peut donner de meilleurs résultats que *O. shiranus*.

Tableau 1. Résultats de l'expérience n° 1. Comparaison des gains de poids de *Oreochromis karongae* et *O. shiranus* stockés aux densités de 1 et 2 poissons·m⁻². (Ok=*Oreochromis karongae*, Os=*Oreochromis shiranus* ; BN=baie de Nkhata, BS=baie des Singes, MZ=Mzuzu ; PCM1±ET et 2=poids corporels moyens respectivement à la mise en charge et à la récolte ; et TCS=taux de croissance spécifique. ET=écart-type. Les poids moyens de récolte portant la même lettre ne sont pas significativement différents [P>0,05] selon l'analyse de variance non paramétrique de Kruskal-Wallis.)

Etang n°	1	2	3	4	5
Espèce et source	Ok (BN)	Ok (BN)	Ok (BS)	Os (MZ)	Os (MZ)
Densité de charge	1·m ⁻²	2·m ⁻²	1·m ⁻²	1·m ⁻²	2·m ⁻²
PCM1±ET (g)	55±6	52±7	53±9	42±10	35±12
PCM2±ET (g)	105±11b	106±6b	102±9b	56±22a	54±31a
TCS (%·jour ⁻¹)	0,57	0,64	0,58	0,26	0,39
Mortalité (%)	7,3	8,7	14,7	18,0	43,3
Gain pondéral (kg)	6,35	13,44	5,11	0,59	-1,32
Poids des fingerlings (kg)	1,6	2,0	1,2	8,1	8,4
Nombre de fingerlings	228	274	309	8.100	8.367

Tableau 2. Résultats de l'expérience n° 2. Croissance des fingerlings de *Oreochromis karongae* à différents régimes de fertilisation, sans alimentation complémentaire. (PCM±ET ; 1 et 2=poids corporels moyens respectivement à la mise en charge et à la récolte. ET=écart-type. Les poids moyens de récolte portant la même lettre ne sont pas significativement différents [P>0,05] selon l'analyse de variance non paramétrique de Kruskal-Wallis.)

Traitement	Fientes de volaille	Phosphate de diammonium	Compost d'herbes
PCM1±ET (g)	1,3±0,5	1,3±0,7	1,3±0,8
PCM2±ET (g)	20,0±4,3a	14,0±5,7a	14,6±3,8a
TCS (%·jour ⁻¹)	3,3	2,8	2,9

Il est nécessaire de poursuivre les recherches pour permettre à *O. karongae* de s'établir comme poisson d'élevage. Ce poisson présente certains avantages par rapport à *O. shiranus* pour l'élevage au Malawi, et il a surtout le grand avantage d'être une espèce autochtone.

Remerciements

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre des activités de recherche du Projet d'exploitation piscicole des régions centrale et septentrionale n° 5-ACP-MAI-

047, Mzuzu, financé par une subvention de la Commission des Communautés européennes au gouvernement du Malawi, Ministère des Forêts et des Ressources naturelles, Direction des Pêches.

Littérature citée

- Maluwa, A.O. 1990. Reproductive biology and fry production of *Oreochromis shiranus* Boulenger, 1896 (Pisces: Cichlidae). University of Malawi, Zomba, Malawi. Mémoire de maîtrise.
- Msiska, O.V. 1988. The status of wild and culture tilapia genetic resources in Malawi, p. 32-35. In R.S.V. Pullin (éd.) Tilapia genetic

- resources for aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 16, 108 p.
- Stirling, H.P. 1985. Chemical and biological methods of water analysis for aquaculturists. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, Ecosse, R-U. 145 p.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History), Londres, R-U. 563 p.
- Turner, G. et R. Robinson. 1991. Ecology, morphology and taxonomy of the Lake Malawi *Oreochromis (Nyasalapia)* species flock. Ann. Mus. Roy. Afr. Centr. Sc. Zool. 262:23-28.
- Vincke, M.M.J. 1981. Aquaculture development in Malawi. Report of FAO Programming Mission in Malaŵi. Aquaculture Development and Coordination Programme. FAO, Rome. 58 p.

Croissance, survie et sexe ratio chez *Oreochromis urolepis hornorum*, *O. niloticus* et leurs hybrides traités à la 17 α -méthyltestostérone

D.E. MEYER

Panamerican Agriculture School
Box 93, Tegucigalpa
Honduras

R.O. SMITHERMAN

US Department of Agriculture
Washington, DC
Etats-Unis

MEYER, D.E. et R.O. SMITHERMAN. 1996. Croissance, survie et sexe ratio chez *Oreochromis urolepis hornorum*, *O. niloticus* et leurs hybrides traités à la 17 α -méthyltestostérone, p. 123-129. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La présente étude a été conçue dans le but de différencier et de quantifier la croissance des poissons due à l'inversion sexuelle et la croissance due aux effets anaboliques chez les espèces *Oreochromis urolepis hornorum*, *O. niloticus* et leurs hybrides (*O. niloticus* femelle x *O.u. hornorum* mâle) traités à la 17 α -méthyltestostérone (MT) et élevés en hapas, et chez leurs témoins. Des populations de poissons monosexes mâles, monosexes femelles et mixtes ont été utilisées à cet effet. A la fin de la période d'inversion sexuelle (30 jours), tous les poissons traités avec 60 mg MT.kg⁻¹ d'aliment montraient une croissance supérieure (P=0,05) par rapport à leurs témoins respectifs. Un taux de croissance de 10 % a été observé chez les hybrides mâles traités mais comme aucune inversion sexuelle ne s'est produite chez ces hybrides, cette hausse correspond uniquement aux effets anaboliques de la MT en fin de période d'inversion sexuelle.

A la fin de la période expérimentale (180 jours), les valeurs pondérales moyennes relevées chez les mâles *O. niloticus* traités à la MT et chez leurs témoins étaient similaires, et les mêmes observations ont été faites pour les hybrides traités et leurs témoins. En revanche pour les mâles *O.u. hornorum*, les valeurs observées étaient significativement plus élevées chez les poissons traités que chez leurs témoins (P=0,05).

Au trentième jour d'élevage, la croissance des femelles traitées n'était pas significativement différente de celle des femelles témoins. Au bout de 180 jours de grossissement par contre, les femelles traitées étaient significativement plus lourdes (16,2 %) que les femelles témoins (P=0,10). Les données obtenues pour les femelles traitées à la MT ont permis de déduire que la croissance pondérale moyenne chez les mâles génotypiques traités était de 55,3 % et 23,0 % supérieure à celle des mâles non traités aux jours 30 et 180 de la période expérimentale, respectivement.

Introduction

Le contrôle de la reproduction des tilapias est fondamental si l'on veut obtenir de bonnes performances d'élevage (Chimits, 1957 ; Hickling, 1967 ; Lovshin, 1975). Diverses stratégies

d'aménagement ont été mises au point pour éviter la reproduction excessive dans les étangs de grossissement (Hickling, 1960 ; Clemens et Inslee, 1968 ; Guerrero, 1982), et la technique la plus efficace et actuellement la plus largement utilisée, consiste à traiter les

alevins sexuellement non différenciés avec des androgènes de synthèse pour entraîner une inversion sexuelle chez les femelles génotypiques.

De nombreux chercheurs ont rapporté des taux de croissance supérieurs chez les poissons traités aux androgènes par rapport à leurs témoins (Yamazaki, 1976 ; Donaldson et coll., 1979), ce qui ne s'avère pas nécessairement ou systématiquement chez les tilapias (Anderson et Smitherman, 1978 ; Hanson et coll., 1983). En effet, les tilapias traités sont des mâles phénotypiques mais la population est à l'origine constituée par des poissons à la fois de génotype femelle et de génotype mâle. Or, comme la croissance supérieure des tilapias mâles est d'origine génétique (Fryer et Iles, 1972 ; Anderson et Smitherman, 1978), un poisson génotypiquement femelle devenue phénotypiquement mâle ne saurait d'ordinaire croître aussi rapidement qu'un mâle normal.

L'objectif de ces expériences était de différencier et de quantifier la croissance des poissons due à l'inversion sexuelle et celle due aux effets anaboliques chez les espèces *Oreochromis urolepis hornorum*, *O. niloticus* et leurs hybrides (*O. niloticus* femelle x *O.u. hornorum* mâle) traités à la méthyltestostérone (MT) et chez leurs témoins respectifs.

Matériel et méthodes

Stocks de poissons

Les expériences présentées ici ont été réalisées dans les installations de l'Ecole panaméricaine d'aquaculture (PAS) au Honduras. Les géniteurs provenaient de l'Association nationale des producteurs de bananes à San Jose, Costa Rica et de l'agence CRSP dynamique des étangs/aquaculture à Comayagua, Honduras.

Des populations supplémentaires de *O. niloticus* ont été fournies par la PAS.

Production d'alevins

Tous les alevins utilisés dans le cadre de ces expériences ont été produits dans des bassins cimentés aménagés à ciel ouvert. Les bassins étaient régulièrement examinés à l'aide d'une senne pour retirer les embryons et alevins vésiculés de la bouche des femelles. Ces alevins étaient ensuite placés sur des plateaux en plastique contenant de l'eau constamment aérée et les embryons étaient mis en incubation artificielle.

Chaque expérience a été mise en route avec des alevins au sac vitellin, totalement résorbé. L'examen au microscope (15x) de cette caractéristique a permis d'assurer que tous les poissons aient atteint le même stade de développement au moment de la mise en charge. La longueur du corps n'a pas été utilisée comme critère pour l'empoissonnement des alevins en raison des éventuels effets maternels parmi les espèces de tilapia (Siraj et coll., 1983).

Préparation des aliments

Pendant les 60 premiers jours de chaque expérience, les alevins et fingerlings ont été nourris avec un aliment contenant 42 % de protéines brutes. Les aliments étaient finement hachés pour permettre l'ingestion de toutes les particules, et distribués à volonté aux poissons quatre fois par jour. A partir du soixantième jour et jusqu'à la fin de la période expérimentale, les poissons ont été nourris à volonté trois fois par jour avec un aliment similaire contenant 28 % de protéines brutes.

La nourriture contenant les hormones (60 mg MT·kg⁻¹ d'aliment) était préparée comme décrit par Shelton et coll. (1978). La distribution d'aliments traités aux

hormones a cessé au trentième jour de chaque expérience.

Unités expérimentales

Les poissons ont été initialement placés dans des petits hapas (0,30x0,60 x0,37 m) construits en fibre de verre (Tave et Tave, 1984) et suspendus dans des bassins en ciment (3,0x6,0x0,9 m) jusqu'à ce que la résorption du sac vitellin soit achevée (15 jours).

En mai 1988, 12 hapas ont été stockés avec chacun 50 alevins de *O. niloticus*, *O.u. hornorum* ou de leurs hybrides. Les traitements (MT et témoin) ont été répartis dans les hapas contenant tous les types d'alevins suivant un plan d'expérience totalement randomisé. Il y avait au total 36 hapas, chaque traitement étant répété six fois. Dans le second traitement, démarré en août 1989, 24 hapas ont été stockés avec 50 *O. niloticus* chacun. La moitié de ces hapas était stockée avec des alevins mixtes et l'autre moitié avec des femelles.

Tous les 30 jours, la totalité des poissons de chaque hapa était anesthésiée (200 ppm de MS-222), comptée, pesée collectivement et mesurée (longueur totale). Au trentième jour d'élevage, les poissons de tous les hapas de répétition ont été regroupés et répartis de nouveau à la densité de 20 poissons-hapa⁻¹ pour une nouvelle période de 30 jours. Les hapas sont restés dans les mêmes bassins. Au soixantième jour d'expérience, les poissons ont été transférés dans des hapas en nylon (1,2x 2,4x1,2 m avec un côté de maille de 0,6 cm) mis en suspension dans un étang en terre de 0,06 ha pour le reste de l'expérience.

Analyse statistique

Un système d'analyse factorielle a permis de comparer les effets des traitements (MT et témoin) sur les

différentes espèces de tilapias. Une analyse de variance a été réalisée à partir des poids moyens, des longueurs du corps moyennes et du pourcentage de survie des poissons de l'expérience. Le test de comparaison multiple des moyennes de Duncan a servi à établir les différences entre traitements. L'analyse du chi-carré a été réalisée pour s'assurer de l'adéquation des sexe ratios.

Résultats et discussion

Expérience n° 1

Au trentième jour d'expérience, les poids corporels moyens observés chez l'ensemble des poissons traités à la MT étaient plus élevés ($P=0,05$) que chez l'ensemble de leurs témoins (Tableau 1). En fin d'expérience par contre, aucune différence n'a été constatée.

En ce qui concerne les diverses catégories de poissons, ceux traités à la MT pesaient significativement plus lourds que leurs témoins respectifs au trentième jour d'élevage (Tableau 2). Aucune différence ($P=0,16$) n'a été observée entre les poids moyens en fin d'expérience des poissons *O. niloticus* traités et des témoins. Pour les hybrides traités et leurs témoins, les résultats étaient similaires. Seuls les *O.u. hornorum* traités ont montré des poids moyens significativement plus élevés par rapport à leurs témoins tout au long de la période expérimentale de 180 jours. Les différences au niveau des poids moyens étaient comparables à celles observées au niveau des longueurs moyennes totales (Tableau 3).

O.u. hornorum a donné un taux de survie de 69 %, pourcentage significativement inférieur au taux de 90 % constaté chez *O. niloticus* et ses hybrides ($P=0,10$). Les groupes témoins des deux

Tableau 1. Poids moyens (g) pour l'ensemble des poissons traités à la 17 α -méthyltestostérone (MT) et les témoins dans le groupe *Oreochromis urolepis hornorum*, *O. niloticus* et leur hybride (*O. niloticus* x *O.u. hornorum*) élevés en hapas. Les poids moyens pour chaque période d'élevage suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (P=0,05).

Traitement	Jours d'élevage					
	30	60	90	120	150	180
Témoins	0,80b	5,54b	33,8b	66,1b	95,0a	119,4a
Poissons traités à la MT	0,90a	5,83a	37,7a	72,5a	102,2a	122,6a

Tableau 2. Poids moyens (g) pour chaque catégorie de poissons traités à la MT et les témoins dans le groupe *Oreochromis urolepis hornorum*, *O. niloticus* et leur hybride (*O. niloticus* x *O.u. hornorum*) élevés en hapas. Les poids moyens pour chaque période d'élevage suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (P=0,05).

Type de poisson/ traitement	Jours d'élevage					
	30	60	90	120	150	180
<i>O. niloticus</i>						
témoins	0,95b	6,84a	36,0b	77,3a	108,2ab	138,8a
traités à la MT	1,04a	6,93a	41,5a	77,1a	100,8b	144,4a
Hybrides						
témoins	0,80d	6,52a	40,7a	69,8ab	100,8b	118,3b
traités à la MT	0,88c	6,28a	40,6a	73,8ab	102,6b	117,6b
<i>O.u. hornorum</i>						
témoins	0,65e	3,26c	24,9d	51,3c	66,4d	93,8d
traités à la MT	0,79d	4,30b	30,9c	66,5b	82,6c	110,4c

Tableau 3. Poids moyens et longueurs moyennes au bout de la période (30 jours) d'inversion sexuelle chez les poissons traités à la MT et les témoins dans le groupe *Oreochromis urolepis hornorum*, *O. niloticus* et leur hybride (*O. niloticus* x *O.u. hornorum*) élevés en hapas. Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes (P=0,05).

Type de poisson/ traitement	Poids moyen (g)	Longueur moyenne (LT ; mm)
<i>O. niloticus</i>	0,99a	39,0a
témoins		38,1ab
traités à la MT		39,9a
Hybrides de tilapia	0,84b	36,8b
témoins		36,1b
traités à la MT		37,4b
<i>O.u. hornorum</i>	0,72c	35,1c
témoins		33,8c
traités à la MT		36,4b

espèces étaient constitués à 60 % par des mâles, ce qui n'était pas significativement différent du sexe ratio de 1:1 attendu pour les tilapias. Une seule femelle a été trouvée parmi les hybrides témoins. Tous les poissons traités sont devenus des mâles phénotypiques.

Ces résultats montrent que la MT a un effet positif sur la croissance, ce qui a pu être observé essentiellement pendant la période d'inversion sexuelle. Le reste du temps d'expérience, les différences entre les groupes traités et les groupes témoins se sont progressivement atténuées sauf

pour *O.u. hornorum*. Goudie (1984) a remarqué que les tilapias éliminaient rapidement les ingestats de MT marquée par radioactivité. Curtis et coll. (non daté) ont rapporté que la transformation de la MT en métabolites polaires était rapide, leur excrétion chez les tilapias ne nécessitant que quelques jours.

L'effet prolongé de la MT sur le poisson génotypiquement mixte, et qui se traduit par un développement de croissance, procède à la fois de l'inversion sexuelle des femelles génotypiques en mâles phénotypiques et des effets anaboliques de la MT. Il n'a pas été possible d'observer de différences éventuelles dans les taux de croissance des poissons génotypiques mâles et femelles des deux espèces utilisées dans la présente expérience.

A la fin de la période d'inversion sexuelle, les poids moyens obtenus pour les hybrides traités étaient 10 % supérieurs à ceux obtenus pour les hybrides témoins ($P=0,05$). Comme les hybrides étaient tous mâles, aucune inversion sexuelle ne s'est produite chez les poissons traités, et la croissance observée peut être attribuée uniquement aux effets anaboliques de la MT.

Expérience n° 2

Pour l'ensemble des poissons traités à la MT, les valeurs pondérales moyennes

et les longueurs du corps étaient significativement supérieures à celles obtenues pour l'ensemble des témoins au bout de 30 et 180 jours d'élevage (Tableau 4). Comme on a pu le remarquer dans l'expérience n°1, les poids moyens des poissons *O. niloticus* traités étaient plus élevés que ceux de leurs témoins au bout de 30 jours d'élevage (Tableau 4). Les poids des femelles traitées n'étaient pas significativement différents de ceux de leurs témoins. Après 180 jours d'élevage, les femelles traitées étaient significativement plus lourdes que leurs témoins (16,2 %, $P=0,10$).

Les poissons traités à la MT étaient tous mâles phénotypiques. Aucun mâle n'a été observé dans les groupes témoins de femelles. Les groupes témoins mixtes comprenaient 52 % de mâles.

Les résultats des groupes de femelles traitées à la MT ont permis de déduire les poids des poissons au génotype femelle et phénotype mâle dans le groupe des poissons mixtes traités (Tableau 5). Compte tenu de la composition sexuelle du groupe témoin mixte, le poids d'un mâle génotypique traité à la MT atteindrait respectivement 0,56 et 78,1 g au bout de 30 et 180 jours d'élevage. Si l'on utilise la même procédure avec le poids des femelles témoins, le poids des mâles témoins atteindrait 0,38 g au bout de 30 jours d'élevage.

Tableau 4. Poids moyens et longueurs pour l'ensemble des poissons témoins de *Oreochromis niloticus* (femelles et poissons mixtes) et pour l'ensemble des poissons traités à la MT (femelles et poissons mixtes). Les moyennes enregistrées pour chaque jour d'élevage suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes ($P=0,10$).

Tailles	30 jours		180 jours	
Ensemble des poissons témoins				
Poids moyen (g)	0,37b	-	54,0b	-
Longueur moyenne (LT ; mm)	-	26,7b	-	142,4b
Ensemble des poissons traités				
Poids moyen (g)	0,43a	-	62,4a	-
Longueur moyenne (LT ; mm)	-	27,6a	-	147,4a

Tableau 5. Poids observés et déduits pour les femelles et les poissons mixtes de *Oreochromis niloticus* à la fin de la période d'inversion sexuelle (30 jours) et après 180 jours. Les poids déduits sont indiqués par une astérisque.

Sexe du poisson		Poids moyen (g)	
Génotype/phénotype	Traitement	30 jours	180 jours
Mâle/mâle	Témoin	0,38*	64,4
Femelle/femelle	Témoin	0,36*	52,5
Mâle/mâle	MT	0,56*	78,1*
Femelle/mâle	MT	0,39*	56,8*
Femelle/femelle	Témoin	0,36	48,9
Femelle/mâle	MT	0,39	56,8

Le traitement à la MT a eu un effet anabolique chez le mâle génotypique *O. niloticus* qui s'est traduit par des poids moyens 55,3 % et 23,0 % supérieurs à ceux des mâles témoins après 30 et 180 jours d'élevage. Ceci rend compte de l'effet anabolique du traitement à la MT indépendamment de tout effet dû à l'inversion sexuelle chez *O. niloticus*.

Littérature citée

- Anderson, C.E. et R.O. Smitherman. 1978. Production of normal male and androgen sex-reversed *Tilapia aurea* and *T. nilotica* fed a commercial catfish diet in ponds, p. 34-42. In R.O. Smitherman, W.L. Shelton et J.H. Grover (éds.) Symposium on the Culture of Exotic Fishes. Fish Culture Section, American Fisheries Society, Auburn University, Alabama.
- Chimits, P. 1957. Tilapia and its culture: a preliminary bibliography. FAO Fish. Bull. 8:1-36.
- Clemens, H.P. et T. Inslee. 1968. The production of unisexual broods by *Tilapia mossambica* sex-reversed with methyltestosterone. Trans. Am. Fish. Soc. 97:18-21.
- Curtis, L.R., L.K. Siddens, F.T. Diren et M.D. Hurley. non daté. Metabolism and excretion of methyltestosterone in mature and sexually undifferentiated *Tilapia nilotica*. Oak Creek Laboratory, Oregon State University, Corvallis, Oregon. 1 p.
- Donaldson, E.M., U.H.M. Fagerlund, D.A. Higgs et J.R. McBride. 1979. Hormonal enhancement of growth in fish, p. 455-597. In W.S. Hoar, D.J. Randall et J.R. Brett (éds.) Fish physiology: bioenergetics and growth. Vol. 8. Academic Press, New York.
- Fryer, G. et T.D. Iles. 1972. The cichlid fishes of the great lakes of Africa: their biology and evolution. Oliver and Boyd, Edimbourg. 641 p.
- Goudie, C.A. 1984. Tissue distribution and elimination of radio-labelled methyltestosterone administered in the diet to sexually undifferentiated and adult tilapia, *Tilapia (Oreochromis) aureus*. Auburn University, Alabama. 150 p. Thèse de doctorat.
- Guerrero, R.D. 1982. Control of tilapia reproduction, p. 309-316. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Hanson, T.R., R.O. Smitherman, W.L. Shelton et R.A. Dunham. 1983. Growth comparisons of monosex tilapia produced by separation of sexes, hybridization and sex reversal, p. 570-579. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Hickling, C.F. 1960. The Malacca tilapia hybrids. J. Genet. 57:1-10.
- Hickling, C.F. 1967. Fish hybridization. FAO Fish. Rep. 44:1-11.
- Lovshin, L.L. 1975. Progress report on fisheries development in northeast Brazil. Res. Dev. Ser. No. 9, 11 p. Int. Cent. Aquaculture, Auburn University, Alabama.
- Shelton, W.L., K.D. Hopkins et G.L. Jensen. 1978. Use of hormones to produce monosex tilapia for aquaculture, p. 10-33. In R.O. Smitherman, W.L. Shelton et J.H. Grover (éds.) Culture of exotic fishes. Fish Culture Section, American Fisheries Society, Auburn University, Alabama.

- Siraj, S.S., R.O. Smitherman, S. Castillo-Galluser et R.A. Dunham. 1983. Reproductive traits for three-year classes of *Tilapia nilotica* and maternal effects on their progeny, p. 210-218. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Tave, D. et K.B. Tave. 1984. A technique to construct hapas from window screen, using a heat sealer. Prog. Fish-Cult. 46:145-146.
- Yamazaki, F. 1976. Application of hormones in fish culture. J. Fish. Res. Board Can. 33:948-958.

Approche de nouveaux modèles d'exploitation piscicole adaptés au contexte rural ivoirien

P. MORISSENS*

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

Département d'élevage et de médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT)

Programme aquaculture et pêche

BP 5095, 34033-Montpellier Cédex 1, France

et

Institut des Savanes (IDESSA)

BP 621 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

M. OSWALD

Mission de coopération et d'action culturelle (MCAC)

01 BP 1839 Abidjan 01

Projet de développement de la pisciculture en milieu rural

BP 494 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

F. SANCHEZ

Association française des volontaires du progrès (AFVP)

BP 2532 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

S. HEM

Centre de recherches océanologiques

Institut français de recherche scientifique pour le développement en

coopération (CRO/ORSTOM)

BP V18 Abidjan, Côte d'Ivoire

MORISSENS, P., M. OSWALD, F. SANCHEZ et S. HEM. 1996. Approche de nouveaux modèles d'exploitation piscicole adaptés au contexte rural ivoirien, p. 130-141. In R.S.V. Pullin; J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'étude des contraintes qui pèsent en Côte d'Ivoire sur le développement de la pisciculture en milieu rural a mis en évidence l'impossibilité de vulgariser des modèles d'élevage nécessitant des sommes élevées pour l'achat d'aliments. En revanche, le paysan est prêt à consacrer à cette activité une part importante de son travail si celui-ci est correctement valorisé.

Lorsqu'ils existent, la plupart des intrants effectivement accessibles aux paysans ont une valeur alimentaire et/ou fertilisante médiocre. La valorisation des faibles ressources trophiques ainsi générées s'appuie sur l'exploration de deux voies : (1) l'amélioration qualitative et/ou quantitative des flux de matières entre les différents niveaux du réseau trophique de l'étang (alimentation directe, productivité autotrophe, productivité microbienne hétérotrophe) ; et (2) l'amélioration de l'accessibilité des poissons aux ressources du réseau trophique. Les essais présentés ici ont été menés en station de recherche et en milieu rural. Ils portent sur : (1) l'enrichissement du milieu (traitements basés

*Adresse actuelle : c/o PCAMRD, Dr. Alfonso Eusebio Bldg., BPI Economic Garden, Los Baños, Laguna, Philippines.

sur l'utilisation de son de riz complété ou non par un engrais vert, et association pisciculture-cuniculture) ; et (2) la mise en place d'un substrat fait de bambous ou de branchages (acadja) dont l'un des effets est d'améliorer l'accessibilité des poissons aux ressources de la voie trophique autotrophe (une tentative de substitution de la nourriture artificielle par le système acadja fournit déjà en enclos en milieu lagunaire des résultats très prometteurs).

Les résultats obtenus mettent en évidence l'intérêt des substrats, de l'association cuniculture-pisciculture et des engrais verts dans l'amélioration de la production des étangs. Des orientations sont proposées pour des actions de recherche et de recherche-développement sur la voie d'une pisciculture à faible niveau d'intrants.

Introduction

Au cours des 15 dernières années, un effort considérable a été fourni pour développer la pisciculture des tilapias en milieu rural sur une grande partie du territoire ivoirien (voir aussi Koffi et coll., même volume). La vulgarisation s'est appuyée principalement sur trois types d'apports alimentaires :

- un aliment composé dosant environ 25% de protéines ;

- l'élevage associé poulets-poissons ;

et

- l'utilisation, sous forme d'un compost disposé généralement dans un coin de l'étang, d'intrants accessibles sur les lieux d'exploitation et caractérisés le plus souvent par une faible valeur alimentaire et/ou fertilisante.

Les traitements générant les rendements piscicoles les plus élevés sont — si les élevages sont bien menés — l'aliment composé et les élevages associés. Cependant, paradoxalement, l'utilisation de ces techniques est en recul dans le milieu rural alors que les traitements "pauvres", basés essentiellement sur l'utilisation des issues de l'usinage artisanal du riz ou d'autres céréales, continuent à se développer (Morissens et coll., 1993). Selon Copin et Oswald (1988), Oswald et Copin (1992), et Koffi (1989 et 1992), ce phénomène est essentiellement lié au fait que la rentabilité des liquidités disponibles est jugée meilleure par les paysans dans le cadre d'autres spéculations agricoles que la pisciculture.

En revanche, les paysans sont prêts à consacrer à la pisciculture une part importante de leur travail si celui-ci est correctement rémunéré. La crise actuelle des cultures de rente (café-cacao) renforce cette tendance à la diversification.

Aujourd'hui, le développement de la pisciculture en milieu rural est largement conditionné par la possibilité de proposer des systèmes d'exploitation privilégiant la valorisation du travail. Ces systèmes s'implanteront d'autant mieux que le fonds de roulement exigé sera faible, voire nul.

Par ailleurs, l'absence de sous-produits agricoles valorisables par la pisciculture, caractérise la grande majorité des villages ivoiriens et, plus généralement, africains. Seuls les gros villages, disposant de petites décortiqueuses artisanales, offrent localement du son de riz ou de maïs de valeur alimentaire et/ou fertilisante relativement médiocre. Dans ce contexte, l'enjeu est de proposer un système d'élevage qui éliminerait la contrainte d'approvisionnement en intrants pour la plupart des paysans. Le souci de préserver son autonomie, seule garantie d'un développement durable dans le contexte actuel, semble imposer aujourd'hui une réflexion sur la valorisation de la biomasse végétale fraîche (ou "verdure") par la pisciculture en ayant éventuellement recours à un petit élevage pour sa transformation.

Le contexte ainsi défini impose d'avoir recours à des produits de faible valeur

nutritive et/ou fertilisante. Une des caractéristiques importantes de ces traitements "pauvres" est leur faible appétence pour le poisson. Corrélativement, leur action à travers une consommation directe par le poisson est limitée, et l'incidence de leur effet fertilisant, déterminant (Dembélé et coll., 1991).

La valorisation des ressources trophiques générées par cette fertilisation s'appuie sur l'exploration de deux voies :

1. L'amélioration qualitative et/ou quantitative des flux de matières entre les différents niveaux trophiques de l'écosystème "étang". Les solutions proposées dans ce domaine sont :

- une association cuniculture-pisciculture sans traitement au son de riz ;

- le cumul d'une association à la cuniculture et d'un traitement au son ; et

- l'association d'un poisson fousseur mettant en suspension le sédiment et stimulant ainsi la chaîne hétérotrophe.

2. L'amélioration de l'accessibilité des poissons aux ressources du réseau trophique. Ici les voies envisagées sont la polyculture (systématiquement pratiquée en milieu rural) et la mise en place d'un substrat fait de bambous ou de branchages inspiré de l'acadjia utilisé pour la pêche dans les lagunes du Bénin. Des essais relatifs à l'étude d'un substrat constitué de bambous en étangs d'eau douce ont mis en évidence une nette augmentation des biomasses récoltées par rapport aux témoins sans augmentation artificielle du substrat (Hem, 1991). Cette technique permet de mobiliser les ressources minérales de l'étang pour la production d'algues ou d'organismes associés (périphyton ou aufwuchs) en périphérie des bambous, une ressource primaire accessible aux poissons. Dans des bassins sans substrat, la majeure partie de la production primaire est

constituée de nanoplancton inexploitable par les tilapias filtreurs (Spataru, 1977).

Les essais sont menés avec des paysans combinant une association cuniculture-pisciculture, l'implantation d'acadjas, et un traitement au son de riz. D'autres essais relatifs aux engrais verts et aux acadjas sont conduits sur la station de recherches piscicoles de l'Institut des Savanes (IDESSA) à Bouaké.

Essais menés en milieu rural (zone centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

Méthode

Le petit groupe de paysans "test" avec lesquels les essais sont menés est socialement homogène (Koffi et coll., même volume). Tous ont une certaine maîtrise de la pisciculture. Lors de la phase d'entrée en production, après la phase de construction de leurs étangs, ils ont tous rencontré des problèmes d'approvisionnement en intrants (son de riz ou fertilisant), illustrant l'inadaptation du modèle d'exploitation proposé à l'environnement socio-économique. Cependant, certains pisciculteurs se sont déclarés intéressés pour tester de nouveaux modèles de production. Dans le contexte de la région centre-ouest chaque exploitant "test" est profondément motivé par la pisciculture qui constitue l'activité essentielle de son calendrier de travail, et ses étangs sont de bonne qualité en termes d'infrastructures (digues, moine, vidange gravitaire).

Les résultats présentés ci-après correspondent à des cycles d'élevage conduits par des paysans dont l'ensemble de l'exploitation est en production. Ceci implique un minimum de cinq étangs (moyenne de surface 0,045 ha) dont deux étangs de service (géniteurs et

fingerlings). Dans les situations étudiées, la qualité de l'eau d'alimentation n'est pas favorable à la pisciculture, le pH variant de 5,5 à 7 et la conductivité étant très faible (sols siliceux, eaux riches en acides humiques).

Les innovations suscitant l'intérêt des paysans sont les suivantes :

1. L'acadja : Dans des étangs vidangeables, la mise en place d'un substrat, constitué de 10 bambous·m⁻², est un investissement qui sera amorti sur plusieurs années.

2. L'association lapins-pisciculture : L'association d'un élevage est toujours décrite comme très performante. Dans les conditions paysannes, le seul élevage hors-sol qui ne nécessite pratiquement pas le recours à des aliments composés coûteux, donc à des sorties de liquidité, est le lapin. Les éleveurs ayant tenté l'élevage hors-sol des porcs et des poulets se sont très vite trouvés confrontés à des problèmes de pathologie liés au déséquilibre de la ration alimentaire. Par ailleurs, la conduite d'élevage de type hors-sol nécessite une quantité importante d'intrants, et un fonds de roulement que les éleveurs ne peuvent assumer. Enfin l'association du lapin a été décrite comme prometteuse (Little et Muir, 1987).

L'empoisonnement est toujours une polyculture, l'espèce prédominante est *Oreochromis niloticus* mâle, il lui est associé un carnassier strict (*Parachanna obscura* ou *Hemichromis fasciatus*), des *Heterotis niloticus* et des silures (en général *Heterobranchus isopterus* rarement *Heterobranchus longifilis*). Dans deux cas *Labeo coubie* a été associé.

Les techniques proposées procèdent d'une analyse biotechnique et socio-économique des exploitations. La discussion avec les pisciculteurs est ici déterminante pour évaluer leurs contraintes.

Le service chargé de l'encadrement de la pisciculture propose une gamme

de techniques parmi lesquelles le paysan effectue un choix qui peut aller jusqu'au rejet pur et simple. Lorsqu'une technique nécessite un apport financier, l'encadrement assure un appui à l'investissement (achat de lapins, transport des bambous, etc.) mais en aucun cas il n'intervient au niveau des coûts de fonctionnement.

Il est difficile de tirer des conclusions scientifiques à partir de la comparaison de résultats techniques obtenus chez des pisciculteurs différents. Trop de facteurs varient. Cependant, même dans ces conditions, les résultats d'élevage et leur évolution chez un même éleveur sont intéressants et déterminent des changements d'orientation de l'exploitation liés à l'analyse qui en est faite par le pisciculteur lui-même.

Résultats techniques

Les systèmes d'élevage étudiés et dont les résultats sont présentés dans les tableaux 1 et 2 sont les suivants :

1. Recherche de l'optimisation d'un traitement au son de riz (Tableau 1) :

- traitement son de riz seul ;
- traitement associant son de riz et acadja ; et
- traitement associant son de riz et lapins (clapiers sur pilotis).

2. Recherche d'un modèle d'exploitation sans son de riz (Tableau 2) :

- lapins seuls ;
- acadja-fertilisation par des fèces de lapins élevés en dehors de la pisciculture ; et
- acadja et lapins (clapiers sur pilotis).

Discussion et conclusions

Résultats techniques

L'acadja, de même que l'association de lapins, sont d'excellentes techniques

Tableau 1. Résultats d'élevage avec son de riz et acadja ou associé à l'élevage de lapins en étangs de 0,04 à 0,05 ha.

Types de traitement	Cycle	Espèce	Densité (ind·m ⁻²)	Durée (jour)	CJI ^a (g·jour ⁻¹)	Rendement net (t·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	
Son de riz seul	1	<i>Oreochromis niloticus</i>	1,6	253	0,3	1,1	
	2	<i>O. niloticus</i>	1,7	181	0,3	1,3	
	3	<i>O. niloticus</i>	1,3	95	0,6	1,6	
Son de riz avec acadja ^b	1	<i>O. niloticus</i>	1,43	134	0,88	4,75	
		<i>Heterobranchus isopterus</i>	0,1	134	0,86	0,3	
Son de riz ^c et lapins sur pilotis (283 lapins·ha ⁻¹)	1	<i>O. niloticus</i>	1,57	119	1,2	6,1	
		<i>Heterotis niloticus</i>	0,01	119	2,9	0,1	
		alevins <i>H. niloticus</i>	-	-	-	0,3	
		13 lapins /0,046 ha	<i>H. isopterus</i>	0,11	119	0,9	0,3
		<i>Parachanna obscura</i>	0,03	119	0,2	0	

^aCJI : croissance journalière individuelle.

^b6 kg de son de riz·jour⁻¹ et 10 bambous·m⁻².

^c6 kg de son de riz·jour⁻¹.

Tableau 2. Elevage associé poisson-lapin (clapiers sur pilotis) avec ou sans acadja en étang de terre de 0,04 à 0,05 ha et son de riz.

Types de traitement	Cycle	Espèce	Densité (ind·m ⁻²)	Durée (jour)	CJI* (g·jour ⁻¹)	Rendement net (t·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	
Lapins (370 lapins·ha ⁻¹)	1	<i>Oreochromis niloticus</i>	1,8	82	0,3	1,5	
	17 lapins /0,046 ha	<i>Heterotis niloticus</i>	0,01	82	0,3	0,2	
		<i>Heterobranchus isopterus</i>	0,11	82	-0,3	0	
		<i>Parachanna obscura</i>	0,03	82	0,3	0	
(180 lapins·ha ⁻¹)	2 9 lapins /0,05 ha	<i>O. niloticus</i>	1,2	168	0,13	<0,6	
Lapins + acadja + fertilisation ^b (178 lapins·ha ⁻¹)	1	<i>O. niloticus</i>	1,0	122	0,7	1,6	
	fèces 8 lapins /0,045 ha	al ^c <i>O. niloticus</i>				0,9	
		<i>H. isopterus</i>	0,13	122	-0,6	0,2	
		<i>Heterobranchus longifilis</i>	0,004	122	12,9	0,2	
		<i>Labeo coubie</i>	0,01	150	3,6	0,1	
Lapins + acadja ^d (71 lapins·ha ⁻¹)	1	<i>O. niloticus</i>	0,8	141	0,7	2,1	
	3 lapins /0,0425 ha	<i>H. niloticus</i>	0,2	141	3,0	0,1	
		al <i>H. niloticus</i>				0,3	
		<i>H. isopterus</i>	0,08	141	-0,18	0	
		<i>P. obscura</i>	0,03	141	0,1	0	
		plus nombreux alevins (poids moyen voisin de 2 g)					
		2 7 lapins /0,045 ha	<i>O. niloticus</i>	0,6	56	0,6	1,2
<i>H. niloticus</i>	0,02		56	12,4	0,8		
<i>H. isopterus</i>	0,11		56	0,3	0,1		
<i>L. coubie</i>	0,01		56	1,6	0		
<i>P. obscura</i>	0,01		56	-0,2	0		

*CJI : croissance journalière individuelle.

^bAcadjas et fertilisation par des fèces produits en dehors de l'exploitation. Un seau des déjections de huit lapins était versé chaque jour dans l'étang (3,75 kg de déjections par jour en moyenne correspondant à 500-600 g de matière sèche. Etang de 0,045 ha).

^cal = alevins.

^dPendant ce cycle, l'eau a été mal gérée ; surverse fréquente au moins avec effet négatif possible sur les productions (perte d'éléments nutritifs).

complémentaires d'un traitement au son de riz. Il faut noter que le rendement de 2,3 t·ha⁻¹·an⁻¹ (acadja-lapins) est obtenu sans aucun intrant autre que de l'herbe (biomasse végétale fraîche) : cette technique ne requiert aucune dépense en liquide. La fertilisation est assurée par trois lapins pesant au total 5 kg environ et produisant 800 g de fèces·jour⁻¹, ce qui correspond à peu près à 200 g de matière sèche (4,6 kg de

MS·ha⁻¹·jour⁻¹). Le niveau d'apport de matière sèche reste donc très faible si on le compare aux normes habituellement en vigueur dans les élevages associés en milieu tropical et qui sont de l'ordre de 75-150 kg de MS·ha⁻¹·jour⁻¹ (Hopkins et Cruz, 1982 ; Morissens et coll., 1993).

Il semble, mais cela doit être confirmé, que l'association tilapia-*Labeo* avec acadja soit préjudiciable au tilapia du

fait de leurs régimes alimentaires identiques donc concurrents. Il semble également que *H. longifilis* exerce une prédation sur *P. obscura*, autre prédateur du tilapia. Ceci compromettrait le contrôle de la population de *O. niloticus*.

Beaucoup de paramètres restent encore à préciser : densités d'empoisonnement des différentes espèces, nombre de lapins, densité de bambous. En tout état de cause, la technique d'association acadja et lapin ne pourra s'implanter qu'à condition que le pisciculteur maîtrise parfaitement l'empoisonnement de carnassiers pour contrôler la prolifération des alevins de tilapias liée aux erreurs de sexage, et qu'il ait une gestion de l'eau très rigoureuse (pas de surverse au moins).

Changements de comportement observés chez les pisciculteurs

Les pisciculteurs ont été favorablement impressionnés par l'augmentation de rendement et les vitesses de croissance observées sur les cycles acadja+son de riz et lapins+son de riz. Cependant, ils ne sont pas libérés de la contrainte d'approvisionnement en son de riz. Très curieusement, le modèle lapins+bambous a modifié le comportement des deux pisciculteurs concernés : ils consacrent plus de temps à la pisciculture depuis les premiers résultats. L'un d'eux a proposé de planter lui-même un deuxième étang de bambous (seul le transport des bambous est subventionné). La remarque la plus représentative de leurs impressions est : "ce sont des poissons-cadeau".

Les essais réalisés sans son de riz n'ont cependant pas permis d'atteindre les résultats escomptés. Les rendements en poissons marchands restent faibles en regard du travail à fournir. Des modifications peu importantes devraient cependant permettre une amélioration

sensible de la production (meilleure gestion de l'eau, empoisonnement mieux adapté, augmentation du nombre de lapins, etc.).

Quoiqu'il en soit, la motivation exprimée et démontrée par les paysans à poursuivre l'expérience et leur appréciation des premiers résultats sont encourageants. Elles permettent d'espérer la mise au point d'un système d'élevage susceptible de lever les contraintes qui entravent aujourd'hui le développement de la pisciculture en milieu rural en Côte d'Ivoire, et plus généralement en Afrique subsaharienne.

Essais en station de recherche

Fertilisation complémentaire au son de riz avec litière sèche de poulailler ou verdure

OBJECTIF

L'essai vise à évaluer l'effet sur les résultats d'élevage d'une fertilisation complémentaire sous forme de litière sèche de poulailler (fientes) ou de verdure dans le cadre d'un nourrissage standard au son fort de riz (produit de premier polissage) en étangs. La litière sèche de poulailler constitue un sous-produit que l'on trouve fréquemment en milieu périurbain.

MÉTHODE

Conduit en étangs de 400 m² à la station de recherches piscicoles de l'IDESSA à Bouaké avec une population mixte de *O. niloticus* mâles (1,95 ind·m⁻²) et de *Clarias gariepinus* (0,25 ind·m⁻²), l'essai compte trois traitements répétés deux fois de façon non simultanée : l'apport de son de riz seul (témoin) ; l'apport de son de riz avec une fertilisation

complémentaire en litière sèche de poulailler ; l'apport de son de riz avec fertilisation complémentaire de verdure fraîche (*Pennisetum purpureum*).

Les rations quotidiennes de son de riz varient de 5,2 kg·jour⁻¹·étang⁻¹ en début d'élevage à 11,6 kg·jour⁻¹·étang⁻¹ en fin d'élevage (septième mois). L'apport de litière sèche est de 2,4 kg·jour⁻¹·étang⁻¹ et celui de verdure fraîche de 32 kg·jour⁻¹·étang⁻¹, pour toute la durée des cycles de production. Ces deux fertilisations sont à peu près équivalentes du point de vue de l'apport d'azote. Ces traitements correspondent approximativement à un apport maximum de matière sèche en fin d'élevage de 240 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ pour le son de riz seul, 300 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ pour le son de riz+litière et 360 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ pour le son de riz+verdure.

RÉSULTATS

Les tableaux 3 et 4 présentent les résultats de l'essai. L'analyse de variance appliquée à un dispositif expérimental en blocs randomisés n'indique pas de différences significatives d'un traitement à l'autre pour ce qui concerne les rendements en *O. niloticus* et cumulés *O. niloticus* et *C. gariepinus*, et les indices de consommation. L'examen du tableau de synthèse présentant les moyennes laisse supposer cependant une supériorité du traitement "verdure". Cette tendance doit être confirmée par

de nouvelles répétitions. L'analyse de variance révèle un effet "bloc" et une supériorité significative des croissances et des rendements chez *C. gariepinus* dans le cadre du traitement son de riz+verdure.

DISCUSSION

Les rendements compris entre 4 et 6,3 t·ha⁻¹·an⁻¹ sont "normaux" en considération des aliments et engrais apportés. On peut, bien sûr, s'interroger sur la justification d'avoir à couper et distribuer 292 t·ha⁻¹·an⁻¹ de verdure fraîche pour une augmentation de production de l'ordre de 1,4 t·ha⁻¹·an⁻¹ par rapport au son de riz seul. La rémunération du travail de coupe dépend évidemment largement de l'abondance et de la proximité de la verdure et du temps passé pour une récolte donnée. On peut considérer sur ce point qu'une distribution annuelle de 290 t·ha⁻¹ nécessitera au minimum 4.500 heures de travail ! On peut penser toutefois, mais cela doit être vérifié, que dans un contexte paysan caractérisé par la rareté du son de riz et des apports plus faibles, ou irréguliers, l'effet "verdure" pourrait être plus important même si les niveaux de rendements sont inférieurs à ceux enregistrés ici (voir ci-dessus les rendements obtenus avec son de riz en milieu rural).

Les fortes différences enregistrées entre le traitement verdure et les autres

Tableau 3. Synthèse des résultats obtenus lors des différents essais (rendement net exprimé en t·ha⁻¹·an⁻¹)^a.

	Optimisation d'un traitement au son de riz		Recherche d'un système d'élevage sans son de riz
	Sans lapin	Avec lapins	Avec lapins
Sans acadja	< 2 (3)	6 (1)	< 2 (2)
Avec acadja	5 (1)	(0)	2,3 (2)

^aLes nombres entre parenthèses représentent le nombre de cycles étudiés.

Tableau 4. Fertilisation complémentaire avec litière sèche de poulailler ou verdure dans le cadre d'un essai d'élevage de *Oreochromis niloticus* et *Clarias gariepinus* nourris au son fort de riz en étangs de 400 m².

Espèce/Traitement	Densité (ind·m ⁻²)		Croissance journalière individuelle (g·jour ⁻¹)			Indice de consommation		Rendement (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)		
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2	Moyenne*	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 1	Bloc 2	Moyenne*
<i>O. niloticus</i>										
Son de riz seul	1,95	1,95	1,12	0,82	0,97 (0,15)	11,91	15,23	5.488	4.023	4.755,5 (732,5)
Son de riz + fientes	1,95	1,95	1,13	0,92	1,025 (0,115)	10,32	13,57	6.337	4.545	5.441 (896)
Son de riz + verdure	1,95	1,95	1,13	1,16	1,145 (0,015)	10,97	10,06	5.643	5.864	5.753,5 (110,5)
<i>C. gariepinus</i>										
Son de riz seul	0,25	0,25	0,55	0,30	0,425 (0,125)	11,91	15,23	236	44	140 (96)
Son de riz + fientes	0,25	0,25	1,56	0,30	0,59 (0,03)	10,32	13,57	379	23	201 (178)
Son de riz + verdure	0,25	0,25	0,96	0,62	0,79 (0,17)	10,97	10,06	674	294	484 (190)

*Chiffres entre parenthèses : écarts-types.

traitements en ce qui concerne la croissance individuelle et le rendement des *Clarias* met en évidence un lien entre le traitement et la stimulation d'une ressource trophique accessible spécifiquement au *Clarias*. Ceci démontre dans ces conditions qu'une polyculture est plus à même de valoriser ce traitement qu'un empoissonnement monospécifique en *O. niloticus* mâles.

Il serait intéressant d'évaluer l'effet d'un traitement "verdure" sur une association *O. niloticus*, silure, et *H. niloticus*. Le comportement fouisseur de cette dernière espèce largement implantée chez les pisciculteurs du milieu rural est susceptible de favoriser la remise en suspension de grandes quantités de sédiments liées à l'apport de verdure. Ceci favorise la production microbienne (Costa-Pierce et Craven, 1987 ; Costa-Pierce et Pullin, 1989) et peut avoir des effets positifs sur l'ensemble des chaînes trophiques autotrophe et hétérotrophe (Schroeder, 1983 ; Spataru et coll., 1983).

Par ailleurs, suite aux premiers essais réalisés en lagune et en étangs (Hem, 1991), un essai a été mis en place à la station de l'IDESSA comprenant quatre traitements répétés deux fois. Il s'agit (1) d'un traitement au son de riz (sans substrat), (2) d'un substrat constitué de 10 bambous·m⁻² sans nourrissage, (3) d'un substrat constitué de 10 bambous·m⁻² avec nourrissage au son de riz, et (4) d'un substrat constitué de 32 branches de *Cassia*·m⁻² avec nourrissage au son de riz. Ce dispositif doit permettre d'évaluer l'importance de l'interaction nourrissage-substrat et la faisabilité d'un substrat fait de branchages ordinaires offrant une surface verticale grossièrement équivalente à celle du substrat de bambous.

Les quelques essais menés jusqu'à présent en milieu rural comme en station de recherche ne permettent pas de

définir à ce jour des techniques libérant totalement le paysan de la contrainte liée aux intrants. Il reste à tester les systèmes associant substrat, apport d'engrais vert, polyculture et remise en suspension du sédiment tout en évaluant les densités d'empoissonnement les mieux adaptées aux productivités ainsi générées. L'identification des interactions que ces associations de techniques impliquent nécessitent la mise en place de lourds dispositifs expérimentaux en station de recherche. Idéalement, cette expérimentation de type "agronomique" devrait être appuyée par une approche plus fondamentale des mécanismes trophiques complexes liant techniques et traitements, d'une part, et productions, d'autre part. Sur ce point, il est proposé de mener une recherche conduite selon deux voies complémentaires.

1. L'étude des flux de matière aux différents niveaux de la chaîne alimentaire par traçage des isotopes stables du carbone (C¹² et C¹³) (Schroeder, 1978, 1983 et 1987) et le suivi du devenir des principaux minéraux apportés par le traitement (Krom et coll., 1985 et 1989).

2. L'étude parallèle des ressources trophiques potentielles du milieu et des contenus stomacaux des poissons (Spataru et coll., 1983 ; Milstein et coll., 1985a, 1985b et 1988 ; Hopher et coll., 1989).

Cette approche devrait permettre de préciser l'impact des différentes techniques ou combinaisons de techniques utilisées aux différents niveaux de l'écosystème tout en identifiant les points de blocage et les impasses trophiques.

L'adaptabilité au monde rural des techniques proposées sera sanctionnée par les pisciculteurs eux-mêmes. Il convient de souligner à ce propos l'importance primordiale que le "feedback" pisciculteurs-encadreurs a

eu ces dernières années sur l'orientation des réflexions exposées ici concernant la valorisation des traitements "pauvres".

On peut imaginer qu'un modèle technique testé en milieu rural (exemple : acadja+verdure+polyculture y compris poisson fousseur) soit adopté massivement par les paysans. Dans ce contexte, on peut s'attendre à son optimisation rapide par les pisciculteurs eux-mêmes en fonction de leurs propres contraintes.

Littérature citée

- Copin, Y. et M. Oswald. 1988. La pisciculture semi-intensive du tilapia devient une réalité sociale et économique. Une démonstration concrète en Côte d'Ivoire. *Aquarev.* n° 17:15-21.
- Costa-Pierce, B.A. et D.B. Craven. 1987. Estimating microbial production and growth rates in aquaculture ponds using rates of RNA and DNA synthesis. *Aquaculture* 66:69-78.
- Costa-Pierce, B.A. et R.S.V. Pullin. 1989. Stirring ponds as a possible means of increasing aquaculture production. *Aquabyte* 2(3): 5-7.
- Dembélé, I., P. Morissens et S. da Costa. 1991. Amélioration de l'utilisation d'aliments pulvérulents dans le contexte du développement rural de la pisciculture en étang. Rapport partiel, IDESSA, Bouaké. 16 p.
- Hem, S. 1991. Acadja-enclos, études et synthèses. Centre de recherche océanographique, Abidjan. 85 p.
- Hepher, B., A. Milstein, H. Leventer et B. Telsch. 1989. The effect of fish density and species combination on growth and utilisation of natural food in ponds. *Aquacult. Fish. Manage.* 20:59-71.
- Hopkins, K.D. et E.M. Cruz. 1982. The ICLARM-CLSU integrated animal-fish farming project: final report. ICLARM Tech. Rep. 5, 57 p.
- Koffi, C. 1989. Aspects économiques de la production piscicole en étang. L'expérience de la pisciculture rurale au centre et centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Université nationale de Côte d'Ivoire. 187 p. Thèse de 3è cycle en sciences économiques.
- Koffi, C. 1992. Aspects économiques de la production piscicole en étang : l'expérience de la pisciculture au centre et au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, p. 49-63. *In* G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC MR308 ef. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada.
- Krom, M.D., C. Porter et H. Gordin. 1985. Nutrient budget of a marine fishpond in Eilat, Israel. *Aquaculture* 51:65-80.
- Krom, M.D., J. Erez, C.B. Porter et S. Ellner. 1989. Phytoplankton nutrient uptake dynamics in earthen marine fishponds under winter and summer conditions. *Aquaculture* 76:237-253.
- Little, D. et J. Muir. 1987. Integrated warm water aquaculture. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, Ecosse, R-U. 238 p.
- Milstein, A., B. Hepher et B. Telsch. 1985a. Principal component analysis of interactions between fish species and the ecological conditions in fishponds: I. Phytoplankton. *Aquacult. Fish. Manage.* 16:3105-317.
- Milstein, A., B. Hepher et B. Telsch. 1985b. Principal component analysis of interactions between fish species and the ecological conditions in fishponds: II. Zooplankton. *Aquacult. Fish. Manage.* 16:319-330.
- Milstein, A., B. Hepher et B. Telsch. 1988. The effect of fish species combination in fishponds on plankton composition. *Aquacult. Fish. Manage.* 19:127-137.
- Morissens, P., S.K. da Costa, I. Dembélé, C. Koffi, C. Petel et J. Lazard. 1993. Adaptabilité de différents aliments et fertilisants aux conditions particulières des élevages d'*Oreochromis niloticus* en étang dans le milieu rural ivoirien, p. 716-729. *In* INRA (éd.) Fish nutrition in practice, 24-27 juin 1991. Biarritz, France. Les Colloq. n°61. Institut national de la recherche agronomique, Paris.
- Oswald, M. et Y. Copin. 1992. Le volet piscicole de la SATMACI-PAPU CD, p. 382-397. *In* G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC MR308 ef. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada.
- Schroeder, G.L. 1978. Autotrophic and heterotrophic production of microorganisms in intensive-manured fishponds and related fish yields. *Aquaculture* 14:303-325.
- Schroeder, G.L. 1983. Sources of fish and prawn growth in polyculture ponds as indicated by δC analysis. *Aquaculture* 35:29-42.
- Schroeder, G.L. 1987. Carbon pathways in aquatic detrital systems, p. 217-236. *In* D.J.W. Moriarty and R.S.V. Pullin (éds.) Detritus and microbial ecology in aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.

Spataru, P. 1977. Guts contents of silver carp and some trophic relationships to other fish species in polyculture system. *Aquaculture* 2:137-146.

Spataru, P., G.W. Wohlfarth et G. Hulata. 1983. Studies on the natural food of different fish species in intensively manured polyculture ponds. *Aquaculture* 35:283-298.

Performances de croissance de *Oreochromis lidole*, *O. squamipinnis*, *O. shiranus* et *O. karongae*, espèces potentielles pour la pisciculture en eau libre et en étang au Malawi^a

O.V. MSISKA^b

*Department of Research and Environmental Affairs
P.O. Box 30745, Lilongwe, Malawi*

B.A. COSTA-PIERCE^c

*ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project
P.O. Box 229, Zomba, Malawi*

MSISKA, O.V. et B.A. COSTA-PIERCE. 1996. Performances de croissance de *Oreochromis lidole*, *O. squamipinnis*, *O. shiranus* et *O. karongae*, espèces potentielles pour la pisciculture en eau libre et en étang au Malawi, p. 142-147. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Le lac Malawi possède plusieurs espèces de tilapias (famille des Cichlidés) dont le potentiel de croissance en dehors de leur habitat naturel est encore peu connu. Jusqu'à présent, les efforts de recherche aquacole ont été essentiellement axés sur *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli*, espèces chez qui la prolifération limite la croissance. Cette situation a mené la recherche à poursuivre ses efforts sur d'autres espèces potentielles pour l'aquaculture comme *Oreochromis lidole*, *O. squamipinnis* et *O. karongae*. D'après ces recherches, *O. lidole* a un niveau de croissance satisfaisant en eaux libres ($\phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_{\infty} = 2,79$) mais ne pond pas facilement en étangs ; *O. squamipinnis* a un potentiel de croissance plus faible ($\phi = 2,58$ en fonction également de sa longueur standard) et *O. karongae*, quant à elle, se reproduit en étangs. Dans le cadre des travaux exposés ici, les performances de croissance des poissons des populations de *O. karongae* endémiques dans le lac Malawi et de celles maintenues dans les étangs de pisciculture du Centre national d'aquaculture de Domasi à Zomba ont été comparées. Le potentiel de croissance de cette espèce est élevé, ϕ' étant égal à 2,76 et 3,03 pour les populations des étangs et celles du lac, respectivement. Les performances de croissance et de reproduction encourageantes de *O. karongae* en étangs peu profonds font de cette espèce une candidate potentielle pour l'aquaculture.

Introduction

La nécessité d'accroître la production de poissons au Malawi pour faire face à une demande qui ne cesse d'augmenter

est un fait aujourd'hui parfaitement reconnu (DEVPOL, 1987 ; GOPA, 1987). L'une des réponses à ce problème est de développer et intensifier les activités piscicoles. Jusqu'à présent, les efforts de recherches en aquaculture au Malawi ont, pour la plupart, été concentrés sur *Oreochromis shiranus* (espèce microphage) et *Tilapia rendalli* (essentiellement macrophytophage). *Tilapia rendalli* a bon goût mais sa croissance est lente et ses géniteurs produisent relativement peu de

^aICLARM Contribution No. 971.

^bAdresse actuelle : University of Namibia, SADC Fisheries Management Course, Private Bag 13301, Windhoek, Namibie.

^cAdresse actuelle : 222 South Helix Av. 1, Solana Beach, California 92075, Etats-Unis.

fingerlings (Costa-Pierce et Chikafumbwa, même volume). *O. shiranus*, en revanche, croît rapidement au stade juvénile mais il devient mature à un stade encore précoce et sa croissance dans les étangs de pisciculture en est souvent interrompue (Msiska et Cantrell, 1985 ; Pauly et coll., 1988 ; Maluwa, 1990).

Les travaux de Lowe (1952) et Trewavas (1983) suggèrent que la recherche de tilapias autochtones susceptibles de fournir de meilleures performances en aquaculture doit considérer *O. karongae* et *O. lidole*. Les récents succès remportés dans la reproduction de *O. karongae* en étangs peu profonds (O.V. Msiska, obs. non publiées) ont suscité davantage d'intérêt pour cette espèce (voir Maluwa et Dixon, même volume).

Dans la présente communication sont comparés les données de croissance de *O. karongae*, *O. lidole* et *O. squamipinnis* que l'on a extraites de la littérature, et les résultats de travaux préliminaires sur les performances de croissance en étangs. Ces comparaisons sont faites en prenant l'indice du potentiel de croissance ϕ' ($=\log_{10} K + 2\log_{10} L_{\infty}$) (Pauly, 1979 ; Pauly et Munro, 1984) comme référence. Cette méthode a été choisie du fait de son applicabilité démontrée aux tilapias (Moreau et coll., 1986 ; Pauly et coll., 1988).

Méthodes

Données des pêches de capture

Les valeurs moyennes âge-longueur relevées pour *O. lidole*, *O. saka* (connue à présent sous le nom de *O. karongae*), *O. shiranus shiranus* et *O. squamipinnis* par Lowe (1952) sur des échantillons prélevés entre 1945 et 1947 sont les données que l'on a utilisées pour estimer les paramètres de croissance de von

Bertalanffy (L_{∞} ; K) à partir desquels les valeurs de ϕ' ont été calculées (Tableau 1).

Capture et transport des poissons vivants dans les étangs

Des fingerlings ont été récoltés au moyen d'une seine de plage et en pratiquant la plongée pour certains bancs de poissons. Pour les recherches en étangs, les poissons provenaient du cap Maclear et de la baie de Kakoma dans le lac Malawi, et du Lac Malombe (Fig. 1). La meilleure saison pour cette opération s'est située entre janvier et mars, après la période de reproduction naturelle, lorsque la plupart des alevins s'alimentaient déjà seuls.

Avant d'être transférés au Centre national d'aquaculture (NAC) de Domasi à Zomba, les fingerlings ont été mis en cages et privés de nourriture pour une durée minimum de 48 heures. Cette procédure devait leur permettre de vider complètement leurs intestins, période pendant laquelle on leur a administré, sous forme de poudre versée dans les cages, un traitement prophylactique à base de terramycine à raison de 0,1 mg·l⁻¹ et un prémélange de vitamines. A défaut de terramycine, l'égocine (chlorhydrate d'oxytétracycline et pantothène de calcium) a servi de substitut. Alors que la première préparation est approuvée par l'Agence de protection environnementale des Etats-Unis (EPA^d) pour l'emploi sur les poissons comestibles (Schnick, 1988), la dernière est communément utilisée pour la volaille.

Essais de croissance en étangs

Les fingerlings de tilapias ont tous été initialement stockés dans différents étangs, selon leur origine. Les diverses

^dNdt : US Environment Protection Agency (EPA).

Tableau 1. Estimations de croissance de *Oreochromis* spp. dans le lac Malawi (adapté de Lowe, 1952): Les valeurs moyennes âge-longueur (longueurs totales) ont été obtenues par analyse de fréquence des longueurs et par comptage des anneaux sur l'opercule. Les longueurs standards sont données entre parenthèses.

Espèce		Groupes d'âge			
		I	II	III	IV
<i>O. shiranus</i>	Longueur (cm)	10,0 (7,8)	18,0 (15,8)	22,0 (19,8)	25,5 (23,3)
	Poids (g)	16,0	110,0	210,0	342,0
<i>O. karongae</i>	Longueur (cm)	12,0 (9,3)	22,0 (19,3)	27,5 (24,8)	30,0 (27,3)
	Poids (g)	28,0	198,0	412,5	545,5
<i>O. squamipinnis</i>	Longueur (cm)	9,0 (7,0)	17,0 (14,3)	24,0 (21,3)	26,5 (23,8)
	Poids (g)	12,0	86,0	264,0	366,0
<i>O. lidole</i>	Longueur (cm)	13,0 (10,3)	23,0 (20,3)	28,5 (25,8)	31,0 (28,3)
	Poids (g)	40,0	220,0	463,5	609,0

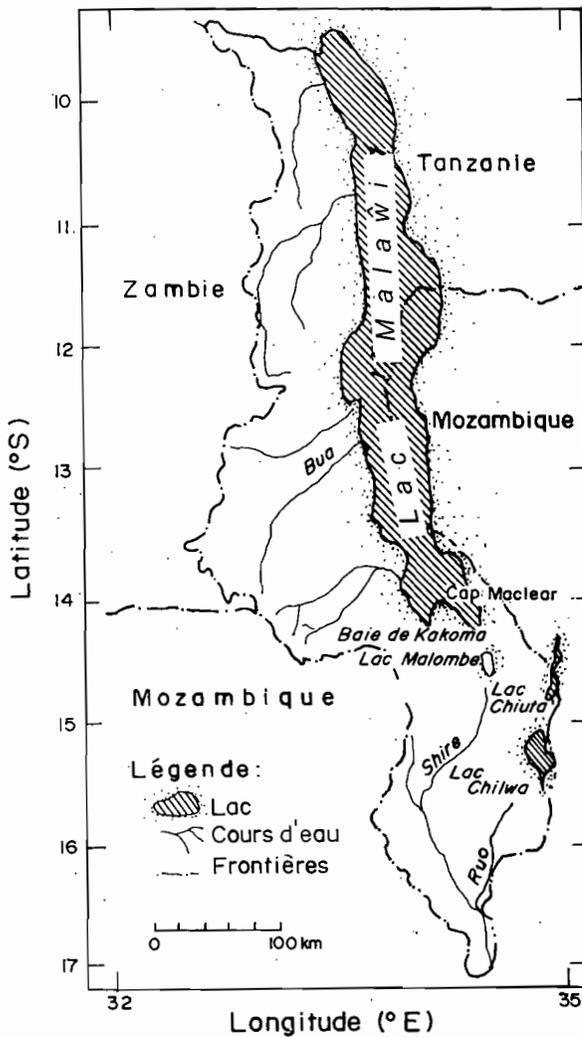


Fig. 1. Distribution des espèces de *Oreochromis*, sous genre *Nyasalapia*, dans les lacs Malombe et Malawi.

tentatives pour séparer visuellement ces formes immatures en diverses espèces se sont avérées infructueuses, tout comme l'ont été les tentatives d'autres auteurs (Lowe, 1952 ; Tarbit, 1969 ; Trewavas, 1983 ; Turner et coll., 1989). L'identification des poissons n'a donc pas été définitive tant qu'ils n'avaient pas dépassé les 100 g, moment où les couleurs de la reproduction deviennent manifestes.

Deux étangs de 500 m² ont été empoisonnés avec 60 fingerlings de *O. karongae* chacun. Une des caractéristiques les plus fiables permettant de distinguer les trois tilapias du sous-genre *Nyasalapia* (*O.N. lidole*, *O.N. karongae* et *O.N. squamipinnis*) est le nombre de rangées de dents dans la mâchoire inférieure et la disposition de celles-ci (Turner et Robinson, 1991). Comme cette méthode d'identification n'exige pas de sacrifier le poisson, elle a été largement utilisée dans la présente étude, et les poissons classés *O. karongae* ayant plus de quatre rangées de dents ont été séparés de leurs congénères chez qui le nombre des rangées étaient inférieur à quatre. Une étude antérieure avait déjà mis en évidence des régimes de ponte différents chez ces deux groupes (Msiska, obs. non publiées). La taille moyenne à l'empoisonnement était (\pm ET) 19,5 \pm 1,8 cm LT et 134,2 \pm 38,2 g poids corporel. Par ailleurs, des mesures morphométriques telles que recommandent d'effectuer Turner et coll. (1989) ont été réalisées chez les deux populations.

Cinq cent fingerlings de *O. squamipinnis* ont été stockés dans un étang de 500 m². La taille moyenne à l'empoisonnement (\pm ET) était 16,4 \pm 1,7 cm LT et 91,3 \pm 28,0 g poids corporel. L'identification de ces poissons a été réalisée en consultation avec G.F. Turner qui a amplement étudié la taxonomie et l'écologie des populations sauvages

de *Oreochromis* sous-genre *Nyasalapia* dans le lac Malawi.

Tous les mois, 20 à 30 poissons étaient prélevés par étang pour relever les longueurs et les poids, opération au cours de laquelle les poissons étaient anesthésiés à la benzocaïne (Ross et Ross, 1984). Les poissons ont tous été nourris au son de maïs à raison de 4 % du poids corporel, taux ajusté à 2,5 % du poids du corps par jour, six jours par semaine, dès que les poissons ont atteint un poids moyen supérieur à 200 g. Les données ont été collectées sur une période de 275 jours et les valeurs de ϕ' ont été calculées selon Vakily (1988) à partir des données des paramètres L_{∞} (LS ; en cm) et K (an⁻¹) de von Bertalanffy. Les mesures morphométriques relevées chez les deux groupes de *O. karongae* ont été tout d'abord converties en fractions de longueur standard et analysées à l'aide du programme Microstat de Ecosoft Inc. sur un ordinateur personnel compatible IBM.

Résultats

Le tableau 2 reprend les données de croissance calculées pour les populations de tilapias sauvages et d'élevage. Les valeurs provenant des étangs sont limitées aux poissons des espèces *O. karongae* et *O. squamipinnis*, après confirmation par G.F. Turner que ces populations ne contenaient pas de *O. lidole*.

Discussion

Les valeurs de ϕ' calculées pour *O. karongae*, *O. lidole* et *O. squamipinnis* sont comparables ou supérieures à celles publiées pour les tilapias dont les performances de croissance ont été jugées satisfaisantes : *O. niloticus* (2,30-3,11),

Tableau 2. Indice de croissance (ϕ')* et autres valeurs chiffrées concernant les stocks sauvages (lac Malawi) et d'élevage (Centre national d'aquaculture de Zomba) des espèces de tilapias du lac Malawi.

Espèces	Stock	W_{∞} (g)	W_{max} (g)	L_{∞} (cm)	L_{max} (cm)	$K(an^{-1})$	ϕ'	Source
<i>O. shiranus shiranus</i>	Sauvage	-	-	27,8	39,0	0,481	2,57	Cette étude Pauly et coll. (1988).
	Captif	53,5	-	11,0	-	9,87	3,08	
<i>O. karongae</i>	Sauvage	781	857	30,3	34,0	0,631	2,76	Lowe (1952)
	Captif	656	-	27,7	-	1,391	3,03	Cette étude
<i>O. squamipinnis</i>	Sauvage	760	758	31,9	33,0	0,375	2,58	Lowe (1952)
	Captif	537	-	23,6	-	1,739	2,99	Cette étude
<i>O. lidole</i>	Sauvage	891	1.110	31,3	38,0	0,631	2,79	Lowe (1952)
	Captif	-	-	-	-	-	-	

* $\phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_{\infty}$; $K(an^{-1})$, $L_{\infty}(cm)$; LS).

O. aureus (2,31-2,61), *O. andersonii* (2,46-2,63) et *O. mossambicus* (2,05-2,60) (Pauly et coll., 1988). Si les valeurs de ϕ' étaient les seuls critères dont il fallait tenir compte dans la sélection des espèces pour l'exploitation piscicole, *O. lidole* arriverait sans conteste la première avec une valeur égale à 2,79. Toutefois avant de l'introduire dans les étangs, il faudrait résoudre son problème de reproduction dans cet environnement (A.O.H. Maluwa et M. Dickson, comm. pers.).

Nos données morphométriques (non présentées) suggèrent au moins deux variantes de *O. karongae* dans les populations d'étangs. La présence de plusieurs souches sauvages a été confirmée depuis par les différences observées au niveau du taux de succès de la ponte et des caractéristiques du nid, de la disposition des rangées de dents et de la dentition pharyngienne (Turner et Robinson, 1991). Ceci a donc permis de suggérer que *O. karongae* était une espèce nominale composée de plusieurs variantes desquelles *O. saka* est un synonyme (Turner et coll., 1989).

Selon Lowe (1952) et Trewavas (1983), *O. lidole* est l'espèce *Oreochromis* du

lac Malawi qui croît le plus rapidement, suivie par *O. saka* (maintenant *O. karongae*); *O. squamipinnis* et *O. shiranus shiranus*. Ces différences ne pourraient cependant pas être distinguées par le simple calcul du taux de croissance spécifique. Le calcul de ϕ' lors du dépistage initial des espèces candidates semble donc présenter un intérêt plus pratique que le taux de croissance spécifique conventionnel. Il est nécessaire de poursuivre les efforts de recherches sur cet indice du potentiel de croissance des espèces dans le but d'examiner d'autres candidatures possibles de *Oreochromis* et/ou *Nyasalapia*.

Remerciements

Cette étude a été financée par une subvention de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) accordée à l'ICLARM tandis que les collections de poissons ont été financées par le Centre de recherches pour le développement international (Projet n° 3-P-85-0265). Nous remercions le Dr R.S.V. Pullin pour son soutien et le Dr

Pauly pour les enseignements précieux qu'il a apportés sur l'indice de croissance utilisé dans cette étude. La permission de publier les résultats de ces travaux a été donnée par le Ministre de la Recherche et de l'Environnement, Gouvernement du Malawi.

Littérature citée

- DEVPOL. 1987. Statement of Development Policies 1987-1996. Office of the President and Cabinet, Department of Economic Planning and Development. Government Printer, Zomba, Malawi.
- GOPA. 1987. Fisheries development strategy study. GOPA Consultants Report to the Ministry of Forestry and Natural Resources, Department of Fisheries. 123 p.
- Lowe, R.H. 1952. Report on the tilapia and other fish and fisheries of Lake Nyasa, 1945-47. Colonial Office Publs. 1, 1-26, HMSO. Royaume-Uni.
- Maluwa, A.H.O. 1990. Reproductive biology and fry production of *Oreochromis shiranus*. Department of Biology, University of Malaŵi, Zomba, Malawi. 170 p. Mémoire de maîtrise.
- Moreau, J., C. Bambino et D. Pauly. 1986. A comparison of four indices of overall fish growth performance, based on 100 tilapia populations (Fam. Cichlidae), p. 201-206. In J.L. Maclean, L.B. Dizon et L.V. Hosillos (éds.) The Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society, Manille.
- Msiska, O.V. et M.A. Cantrell. 1985. Influence of poultry manure on the growth of *Oreochromis shiranus-chilwae*. *Aquaculture* 44:67-73.
- Pauly, D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. *Ber. Inst. Meereskd. Christian-Albrechts-Univ. Kiel* (63) XV + 156 p.
- Pauly, D. et J.L. Munro. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. *Fishbyte* 2(1):21.
- Pauly, D., J. Moreau et M. Prein. 1988. A comparison of overall growth performance of tilapia in open waters and aquaculture, p. 469-479. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Ross, L.G. et B. Ross. 1984. Anaesthetic and sedative techniques for fish. Institute of Aquaculture, University of Stirling, and the Nautical Press, Glasgow: 35 p.
- Schnick, R.A. 1988. The impetus to register new therapeutics in aquaculture. *Prog. Fish-Cult.* 50:190-196.
- Tarbit, J. 1969. Protein taxonomy of *Tilapia* spp. in Malaŵi, p. 43-45. In N.P. Mwanza et M. Kalk (éds.) Summary Proceedings of the International Biological Programme (Malawi) Science Conference, 25-26 juillet 1969, Chancellor College, University of Malaŵi.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History) Publications, Londres.
- Turner, G.F. et R.L. Robinson. 1991. Ecology, morphology and taxonomy of the Lake Malaŵi *Oreochromis* (*Nyasalapia*) species flock. *Ann. Mus. R. Afr. Centr., Sci. Zool.* 262:23-28.
- Turner, G.F., T.J. Pitcher et A.S. Grimm. 1989. Identification of the Lake Malaŵi *Oreochromis* (*Nyasalapia*) spp. using multivariate morphometric techniques. *J. Fish Biol.* 35:799-812.
- Vakily, J.M. 1988. Estimation and comparison of fish growth parameters from pond experiments: a spreadsheet solution. *ICLARM Software* 3, 12 p.

Gestion des tilapias (*Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli*) dans les étangs des petits producteurs de la région de Mwanza et de Zomba Ouest au Malawi

J.T.B. MUTAMBO^a

S.A. LANGSTON^a

Fisheries Department

P.O. Box 206, Zomba, Malawi

MUTAMBO, J.T.B. et S.A. LANGSTON. 1996. Gestion des tilapias (*Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli*) dans les étangs des petits producteurs de la région de Mwanza et de Zomba Ouest au Malawi, p. 148-154. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Dans le cadre d'un projet de développement, un système d'aménagement des étangs assorti d'activités de vulgarisation intensifiées a été introduit dans la région de Mwanza et de Zomba Ouest au Malawi dans le but d'augmenter la production de poissons et de permettre aux producteurs qui se sont lancés dans l'aquaculture de gagner une plus grande autonomie. Pour augmenter les chances d'atteindre cet objectif, simplicité et intelligibilité ont été deux éléments essentiels dans la conception et la vulgarisation du modèle. Les caractéristiques principales de ce modèle étaient les suivantes : polyculture semi-intensive de *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli* ; densité de charge de deux poissons (sexes mixtes) par m² ; période d'élevage courte (entre quatre et six mois) ; et vidange totale des étangs à l'occasion de la récolte au moyen de bourriches confectionnées localement. Le modèle mettait particulièrement l'accent sur l'utilisation d'aliments disponibles sur place.

Depuis le mois de janvier 1988, la productivité globale a considérablement augmenté, de 303 kg·ha⁻¹·an⁻¹ à 804 kg·ha⁻¹·an⁻¹, et certaines coopératives d'éleveurs de la région de Mwanza sont allées jusqu'à réaliser des rendements de 1.400 kg·ha⁻¹·an⁻¹. De même, les éleveurs de la région de Zomba Ouest ont enregistré une productivité moyenne de 1.900 kg·ha⁻¹·an⁻¹. Toutefois, d'après les observations recueillies de la Station de vulgarisation de Zomba Ouest, le poids moyen de récolte des poissons des deux espèces était peu élevé (30-50 g), les mêmes résultats ayant été observés dans les étangs des pisciculteurs.

Deux contraintes principales pèsent sur ce système d'aménagement des étangs : les producteurs n'ont pas les ressources que ce modèle exige (aliments et engrais) en quantités suffisantes, et les deux espèces de poissons n'atteignent pas la taille suffisante pour inciter les éleveurs plus audacieux à se lancer dans cette entreprise.

Introduction

En 1988, un système modifié d'aménagement des étangs (SAE) assorti d'activités de vulgarisation intensifiées a été introduit dans la région de Mwanza et de Zomba Ouest au Malawi, dans le

but d'accroître la production de poissons des petits exploitants et de leur permettre de gagner une plus grande autonomie. On avait espéré alors que le système se répandrait tôt ou tard dans d'autres parties du pays où il existe un certain potentiel pour l'exploitation piscicole. Ce système, conçu sur la base des résultats d'essais réalisés à la Station de vulgarisation de Zomba Ouest, Chinseu (Otte, 1990) privilégiait l'emploi des ressources disponibles à la ferme.

^aLes auteurs de cet article ont tous deux décédé depuis le symposium de 1991. Des tirés-à-parts sont disponibles en quantités limitées auprès de l'éditeur scientifique principal.

Le SAE n'était pas radicalement différent du système utilisé précédemment et il était censé offrir de nouvelles possibilités de production tout en diminuant la dépendance des pisciculteurs envers les précieux services de vulgarisation de la Direction des pêches, en soi contrainte au développement de l'aquaculture. Le SAE prêtait une attention particulière aux aspects suivants :

- Un site favorable pour l'aménagement d'un étang avec une source permanente d'approvisionnement en eau, idéalement un ruisseau ou une source pouvant être aisément détournée pour alimenter l'étang par gravité.

- Construction, pour les nouveaux producteurs, d'étangs vidangeables d'au moins 200 m², les plus petits étangs pouvant ne pas être suffisamment économiques. On remarquera toutefois que les éleveurs se lancent dans l'exploitation piscicole pour diverses raisons et il n'aurait pas été raisonnable d'insister pour qu'ils construisent des étangs à la superficie supérieure à 200 m². En fait, les pisciculteurs ont été encouragés à réduire considérablement les coûts de construction de leurs étangs en utilisant à la fois la force de travail de l'unité familiale et les matières disponibles à la ferme.

- Empoissonnement avec des fingerlings de *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli* de sexes mixtes (1:1) à une densité de 2 poissons·m⁻².

- Alimentation à base de madeya (son de maïs), aliment le plus couramment disponible (Msiska, 1988), aux taux déterminés d'après les résultats des essais de Chinseu. Les vulgarisateurs ont conseillé aux éleveurs de nourrir leurs poissons à raison de 4 % du poids corporel total par jour. Pour rendre ces proportions intelligibles aux usagés, le poids des aliments a été converti en doses pouvant remplir les divers récipients (assiettes, seaux et autres réceptacles) dont les

éleveurs pouvaient disposer. L'emploi d'autres aliments pour poissons (sous-produits de la ferme) était aussi encouragé.

- Fertilisation inorganique à base de phosphate de diammonium (PDA), choisi du fait que de nombreux éleveurs font pousser du maïs et que les agents des services de vulgarisation agricole les encouragent à appliquer ce type d'engrais. Il se peut de ce fait qu'il leur reste certaines quantités d'engrais qu'ils pourraient ainsi appliquer dans les étangs de pisciculture. D'autre part, le PDA stimule la croissance des algues dans les étangs de manière plus efficace que les autres engrais localement disponibles. Les taux recommandés de fertilisation devaient être 1 g·m⁻²·semaine⁻¹.

- Fertilisation organique avec du fumier provenant des animaux de la ferme. Il se trouve toutefois que la plupart des éleveurs ne possèdent pas assez d'animaux pour accumuler suffisamment de fumier pour les étangs. Quoi qu'il en soit, on les a incités à utiliser autant de fumier que possible, et toutes les fois qu'il leur devenait difficile de s'approvisionner en engrais chimiques et en fumier, la mise en compost de végétaux était encouragée.

- Récolte une fois que les poissons ont produit assez de fingerlings pour le prochain cycle d'élevage et ont atteint la taille marchande, normalement au bout de quatre à six mois.

- Récolte par vidange au moyen d'une bourriche de fabrication locale fixée au tuyau de vidange ; sauvegarde des alevins et des fingerlings, et transfert immédiat de ceux-ci dans un bassin adjacent de 10 à 50 m².

Dans l'ensemble, le SAE a mis l'accent sur la production autonome de fingerlings par les éleveurs et l'aptitude de ces derniers à récolter leurs propres étangs sans avoir à recourir aux sennes habituellement prêtées par les services de vulgarisation.

Résultats

Zomba Ouest (Chinseu)

Jusqu'à la mise en route du programme (juin 1988), la région avait été desservie par le service de vulgarisation de Domasi ; il n'y avait que sept éleveurs pour une superficie d'étangs totale de 1,44 ha et aucun historique de production. La plupart de ces producteurs avaient été secondés dans le cadre d'un projet OXFAM vers la fin des années 1960 et au début des années 1970. En décembre 1988, 19 éleveurs étaient en activité pour une superficie d'étangs totale de 1,78 ha avec une production de 917 kg de poissons. En 1989, la région comptait 60 pisciculteurs pour 3,5 ha d'étangs donnant 2.467 kg de poissons. En 1990, 89 éleveurs ont produit 4.314 kg de poissons sur 4,8 ha. En 1991, le nombre d'exploitants a atteint la centaine pour une superficie totale de 5,2 ha et une productivité annuelle estimée à environ 1,9 t·ha⁻¹.

Entre janvier et décembre 1990, la production mensuelle des 67 éleveurs en activité a été étroitement suivie (Tableau 1).

Mwanza (Kunenekude)

Jusqu'en 1987, la Direction des pêches avait assuré des services de vulgarisation très limités aux pisciculteurs de la région de Mwanza. Deux vulgarisateurs étaient en activité avec une seule moto pour tout moyen de transport pour couvrir 13 villages et 513 éleveurs possédant au total 649 étangs sur une superficie de 6,72 ha. Le budget alloué à ces activités de vulgarisation était de MK1.000 (US\$348) par an. Une enquête réalisée à la fin de 1987 a révélé une production totale de 2.038 kg de poisson, c'est-à-dire environ 300 kg·ha⁻¹·an⁻¹.

En janvier 1988, 11 éleveurs en activité sur une superficie totale de 2.589 m² avaient adopté l'idée du programme SAE. Six mois plus tard, la production nette avait atteint 123 kg avec une productivité nette moyenne de 950 kg·ha⁻¹·an⁻¹. En novembre, le nombre d'éleveurs ayant adopté le SAE était passé à 22 avec une productivité moyenne atteignant 1.400 kg·ha⁻¹·an⁻¹ (Tableau 2).

Production globale

Les chiffres concernant le nombre total d'étangs et de pisciculteurs de la région de Mwanza et de Zomba Ouest pour les années allant de 1983 à août 1991 sont donnés dans le tableau 3. Les chiffres pour 1991 sont le résultat d'une extrapolation dans la mesure où les données n'allaient que jusqu'en août de la même année pour Zomba Ouest et qu'aucune donnée définitive n'a pu être obtenue pour Mwanza.

Discussion

Les efforts consentis dans le sens d'une expansion des activités de vulgarisation ont certainement amélioré la production de poissons. Certains problèmes techniques ont été rencontrés au démarrage du SAE. La récolte par vidange et les manipulations de fingerlings qui suivaient se sont avérées très difficiles à pratiquer pour les éleveurs. Dans un grand nombre de cas, les producteurs ont subi des pertes massives d'alevins et de fingerlings par mortalité, ce qui s'est traduit par une très grosse demande en fingerlings auprès des postes de vulgarisation, oeuvrant ainsi contre l'objectif d'accroître l'autonomie des pisciculteurs.

Dans la région de Zomba Ouest (Chinseu), les activités de vulgarisation ont été menées dans un secteur où

Tableau 1. Production mensuelle des pisciculteurs dans la région de Zomba Ouest de janvier à décembre 1990.

Mois	Nbre d'éleveurs par mois	Nbre d'étangs	Superficie totale (m ²)	Rendement (kg)
Janvier	3	3	615	33,80
Février	3	4	2.526	151,30
Mars	4	4	3.891	166,30
Avril	6	6	1.978	232,00
Mai	6	7	3.747	196,20
Juin	3	3	1.028	58,50
Juillet	8	9	3.370	171,60
Août	10	10	2.887	276,00
Septembre	11	12	3.791	260,00
Octobre	4	4	802	94,00
Novembre	4	4	4.213	302,20
Décembre	5	5	1.279	100,50
Total	67	71	3,01 ha	2.042,40 ^a

^aCe chiffre est probablement une sous-estimation du fait des difficultés rencontrées dans la collecte des données lors de la seconde période d'élevage. Le total pour l'année pourrait même atteindre le double de cette estimation.

Tableau 2. Production de poissons par les 22 pisciculteurs de la région de Mwanza ayant adopté le système d'aménagement des étangs proposé, de décembre à novembre 1990 (période moyenne d'élevage = 210 jours).

Eleveur	Superficie de l'étang (m ²)	Production (kg)	Productivité nette par extrapolation (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)
1	270	10,5	661
2	756	58,0	1.304
3	176	16,0	1.546
4	302	5,5	310
5	119	5,0	714
6	216	8,2	645
7	188	18,0	1.623
8	n.d.	n.d.	n.d.
9	168	11,9	1.204
10	231	24,0	1.766
11	n.d.	n.d.	n.d.
12	144	6,0	708
13	270	27,8	1.700
14	120	12,0	1.700
15	150	10,0	1.133
16	171	5,0	497
17	253	15,0	1.008
18	145	14,3	1.677
19	452	69,2	2.595
20	264	19,5	1.256
21	576	61,7	1.821
22	330	38,0	1.958

n.d. = non disponible.

Tableau 3. Evolution de la situation des pisciculteurs dans les régions de Mwanza et de Zomba Ouest au Malawi.

Facteurs de production	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991 ^a
Nbre d'éleveurs	87	225	337	425	513	523	628	559	669
Nbre d'étangs	105	300	405	512	690	714	806	818	967
Superficie totale (ha)	1,6	4,5	6,1	7,7	9,7	11,2	14,6	15,85	21,67
Production totale (kg)	800	2.700	3.660	4.620	5.820	7.330	16.100	16.600	25.330
Valeur (MK) ^a	1.200	4.050	5.490	6.930	11.640	13.905	32.550	34.360	48.764

^aKwacha malawien (MK) en 1983 et en 1991 = 2,00 et 2,71 pour US\$1,00, respectivement.

^bExtrapolation.

l'exploitation piscicole n'était pratiquée jusqu'alors que de manière sporadique ; on ne connaissait alors que sept éleveurs. Le choix de la dimension de l'étang pour l'éleveur, que l'étang ait été vidangeable ou pas, etc., était en fonction du vulgarisateur. Les dimensions moyennes des étangs dans le cadre de ce projet pour la région de Zomba Ouest étaient environ 335 m². La productivité moyenne pour cette région a atteint 1.700 kg·ha⁻¹·an⁻¹, c'est-à-dire deux fois les rendements obtenus dans la région de Mwanza.

Dans cette région, de nombreux étangs avaient été construits sur des sites qui ne permettaient pas la vidange gravitaire de ces étangs. Aux yeux des éleveurs, un étang est un petit lac que ne se vidange pas quand le moment de la récolte est venu. Par ailleurs, l'emploi d'une bourriche pour la récolte constitue une méthode non conventionnelle quelque peu singulière que les producteurs n'acceptent pas facilement.

La superficie minimale de 200 m², telle que choisie par le programme, était inacceptable pour les producteurs de la région de Mwanza. Dans le cadre d'un programme précurseur financé par l'UNICEF, 649 étangs mesurant tout juste plus de 100 m² chacun avaient été construits ; les 200 m² minimum prescrits ici ne pouvaient que semer la confusion chez les éleveurs. Dans le cadre du programme précédent, tout plan d'eau était considéré comme un "étang" quelles que soient ses dimensions. Les éleveurs pouvaient accroître les dimen-

sions des étangs s'ils pouvaient en tirer profit ou s'ils en jugeaient bon mais il était difficile d'accroître les dimensions des petits étangs en raison des contraintes liées à la disponibilité du terrain. Après tous ces efforts de vulgarisation, les dimensions moyennes des étangs restaient toujours aux environs de 110 m² et quand le projet a mis l'accent sur les éleveurs possédant des étangs d'au moins 200 m², de nombreux producteurs ont été délaissés.

Les questions de qualité et de quantité d'intrants nécessaires dans le cadre du programme proposé ici ont été pour les éleveurs des questions quasiment impossibles à résoudre. Le son de maïs (madeya) est un produit saisonnier et il devient propre, à la consommation humaine à une certaine époque critique de l'année. Les éleveurs ne peuvent déjà pas assurer un apport d'engrais suffisant pour leur récolte de maïs ; en ce sens, les vulgarisateurs ont eu tort de présumer qu'ils auraient un excédent de maïs ou autres cultures dont ils pourraient se servir pour fertiliser leurs étangs.

Même s'il existe une grande quantité de ressources produites à la ferme qui puissent servir d'aliments pour poissons, les agents responsables de la vulgarisation et les éleveurs ne connaissent pas les taux qu'il convient d'appliquer. En effet, aucune étude systématique n'a été menée sur les facteurs de conversion de ce type de ressources. Par ailleurs, la plupart de ces ressources sont saisonnières et ne sont souvent disponibles qu'en petites quantités. Des

étudés sont réalisées pour tenter de quantifier ces différents types d'intrants tout au long de l'année (voir Noble, même volume).

La SAE à tendance à sélectionner des poissons génétiquement petits: Msiska (1988) a rapporté des poids moyens de 125 g pour les poissons d'élevage de l'espèce *O. shiranus*, mais les poids moyens relevés chez les éleveurs n'atteignent encore que 70 g environ et entre 40 et 60 g sur les stations des institutions de recherche gouvernementales.

Il est fort peu probable que le SAE accroisse la productivité des étangs de manière significative au-delà de 2 t·ha⁻¹·an⁻¹ chez les petits exploitants. Ces derniers doivent avoir accès à des techniques piscicoles plus développées, y compris les écloseries et autres systèmes de gestion des géniteurs pour produire des fingerlings de meilleure qualité. D'autre part, d'autres techniques de récolte, à l'étude au Centre national d'aquaculture de Domasi, devront être testées par les éleveurs.

L'expérience acquise au cours de ces trois années de vulgarisation nous a apporté matière à réflexion sur les directions à donner au programme de vulgarisation. Pratiquement tous les projets et les nouvelles idées qu'ils ont introduites (dans notre cas un meilleur système d'aménagement des étangs) ont été favorablement accueillis par les groupes-cibles. Il faut toutefois admettre que lorsqu'une seule option est offerte, seule une partie des groupes concernés en bénéficie et les seuils de productivité sont vite atteints. Si nous comparons le budget annuel de MK1.000 que le gouvernement accorde aux activités de vulgarisation pour la région de Mwanza avec les efforts gigantesques investis par ce projet financé par des sources extérieures dans le même secteur (des

années plus tard), il est certain qu'un rapport positif entre coûts et bénéfices ne s'observe que pendant la première année. Les gains relatifs que pourraient réaliser les deux régions de Mwanza et de Zomba Ouest les années ultérieures ne semblent pas justifier les efforts consentis.

Par ailleurs, il semblerait que tout projet qui ne mette l'accent que sur un modèle d'aménagement particulier ne réalisera qu'en partie ses objectifs. Il est aussi évident que lorsqu'un nouveau projet vient s'établir dans un secteur où un autre projet est déjà établi, on ne peut s'attendre qu'à des améliorations marginales.

Les enseignements les plus importants que l'on ait pu tirer de cette expérience sont les suivants : (1) tout pays en voie de développement doit, au début de chaque projet de développement, avoir un concept et une stratégie clairement énoncés auxquels les diverses agences de développement devraient rigoureusement adhérer ; et (2) ce concept et cette stratégie doivent être *dynamique*. Les moyens du développement ne sont pas toujours les mêmes, et lorsque les projets de développement s'adressent à des groupes non uniformes, il incombe aux groupes responsables du financement et de l'exécution de ces projets de mettre au point et d'offrir à ces groupes une "panoplie d'options", et de les laisser choisir laquelle (ou lesquelles) d'entre elles répondra le mieux à leurs besoins.

La politique actuelle dans le cadre de laquelle les projets de développement offrent uniquement "leur solution" conduira tôt ou tard à un plus grand désordre et à des conséquences regrettables. De tels efforts, le temps et l'argent investis dans ces projets ne suffisent pas à garantir l'autonomie des groupes concernés et la pérennité de leurs systèmes d'exploitation. Dynamique et coordination semble être deux mots-clés à

prendre en considération lors de la mise en place de projets de développement.

Littérature citée

Msiska, O.V. 1988. Preliminary studies on the performances of *Oreochromis shiranus chilwae* in ponds with respect to water

quality and temperature, p. 63-68. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.

Otte, G. 1990. A proposed fishpond management system for small-scale farmers in southern Malaŵi. Article présenté à la International Management Conference, avril 1990, Zomba, Malawi.

Utilisation des ressources de la ferme pour la pisciculture en Afrique rurale^a

R.P. NOBLE^b

ICLARM-GTZ Africa Aquaculture Project

P.O. Box 229

Zomba, Malawi

NOBLE, R.P. 1996. Utilisation des ressources de la ferme pour la pisciculture en Afrique rurale, p. 155-166. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Bien que le continent africain soit le berceau des tilapias, l'aquaculture n'y connaît pas encore un franc succès et l'une des raisons principales en est que les petits producteurs des régions rurales ne font pas grand cas des ressources bioéconomiques dont ils disposent à même leur exploitation. La pisciculture est essentiellement une activité de subsistance avec quelques petits excédents agricoles ne rapportant que de maigres revenus supplémentaires à ces foyers ruraux. Le Malawi offre un bon exemple : sa population (8 millions d'habitants) est composée à 85 % par des agriculteurs, 84 % du PNB agricole est assuré par les petits exploitants et les trois-quarts de cette production n'est pas convertie en liquidités. Dans ces conditions, l'aquaculture n'a de chance de réussir que si elle est intégrée dans le système d'exploitation agricole et que si elle repose sur le recyclage des ressources de la ferme comme les résidus agricoles et les déchets des animaux de ferme. Ces ressources peuvent être recyclées dans les étangs de pisciculture et contribuer ainsi non seulement à réaliser de bonnes récoltes mais également à améliorer la productivité globale de l'exploitation par un recyclage optimal de ses ressources. Il est important d'effectuer le bilan des ressources biologiques des fermes avant d'adopter ce type d'approche. Cette démarche a été faite dans une vingtaine de fermes de la région de Zomba où le potentiel d'utilisation d'un certain nombre de résidus végétaux et animaux a été examiné. Toutes les fermes possédaient des étangs où étaient élevés *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli*. Des résidus de maïs (son, chaumes et rafles) et de riz (son, paille), des friches et du fumier ont été évalués sur des parcelles de 50 m² aménagées dans plusieurs champs de chaque ferme. Le diagramme du flux des résidus végétaux et animaux à l'intérieur de chaque système de production a été dressé, et à partir de ce modèle, certains résidus ont pu être sélectionnés pour les recycler dans le système aquacole dans le but d'améliorer la fertilité de l'étang et de nourrir directement les poissons. Un certain nombre de petits producteurs avaient des champs en jachère (biomasse approximative en fin de campagne de 7 t·ha⁻¹ de poids sec) et disposaient également de cendre provenant des feux de cuisson (plus de 500 kg·an⁻¹ de poids sec par ferme) dont ils n'avaient aucun usage. La production de chaumes de maïs s'élève à environ 2.500 kg·ha⁻¹·an⁻¹ (poids sec) dont une partie pourrait être utilisée directement dans les étangs ou pourrait être mise au compost pour produire un intrant de haute qualité pour la fertilisation des étangs. La plupart des fermes qui ont participé à cette étude disposaient de ressources biologiques inutilisées qui pourraient être efficacement recyclées dans les étangs de pisciculture et ainsi offrir la possibilité d'augmenter la productivité globale de l'exploitation en convertissant des déchets agricoles de faible valeur en récoltes de poissons produites à moindre coût pour le producteur.

^aICLARM Contribution No. 950.

^bAdresse actuelle : 570 Hillside Avenue East, Toronto, Ontario M4S 1V2, Canada.

Introduction

La petite entreprise piscicole, exploitée par des familles rurales, ne prospérera, dans les conditions économique-environnementales prévalant actuellement en Afrique, que si celle-ci repose sur des principes écologiques et qu'elle s'intègre aux diverses activités agricoles que l'on rencontre fréquemment dans les petites exploitations. L'approche d'ordinaire commerciale, propre à l'entreprise aquacole, est d'une applicabilité limitée dans les communautés où l'exploitation agricole se pratique au niveau de la subsistance, ou presque, et où les liquidités qu'elle génère sont trop insuffisantes pour que les exploitants puissent se procurer les engrais et aliments nécessaires à l'élevage des poissons. D'après l'Institut mondial pour les ressources et l'Institut international pour l'environnement et le développement (World Resource Institute and International Institute for Environment and Development, 1988), le PNB moyen par habitant en Afrique à la fin des années 1980 n'atteignait que US\$300, la situation s'étant dégradée depuis. Au Malawi, objet de cet exposé, le revenu moyen par famille rurale n'atteint que US\$130 par an alors que ces petits exploitants constituent 75 % de la population (Experiments in International Living, 1991).

A ces problèmes de revenus il faut ajouter les problèmes de manque de terres. Au Malawi, la densité moyenne de population par km² de terre arable est de 169 habitants, chiffre qui passera à 242 d'ici à 2012 si l'accroissement démographique continue au taux actuel de 3,3 % par an (Experiments in International Living, 1991). Actuellement, le tiers des petits exploitants cultive des terres ne dépassant pas 0,5 ha. Les pressions s'exerçant sur les terres disponibles sont telles que de nouveaux

modes de régénération des terres agricoles et secteurs marginaux seront nécessaires pour améliorer les revenus et l'état nutritionnel des familles de ces régions (Lightfoot, 1990).

Dommen (1988) signale que la production agricole en Afrique, sous l'effet de la pression démographique actuelle, du raccourcissement des périodes de jachère et de l'utilisation plus intensive des ressources, est le terrain d'une lutte perpétuelle pour maintenir la fertilité des sols et les rendements agricoles. L'intensification du recyclage des ressources de la ferme et l'intégration de l'exploitation agricole seront essentielles si l'on veut conserver une certaine productivité sur des étendues de terres arables toujours plus réduites. L'aquaculture peut fournir une solution partielle en participant de manière efficace au recyclage des ressources et à l'intégration de l'exploitation.

Or, la petite exploitation aquacole n'est toujours pas parvenue à soulager les communautés rurales africaines de leurs problèmes nutritionnels ou à augmenter leurs revenus (Noble et Costa-Pierce, 1992). Ceci est dû au fait que l'aquaculture a souvent été introduite comme une entreprise *sui generis* au sein du système d'exploitation, requérant son propre cortège d'intrants exogènes pour produire une récolte de poissons suffisante (GOPA, 1987). Vus l'insuffisance des revenus de nombreux petits exploitants et le manque de terres, ce type d'entreprise isolée du reste de l'exploitation est trop risquée et exige une mobilisation de capitaux trop importante pour que ces petits producteurs s'y aventurent. L'aquaculture doit donc intervenir à l'intérieur de la base de ressources du petit exploitant et devenir la première étape d'une intensification de l'emploi des résidus biologiques de la ferme et de l'intégration de l'exploitation agricole.

Résidus biologiques agricoles comme aliments ou agents fertilisants pour l'aquaculture

Les fermes malawiennes disposent toutes d'un certain nombre de résidus biologiques qui pourraient être utilisés pour l'alimentation des poissons et/ou la fertilisation des étangs. Ces résidus sont les déchets agricoles, le fumier des animaux et la végétation provenant des terres en friche. La cendre provenant des feux de cuisson présente également un certain intérêt par les éléments nutritifs qu'elle contient pour améliorer la fertilité des étangs.

Matériel et méthodes

Présence de résidus biologiques

RESIDUS DE MAIS

En 1989, une enquête a été menée auprès de 20 petites exploitations du district de Zomba dans le sud du Malawi pour déterminer la présence, sur leur exploitation, de ressources agricoles utilisables aux fins de l'aquaculture. Ces petites fermes reposaient toutes sur la production agricole avec le maïs (aliment de base) comme culture principale et l'élevage de poissons à toute petite échelle comme activité secondaire. Des parcelles au nombre de 52 et d'une superficie de 50 m² chacune ont été aménagées dans les champs de maïs de ces 20 petites exploitations. La biomasse des graines de maïs et des résidus présente dans chacune de ces parcelles a été calculée. Les résidus étaient composés de rafles de maïs, de spathes, de paille et de son (résidu du décortilage).

FRICHES

La biomasse des herbes/graminées en fin de campagne 1989 a également été mesurée dans 15 exploitations agricoles où 42 parcelles de 50 m² avaient été aménagées. La biomasse des friches récoltées par six autres fermes disposant aussi de terres mises en jachère a été calculée sur six parcelles de 50 m² aménagées à cet effet comme pour les champs de maïs.

En 1990, cinq parcelles de 50 m² ont été aménagées sur quatre exploitations dans des zones appelées "dambo" (bas-fonds où la nappe phréatique est élevée), et six parcelles de 50 m² ont été aménagées sur les terres en jachère de quatre fermes (nappe phréatique basse). La productivité des terres en jachère a pu être calculée car la durée de la période de croissance des friches était connue dans chacun des cas.

La production d'herbes/graminées a été initialement calculée en kg·ha⁻¹·mois⁻¹ de matière sèche (MS) puis convertie en kg·ha⁻¹·an⁻¹ de MS. Ces calculs ont été réalisés lors de la saison des pluies de 1990 puis ont été extrapolés pour obtenir des valeurs annuelles en admettant que les terres sèches situées en hauteur ont une saison de croissance plus courte que les terres situées dans les bas-fonds humides.

On a estimé à environ six mois la période de production d'herbes/graminées sur les hautes terres où les sols sont secs de mai à novembre et à neuf mois dans les bas-fonds où l'humidité persiste jusqu'en août. Par exemple, la production mensuelle d'herbes/graminées dans les bas-fonds a été estimée à 745 kg·ha⁻¹ de MS soit 6.705 kg·ha⁻¹·an⁻¹ et non pas 8.940 kg·ha⁻¹·an⁻¹ dans la mesure où la période

de croissance des herbes n'est que de neuf mois.

MATIERE SECHE ET AZOTE

Toutes les estimations de biomasse et de production pour les résidus de maïs et les friches ont été converties en poids sec en mesurant la teneur en humidité des échantillons et en les séchant à 80°C jusqu'à obtenir un poids constant. La teneur en protéines azotées des résidus de maïs et des friches a été calculée à partir des données de Miller (1975) et Gohl (1981).

CENDRE

La production de cendre provenant des feux de cuisson a été calculée pour six foyers. Tous les trois à sept jours, les cendres étaient collectées et pesées, et les valeurs en poids sec étaient calculées sur des échantillons prélevés à cet effet. La teneur en phosphore a été calculée à partir des données de Jamu (1990). Le nombre de gens intervenant dans la production de cendre a été noté afin de pouvoir calculer la production de cendre par personne et par jour.

FUMIER D'ANIMAUX

La production de fumier a été extrêmement difficile à calculer et les valeurs obtenues doivent être traitées avec prudence. La production de fientes de volaille a été calculée à partir des fientes accumulées pendant un certain nombre de jours dans quatre petites fermes et convertie en $\text{kg}\cdot\text{jour}^{-1}$ de MS. Cette procédure n'a pu être utilisée que pour les poulaillers où les fientes s'accumulent d'un jour à l'autre.

PARCOURS DES RESSOURCES

On a demandé aux agriculteurs d'indiquer ce qu'il advenait des résidus

de maïs, des friches, de la cendre et du fumier sur leur exploitation, et les divers parcours de ces ressources ont été reportés sur un diagramme.

Résultats

Les tableaux 1 à 4 indiquent la quantité de résidus biologiques présente sur les petites exploitations qui ont participé à l'enquête. Les résidus biologiques les plus courants étaient les chaumes de maïs (variétés locale et hybride confondues) avec une production moyenne de $2,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ environ (entre 470 et 4.930) représentant environ $186 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de MS azotée. Les agriculteurs se sont servis de ce matériau comme de paillis avec lequel retourner la terre ou l'ont brûlé à la fin de la saison sèche au moment de la préparation des champs pour une nouvelle campagne de maïs. La figure 1 représente les voies principales qu'empruntent les résidus de maïs dans les exploitations qui ont participé à l'étude. Les autres résidus (rafles et spathes) ont servi de combustible pour alimenter les feux de cuisson.

La production de son, principal facteur de production (alimentation et fertilisation) dans les étangs, a donné des résultats variables selon que les éleveurs cultivaient le maïs local ou un hybride. Les variétés locales de maïs produisent moins de son (moyenne : 290 ; entre 15 et $689 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de MS) que les variétés hybrides (moyenne : 660 ; entre 230 et $910 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de MS). La quantité d'azote fournie par le son de maïs est aussi relativement faible, variant de $6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ (local) à 13 (hybride).

La production de friches et la biomasse obtenue étaient assez élevées dans toutes les fermes. La biomasse obtenue en fin de campagne dans les champs de maïs a atteint près de $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ pour

Tableau 1. Production moyenne de résidus de maïs dans des exploitations dotées d'étangs de pisciculture au Malawi, avril-mai 1989.

Résidus	Variété de maïs locale ^a		Variété de maïs hybride ^b	
	kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹	kg/ferme	kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹	kg/ferme
Chaumes	2.479 (185)*	2.552 (190)*	2.789 (208)*	3.068 (229)*
Spathes	181 (13)*	172 (13)*	122 (9)*	26 (2)*
Raffles	281 (21)*	152 (11)*	485 (36)*	321 (24)*
Son	291 (6)+	297 (6)+	660 (13)+	466 (9)+

^aEchantillon de 17 fermes, 44 parcelles de 50 m².

^bEchantillon de trois fermes, huit parcelles de 50 m².

() = Protéines brutes (PB) azotées calculées au kg près.

*Teneur en PB estimée à 46,6 % par kg de MS (Miller, 1975).

+Teneur en PB estimée à 12,2 % par kg de MS (Miller, 1975). Conversion en kg MS azotée = Teneur en PB/6,25. Toutes les valeurs calculées reflètent de la matière sèche (MS).

Tableau 2. Biomasse moyenne de plantes terrestres dans les exploitations dotées d'étangs de pisciculture au Malawi, juin-juillet 1989.

Milieu	Plantes herbacées		Herbes/graminées	
	kg·ha ⁻¹	kg/ferme	kg·ha ⁻¹	kg/ferme
Champs de maïs ^a	1.128	1.236	120 (2)	191 (2)
Jachères ^b	322	41	4.252 (54)	2.516 (32)

^aEchantillon de 15 fermes, 42 parcelles de 50 m².

^bEchantillon de six fermes, six parcelles de 50 m².

() = Protéines brutes (PB) azotées calculées au kg près. Teneur en PB estimée à 8,0 % par kg de MS (Gohl, 1981). Conversion en kg MS azotée = Teneur en PB/6,25. Toutes les valeurs calculées reflètent de la matière sèche (MS).

Tableau 3. Production de plantes herbacées et d'herbes/graminées dans de petites exploitations au Malawi, 1990.

Plantes	Bas-fonds/ Nappe phréatique élevée ^a		Hautes terres/ Nappe phréatique basse ^b	
	kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹		kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹	
Herbes/graminées	6.705±2.763	(86)	4.026±1.740	(52)
Plantes herbacées	1.602±1.233		426± 222	

^aEchantillon de quatre fermes, cinq parcelles de 50 m² (période de croissance = 9 mois).

^bEchantillon de quatre fermes, six parcelles de 50 m² (période de croissance = 6 mois).

() = Protéines azotées calculées au kg près.

Teneur en PB estimée à environ 8,0 % par kg de MS (Gohl, 1981). Conversion en kg de MS azotée = Teneur en PB/6,25. Toutes les valeurs calculées reflètent de la matière sèche (MS).

± = Ecart-types.

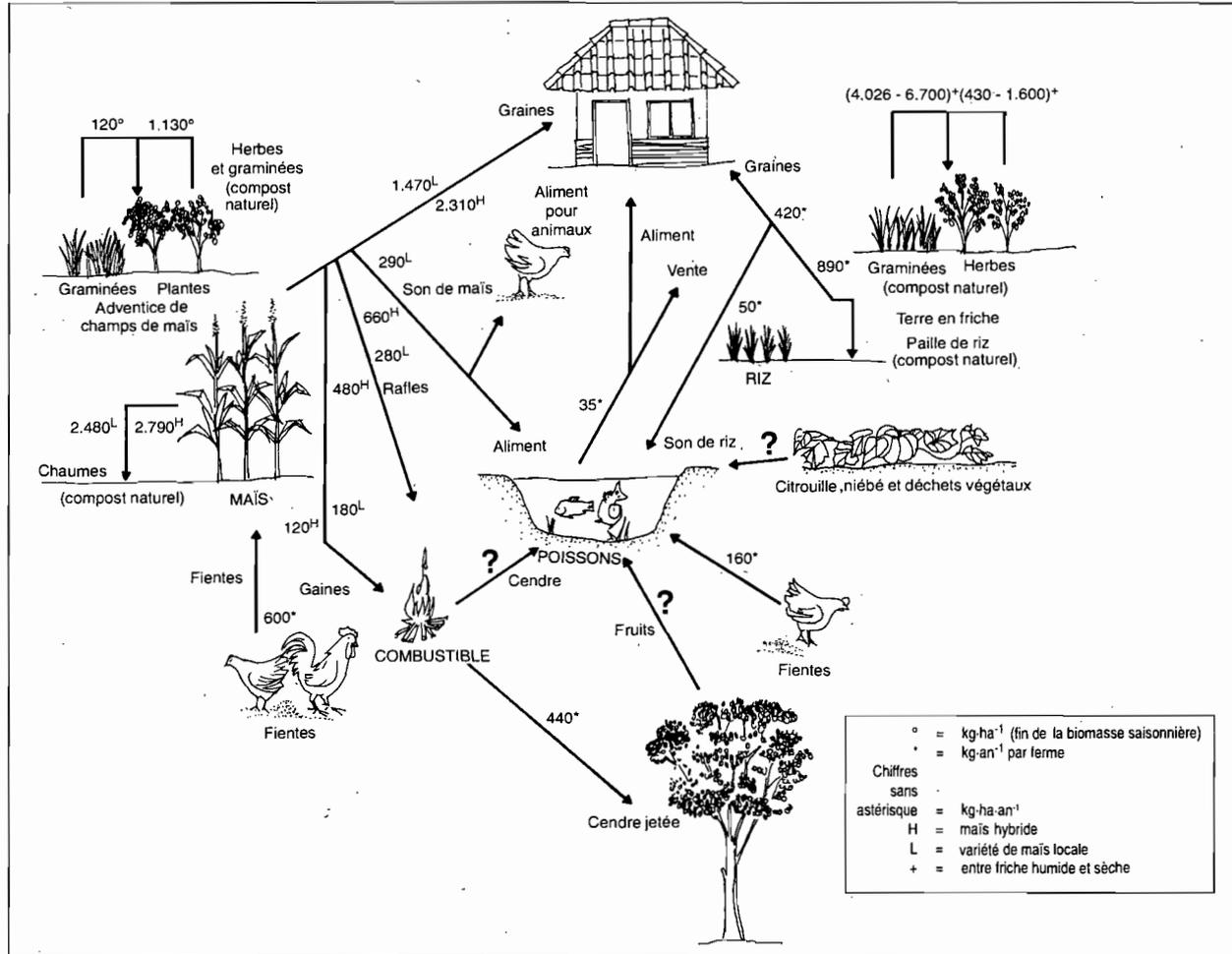


Fig. 1. Diagramme composite du flux des ressources biologiques d'une petite exploitation malawienne pratiquant la pisciculture.

Tableau 4. Production de cendre provenant des feux de cuisson dans six petites exploitations au Malawi pendant la saison sèche, 1990.

Fermes	Nombre de personnes	Nombre de jours	Cendre recueillie (kg ; MS)	Cendre/personne (kg·jour ⁻¹)
1	2	3	4,2	0,7
2	2	2	1,1	0,3
3	8	6	9,5	0,2
4	10	4	11,5	0,3
5	6	3	1,7	0,1
6	16	7	26,9	0,2
Moyenne	7,3	4,2	9,2 (0,5)	0,3 (0,02)
Ecart-type	4,9	-	8,8	0,2

() = kg de phosphore. Teneur en phosphore estimée à 5,6 % par kg de MS de cendre (Jamu, 1990).

les herbes/graminées et plantes herbacées, et près de 4,4 t·ha⁻¹ sur les terres mises en jachère (seules cinq fermes avaient des terres en jachère). Ces valeurs sont probablement des sous-estimations parce qu'elles ont été obtenues après les récoltes de maïs de mai-juin et ne tiennent pas compte de la quantité d'herbe arrachée plus tôt par les cultivateurs au cours de la période de croissance.

Le tableau 3 donne la production d'herbes/graminées et de plantes herbacées obtenue en 1990 dans de petites exploitations. La productivité des hautes terres en jachère (4,5 t·ha⁻¹·an⁻¹ de MS) est très similaire à la biomasse obtenue en fin de campagne 1989 (4,4 t·ha⁻¹ de MS) pour les terres en friche (voir tableau 2). Les secteurs "Dambo" (bas-fonds humides) ont obtenu la plus haute production d'herbes/graminées (8,4 t·ha⁻¹·an⁻¹ de MS) reflétant l'importante teneur en humidité des sols tout au long de l'année. L'azote que fournissent les herbes/graminées varie entre 2 kg·ha⁻¹·an⁻¹ (champs de maïs) et 86 kg·ha⁻¹·an⁻¹ (bas-fonds en friche).

La production moyenne de cendre par foyer de cinq personnes par an était de 548 kg, c'est-à-dire 31 kg de phosphore utilisable pour la fertilisation des étangs (Tableau 4).

Une production moyenne de 0,7 t·an⁻¹ par exploitation (ET : 0,4) de fientes de volaille a été réalisée dans les quatre fermes de l'enquête, soit 25 kg d'azote.

Discussion

Les résultats de l'enquête sur les ressources de la ferme montrent qu'il existe des matériaux pouvant fournir l'azote et le phosphore nécessaires à la fertilisation des étangs. La question qui se pose désormais est de savoir si les exploitations ont assez de résidus biologiques pour répondre aux besoins en éléments nutritifs de la petite aquaculture sans que l'utilisation de ces résidus soit au détriment d'autres activités agricoles.

Maïs et herbes : sources d'azote pour les étangs

Chikafumbwa (1990, et même volume) a démontré que l'herbe à éléphant (*Pennisetum purpureum*) utilisée à raison de 100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS donnait, en station expérimentale, des rendements en poissons relativement élevés (1,4 t·ha⁻¹·an⁻¹ pour une polyculture de *Tilapia rendalli* et *Oreochromis shiranus*). Ce résultat est légèrement plus élevé que

ceux obtenus en polyculture à la ferme (Noble et Costa-Pierce, 1992). D'après Chikafumbwa, la quantité d'herbe à éléphant qu'il a utilisée correspond à un apport d'azote de $1,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ environ. Selon Edwards (1987), le taux minimum d'azote recommandé pour permettre une bonne croissance algale dans les étangs de pisciculture devrait être de $8 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ environ. Cependant, toujours selon Edwards (1987), si l'on utilise des herbes de qualité médiocre, la quantité d'herbes devra être ajustée pour obtenir l'équivalent de $4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ d'azote afin d'éviter une surcharge organique dans l'étang.

La surface moyenne des étangs du district de Zomba où l'enquête sur les résidus biologiques a été réalisée est de 338 m^2 (médiane : 196 m^2 , ES : 34 m^2 pour 209 étangs ; Noble et Costa-Pierce, 1992). Le tableau 5 donne les étendues de terres minimales requises pour produire des herbes ou des résidus de maïs en quantités suffisantes pour répondre aux besoins en azote des étangs tel que Chikafumbwa et Edwards le préconisent.

S'il s'agit de petits étangs, il n'est pas nécessaire d'avoir de grandes étendues de terres pour produire les quantités de chaumes de maïs suffisantes pour répondre aux besoins en azote de ces étangs. Il suffira de planter du maïs sur $0,1-0,3 \text{ ha}$ pour produire les chaumes qui fourniront, pour l'année, l'azote nécessaire à des étangs de 300 à 400 m^2 . Par contre, si les cultivateurs ne comptent que sur les herbes provenant des terres en friche, il leur faudra alors des superficies plus importantes, entre $0,3$ et $1,1 \text{ ha}$, pour des étangs de 300 à 400 m^2 . Les terres en jachère sont rares car les cultivateurs sont tentés d'utiliser tous les sols disponibles pour y planter des cultures. Les terres en friche ne sont donc pas en mesure de contribuer de manière significative à l'enrichissement des étangs. Il est clair que si un cultivateur possède des terres en jachère, les friches pourront offrir un complément nutritif aux apports que fournissent les déchets agricoles. Pour un grand nombre de fermes, l'azote nécessaire pour répondre aux besoins de la petite aquaculture pourrait en effet être fourni

Tableau 5. Etendues de terres nécessaires pour produire suffisamment d'herbes/graminées et de résidus de maïs pour répondre aux besoins annuels en azote des étangs de polyculture de tilapias.

Superficie de l'étang (m^2)	Maïs (ha)		Herbes/graminées (ha)	
	A	B	A	B
100	0,1	0,03	0,3	0,1
200	0,2	0,1	0,5	0,2
300	0,2	0,1	0,6	0,3
400	0,3	0,1	1,1	0,4
500	0,4	0,2	1,4	0,5
1.000	0,8	0,3	2,7	1,1

A = étendue de terres nécessaires sur la base de $4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ d'azote (Edwards, 1987).

B = étendue de terres nécessaires sur la base de $1,6 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$ d'azote (Chikafumbwa, même volume).

Le calcul de superficies nécessaires a été réalisé sur la base des estimations pour l'azote des tableaux 1, 2 et 3.

en quantités suffisantes par les chaumes de maïs.

Son de maïs dans les étangs de pisciculture

Chikafumbwa (même volume) a étudié les effets de l'association herbe à éléphant et son de maïs dans les étangs. Avec 100 kg de MS d'herbes·ha⁻¹·jour⁻¹ et environ 24 kg de MS de son de maïs·ha⁻¹·jour⁻¹, les étangs ont produit l'équivalent de 3 t·ha⁻¹·an⁻¹ de *O. shiranus* et *T. rendalli* (polyculture), ce qui représente entre deux et trois fois les rendements obtenus actuellement dans les petites exploitations piscicoles.

Les fermes qui cultivent des variétés locales de maïs produisent environ 290 kg·an⁻¹ de son et celles qui cultivent les variétés hybrides ont une production de 660 kg·an⁻¹ (voir le tableau 1). Le tableau 6 donne les besoins en étendues de terres où le maïs doit être cultivé pour répondre aux besoins en son des étangs tel que le préconise Chikafumbwa. Si les agriculteurs ne cultivent que du maïs local, il leur faudra des étendues de terres relativement grandes pour fournir le son nécessaire (par exemple, 0,9 ha pour un étang de 300 m²). Par contre, les terres où poussent les variétés

hybrides peuvent être de petite superficie (0,4 ha pour un étang de 300 m²) car ces variétés produisent de grandes quantités de son au moment du décortilage.

La cendre de cuisson : source de phosphore et agent neutralisant pour les étangs

Jamu (1990) a démontré que la cendre des feux de cuisson est un agent efficace de chaulage des étangs et fournit également du phosphore. L'application de cendre à un taux de 0,75 t·ha⁻¹ sur une période de deux semaines a neutralisé la baisse de pH causée par les chaumes de maïs introduites à raison de 300 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS. Comme on l'a déjà signalé (Chikafumbwa, 1990, et même volume), un apport d'herbes de 100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS associé à du son de maïs donne les rendements en poissons les plus élevés (3 t·ha⁻¹·an⁻¹). Admettant qu'un étang n'ait pas la capacité naturelle de neutraliser la baisse de pH due à la décomposition de l'herbe, il faudra alors verser 6 t·ha⁻¹·an⁻¹ de cendre pour neutraliser les effets des taux d'apports d'herbes que préconise Chikafumbwa. Pour un étang de 500 m², un ménage n'aurait à produire que 300

Tableau 6. Etendues de terres nécessaires pour produire suffisamment de son de maïs pour répondre aux besoins annuels en azote dans les étangs de polyculture de tilapias.

Superficie de l'étang (m ²)	Etendues de terres nécessaires pour produire du son	
	Maïs local ^a	Maïs hybride ^b
100	0,3	0,1
200	0,6	0,3
300	0,9	0,4
400	1,2	0,5
500	1,5	0,7
1.000	3,0	1,3

^aVariété de maïs locale, production de son : 291 kg·ha⁻¹·an⁻¹.

^bVariété de maïs hybride, production de son : 660 kg·ha⁻¹·an⁻¹.

Taux recommandés par Chikafumbwa (1990) : 8,8 t·ha⁻¹·an⁻¹.

kg·an⁻¹ de cendre. La taille moyenne des foyers au Malawi est d'environ cinq personnes (ICLARM et GTZ, 1991). Selon le tableau 4 et Jamu (1990), un tel foyer produit environ 550 kg·an⁻¹ de cendre, ce qui est tout à fait dans les limites des besoins fixés par Jamu (1990) pour des étangs sans aucune capacité naturelle de neutralisation. Or, la plupart des étangs ont cette capacité (dans diverses mesures), ce qui devrait réduire les besoins en cendre par rapport aux taux mentionnés ci-dessus.

La cendre est aussi source de phosphore. Selon Edwards (1987), les taux minimum de phosphore nécessaires pour soutenir la croissance d'algues est de 0,8 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ (soit 292 kg·ha⁻¹·an⁻¹). Là encore, la production de cendre par foyer moyen peut donner une quantité de phosphore suffisante (P) (31 kg·an⁻¹ P) pour répondre aux besoins d'un étang mesurant jusqu'à 1.000 m² (29 kg·an⁻¹ P).

Intégration agriculture et aquaculture

Jusqu'à présent on ne s'est préoccupé que des intrants pouvant être utilisés comme aliment ou engrais dans les étangs de pisciculture. Or, l'aquaculture ne peut fonctionner comme entreprise isolée recevant les ressources biologiques de la ferme sans en recycler une partie pour les réintroduire dans les autres activités agricoles. Ce type d'aménagement est inefficace et ne peut conduire qu'à l'épuisement des ressources des autres composantes du système d'exploitation.

Chimatiro (1991), par exemple, a clairement établi que les étangs agissent comme des gouffres à nutriments. Il a observé le fonctionnement de plusieurs fermes, mesuré les intrants destinés aux étangs de pisciculture et comparé ceux-ci avec les rendements en poissons

obtenus. Pour quatre étangs, l'efficacité de conversion écologique moyenne de la matière végétale en poisson était, en termes énergétiques, de 0,8 %. Une grande partie des intrants végétaux ont dû être incorporés dans le sous-système détritivore, conduisant à une accumulation d'éléments nutritifs dans la vase de l'étang.

Chimatiro (1991) a vérifié ces résultats en utilisant de la vase d'étang comme engrais pour une culture de choux. La vase provenait des étangs où seul l'herbe à éléphant avait servi d'intrant. Le rendement des cultures de choux ayant reçu la vase était de 120 t·ha⁻¹·an⁻¹ contre 76 t·ha⁻¹·an⁻¹ pour les choux cultivés sur des sols non fertilisés. Chikafumbwa (données non publiées) a également démontré que des rendements très élevés pouvaient être obtenus dans les cultures de légumes recevant de la vase d'étang (environ 200 t·ha⁻¹·an⁻¹ pour le chou chinois).

Les déchets végétaux peuvent aussi être recyclés dans les étangs pour l'alimentation et la fertilisation de ceux-ci. Dans l'expérience avec les choux chinois, 74 t·ha⁻¹·an⁻¹ de résidus de feuilles de choux ont été produites. Un fermier qui cultive des choux sur une superficie minimum de 100 m² peut générer environ 740 kg de résidus de feuilles par an. Admettant que la teneur protéique de ces feuilles est de 2,5 % environ, cette production ne correspondrait qu'à 3 kg·an⁻¹ d'azote. Si cet apport en azote est insignifiant pour un étang, les feuilles peuvent fournir d'autres éléments nutritifs au système.

Chimatiro (1991) et Chimatiro et Costa-Pierce (même volume) ont démontré que les résidus de feuilles de choux ou de potirons introduits à un taux de 50 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS dans des bassins de polyculture de *O. shiranus* et *T. rendalli* donnaient des rendements moyens d'un peu plus de 1 t·ha⁻¹ pour

un cycle d'élevage de 134 jours. Au Malawi, les températures permettent de réaliser des cycles de huit mois, donnant sur l'année des rendements en poissons d'environ $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$, rendements atteignant pratiquement le double de ceux obtenus dans les petites exploitations piscicoles.

La création d'un lien entre les légumes et les étangs peut permettre aux éleveurs d'améliorer leurs revenus. D'après Chikafumbwa, la vente des choux chinois sur les marchés locaux génère des revenus de US\$25 par mois. Actuellement, les revenus moyens des petits exploitants malawiens s'élèvent à US\$11 par mois (Experiments in International Living, 1991). L'intégration légumes-poissons a donc le potentiel d'améliorer significativement les revenus des cultivateurs qui ont de l'eau et des terres, et qui peuvent intégrer la pisciculture en étang à leur système d'exploitation.

D'autres types d'intégration agropiscicole se mettent en place au Malawi. Les cultivateurs commencent juste à se lancer dans la rizi-pisciculture. Les rendements de cette activité varient de 2 à $4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ pour le riz et de $1,5$ à $2,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ pour le poisson (Noble et Costa-Pierce, 1992). La production de riz dans les étangs de pisciculture se situe dans la fourchette des rendements (soit en moyenne $3,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$) attendus dans les rizières fertilisées et irriguées (Zomba Rural Development Project, 1990). Les rendements en riz des étangs piscicoles ne sont toutefois que des sous-estimations dans la mesure où ces chiffres ne reflètent qu'une seule campagne de riz. Les agriculteurs tentent à présent de faire une deuxième campagne pendant la saison sèche. Cette initiative aura peut-être pour effet de donner des rendements annuels en riz supérieurs à $3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ dans ces entreprises intégrées rizi-piscicoles.

Un sac de riz non décortiqué de 90 kg coûte US\$18 (50 kwacha malawien) dans les centres agricoles gouvernementaux. Avec les rendements que la rizi-pisciculture génère actuellement, les agriculteurs peuvent s'attendre à gagner US\$400 à US\$800·ha⁻¹·an⁻¹ pour le riz, sans tenir compte des ventes de poissons.

Conclusion

Par cet exposé, l'auteur a tenté de démontrer qu'à l'intérieur des systèmes de production agricole qui reposent sur la culture du maïs, il existe des matériaux pouvant être utilisés comme aliment et engrais dans la petite pisciculture. La figure 1 montre qu'il est en effet possible de recycler, par l'intermédiaire des étangs de pisciculture, un grand nombre de matériaux comme la cendre des feux de cuisson, les fruits gâtés, les déchets végétaux et même le fumier provenant des animaux de la ferme.

Etant donné les ressources économiques limitées de la plupart des agriculteurs malawiens, l'utilisation plus efficace des résidus biologiques de la ferme est pratiquement le seul espoir de donner au développement de l'aquaculture un caractère durable. Toutefois, à mesure que l'étendue des terres arables diminue, le maintien de la fertilité des sols et de la production agricole reste pour les cultivateurs le problème majeur auquel ils se trouvent confrontés. L'aquaculture ne peut donc être développée indépendamment d'autres entreprises au sein du système d'exploitation. Si l'on veut que la sécurité alimentaire soit assurée pour les populations rurales de cultivateurs, il faut que les éleveurs qui choisissent de se lancer dans l'aquaculture le fassent de manière que cette activité contribue, par une intégration avec d'autres activités

agricoles, à la régénération du système. En effet, les liens qui pourront être établis entre ces activités contribueront à une utilisation plus efficace des éléments nutritifs et à leur recyclage au sein du système d'exploitation.

Remerciements

Nous aimerions remercier M. Sloans Chimatiro pour son aide sur le terrain et au niveau de la numérisation des données ; M. Fredson Chikafumbwa et M. Daniel Jamu pour les commentaires très utiles qu'ils ont apportés sur le manuscrit ; M. Fredson Chikafumbwa pour l'emploi de ses données sur l'intégration légumes-poissons ; le personnel du programme ICLARM-GTZ du Centre national d'aquaculture pour son soutien ; et l'équipe de vulgarisation du Ministère malawien des Pêches pour son aide sur le terrain.

Littérature citée

- Chikafumbwa, F.J.K.T. 1990. Studies on napier grass (*Pennisetum purpureum*, Schumach) as a pond input for the culture of *Tilapia rendalli* (Boulenger) and *Oreochromis shiranus* (Boulenger). Chancellor College, University of Malawi. 177 p. Mémoire de maîtrise.
- Chimatiro, S. 1991. The ecology of small-scale aquaculture in Malawi. Chancellor College, University of Malawi. 141 p. Mémoire de maîtrise.
- Dommen, A.J. 1988. Innovation in African agriculture. Westview Special Studies in Agricultural Science and Policy. Westview Press, Boulder, Colorado. 140 p.
- Edwards, P. 1987. Integrated agriculture-aquaculture farming systems. Report presented at An Awareness Programme of Tropical South East Asian Aquaculture Technology for Senior Scientists in Malawi and Southern Africa. Chancellor College, University of Malawi, septembre 1987. Asian Institute of Technology, Thaïlande. 82 p.
- Experiments in International Living. 1991. The roles of NGOs in promoting agricultural development and natural resource management in Malawi. Workshop Report funded by USAID/SHARED, 27-31 mai 1991. Blantyre, Malawi. 79 p.
- Gohl, B. 1981. Tropical feeds. FAO Anim. Prod. Health Ser. 12, 411 p.
- GOPA. 1987. Malawi fisheries development strategy study. GOPA Consultants, Hindenburgring, Allemagne. 41 p.
- ICLARM et GTZ. 1991. The context of small-scale integrated agriculture-aquaculture systems in Africa: a case study of Malawi. ICLARM Stud. Rev. 18, 302 p.
- Jamu, D. 1990. Studies on ash as a liming agent in fish ponds. Department of Biology, Chancellor College, University of Malawi. 193 p. Mémoire de maîtrise.
- Lightfoot, C. 1990. Integration of agriculture and aquaculture: a route to sustainable systems. Naga, ICLARM Q. 13(1):9-12.
- Miller, J.W. 1975. Fertilization and feeding practices in warm water pond fish culture in Africa. FAO/CIFA Symposium on Aquaculture in Africa, Ghana. WM/G1325, CIFA/75/SR4, FAO, Rome, Italie. 29 p.
- Noble, R.P. et B.A. Costa-Pierce. 1992. Aquaculture technology research for smallholder farmers in rural Malawi, p. 11-25. In Aquaculture and schistosomiasis. Board on Science and Technology for International Development, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC.
- World Resources Institute and International Institute for Environment and Development. 1988. World Resources 1988-89. Basic Books, Inc., New York. 372 p.
- Zomba Rural Development Project. 1990. Annual work plan. Zomba Rural Development Division, Zomba, Malawi.

Effets de la profondeur des étangs et du brassage mécanique de l'eau sur la production de *Oreochromis niloticus* dans des étangs de terre fertilisés

J.P. SZYPER

*University of Hawaii at Manoa
Hawaii Institute of Marine Biology
P. O. Box 1346
Kaneohe, Hawaii 96744, Etats-Unis*

K.D. HOPKINS

*University of Hawaii at Hilo
College of Agriculture
Hilo, Hawaii 96720, Etats-Unis*

SZYPER, J.P. et K.D. HOPKINS. 1996. Effets de la profondeur des étangs et du brassage mécanique de l'eau sur la production de *Oreochromis niloticus* dans des étangs de terre fertilisés, p. 167-175. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf Proc. 41, 630 p.

Résumé

Une expérience a été menée à l'Institut asiatique de technologie en Thaïlande dans le but d'évaluer les effets du brassage de l'eau sur la production de tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) dans des étangs de terre fertilisés. Des fingerlings mâles, stockés à raison de 3 poissons·m⁻³ dans neuf étangs d'environ 370-m² de superficie chacun, ont atteint 106-233 g en 173 jours (fin d'expérience). Les rendements n'étaient statistiquement pas différents d'un traitement à l'autre, donnant en moyenne 5,4 t·ha⁻¹·an⁻¹ dans trois étangs de 1,5 m de profondeur dont l'eau avait été brassée pendant deux heures chaque jour ; 6,7 t·ha⁻¹·an⁻¹ dans trois étangs similaires mais où l'eau n'avait pas été brassée ; et 6,9 t·ha⁻¹·an⁻¹ dans trois étangs de 0,9 m de profondeur où l'eau n'avait pas non plus été brassée. Les taux de survie étaient bien plus bas dans les étangs profonds avec brassage d'eau (72 % par rapport à 91-93 %). En revanche, les poissons ont eu une croissance plus rapide et ont atteint des poids plus élevés en fin d'expérience dans les étangs peu profonds et sans brassage d'eau. En effet, dans ces étangs, le phytoplancton a pu se développer en plus grande quantité comme ont pu l'indiquer les relevés de la chlorophylle a ainsi que les taux d'oxygène dissous brut (OD) plus importants par unité de volume au cours de la majeure partie de la période de croissance. Aucune différence n'a été remarquée d'un traitement à l'autre au niveau de la production brute d'OD par unité de surface. Le brassage quotidien a eu pour effet de produire des concentrations d'oxygène plus élevées au fond des étangs jusqu'à 23h00 mais n'a pas modifié les minima nocturnes. Aucune différence liée aux traitements n'a été observée au niveau des concentrations d'ammoniaque ou autres paramètres de qualité de l'eau. Le brassage comme "conservateur" d'oxygène n'est pas une méthode efficace pour l'amélioration de la production de cette espèce qui croît et survit sans difficulté dans des étangs non brassés, tolérant ou évitant des eaux de faible teneur en oxygène. Les stratégies de brassage et d'aération doivent être soigneusement examinées eu égard à leurs effets tant bénéfiques que préjudiciables.

Introduction

L'élevage des tilapias dans des étangs fertilisés avec des résidus agricoles est profitable sous les climats chauds en dépit de certaines caractéristiques propres à ces étangs qui seraient normalement préjudiciables à d'autres espèces. Les étangs d'eau chaude tendent à suivre des cycles nyctéméraux où le jour est caractérisé par une stratification de la densité et la nuit par un brassage par convection. Cette activité favorise un appauvrissement important en oxygène dissous (OD), notamment quand on s'approche du fond des étangs (Boyd, 1990). Toutefois, la mortalité des tilapias dans ce type de milieu est négligeable ou nulle dans la mesure où ces poissons sont résistants aux faibles niveaux d'OD et qu'ils évitent les zones où l'oxygène devient rare. Dans ces conditions où les niveaux d'OD sont suboptimaux, une inhibition de la croissance peut néanmoins se produire.

La stratification peut, en outre, affecter la production par photosynthèse de matière organique, source importante de nourriture pour les animaux d'élevage. Dans certaines conditions, la stratification peut être bénéfique car elle favorise la croissance du phytoplancton ; d'autre part, l'appauvrissement en éléments nutritifs dans les eaux de surface isolées peut avoir pour effet de limiter la production de matière organique et d'oxygène au niveau de la couche supérieure. Costa-Pierce et Pullin (1989) ont étudié les effets observés et potentiels de la stratification et du brassage (y compris la turbidité de fond) sur la production de poissons. Ils reconnaissaient que les relations entre production de poissons, production de biomasse microbienne et brassage sont spécifiques de l'espèce, ce qui est l'objet de notre discussion ci-dessous.

Szyper et coll. (1991) ont observé que : (1) dans des étangs en terre de profondeur comprise entre 0,6 à 1,5 m, les rendements en *Oreochromis niloticus* étaient proportionnels à la charge totale et aux intrants pour la fertilisation ; et (2) le brassage diurne des étangs par un système de circulation interne de l'eau peut conserver l'OD pendant le jour et améliorer les concentrations nocturnes à proximité du fond des étangs (Szyper et Lin, 1990). Comme les étangs ont donné des rendements proportionnels aux intrants, des étangs plus profonds ont produit plus de poissons par unité de surface, même en dépit du fait que ces étangs étaient plus fréquemment et fortement stratifiés. Il a donc paru raisonnable de se demander si le brassage pouvait accroître la productivité des étangs plus profonds en favorisant de meilleures concentrations d'OD et en améliorant la distribution des sels nutritifs. Cette communication relate les résultats d'une expérience conçue pour déterminer les effets du brassage sur la production de tilapia du Nil.

Matériel et méthodes

L'expérience a été réalisée dans neuf étangs en terre de 370 m² de superficie et de 0,9 et 1,5 m de profondeur d'eau à l'Institut asiatique de technologie près de Bangkok en Thaïlande. Les trois différents traitements qui ont été appliqués ont été répétés trois fois. Ces étangs ont été stockés avec des mâles (sexes déterminés par traitement hormonal selon Guerrero, 1979) juvéniles *O. niloticus* pesant chacun entre 10 et 13 g (souche Chitralada : Tangtrongpiros, 1988), et fertilisés toutes les semaines avec des fientes de volaille, de l'urée industrielle, et du superphosphate triple (SPT), comme décrit dans des expériences préalables rapportées par Szyper et coll.

(1991). Les taux de mise en charge (3 poissons·m⁻³) et de fertilisation (3,5 gN·m⁻³·semaine⁻¹) étaient proportionnels au volume des étangs.

Les trois traitements étaient les suivants : trois étangs de profondeur d'eau de 0,9 m sans brassage ; trois autres étangs plus profonds (1,5 m) également sans brassage ; et trois étangs de 1,5 m de profondeur où l'eau était brassée de 15h00 à 17h00 chaque jour. Pour le brassage, une pompe submersible de 0,5 hp (373 W) prélevait l'eau à 80 cm de profondeur (au-dessous du thermocline) et la déchargeait horizontalement à 10 cm par un conduit de 6,4 cm de diamètre.

Des méthodes conventionnelles légèrement modifiées ont été utilisées pour estimer les propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème des étangs (APHA, 1985) (Pond Dynamics/Aquaculture [PD/A] CRSP, 1989). Trois échantillons de la colonne d'eau de 90 cm ont été prélevés tous les 15 jours dans chaque étang et analysés (ammoniaque total, azote oxydé [nitrate plus nitrite], azote total d'après la méthode de Kjeldahl, orthophosphate [phosphore réactif soluble], P total, chlorophylle *a*, solides en suspension totaux [SST], et solides volatiles totaux [SVT]). Le cycle nyctéméral était suivi tous les 15 jours pour relever l'OD et la température à trois profondeurs différentes (à 25 cm de la surface, en pleine eau, et à 25 cm du fond). Ces relevés avaient lieu à 6h00, 9h00, 12h00, 16h00, 18h00, et 6h00, c'est-à-dire à six reprises au cours du cycle. La production brute d'oxygène par photosynthèse était estimée tous les 15 jours à partir des séries de données des relevés nyctéméraux (n=14 dates) selon la méthode modifiée de Hall et Moll (1975).

Tous les mois, les poissons étaient pesés et mesurés (≥30 individus capturés

à la senne), le poids total de la production de poissons étant relevé à la récolte. Une étude à court terme des cycles nyctéméraux de température et d'OD a été réalisée au cours de la deuxième partie de l'expérience à l'aide d'un dispositif de contrôle automatique (Szyper et Lin, 1990). Une analyse de régression et une analyse de variance pour un facteur ont été réalisées selon Sokal et Rohlf (1981). Le seuil de signification utilisé ici est P=0,05 sauf indication contraire. D'autres analyses des effets de divers facteurs sur la croissance des poissons ont été réalisées en utilisant la méthode de Gulland et Holt (1957 ; voir aussi Hopkins et coll., 1988).

Résultats

Les valeurs moyennes obtenues pour chaque traitement (n=3 étangs) en ce qui concerne la survie, le poids de chaque poisson en fin d'expérience, les rendements nets (extrapolation), et le rapport d'efficacité entre intrant et rendement sont présentés dans le tableau 1.

Le taux de survie a atteint entre 66,7 à 100 % au 173^{ème} jour de l'expérience ; les étangs profonds dont l'eau avait été brassée ont donné des taux de survie significativement inférieurs aux autres (ANOVA pour un seul facteur). Les poids moyens en fin d'expérience étaient compris entre 106 et 233 g par poisson, augmentant significativement dans les étangs moins profonds où l'eau n'avait pas été brassée. L'extrapolation à l'hectare et à l'année des rendements nets a donné entre 4,4 à 9,0 t·ha⁻¹·an⁻¹, ne différant pas significativement d'un traitement à l'autre. Au niveau du rapport d'efficacité entre les rendements et les intrants, des valeurs comprises entre 1,64 et 5,41 kg de poisson·kgN⁻¹ ont été obtenues, les étangs moins

Tableau 1. Survie, croissance, rendement et rapport d'efficacité rendement/intrants au cours des expériences de croissance sur le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) dans des petits étangs de différentes profondeurs avec ou sans brassage. Voir le texte pour le détail des traitements. Les données présentées ici sont les moyennes et les écarts-types (ET) obtenus dans trois séries d'étangs pour chaque traitement, stockés à raison de 3 poissons·m⁻³. Les codes-traitement sont : PB=profond (1,5 m) avec brassage ; P=profond (1,5 m) sans brassage; et PP=peu profond (0,9 m) sans brassage.

Traitement	Survie (%)	Poids individuel final (g)	Rendement (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	Efficacité rendement/intrants (kg poisson·kgN ⁻¹)
PB	76,0	124,0	5.769	2,15
	66,7	113,0	4.431	1,64
	73,9	132,0	6.079	2,21
Moyenne (ET)	72,2 (4,9)	123,0 (9,5)	5.426 (876)	2,00 (0,31)
P	100,0	106,0	6.870	2,55
	88,1	117,0	6.766	2,47
	91,3	115,0	6.497	2,40
Moyenne (ET)	93,1 (6,2)	112,7 (5,9)	6.711 (192)	2,48 (0,08)
PP	85,7	187,0	6.223	3,74
	98,8	233,0	9.004	5,41
	88,0	144,0	5.485	3,30
Moyenne (ET)	90,8 (7,0)	188,0(44,5)	6.904 (1.856)	4,15 (1,11)

profonds où l'eau n'avait pas été brassée donnant des moyennes bien plus hautes que les autres traitements.

La croissance des poissons (Fig. 1) était plus rapide dans les étangs peu profonds où l'eau n'avait pas été brassée, cette observation étant valable pour pratiquement toute la durée de l'expérience. Par ailleurs, un arrêt de croissance a été observé dans les étangs profonds (avec et sans brassage) entre les troisième et quatrième mois de l'expérience tandis qu'elle a continué dans les étangs peu profonds.

Des différences de température ont été constatées pour les différents traitements uniquement au niveau du degré de stratification diurne entre les eaux de surface et de fond. Aucune différence imputable aux traitements n'a été observée au niveau des températures moyennes de l'eau (pour trois profondeurs) relevées à 9h30 les jours de prélèvements nycthémeraux. La température moyenne pour la période expérimentale était 27,6°C (écart-

type=2,1°C ; valeurs comprises entre 22,9 et 31,6).

Quelques différences liées aux traitements ont été observées au niveau des valeurs d'OD relevées dans les étangs. Les échantillons prélevés à 9h30 (voir plus haut) ont révélé (1) des concentrations moyennes d'OD pour lesquelles il était impossible statistiquement d'établir des différences entre traitements aux trois différentes profondeurs ; et (2) des valeurs minimales et maximales semblables au cours de la période de traitement. Les concentrations moyennes d'OD à la surface étaient comprises entre 4,5 et 6,2 mg·l⁻¹ et entre 1,9 et 2,4 mg·l⁻¹ au fond. Les valeurs les plus basses ont été relevées dans les étangs profonds où l'eau était brassée tandis que les plus élevées ont été enregistrées dans les étangs peu profonds où aucun brassage n'avait été effectué.

Les étangs sans brassage (des deux profondeurs) ont donné des concentrations d'OD similaires au cours du cycle

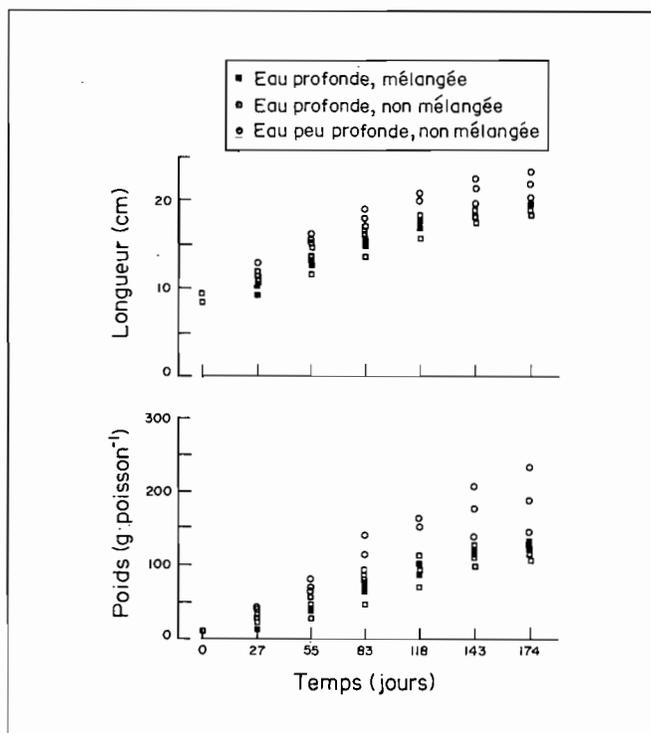


Fig. 1. Croissance moyenne du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) en termes de longueur et de poids au cours des expériences dans des petits étangs profonds et peu profonds, avec et sans brassage mécanique de l'eau. Voir le texte pour le détail des traitements. Les points sont les moyennes obtenues dans un seul étang pour des échantillons de ≥ 30 poissons ; les données de chaque étang sont rapportées, certains points étant superposés.

nyctéméral, avec des niveaux caractéristiques relevés au fond ($< 1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) pratiquement à toutes heures du jour et de la nuit, et des élévations diurnes au niveau des eaux de surface atteignant jusqu'à $> 20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (Szyper et Lin, 1990). Le démarrage des opérations de brassage à 15h00 a provoqué une élévation immédiate des concentrations d'OD au fond, de $< 1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ à $2-4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ avec des niveaux $> 1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ observés jusqu'à 23h00.

La production brute moyenne d'OD par photosynthèse par unité de surface était similaire dans tous les traitements, donnant en moyenne $16 \text{ g O}_2 \cdot \text{m}^{-2}$ environ (Fig. 2A). Les plus hautes concentrations de chlorophylle *a* (Chl) ont été relevées dans les étangs peu profonds tout au long de l'expérience (Fig. 2B). La même observation a été faite pour la production brute d'OD par unité de volume (Fig. 2C). On a observé les mêmes

phénomènes au niveau des solides en suspension et de la turbidité mesurée au disque de Secchi. L'analyse des éléments nutritifs a révélé que les concentrations de toutes les formes dissoutes de N et de P étaient constamment supérieures à celles censées limiter la croissance du phytoplancton ; les moyens étaient généralement plus basses dans les étangs peu profonds, reflétant probablement une demande plus importante vu que les stocks de phytoplancton étaient en plus grand nombre.

Discussion

Les résultats de cette étude n'ont pas permis de mettre en évidence un possible effet positif du brassage de l'eau des étangs sur la production de tilapias. La production de phytoplancton (et le

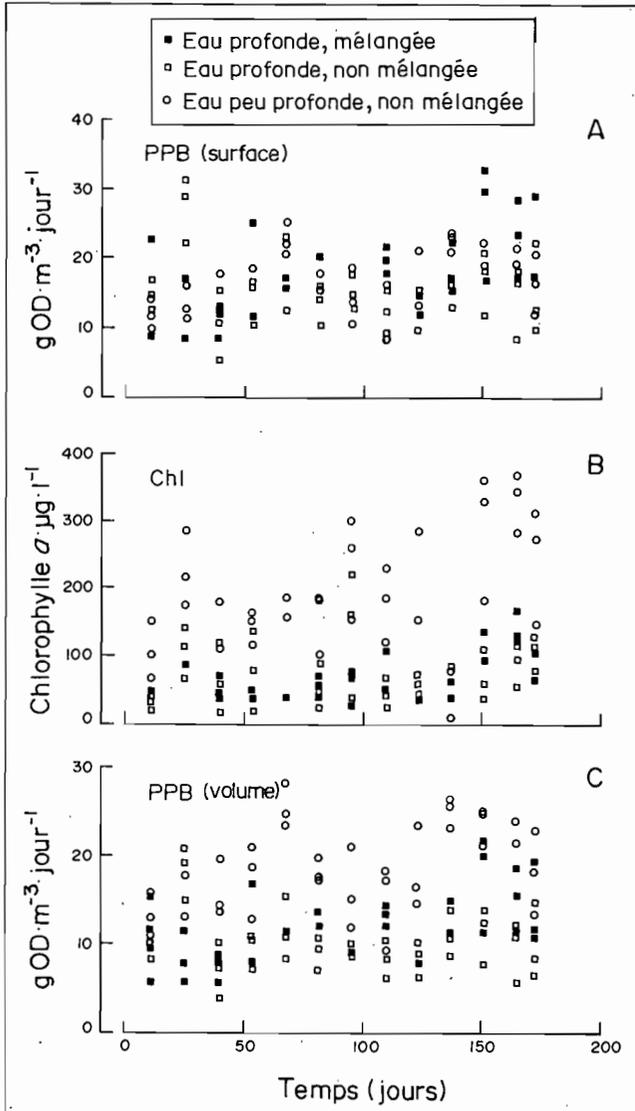


Fig. 2. Evolution dans le temps de (A) la production primaire brute d'OD par unité de surface ; (B) la chlorophylle *a* (Chl); et (C) la production primaire brute d'OD par unité de volume, pendant les expériences dans des petits étangs profonds et peu profonds, avec et sans brassage mécanique de l'eau. Voir le texte pour le détail concernant les traitements. Chaque point représente la production d'OD ou la concentration de chlorophylle dans un seul étang à la date de l'échantillonnage bimensuel ; tous les points sont tracés, certains étant superposés.

maintien de celle-ci) était beaucoup plus importante dans les étangs peu profonds sans brassage que dans les étangs profonds, que l'eau ait été ou non brassée. Ces stocks plus nombreux ont vraisemblablement constitué, au travers de la chaîne trophique, une source directe et/ou indirecte de nourriture pour les poissons (Orachunwong et coll., 1988). La population de phytoplancton et la production primaire par unité de volume sont les seuls facteurs présentant des différences suffisantes pour

rendre compte de l'accélération de la croissance des poissons dans les étangs moins profonds.

L'incorporation de la production primaire brute (PPB) par unité de volume a permis d'obtenir un bien meilleur ajustement du modèle de Gulland et Holt. Sans tenir compte de la PPB, l'ajustement indique $R^2=0,32$ (ddl=52). Quand la PPB est ajoutée à l'expression :

$$\Delta L/\Delta t = a + b_1 L + b_2 (PPB)$$

où $\Delta L/\Delta t$ est l'évolution de la longueur moyenne divisée par la longueur de la période d'échantillonnage ; L est la longueur moyenne pendant la période Δt ; et PPB est la production moyenne d'OD brute par unité de volume au cours de la période, l'ajustement de cette relation donne $R^2=0,52$ (ddl=51).

Le brassage n'a pas eu d'effet significatif sur la plupart des autres propriétés des écosystèmes. Les étangs profonds (avec et sans brassage) ont donné des fourchettes de valeurs similaires pour tous les paramètres mesurés pour la plupart des données d'échantillonnage. L'amélioration des niveaux d'OD au fond, par brassage, n'a pas eu de réelle influence sur la croissance et la production de poissons. Si l'on a pu observer un effet dû au brassage, il s'agissait d'un effet négatif sur la survie. La turbidité (argile) que l'on a observée dans tous les étangs n'explique pas cette différence dans la mesure où la quantité totale de solides en suspension ne différait pas d'un traitement à l'autre. Il est possible que le brassage dans les étangs profonds ait inhibé le développement précoce des populations de phytoplancton pendant les deux premiers mois en détruisant la stratification aux heures des plus fortes concentrations d'OD dans des étangs où l'eau n'était pas brassée. Le système de prélèvement adopté ici n'a pas permis de détecter ce type d'effet.

Les résultats de cette étude sont conformes à ceux rapportés par Szyper et coll. (1991) dans une précédente étude comparative d'étangs de différentes profondeurs, en cela que la production brute d'OD par unité de surface était similaire quelle que soit la profondeur des étangs considérés. Les taux réels de production d'OD étaient toutefois bien plus élevés dans cette étude (150-200 %) comme l'était le rapport d'efficacité entre les rendements en

poissons et les facteurs de production, reflétant ainsi l'efficacité croissante des protocoles de fertilisation mis au point par le PD/A CRSP (Knud-Hansen et coll., 1991). Les rendements en poissons obtenus au cours de la présente étude étaient un peu plus élevés que ceux obtenus dans l'étude antérieure mais ici, les densités de charge étaient plus élevées dans pratiquement la même proportion.

Les deux études ont donné des résultats différents au niveau des rapports entre rendements et profondeurs des étangs. D'après les résultats de l'étude précédente, nous pensions que les rendements des étangs profonds excéderaient ceux des étangs peu profonds en proportion de la quantité d'intrants par unité de volume (les étangs plus profonds ont reçu plus de poissons et de fertilisants). En fait, nous avons observé des rendements par unité de surface qu'il était statistiquement impossible de discerner dans les étangs des deux profondeurs. Dans la présente étude, les étangs des différents traitements ont donné des rendements où de fortes variations ont été enregistrées — variations bien plus grandes que ce qui avait été observé dans l'étude précédente ; et il y avait moins de réplicats pour chaque profondeur.

Relativement peu d'études se sont consacrées aux effets du brassage sur la productivité des étangs, notamment au niveau des comparaisons que l'on pourrait établir avec les effets positifs des systèmes d'aération. Lorio (1990) a rapporté une amélioration de la production de poissons-chats américains dans des étangs où l'eau était brassée ; Fast et coll. (1988) n'ont trouvé aucun effet significatif du brassage de l'eau sur la production de crevettes. Costa-Pierce et Pullin (1989) ont examiné des données non publiées qui reflétaient une amélioration de la croissance de *O.*

mossambicus dans des étangs avec brassage de l'eau et des sédiments. Tous ces travaux différaient de la présente étude en cela qu'une alimentation artificielle avait été prévue.

L'ambiguïté autour des effets du brassage sur la productivité des étangs peut probablement être attribuée à la diversité des relations entre les espèces d'élevage, les communautés microbiennes, et les régimes d'oxygène nycthémeraux dans les étangs. Les hypothèses présentées par Costa-Pierce et Pullin (1989) renvoient directement à cette question dans de nombreux cas, et indirectement dans d'autres. Cette revue constitue un appui considérable pour l'amélioration générale de la production microbienne totale par diverses stratégies de brassage. Toutefois, ces différentes formes de brassage affectent les régimes d'oxygène nycthémeraux de manière toute aussi différente, et ceux-ci réagissent alors réciproquement avec les espèces d'élevage et leurs différentes sources de nourriture, comme les auteurs ont pu le reconnaître. Ces derniers facteurs pourraient bien venir "troubler" l'effet positif du brassage sur la production microbienne totale, même quand la communauté microbienne totale est la source principale de nourriture. On ne devrait pas s'attendre à trouver un lien général entre la production de biomasse microbienne totale et l'amélioration des récoltes. L'échec à l'heure actuelle de l'application, dans des conditions expérimentales, du brassage de la colonne d'eau pour améliorer soit la production de poissons soit la production microbienne autotrophe, s'oppose à ce type de généralisation, bien que la production microbienne totale n'ait pas été évaluée ici.

Les expériences de fertilisation avec le tilapia du Nil montrent de plus en plus que les rendements sont liés soit aux intrants qui sont censés améliorer la pro-

duction autotrophe soit aux niveaux réels et mesurés de ce type de production (Knud-Hansen et coll., 1991, 1993). Les résultats présentés ici sont en accord avec cette nouvelle orientation. Une question à laquelle il est important de répondre dans nos travaux est si la nature de ce lien est le fruit d'une intervention plus particulière au niveau même de la nourriture ou au niveau des régimes d'oxygène nycthémeraux.

Remerciements

Ces travaux constituent un élément du Programme de soutien à la recherche collaborative sur la dynamique des étangs et l'aquaculture (PD/A CRSP) financé par l'Agence des Etats-Unis pour le développement international (USAID), Subvention n° DAN-4023G-SS-7066-00, et par des subventions de l'université de Hawaii, l'université du Michigan, l'université d'Etat du Michigan, le Ministère royal thaïlandais des Pêches, et l'Institut asiatique de technologie. Cet exposé constitue la Contribution HIMB n° 907, et PD/A CRSP n° 1091.

Littérature citée

- APHA. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16^e éd. American Public Health Association, Washington, DC.
- Boyd, C.E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University, 482 p.
- Costa-Pierce, B.A. et R.S.V. Pullin. 1989. Stirring ponds as a possible means of increasing aquaculture production. *Aquabyte* 2(3):5-7.
- Fast, A.W., K.E. Carpenter, V.J. Estilo et H.J. Gonzales. 1988. Effects of water depth and artificial mixing on dynamics of Philippine brackishwater shrimp ponds. *Aquacult. Eng.* 7:349-361.
- Guerrero, R.D. III. 1979. Culture of male *Tilapia mossambica* produced through artificial sex-reversal, p. 166-168. In T.V.R. Pillay et W.A.

- Dill (éds.) Advances in aquaculture. Fishing News Books, Farnham, Surrey, R-U.
- Gulland, J.A. et S.J. Holt. 1957. Estimation of growth parameters for data at unequal time intervals. *J. Cons. CIEM* 25(1):47-49.
- Hall, C.A.S. et R. Moll. 1975. Methods of assessing aquatic primary productivity, p. 19-53. *In* H. Lieth et R.H. Whittaker (éds.) Primary productivity of the biosphere. Springer-Verlag, New York.
- Hopkins, K.D., M.L. Hopkins et D. Pauly. 1988. A multivariate model of tilapia growth, applied to seawater tilapia culture in Kuwait, p. 29-40. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Knud-Hansen, C.F., C.D. McNabb et T.R. Batterson. 1991. Application of limnology for efficient nutrient utilisation in tropical pond aquaculture. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 24:2541-2543.
- Knud-Hansen, C.F., T.R. Batterson et C.D. McNabb. 1991. The role of chicken manure in the production of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) *Aquacult. Fish. Manage.* 24:483-493.
- Lorio, W.J. 1990. Pond recirculation increases fish production. *Aquacult. Mag.* 16:40-42.
- Orachunwong, C., J. Kugler et J. Pequignot. 1988. Growth and histological studies on the liver and anterior intestine of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on mixed foods: *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris* and commercial carp pellets, p. 361-365. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pond Dynamics/Aquaculture CRSP. 1989. CRSP work plan: fourth experimental cycle. PD/A CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon, E-U.
- Sokal, R.R. et F.J. Rohlf. 1981. Biometry. W.H. Freeman and Company, San Francisco, California, E-U.
- Szyper, J.P. et C.K. Lin. 1990. Techniques for assessment of stratification and effects of mechanical mixing in tropical fish ponds. *Aquacult. Eng.* 9:151-165.
- Szyper, J.P., K.D. Hopkins et C.K. Lin. 1991. Production of *Oreochromis niloticus* (L.) and ecosystem dynamics in manured ponds of three depths. *Aquacult. Fish. Manage.* 22:169-180.
- Tangtrongpiros, M. 1988. The status of wild and cultured tilapia genetic resources in Thailand, p. 45-48. *In* R.S.V. Pullin (éd.) Tilapia genetic resources for aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 16, 108 p.

Production d'alevins de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) dans des bassins d'eau saumâtre sous divers régimes alimentaires et densités de charge

W.O. WATANABE

S.J. SMITH

W.D. HEAD

K.W. MUELLER

*Caribbean Marine Research Center
805 East 46th Place
Vero Beach, Florida 32963, Etats-Unis
et
Lee Stocking Island, Bahamas*

WATANABE, W.O., S.J. SMITH, W.D. HEAD et K.W. MUELLER. 1996. Production d'alevins de tilapias rouges (*Oreochromis* sp.) dans des bassins d'eau saumâtre sous divers régimes alimentaires et densités de charge, p. 176-184. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des alevins de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) à vésicule résorbée (poids moyen 0,010 g) ont été stockés dans des bassins cylindroconiques de 530 l à des densités de charge de 5,7 ; 9,4 ; et 13,2 · l⁻¹ ; et nourris pendant 30 jours avec des aliments contenant des androgènes pour induire une inversion sexuelle. Les bassins étaient alimentés par un système d'approvisionnement d'eau saumâtre en circuit fermé (11-12 ‰). Les valeurs enregistrées pour les poids en fin d'expérience (moyenne 0,478 g), les coefficients de variation (CV) du poids (moyenne 64 %) et la survie (moyenne 58 %) n'étaient pas significativement différentes ($P > 0,05$) d'un traitement à l'autre, suggérant ainsi qu'il est possible d'appliquer des densités plus élevées. Dans une autre étude, des alevins post-larvaires (poids moyen 0,014 g) ont été stockés à raison de 5,7 poissons · l⁻¹ et nourris pendant 40 jours par un système de nourrissage intermittent à la volée (NV) ou automatique continu (NA). Les poids en fin d'expérience, les coefficients de variation du poids, et les survies étaient bien plus élevées ($P \leq 0,01$; 0,05, et 0,05 respectivement) dans le groupe NA (4,04 g ; 79 % et 56 %) que dans le groupe NV (1,43 g ; 70 % et 38 %). Le nourrissage NA des alevins a donc donné des taux de croissance et de survie plus élevés mais avec de plus grandes variations au niveau de la croissance.

Introduction

L'élevage intensif en bassins d'eau salée est peut-être préférable à l'élevage en grands étangs à ciel ouvert pour la production de semence de tilapias dans les zones côtières tropicales ou arides où les ressources en eau douce sont souvent limitées (Hida et coll., 1962; Uchida et King, 1962; Al-Ahmad et

coll., 1988 ; Ridha et Cruz, 1989 ; Ernst et coll., 1991). Techniquement, la production à l'échelle commerciale de semence de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) (oeufs, alevins à la vésicule non résorbés et alevins post-larvaires) en bassins d'eau saumâtre (12-18 ‰) est possible comme l'ont démontré les travaux de Watanabe et coll. (1989) ; Ernst et coll. (1991) ;

Smith et coll. (1991) ; et Watanabe et coll. (1992). Il est important de connaître les performances de cette semence (survie et croissance) pour évaluer son intérêt économique.

Les densités de charge et les régimes alimentaires ne sont pas toujours quantifiées dans les bassins d'alevinage des écloséries de tilapias, et de nombreux aquaculteurs ont tendance à "surstocker" pour compenser les pertes dues au cannibalisme (Macintosh et De Silva, 1984). L'aquaculture intensive en bassin nécessite un gros investissement en termes d'infrastructure et de main d'oeuvre, et exige par conséquent d'optimiser les taux de densité ainsi que les régimes alimentaires. Le but de cette étude était double : (1) évaluer la production d'alevins néomâles de tilapias rouges de Floride dans des conditions d'élevage intensif en bassins d'eau saumâtre à différentes densités de charge ; et (2) comparer cette production eu égard aux systèmes de nourrissage intermittent à la volée et automatique continu dans le cadre d'une opération commerciale en éclosérie.

Matériel et méthodes

L'étude a été menée à l'éclosérie de tilapias du Caribbean Marine Research Center (Ernst, 1989), situé sur l'île Lee Stocking (Exuma Cays, Bahamas).

Les reproducteurs de tilapias rouges utilisés dans le cadre de ces travaux sont une souche commerciale connue sous le nom de tilapia rouge de Floride, descendants d'un croisement original de *Oreochromis urolepis hornorum* et *O. mossambicus* (Behrends et coll., 1982). Des reproducteurs nés dans l'année ont été placés dans des bassins de 34,2 m² alimentés en circuit fermé par de l'eau saumâtre (12 ‰) dans un rapport de charge de 180 femelles pour 60 mâles.

La semence, consistant en oeufs, alevins vésiculés et post-larvaires (c'est-à-dire, alevins nageurs) a été collectée en les retirant de la bouche des femelles (Ernst et coll., 1991), opération qui a duré trois jours. Les alevins nageurs ont été placés dans des bassins de 530 l à 12 ‰, tandis que les oeufs ont été placés dans des incubateurs cylindriques à courant ascendant de 6,5 l remplis d'eau saumâtre en circuit fermé (12 ‰). Les alevins post-larvaires étaient transférés tous les jours dans des bassins de 530 l jusqu'à obtenir un nombre suffisant de ces alevins pour démarrer les expériences.

Production d'alevins à différentes densités de charge

Des alevins post-larvaires (poids moyen 0,010 g ; longueur totale 9,6 mm) ont été stockés par écoulement gravitaire dans 10 bassins cylindro-coniques de 530 l à une densité de 5,7 poissons·l⁻¹ (3.000/bassin, trois répliquats), 9,4 poissons·l⁻¹ (5.000/bassin, quatre répliquats) et 13,2 poissons·l⁻¹ (7.000/bassin, trois répliquats). Les coefficients de variation (CV) du poids en début d'expérience ont atteint en moyenne 35 % (Tableau 1). Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée au niveau des poids de début d'expérience, de la longueur, et des CV des poids (Tableau 1) d'un groupe de traitement à l'autre. Les densités moyennes étaient comprises entre 0,054 g·l⁻¹ (5,7 poissons·l⁻¹) et 0,128 g·l⁻¹ (13,2 poissons·l⁻¹) (Tableau 1).

Les alevins ont été nourris avec l'aliment Purina Trout Chow (48 % de protéines) contenant de la 17 α -éthynyltestostérone (60 mg·kg⁻¹ d'aliment) pendant 30 jours (Guerrero, 1975) cinq fois par jour (à 8h00, 10h00, 12h00, 14h00 et 16h00) pendant 30 minutes jusqu'à satiété, et les rations ont été

Tableau 1. Performances de croissance des alevins post-larvaires de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) élevés pendant 30 jours dans des bassins (530 l) d'eau saumâtre (12 ‰) à trois densités de charge.

	Densité de charge (poissons·l ⁻¹)			
	5,7	9,4	13,2	P*
Début d'expérience				
Poids (g)	0,010 ± 0,001 ¹	0,011 ± 0,001	0,010 ± 0,0003	-
Longueur (mm)	9,7 ± 0,2	9,7 ± 0,1	9,4 ± 0,1	-
CV du poids ²	34,2 ± 1,6	33,4 ± 3,8	37,1 ± 8,2	-
Biomasse (g·l ⁻¹)	0,054 ± 0,003 ^a	0,099 ± 0,005 ^b	0,128 ± 0,004 ^c	<0,001
Fin d'expérience				
Poids (g)	0,441 ± 0,033	0,485 ± 0,026	0,507 ± 0,003	-
Longueur (mm)	25,7 ± 0,3	26,3 ± 0,3	26,9 ± 0,2	-
CV du poids (%) ²	68,3 ± 4,5	66,0 ± 1,8	57,7 ± 2,3	-
TCS (% pc·jour ⁻¹) ³	12,5 ± 0,4	12,8 ± 0,2	13,2 ± 0,1	-
Survie (%)	50,7 ± 4,7	65,9 ± 2,5	57,3 ± 6,1	-
IC ⁴	2,32 ± 0,26 ^a	1,22 ± 0,07 ^b	1,31 ± 0,11 ^b	<0,005
Biomasse (g·l ⁻¹)	1,25 ± 0,07 ^a	3,01 ± 0,17 ^b	3,84 ± 0,39 ^c	<0,001
Rendement (poisson·l ⁻¹)	2,87 ± 0,26 ^a	6,22 ± 0,23 ^b	7,56 ± 0,08 ^c	<0,001

*Seuil quand l'analyse de variance était significative.

¹Les données sont des moyennes ± erreur standard (n=3 pour 5,7 et 13,2·l⁻¹; n=4 pour 9,4·l⁻¹). Les moyennes à l'intérieur d'une même ligne et portant différentes lettres en exposant sont significativement différentes (P<0,05, SNK).

²CV = coefficient de variation = Ecart-type·100/moyenne.

³TCS = taux de croissance spécifique = [(ln poids final - ln poids initial)·100]/Δt.

⁴IC = indice de consommation = poids sec de l'aliment/gain pondéral frais.

ajustées tous les jours en fonction de la quantité de nourriture restant au fond des bassins le lendemain matin.

Le suivi de la croissance a été assuré en prélevant dans chaque bassin un échantillon de 100 poissons aux jours 0 et 30, et un échantillon de 50 poissons aux jours 10 et 20, que l'on a pesés et mesurés (longueur totale). Les poissons prélevés n'ont pas été remis dans les bassins. Le taux de survie et le nombre des poissons restant dans chaque bassin au 30^{ème} jour ont été déterminés par gravimétrie.

Les bassins d'élevage étaient aérés par un système d'aération diffuse et l'eau était recyclée par filtrage biologique (Ernst, 1989). Les températures maximales (30,4±0,1°C=moyenne±erreur standard) et minimales (29,7±0,2°C) de

l'eau, la salinité (11,6±0,2 ‰) et l'oxygène dissous (6,0±0,3 mg·l⁻¹) étaient mesurés tous les jours. Le NH₄-N (0,38±0,19 mg·l⁻¹), NO₂-N (0,08±0,04 mg·l⁻¹), l'alcalinité (232±11 mg·l⁻¹) et le pH (8,37±0,14) étaient mesurés toutes les semaines.

Production d'alevins suivant un système de nourrissage intermittent à la volée et automatique continu

Dans une autre étude, des alevins post-larvaires (poids moyen 0,014 g ; longueur totale 9,60 mm) ont été stockés dans six bassins cylindroconiques de 530 l à une densité de 5,7 poissons·l⁻¹ (3.000/bassin) et nourris pendant 40 jours selon un système de nourrissage intermittent à la volée (NV) ou

automatique continu (NA). Trois réplicats ont été prévus pour chaque traitement. Les CV des poids en début d'expérience étaient en moyenne de 44,7 % et la densité de la biomasse en moyenne de 0,08 g·l⁻¹ (Tableau 2). Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée au niveau du poids en début d'expérience, de la longueur, des CV des poids ou de la biomasse, d'un groupe de traitement à l'autre (Tableau 2).

Les poissons ont été nourris avec l'aliment traité aux hormones pendant 30 jours puis avec un aliment non traité pour le reste de la période expérimentale. Dans le cadre du traitement NV où les aliments étaient distribués manuellement au-dessus du bassin, les poissons étaient nourris cinq fois par jour (à 8h00, 10h00, 12h00, 14h00 et 16h00) jusqu'à satiété. Les rations étaient

ajustées tous les jours en fonction de la quantité de nourriture restant au fond des bassins le lendemain matin.

Dans le cadre du traitement NA, les poissons étaient nourris continuellement sur une période de huit heures (8h30-16h30) par distributeur automatique (Zeigler Bros. Inc., Gardners, Pennsylvanie, Etats-Unis). Les poissons étaient nourris à satiété, les rations étant ajustées comme décrit ci-dessus.

Cent poissons ont été prélevés dans chaque bassin aux jours 1, 10, 20, 30 et 40, et ont été pesés et mesurés. Ils n'ont toutefois pas été remis dans les bassins. Le taux de survie et le nombre des poissons restant dans chaque bassin au 40^{ème} jour ont été déterminés par gravimétrie.

Les températures maximales (30,5±0,1°C) et minimales (30,1±0,1°C) de l'eau, la salinité (11,4±0,3 ‰) et

Tableau 2. Performances de croissance des alevins post-larvaires de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) élevés pendant 40 jours dans des bassins (530 l) d'eau saumâtre (12 ‰) à trois densités de charge suivant deux systèmes de nourrissage intermittent à la volée et automatique continu.

	Système de nourrissage		
	A la volée	Automatique	P*
Début d'expérience			
Poids (g)	0,012 ± 0,001 ^a	0,015 ± 0,002	-
Longueur (mm)	9,43 ± 0,18	9,77 ± 0,35	-
CV des poids ^b	44,6 ± 9,4	44,7 ± 1,4	-
Biomasse (g·l ⁻¹)	0,08 ± 0,002	0,08 ± 0,001	-
Fin d'expérience			
Poids (g)	1,43 ± 0,12	4,04 ± 0,35	<0,01
Longueur (mm)	39,9 ± 0,9	55,4 ± 1,2	
CV des poids (%) ^b	69,6 ± 2,3	79,0 ± 0,01	<0,001
TCS (% pc·jour ⁻¹) ^c	11,9 ± 0,4	14,0 ± 0,2	<0,05
Survie (%)	37,9 ± 1,9	56,0 ± 6,2	<0,01
IC ^d	2,87 ± 0,46	0,74 ± 0,03	<0,05
Biomasse (g·l ⁻¹)	3,25 ± 0,47	13,0 ± 0,56	<0,001
Rendement (poisson·l ⁻¹)	2,24 ± 1,60	3,27 ± 0,34	<0,05

*Seuil quand des différences significatives entre traitements ont été observées.

^aLes données sont des moyennes ± erreur standard (n=3).

^bCV = coefficient de variation = Ecart-type·100/moyenne.

^cTCS = taux de croissance spécifique = [(ln poids-final - ln poids-initial):100]/Δt.

^dIC = indice de consommation = poids sec de l'aliment/gain pondéral frais.

l'oxygène dissous ($6,0 \pm 0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) étaient mesurés tous les jours. Le $\text{NH}_4\text{-N}$ ($0,39 \pm 0,06 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), $\text{NO}_2\text{-N}$ ($0,08 \pm 0,03 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), l'alcalinité ($169 \pm 7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) et le pH ($8,11 \pm 0,06$) étaient mesurés toutes les semaines.

Les valeurs moyennes obtenues pour le poids des poissons, leur longueur, les CV des poids, le taux de croissance, la survie, les indices de consommation, les rendements et les biomasses ont été comparées par analyse de variance. Les comparaisons multiples des moyennes ont été exécutées par le test de Student-Newman-Keuls. Le seuil de signification pour tous les essais était $P \leq 0,05$.

Résultats

Production d'alevins à différentes densités de charge

Les poids moyen des alevins élevés à différentes densités de charge étaient pratiquement les mêmes tout au long des 30 jours de l'étude. Les poids moyens et les longueurs moyennes en fin d'expérience (moyenne $0,478 \text{ g}$; $9,6 \text{ mm}$), CV des poids (moyenne 64%), le taux de croissance spécifique (moyenne $12,8 \%$ du poids corporel [$\text{pc} \cdot \text{jour}^{-1}$]) et la survie (moyenne 58%) n'ont pas révélé de différence significative d'un traitement à l'autre (Tableau 1).

L'indice de consommation était bien plus élevé ($P < 0,01$) chez les poissons stockés à une densité de $5,7 \cdot \text{l}^{-1}$ ($2,32$) que chez les poissons stockés à $9,4 \cdot \text{l}^{-1}$ ($1,22$) et $13,2 \cdot \text{l}^{-1}$ ($1,31$) (Tableau 1).

La biomasse en fin d'expérience a sensiblement augmenté ($P < 0,001$) avec l'augmentation de la densité de charge, donnant des valeurs comprises entre $1,25 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ($2,87 \text{ poissons} \cdot \text{l}^{-1}$) à $3,84 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ($7,56 \text{ poissons} \cdot \text{l}^{-1}$) (Tableau 1).

Production de tilapias rouges de Floride suivant un système de nourrissage intermittent à la volée et automatique continu

Les poids moyens des poissons des groupes de nourrissage NV et NA sont restés pratiquement les mêmes pendant 20 jours puis ont commencé à marquer des différences (Fig. 1). Au bout de 40 jours, le taux de croissance spécifique et les poids moyens étaient visiblement plus élevés dans le groupe de nourrissage NA ($4,04 \text{ g}$; $14,0 \%$ $\text{pc} \cdot \text{jour}^{-1}$) que dans le groupe NV ($1,43 \text{ g}$; $11,9 \%$ $\text{pc} \cdot \text{jour}^{-1}$), avec des différences hautement significatives ($P < 0,01$) observées d'un traitement à l'autre (Tableau 2). Les CV des poids en fin d'expérience étaient bien plus élevés dans le groupe NA (79%) que dans le groupe NV (70%) (Tableau 2, Fig. 2).

Le taux de survie était plus élevé et l'indice de consommation plus bas dans le groupe NA (56% et $0,74$) que dans le groupe NV (38% et $2,87$), avec des différences significatives observées d'un traitement à l'autre (Tableau 2). Les rendements et la biomasse en fin d'expérience étaient plus élevés dans le groupe NA ($13,0 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ et $3,27 \text{ poissons} \cdot \text{l}^{-1}$) que dans le groupe NV ($3,25 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, $2,24 \text{ poissons} \cdot \text{l}^{-1}$), avec des différences significatives ($P < 0,001$ et $P < 0,05$, respectivement) observées d'un traitement à l'autre (Tableau 2).

Les poissons des deux groupes de traitement étaient initialement nourris au taux de $17,0 \%$ $\text{pc} \cdot \text{jour}^{-1}$. La quantité totale d'aliments distribuée dans chaque bassin pendant les 40 jours de l'étude était significativement plus élevée ($P < 0,01$) dans les bassins de nourrissage NA (moyenne $5,082 \pm 47 \text{ g}$) que dans les bassins NV (moyenne $4,596 \pm 84 \text{ g}$). Toutefois, au 40^{ème} jour, le taux de nourrissage était bien plus bas ($P < 0,01$) chez le groupe NA ($4,52 \pm 0,17 \%$ $\text{pc} \cdot \text{jour}^{-1}$)

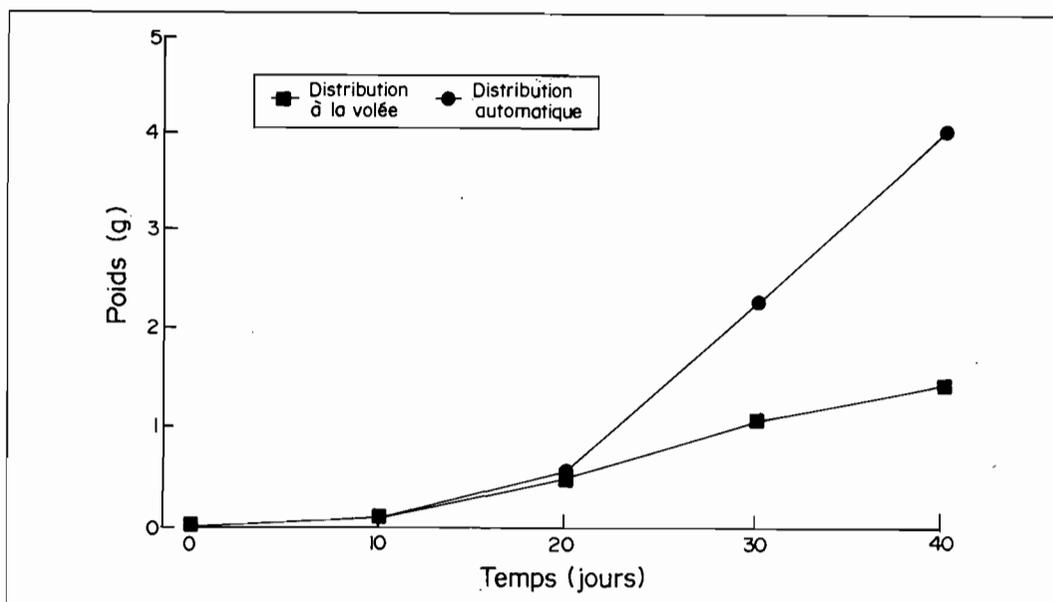


Fig. 1. Croissance d'alevins post-larvaires de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) sur une période de 40 jours dans des bassins de 530 l d'eau saumâtre (12 ‰) sous des régimes de distribution d'aliments intermittente à la volée et automatique continue.

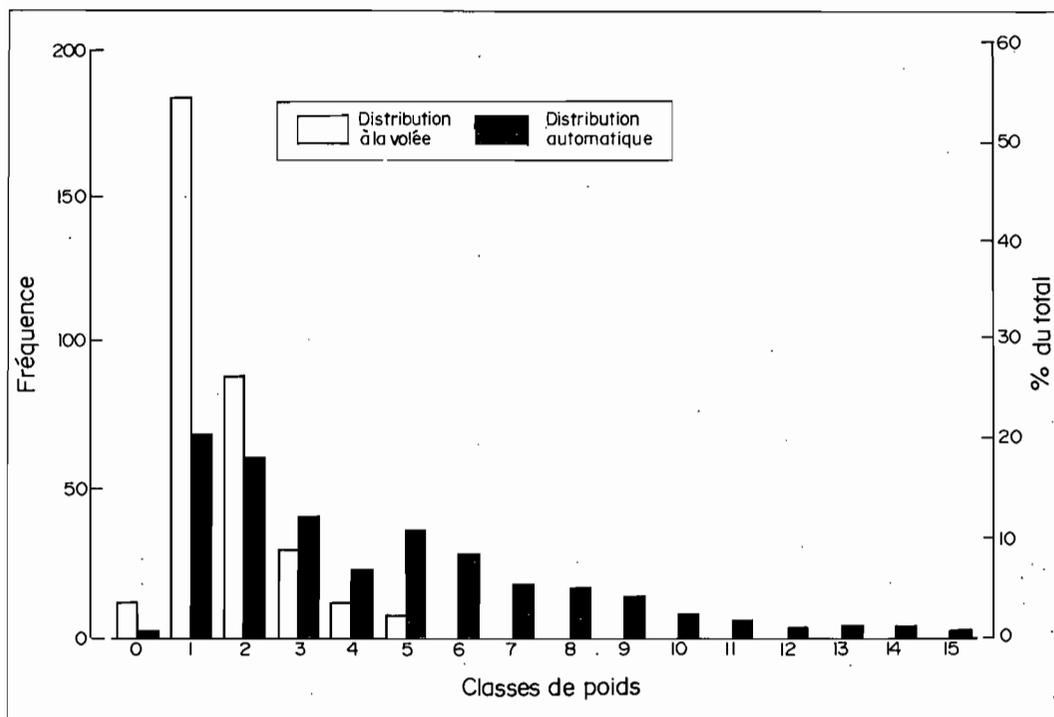


Fig. 2. Distribution des fréquences de poids des alevins de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) élevés pendant 40 jours dans des bassins de 530 l d'eau saumâtre (12 ‰) sous des régimes de distribution d'aliments intermittente à la volée et automatique continue. La classe de poids 1 se réfère à une gamme de poids de 0,30 à 1,28 g où chaque classe suivante représente un accroissement de 0,98 g jusqu'à un maximum de 15 g. La classe de poids 0 se réfère à une gamme de poids < 0,30 g.

que chez le groupe NV ($16,5 \pm 2,6$ % pc·jour⁻¹).

Discussion

Dans les écloséries à vocation commerciale, la croissance et la survie des alevins post-larvaires de tilapias rouges de Floride dans des bassins d'eau saumâtre n'ont pas été contrariées par des densités de charge comprises entre 5,7 et 13,2·l⁻¹, laissant penser que des rendements plus importants peuvent être obtenus à des densités de charge plus élevées. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus en laboratoire et montrent qu'il n'y a pas de corrélation entre les taux de survie et de croissance des alevins post-larvaires de *O. mossambicus* et des hybrides *O. niloticus* x *O. aureus* élevés en aquariums d'eau douce, et la densité de charge entre 2 et 12·l⁻¹ (Macintosh et De Silva, 1984).

Les taux moyens de survie observés pour toutes les densités de charge de la présente étude (58 %), sont comparables à ceux rapportés pour *O. spilurus* (46-68 %) élevé aux densités de 2-8·l⁻¹ dans des bassins de 0,5 m³ de faible salinité (3-4 ‰) (Al-Ahmad et coll., 1988). Bien que des taux de survie plus élevés aient été rapportés pour *O. niloticus* (78,1 %) (Guerrero et Guerrero, 1988) et *O. aureus* (82,3-96,8 %) (Snow et coll., 1983) dans des bassins d'eau douce (7,3-10 m³), les densités de charge appliquées étaient bien plus faibles (0,062-0,25·l⁻¹).

Peu de poissons morts ou moribonds ont été observés quelle que soit la densité de charge tout au long de l'étude, laissant suggérer que la plupart des mortalités étaient dues au cannibalisme (Uchida et King, 1962 ; Macintosh et De Silva, 1984 ; Pantastico et coll., 1988 ; Watanabe et coll., 1992). Toutefois, des variations de croissance (c'est-à-dire, les CV des poids) et de survie similaires ont

été observées aux différentes densités, ce qui conduit à penser que les interactions comportementales (c'est-à-dire, les agressions entre les poissons) n'étaient pas soumises à l'influence des densités de charge (Brett, 1979) appliquées dans cette étude.

Le NA continu a donné de meilleurs indices de consommation et des taux de croissance et de survie d'alevins post-larvaires plus élevés que ceux obtenus avec le NV intermittent distribué à la volée. Ceci est peut-être dû au fait que le système digestif des tilapias est adapté à assimiler un apport continu de petites quantités de nourriture (Jauncey et Ross, 1982).

Comme on a pu l'observer pour les poissons élevés à des densités de charge différentes, la plupart des mortalités observées chez les poissons nourris automatiquement ou à la volée étaient dues au phénomène de cannibalisme. Toutefois, le NA, et la distribution continue qu'un tel système implique, peut avoir réduit la tendance au cannibalisme des alevins et la survie a pu s'en trouver améliorée. Chez *O. niloticus*, le cannibalisme des alevins nourris manuellement trois fois par jour était inversement lié aux rations distribuées (6, 12 et 24 % pc·jour⁻¹) (Macintosh et De Silva, 1984). Dans la présente étude, une quantité plus importante de nourriture a été distribuée dans les bassins NA mais les rations en fin d'expérience étaient beaucoup plus élevées dans les bassins NV que dans les bassins NA (16,5 contre 4,52 % pc·jour⁻¹), ceci étant dû à la quantité relativement plus importante de biomasse présente dans les bassins NA. Ainsi, le système d'alimentation peut être un facteur plus important que la ration alimentaire même dans la réduction du taux de cannibalisme.

Les variations au niveau de la croissance étaient plus importantes chez

les poissons soumis au régime NA que chez ceux soumis au régime NV. Sous le régime NA, la distribution de petites quantités de nourriture à la surface de l'eau dans un secteur limité a sans doute permis aux individus dominants de monopoliser les aliments avec plus d'efficacité que sous le régime NV où des quantités relativement importantes étaient distribuées sur des périodes relativement courtes. Ceci peut avoir accentué l'effet de la relation poids/hierarchie (Koebele, 1985) dans les bassins où l'alimentation était distribuée automatiquement.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au soutien du Programme national de recherche sous-marine de l'Administration océanique et atmosphérique nationale, Ministère nord-américain du Commerce, et à l'appui de la Fondation Perry. Nous tenons à remercier Simon C. Ellis pour l'assistance technique qu'il a fournie.

Littérature citée

- Al-Ahmad, T.A., M. Ridha et A.A. Al-Ahmed. 1988. Reproductive performance of the tilapia *Oreochromis spilurus* in seawater and brackish groundwater. *Aquaculture* 73:323-332.
- Behrends, L.L., R.G. Nelson, R.O. Smitherman et N.M. Stone. 1982. Breeding and culture of the red-gold color phase. *J. World Maricult. Soc.* 13:210-220.
- Brett, J.R. 1979. Environmental factors and growth, p. 599-675. *In* W.S. Hoar, D.J. Randall et J.R. Brett (éds.) *Fish physiology*. Vol. 8. Academic Press, New York.
- Ernst, D.H. 1989. Design and operation of a hatchery for seawater production of tilapia in the Caribbean. *Proc. Gulf Caribb. Fish. Inst.* 39:420-434.
- Ernst, D.H., W.O. Watanabe, L.J. Ellingson, R.I. Wicklund et B.L. Olla. 1991. Commercial-scale production of Florida red tilapia seed in low- and brackish-salinity tanks. *J. World Aquacult. Soc.* 22:36-44.
- Guerrero, R.D. 1975. Use of androgens for the production of all-male *Tilapia aurea* (Steindachner). *Trans. Am. Fish. Soc.* 104:342-348.
- Guerrero, R.D. III et L.A. Guerrero. 1988. Feasibility of commercial production of sex-reversed Nile tilapia fingerlings in the Philippines, p. 183-186. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Hida, T.S., J.R. Harada et J.E. King. 1962. Rearing tilapia for tuna bait. *US Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.* 198(62):1-20.
- Jauncey, K. et B. Ross. 1982. A guide to tilapia feeds and feeding. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, R-U. 111 p.
- Koebele, B.P. 1985. Growth and the size hierarchy effect: an experimental assessment of three proposed mechanisms; activity differences, disproportional food acquisition, physiological stress. *Environ. Biol. Fish.* 12(3):181-188.
- Macintosh, D.J. et S.S. De Silva. 1984. The influence of stocking density and food ration on fry survival and growth in *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus* female x *O. aureus* male hybrids reared in a closed circulated system. *Aquaculture* 41:345-358.
- Pantastico, J.B., M.M.A. Dangilan et R.V. Eguia. 1988. Cannibalism among different sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry/fingerlings and the effect of natural food, p. 465-688. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Ridha, M. et E.M. Cruz. 1989. Effect of age on the fecundity of the tilapia *Oreochromis spilurus*. *Asian Fish. Sci.* 2:239-247.
- Smith, S.J., W.O. Watanabe, J.R. Chan, D.H. Ernst, R.I. Wicklund et B.L. Olla. 1991. Hatchery production of Florida red tilapia seed in brackishwater tanks: the influence of broodstock age. *Aquacult. Fish. Manage.* 22:141-147.
- Snow, J.R., J.M. Berrios-Hernandez et H.Y. Ye. 1983. A modular system for producing tilapia seed using simple facilities, p. 402-412. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) *Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv University, Israël.
- Uchida, R.N. et J.E. King. 1962. Tank culture of tilapia. *US Fish Wildl. Serv. Fish. Bull.* 199(62):21-47.
- Watanabe, W.O., K.M. Burnett, B.L. Olla et R.I. Wicklund. 1989. The effects of salinity on reproductive performance of Florida red

tilapia. *J. World Aquacult. Soc.* 20:223-229.
Watanabe, W.O., S.J. Smith, R.I. Wicklund et B.L.
Olla. 1992. Hatchery production of Florida

red tilapia seed in brackishwater tanks under
natural-mouthbrooding and clutch-removal
methods. *Aquaculture* 102:77-88.

Production de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) dans des bassins d'eau de mer au courant continu à trois densités de mise en charge

W.O. WATANABE

J.R. CHAN

S.J. SMITH

R.I. WICKLUND

Caribbean Marine Research Center

805 E. 46th Place

Vero Beach, Florida 32963, Etats-Unis

B.L. OLLA

National Marine Fisheries Service

Hatfield Marine Science Center

Newport, Oregon 97365, Etats-Unis

WATANABE, W.O., J.R. CHAN, S.J. SMITH, R.I. WICKLUND et B.L. OLLA., 1996. Production de tilapias rouges de Floride (*Oreochromis* sp.) dans des bassins d'eau de mer au courant continu à trois densités de mise en charge, p. 185-192. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des fingerlings néomâles de tilapia rouge de Floride (*Oreochromis* sp.) d'un poids moyen de 5,36 g stockés aux densités de 15, 25, et 35 poissons·m⁻³ dans neuf bassins de 10 m³ alimentés par de l'eau de mer à 37 ‰ ont été soumis pendant 150 jours à des régimes alimentaires contenant 32 % et 20 % de protéines. Chaque bassin était alimenté par de l'eau de mer en courant continu (800 l·jour⁻¹) et pourvu d'un système d'aération. Au bout de 150 jours, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée d'un traitement à l'autre au niveau du poids des poissons (moyenne 462 g), du taux de croissance spécifique (moyenne 2,98 %·jour⁻¹), du gain pondéral (moyenne 3,04 g·jour⁻¹), de la survie (moyenne 94,4 %), du taux de consommation (moyenne 5,17 % du poids corporel [pc]·jour⁻¹) et de l'indice de consommation (moyenne 1,80). Les coefficients de variation du poids en début et fin d'expérience étaient en moyenne de 34,4 % et 22,8 % respectivement, et n'ont pas considérablement varié ($P > 0,05$) d'un traitement à l'autre. La biomasse (kg·m⁻³) en fin de traitement s'est accrue avec l'augmentation de la densité de charge, de 6,69 pour les bassins stockés à 15 poissons·m⁻³ à 15,4 pour les bassins stockés à 35 poissons·m⁻³. Les résultats obtenus ont démontré que l'utilisation d'eau de mer ne posait aucun frein à la croissance et à la survie des poissons, et que les variations de croissance ne s'amplifiaient pas à des densités de charge allant jusqu'à 35 poissons·m⁻³. Ceci suggère qu'il est possible d'augmenter les densités de charge en vue d'une augmentation de la production.

Une parasitose transmise par un trématode monogène marin (*Neobenedenia melleni*) a été observée occasionnellement chez les poissons quelle que soit la densité de charge appliquée. Un traitement à l'eau saumâtre (18 ‰ pendant 72 heures) a permis aux symptômes de cette parasitose de se dissiper pendant des périodes allant de 26 à 91 jours.

Introduction

L'élevage intensif de tilapias résistants à la salinité dans des bassins alimentés avec de l'eau de mer en courant continu présente un intérêt commercial dans les Caraïbes et autres régions côtières tropicales où l'eau de mer est disponible en quantités abondantes et où les températures sont favorables tout au long de l'année, mais où les ressources en eau douce et en terres sont limitées (Watanabe, 1991). Les travaux de Ernst et coll. (1989) et Clark et coll. (1990) ont montré que les taux de croissance élevés et les indices de consommation efficaces obtenus chez la souche tilapia rouge de Floride (*Oreochromis* sp.) dans des bassins d'eau de mer (36 ‰), du stade du fingerling au poisson de taille commerciale, en faisaient une souche convenant tout à fait à l'élevage à des taux de salinité élevés.

Bien qu'un certain nombre d'études aient examiné les effets de la densité de charge sur la production de tilapias en cages (par exemple, Wannigama et coll., 1985 ; Carro-Anzalotta et McGinty, 1986 ; McGeachin et coll., 1987 ; Watanabe et coll., 1990), il existe encore peu d'information sur les effets de la densité sur la production en bassins. Dans la présente étude, la production de tilapias rouges de Floride en bassins d'eau de mer en courant continu a été évaluée à trois densités de charge.

Matériel et méthodes

Cette étude a été menée au Caribbean Marine Research Center (CMRC) sur l'île Lee Stocking (Exuma Cays, Bahamas) de mai à octobre 1989. Les reproducteurs de tilapias rouges de Floride utilisés dans le cadre de ces travaux sont des hybrides descendant d'un croisement original entre *Oreo-*

chromis urolepis hornorum (femelle) et *O. mossambicus* (mâle) (Behrends et coll., 1982). Les reproducteurs ont pondu naturellement dans des bassins à ciel ouvert contenant de l'eau saumâtre à 12 ‰. Les alevins post-larvaires (<1 cm) ont été placés dans des bassins (0,56 m³) alimentés en circuit fermé par de l'eau saumâtre à 12 ‰ et pourvus d'un système d'aération. Ces alevins ont été nourris avec l'aliment Purina Trout Chow (50 % de protéines) contenant de la 17 α -éthynyltestostérone (60 mg·kg⁻¹ d'aliment) pendant 28 jours (Guerrero, 1975), puis transférés dans quatre bassins de 3,9 m³ à ciel ouvert, acclimatés à l'eau de mer à 37 ‰ à raison d'environ 5 ‰·jour⁻¹, et élevés dans ce milieu pendant une nouvelle période de 26 jours. Au cours de cette période, les alevins ont été nourris à volonté trois fois par jour avec l'aliment Purina Tilapia Chow contenant 32 % de protéines.

Le 16 mai 1989, les fingerlings ont été calibrés et stockés dans neuf bassins plastifiés (5,4 m de diamètre, 10 m³) à trois densités de charge : 15 poissons·m⁻³, 25 poissons·m⁻³ et 35 poissons·m⁻³. Trois réplicats ont été prévus pour chaque traitement. Chaque bassin était équipé d'un système d'aération et d'alimentation d'eau de mer en courant continu fonctionnant à un taux d'échange de 800 ‰·jour⁻¹.

Le jour de la mise en charge (jour 0 de l'expérience), 35 poissons ont été prélevés dans chaque bassin, anesthésiés (2-phénoxyéthanol, 0,3 ‰), mesurés, pesés, et replacés dans leurs bassins respectifs. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée d'un traitement à l'autre au niveau des poids moyens en début d'expérience (moyenne 5,36 g), des longueurs totales (moyenne 66,2 mm), et des coefficients de variation de poids en début d'expérience (CV des poids) (moyenne 34,4 %) et de longueur (CV des

longueurs) (moyenne 11,7 %) (Tableau 1). La biomasse initiale était comprise entre 0,08 et 0,19 kg·m⁻³ (Tableau 1). Les poissons ont été prélevés aux jours 15, 30, 45, 60, 91, 120 et 150 de l'expérience.

Les poissons étaient nourris trois fois par jour (8h00, 13h00 et 16h00) avec un aliment contenant 32 % de protéines, du jour 1 au jour 55, et avec un aliment n'en contenant que 20 % (Zeigler Tilapia Grower) du jour 56 au jour 149. A chaque nourrissage, les aliments étaient distribués de sorte à obtenir un

excédent de nourriture au bout de 20 minutes que les poissons consommaient dans les 40 minutes. Pour le régime à 20 %, des périodes d'observation de 10 et 20 minutes ont été choisies en raison de la faible stabilité des aliments.

Les températures minimale et maximale de l'eau, la salinité et l'oxygène dissous (OD) étaient mesurés tous les jours tandis que le NH₄-N, le NO₂-N et le pH étaient relevés toutes les semaines.

Une parasitose transmise par un trématode monogène marin, *Neobenedenia melleni*, a été observée pendant

Tableau 1. Croissance, survie et indice de consommation des fingerlings néomâles de tilapia rouge de Floride (*Oreochromis* sp.) obtenus par traitement hormonal et élevés pendant 150 jours dans des bassins (34 m³) d'eau de mer avec courant continu à trois densités de charge.

	Densité de charge (poisson·m ⁻³)					
	15		25		35	
Début d'expérience						
Poids (g)	5,63	± 0,11 ^a	5,10	± 0,20	5,36	± 0,12
CV des poids (%) ^b	31,9	± 1,2	35,5	± 1,5	35,7	± 0,5
Longueur (mm)	67,3	± 0,3	64,9	± 0,7	66,4	± 0,8
CV des longueurs (%) ^b	11,6	± 0,09	11,7	± 0,4	11,9	± 0,2
Biomasse (kg·m ⁻³)	0,08	± 0,004a	0,13	± 0,005b	0,19	± 0,007c
Fin d'expérience						
Poids (g)	470	± 10	452	± 9	463	± 11
CV des poids (%) ^b	22,5	± 2,1	24,3	± 0,6	21,5	± 2,0
Longueur (mm)	273	± 3	266	± 3	270	± 3
CV des longueurs (%) ^b	7,6	± 1,2	12,0	± 2,6	7,6	± 1,4
Survie (%)	94,9	± 0,2	93,9	± 0,7	94,4	± 0,2
GPQ (g·jour ⁻¹) ^c	3,10	± 0,07	2,98	± 0,06	3,05	± 0,08
TCS ^d (% pc·jour ⁻¹)	3,00	± 0,05	2,99	± 0,01	2,96	± 0,03
TC ^e (% pc·jour ⁻¹)	5,15	± 0,17	5,24	± 0,12	5,11	± 0,13
IC ^e (poids sec·poids frais)	1,81	± 0,16	1,83	± 0,06	1,75	± 0,08
Biomasse (kg·m ⁻³)	6,69	± 0,15a	10,6	± 0,16b	15,4	± 0,27c

^aLes données présentées ici sont des moyennes ± erreur standard (n=3). Les moyennes à l'intérieur d'une même ligne et portant différentes lettres sont significativement différentes (P<0,05 ; SNK).

^bCV=coefficient de variation=Ecart-type·100/moyenne.

^cGPQ=gain pondéral quotidien=(poids final - poids initial)/Δt.

^dTCS=taux de croissance spécifique=[(ln poids final - ln poids initial)·100]/Δt.

^eDonnées tirées de calculs réalisés à sept différents intervalles au cours de la période expérimentale de 150 jours.

l'étude et a été traitée en réduisant la salinité à 18 ‰. Le flux d'eau de mer dans les bassins traités a été interrompu pendant 72 heures.

Les valeurs obtenues dans tous les traitements pour la croissance, les variations de croissance, la survie, le taux de consommation et l'indice de consommation ont été comparées par analyse de variance pour un facteur (ANOVA). Si les différences révélées par ANOVA étaient globalement significatives, les différences entre moyennes de traitement ont été analysées à l'aide du test de Student-Newman-Keuls. Le seuil de signification dans tous les essais était $P < 0,05$.

Résultats

Quelle que soit la densité de charge, la croissance des poissons s'est révélée pratiquement la même tout au long de la période expérimentale (Fig. 1). Les poids moyens en fin d'expérience (moyenne 462 g), les longueurs totales (moyenne 270 mm) et les coefficients de variation de poids (moyenne 22,8 %) et de longueur (moyenne 9,1 %) en fin d'expérience n'ont pas varié significativement d'un traitement à l'autre (Tableau 1). Les poids de fin d'expérience pour tous les traitements ont été regroupés pour établir le diagramme de la distribution des fréquences de poids (Fig. 2). Les poids individuels étaient compris entre 98,6 et 688 g, 75,2 % et 66,9 % des individus dépassant 393 g et 430 g, respectivement.

La survie (moyenne 94,4 %), le gain pondéral quotidien (moyenne 3,04 g·jour⁻¹), le taux de croissance spécifique (moyenne 2,98 % pc·jour⁻¹), le taux de consommation (5,17 % pc·jour⁻¹) et l'indice de consommation (moyenne 1,80) n'étaient pas significativement différents d'un traitement à l'autre (Ta-

bleau 1). La biomasse de fin d'expérience a augmenté en fonction de l'augmentation de la densité de charge, de 6,69 kg·m⁻³ (15 poissons·m⁻³) à 15,4 kg·m⁻³ (35 poissons·m⁻³) (Tableau 1).

La salinité moyenne (36,7 ‰), la température (27,9°C), le NH₄-N (0,11 ppm) et le NO₂-N (0,005 ppm) n'étaient pas significativement différents d'un traitement à l'autre pendant les 150 jours de l'étude (Tableau 2). Les niveaux moyens d'OD ont baissé significativement avec l'augmentation de la densité de charge, de 5,79 ppm (15 poissons·m⁻³) à 5,26 ppm (35 poissons·m⁻³) (Tableau 2).

Au jour 41, une parasitose transmise par *N. melleni* et caractérisée par une perte d'appétit chez les poissons qui restent au fond du bassin, une production excessive de mucus et une opacité cornéenne, a été observée chez les poissons d'un bassin stocké à une densité de 15 poissons·m⁻³. La parasitose a été observée par la suite dans les autres bassins quelle que soit la densité de charge. Un traitement à l'eau saumâtre (18 ‰ pendant 72 heures) a permis d'éliminer ces symptômes pendant des périodes de 26 à 91 jours.

Discussion

La croissance, la survie, et la conversion alimentaire du tilapia rouge de Floride élevé en bassins d'eau de mer avec courant continu n'ont pas été gênées par des densités de charge allant jusqu'à 35 poissons·m⁻³, et aucun effet éventuel de la densité de charge sur la variation de poids (Brett, 1979) n'a été mis en évidence. Ceci suggère qu'il est possible d'augmenter la production de poissons en utilisant des densités de charge encore plus hautes. Siddiqui et coll. (1989) n'ont pas non plus observé de différences au niveau de la croissance

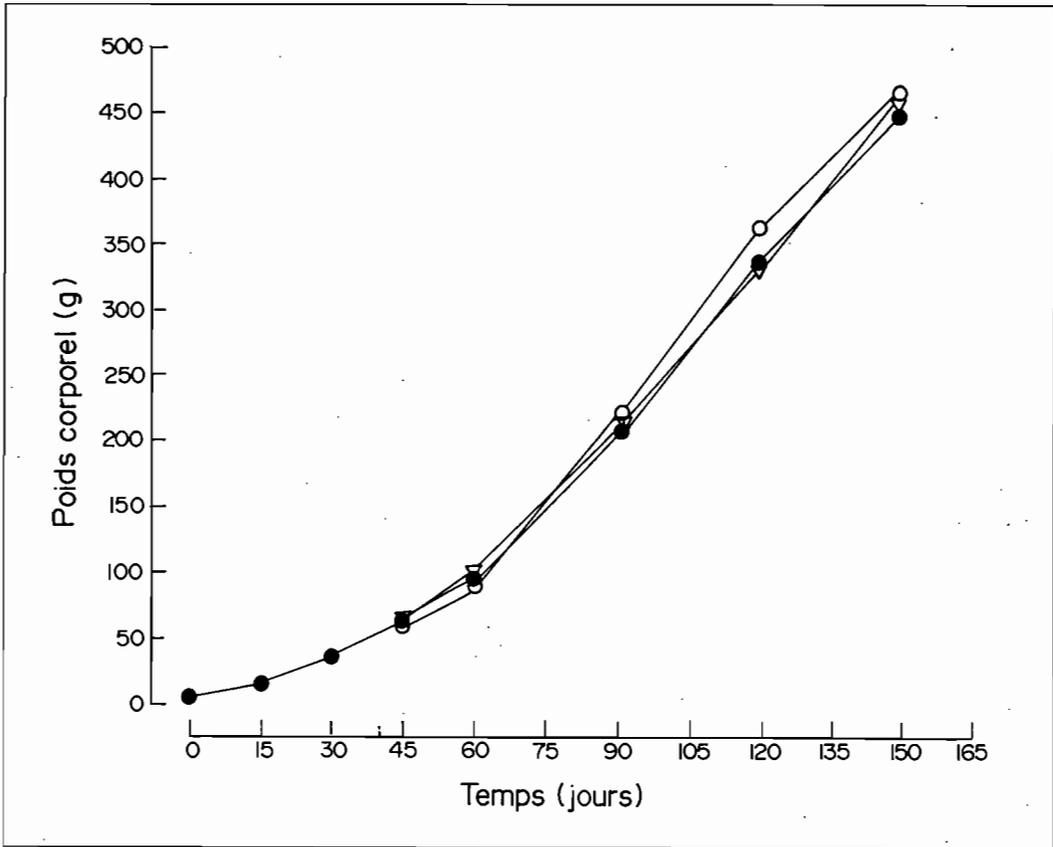


Fig. 1. Poids corporel des fingerlings néomâles de tilapia rouge de Floride (*Oreochromis* sp.) élevés pendant 150 jours dans des bassins d'eau de mer (10 m³) avec courant continu à trois densités de charge (○ 15 poissons·m⁻³, ● 25 poissons·m⁻³ et ▽ 35 poissons·m⁻³).

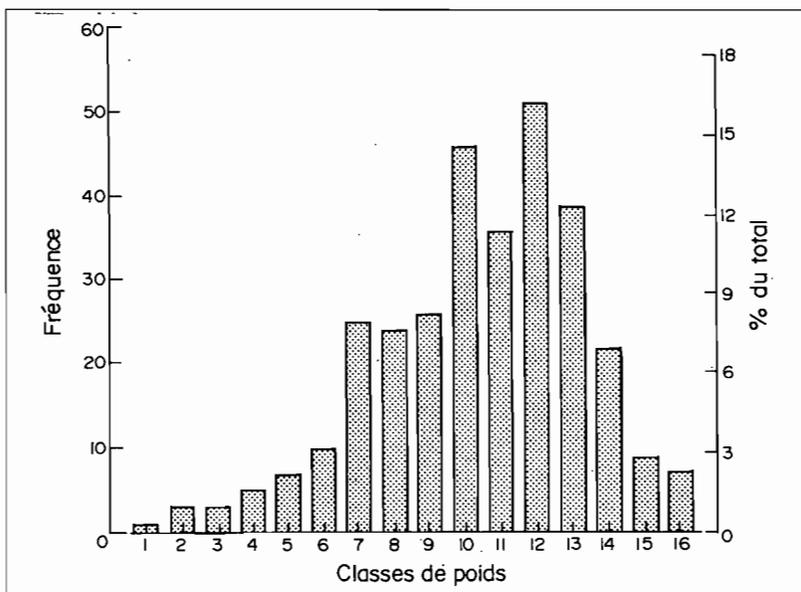


Fig. 2. Distribution des fréquences de poids des fingerlings néomâles de tilapia rouge de Floride (*Oreochromis* sp.) obtenus par traitement hormonal et élevés pendant 150 jours dans des bassins d'eau de mer (10 m³) avec courant continu, stockés aux densités de 15, 25, ou 35 poissons·m⁻³ (données regroupées). La classe de poids 1 se réfère à une gamme de poids de 98,6 à 135,4 g où chaque classe suivante représente un accroissement de 36,8 g jusqu'à un maximum de 687,6 g.

Tableau 2. Qualité de l'eau au cours de la période d'élevage de fingerlings néomâles de tilapia rouge de Floride (*Oreochromis* sp.) obtenus par traitement hormonal puis élevés pendant 150 jours dans des bassins d'eau de mer avec courant continu à trois différentes densités de charge.^a

	Densité de charge (poisson·m ⁻³)					
	15		25		35	
Salinité (‰) ^b	36,8 ± 0,1		36,6 ± 0,1		36,8 ± 0,1	
Oxygène dissous (ppm)	5,79 ± 0,06a		5,51 ± 0,01b		5,26 ± 0,02c	
Température (°C)	27,9 ± 0,01		27,9 ± 0,01		27,9 ± 0,06	
pH	8,23 ± 0,03a		8,14 ± 0,02b		8,00 ± 0,02c	
NH ₄ -N (ppm)	0,10 ± 0,01		0,11 ± 0,01		0,13 ± 0,02	
NO ₂ -N (ppm)	0,005 ± 0,000		0,005 ± 0,000		0,005 ± 0,000	

^aLes données présentées ici sont des moyennes ± erreur standard (n=3 bassins) obtenues sur 150 jours. Les moyennes à l'intérieur d'une même ligne et portant différentes lettres sont significativement différentes (SNK).

^bLes taux de salinité ont été abaissés à 18 ‰ pendant trois jours dans certains bassins de chaque traitement pour traiter l'infection due au trématode. Les périodes de traitement ne sont pas incluses dans les calculs de la salinité moyenne.

(1,71-1,82 g·jour⁻¹), de la survie (96-100 %) ou de l'indice de consommation (1,85-1,95) chez *O. niloticus* élevé dans des bassins (3,75 m³) d'eau saumâtre (4 ‰) pendant 164 jours aux densités de 16, 32 et 42,6 poissons·m⁻³.

Dans cette étude, les échanges d'eau étaient constants (800 %·jour⁻¹) et le débit d'eau était élevé (30-67 l·kg⁻¹ poisson·min⁻¹) à l'empeisonnement, baissant à un niveau minimum (0,36-0,83 l·kg⁻¹ poisson·min⁻¹) quand l'étude a été terminée. Une biomasse allant jusqu'à 15,4 kg·m⁻³ a été maintenue sans que celle-ci n'ait d'effet sur la qualité de l'eau. Bien qu'il ait été possible de réduire le débit initial pour diminuer les coûts de pompage, la baisse des niveaux moyens d'OD observée à mesure que les densités augmentaient suggère que le débit était suboptimal vers la fin de la période expérimentale dans les bassins stockés à hautes densités. Des débits d'eau de 0,3-1,0 l·kg⁻¹ poisson·min⁻¹ sont rapportés avoir contribué à des rendements en tilapias compris entre 7,1 et 50 kg·m⁻³ dans des bassins avec courant continu (Balarin et Haller, 1982, 1983 ; Al-Ahmad et coll., 1988 ;

Siddiqui et coll., 1989 ; Cruz et coll., 1990). Des rendements allant jusqu'à 52,2 kg·m⁻³ ont été atteints dans le cas d'élevages en milieu marin de tilapias rouges de Floride en cages (Watanabe et coll., 1990).

Une contrainte à l'élevage du tilapia en pleine eau de mer reste sa susceptibilité à la contamination par *N. melleni* (Kaneko et coll., 1988 ; Gallet de St. Aurin et coll., 1990). L'immersion, pour de courtes durées dans l'eau douce des poissons contaminés, est un traitement efficace (Kaneko et coll., 1988) mais peut ne pas être très pratique dans le cadre d'une entreprise commerciale. Dans la présente étude, une réduction de la salinité dans les bassins d'élevage à 18 ‰ pendant 72 heures s'est révélée une thérapeutique efficace bien que provisoire. La réinfection des poissons traités à l'eau saumâtre est probablement due à la survie des oeufs de *N. melleni* en milieu hyposalin auquel ils sont beaucoup plus résistants que les adultes (Mueller et coll., 1992). Des travaux récents ont mis en évidence que l'exposition à 15 ‰ pendant cinq jours empêchait l'éclosion des oeufs de *N. melleni* in vitro ainsi que son

développement aux stades juvénile et adulte in situ (Ellis et Watanabe, 1993).

Ces résultats montrent que le tilapia rouge de Floride peut être élevé dans des bassins d'eau de mer avec courant continu, de la taille du petit fingerling à la taille commerciale (5,36-462 g) en 150 jours à des densités pouvant aller jusqu'à 35 poissons·m⁻³. Chaque bassin peut produire 2,4 récoltes par an avec un rendement d'environ 37 kg·m⁻³·an⁻¹. Il est possible d'accroître cette productivité en appliquant de plus hautes densités et en utilisant des poissons de plus grandes tailles initiales. La recherche doit se poursuivre pour déterminer la biomasse maximale et les débits d'eau nécessaires pour l'élevage du tilapia rouge de Floride en bassins d'eau de mer.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au soutien du Programme national de recherche sous-marine de l'Administration océanique et atmosphérique nationale, Ministère nord-américain du Commerce, et à l'appui de la Fondation Perry.

Littérature citée

- Al-Ahmad, T.A., M. Ridha et A.A. Al-Ahmed. 1988. Production and feed ration of the tilapia *Oreochromis spilurus* in seawater. *Aquaculture* 73:111-118.
- Balarin, J.D. et R.D. Haller. 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages, p. 267-355. *In* J.F. Muir et R.J. Roberts (éds.) *Recent advances in aquaculture*. Croom Helm, Londres.
- Balarin, J.D. et R.D. Haller. 1983. Commercial tank culture of tilapia, p. 473-483. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) *Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv University, Israël.
- Behrends, L.L., R.G. Nelson, R.O. Smitherman et N.M. Stone. 1982. Breeding and culture of the red-gold color phase of tilapia. *J. World Maricult. Soc.* 13:210-220.
- Brett, J.R. 1979. Environmental factors and growth, p. 599-675. *In* W.S. Hoar, D.J. Randall et J.R. Brett (éds.) *Fish physiology*. Vol. 8. Academic Press, New York.
- Carro-Anzalotta, A.E. et A.S. McGinty. 1986. Effects of stocking density on growth of *Tilapia nilotica* cultured in cages in ponds. *J. World Aquacult. Soc.* 17:52-57.
- Clark, A.E., W.O. Watanabe, B.L. Olla et R.I. Wicklund. 1990. Growth, feed conversion, and protein utilization of Florida red tilapia fed isocaloric diets with different protein levels in seawater pools. *Aquaculture* 87:75-85.
- Cruz, E.M., M. Ridha et M.S. Abdullah. 1990. Production of the African freshwater tilapia *Oreochromis spilurus* (Günther) in seawater. *Aquaculture* 84:41-48.
- Ellis, E.P. et W.O. Watanabe. 1993. The effects of hyposalinity on eggs, juveniles and adults of the marine monogenean, *Neobenedenia melleni*. Treatment of ecto-parasitosis in seawater-cultured tilapia. *Aquaculture* 117:15-27.
- Ernst, D.H., L.J. Ellingson, B.L. Olla, R.I. Wicklund, W.O. Watanabe et J.J. Grover. 1989. Production of Florida red tilapia in seawater pools: nursery rearing with chicken manure and growout with prepared feed. *Aquaculture* 80:247-260.
- Gallet de Saint Aurin, D., J.C. Raymond et V. Vianas. 1990. Marine finfish pathology: specific problems and research in the French West Indies. *Advances in Tropical Aquaculture*, 20 février-4 mars 1989, Tahiti. AQUACOP IFREMER, Actes Colloq. 9:143-160.
- Gurrero, R.D. 1975. Use of androgens for the production of all-male *Tilapia aurea* (Steindachner). *Trans. Am. Fish. Soc.* 104:342-348.
- Kaneko, J.J. II, R. Yamada, J.A. Brock et R.M. Nakamura. 1988. Infection of tilapia, *Oreochromis mossambicus* (Trewavas), by a marine monogenean, *Neobenedenia melleni* (MacCallum, 1927). Yamaguti, 1963 in Kaneohe Bay, Hawaii, USA, and its treatment. *J. Fish Dis.* 11:295-300.
- McGeachin, R.B., R.I. Wicklund, B.L. Olla et J.R. Winton. 1987. Growth of *Tilapia aurea* in seawater cages. *J. World Aquacult. Soc.* 18:31-34.
- Mueller, K.W., W.O. Watanabe et W.D. Head. 1992. Effect of salinity on hatching in *Neobenedenia melleni*, a monogenean ectoparasite of seawater-cultured tilapia. *J. World Aquacult. Soc.* 23:199-204.
- Siddiqui, A.Q., M.S. Howlader et A.B. Adam. 1989. Culture of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), at three stocking densities in outdoor concrete tanks using drainage water. *Aquacult. Fish. Manage.* 20:49-57.

- Wannigama, N.D., D.E.M. Weerakoon et G. Muthukumarana. 1985. Cage culture of *S. niloticus* in Sri Lanka: effect of stocking density and dietary crude protein levels on growth, p. 113-117. In C.Y. Cho, C.B. Cowey et T. Watanabe (éds.) *Finfish nutrition in Asia. Methodological approaches to research and development*. International Development Research Centre, Ottawa, Ontario, Canada.
- Watanabe, W.O. 1991. Saltwater culture of tilapia in the Caribbean. *World Aquacult.* 22(1):49-54.
- Watanabe, W.O., J.H. Clark, J.B. Dunham, R.I. Wicklund et B.L. Olla. 1990. Culture of Florida red tilapia in marine cages: the effect of stocking density and dietary protein on growth. *Aquaculture* 90:123-134.

SESSION II. NUTRITION

Emploi de végétation terrestre en aquaculture au Malawi^a

F.J.K. CHIKAFUMBWA

ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project

P.O. Box 229, Zomba, Malawi

CHIKAFUMBWA, F.J.K. 1996. Emploi de végétation terrestre en aquaculture au Malawi, p. 193-201. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

En Afrique rurale, la végétation terrestre et les déchets agricoles présentent un certain intérêt comme facteurs de production dans les élevages en étang de tilapias herbivores et planctonophages. Cinq expériences ont été réalisées au Malawi afin d'évaluer ce potentiel pour l'élevage de *Tilapia rendalli* et *Oreochromis shiranus*. Dans le cadre de ces expériences, 29 plantes terrestres ont été testées dont 80 % ont été consommées par *T. rendalli*, le taux de consommation étant compris entre 9 à 90 % de la matière sèche des plantes (MS) par jour. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée dans les performances de croissance ou dans les rendements des élevages de *T. rendalli* et *O. shiranus* nourris au son de maïs ou à l'herbe à éléphant. Des rendements plus élevés ont été obtenus en polyculture avec une alimentation à base de son de maïs et d'herbe à éléphant. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée au niveau des paramètres de la qualité de l'eau ou de la croissance des poissons dans les étangs où *T. rendalli* et *O. shiranus*, élevés en polyculture (50:50) étaient nourris avec de l'herbe à éléphant (*Pennisetum purpureum*) donnée entière, hachée ou pilée. Les taux d'application d'herbe à éléphant dans les étangs de pisciculture ne devraient pas dépasser 50 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS. Des charges plus élevées ont eu pour effet d'altérer la qualité de l'eau, de réduire la croissance des poissons et d'accroître les taux de mortalité. Les élevages en polyculture de *T. rendalli* et *O. shiranus* dans des rapports de charge de 50:50 ont donné des rendements significativement plus importants que lorsque d'autres rapports étaient utilisés.

Introduction

Le développement de l'aquaculture en Afrique rurale connaît certaines limites en raison des coûts élevés et de la pénurie des aliments pour poisson et des engrais pour la fertilisation des étangs, et de l'insuffisance des ressources financières et des connaissances des petits exploitants, outre le fait qu'il s'agit là d'une activité relativement nouvelle (Weatherley et Cogger, 1977 ; Costa-Pierce et coll., 1991 ; ICLARM/GTZ,

1991). La végétation terrestre et les déchets agricoles se trouvent en quantité suffisante dans la plupart des fermes africaines, et présentent donc un intérêt certain comme facteurs de production dans les élevages en étang de tilapias herbivores et planctonophages (Pullin, 1986 ; Edwards, 1987a). Les résultats d'une enquête réalisée à Zomba ont fait apparaître que la polyculture en étang de tilapias autochtones (*Tilapia rendalli* et *Oreochromis shiranus*) était le type d'élevage le plus courant chez les petits pisciculteurs malawiens (Noble et Costa-Pierce, 1992). Toutefois, peu de recherches ont été menées sur les

^aICLARM Contribution No. 990.

rapports de charge de ces espèces pour une utilisation optimale des niches alimentaires dans l'écosystème des étangs.

Des études ont été réalisées au Centre national d'aquaculture de Domasi au Malawi pour évaluer les effets de l'utilisation de plantes terrestres dans les petites exploitations aquacoles. Cette communication présente les résultats obtenus et examine les perspectives d'avenir.

Matériel et méthodes

Les expériences ont été menées dans des étangs de 200 m² et dans des bassins cimentés de 5 m³ (2,25x2,25x1 m) et de 500 l (1x1x0,5 m) de janvier 1989 à mars 1991. Des individus de *T. rendalli* et *O. shiranus* y ont été stockés en mono et polyculture à des poids moyens différents et à des densités de charge diverses; et toutes les expériences ont été réalisées suivant un mode totalement aléatoire.

Dans le cadre des expériences menées dans les étangs de 200 m², une alimentation à base de son de maïs (SM) a été distribuée à raison de 3 % poids du corps des poissons, un ajustement des taux étant effectué tous les 15 jours après prélèvement. Une alimentation à base d'herbe à éléphant fraîche (HE) a également été distribuée à raison de 100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS et un mélange (HE+SM) a été donné aux tilapias autochtones (*T. rendalli* et *O. shiranus*) élevés en mono et polyculture (Tableau 1). Au cours de ces expériences, le temps de travail (exprimé en personne-heures·ha⁻¹·jour⁻¹) demandé pour couper, porter et hacher l'herbe à éléphant a également été relevé (Tableau 2). Dans les bassins de 500 l où *T. rendalli* et *O. shiranus* étaient élevés en polyculture

dans un rapport de charge de 50:50, l'herbe à éléphant fraîche a été donnée entière, hachée (en morceaux de 2-5 mm) et pilée à raison de 100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS (Tableau 3) ainsi qu'à des taux d'application différents dans les mêmes élevages en bassin et en étang (Tableau 4). Différents rapports de charge de *T. rendalli* et *O. shiranus* ont été testés (100:0, 75:25, 50:50 et 25:75) dans des étangs de 200 m² où l'herbe à éléphant fraîche leur était donnée entière à raison de 50 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS (Tableau 5).

Au cours de l'expérience, les poissons étaient prélevés à l'aide d'une senne, puis tranquilisés à la benzocaine (Ross et Ross, 1984), pesés individuellement et mesurés. Plus de 70 % du nombre total des poissons stockés dans les bassins et 15 % de ceux placés en étang ont été prélevés à chaque échantillonnage.

Les paramètres de la qualité de l'eau étaient contrôlés régulièrement. Les températures maximales et minimales de l'air et de l'eau étaient relevées tous les jours; le pH, toutes les semaines à 8h00; la concentration d'oxygène dissous (OD), toutes les semaines à 5h00; l'ammoniacque, tous les 15 jours à 8h00; la conductibilité, toutes les semaines; et l'alcalinité, tous les mois. Les méthodes utilisées sont présentées dans APHA (1985).

Au moment de la récolte, tous les bassins et étangs étaient vidangés, et les poissons recueillis à l'aide d'une senne. Les poissons étaient ensuite comptés pour déterminer le taux de survie, pesés (g) et mesurés (longueur standard et totale en cm). Les taux de croissance spécifique (TCS) et les poids moyens de fin d'expérience étaient comparés par analyse de variance, et les seuils de signification ($P < 0,05$) des différences d'un traitement à l'autre étaient déterminés par le test de Tukey (Zar, 1984).

Tableau 1. Performances de croissance de *Tilapia rendalli* et *Oreochromis shiranus* en monoculture et en polyculture (1:1) dans des étangs de 200 m², nourris à l'herbe à éléphant (HE) (100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS) et au son de maïs (SM) (3 % du poids du corps des poissons), du 5 janvier au 11 mai 1989. Les valeurs des mêmes rangs portant les mêmes lettres en indice ne sont pas significativement différentes ($P>0,05$) ; HE/SM = mélange d'herbe à éléphant et de son de maïs ; les rendements nets comprennent les alevins produits en étang. Les valeurs présentées dans ce tableau sont les moyennes obtenues de trois séries d'expériences.

	Intrants			
	Herbe à éléphant	HE/SM	Son de maïs	Pas d'intrant
a. Monoculture de <i>T. rendalli</i>				
Poids initial (g)	20,8	20,5	21,9	
Poids final (g)	35,5 ^a	43,0 ^a	34,8 ^a	
Taux de croissance spécifique (%·jour ⁻¹)	0,42 ^a	0,52 ^a	0,37 ^a	
Taux de survie (%)	93	87	89	
Rendements nets (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	2.303	2.598	1.585	
b. Monoculture de <i>O. shiranus</i>				
Poids initial (g)	22,9	24,1	23,5	
Poids final (g)	36,9 ^a	41,3 ^a	34,2 ^a	
Taux de croissance spécifique (%·jour ⁻¹)	0,37 ^a	0,42 ^a	0,32 ^a	
Rendements nets (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	1.657	2.747	1.069	
c. Polyculture de <i>T. rendalli</i> et <i>O. shiranus</i> (1:1)				
Poids initial (g)				
<i>T. rendalli</i>	22,0	22,8	22,4	21,0
<i>O. shiranus</i>	21,1	17,4	19,0	18,6
Poids final (g)				
<i>T. rendalli</i>	41,7 ^a	46,9 ^a	41,4 ^a	21,0 ^b
<i>O. shiranus</i>	36,4 ^a	41,9 ^a	33,1 ^a	22,5 ^a
Taux de croissance spécifique (%·jour ⁻¹)				
<i>T. rendalli</i>	0,51 ^a	0,57 ^a	0,49 ^a	0,01 ^b
<i>O. shiranus</i>	0,41 ^b	0,69 ^a	0,39 ^b	0,15 ^c
Taux de survie (%)	78	88	90	73
Rendements nets extrapolés (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	1.405	3.013	1.726	-183

Tableau 2. Quantité de travail nécessaire pour la coupe et le transport de l'herbe à éléphant (80 % d'humidité) pour une application de 100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de matière sèche. Traitement de l'herbe à l'aide d'un hachoir manuel nécessitant 10,4 personnes-heures·ha⁻¹.

Personne	N	Coupe et transport (personne-heures·ha ⁻¹)		Herbe hachée (personne-heures·ha ⁻¹)	
		Moyenne (ET)	Min.-Max.	Moyenne (ET)	Min.-Max.
A	49	58,1 (15,6)	16,7-92,6	19,7 (4,8)	12,9-32,8
B	20	59,5 (13,3)	31,6-78,1	18,1 (4,1)	11,5-26,0
C	25	44,4 (19,1)	11,1-72,6	15,3 (6,7)	5,7-27,3
C	11	33,3 (18,8)	73,5-12,6	17,1 (3,2)	12,3-24,2
D	11	55,5 (13,3)	24,1-70,4	18,8 (3,9)	11,7-25,9
E	19	48,0 (15,6)	22,7-70,4	13,3 (5,0)	5,0-24,2
F	17	59,6 (15,2)	19,6-79,4	19,8 (3,4)	15,3-26,9

N = nombre de jours pour la coupe et le transport de l'herbe à éléphant.

Personnes-heures·ha⁻¹ = calculées à partir du poids de l'herbe fraîche qu'il faut appliquer par hectare, divisé par le poids de l'herbe fraîche coupée et/ou transportée au cours d'une période donnée.

Tableau 3. Effets de l'herbe à éléphant donnée entière, hachée et pilée (100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS) sur les performances de croissance de *Tilapia rendalli* (TR) et *Oreochromis shiranus* (OS), et sur la qualité de l'eau dans des bassins cimentés de 500 l. Les valeurs des mêmes colonnes portant la même lettre ne sont pas significativement différentes (P>0,05).

Mode de présentation	Mise en charge		Récolte						Qualité de l'eau							
	Pmmc(g)	N/b	Pmr(g Pg/jr (%))		TCR	Sv (%)	Rne	Ammoniaque (mg·l ⁻¹)		Conductibilité (mmho·cm ⁻¹)		pH		Alcalinité (mg·l ⁻¹)		
			TR	OS				Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	
Entière	10,05	12	14,40a	0,34	0,24a	0,29a	100	1,507	0,01	1,15a	145	440a	10,45	7,83b	39	169b
Hachée	9,75	12	15,05a	0,43	0,21a	0,36a	92	1,058	0,00	2,00a	144	570a	10,39	7,83b	40	243a
Pilée	10,00	12	13,65a	0,29	0,11b	0,35a	66	839	0,01	0,95a	146	645a	10,30	7,93b	40	268a
Pas d'intrants	10,25	12	9,60b	-0,51	-	-0,001b	25	-	0,01	0,08b	145	160b	10,65	10,63a	39	63c

Pmmc=poids moyen à la mise en charge.

Pmr=poids moyen à la récolte.

N/b=nombre de poissons par bassin.

Pg/jr=poids en grammes par jour.

TCR=taux de croissance spécifique (%·jour⁻¹).

Sv=taux de survie.

Rne=rendements nets extrapolés (kg·ha⁻¹·an⁻¹).

Tableau 4. Performances de croissance de *Tilapia rendalli* (TR) et *Oreochromis shiranus* (OS), taux de survie et qualité de l'eau pour différents taux d'application d'herbe à éléphant dans des étangs d'élevage de 200 m², et dans des bassins cimentés de 5 m³ et de 500 l. Les valeurs des mêmes colonnes et pour les mêmes unités expérimentales portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes (P>0,05).

Unités expérimentales	Tx d'application (kg·ha ⁻¹ ·jour ⁻¹ MS)	Mise en charge		Récolte							Qualité de l'eau									
		Pmmc (g)	N/e-b	Pmr (g)	Pg/jr (%)	TCR		Sv (%)	Alevin (%)	Rne	Ammoniaque (mg·l ⁻¹)		Conductibilité (mmho·cm ⁻¹)		pH		Alcalinité (mg·l ⁻¹)		OD ₂ (mg·l ⁻¹)	
						TR	OS				Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin	Début	Fin
60 jours en étangs de 200 m ² (1989-27 fév. 1990)	25	9,77	200	34,45b	1,5	0,67b	0,82b	83	15	476	0,45	0,75	23	45	7,0	6,7	15	19	7,4	3,8
	50	8,84	200	43,55a	2,4	0,91a	0,98a	91	9	732	0,36	1,05	23	55	6,8	6,8	17	22	7,0	2,0
	75	8,77	200	41,29a	2,2	0,87a	0,98a	81	8	583	0,42	1,30	23	71	6,8	6,7	16	24	7,2	1,1
	100	9,94	200	43,66a	2,0	0,77ab	0,98a	66	8	443	0,36	1,11	22	59	6,9	6,7	16	23	7,5	2,2
60 jours en bassins de 5 m ³ (24 jan.-30 mai 1989)	0	10,52	12	11,99c	0,1	0,09b	0,23c	75	0	0	-	0	100	101	10,5	10,6	40	43	7,7	7,9
	46	10,58	12	28,00a	1,3	0,73a	0,78b	100	0	1.216	-	0,88	104	398	10,0	7,7	38	160	6,8	0,7
	92	10,9	412	31,26a	1,5	0,78a	1,01a	92	0	1.233	-	0,92	103	460	9,8	7,6	42	195	7,0	0,5
	138	10,7	212	32,54a	1,6	0,74a	0,99a	75	0	950	-	1,01	102	478	9,6	7,5	39	217	7,8	0,4
	184	10,8	912	23,94ab	0,9	0,28b	0,76b	75	0	486	-	1,33	105	535	9,5	7,4	43	265	7,3	0,4
	278	10,7	512	17,00bc	0,5	-	0,38c	8	0	0	-	2,80	106	580	9,6	7,3	40	310	7,3	0,4
70 jours en bassins de 500 l (12 jan.-29 mai 1991)	10	15,00	12	15,40a	0,03	0,01c	-	100	0	250	-	0,75	70	156	10,2	9,0	13	37	6,4	4,4
	20	15,90	12	17,30a	0,12	0,12b	-	96	0	-	-	0,68	72	155	10,4	9,5	13	35	7,0	3,9
	40	14,60	12	17,50a	0,28	0,26a	-	100	0	1.815	-	0,92	69	185	10,0	9,7	12	43	6,7	2,5
	60	15,80	12	18,90a	0,28	0,26a	-	96	0	1.012	-	1,22	71	276	9,8	8,5	13	67	6,5	1,8
	80	15,80	12	15,90a	0,01	0,02c	-	71	0	-	-	1,10	71	290	9,9	8,4	12	65	6,5	1,9

Pmmc=poids moyen à la mise en charge.

Pmr=poids moyen à la récolte.

Pg/jr=poids en grammes par jour.

N/e-b=nombre de poissons par étang ou bassin.

TCR=taux de croissance spécifique (%·jour⁻¹).

Sv=taux de survie.

Rne=rendements nets extrapolés (kg·ha⁻¹·an⁻¹).

Tableau 5. Performances de croissance de *Tilapia rendalli* (TR) et *Oreochromis shiranus* (OS) stockés selon différents rapports de mise en charge à raison de 1 poisson·m⁻² dans des étangs de 200 m², et nourris à l'herbe à éléphant à raison de 50 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS au cours d'une période d'expérience de 168 jours (du 27 octobre 1989 au 27 février 1990). Les valeurs des mêmes lignes portant les mêmes lettres en indice ne sont pas significativement différentes (P>0,05). Les valeurs présentées dans ce tableau sont les moyennes obtenues de trois séries d'expériences.

Rapport de charge TR:OS (%)	75:25	50:50	25:75	100:0
Poids initial (g)				
<i>T. rendalli</i>	9,55	8,70	9,63	8,40
<i>O. shiranus</i>	9,87	8,97	8,73	-
Poids final (g)				
<i>T. rendalli</i>	36,75 ^a	40,23 ^a	38,06 ^a	35,66
<i>O. shiranus</i>	56,18 ^a	46,87 ^a	38,06 ^a	-
Taux de croissance spécifique				
<i>T. rendalli</i> (%·jour ⁻¹)	0,80 ^a	0,91 ^a	0,82 ^b	0,86
<i>O. shiranus</i> (%·jour ⁻¹)	1,03 ^a	0,98 ^a	0,87 ^a	-
Taux de survie (%)	86	97	85	76
Rendements nets extrapolés (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	593 ^b	729 ^a	534 ^b	410 ^c

Résultats et discussion

Préférence pour certaines plantes

Un certain nombre de plantes poussent librement dans les fermes mais la plupart ne sont pas utilisées. Des 29 différentes plantes terrestres (naturelles et cultivées) données fraîches aux élevages de *T. rendalli* et *O. shiranus* dans les étangs de 200 m², 23 ont été consommées par *T. rendalli* et six par *O. shiranus*. La quantité de matière sèche consommée par *T. rendalli* était significativement supérieure (P<0,01) à celle consommée par *O. shiranus* (Chikafumbwa et coll., 1991). *T. rendalli* semble être un consommateur vorace et non sélectif de plantes, comme l'a également remarqué Junor (1969). Parmi les plantes (*Cucurbita maxima*, *Tridax procumbens*, *Ipomoea batatas*, *Biden pilosa* et *Mucuna pruriens*) consommées, *T. rendalli* et *O. shiranus* ont préféré certaines plus que d'autres. Des résultats similaires ont été rapportés par Chifamba (1990).

Ressources disponibles à la ferme utilisées comme facteurs de production dans les étangs de pisciculture

Les poids de fin d'expérience et les TCS les plus élevés (43,0 g ; 0,52 %·jour⁻¹ pour *T. rendalli*) et (41,3 g ; 0,42 %·jour⁻¹ pour *O. shiranus*) ont été obtenus dans les élevages en monoculture où les poissons étaient nourris avec un mélange HE+SM. Toutefois, ces résultats n'étaient pas significativement différents (P>0,05) de ceux obtenus avec du son de maïs ou de l'herbe à éléphant donnés séparément (Tableau 1). Des résultats similaires ont été obtenus en polyculture avec des rapports de charge de 50:50 : 46,9 g, 0,57 %·jour⁻¹ pour *T. rendalli* et 41,9 g, 0,69 %·jour⁻¹ pour *O. shiranus*. Les rendements nets extrapolés les plus élevés pour *T. rendalli* et *O. shiranus* élevés en monoculture (2.598 et 2.749 kg·ha⁻¹·an⁻¹, respectivement) et en polyculture (3.015 kg·ha⁻¹·an⁻¹) ont été obtenus avec le mélange HE+SM.

Pruginin et Arad (1977) ont rapporté que les rendements des élevages de tilapias autochtones, sans nourrissage ou fertilisation, atteignaient environ 300 kg·ha⁻¹·an⁻¹ au Malawi. Noble et Costa-Pierce (1992), quant à eux, ont rapporté que, pour la période 1989-90, les étangs de pisciculture du district de Zomba avaient donné des rendements de 900 kg·ha⁻¹·an⁻¹. L'utilisation de végétation (herbe à éléphant) et de sous-produits agricoles (son de maïs) disponibles en larges quantités s'est traduit par un accroissement significatif des rendements piscicoles. Des rendements encore plus élevés (>3.000 kg·ha⁻¹·an⁻¹) ont été obtenus en polyculture avec des poissons nourris au son de maïs et à l'herbe à éléphant. Ces résultats sont prometteurs et invitent les chercheurs à entreprendre davantage de recherches sur la polyculture d'espèces de poissons diverses avec un nourrissage composé de différents intrants peu coûteux que l'on trouve facilement dans les fermes au Malawi.

L'application d'herbe à éléphant fraîche dans les étangs piscicoles a nécessité 33-60 personnes-heures·ha⁻¹·jour⁻¹ pour la coupe et le transport. La coupe seule a nécessité 13-20 personnes-heures·ha⁻¹·jour⁻¹. Le traitement au hachoir a nécessité 10 personnes-heures·ha⁻¹·jour⁻¹ supplémentaires à un taux d'application de 100 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS (Tableau 2). Les résultats de cette étude font apparaître une importante demande en termes du nombre de personnes-heures·ha⁻¹·jour⁻¹ nécessaire pour approvisionner les étangs de pisciculture en herbe à éléphant fraîche. Des recherches ont également été menées sur les modes de présentation des intrants et sur les taux d'application susceptibles de réduire la quantité de travail demandée. Les résultats obtenus ont révélé qu'une diminution de 50 % des taux d'applica-

tion d'intrants (50 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ de MS) était possible, réduisant d'autant la quantité de travail requise pour la coupe et le transport, et que l'herbe pouvait être donnée non coupée, permettant également une économie dans la mesure où aucun travail supplémentaire pour le traitement au hachoir n'était nécessaire.

Modes de présentation de la végétation

Le poids des poissons en fin d'expérience ainsi que les TCS n'étaient pas significativement différents ($P > 0,05$) d'un type de traitement à l'autre (herbe donnée entière, hachée et pilée, Tableau 3). Toutefois, les taux de survie des poissons étaient plus élevés (100 %) quand les herbes étaient données entières que lorsqu'elles étaient données pilées (66 %). Par ailleurs, des rendements nets extrapolés de 1.507 kg·ha⁻¹·an⁻¹ ont été obtenus dans les élevages où l'herbe était donnée entière.

De même, les paramètres de la qualité de l'eau (pH, ammoniacque et conductibilité) n'ont pas donné des valeurs significativement différentes ($P > 0,05$) d'un mode de traitement de l'herbe à l'autre (Tableau 3). Par contre, les taux d'alcalinité et de dureté totale étaient significativement plus élevés ($P < 0,05$) dans les traitements où les herbes étaient données hachées que dans ceux où elles étaient données entières.

Les résultats de cette étude font apparaître qu'il convient mieux de donner des herbes entières dans les étangs de pisciculture. Les autres modes de présentation ne présentent pas d'intérêt significatif au niveau de la croissance des poissons et de la qualité de l'eau, et demandent en outre un effort supplémentaire. Il est toutefois nécessaire d'approfondir la recherche sur les divers modes de présentation

de la végétation, notamment pour les systèmes de production en étang, car les expériences menées dans le cadre de cette étude n'ont été réalisées que dans des bassins cimentés de 500 l.

Taux d'application de la végétation

Edwards (1987b) recommande des taux d'application de $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de MS dans les étangs piscicoles quand la végétation est de qualité médiocre. Or, selon la présente étude, les meilleurs résultats au niveau des poids de fin d'expérience, des TCS, de la survie des poissons et des rendements nets (*T. rendalli* et *O. shiranus*) ont été obtenus en bassin et en étang avec des taux d'application d'environ $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de MS. L'application de taux supérieurs à $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de MS a donné des taux de mortalité plus élevés ainsi que des TCS et des rendements nets inférieurs. L'augmentation des concentrations d'ammoniaque et l'abaissement des OD à des niveaux critiques que ce régime d'application a entraînés ont eu pour effet d'altérer la qualité de l'eau (Tableau 4).

Rapports de charge dans les élevages de tilapias

Les poids de fin d'expérience et les TCS de *O. shiranus* étaient significativement plus élevés ($P < 0,05$) quand la proportion de *T. rendalli* par rapport à *O. shiranus* était supérieure. La croissance de *T. rendalli* s'est révélée relativement stable quels que soient les rapports de charge (Tableau 5). Les plus hauts rendements ont été obtenus avec des rapports de charge de 50:50. Cet accroissement des rendements à ce rapport de charge est probablement due à une meilleure utilisation des différentes niches alimentaires de l'étang.

Conclusions et recommandations

Les résultats des expériences réalisées dans le cadre de cette étude ont montré que l'emploi d'herbes vertes et de sous-produits agricoles comme le son de maïs, donnés seuls ou selon diverses combinaisons dans les étangs de pisciculture, peuvent sensiblement améliorer les performances de croissance des tilapias et accroître la production des élevages de poissons chez les pisciculteurs dont les ressources sont limitées. Ce type d'intrants n'est pas difficile à trouver sur les exploitations piscicoles et seule une certaine somme de travail est nécessaire pour la transformation de ces intrants.

Un large éventail de plantes vertes pourrait être utilisé pour le nourrissage ou la fertilisation dans les élevages de tilapias en étang. Les taux d'application de ces intrants ne devraient pas dépasser $50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de MS pour obtenir des performances de croissance et des rendements optimaux sans altérer la qualité de l'eau. Il faut toutefois poursuivre les recherches sur ces types d'intrants dans la mesure où les expériences menées dans le cadre de cette étude ont été réalisées sur des tilapias autochtones (*T. rendalli* et *O. shiranus*) et qu'il existe d'autres espèces présentant un certain intérêt pour l'aquaculture.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au soutien que la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH à Eschborn (Allemagne) accorde au Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (ICLARM). Je tiens à remercier le Dr. Barry A. Costa-Pierce pour sa contribution à

la rédaction de ce manuscrit et pour ses précieux commentaires. Je remercie également le Professeur Peter Edwards de l'Institut asiatique de technologie à Bangkok (Thaïlande) pour ses conseils au niveau de la conception de certaines expériences. Le ministère malawien des Pêches a contribué au projet en mettant les installations de recherche du Centre national d'aquaculture à la disposition de l'auteur. Un soutien financier offert par la Fondation internationale pour la science (FIS) à Stockholm (Suède) a permis à l'auteur de participer au symposium (subvention A/1776-1).

Littérature citée

- APHA. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewaters. 16^e éd. American Public Health Association, Washington, DC.
- Chifamba, P.C. 1990. Preference of *Tilapia rendalli* (Boulenger) for some species of aquatic plants. *J. Fish Biol.* 36:701-705.
- Chikafumbwa, F.J.K., B.A. Costa-Pierce et J.D. Balarin. 1991. Preference of different terrestrial plants as food for *Tilapia rendalli* and *Oreochromis shiranus*. *Aquabyte* 4(3):9-10.
- Costa-Pierce, B.A., C. Lightfoot, K. Ruddle et R.S.V. Pullin, Editeurs. 1991. Aquaculture research and development in rural Africa. ICLARM Conf. Proc. 27, 71 p.
- Edwards, P. 1987a. Use of terrestrial vegetation and aquatic macrophytes in aquaculture, p. 311-335. *In* D.J.W. Moriarty et R.S.V. Pullin (éds.) *Detritus and microbial ecology in aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Edwards, P. 1987b. Proposed research theme for Domasi, Malaŵi. Consultancy Report to ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project. Zomba, Malawi.
- ICLARM/GTZ. 1991. The context of small-scale integrated agriculture-aquaculture systems in Africa: a case study of Malaŵi. ICLARM Stud. Rev. 18, 302 p.
- Junor, F.J.R. 1969. *Tilapia melanopleura* Dum. in artificial lakes and dams in Rhodesia (Zimbabwe) with special reference to its undesirable effects. *Rhod. J. Agric. Res.* 7:61-69.
- Noble, R.P. et B.A. Costa-Pierce. 1992. Aquaculture technology research for smallholder farmers in rural Malawi, p. 11-25. *In* Aquaculture and schistosomiasis: Proceedings of a Network Meeting held in Manila, Philippines, 6-10 août 1991. National Academy Press, Washington, DC.
- Pruginin, Y. et A. Arad. 1977. Fish farming in Malaŵi. A report prepared for the promotion of integrated fishery development project. F1:DP/MLW/71/516/10, 22 p. FAO, Rome.
- Pullin, R.S.V. 1986. Culture of herbivorous tilapia, p. 145-149. *In* C.H. Har, A.K. Jee, L.A. Theem, M.I.H. Mohamed et I.H. Omar (éds.) *Proceedings of the International Conference on Development and Management of Tropical Living Aquatic Resources*, Selangor, Malaisie.
- Ross, L.G. et B. Ross. 1984. Anaesthetic and sedative techniques for fish. *Institute of Aquaculture*, University of Stirling, Stirling, Royaume-Uni.
- Weatherly, A.H. et D.M.G. Cogger. 1977. Fish culture: problems and prospects. *Science* 197(4302):427-430.
- Zar, J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. 2^e éd. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 718 p.

Emploi de déchets végétaux dans l'alimentation des juvéniles de *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli* élevés en mono et polyculture^a

S.K. CHIMATIRO

B.A. COSTA-PIERCE^b

ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project

P.O. Box 229, Zomba, Malawi

CHIMATIRO, S.K. et B.A. COSTA-PIERCE. 1996. Emploi de déchets végétaux dans l'alimentation des juvéniles de *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli* élevés en mono- et polyculture, p. 202-212. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des individus de *Oreochromis shiranus* et *Tilapia rendalli* de sexes mixtes ont été stockés dans des bassins cimentés de 5 m³ dans des rapports de charge de 0:100, 25:75, 100:0 et 75:25 et à une densité de charge de 6 poissons·m⁻². A l'empeisonnement, les poids moyens de *O. shiranus* et *T. rendalli* (\pm ET) atteignaient respectivement 12 \pm 0,4 g et 12 \pm 0,7 g. Les traitements ont consisté à submerger des bottes de feuilles de chou et de potiron (attachées avec du fil de fer) à une profondeur d'eau de 30 cm environ et à un taux de charge suffisant pour simuler les conditions d'élevage en étang (50 kg de matière sèche [MS]·ha⁻¹·jour⁻¹). Le son de maïs, chargé à raison de 50 kg MS·ha⁻¹·jour⁻¹, a servi de témoin. Un classement non paramétrique et une analyse multivariée ont été réalisés pour rendre compte des effets cumulés des traitements sur les performances de croissance des poissons et les paramètres de la qualité de l'eau.

Les taux de survie les plus élevés (98,4 %) ont été obtenus dans les bassins où les rapports de charge TR:OS était de 100:0. Les meilleurs rendements nets (2.122 kg·ha⁻¹·134 jours) ont été obtenus dans les bassins où les rapports de charge de TR:OS étaient de 0:100 et où les poissons étaient nourris au son de maïs, suivis par les bassins où les rapports de charge de TR:OS étaient de 25:75 et où les poissons étaient nourris avec des feuilles de chou (1.516 kg·ha⁻¹·134 jours). L'analyse de variance pour deux facteurs (ANOVA) a montré que ces intrants avaient des effets significatifs ($P < 0,001$) sur la qualité de l'eau (OD, chlorophylle *a*, visibilité au disque de Secchi [VDS], conductibilité et alcalinité totale). Ces facteurs de production ont également eu des effets significatifs sur les taux de croissance spécifique (TCS) ($P < 0,05$) et la croissance pondérale ($P < 0,001$). Les différents rapports de charge TR:OS ont eu des effets significatifs ($P < 0,05$) sur la production d'alevins et les taux de survie. Les feuilles de potiron ont eu des effets significatifs sur la chlorophylle *a*, la VDS et l'OD, tandis que le son de maïs a significativement accru l'alcalinité ($P < 0,05$).

Dans des traitements à base de feuilles de végétaux, les meilleurs gains de poids ont été obtenus dans les monocultures de *T. rendalli* (225 g et 325 g, avec les feuilles de chou et de potiron, respectivement). Ces traitements n'ont pas donné de bons résultats dans les monocultures de *O. shiranus*. Toutefois, de bons résultats ont été obtenus en polyculture avec le son de maïs. L'utilisation de feuilles de végétaux dans l'alimentation des poissons élevés en étang présente un certain intérêt pour les petits éleveurs malawiens dont les ressources sont limitées. La polyculture de TR:OS dans un rapport de charge de 25:75 semble offrir le meilleur compromis entre les résultats de gain pondéral et ceux de survie.

^aICLARM Contribution No. 991.

^bAdresse actuelle : Center for Regenerative Studies, California State Polytechnic University, 3801 West Temple Avenue, Pomona, CA 91768, Etats-Unis.

Introduction

L'emploi de végétaux terrestres et aquatiques dans l'alimentation des poissons a été rapporté par un certain nombre de chercheurs (ex. : Pullin, 1986 ; Edwards, 1987 ; Edwards et coll., 1988 ; Hasan et coll., 1990). Des rendements de 5-6 t·ha⁻¹·an⁻¹ sont possibles si l'on utilise ce type de végétation comme seul facteur de production dans les étangs de pisciculture (Edwards, 1987).

Au Malawi, la plupart des pisciculteurs font de la polyculture de *Tilapia rendalli* (essentiellement herbivores) et *Oreochromis shiranus* (microphages) dans leurs étangs qu'ils fertilisent systématiquement avec des déchets végétaux, surtout pendant la saison des pluies quand le son de maïs, l'intrant le plus fréquemment utilisé, devient rare (Chikafumbwa, 1990). Durant cette période, le son de maïs trouve alors un usage domestique pour compléter les vivres de la famille (Costa-Pierce et coll., 1991 ; ICLARM et GTZ, 1991).

Au Malawi, le chou et le potiron sont les cultures les plus fréquemment pratiquées. La culture du chou, toutefois, produit une importante quantité de déchets, y compris les déchets dus aux insectes qui peuvent constituer jusqu'à 45-49 % des récoltes totales (Chimatiro, 1992). Bien que les éleveurs malawiens utilisent volontiers les déchets végétaux comme aliments dans les élevages en étang, peu de recherches ont été menées sur les effets de cette pratique. Notre objectif était donc d'étudier les effets de l'utilisation des déchets végétaux sur les rendements piscicoles et sur la qualité de l'eau dans des polycultures de tilapias en bassin.

Matériel et méthodes

L'expérience a été réalisée sur une période de 134 jours pendant la saison

chaude au Malawi (de 18 septembre 1990 au 30 janvier 1991) dans des bassins cimentés de 5 m³ et de 1 m de profondeur. Les différents traitements ont été répartis aléatoirement entre 12 bassins et répétés une seconde fois (Tableau 1). Des individus de *T. rendalli* (TR) et de *O. shiranus* (OS) de sexes mixtes et d'un poids moyen (PM±ET) de 12±0,4 g et 12±0,7 g, respectivement, ont été stockés dans quatre rapports de charge différents (25:75, 0:100, 100:0 et 75:25) à une densité de 6 poissons·m⁻².

Les choux et les potirons étaient cultivés sur les digues des étangs de pisciculture. Des analyses de la composition des feuilles de chou et de potiron ont été réalisées pour déterminer les taux de matière sèche, de protéines brutes, de matière cellulosique, d'extrait d'éther et phosphore total. Le son de maïs a été acheté dans les villages aux environs du Centre national d'aquaculture (NAC) à Domasi.

Les bassins ont été remplis d'eau provenant de la rivière Domasi jusqu'à obtenir 1 m de profondeur, et de l'eau était rajoutée régulièrement pour couvrir les pertes dues à l'évaporation. Dix paramètres de qualité de l'eau étaient mesurés entre 6h00 et 8h00 dans tous les bassins à différents intervalles à l'aide d'instruments et procédés divers (Tableau 2). Les températures minimales et maximales étaient relevées tous les jours. Toutes les opérations de nourrissage étaient effectuées une fois par jour à 14h00, cinq jours par semaine (du lundi au vendredi). Les traitements ont consisté à submerger des bottes de feuilles de chou et de potiron (attachées avec du fil de fer) à une profondeur d'eau de 30 cm environ et à un taux de charge suffisant pour simuler les conditions d'élevage en étang (50 kg de matière sèche [MS]·ha⁻¹·jour⁻¹). Toutes les fois que de la matière sèche était rajoutée, les restes de la charge précédente étaient

Tableau 1. Traitements et taux d'application des feuilles de chou et de potiron et du son de maïs. Des bassins de 5 m³ ont été utilisés pour tous les traitements. Les poids frais des intrants sont ceux du tableau 3. TR = *Tilapia rendalli* ; OS = *Oreochromis shiranus*.

Traitements		Taux d'application (g·jour ⁻¹)			Nombre de poissons par m ³ de bassin	
Rapports TR:OS	Intrants	Chou	Potiron	Son de maïs	TR	OS
25:75	Chou	292	-	-	8	22
0:100	Chou	292	-	-	0	30
100:0	Chou	292	-	-	30	0
75:25	Chou	292	-	-	22	8
25:75	Potiron	-	233	-	8	22
0:100	Potiron	-	233	-	0	30
100:0	Potiron	-	233	-	30	0
75:25	Potiron	-	233	-	22	8
25:75	Son de maïs	-	-	39	8	22
0:100	Son de maïs	-	-	39	0	30
100:0	Son de maïs	-	-	39	30	0
75:25	Son de maïs	-	-	39	22	8

laissés dans les bassins. Le son de maïs, chargé à raison de 50 kg MS·ha⁻¹·jour⁻¹, a servi de témoin.

La croissance des poissons était évaluée tous les 15 jours. Tous les poissons de chaque bassin étaient capturés au filet, tranquilisés à la benzocaïne (Ross et Ross, 1984) et pesés individuellement

au gramme près. Les longueurs (totales et standards) étaient mesurées au millimètre près et les mortalités étaient enregistrées tous les jours.

A la récolte, tous les poissons restants étaient pesés et mesurés individuellement ; les bassins étaient vidangés et les sédiments qui s'étaient accumulés

Tableau 2. Paramètres de la qualité de l'eau mesurés : méthodes et instruments utilisés.

Paramètre	Unités	Instrument	Intervalles
Alcalinité totale	mg·l ⁻¹ en CaCO ₃	Trousse de Hatch titrage digital	tous les 15 jours
pH	-	Trousse de Hach	toutes les semaines
Oxygène dissous	mg·l ⁻¹	YSI	tous les 15 jours
Conductibilité	µmho·cm ⁻¹	WTW LF 91	tous les 15 jours
Chlorophylle a	mg·l ⁻¹	Spectromètre Spectronic 20D	tous les 15 jours
Visibilité au disque de Secchi	cm	Disque code 1062	toutes les semaines
Température (min/max)	°C	Thermomètre de Brannan	tous les jours
Ammoniaque	mg·l ⁻¹	Hach DREL/5	tous les mois

collectés et pesés. Les alevins produits au cours de l'expérience dans les différents traitements étaient collectés, comptés et pesés.

Un classement non paramétrique a été réalisé pour rendre compte des effets cumulés des traitements sur la croissance des poissons et les paramètres de la qualité de l'eau (Siegel, 1956 ; Alder et Roessler, 1972). Dans le cas de variables multiples, le coefficient de corrélation (W_c) de Kendall était appliqué (Zar, 1984). Pour savoir si W_c était significatif, W_c était converti en χ^2 de Friedman. Un coefficient de corrélation multigroupe était calculé (Schucany et Frawley, 1973) si les corrélations entre deux groupes de données étaient significatives.

Résultats

Le tableau 3 présente les résultats des analyses de la composition des intrants. Dans l'ensemble, la valeur nutritionnelle des intrants était médiocre ; les taux de protéines brutes les plus élevés se trouvant dans les feuilles de potiron (5,4 %).

Le tableau 4 présente les valeurs obtenues pour les différents paramètres de production de poissons et d'alevins dans les trois traitements et différents rapports de charge. Les analyses paramétriques de variance pour deux facteurs ont mis en évidence que les différents intrants avaient des effets significatifs sur le taux de croissance spécifique (TCS) et le gain pondéral total des adultes. La croissance pondérale et les TCS les plus élevés ont été obtenus avec le son de maïs dans tous les rapports de charge. Les rapports de charge ont eu des effets significatifs sur la survie des adultes et sur la production d'alevins. Le coefficient de corrélation de Kendall, en tenant compte des classements *ex*

Tableau 3. Analyse de la composition (%) du son de maïs (Kadongola, 1990), et des feuilles de chou (*Brassica oleracea* var. *capitata*) et de potiron (*Cucurbita maxima*).

Paramètre	Chou	Potiron	Son de maïs
Matière sèche	9,9	17,9	93,0
Protéines brutes	2,3	5,3	2,1
Matière cellulosique	5,1	3,0	8,0
Extraits d'éther	5,1	3,0	13,8
Phosphore	0,2	0,1	-

aequo (W_c) pour les 12 traitements (espèces x aliments) et pour les sept paramètres de production contrôlés (gain pondéral total, gain pondéral net, survie, production d'alevins, TCS, rendements nets, et IC), était significatif ($P < 0,05$) (Tableau 5).

Le tableau 6 présente les valeurs moyennes obtenues pour les paramètres de la qualité de l'eau. Les différents intrants ont eu des effets significatifs sur le pH, l'oxygène dissous (OD), l'alcalinité totale, la visibilité au disque de Secchi (VDS) et la chlorophylle *a* (chl). Les feuilles de potiron ont donné des concentrations moyennes de chl significativement plus élevées, et des valeurs plus basses pour la VDS et plus élevées pour l'OD. Le son de maïs a significativement augmenté les taux d'alcalinité. Dans l'ensemble, la qualité de l'eau, comme l'indique la somme des classements de groupes (ΣR_i), était meilleure dans les rapports de charge de TR:OS=25:75 dans les bassins fertilisés avec des feuilles de chou, suivie par la monoculture OS dans les bassins fertilisés avec des feuilles de potiron. La qualité de l'eau la meilleure a été réalisée avec des feuilles de potiron, suivie par les feuilles de chou et le son de maïs (Tableau 7). Le coefficient de corrélation de Kendall, en tenant compte des classements *ex aequo* (W_c) pour les 12

Tableau 4. Caractéristiques des rendements pour divers rapports de charge de *Tilapia rendalli* et *Oreochromis shiranus* dans des bassins de 5 m³ sur 134 jours. Le gain pondéral n'est donné que pour les adultes. Les valeurs totales de gain pondéral comprennent les alevins. Les niveaux de signification pour deux facteurs sont indiqués par des astérisques (*=5 %, **=1 % et ***=0,1 %).

Variable	Traitements : (Aliments et rapports de charge des espèces)												Niveaux de signification
	Chou				Potiron				Son de maïs				
	25:75	0:100	100:0	75:25	25:75	0:100	100:0	75:25	25:75	0:100	100:0	75:25	
Poids initial moyen (g)	12,27	12,67	11,97	12,14	11,84	12,17	11,95	11,84	12,07	11,65	12,5	12,05	
Min.-Max. (g)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	(10-15)	
Poids final moyen (g)	18,17	15,35	20,86	21,09	20,24	21,76	22,8	23,2	25,07	22,83	23,86	25,61	
Min.-Max. (g)	(15-25)	(11-23)	(14-28)	(17-32)	(17-29)	(13-32)	(16-35)	(18-32)	(14-35)	(11-36)	(15-34)	(19-36)	
Gain pondéral (g)	158	65	225	121	232	266	325	-8	364	312	317	355	Intrants***
Survie (%)	94,7	95,0	95,0	71,9	97,8	95,0	98,4	54,9	97,8	95,0	96,7	87,1	Rapports*
Production d'alevins:-													
Total (g)	600	451	114	354	481	456	4	576	261	749	280	135	Rapports*
% de la production totale	79	87	34	75	68	63	1	101	42	71	47	28	
Gain pondéral total (g)	758	516	339	475	713	722	329	568	625	1,061	597	490	
Rendements nets moyens:													
kg·ha ⁻¹ ·134 jours	1.516	1.032	678	950	1.426	1.444	658	1.136	1.250	2.122	1.194	980	
TCS (%/jour)	0,36	0,16	0,40	0,47	0,43	0,45	0,49	0,47	0,53	0,51	0,48	0,61	Intrants*
IC	3,6	5,3	8,0	5,7	3,9	3,9	8,5	4,9	4,5	2,6	4,7	5,7	
Production de sédiments (kg)	14,1	14,7	14,7	16,2	16,2	13,5	26	34,6	12,2	8,9	20,9	19,1	

Tableau 5. Données de récolte pour *Tilapia rendalli* (TR) et *Oreochromis shiranus* (OS). Les performances sont données par ordre de classement. En première ligne (non numérotée) sont donnés les divers rapports de charge pour TR:OS. Les lignes 2, 5, 8, 9, 14 et 23 donnent les divers classements donnés aux effets des rapports de charge sur les performances des poissons quand l'alimentation est constante. Par exemple, la ligne 2 donne les classements des effets des rapports de charge sur le gain pondéral total de la polyculture TR+OS où les poissons étaient respectivement nourris avec des feuilles de chou et de potiron et au son de maïs (madeya). Les lignes 3, 6, 10, 12, 15, 19, 21 et 24 donnent les classements obtenus pour les Interactions entre les rapports de charge et les aliments. Par exemple, la ligne 5 donne les classements pour les effets cumulés des rapports de charge et des aliments sur le gain pondéral total de la polyculture TR+OS. Les lignes 1, 4, 7, 11, 13, 16, 17, 18, 20 et 22 donnent les valeurs en (g), kg·ha⁻¹ sur 134 jours et/ou pourcentage (%); les IC ont été calculés en tenant compte du poids des alevins produits. (ΣR_i) est la somme de six classements de groupe (lignes 10, 12, 15, 19, 21 et 24). # = classements *ex aequo* pour certains traitements, ces valeurs étant donc des moyennes (Friedman, 1937). Le coefficient de corrélation de Kendall, en tenant compte des classements *ex aequo* est (W_c)=0,33 (Kendall, 1962; Zar, 1984). W_c est significatif au seuil de $< 0,025$ car $-\chi^2 = M(n-1) = 22,011$ est supérieur à $\chi^2_{0,05, 11} = 19,675$ où χ^2 est le chi-carré de Friedman (1937); M=nombre de groupes (6); n=nombre d'entités (classements de groupe et classement général moins les lignes 8, 9) classées (12); et (R_i) donne le classement général d'après les valeurs de (ΣR_i).

Li-gne	Résultats	TR:OS Aliment	Traitements											
			25:75 Chou	0:100 Chou	100:0 Chou	75:25 Chou	25:75 Potiron	0:100 Potiron	100:0 Potiron	75:25 Potiron	25:75 Madeya	0:100 Madeya	100:0 Madeya	75:25 Madeya
1	Gain de poids total (g)	TR+OS	158	65	225	121	232	216	325	-8	364	312	317	355
2		Classement groupe	2	4	1	3	3	2	1	4	1	4	3	2
3		Classement total	9	11	8	10	7	6	3	12	1	5	4	2
4	Gain de poids frais total (%)	TR+OS + alevins	758	516	339	475	713	722	329	568	625	1.061	597	490
5		Classement groupe	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1	3	4
6		Classement total	2	8	11	10	4	3	12	7	5	1	6	9
7	Gain de poids frais total (%)	TR+OS	135,5	94,4	135,8	130,4	159,2	160	200,7	89,3	303,6	197,8	172,6	205,9
8		Classement groupe (TR)	1	-	2	3	1	-	2	3	1	-	3	2
9		Classement groupe (OS)	2	3	-	1	3	2	-	1	2	3	-	1
10	Survie (%)	Classement total (TR+OS)	9	11	8	10	7	6	3	12	1	4	5	2
11		TR+OS	94,7	95	95	71,9	97,8	95	98,4	54,4	97,8	95	96,7	87,1
12		Classement total	9	6,5#	6,5#	11	2,5#	6,5#	1	12	2,5#	6,5#	4	10
13	Production d'alevins	TR	600	451	114	354	481	456	4	576	261	749	280	135
14		Classement groupe	1	2	4	3	2	3	4	1	3	1	2	4
15		Classement total	2	6	11	7	4	5	12	3	9	1	8	10
16	TCS (%·jour ⁻¹)	TR	0,46	-	0,40	0,41	0,50	-	0,49	0,40	0,50	-	0,48	0,50
17		OS	0,25	0,16	-	0,52	0,36	0,45	-	0,54	0,56	0,51	-	0,71
18		TR+OS	0,36	0,16	0,40	0,47	0,43	0,45	0,49	0,47	0,53	0,51	0,48	0,61
19	Rendements nets (kg·ha ⁻¹ ·134 j)	Classement total	11	12	10	6,5#	9	8	4	6,5#	2	3	5	1
20		TR+OS	1.516	1.032	678	960	1.426	3	1.444	658	1.136	1.250	2.122	1.194
21		Classement total	2	8	11	10	4	3	12	7	5	1	6	9
22	IC	TR+OS	3,6	5,3	8,0	5,7	3,9	3,9	8,5	4,9	4,5	2,6	4,7	5,7
23		Classement groupe	1	2	4	3	2	1	4	3	2	1	3	4
24		Classement total	2	8	11	9,5#	3,5#	3,5#	12	7	5	1	6	9,5#
25	Somme des classements (total) (ΣR_i)		35	51,5	57,5	54	30	32	44	47,5	24,5	16,5	34	41,5
26	Classement général (R_i)		6	10	12	11	3	4	8	9	2	1	5	7

Tableau 6. Valeurs moyennes des paramètres de la qualité de l'eau dans des bassins de 5 m³ sur 134 jours. Les niveaux de signification facteurs sont indiqués par des astérisques (*<5 %, **<1 % et ***<0,1 %). Les chiffres entre parenthèses sont les valeurs minimales et maximales de ces moyennes. TR = *Tilapia rendalli*; OS = *Oreochromis shiranus*. NS = non significatif.

Paramètre de la qualité de l'eau	Traitements : Allments et rapports de charge TR:OS												Signification
	Feuilles de chou				Feuilles de potiron				Son de maïs				
	25:75	0:100	100:0	75:25	25:75	0:100	100:0	75:25	25:75	0:100	100:0	75:25	
pH (unité)	8 (7,1-9,8)	8,2 (7,3-9,7)	8,5 (7,3-9,3)	8,3 (7,5-9,5)	9,1 (7,8-10,2)	8,9 (8,5-9,6)	9,2 (7,8-9,9)	9,3 (7,8-9,8)	8,2 (6,0-9,6)	8,1 (7,3-9,5)	8,2 (7,5-9,3)	8,4 (7,6-9,9)	Intrants*
Oxygène dissous (mg.l ⁻¹)	3,9 (1,3-9,0)	4,1 (1,3-8,8)	4,4 (1,6-9,3)	3,6 (1,3-8,7)	6,1 (4,0-9,9)	4,3 (1,5-9,1)	6,2 (1,9-10,9)	6,5 (2,6-9,5)	2,6 (1,0-9,1)	2,9 (1,3-8,8)	2,6 (0,9-9,3)	3,1 (1,1-9,3)	Intrants***
Chlorophylle a (mg.l ⁻¹)	15,6 (5,8-29,0)	9,7 (4,1-26,0)	8,0 (0,8-20,0)	9,7 (0,8-15,5)	15,5 (3,4-39,2)	20,1 (1,0-45,4)	17,4 (2,0-43,8)	17,7 (5,6-32,0)	10,7 (2,2-19,1)	5,9 (1,8-11,0)	6,2 (2,1-9,1)	5,7 (0,9-12,9)	Rapports***
Visibilité au disque de Secchi (cm)	55,0 (31->100)	59,6 (29->100)	60,5 (28->100)	59,6 (26->100)	53,9 (24->100)	37,4 (14->100)	53,1 (25->100)	49,0 (26->100)	62,1 (29->100)	70,0 (35->100)	68,9 (38->100)	68,0 (35->100)	Intrants*
Alcalinité totale (mg.l ⁻¹)	75,2 (28-120)	69,5 (28-113)	63,9 (30-90)	69,1 (31-105)	57,4 (28-88)	68,6 (28-99)	60,7 (29-89)	61,3 (29-84)	84,3 (31-130)	83,8 (33-126)	82,3 (26-124)	80,7 (29-84)	Intrants***
Ammoniaque (mg.l ⁻¹)	0,55 (0,29-0,83)	0,504 (0,09-0,9)	0,503 (0,07-0,87)	0,756 (0,07-1,48)	0,528 (0,07-1,1)	0,783 (0,07-1,4)	0,544 (0,08-0,93)	0,622 (0,071,2)	0,53 (0,06-0,86)	0,431 (0,07-0,67)	0,552 (0,08-0,95)	0,569 (0,06-1,1)	NS
Posphore total (mg.l ⁻¹)	2,592 (0,9-5,4)	2,308 (0,8-2,8)	2,242 (0,9-3,3)	2,175 (0,9-4,4)	2,092 (1,2-2,8)	4,591 (0,9-9,6)	2,075 (0,8-4,3)	2,508 (0,8-5,1)	1,9 (1,0-2,3)	2,2 (0,8-4,8)	2,025 (0,9-5,7)	2,175 (0,8-3,7)	NS
Conductibilité (µmho.cm ⁻¹)	154,2 (63-229)	141,5 (59-225)	139,8 (58-217)	145,5 (64-219)	127,8 (57-149)	148,3 (63-188)	133,5 (67-174)	133,6 (63-157)	173,3 (63-251)	161,3 (63-188)	175,8 (56-245)	162,1 (62-220)	Intrants***

Tableau 7. Moyennes et classements des valeurs des paramètres de la qualité de l'eau. Les valeurs de pH comprises entre 6,0 et 8,0 ont été classées en 1^{ère} position ; les valeurs de pH augmentant ou diminuant de 0,1 par rapport à la norme retenue (6,0-8,0) ont été classées en 2^e position, etc. *Les traitements qui ont obtenu des scores égaux et avaient par conséquent le même classement, ont reçu comme valeur la moyenne des classements *ex aequo* (Friedman, 1937) : les traitements du groupe 1 étaient *ex aequo* en 3^e position ; les traitements du groupe 2 étaient *ex aequo* en 11^e et 12^e positions et ont donc reçu 11,5 ; les traitements du groupe 3 étaient *ex aequo* en 7^e et 8^e positions et ont donc reçu 7,5 ; les traitements du groupe 4 étaient *ex aequo* en 6^e et 7^e positions et ont donc reçu 6,5 ; et les traitements du groupe 7 étaient *ex aequo* en 7^e et 8^e positions et ont donc reçu 7,5. (ΣR_i) est la somme des classements 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 (le classement 1 est exclu); le coefficient de corrélation de Kendall, compte tenu des classements *ex aequo* (W_c)=0,065 (Kendall, 1962 ; Zar, 1984); W_c n'est pas significatif au seuil de $> 0,05$ car: $\chi^2 = M(n-1)W = 5,72 < \chi^2_{0,05, 11} = 19,675$ où: χ^2 est le chi-carré de Friedman (Friedman, 1937); M=nombre de classements (8); n=nombre d'entités classées (12); et (R_i) donne le classement général d'après les valeurs de (ΣR_i).

Rapports de charge		pH		OD (mg·l ⁻¹)		Chlorophylle a (mg·l ⁻¹)		VDS (cm)		Alcalinité (mg·l ⁻¹)		Ammoniaque (mg·l ⁻¹)		Orthophosphate (mg·l ⁻¹)		Conductibilité (mg·l ⁻¹)		Somme des classements de groupe (ΣR_i)	Classement général (R_i)
TR:OS	Type d'aliment	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3	Groupe 4	Groupe 5	Groupe 6	Groupe 7	Groupe 8	Groupe 9	Groupe 10	Groupe 11	Groupe 12	Groupe 13	Groupe 14	Groupe 15	Groupe 16		
25:75	Chou	8,0	1	3,9	7	15,6	4	55,0	5	75,2	5	0,550	7	2,592	2	154,2	5	36	1
0:100	Chou	8,2	3*	4,1	6	9,7	7,5*	59,6	6,5*	69,5	6	0,504	3	2,308	4	141,5	8	44	3
100:0	Chou	8,5	6	4,4	4	8,0	9	60,5	8	63,9	9	0,503	2	2,242	5	139,8	9	52	7
75:25	Chou	8,3	4	3,6	8	9,7	7,5*	59,6	6,5*	69,1	7	0,756	11	2,175	7,5*	145,5	7	58,5	11,5*
25:75	Potiron	9,1	8	6,1	3	15,5	5	53,9	4	57,4	12	0,528	4	2,092	9	127,8	12	57	9
0:100	Potiron	8,9	7	4,3	5	20,1	1	37,4	1	68,6	8	0,783	12	4,591	1	148,3	6	41	2
100:0	Potiron	9,2	9	6,2	2	17,4	3	53,1	3	60,7	11	0,544	6	2,075	10	133,5	11	55	8
75:25	Potiron	9,3	10	6,5	1	17,7	2	49	2	61,3	10	0,622	10	2,508	3	133,6	10	48	4,5*
25:75	Madeya	8,2	3*	2,6	11,5*	10,7	6	62,1	9	84,3	1	0,530	5	1,900	12	173,3	2	49,5	6
0:100	Madeya	8,1	2	2,9	10	5,9	11	70,0	12	83,8	2	0,431	1	2,200	6	161,3	4	48	4,5*
100:0	Madeya	8,2	3*	2,6	11,5*	6,2	10	68,9	11	82,3	3	0,552	8	2,025	11	175,8	1	58,5	11,5*
75:25	Madeya	8,4	5	3,1	9	5,7	12	68	10	80,7	4	0,569	7	2,175	7,5*	162,1	3	57,5	10

traitements et pour huit variables de la qualité de l'eau (pH, OD, chlorophylle a, VDS, alcalinité totale, ammoniacque et phosphore total), n'était pas significatif (Tableau 7).

Discussion

Dans les traitements à base de feuilles de chou et de potiron, les gains de poids les plus élevés ont été obtenus dans les monocultures de TR. Les monocultures ont donné les meilleurs gains de poids dans les bassins fertilisés avec des feuilles de potiron. Pour les deux espèces, les meilleurs gains de poids ont été obtenus dans les polycultures à 25 % quel que soit l'intrant utilisé. Les meilleurs taux de survie ont été obtenus dans les élevages de rapport de charge de 25:75. La production d'alevins la plus élevée a été obtenue dans les bassins où les proportions de OS étaient les plus hautes et dans les traitements combinant feuilles de chou et de potiron.

Selon Ayoade et coll. (1986) et Rajadevan et Schramm (1989), les feuilles de chou contenaient respectivement 8,9 % et 13,4 % de cellulose tandis que selon Platt (1962), les feuilles de potiron n'en contenaient que 0,8 %. Par conséquent, les feuilles de potiron sont plus efficaces quand elles sont données comme aliment dans les élevages de tilapias, et les feuilles de chou comme agent fertilisant pour les étangs.

Dans l'ensemble, les gains de poids étaient plus élevés avec le son de maïs. Bien que des trois intrants, le son de maïs ait la teneur en protéines brutes la plus faible, son taux de MS atteint 93 % alors que les feuilles de potiron n'en sont composées qu'à 18 %.

D'après les résultats obtenus au niveau des paramètres de la qualité de l'eau : pH, OD et chl élevés et VDS faible, les

feuilles de potiron ont produit davantage d'aliments naturels (Tableaux 6 et 7). Ceci est peut-être dû à l'effet fertilisant des taux élevés de phosphore total (0,09 %) et de protéines brutes (5,4 %) (Tableau 3) contenus dans les feuilles de ces végétaux.

Les analyses paramétriques réalisées sur les données obtenues dans tous les traitements ont donné, pour la plupart, des résultats peu concluants. Les analyses de variance n'ont révélé aucune différence significative entre les traitements. Toutefois, d'après les classements effectués, des effets significatifs sur les paramètres de la production de poissons ont pu être démontrés. Selon Kendall (1962), les classements les plus justes sont obtenus, quand W_c est significatif, en classant par ordre les sommes de tous les classements, c'est-à-dire ΣR_i . Ainsi, les meilleurs résultats de croissance ont été obtenus avec le son de maïs dans une monoculture OS, suivis par le son de maïs dans une polyculture TR:OS=25:75. Ces traitements ont donné les valeurs de ΣR_i les plus faibles (16,5 et 24,5, respectivement) suivies par la polyculture TR:OS=25:75 avec les feuilles de potiron ($\Sigma R_i=30$). Les résultats du classement indiquent aussi que les feuilles de potiron ont eu l'influence la plus importante sur les paramètres de la qualité de l'eau.

Dans l'ensemble, les meilleurs gains de poids ont été obtenus dans la monoculture de TR, et dans les monocultures de TR et de OS, ils ont été réalisés avec des feuilles de potiron. Ces résultats suggèrent qu'il y a peu de synergie dans les polycultures de TR:OS. Or, si l'on veut atteindre un compromis entre gain pondéral et survie, la polyculture TR:OS=25:75 pourrait offrir les meilleurs résultats. Pour les éleveurs dont les ressources sont limitées, les feuilles de potiron peuvent être utilisées à la place du son de maïs. Comme la

production d'alevins était plus élevée dans les traitements à base de végétaux, ces systèmes de production pourraient aider les pisciculteurs qui ont des difficultés à se procurer des fingerlings. Les recherches doivent toutefois être poursuivies pour confirmer que les résultats de ces expériences menées en bassin valent aussi en étang.

Remerciements

Ces travaux ont été financés par une contribution du Deutsche Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (BMZ), Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, au Centre international de gestion des ressources aquatiques vivantes (ICLARM). Nous tenons également à remercier M. Silence Sonthe pour son soutien technique lors des expériences. Les auteurs ont pu participer au symposium grâce au soutien du Projet germano-malawien de développement halieutique et aquacole (MAGFAD).

Littérature citée

- Alder, H.L. et E.B. Roessler. 1972. Introduction to probability and statistics. 5^e éd. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Ayoade, J.A., J.S. Kaminjolo et T.P.E. Makhambera. 1986. The effect of concentrated supplementation on carcass components of guinea pigs fed fresh cabbages. *Bunda J. Agric. Res.* 1:44-48.
- Chikafumbwa, F.J.K.T. 1990. Use of napier grass (*Pennisetum purpureum*) for small-scale aquaculture in Malaŵi. Paper presented at the Conference on Research for the Development of Tropical Aquaculture Technology for Implementation in Rural Africa, 2-6 avril 1990, ICLARM/GTZ-Malaŵi Department of Fisheries-University of Malaŵi.
- Chimatiro, S.K. 1992. Ecology of small-scale fish farms in the Zomba District. University of Malaŵi, Zomba, Malawi. 144 p. Mémoire de maîtrise.
- Costa-Pierce, B.A., C. Lightfoot, K. Ruddle et R.S.V. Pullin. Editeurs. 1991. Aquaculture research and development in rural Africa. ICLARM Conf. Proc. 27, 52 p.
- Edwards, P. 1987. Use of terrestrial vegetation and aquatic macrophytes in aquaculture, p. 331-333. *In* D.J.W. Moriarty et R.S.V. Pullin (éds.) *Detritus and microbial ecology in aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 14, 420 p.
- Edwards, P., R.S.V. Pullin et J.A. Gartner. 1988. Research and education for the development of integrated crop-livestock-fish farming systems in the tropics. *ICLARM Stud. Rev.* 16, 53 p.
- Friedman, M. 1937. Use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. *J. Am. Stat. Assoc.* 32:675-701.
- Hasan, M.R., M. Moniruzaman et A.M. Farooque. 1990. Evaluation of *Leucaena* and waterhyacinth leaf meal on dietary protein sources of the fry of Indian carp, *Labeo rohita* (Hamilton), p. 275-278. *In* R. Hirano et I. Hanyu (éds.) *The Second Asian Fisheries Forum*. Asian Fisheries Society, Manille, Philippines. 991 p.
- ICLARM et GTZ. 1991. The context of small-scale integrated agriculture-aquaculture systems in Africa: a case study of Malaŵi. *ICLARM Stud. Rev.* 18, 302 p.
- Kadongola, W.K. 1990. Maize (*Zea mays*, Linnaeus) bran as a supplemental feed in the culture of *Tilapia rendalli* (Boulenger) and *Oreochromis shiranus* (Boulenger). University of Malaŵi, Zomba, Malawi. 177 p. Mémoire de maîtrise.
- Kendall, M.G. et B. Babington-Smith. 1939. The problem of m rankings. *Annu. Math. Stat.* 10:275-278.
- Kendall, M.G. 1962. Rank correlation methods. 3^e éd. Charles Griffin, Londres. 199 p.
- Platt, B.S. 1962. Tables of representative values of foods commonly used in tropical countries. Medical Research Council, Londres, R-U. 46 p.
- Pullin, R.S.V. 1986. Culture of herbivorous tilapias, p. 145-149. *In* Proceedings of the International Conference on Development Management. Tropical Living Aquatic Resources, 2-5 août 1983, Serdang, Malaisie.
- Rajadevan, P. et M. Schramm. 1989. Nutritional value of cabbage and Kikuyu grass as food for grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 19(2):67-70.
- Ross, L.G. et B. Ross. 1984. Anaesthetic and sedative techniques for fish. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, Ecosse.
- Schucany, W.R. et W.H. Frawley. 1973. A rank test for two group concordance.

Psychometrika 38:249-258.

Siegel, S. 1956. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. International student edition. McGraw-Hill, Kogakusha, Japon.

312 p.

Zar, J.H. 1984. Biostatistical analysis. 2^e éd. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 718 p.

Etude du rapport protéine-énergie dans l'alimentation de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) : influence sur la consommation alimentaire, la croissance et la composition corporelle

A. CISSÉ

Centre de recherches océanologiques (CRO)
B.P. V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire

CISSE, A. 1996. Etude du rapport protéine-énergie dans l'alimentation de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) : influence sur la consommation alimentaire, la croissance et la composition corporelle, p. 213-218. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'influence de différents rapports protéino-énergétiques a été étudiée sur des mâles de *Sarotherodon melanotheron* (7,5 g) maintenus en aquariums. Les résultats suivants ont été obtenus :

- l'apport calorique du régime affecte sensiblement la consommation alimentaire des poissons contrairement au taux de protéines totales ;
- les meilleurs gains de poids, indices de consommation et coefficients d'efficacité protéique sont obtenus des individus nourris avec un aliment composé contenant 30 % de protéines totales et apportant environ 1.700 kJ par 100 g d'aliment. Le rapport protéine-énergie optimal pour l'alimentation de cette espèce semble être de 17 mg de protéine par kJ. Plus on s'éloigne de cette valeur moins les performances de croissance apparaissent satisfaisantes ; et
- les dépôts lipidiques sont directement liés à l'apport de lipide dans l'aliment et inversement liés au taux de protéines.

Introduction

Sarotherodon melanotheron est une espèce de tilapia lagunaire très appréciée par la population ivoirienne et de consommation courante. Ses potentialités pour l'aquaculture ont déjà été mentionnées (Pillay, 1965 ; Pauly, 1976 ; Silvalingam, 1976 ; Legendre, 1983 ; Albaret, 1987 ; Legendre et coll., 1989). Dans le but de développer son élevage dans les lagunes de Côte d'Ivoire, une série de travaux de recherches a été menée par le Centre de recherches océanologiques d'Abidjan. Les résultats préliminaires (Legendre, 1983, 1986 ; Cissé, 1986) ont permis d'observer une variabilité importante des indices de consommation en fonction de l'aliment composé et des structures

d'élevage utilisées. Le présent travail se propose d'étudier différents rapports protéino-énergétiques dans l'aliment composé et leurs influences sur la consommation, la croissance et la composition corporelle de l'espèce.

Matériel et méthodes

L'expérience, d'une durée de 45 jours, a été réalisée à la Station de Layo (Côte d'Ivoire) dans une batterie d'aquariums rectangulaires d'une contenance utile de 175 litres chacun. Les structures ont fonctionné en circuit fermé à l'aide de filtres biologiques de type EHEIM 2013. Le renouvellement de l'eau s'est fait à un débit de 5 à 6 litres·min⁻¹. Les paramètres physico-chimiques mesurés

au cours de la période expérimentale ont donné les valeurs suivantes : température de l'eau ($28 \pm 1^\circ\text{C}$) ; concentration en oxygène ($5,5\text{-}6,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) ; pH ($6,2\text{-}7,5$) ; et concentrations en N-ammoniacal et en nitrite respectivement maintenues au-dessous de $0,008$ et $0,15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

L'expérience était un arrangement factoriel de 3×2 , avec des régimes contenant trois niveaux d'énergie brute ($1.600 \times 1.700 \text{ kJ}$ par 100 g d'aliment) pour deux niveaux de protéines totales (20% et 30%). Les teneurs réelles en

protéines de chaque aliment après analyse chimique sont présentées dans le tableau 1. L'apport énergétique des régimes a été calculé en utilisant les coefficients suivants : $5,5 \text{ Kcal}\cdot\text{jour}^{-1}$ pour les protéines, $9,1 \text{ Kcal}\cdot\text{jour}^{-1}$ pour les lipides et $4,1 \text{ Kcal}\cdot\text{jour}^{-1}$ pour les glucides (Jauncey et Ross, 1982). La qualité de la source d'énergie et la qualité des protéines étaient essentiellement les mêmes dans tous les régimes. L'huile d'arachide variait tandis que l'huile de foie de morue était maintenue constante pour réduire la variation dans la

Tableau 1. Composition des aliments expérimentaux (en % de matière sèche).

Ingrédients	Lots, désignation de régime (% MS)					
	A	B	C	D	E	F
Farine de poisson locale ^a	22,22	22,22	22,22	38,89	38,89	38,89
Tourteau de soja	16,71	16,71	16,71	19,00	19,00	19,00
Huile d'arachide	3,40	7,10	10,90	0,00	3,80	7,50
Huile de foie de morue	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Farine de maïs	10,80	15,00	22,90	7,20	13,80	24,25
Son de blé	38,37	30,47	18,77	26,41	16,61	1,86
Liant (refus de farine de manioc)	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Mélange vitaminique ^b	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
Vitamine C	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Mélange minéral ^c	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
	Composition analytique ^d (% MS)					
Cendres	10,81	11,50	12,90	13,31	13,52	15,15
Matières cellulosiques	8,11	7,02	6,32	6,32	4,83	4,33
Protéines brutes (Nx6,25)	21,50	22,00	20,98	31,07	30,75	30,45
Matières grasses	8,11	10,10	12,40	5,02	6,80	7,50
Extratif non azoté (ENA)	51,47	49,38	47,40	44,28	44,10	42,57
	Valeurs calculées					
Energie brute ($\text{kJ}\cdot 100 \text{ g}^{-1}$)	1,61	1,74	1,84	1,62	1,72	1,76
$\text{mg protéine}\cdot\text{kJ}^{-1}$	13,3	12,7	11,4	19,2	17,9	17,3

^aRésidus de thon provenant des conserveries locales.

^b $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d'aliment - Vit. E, 25.000 ; Vit. B1, 5.000 ; Vit. B2, 6.000 ; Vit. B6, 5.000 ; Vit. PP, 40.000 ; Vit. B12, 4 ; AP, 16.000 ; Vit. K, 5.000 ; Ac.folique, 1.000 ; et Chlor. de choline, 250.

^c $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d'aliment - Cobalt, 25 ; Fer, 22.000 ; Iode, 2.500 ; Manganèse, 13.500 ; Cuivre, 1.500 ; Zinc, 7.500 ; et Sélénium, 45.

^dAnalyses réalisées au Laboratoire central de nutrition animale d'Abidjan (LACENA).

Résultats

palatibilité parmi les régimes. Les aliments ont été mélangés, humectés (20 % d'eau) et expulsés à travers les orifices (1 mm) d'une micro-granuleuse de marque Alexanderwerk AGM-8876. Les granulés humides ont ensuite été séchés à l'étuve à 50°C pour obtenir une humidité inférieure ou égale à 10 % avant d'être mis en sachets plastiques étanches et stockés en salle climatisée à 20-22°C jusqu'à utilisation.

Les poissons utilisés dans cette expérience étaient des jeunes *S. melanotheron* mâles pesant en moyenne 7,5 g, issus de deux couples de parents. Les poissons, qui au préalable recevaient un aliment renfermant 45 % de protéines, ont été mis à jeun deux jours avant le début de l'expérience. Six lots expérimentaux, répétés une fois chacun, ont été constitués à raison de 30 poissons par aquarium. Chaque lot recevait un aliment test distribué à la main en deux repas quotidiens et six jours par semaine. La ration journalière était fixée à 10 % de la biomasse totale des poissons de l'aquarium. L'aliment non consommé était récupéré par siphonnage après chaque nourrissage. Le poids sec de ce reliquat, soustrait de la quantité distribuée, a permis de déterminer la consommation moyenne quotidienne. La ration était réajustée chaque semaine en fonction de la biomasse des poissons présents dans chaque aquarium.

Le rendement de l'aliment composé a été évalué par l'indice de consommation (IC) défini comme le rapport entre l'aliment sec intégré et le gain en poids frais. Le coefficient d'efficacité protéique (CEP = gain de poids frais/protéines ingérées) et le rendement énergétique (gain de poids frais/100 Kcal ingérées) ont été évalués d'après les poids moyens de début et de fin d'expérience. L'analyse de variance et le test multiple de Duncan (1955) ont été utilisés pour l'interprétation des résultats.

Consommation alimentaire

Le niveau énergétique du régime influence de façon significative ($P < 0,05$) la consommation alimentaire chez *S. melanotheron*. En effet, la prise de nourriture diminue au fur et à mesure que la teneur en calories de l'aliment augmente. Changer de taux de protéines de 20 à 30 % n'a aucun effet significatif ($P > 0,05$) sur la quantité d'aliments consommée (Tableau 2).

Gain de poids, IC et CEP

Les résultats sont consignés dans le tableau 3. A la fin de l'expérience, il apparaît nettement que tous les lots ayant reçu 20 % de protéines totales ont une croissance moindre par rapport aux lots ayant reçu 30 % de protéines. Ceci quel que soit l'apport énergétique.

Les IC sont assez élevés dans l'ensemble, surtout dans les lots recevant une ration à 20 % de protéines. Le CEP varie également. Le lot E donne le meilleur résultat mais, à la différence

Tableau 2. Consommation alimentaire moyenne par *Sarotherodon melanotheron* au bout de 45 jours d'expérience^a.

Lots	Consommation journalière · 100 g de poisson ¹		
	Aliment sec ingéré (g)	Energie brute (kJ)	Protéine (g)
A	5,85 a	94,4 b	1,25 bc
B	5,01 b	86,9 d	1,10 cd
C	4,78 c	87,9 d	1,00 d
D	5,98 a	96,6 a	1,85 a
E	5,34 b	91,9 c	1,64 ab
F	4,99 c	87,6 d	1,51 b

^aLes moyennes portant la même lettre en indice ne sont pas statistiquement différentes ($P > 0,05$).

Tableau 3. Effet des différents régimes sur la croissance de *Sarotherodon melanotheron* au bout de 45 jours d'expérience^a.

Lots	Pourcentage de gain			IC	CEP
	Poids	Protéine	Energie		
A	355 d	225 c d	240 d	3,89 c	1,19 c
B	339 c d	244 c	278 d	3,18 b	1,42 b
C	198 e	189 d	363 b c	5,25 d	0,91 c
D	470 b	374 a	310 c d	1,80 a	1,79 a
E	535 a	411 a	414 a b	1,54 a	2,11 a
F	380 c	312 b	467 a	2,22 a	1,48 b

^aLes chiffres portant la même lettre en indice ne sont pas statistiquement différents ($P > 0,05$).

des IC, il n'y a pas de séparation nette entre les lots recevant des rations à teneur protéique plus ou moins élevée. Dans cette expérience, la meilleure performance est obtenue des individus nourris avec un régime contenant 30 % de protéines totales apportant environ 1.700 kJ par 100 g d'aliment. Dans nos conditions expérimentales, le rapport protéine-énergie optimal semble être de 17 mg de protéines par kJ pour un aliment destiné à *S. melanotheron*. Plus on s'éloigne de cette valeur, moins les résultats sont intéressants.

Composition corporelle des poissons expérimentaux

La qualité du régime alimentaire a une influence notable sur la composition globale des poissons après 45 jours de suivi, en particulier au niveau des lipides totaux et de la teneur en eau qui varient en sens inverse (Tableau 4). Quant à la teneur en protéines, le taux le plus élevé (16,3 %) s'observe chez les poissons nourris avec l'aliment contenant 30 % de protéines, et le moins élevé (14,8 %) s'obtient des poissons recevant un aliment à 20 % de protéines.

Discussion

Les présents résultats mettent en évidence une moindre efficacité des aliments à bas niveau protéique. Bien que la ration journalière ait été fixée à deux repas, les poissons semblent nourris à satiété, au vu des quantités d'aliment librement consommées (Tableau 2). Toutefois, l'aliment ingéré variait d'un lot à un autre. Les différences constatées sont sans doute davantage imputables à l'influence du rapport protéino-énergétique que du rapport lipide-glucide dans la ration. Les résultats obtenus dans cette expérience concordent avec les travaux de Shell (1969), Winfree et Stickney (1981) et Jauncey (1982) respectivement sur *Oreochromis mossambicus*, *O. aureus* et *O. niloticus*, en ce sens que les tilapias règlent leur consommation sur les ingestats énergétiques et non pas sur les ingestats protéiques.

Comme l'indiquent Alliot et coll. (1979), il est possible que les quantités journalières de protéines ingérées soient trop limitées dans nos conditions expérimentales pour faire face aux besoins de croissance, et ceci d'autant

Tableau 4. Composition corporelle de *Sarotherodon melanotheron* au bout de 45 jours d'expérience^a.

Lots	Composition corporelle (% poids frais)					
	Eau		Protéines brutes		Lipides bruts	
A	75,10	a	15,60	a b	8,40	b
B	74,25	c	15,15	a b	10,30	a
C	73,95	d	14,80	b	10,85	a
D	74,47	b c	16,12	a	7,87	c
E	74,72	b	16,30	a	8,65	b
F	73,55	cd	16,10	a	10,40	a

^aLes chiffres portant la même lettre en indice ne sont pas statistiquement différents ($P > 0,05$).

plus que les quantités de glucides dans la ration sont plus élevées. Palmer et Ryman (1972) ont montré chez la truite que l'hyperglycémie provoquait une chute des acides aminés libres du sérum, entraînant des modifications au niveau de l'assimilation des nutriments. Les résultats obtenus dans cette expérience confirment également les observations faites par ces auteurs sur le rôle préférentiel des lipides comme source d'énergie chez les poissons.

Le niveau énergétique du régime ne semble pas avoir une incidence sur l'accumulation de lipide observée du point de vue de la composition corporelle. Celle-ci paraît en fait directement liée à l'apport de lipides totaux dans l'aliment. En effet, on constate que les lots B et C ont stocké plus de lipides que les lots D et E. D'une manière générale, les lots recevant les rations les plus pauvres en protéines présentent les plus hauts taux de lipides totaux, ce qui ne peut s'expliquer que par un déséquilibre important dans la ration.

Cette étude n'a certainement pas déterminé toutes les exigences nutritionnelles pour *S. melanotheron* en vue d'assurer une croissance maximale mais elle a montré quelques facteurs

importants qui doivent être pris en considération en mettant au point une expérience en vraie grandeur où les effets de la productivité naturelle se surajoutent à ceux de l'aliment.

Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au soutien financier de la Fondation internationale pour la science (FIS) - bourse de recherches n°A/700-2. Je tiens à remercier le Dr. Coulibaly du Laboratoire central de nutrition animale d'Abidjan (LACENA) et son équipe, ainsi que le Dr. Odi pour l'aide appréciable dans l'analyse chimique de nombreux résultats et les conseils relatifs aux traitements statistiques des données. Toute ma gratitude va également au Dr. Luquet pour ses critiques pertinentes.

Littérature citée

- Albaret, J.J. 1987. Les peuplements de poissons de la Casamance (Sénégal) en période de sécheresse. Rev. Hydrobiol. Trop. 20:291-310.
- Alliot, E., A. Pastoureaud et J. Nedelec. 1979. Etude de l'apport calorique et du rapport calorico-azoté dans l'alimentation du bar, *Dicentrarchus labrax*. Influence sur la croissance et la composition corporelle, p. 241-251. In J.E. Halver et K. Tiews (éds.) Proceedings of the World Symposium on Finfish Nutrition and Fishfeed Technology, Hamburg, 20-23 juin 1978. Vol. 1, Berlin.
- Cissé, A. 1986. Résultats préliminaires de l'alimentation artificielle de *Tilapia guineensis* (Bleeker) et de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel) en élevage, p. 103-111. In E.A. Huisman (éd.) Aquaculture research in the African region. PUDOC, Wageningen.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. Biometrics 11:1-42.
- Jauncey, K. 1982. The effect of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilisation and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). Aquaculture 27:43-54.
- Jauncey, K. et B. Ross. 1982. A guide to tilapia

- feed and feeding. University of Stirling, Ecosse. 111 p.
- Legendre, M. 1983. Observations préliminaires sur la croissance et le comportement en élevage de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) et de *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862) en lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan 14(2):1-36.
- Legendre, M. 1986. Influence de la densité, de l'élevage monosexé et de l'alimentation sur la croissance de *Tilapia guineensis* et de *Sarotherodon melanotheron* élevés en cage-enclos en lagune Ebrié, Côte d'Ivoire. Rev. Hydrobiol. Trop. 19(1):19-29.
- Legendre, M., S. Hem et A. Cissé. 1989. Suitability of brackishwater tilapia species from Côte d'Ivoire for lagoon aquaculture. II. Growth and rearing methods. Aquat. Living Resour. 2:81-89.
- Palmer, T.N. et B.E. Ryman. 1972. Studies on oral glucose intolerance in fish. J. Fish Biol. 4: 311-319.
- Pauly, D. 1976. The biology, fishery and potential for aquaculture of *Tilapia melanotheron* in a small west African lagoon. Aquaculture 7:33-49.
- Pillay, T.V.R. 1965. Report to the Government of Nigeria on investigation of the possibility of brackishwater fish culture in the Niger delta. Rep. FAO/EPTA, no. 1973:1-52.
- Shell, F.W. 1969. Relationship between rate of feeding, rate of growth and rate of conversion in feeding trials with two species of Tilapia: *Tilapia mossambica* (Peters) and *Tilapia nilotica* (Linnaeus). FAO Fish. Rep. 44(3):411-415.
- Silvalingam, S. 1976. The biology of cultivable brackishwater and marine finfish in Africa. Proceedings FAO/CIFA Symposium on Aquaculture in Africa, Accra, Ghana. CIFA Tech. Pap. 4 (Suppl. 1).
- Winfrey, R.A. et R.R. Stickney. 1981. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. J. Nutr. 111(6):1001-1012.

Nourrissage des tilapias (*Oreochromis niloticus*) avec des tourteaux de coton dans des étangs de terre où les poissons-chats (*Clarias gariepinus*) ont une fonction de régulation^a

A.J. MIDDENDORP^b

*Projet pisciculture Lagdo
Mission d'études pour l'aménagement
de la vallée supérieure de la Bénoué
B.P. 17, Garoua, Cameroun*

MIDDENDORP, A.J. 1996. Nourrissage des tilapias (*Oreochromis niloticus*) avec des tourteaux de coton dans des étangs de terre où les poissons-chats (*Clarias gariepinus*) ont une fonction de régulation, p. 219-225. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La présente étude examine les effets des tourteaux de semence de coton utilisés comme aliment complémentaire sur une polyculture de tilapias et de poissons-chats en étangs fertilisés à la bouse séchée. Les tourteaux de semence de coton sont des aliments relativement coûteux tandis que la bouse séchée est un engrais que l'on peut facilement obtenir sur les terres où paissent les animaux. Les expériences ont été menées dans six étangs de terre de 525 m² chacun où trois traitements différents ont été appliqués : (A) épandage quotidien de bouse séchée à raison de 266 kg·ha⁻¹·jour⁻¹ ; (B) fumure quotidienne + tourteaux de semence de coton à un taux nominal quotidien de 3 % de la biomasse des tilapias ; et (C) fumure quotidienne + tourteaux de semence de coton à raison de 6 % de la biomasse des tilapias. Les taux de charge par étang étaient de 250 tilapias du Nil mâles, *Oreochromis niloticus* (poids moyen : 222 g) ; 150 tilapias femelles (202 g) ; 30 "gros" poissons-chats nord-africains, *Clarias gariepinus* (198 g) ; et 30 "petits" poissons-chats (52 g). Les poissons étaient nourris six jours par semaine sur une période d'élevage de 100 jours. Les rations alimentaires étaient ajustées tous les mois. Une extrapolation de la production annuelle moyenne par étang, y compris les recrues, a donné pour le traitement A : -0,4 t·ha⁻¹·an⁻¹ ; pour le traitement B : 4,9 t·ha⁻¹·an⁻¹ ; et pour le traitement C : 6,5 t·ha⁻¹·an⁻¹. Les meilleurs taux de croissance réalisés ont été observés dans le traitement C (tilapias mâles : 0,9 g·jour⁻¹ ; gros poissons-chats : 6,9 g·jour⁻¹) et les taux de production et de croissance enregistrés pour les traitements B et C n'ont pas révélé de différence (P>0,05). La production moyenne de fingerlings de tilapias dans les traitements B (1.539 kg·ha⁻¹·an⁻¹) et C (1.829 kg·ha⁻¹·an⁻¹) n'était pas significativement supérieure à celle du traitement A (468 kg·ha⁻¹·an⁻¹) où la prédation par les poissons-chats était probablement plus intense (P>0,10).

Introduction

Dans le nord du Cameroun, les résidus de brasserie et les tourteaux de semence de coton constituent les deux plus importants sous-produits disponibles en grandes

quantités pouvant servir d'intrants dans les étangs piscicoles. Les résidus de brasserie donnent de bons résultats (Middendorp, 1995a) mais il s'agit d'un produit volumineux, acide et contenant beaucoup d'eau. Le tourteau de semence de coton, plus coûteux, est un produit sec facile à manipuler et qui s'emmagasine bien. On l'utilise principalement comme aliment pour bétail pendant la saison sèche. Jackson et coll. (1982) ont rapporté que le tourteau de semence de coton est, par rapport au tourteau

^aUn rapport plus complet de ces travaux a été publié (voir Middendorp, 1995b).

^bAdresse actuelle : Oxbow Lakes Small Scale Fishermen Project, P.O. Box 12, Jessore 7400, Bangladesh.

de coprah, à la farine de soja ou au tourteau d'arachide, une source supérieure de protéines végétales pour les tilapias.

Une expérience a été mise en place pour évaluer l'utilité des intrants localement disponibles, notamment la bouse séchée que l'on trouve facilement dans les enclos que les éleveurs abandonnent après la saison des pluies, et pour examiner les potentialités du tourteau de semence de coton comme alimentation complémentaire. Une expérience de contrôle de la reproduction du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) a également été réalisée sur des poissons introduits au stade de post-fingerlings et élevés en polyculture avec des poissons-chats nord-africains omnivores (*Clarias gariepinus*) utilisés dans l'expérience comme prédateurs potentiels (concept du "poisson-policier" ayant une fonction régulatrice).

L'expérience a été menée à la Station de recherches halieutiques de Lagdo, près de Garoua, dans le nord du Cameroun. La station est située dans les limites d'un plan d'irrigation d'environ 1.200 ha (1993) et reçoit son eau par gravité du barrage de Lagdo (700 km²), aménagé en 1988. Pour obtenir des prix compétitifs sur le marché, la station doit produire des post-fingerlings de tilapia pouvant peser jusqu'à 300 à 350 g. En effet, d'énormes quantités de tilapias sauvages (*Sarotherodon galilaeus*) de cette taille sont pêchés dans la retenue de Lagdo (capture annuelle estimée entre 8.000 et 10.000 t, dont 70 % est constituée par *S. galilaeus*), d'où la baisse des prix pour les tilapias d'élevage plus petits.

Matériel et méthodes

Installations et poissons utilisés

Six étangs de terre de 525 m² chacun ont été empoissonnés avec des tilapias du Nil et des poissons-chats au début de la saison des pluies en 1991. Une opération de nettoyage des étangs avait eu lieu

auparavant. Les taux de charge (poids moyens) par étang étaient de 250 tilapias mâles (222 g), 150 tilapias femelles (202 g), 30 gros poissons-chats (198 g) et 30 petits (52 g) soit une densité globale de 7.919 tilapias·ha⁻¹ et 1.143 poissons-chats·ha⁻¹. Tous les tilapias provenaient du même lot de géniteurs et avaient été élevés dans trois étangs parallèles avec le même régime alimentaire. Le nombre de tilapias mis en charge dans les étangs variait selon leur disponibilité. Les poissons-chats provenaient de deux lots différents (Middendorp, 1993). Les gros poissons-chats ont été mis en charge le même jour que les tilapias à raison de 20 % du nombre des tilapias femelles. Les petits poissons-chats ont été ajoutés au bout de 40 jours (20 % également) dans le cadre d'une opération secondaire visant à contrôler, dans tous les étangs, le grand nombre d'alevins de tilapia résorbés.

Procédure expérimentale et nourrissage

Trois des traitements ont été répétés deux fois. Le traitement A consistait en un épandage quotidien de bouse séchée (par seaux de 20 l = 14 kg environ) donnant une fumure de 266 kg·ha·jour⁻¹. Les traitements B et C consistaient en la même fumure plus un nourrissage à base de tourteaux de semence de coton à raison de 3 % (B) et 6 % (C) de la biomasse des tilapias par jour. Les poissons étaient nourris six jours par semaine dans l'après-midi. Les tourteaux étaient réhydratés pendant la journée avec un peu d'eau. La composition, exprimée en pourcentage, des tourteaux pré-pressés achetés dans le commerce (où l'huile a été extraite à l'aide d'un solvant) et utilisés aux fins de cette expérience, était apparemment celle utilisée par Jackson et coll. (1982) : humidité 8,2 ; protéines 42,7 ; extrait d'éther 1,0 ; cendre 8,2 ; cellulose 12,6 ; extratif non azoté 27,3 ; lysine disponible 92 ; et gossypol non lié

0,03. La teneur en phosphore était censé être 1,36 % de la matière sèche (Göhl, 1975 dans Jauncey et Ross, 1982).

Le nourrissage a commencé le 2 mai 1991 au bout de cinq jours d'acclimatation. Un échantillon de 10 % du nombre des tilapias était pesé et mesuré toutes les cinq semaines et les taux de nourrissage étaient ajustés en conséquence. Le dernier nourrissage a été effectué le 8 août 1991, les étangs ont été vidangés et la récolte a eu lieu les jours suivants. La durée totale de l'expérience, calculée du premier au dernier jour de nourrissage, a été de 100 jours pour les tilapias femelles et mâles, et pour les gros poissons-chats. Cependant, la durée d'élevage pour les petits poissons-chats n'était que de 55 jours (si l'on ne tient pas compte des 5 jours de jeûne juste après la mise en charge).

La turbidité (disque de secchi) et la concentration d'oxygène ont été mesurées dans tous les étangs une fois par semaine à 8h00. Au dernier jour d'expérience, deux tilapias par étang ont été sacrifiés environ 15 minutes après le nourrissage pour examiner les contenus stomacaux.

Analyse de données

Les poissons ont été pesés par lot et comptés au moment de l'empoissonnement et de la récolte, et les poids moyens en début (P_0) et en fin (P_t) d'expérience ont été calculés. La croissance a été exprimée comme le taux de croissance journalière (TCJ : $g \cdot jour^{-1}$) et le taux de croissance spécifique (TCS : $\%PC \cdot jour^{-1}$) calculée ainsi :

$$TCS = \frac{(\ln P_t - \ln P_0)}{t} \times 100$$

La production de poisson par étang a été définie comme la production totale moins le poids total de charge. L'extrapolation de la production ($t \cdot ha^{-1}$) a été ajustée dans le cas des petits poissons-chats où la période d'élevage était plus courte.

Deux indices de consommation (IC) ont été calculés : la quantité totale de tourteaux de semence de coton mis en étang, divisée (1) par la production de tilapias et de poissons-chats sans compter leurs fingerlings, et (2) par la production totale y compris les fingerlings des tilapias et des poissons-chats.

Au moment de la récolte, 20 tilapias femelles et 20 mâles par étang ont été mesurés individuellement au demi-centimètre près (longueur standard, LS) et pesé (P). Le facteur de condition (FC) a été calculé selon Pitcher et Hart (1982) :

$$FC = P / L^3$$

Les moyennes et les coefficients de variation (CV) ont également été calculés. Les différences entre les moyennes ont été comparées par le test de Tukey ($P < 0,05$). Le modèle général testé était le suivant : $Y = \mu + Tr_{i=3} + e_{ij}$, avec P_0 , P_t , TCJ, TCS, Production, IC et R comme variables (Tr =facteur de traitement ; et $j=2$: nombre de réplicats). Les résultats des échantillonnages à la récolte ont donné : $Y = \mu + Tr_{i=3} + Eo_{j=2} + e_{ijk}$, avec LS, P, et FC comme variables (Eo =facteur de l'étang ; $j=2$: nombre des réplicats ; et $k=25$: nombre des poissons prélevés).

Résultats

La température moyenne dans les étangs variait de 28,0°C le matin à 31,1°C l'après-midi. Les lectures au disque de secchi et les relevés des concentrations d'oxygène sont présentées dans le tableau 1. La mortalité globale des tilapias mis en charge était inférieure à 1 %. Les fingerlings de tilapia étaient nombreux. Tous les poissons-chats ont été récupérés ainsi que quelques fingerlings de poissons-chats dans quatre des six étangs.

Les valeurs pondérales des poissons à la mise en charge et à la récolte figurent dans le tableau 2. Les taux de croissance journalière (TCJ) et les taux de croissance

Tableau 1. Profondeurs moyennes au disque de secchi et concentration d'oxygène dissous à 8h00. Les valeurs moyennes des traitements pendant la même période et portant des exposants différents sont significativement différentes (test de Tukey, $P=0,05$).

Traitement	A		B		C	
	Secchi (cm)	Oxygène (mg·l ⁻¹)	Secchi (cm)	Oxygène (mg·l ⁻¹)	Secchi (cm)	Oxygène (mg·l ⁻¹)
Mai, juin	21,1	13,4	19,6	11,3	21,8	10,9
juillet	19,4 ^a	10,6	15,0 ^b	6,4	15,0 ^b	7,1

Tableau 2. Paramètres de production (deux réplicats par traitement). Dimension de l'étang : 525 m². Période d'élevage : 100 jours sauf pour les petits poissons-chats (55 jours). Les valeurs moyennes des traitements portant différents exposants sont significativement différentes (test de Tukey, $P=0,05$). Voir le texte pour les traitements A, B et C.

Traitement	A	B	C
Tilapias mâles (250 poissons par étang)			
Poids initial (g)	224,0	226,3	216,2
Poids de récolte (g)	184,8 ^a	284,1	304,4 ^b
TCJ (g·jour ⁻¹)	-0,4 ^a	0,6 ^b	0,9 ^b
TCS (% PC·jour ⁻¹)	-0,2 ^a	0,2 ^b	0,3 ^b
Tilapias femelles (150 poissons par étang)			
Poids initial (g)	201,8	200,7	204,0
Poids de récolte (g)	148,3 ^a	214,7 ^b	241,9 ^b
TCJ (g·jour ⁻¹)	-0,5 ^a	0,1 ^b	0,4 ^b
TSC (% PC·jour ⁻¹)	-0,3 ^a	0,1 ^b	0,2 ^b
Gros poissons-chats (30 poissons par étang)			
Poids initial (g)	195,0	200,0	198,3
Poids de récolte (g)	328,3 ^a	756,7 ^b	887,8 ^b
TCJ (g·jour ⁻¹)	1,3 ^a	5,6 ^b	6,9 ^b
TCS (% PC·jour ⁻¹)	0,5 ^a	1,3 ^b	1,5 ^b
Petits poissons-chats (30 poissons par étang)			
Poids initial (g)	48,3	56,7	51,7
Poids de récolte (g)	91,9 ^a	308,3 ^b	393,3 ^b
TCJ (g·jour ⁻¹)	0,7 ^a	2,5 ^b	3,4 ^b
TCS (% PC·jour ⁻¹)	0,9	1,7	2,0

spécifique (TCS) ont révélé des différences significatives entre le traitement A et les traitements B et C pour tous les types de poisson. Les taux de croissance n'étaient pas différents entre les traitements B et C, sauf pour les TCJ des petits poissons-chats, et la croissance des tilapias mâles n'était pas significativement supérieure à la croissance des tilapias femelles d'un traitement à l'autre (Fig. 1). Les petits et

gros poissons-chats se sont développés significativement plus rapidement que les tilapias, et les TCS des petits poissons-chats dans les traitements B et C étaient significativement plus élevés que chez les gros poissons-chats.

La production moyenne en kilogramme de poissons par étang et par type de poisson figure dans le tableau 3. Une extrapolation de la production annuelle, y compris les

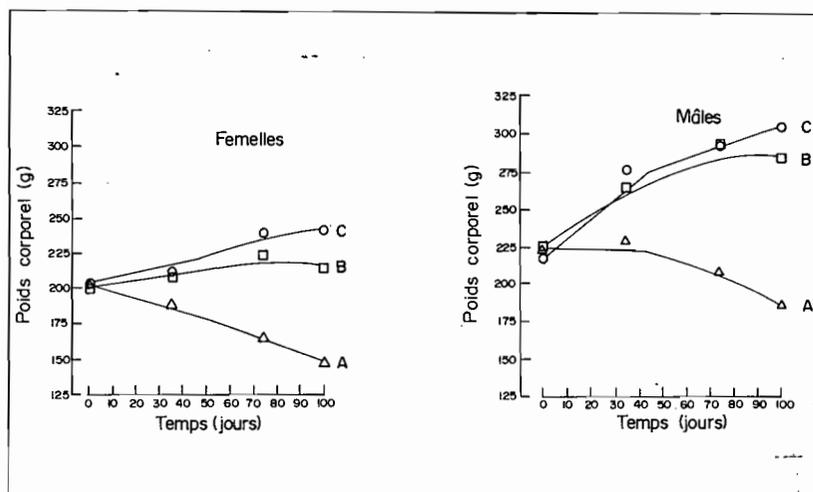


Fig. 1. Courbes de croissance des tilapias (*Oreochromis niloticus*) mâles et femelles mis en charge avec des poissons-chats (*Clarias gariepinus*) dans des étangs expérimentaux de 525 m². Les points représentent les valeurs moyennes obtenues dans les étangs (réplicats) pour chaque traitement : (A) bouse séchée uniquement ; (B) tourteau de semence de coton et bouse séchée à raison de 3 % de la biomasse par jour ; et (C) tourteau de semence de coton et bouse séchée à raison de 6 % de la biomasse par jour.

Tableau 3. Production moyenne de poissons exprimée en kilogramme par étang de 525 m². Tma=tilapias mâles *Oreochromis niloticus* ; Tfm=tilapias femelles ; Gpc=gros poissons-chats, *Clarias gariepinus* ; Ppc=petits poissons-chats ; Tf=tilapias fingerlings ; et Pcf=poissons-chats fingerlings. TSC est la quantité totale de tourteaux de semence de coton distribuée dans les étangs. IC1 est calculé par rapport à la production journalière de poissons mis en charge ; IC2 calculé sur la production totale de l'étang. Les valeurs moyennes portant différents exposants sont significativement différentes (test de Tukey, P<0,05).

Traitement	Tma	Tfm	Gpc	Ppc	Tf	Pcf	Stock*	Total**	TSC	IC1	IC2
A	-11,1 ^a	-8,1 ^a	4,0 ^a	1,2 ^a	6,7	0,1 ^a	-14,0 ^a	-7,2 ^a			
CV %	-7,2	-5,3	24,7	35,4	3,0	58,2	-18,9	-33,4			
B	14,2 ^b	1,6 ^b	16,7 ^b	7,6 ^b	22,1	0,5 ^b	40,0 ^b	62,7 ^b	245,5	6,4	4,0
CV %	59,0	66,1	14,4	15,9	4,9	102,2	32,5	23,3	4,4	28,4	19,1
C	23,1 ^b	4,8 ^c	20,7 ^b	10,3 ^b	26,3	0,5 ^b	58,9 ^b	85,7 ^b	499,2	8,5	6,0
CV %	4,6	5,2	11,0	6,2	73,1	141,4	1,4	22,6	1,7	3,1	24,3

*Production des tilapias et des poissons-chats, sans tenir compte de leurs fingerlings.

**Production total des tilapias et des poissons-chats, y compris leurs fingerlings.

fingerlings, a donné pour le traitement A : $-0,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$; pour le traitement B : $4,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$; et pour le traitement C : $6,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. La production moyenne de tilapias mâles représentait un accroissement de 25 % (B) et 42 % (C) du poids total des tilapias mâles à la mise en charge par rapport à un accroissement de 278 % (B) et 345 % (C) du poids des gros poissons-chats. La production de petits poissons-chats a même augmenté de 447 % (B) et 644 % (C). Les rendements moyens pour les fingerlings de tilapias dans les traitements B ($1.539 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) et C ($1.829 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) étaient presque qua-

tre fois supérieurs aux rendements moyens de fingerlings dans le traitement A ($468 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), bien que les différences n'aient pas été significatives en raison des variations élevées dans le traitement C ($P > 0,10$). Le taux moyen de conversion alimentaire du tourteau de semence de coton calculé par rapport à la production totale était de 4,0 (B) et 6,0 (C) ($P > 0,05$).

La longueur standard des tilapias (LS), leurs poids (P) et les facteurs de condition (FC) à la récolte étaient significativement différents entre le traitement A et les traitements B et C (Tableau 4). Dans le traitement A, la croissance médiocre des

Tableau 4. Longueur standard et poids des tilapias mâles et femelles (n=20), et facteur de condition (P/LS³). Les valeurs moyennes des traitements portant différents exposants sont significativement différentes (test de Tukey, P=0,05).

Traitement	Femelles			Mâles		
	Longueur (LS ; cm)	Poids (g)	Facteur de condition	Longueur (LS ; cm)	Poids (g)	Facteur de condition
A	17,7 ^a	160,7 ^a	0,029 ^a	18,6 ^b	198,2 ^b	0,031 ^b
B	18,8 ^a	213,1 ^a	0,032 ^a	21,1 ^b	298,6 ^b	0,032 ^a
C	19,6 ^a	249,5 ^a	0,033 ^a	21,3 ^b	312,0 ^b	0,032 ^b

tilapias femelles, qui continuaient à se reproduire malgré une perte de poids, était visible à l'oeil nu.

A la dissection, les estomacs et intestins des tilapias de tous les traitements étaient complètement remplis. Cependant, dans le traitement A, les contenus intestinaux consistaient en une substance boueuse grisâtre en comparaison de la masse algale vert foncé trouvée dans les traitements B et C. Du tourteau de semence de coton a également été retrouvé mais sa quantité était insignifiante en comparaison des algues ingérées.

Discussion

Le principe de la fumure dans tous les étangs piscicoles à un taux relativement élevé était d'établir une productivité de base à laquelle comparer les effets du nourrissage au tourteau de semence de coton. Toutefois, l'épandage seul de bouse séchée a conduit, chez le tilapia, à une perte significative de poids. Les poissons fouillaient le fumier mais aucun gain de poids n'a été remarqué. La bouse, bien qu'appliquée à un taux relativement élevé, n'apporte pas suffisamment d'éléments nutritifs pour entretenir ne serait-ce la biomasse des poissons présente dans l'étang. Les étangs étaient apparemment pauvres en éléments nutritifs dû au phénomène de lessivage pendant la saison des pluies.

Le tourteau de semence de coton est riche en azote et en phosphore, et permet le développement de blooms algales denses par décomposition ou par la présence de fèces de poisson. Les poissons s'alimentaient vigoureusement quand on leur distribuait des tourteaux de semence de coton. Des tourteaux détremés, s'écoulaient, dans l'eau, de petits "nuages" laiteux. Il a fallu environ cinq semaines pour que les blooms algales se développent (voire plus longtemps, avant que des différences notables ne soient visibles au disque de secchi), bien qu'elles soient apparues un peu plus tôt dans le traitement C. Une fois établies, les blooms sont restées jusqu'à la fin de l'expérience.

Cependant, concernant l'utilité des blooms algales comme ressource nutritive pour le tilapia du Nil, si les intestins des tilapias étaient remplis d'algues vertes au lieu de cyanophycées, le tilapia en aurait alors tiré un très petit bénéfice nutritionnel (R.S.V. Pullin, comm. pers.). Les algues n'avaient pas été examinées mais l'eau était vert foncé, indiquant une prédominance de cyanophycées. Ainsi, la croissance des poissons dans les traitements B et C a certainement été favorisée par l'apport en tourteau de semence de coton.

Dans le traitement A, les alevins de tilapia ont été récoltés en très petites quantités probablement en raison du phénomène de prédation par les poissons-chats, bien que la capacité de reproduction des tilapias ait pu également diminuer dans ce traitement.

La croissance des poissons-chats était très nettement supérieure dans les traitements B et C où ils avaient accès aux tourteaux de semence de coton et où ils étaient donc probablement moins piscivores et inefficaces dans le contrôle du recrutement des tilapias.

Remerciements

Cette expérience a été menée dans le cadre du Programme de recherche appliquée pour le Projet d'exploitation piscicole de Lagdo (1987-1992) sous la tutelle de la Mission d'études pour l'aménagement de la vallée supérieure de la Bénoué (MEAVSB). Le projet a été financé par le gouvernement hollandais (DGIS) au titre d'un accord de coopération bilatérale avec le gouvernement du Cameroun, et a été exécuté par le bureau d'études HASKONING (Nijmegen, Pays-Bas). Je remercie vivement M. Hamayadji Kombo, le responsable de la station piscicole, et son personnel.

Littérature citée

- Jackson, A.J., B.S. Capper et A.J. Matty. 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture* 27:97-109.
- Jauncey, K. et B. Ross. 1982. A guide to tilapia feeds and feeding. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Ecosse. 111 p.
- Middendorp, A.J. 1993. Production of fingerlings and marketable size African catfish (*Clarias gariepinus*) in ponds in northern Cameroon. *Naga, ICLARM Q.* 16(4):21-22.
- Middendorp, A.J. 1995a. Pond farming of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), in northern Cameroon. I. Feeding combinations of cottonseed cake and brewery waste in fingerling culture, hand-sexed male monosex culture, and mixed culture with police-fish *Clarias gariepinus* (Burchell). *Aquacult. Res.* 26:715-722.
- Middendorp, A.J. 1995b. Pond farming of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), in northern Cameroon. Mixed culture of large tilapia (>200 g) with cattle manure and cottonseed cake as pond inputs, and African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell), as police-fish. *Aquacult. Res.* 26:723-730.
- Pitcher, T.J. et P.J.B. Hart. 1982. Fisheries ecology. Croom Helm Ltd., Kent, R-U. 414 p.

Détermination des coefficients de digestibilité apparents pour *Oreochromis niloticus* de sous-produits agro-industriels disponibles en Côte d'Ivoire

Y. MOREAU*

*Institut français de recherche scientifique
pour le développement en coopération (ORSTOM)
Centre de recherches océanologiques
01 BP V18, Abidjan, Côte d'Ivoire*

MOREAU, Y. 1996. Détermination des coefficients de digestibilité apparents pour *Oreochromis niloticus* de sous-produits agro-industriels disponibles en Côte d'Ivoire, p. 226-233. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'adaptation des poissons à un nouvel aliment a été suivie durant la première semaine en mesurant l'évolution du coefficient de digestibilité apparent (CUDa) de la matière sèche, de l'azote et de la matière organique. Trois séries d'expériences ont été réalisées sur neuf aliments différents et un aliment de référence. Chaque aliment a été distribué à deux lots d'animaux. Chaque lot était constitué de 15 poissons (87 ± 4 g) pour la première expérience, et de 20 poissons (177 ± 3 g) pour la deuxième et la troisième expériences. Les fèces ont été récoltées toutes les 12 heures (8h00 et 17h00) avant chaque distribution d'aliment. L'influence du cycle jour/nuit sur la digestibilité d'un repas a été mesurée en comparant les fèces émises le jour et celles émises la nuit. Les valeurs des CUDa obtenues lors du premier jour de distribution sont significativement inférieures à celles obtenues les jours suivants. Excepté pour le premier repas, il n'y a pas de différence entre le jour et la nuit pour les CUDa de l'azote et de la matière organique. Une faible différence entre le jour et la nuit persiste toutefois au-delà du deuxième jour pour les valeurs mesurées des CUDa de la matière sèche. Pour la détermination du CUDa d'un aliment, la première collecte de fèces doit être faite au moins 24 heures après la première distribution de l'aliment au poisson. Si les poissons reçoivent plusieurs repas par jour, le rassemblement des fèces émises par tranche de 24 heures est préférable pour évaluer une valeur pratique des différents CUDa.

Le CUDa de la matière sèche, des protéines (azote) et de la matière organique a été déterminé pour plusieurs sous-produits disponibles en Côte d'Ivoire : farines de poisson, de maïs ou de manioc, et tourteaux de coprah, de soja ou de coton.

Introduction

L'utilisation de sous-produits agricoles pour l'élaboration d'aliments destinés au poisson nécessite une bonne connaissance de leurs qualités. D'un point de vue nutritionnel, la digestibilité des éléments

nutritifs contenu dans un produit est un critère essentiel. De ce fait, les résultats d'études de digestibilité constituent non seulement un outil indispensable pour la recherche mais aussi pour les fabricants d'aliments destinés aux poissons.

Les mesures de digestibilité reposent sur l'utilisation d'un marqueur indigestible dans l'aliment. Ces études ont fait l'objet de nombreuses controverses concernant le type de marqueur utilisé (Bowen, 1978 ; Lied

*Adresse actuelle : ORSTOM-GAMET, BP 5095 F-34033, Montpellier Cédex, France.

et coll., 1982 ; De Silva et Perera, 1983 ; Tacon et Rodrigues, 1984) ou le choix de la méthode de collecte de fèces (Smith et Lowell, 1973 ; Austreng, 1978 ; Windell et coll., 1978 ; Cho et coll., 1982 ; Cho et coll., 1985 ; Vens Cappell, 1985 ; Spyridakis et coll., 1989). En revanche, relativement peu de travaux ont porté sur le temps d'adaptation des poissons à l'aliment testé et les variations diurnes ou infradiurnes de la digestibilité (De la Noüe et coll., 1980 ; De Silva et coll., 1990).

L'objet de cette étude est donc de définir le temps d'adaptation des tilapias, *Oreochromis niloticus*, à un aliment marqué et de tester l'influence du cycle jour/nuit sur la digestibilité de la matière sèche, de la matière organique et des protéines (azote). Elle constitue un préalable à l'utilisation pratique de la digestibilité des différents sous-produits agricoles disponibles en Côte d'Ivoire.

Matériel et méthodes

La digestibilité est évaluée par le coefficient d'utilisation digestive apparent, CUDa, en utilisant la méthode dite "par incorporation" (Cho et coll., 1985). La valeur de cette méthode a été démontrée pour une espèce voisine, *Oreochromis aureus* (De Silva et coll., 1990). La collecte de fèces a été assurée par un système de décanteur analogue au "système Guelph" (Cho et coll., 1982).

Trois séries d'expériences ont été réalisées au Centre de recherches océanologiques (Abidjan, Côte d'Ivoire) sur 10 aliments : un aliment de référence (Tableau 1) et neuf mélanges (aliment de référence 70 % : sous-produits testés 30 %). La proportion aliment de référence/sous-produit testé a pu être confirmée par l'analyse, dans le mélange, du marqueur provenant de l'aliment de référence, l'oxyde de chrome. Les

différents sous-produits testés, dont la composition globale est donnée au tableau 2, ont été :

- trois farines de poisson : une importée (type Chili) et deux lots différents d'une farine fabriquée localement à partir de déchets de conserveries de thon ;
- trois tourteaux : soja, coton et coprah ; et
- du maïs et du refus de farine de manioc.

Chaque aliment a été distribué à deux lots de poissons tirés au hasard. L'aliment de référence a été testé lors de chaque expérience. Chaque lot était constitué de 15 poissons (87 ± 4 g) pour la première expérience, et de 20 poissons (177 ± 3 g) pour la deuxième et la troisième. Les poissons ont été placés dans des bacs cylindroconiques de 110 l en circuit fermé au laboratoire et maintenus naturellement à une température de 28 à 30°C. Le régime photopériodique est resté naturel avec 12 heures de jour pour 12 heures de nuit.

Les poissons ont été nourris ad libitum deux fois par jour (8h00 et 17h00). Les fèces ont été récoltées pendant sept jours toutes les 12 heures avant chaque repas à compter de la deuxième distribution des aliments testés. Les échantillons obtenus ont été congelés et lyophilisés pour analyse.

L'influence du cycle jour/nuit sur la digestibilité d'un repas a été mesurée en comparant l'ensemble des fèces émises durant le jour à celles émises durant la nuit.

Les techniques d'analyse suivantes ont été retenues pour les aliments et les fèces :

- matière sèche : 105°C, 24 heures ;
- cendres brutes : 550°C, 24 heures ;
- protéines : azote total Kjeldahl (catalyseur, CuSO_4 et K_2SO_4) ; et
- Cr_2O_3 : oxydation selon Stevenson et de Langen (1960) suivie d'une détermination par absorption atomique (Lied et coll., 1982).

Tableau 1. Composition de l'aliment de référence.

Matières premières	Pourcentages
Farine de poisson (import)	37,62
Maïs	53,13
Huile de foie de morue	3
Prémix minéral	1
Vitamines	2
Ca propionate	0,25
Liant (CMC)	0,5
Oxyde de chrome	2
Dicalcium phosphate	0,5

Tableau 2. Composition globale (% matière sèche) des différents sous-produits testés. *Local 1* et *Local 2* sont deux échantillons différents de farine de poisson fabriquée localement à base de déchets de conserveries de thon.

	Protéines brutes	Matières grasses	Cendres brutes	Fibres brutes	ENA
Farine de poisson					
Import	62,3	8,5	16,7	-	12,6
Local 1	62,9	3,7	24,3	-	9,1
Local 2	56,5	5,7	29,8	-	8,1
Tourteaux					
Soja	50,5	1,5	7,4	6,7	33,9
Coton	43,9	0,7	7,8	15,8	31,8
Coprah	23,8	2,0	6,9	19,3	48,0
Divers					
Maïs	12,2	4,0	4,0	2,3	77,5
Manioc	3,0	0,2	0,2	7,9	88,7

Les CUDA de chaque composant (matière sèche, matière organique ou protéines), et ceux de la matière sèche des produits testés ont été calculés pour chaque aliment selon les formules fournies par Cho et coll. (1985). Pour les CUDA des protéines (ou de la matière organique) des ingrédients testés, la formule utilisée a été :

$$Dp_i = P_i / (a \cdot P_M) \cdot 100 \cdot (Dp_M - Dp_R) + Dp_R$$

où

P_i, P_M : concentrations en protéines dans l'ingrédient et le mélange ;

Dp_R, Dp_i, Dp_M : CUDA des protéines de l'aliment de référence, de l'ingrédient et du mélange ; et

a : pourcentage de l'ingrédient dans le mélange.

L'analyse statistique des résultats a été faite par analyse de variance suivie d'un test de Duncan (SAS, 1988). La valeur du seuil de significativité retenue est de 0,05.

Résultats et discussion

Pour l'aliment de référence, on observe une augmentation apparente du CUDA de la matière sèche, de la matière organique ou des protéines, calculés à partir des fèces récoltées durant les 24 premières heures (Fig. 1). Au-delà, les valeurs se stabilisent sans montrer de différence nette entre les fèces récoltées le jour et celles récoltées la nuit.

L'analyse de variance réalisée à partir de l'ensemble des valeurs obtenues pour chaque aliment ne permet pas de mettre en évidence un effet jour/nuit sur la digestibilité de la matière sèche, de la matière organique ou des protéines, indépendamment du jour de récolte des fèces (Tableau 3). La comparaison multiple des moyennes des différents CUDa calculés à partir des échantillons recueillis pour chaque prélèvement indique que seuls les résultats provenant de la première récolte (12 premières heures) sont différents pour la matière organique ou des protéines (Fig. 2). Au-delà, même si des différences subsistent pour la matière sèche, aucune tendance nette n'est identifiable.

Le temps d'adaptation du poisson au nouvel aliment se limite donc aux 12 heures suivant la première distribution. Cette valeur est largement inférieure à celle observée chez la truite, *Oncorhynchus mykiss* (Possompes, 1973 ; De la Noüe et coll., 1980). Elle est cependant en rapport avec les différences observées entre les temps de vidange gastrique, 36 heures pour la truite (Windell et Norris, 1969) et huit heures pour *O. niloticus* (Ross et Jauncey, 1981). Au-delà, aucune tendance précise des variations de digestibilité liées au cycle jour/nuit n'apparaît. Ceci rejoint les résultats obtenus sur *O. aureus* (De Silva et coll., 1990).

A partir des moyennes des valeurs obtenues pour les différents aliments, les CUDa de la matière sèche, de la matière organique et des protéines ont pu être calculés pour les sous-produits disponibles en Côte d'Ivoire testés dans cette étude (Tableau 4). En ce qui concerne les farines de poisson, plusieurs déterminations ont été faites sur les mêmes échantillons. On peut remarquer une très bonne cohérence des mesures des CUDa de la matière sèche et des protéines entre des évaluations faites à une semaine (expérience a et b) ou cinq

mois (expérience c) d'intervalle. Les faibles valeurs de CUDa de la farine "Local 2" sont essentiellement liées à la teneur en cendres particulièrement élevée de cet échantillon.

Pour la matière organique, les valeurs élevées des CUDa des farines de poisson peuvent être liées à une augmentation de la digestibilité de la matière organique de l'aliment de référence au sein du mélange. La matière organique du maïs et du refus de farine de manioc, composés très riches en amidon, est bien digérée (CUDa > 75 %). Le refus de farine de manioc est précuit au cours de sa fabrication. Cette précuisson, favorisant la digestibilité des amidons (Bergot et Brèque, 1983), peut être à l'origine de la valeur élevée du coefficient d'utilisation digestive apparent. Cependant, le maïs n'a subi ici aucun prétraitement particulier. Plus important que chez la truite ou la carpe (Steffens, 1989), le CUDa de la matière organique pour le maïs est analogue au CUDa de l'énergie obtenue avec la même espèce par Hanley (1987), ou sur le poisson-chat américain, *Ictalurus punctatus* (Wilson et Poe, 1985).

Conclusion

L'adaptation des tilapias à un nouvel aliment est rapide. Douze heures après le premier repas, les fèces émises sont représentatives du nouveau régime. L'absence de variations jour/nuit peut permettre d'alléger le protocole de récupération des fèces. Par contre, il reste toujours indispensable de collecter l'ensemble des fèces émises par période de 24 heures afin d'éviter une trop forte variabilité des résultats, en particulier pour la matière sèche.

Le tilapia semble bien utiliser les amidons présents dans des aliments comme le maïs ou le manioc. Ceci devrait être confirmé

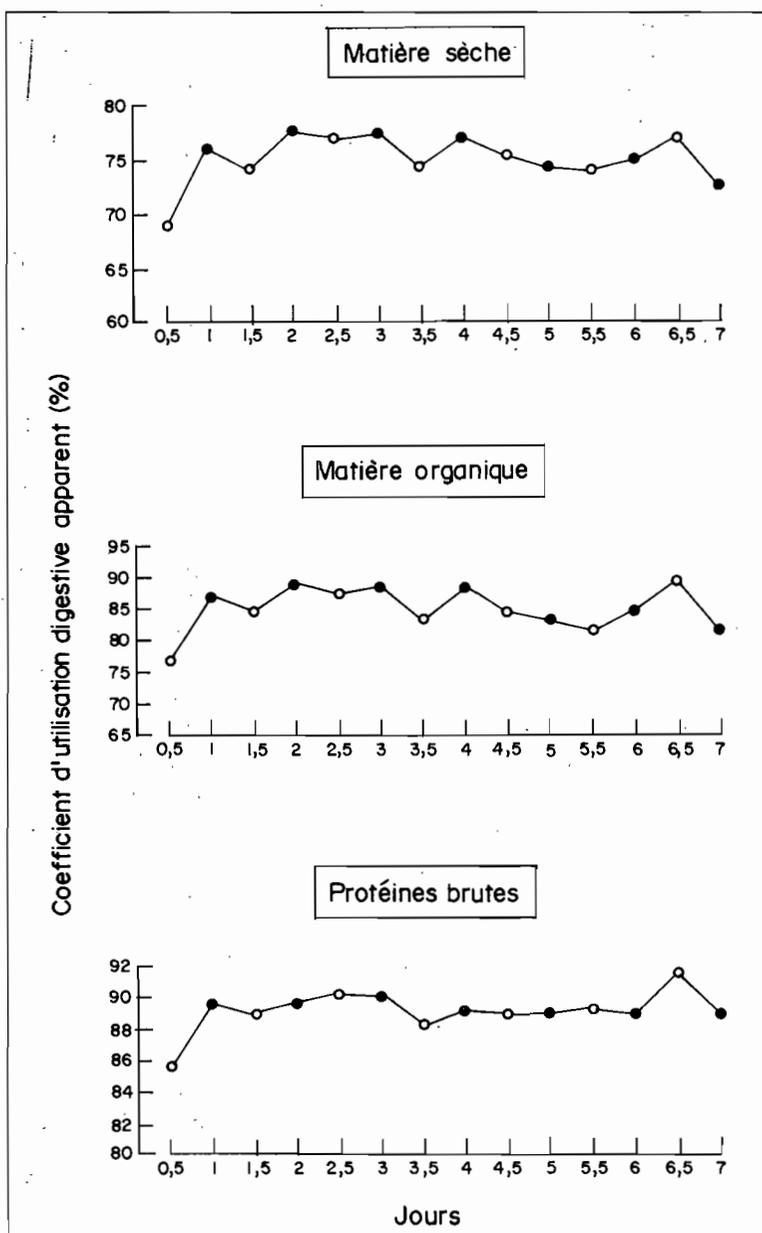


Fig. 1. Evolution du coefficient de digestibilité apparent (CUDA) de la matière sèche, de la matière organique et des protéines pour *Oreochromis niloticus* en fonction du nombre de jours suivant la première distribution de l'aliment de référence et de la période d'émission des fèces (jour 0, nuit •).

Temps (jours) Heure jour/huit		Matière sèche							
		1	2	3	4	5	6	7	8
									a a
							b		b
		c	c	c	c	c	c	c	c
		d	d	d	d	d	d	d	d
		e	e	e	e	e	e	e	e
	f								

		Matière organique							
		1	2	3	4	5	6	7	8
							a	a	a
							b	b	b
		a	a	a					
		b	b	b	b				
		c	c	c	c	c	c		
		d	d	d	d	d	d		
	e								

		Protéines brutes							
		1	2	3	4	5	6	7	8
				a	a	a		a	a
				b	b	b		b	b
		b	b	b	b		b	b	b
		c	c	c	c	c	c	c	c
		d							

Fig. 2. Comparaison multiple des moyennes selon Duncan ($\alpha = 5\%$) pour les différents coefficients de digestibilité apparents (CUDa). A chaque prélèvement (un jour et une heure donnés) est associé un groupe de lettres. Les groupes de valeurs statistiquement homogènes sont représentés par des lettres identiques.

Tableau 3. Analyse de variance réalisée sur les différents coefficients de digestibilité apparents (CUDa), tous régimes et toutes observations confondus.

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Variance	F	Prob (f>F)
Matière sèche					
Jour	7	852,38	121,77	18,1	0,0001
Heure	1	274,75	274,75	40,84	0,0001
Interaction Jour X Heure	7	359,59	51,37	7,64	0,0001
Régime hiérarchisé en fonction de l'expérience	12	3.780,7	315,06	46,84	0,0001
Erreur	302	2.031,5	6,73		
Matière organique					
Jour	6	235,05	39,18	7,42	0,0001
Heure	1	28,98	28,98	5,49	0,0201
Interaction Jour X Heure	6	96,02	16	3,03	0,0073
Régime hiérarchisé en fonction de l'expérience	9	3.521,09	391,23	74,09	0,0001
Erreur	212	1.119,52	5,28		
Protéines					
Jour	7	91,58	13,08	4,97	0,0001
Heure	1	13,41	13,41	5,1	0,0247
Interaction Jour X Heure	7	69,49	9,93	3,78	0,0006
Régime hiérarchisé en fonction de l'expérience	12	765,49	63,79	24,26	0,0001
Erreur	302	794,17	2,63		

Tableau 4. CUDa de la matière sèche, de la matière organique et des protéines pour les différents sous-produits disponibles en Côte d'Ivoire. Les résultats ont été obtenus à partir de trois tests expérimentaux distincts dans le temps (Exp. a, b et c). Pour la comparaison des résultats, les farines de poisson ont fait l'objet de deux tests différents. *Local 1* et *Local 2* sont deux échantillons différents de farine de poisson fabriquée localement à base de déchets de conserveries de thon. Les valeurs représentent les moyennes et les erreurs-types (entre parenthèses).

Matières premières	Exp.	Matière sèche	Matière organique	Protéines brutes
Farines de poisson				
Import	b	92,24 ($\pm 2,08$)	108,18 ($\pm 3,53$)	94,38 ($\pm 0,92$)
	c	93,02 ($\pm 1,93$)		95,78 ($\pm 0,74$)
Local 1	a	82,49 ($\pm 2,94$)	98,13 ($\pm 4,16$)	89,49 ($\pm 0,90$)
	b	87,59 ($\pm 1,49$)	102,23 ($\pm 2,99$)	91,62 ($\pm 0,78$)
Local 2	c	63,56 ($\pm 3,21$)		82,42 ($\pm 0,90$)
Tourteaux				
Soja	a	76,27 ($\pm 7,62$)	77,48 ($\pm 2,13$)	93,12 ($\pm 1,40$)
Coton	a	67,67 ($\pm 3,98$)	68,82 ($\pm 2,38$)	89,65 ($\pm 0,73$)
Coprah	a	54,44 ($\pm 5,36$)	55,71 ($\pm 2,54$)	81,22 ($\pm 1,82$)
Divers				
Maïs	b	76,66 ($\pm 2,24$)	76,17 ($\pm 1,79$)	89,45 ($\pm 3,22$)
Manioc	b	83,32 ($\pm 2,32$)	82,15 ($\pm 1,94$)	74,35 ($\pm 30,93$)

par une étude sur l'appétite de ce poisson à utiliser de telles sources d'énergie non protéique.

Littérature citée

- Austreng, E. 1978. Digestibility determinations in fish using chromic oxide marker and analysis of contents from different segments of the gastrointestinal tract. *Aquaculture* 13:265-272.
- Bergot, F. et J. Brèque. 1983. Digestibility of starch in rainbow trout: effects of the physical state and the intake level. *Aquaculture* 34:203-212.
- Bowen, S.H. 1978. Chromic acid assimilation studies - a caution. *Trans. Am. Fish. Soc.* 107:755-756.
- Cho, C.Y., C.B. Cowey et T. Watanabe. 1985. *Finfish nutrition in Asia: methodological approaches to research and development*. Ottawa, Ont. IDRC. 154 p.
- Cho, C.Y., S.J. Slinger et H.S. Bailey. 1982. Bioenergetics of salmonids fishes, energy intake, expenditure and productivity. *Comp. Biochem. Physiol.* 73B:25-41.
- De la Noüe, J., G. Choubert, B. Pagniez, J.M. Blanc et P. Luquet. 1980. Digestibilité chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*) lors de l'adaptation à un nouveau régime alimentaire. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37:2218-2224.
- De Silva, S.S. et M.K. Perera. 1983. Digestibility of an aquatic macrophyte by the cichlid *Etroplus suratensis* with observations on the relative merits of three indigenous components as markers and daily changes in protein digestibility. *J. Fish. Biol.* 23:675-684.
- De Silva, S.S., K.F. Shim et A.K. Ong. 1990. An evaluation of the method used in digestibility estimations of dietary ingredients and comparisons on external and internal markers, and time of faeces collection in digestibility studies in the fish *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Reprod. Nutr. Dév.* 30:215-226.
- Hanley, F. 1987. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectivity on digestibility determinations on tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 66:163-179.
- Lied, E., K. Julshamn et O.R. Braekkan. 1982. Determination of protein digestibility in Atlantic cod (*Gadus morhua*) with internal and external indicators. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 854-861.
- Possompes, B.P. 1973. Influence de la température sur les besoins en protéines, le transit alimentaire et la digestibilité chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri* R.). Université de Paris VI, Paris, France. 70 p. Thèse de 3ème cycle.
- Ross, B. et K. Jauncey. 1981. A radiographic estimation of the effect of temperature on gastric emptying time in *Sarotherodon niloticus* (L) x *S. aureus* (Steindachner) hybrids. *J. Fish Biol.* 19: 333-344.
- SAS. 1988. SAS/STAT TM user's guide. Release 6.03 Edition. Cary. NC: SAS Institute Inc. 1028 p.
- Smith, B.W. et R.T. Lowell. 1973. Determination of apparent protein digestibility in feeds for channel

- catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 102: 831-835.
- Spyridakis, P., R. Métailler, J. Gabaudan et A. Riaza. 1989. Studies on nutrients digestibility in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). 1. Methodological aspects concerning faeces collection. *Aquaculture* 77:61-70.
- Steffens, W. 1989. Principles of fish nutrition. Ellis Horwood Ltd. Pbl., Chichester. 384 p.
- Stevenson, A.E. et H. de Langen. 1960. Measurement of feed intake by grazing cattle and sheep. VII. Modified wet digestion method for determination of chromic oxide in faeces. *N.Z. J. Agric. Res.* 3:314-319.
- Tacon, A.G.T. et A.M.P. Rodrigues. 1984. Comparison of chromic oxide, crude fibre, polyethylene and acid-insoluble ash as dietary markers for the estimation of apparent digestibility coefficient in rainbow trout. *Aquaculture* 43:391-395.
- Vens Cappell, B. 1985. Methodological studies on digestion in trout. Reliability of digestion coefficients in relation to methods for faeces collection. *Aquacult. Eng.* 4:33-49.
- Wilson, R.P. et W.E. Poe. 1985. Apparent digestible protein and energy coefficients of common feed ingredients for channel catfish. *Prog. Fish-Cult.* 47:154-158.
- Windell, J.T. et D.O. Norris. 1969. Gastric digestion and evacuation in rainbow trout. *Prog. Fish-Cult.* 31(1):20-26.
- Windell, J.T., J.W. Foltz et J.A. Sarokon. 1978. Methods of fecal collection and nutrient leaching in digestibility studies. *Prog. Fish-Cult.* 40:51-55.

Modèles de prédiction de la consommation alimentaire chez les tilapias^a

M.L. PALOMARES^b

*Ecole nationale supérieure agronomique
de Toulouse (ENSAT)
145, avenue de Muret
31076 Toulouse Cedex, France*

D. PAULY^c

*International Center for Living Aquatic
Resources Management (ICLARM)
MCPO Box 2631, 0718 Makati
Metro Manila, Philippines*

PALOMARES, M.L. et D. PAULY. 1996. Modèles de prédiction de la consommation alimentaire chez les tilapias, p. 234-245. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds). Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Sont présentés ici deux modèles de prédiction de la consommation alimentaire chez les tilapias sauvages et d'élevage. Le premier, établi à partir des variations diurnes du contenu stomacal, est illustré par trois exemples se rapportant au tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*. Le second est un modèle de régression multivariée qui permet de prédire la ration journalière (R_d) des tilapias (genres *Oreochromis*, *Sarotherodon* et *Tilapia*). Le modèle procède d'estimations empiriques de R_d calculées pour 55 populations de poissons d'eau douce et d'eau de mer provenant d'habitats de régions tropicales et tempérées, y compris 16 populations de tilapias d'origine africaine pour la plupart. Ce modèle permet d'estimer R_d pour différents types d'aliments que consomment les tilapias vivant dans leur milieu naturel et en captivité, et devrait être particulièrement utile pour la paramétrisation des modèles de dynamique des étangs. Les relations mathématiques et conceptuelles entre ces deux modèles font l'objet d'une discussion.

Introduction

La prédiction de la consommation alimentaire ou plus précisément de la ration "journalière" (R_d) est encore plus utile quand elle s'adresse aux poissons d'élevage plutôt qu'aux poissons sauvages. Dans le contexte aquacole, les estimations de rations peuvent servir à mettre au point des formules de rationnement appropriées et à intégrer les poissons dans des modèles de dynamique des étangs. Les prédictions

de rations chez les populations sauvages permettent aux biologistes des pêches et aux écologistes d'établir les liens trophiques entre la population étudiée et ses proies et prédateurs, ces recherches aboutissant souvent à la génération de modèles d'écosystèmes (voir par exemple Palomares et coll., 1993).

La méthode la plus commune pour estimer la consommation alimentaire dans le contexte de l'aquaculture est de rapporter les "indices de consommation" (IC), où :

$$IC = \frac{\text{aliments fournis lors d'une expérience}}{\text{croissance au cours de cette même expérience}} \dots 1)$$

Si ce principe convient peut-être aux aquaculteurs, les estimations de l'IC ne sont pas optimales dans le contexte de la

^aICLARM Contribution No. 776.

^bAdresse actuelle : International Center for Living Aquatic Resources Management, MCPO Box 2631, 0718 Makati, Metro Manila, Philippines.

^cAutre adresse : Fisheries Centre, University of British Columbia, 2204 Main Mall, Vancouver, B.C. Canada V6T 1Z4 ; e-mail : Pauly@fisheries.com.

recherche pour deux raisons essentielles : tous les aliments apportés ne sont pas nécessairement consommés par les poissons de l'expérience, et le dénominateur et le numérateur de l'équation (1) ne sont généralement pas exprimés dans les mêmes unités, c'est-à-dire que la "croissance" est généralement exprimée en poids humide (différence de poids entre le poisson récolté et le poisson mis en charge) alors que les "aliments" sont habituellement exprimés en poids sec, ce qui mène souvent à des valeurs de $IC < 1$.

Hopkins (1992) a proposé d'utiliser systématiquement en aquaculture la fonction de croissance de von Bertalanffy (FCVB) au lieu des taux de croissance absolus ou exprimés en pourcentage que l'on utilise ordinairement. De même, nous proposons ici que les aquaculteurs utilisent la ration journalière (R_d) au lieu ou au moins en plus de l'équation (1) pour rendre compte des résultats des expériences alimentaires. La raison pour laquelle il convient de procéder de cette manière est que les deux concepts (FCVB et R_d) sont étroitement liés et permettent par conséquent un traitement mathématique cohérent des résultats obtenus ainsi que des comparaisons avec les études sur la dynamique trophique des populations de poissons sauvages.

Pour la longueur, la FCVB est exprimée ainsi :

$$L_t = L_\infty \left(1 - e^{-K(t-t_0)} \right) \quad \dots 2)$$

Et pour le poids :

$$W_t = W_\infty \left(1 - e^{-K(t-t_0)} \right)^b \quad \dots 3)$$

où L_t , W_t sont respectivement la longueur et le poids à l'âge t ; K est une constante de croissance ; t_0 est "l'âge" arbitraire et généralement négatif auquel la taille = 0 ; et b est l'exposant d'une relation longueur-poids telle que $W = aL^b$. Il existe de nombreuses méthodes bien connues pour estimer ces paramètres à partir de diverses

données (Gulland, 1983 ; Pauly, 1984). Etant donné la FCVB, le taux de croissance (dw/dt , c'est-à-dire en g/jour¹) peut être exprimé comme première dérivée de l'équation (3) en termes de poids, c'est-à-dire :

$$dw/dt = 3KW_t((W_\infty/W_t)^{1/b} - 1) \quad \dots 4)$$

La relation entre la consommation alimentaire (R_d) et le taux de croissance est alors reflétée par l'efficacité alimentaire (K_1) d'Ivlev (1945) définie par :

$$K_1 = (dw/dt)/R_d \quad \dots 5)$$

(On notera que $K_1 = 1/IC$ quand ce dernier est établi sur l'ingestion effective d'aliments, exprimé dans les mêmes unités que le taux de croissance.)

Le lien entre K_1 — et donc la ration — et la FCVB est établi par :

$$K_{1(t)} = 1 - (W_t/W_\infty)^\beta \quad \dots 6)$$

où W_t et W_∞ sont comme définis ci-dessus et β est un paramètre dont la valeur est obtenue à partir des équations (5) et (6) et d'une ou plusieurs estimations de R_d dérivées de valeurs données de W_t et W_∞ (Pauly, 1986 ; Silvert et Pauly, 1987).

Ci-dessous sont présentées deux méthodes de prédiction de R_d dont la seconde s'appuie considérablement sur l'application des équations (1) à (6) à divers ensembles de données publiées (Tableau 1).

Méthode I : Estimation de la ration journalière à partir des variations du contenu stomacal

Chez les herbivores dont on connaît bien les rythmes alimentaires, le contenu stomacal augmente rapidement au cours de la prise d'aliments et décroît à l'interruption de celle-ci. Ainsi, les variations des contenus stomacaux où des prélèvements nyctéméraux ont été réalisés peuvent servir à déduire les taux et les périodes de rationnement,

Tableau 1. Estimations de la ration (R_d) et autres données chiffrées sur 55 espèces/populations de poissons d'eau douce et d'eau saumâtre (d'après Palomares, 1991).

No.	Famille	Espèces	Site	W_t (g)	T (°C)	A	h	p	R_d (g·jour ⁻¹)	Remarques
1	Clupeidés	<i>Alosa pseudoharengus</i>	Lac Michigan, E-U	40	20,0	2,32	0	0	1,39	R_d rétro-calculé à partir de K_1 ; K_1 tiré du modèle bioénergétique dans Stewart et Binkowski (1986)
2	Salmonidés	<i>Oncorhynchus kislutch</i>	Lac Ontario, Canada	1.000	13,0	2,40	0	0	24,20	R_d rétro-calculé à partir de K_1 ; K_1 tiré des essais alimentaires et de croissance dans Nilmi (1981)
3	Salmonidés	<i>Oncorhynchus kislutch</i>	Oregon, E-U	90	13,0	2,40	0	0	1,50	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthéral dans Brodeur et Percy (1987)
4	Salmonidés	<i>Salmo trutta</i>	le Brandstrup, Norvège	39	15,5	2,21	0	0	0,62	R_d rétro-calculé à partir de K_1 ; K_1 tiré des estimations de consommation et de production dans Rasmussen (1986)
5	Salmonidés	<i>Salmo trutta</i>	le Dartmoor, R-U	51	9,0	2,21	0	0	0,93	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthéral dans Chaston (1969)
6	Salmonidés	<i>Salmo trutta</i>	France	20	16,0	2,21	0	0	2,40	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthéral dans Neveu (1980) dans des canaux expérimentaux
7	Esocidés	<i>Esox lucius</i>	R-U	100	15,0	1,50	0	0	1,34	R_d rétro-calculé à partir de K_1 ; K_1 tiré des essais alimentaires et de croissance en réservoir dans Hart et Connellan (1984)
8	Esocidés	<i>Esox lucius</i>	le Frome, R-U	840	15,0	1,50	0	0	18,70	R_d rétro-calculé à partir de K_1 ; K_1 tiré des essais alimentaires et de croissance en canal dans Mann (1982)
9	Esocidés	<i>Esox lucius</i> ♀ + ♂	Lac Windermere, R-U	4.600	7,0	1,50	0	0	32,20	K_1 tiré des estimations de consommation et de production dans Johnson (1966a, 1966b)
10	Esocidés	<i>Esox lucius</i> ♀	Lac Windermere, R-U	5.000	7,0	1,50	0	0	19,70	K_1 tiré des estimations de consommation et de production dans Johnson (1966a, 1966b)
11	Characidés	<i>Alestes baremoze</i>	Lac Tchad, Afrique	112	25,8	2,52	0	0	1,59	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthéral dans Lauzanne (1969)
12	Characidés	<i>Colossoma macropomum</i>	Amazonie, Brésil	200	24,5	2,37	0	1	2,51	K_1 tiré de IC à partir des essais alimentaires en étang dans Merola et Pagán-Font (1988)
13	Cyprinidés	<i>Catla catla</i>	Pakistan	300	31,7	1,94	0	1	2,92	K_1 tiré de IC à partir des essais alimentaires en polyculture en étang dans Nadeem-Sheri (1984)
14	Cyprinidés	<i>Cirrhilus mrigala</i>	Pakistan	220	30,8	1,51	0	1	3,70	K_1 tiré de IC à partir des essais alimentaires en polyculture en étang dans Nadeem-Sheri (1984)
15	Cyprinidés	<i>Labeo rohita</i>	Pakistan	430	30,8	1,98	0	1	6,33	K_1 tiré de IC à partir des essais alimentaires en polyculture en étang dans Nadeem-Sheri (1984)
16	Cyprinidés	<i>Mirogrex terraesanctae</i>	Lac Kinneret, Israël	12	14,0	1,41	0	0	0,50	R_d tiré des essais en aquarium dans Gophen et Threlkeld (1989)
17	Cyprinidés	<i>Rutilus rutilus</i>	Lac Pareloup, France	118	9,0	1,49	1	0	4,40	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthéral dans Arlas-Gonzalez et Richeux (1990)
18	Cyprinidés	<i>Rutilus rutilus</i>	Lac Sovdeborgsson, Suède	48	14,0	1,49	0	1	0,50	R_d tiré de Persson (1982, 1983)
19	Cyprinidés	<i>Rutilus rutilus</i>	la Garonne, France	67	12,4	1,49	1	0	3,53	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthéral dans Palomares (1991)

Suite

Tableau 1 (suite)

No.	Famille	Espèce	Site	W _i (g)	T (°C)	A	h	p	R _d (g·jour ⁻¹)	Remarques
20	Ictaluridés	<i>Ictalurus nebulosus</i>	la Garonne, France	198	12,4	1,34	0	0	7,13	R _d tiré de MAXIMS sur un cycle nyctéméral dans Palomares (1991)
21	Clariidés	<i>Clarias gariepinus</i>	Afrique	40	25,0	1,26	0	0	0,68	K _i tiré des essais en laboratoire dans Hogendoorn (1983)
22	Clariidés	<i>Clarias gariepinus</i>	Lac Malawi, Afrique	1.000	22,5	1,26	0	0	4,78	R _d tiré de Willoughby et Tweddle (1978)
23	Gasterosteidés	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Lac Frongoch, Gales	0,3	10,0	1,69	0	0	0,0038	R _d tiré de MAXIMS sur un cycle nyctéméral dans Allen et Wootton (1984)
24	Centropomidés	<i>Lates niloticus</i>	Lac Tchad, Afrique	665	25,0	1,09	0	0	11,20	K _i tiré des essais alimentaires et de croissance en aquarium dans Hamblyn (1966)
25	Centropomidés	<i>Lates strappersii</i>	Lac Tanganyika, Afrique	264	26,0	2,40	0	0	4,36	R _d tiré de M. Pearce (comm. pers.)
26	Serranidés	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Etang de Thau, France	4	15,0	1,76	0	0	0,43	R _d tiré de MAXIMS sur un cycle nyctéméral en réservoir expérimental dans Palomares (1991)
27	Serranidés	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Marseille, France	5	15,0	1,76	0	1	0,098	K _i tiré des essais alimentaires et de croissance en réservoir dans Allot et Pastoureaud (1979)
28	Centrar-chidés	<i>Lepomis gulosus</i>	E-U	100	27,0	1,49	0	0	4,00	R _d tiré de Hunt (1960)
29	Centrar-chidés	<i>Micropterus salmoides</i>	Minnesota, E-U	186	27,0	1,69	0	0	4,50	R _d tiré de Rice et Cochran (1984)
30	Centrar-chidés	<i>Micropterus salmoides</i>	E-U	486	27,0	1,69	0	0	13,8	R _d tiré de Hunt (1960) et Lewis et coll. (1974)
31	Percidés	<i>Perca flavescens</i>	Lac Washington, E-U	115	10,0	1,64	0	0	1,70	R _d tiré de MAXIMS sur un cycle nyctéméral dans Costa (1979)
32	Percidés	<i>Perca fluviatilis</i>	Lac Botjörn, Suède	46	9,0	1,94	0	0	0,670	K _i tiré des estimations de consommation et de production dans Nyberg (1979)
33	Percidés	<i>Perca fluviatilis</i>	Lac Ladoga, Russie	230	15,4	1,94	0	0	3,68	R _d tiré de Federova et Drozzhina (1982)
34	Percidés	<i>Perca fluviatilis</i>	Lac Vitalampa, Suède	90	9,0	1,94	0	0	1,01	K _i tiré des estimations de consommation et de production dans Nyberg (1979)
35	Percidés	<i>Perca fluviatilis</i>	Loch Leven, Ecosse	200	16,5	1,94	0	0	8,52	R _d tiré des essais en cage dans Thorpe (1977a, 1977b)
36	Sciaenidés	<i>Plogioscion squamosissimus</i>	Lac Janauaca, Brésil	43	27,0	0,91	0	0	3,00	R _d tiré de MAXIMS sur un cycle nyctéméral d'alimentation dans Worthmann (1982)
37	Cichlidés	<i>Haplochromis nigripinnis</i>	Lac George, Afrique	5	30,0	0,76	1	0	0,220	R _d tiré de MAXIMS sur un cycle nyctéméral d'alimentation dans Moriarty et Moriarty (1973)
38	Cichlidés	<i>Oreochromis alcalicus</i>	Lac Nakuru, Afrique	3	20,5	1,32	1	0	0,393	K _i tiré des essais en laboratoire dans Vareschi et Jacobs (1984)
39	Cichlidés	<i>Oreochromis aureus</i>	Iles Vierges, E-U	200	25,0	1,20	0	1	3,92	K _i tiré de l'IC de poissons élevés en cage dans Hargreaves et coll. (1988)
40	Cichlidés	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Afrique	4	27,0	1,17	0	1	0,0684	K _i tiré de l'IC de poissons élevés en cage dans Jauncey (1982) et Micha et coll. (1988)

Suite

Tableau 1 (suite)

No.	Famille	Espèce	Site	W_i (g)	T (°C)	A	h	p	R_d (g·jour ⁻¹)	Remarques
41	Cichlidés	<i>Oreochromis mossambicus</i>	Parakrama Samudra, Sri Lanka	19	27,0	1,17	1	0	6,00	R_d tiré de Hofer et Schiemer (1983)
42	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Afrique	11	26,0	1,28	0	1	0,289	K_i tiré de l'IC de poissons élevés en aquarium
43	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Bouaké, Côte d'Ivoire	82	28,5	1,28	0	1	1,27	K_i tiré des estimations alimentaires et de croissance en cage dans Boidy (1984)
44	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Lac Awasa, Afrique	265	24,5	1,28	1	0	39,30	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthémeral d'alimentation dans Getachew (1987)
45	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Lac George, Afrique	213	30,0	1,28	1	0	9,50	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthémeral d'alimentation dans Moriarty et Moriarty (1973)
46	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Lac Kossou, Afrique	102	28,5	1,28	0	1	0,837	K_i tiré de l'IC de poissons élevés en cage dans Coche 977)
47	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Lac Turkana, Afrique	137	30,0	1,28	1	0	9,30	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthémeral d'alimentation dans Harbott (1976)
48	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Liège, Belgique	2	26,0	1,28	1	0	0,910	K_i tiré de l'IC de poissons élevés en réservoir dans Appler (1985)
49	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Thaïlande	7	27,0	1,28	0	1	0,263	K_i tiré de l'IC de poissons élevés en réservoir dans Wee et Wang (1987)
50	Cichlidés	<i>Oreochromis niloticus</i>	Thaïlande	45	32,0	1,28	0	1	0,892	K_i tiré de l'IC de poissons élevés en réservoir dans Edwards et coll. (1985)
51	Cichlidés	<i>Sarotherodon galilaeus</i>	Lac Tchad, Afrique	603	25,8	1,56	1	0	23,70	R_d tiré de Lauzanne (1977)
52	Cichlidés	<i>Tilapia rendalli</i>	Afrique	10	26,0	1,48	0	1	0,262	K_i tiré de l'IC de poissons élevés en bassin dans Micha et coll. (1988)
53	Cichlidés	<i>Tilapia zillii</i>	Afrique	33	27,5	1,65	1	0	7,50	K_i tiré des essais alimentaires et de croissance en aquarium dans Legner et Murray (1981) et en réservoir dans Saeed et Ziebell (1986)
54	Mugilidés	<i>Mugil cephalus</i>	Etang de Thau, France	4	15,0	2,55	1	0	0,580	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthémeral d'alimentation dans des conditions semi-contrôlées dans Palomares (1991)
55	Mugilidés	<i>Mugil cephalus</i>	le Crystal, Floride	597	23,0	2,55	0	0	15,60	R_d tiré de MAXIMS sur un cycle nycthémeral d'alimentation dans Collins (1981)

et donc de la ration alimentaire. Toutefois, ces analyses doivent tenir compte de l'effet d'évacuation au cours des périodes de rationnement qui invalide les modèles linéaires appliqués aux tilapias par Moriarty et Moriarty (1973) ou Getachew (1987). Sainsbury (1986) a mis au point un modèle parsimonieux pour décrire cette dynamique, et Jarre et coll. (1990, 1991) ont converti ce modèle en un programme informatique appelé MAXIMS. Dans sa forme la plus simple (une période de rationnement par jour, le taux de rationnement restant indépendant du contenu stomacal), le modèle utilisé pour représenter la période où aucune alimentation n'a lieu est :

$$dS/dt = -E \cdot S \quad \dots 7)$$

où S est le contenu stomacal au temps t tel que $S = S_0 \cdot \exp(-E \cdot (t - t_0))$; E le taux d'évacuation instantanée (en heure⁻¹) ; S_0 le contenu stomacal au début de la période de rationnement ; et t_0 l'heure au début de l'intervalle en question. Le contenu stomacal est sans arrêt refoulé le long de l'intestin, que le poisson se nourrisse activement ou non. Ainsi, pour la période de rationnement nous avons :

$$dS/dt = J - E \cdot S \quad \dots 8)$$

où :

$$S = (S_0 \cdot \exp(-E \cdot (t - t_0))) + (J/E \cdot (1 - \exp(-E \cdot (t - t_0)))) \quad \dots 9)$$

où J est le taux d'ingestion (en unités de poids par heure) et où le premier terme de l'équation (9) représente la quantité évacuée de l'estomac. Le deuxième terme

incorpore dans le terme de l'évacuation (représenté par S) la quantité d'aliments nouvellement ingérée qui est en même temps évacuée de l'estomac. La ration journalière est alors estimée en intégrant l'équation (8) sur la période de rationnement.

La figure 1 présente trois applications de ce modèle à trois populations lacustres de tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*. Comme on peut le constater, le modèle a non seulement permis d'estimer les rations (Tableau 1) mais il a également permis d'intensifier des rythmes alimentaires très similaires chez ces trois populations de tilapia.

Méthode II

Une autre méthode permettant d'estimer les rations est celle qui consiste à dériver un modèle de prédiction sur la base d'un

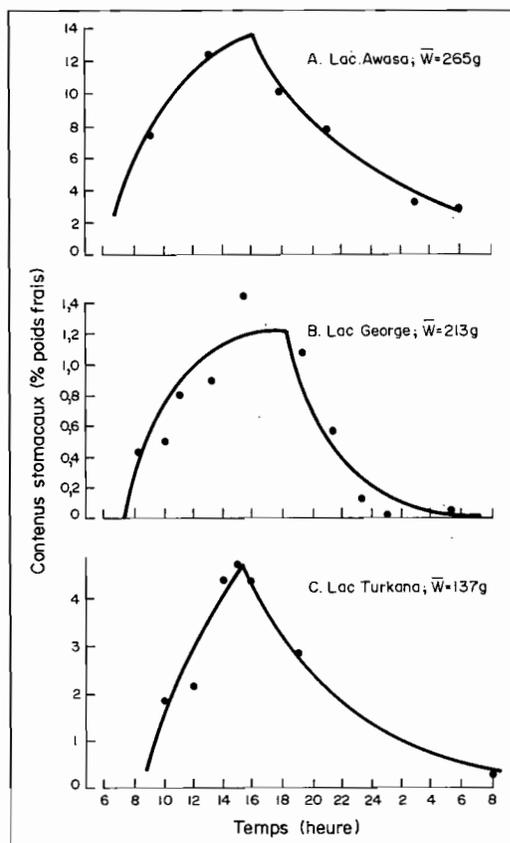


Fig. 1. Populations de *Oreochromis niloticus* chez lesquelles les données des contenus stomacaux nyctéméraux ont servi au calcul de la ration journalière d'après Palomares (1991) à partir des données de (A) Getachew (1987) ; (B) Moriarty et Moriarty (1973) ; et (C) Harbott (1976), à l'aide de MAXIMS, programme conçu par Jarre et coll. (1990).

certain nombre d'estimations de rations précédemment obtenues et correctement standardisées, et sur un ensemble de variables de prédiction appropriées.

Sur la base des modèles antérieurs mis au point pour des poissons de mer (Palomares et Pauly, 1989 ; Pauly, 1989 ; Jarre et coll., 1991), nous avons supposé que les variables suivantes étaient liées à la ration :

- poids du corps ;
- température ambiante (Régier et coll., 1990) ;

$$\log_{10} R_d = -1,80 + 0,7816 \log_{10} W_t + 0,5714 \log_{10} T + 0,4248 \log_{10} A - 0,1960v - 0,4030p + 0,3445h \quad \dots 10$$

où W_t est le poids (en g) des poissons ; T , la température annuelle moyenne de l'eau (°C) ; et A , l'indice de forme de la nageoire caudale, toutes les autres variables (dichotomiques) étant celles définies plus haut.

Le modèle explique 89 % des variations de l'ensemble des données du tableau 1 (ddl=48) où toutes les pentes partielles sauf

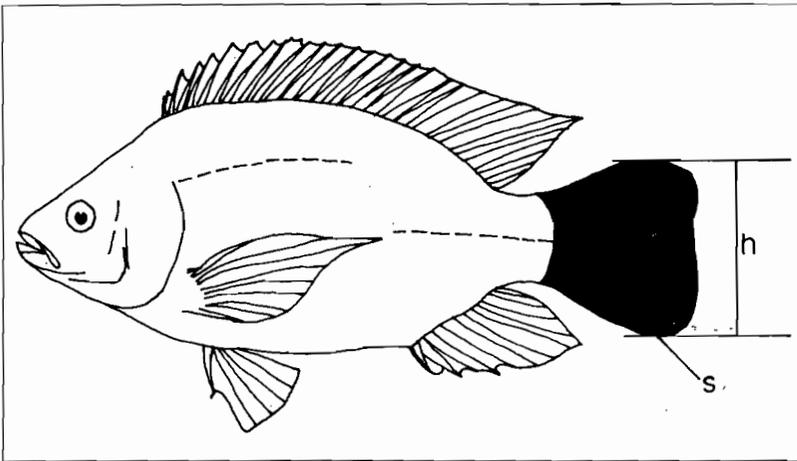


Fig. 2. Tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus* ; définition de l'indice de forme de la nageoire caudale : $A = h^2/s$ où h est la hauteur de la nageoire et s sa surface (en noir). Ici, $A = 1,28$ (voir également le tableau 1).

- indice de forme de la nageoire caudale comme indice du niveau d'activité (Pauly, 1989 ; Palomares et Pauly, 1989 ; Sambilay, 1990 ; Fig. 2) ;

- statut taxonomique ($v=0$ pour les tilapias, et $v=1$ pour les autres espèces de poisson) ; et

- type d'aliments exprimé par des variables dichotomiques (c'est-à-dire tenant compte seulement des valeurs 0 et 1).

Nous avons distingué trois types de poissons à partir des types d'aliments : h (les herbivores comprenant toutefois trois cas de détritivores), p (les poissons nourris aux granulés au contenu non spécifié), et un troisième type, les carnivores quand $h=0$ et $p=0$.

Le tableau 1 présente les 55 cas rassemblés pour cet exercice. De là le modèle :

deux s'écartent du 0 de manière significative au seuil de 5 % (Tableau 2).

L'indice de forme (A) ne semble pas avoir un effet significatif sur R_d pour cet ensemble de données bien qu'il ait un effet important sur la consommation alimentaire relative des populations de poissons marins (Palomares et Pauly, 1989 ; Pauly, 1989 ; Palomares, 1991). Nous pouvons expliquer ce phénomène par la similarité des valeurs de A des poissons d'eau douce du tableau 1. La variable dichotomique représentant le statut taxonomique ne semble pas non plus avoir d'effet significatif sur R_d . Ceci n'est pas surprenant : une fois que le type d'aliments, le poids et la température sont pris en compte, il n'y a aucune raison pour laquelle les poissons devraient différer dans leur consommation alimentaire, ce qui

Tableau 2. Résumé statistique du modèle multivarié pour la prédiction de la ration chez les poissons d'eau douce [équation (10); $R^2 = 0,886$, $F = 62,44$, $ddl = 54$].

Symbole	Pente partielle associée à :	Estimation	Prob.	Contrib. au R^2 total (%)
W_t	Poids du corps (\log_{10} g)	0,7816	0,000	83,78
T	Température de l'eau (\log_{10} °C)	0,5714	0,020	1,85
A	Indice de forme de la nageoire caudale	0,4248	0,236	0,02
t	Non tilapias (dichotomique)	-0,1957	0,106	1,44
h	Herbivores (dichotomique)	0,3445	0,006	2,22
p	Nourris aux granulés (dichotomique)	-0,4028	0,001	10,69

confirme en effet les résultats de Palomares (1991) qui n'a trouvé aucune différence dans la consommation alimentaire des poissons d'eau douce et d'eau de mer une fois qu'il a été tenu compte des facteurs ci-dessus (et des indices de formes).

L'équation (10) a été réexprimée pour servir de modèle s'appliquant exclusivement aux tilapias en la calculant pour la valeur moyenne de l'indice de forme chez le tilapia du tableau 1 ($A=1,32$) et en laissant tomber la variable v. Ceci a conduit à :

$$\log_{10} R_d = -1,75 + 0,782 \log_{10} W_t + 0,571 \log_{10} T - 0,403p + 0,344h \quad \dots 11)$$

La figure 3 montre la relation entre les valeurs de $\log R_d$ observées et celles prédites

par l'équation (10) pour tous les poissons présentés dans le tableau 1 (sauf les tilapias) et par l'équation (11) pour les tilapias seulement. La répartition aléatoire de tous les points autour de la courbe 1:1 indique que ces modèles sont solides et que les transformations logarithmiques) étaient appropriées pour les données du tableau 1.

Discussion

A ce point, il n'est pas nécessaire d'insister sur le fait que les deux méthodes présentées ci-dessus sont faciles à appliquer dans le contexte de l'aquaculture. En effet, même

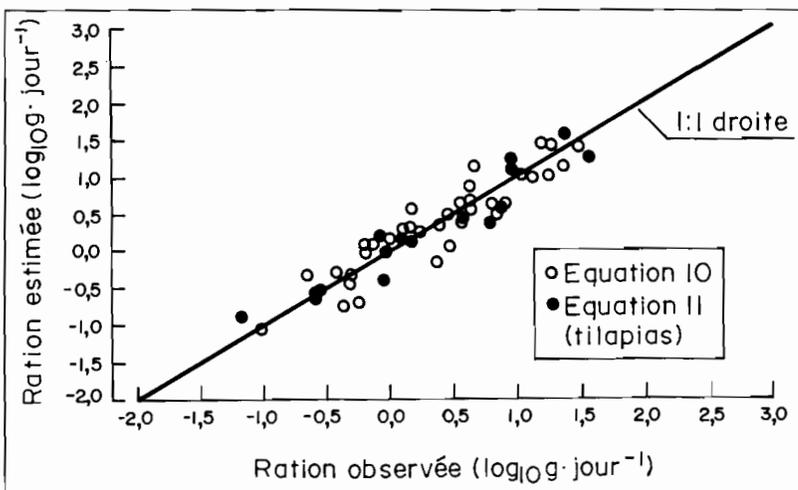


Fig. 3. Relation entre les valeurs de $\log R_d$ observées et de $\log R_d$ prédites par l'équation (10) pour toutes les 55 populations présentées dans le tableau 1 et par l'équation (11) pour les tilapias. Notez que les résidus ont une répartition aléatoire.

la méthode I qui exige des données de terrain ne nécessite qu'un cycle de prélèvements nycthémeraux (au plus deux ou trois cycles) pour obtenir les estimations de R_d qui seront par ailleurs plus fiables à mesure que les intervalles de temps entre les prélèvements seront réduits (les cycles illustrés sur la figure 1 sont en fait établis sur trop peu de points de repère pour que les estimations de R_d puissent être très fiables ; au moins 16 points, dans un intervalle de une heure et demie, auraient dû être utilisés).

Cependant, les relations entre R_d et le poids qui seront dérivées seront différentes selon que l'on utilise une série de prédictions de l'équation (11) ou une estimation de ration unique extrapolée à toute une gamme de poids utilisant les équations (1) à (6), ce qui est illustré ici par un exemple hypothétique.

Pour les tilapias herbivores vivant à des températures $T=26^\circ\text{C}$, l'équation (11) prédit

des valeurs de R_d variant selon le poids comme indiqué sur la courbe A de la figure 3 ; à 100 g, la ration correspondante est de $9,25 \text{ g}\cdot\text{jour}^{-1}$.

Si les paramètres de croissance pour ces tilapias sont $W_\infty=200 \text{ g}$, $K=1,0 \text{ an}^{-1}$ ($t_0=0$) et $b=3$, leur taux de croissance à 100 g sera de $0,214 \text{ g}\cdot\text{jour}^{-1}$ (voir l'équation [4]) avec donc une valeur $K_1=0,0337$ (voir l'équation [5]). Par conséquent, le calcul de l'équation (6) pour β donnera $0,0377$. Si l'on utilise l'équation (5) comme modèle de prédiction de R_d à partir de dw/dt et de K_1 , on obtient :

$$R_d = (dw/dt)/K_1 \quad \dots 12)$$

que l'on calcule pour différents poids et en tenant compte des paramètres ci-dessus, ce qui mène à la courbe B de la figure 4.

Comme prévu, ces deux courbes se croisent à 100 g et sont même presque totalement superposées sur toute la gamme

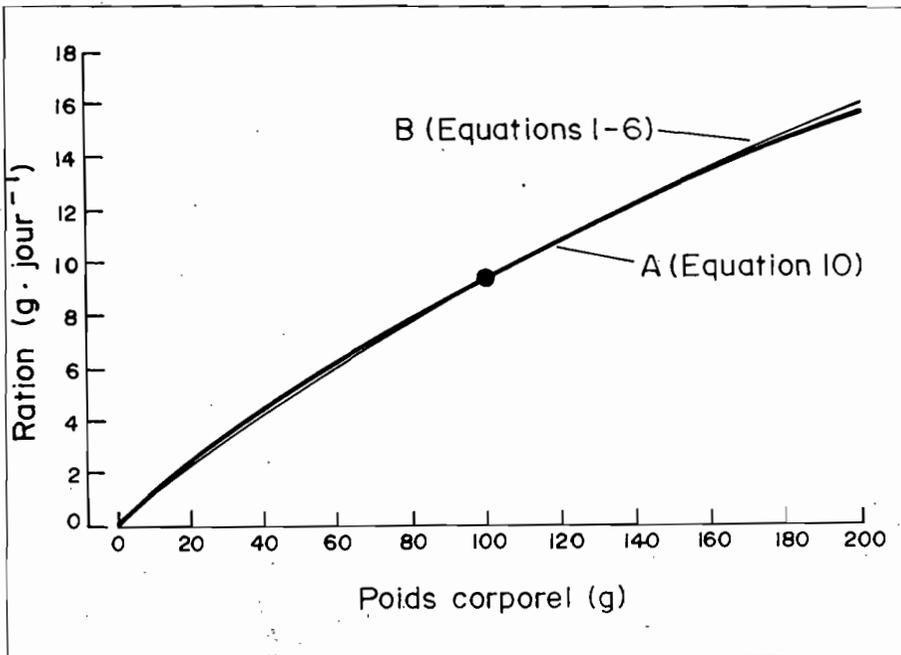


Fig. 4. Rations prédites pour des tilapias herbivores à une température de 26°C ; A : d'après l'équation (10) ; B : d'après les équations (1) à (6) en admettant que $A=B$ à 100 g poids du corps. Remarquez la quasi superposition des deux courbes.

de poids considérée. Ceci montre que l'équation (11) a une pente liée au poids qui imite convenablement le comportement des équations (1) à (6) dérivées des variations de R_d dues à la croissance individuelle.

Ceci démontre que ces deux modèles de prédiction de la ration alimentaire chez les tilapias sont non seulement faciles à appliquer — même dans le contexte de l'aquaculture — mais ils fournissent également des résultats mutuellement compatibles, ce qui accroît notre confiance en eux.

Remerciements

L'auteur principal remercie Dr Jacques Moreau de l'ENSAT pour son soutien lors de la rédaction de la thèse qui a servi de base au présent exposé.

Littérature citée

- Allen, J.R.M. et R.J. Wootton. 1984. Temporal patterns in diet and rate of food consumption of the three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.) in Llyn Frongoch, an upland Welsh lake. *Freshwat. Biol.* 14:335-346.
- Alliot, E. et A. Pastoureaud. 1979. Influence de la salinité sur la croissance et l'utilisation des aliments chez les loups juvéniles (*Dicentrarchus labrax*). *Vie Mar., Ann. Fond. Océanogr.* 1:13-17.
- Appler, H.N. 1985. Evaluation of *Hydrodictyon reticulum* as protein source in feeds for *Oreochromis (Tilapia) niloticus* and *Tilapia zillii*. *J. Fish Biol.* 27:327-334.
- Arias-Gonzalez, E. et C. Richeux. 1990. Etude préliminaire du régime alimentaire du gardon (*Rutilus rutilus* L.) et de la perche (*Perca fluviatilis* L.) de la retenue de Pareloup (Aveyron) : rythme de prise alimentaire en milieu naturel. Diplôme d'Etudes Approfondies, Université Paul Sabatier de Toulouse. 75 p. + 36 annexes.
- Boidy, K. 1984. Essai d'alimentation de *Tilapia nilotica* (L.) avec de la farine de banane. Mémoire du Diplôme d'Ingénieur d'Agronomie Tropicale, Ministère de l'Agriculture, France. 86 p.
- Brodeur, R.D. et W.G. Pearcy. 1987. Diel feeding chronology, gastric evacuation and estimated daily ration of juvenile coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* (Walbaum) in the coastal marine environment. *J. Fish Biol.* 31:465-477.
- Chaston, I. 1969. Seasonal activity and feeding pattern of brown trout (*Salmo trutta*) in a Dartmoor stream in relation to availability of food. *J. Fish. Res. Board Can.* 26:2165-2171.
- Coche, A.G. 1977. Premiers résultats de l'élevage en cages de *Tilapia nilotica* (L.) dans le lac Kossou, Côte d'Ivoire. *Aquaculture* 10:109-140.
- Collins, M.R. 1981. The feeding periodicity of striped mullet, *Mugil cephalus* L., in two Florida habitats. *J. Fish Biol.* 19:307-315.
- Costa, H.H. 1979. The food and feeding chronology of yellow perch (*Perca flavescens*) in Lake Washington. *Int. Rev. Gesamt. Hydrobiol.* 64(6):783-793.
- Edwards, P., M. Kamal et L. Wee. 1985. Incorporation of composted and dried water hyacinth in pelleted food for tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquacult. Fish. Manage.* 1:233-248.
- Federova, G.V. et K.S. Drozzhina. 1982. Daily feeding rhythm of pike-perch, *Stizostedion lucioperca*, and perch, *Perca fluviatilis*, from Lake Lagoda. *J. Ichthyol.* 22(2):52-60.
- Getachew, T. 1987. Food, nutrition and digestive efficiency in *Oreochromis niloticus* Linn. (Pisces: Cichlidae) in Lake Awasa, Ethiopia. University of Waterloo, Ontario. 109 p. Thèse de doctorat.
- Gophen, M. et S. Threlkeld. 1989. An experimental study of zooplankton consumption by Lake Kinneret sardine. *Arch. Hydrobiol.* 115(1):91-95.
- Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment: a manual of basic methods. FAO/Wiley Ser. Food Agric. Wiley-Interscience, Chichester.
- Hamblyn, E.L. 1966. The food and feeding habits of Nile perch *Lates niloticus* (Linné) (Pisces: Centropomidae). *Rev. Zool. Bot. Afr.* 74(1-2):1-28.
- Harbott, B.J. 1976. Preliminary observations on the feeding of *Tilapia nilotica* Linn. in Lake Rudolf. *Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish.* 4:27-37.
- Hargreaves, J.A., J.E. Rakocy et A. Nair. 1988. An evaluation of fixed and demand feeding regimes for cage culture of *Oreochromis aureus*, p. 335-339. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Hart, P.J.B. et B. Connellan. 1984. Cost of prey capture, growth rate and ration size in pike, *Esox lucius* L., as functions of prey weight. *J. Fish Biol.* 25:279-292.
- Hofer, R. et F. Schiemer. 1983. Feeding ecology, assimilation efficiencies and energetics of two herbivorous fish: *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* and *Puntius filamentosus* (Cuv. et Val.), p. 155-164. In F. Schiemer (éd.) Limnology of Parakrama Samudra - Sri Lanka.

- Dr. W. Junk Publishers, La Haye.
- Hogendoorn, H. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.). II. Bioenergetic relations of body weight and feeding level. *Aquaculture* 35:1-17.
- Hopkins, K.D. 1992. Reporting fish growth: a review of basics. *J. World Aquacult. Soc.* 23(3):173-179.
- Hunt, B.P. 1960. Digestion and food consumption of Florida gar, warmouth and largemouth bass. *Trans. Am. Fish. Soc.* 89(2):206-211.
- Ivlev, V.S. 1945. Biologicheskaya produktivnost' Vodoemov. *Usp. Sovrem. Biol.* 19(1):98-120. (Traduit par W.E. Ricker. 1966: The biological productivity of waters. *J. Fish. Res. Board Can.* 23:1727-1759).
- Jarre, A., M.L. Palomares, M.L. Soriano, V.C. Sambilay Jr. et D. Pauly. 1990. A user's manual for MAXIMS: a computer program for estimating the food consumption of fishes from diel stomach contents data and population parameters. *ICLARM Software* 4, 27 p.
- Jarre, A., M.L. Palomares, M.L. Soriano, V.C. Sambilay Jr. et D. Pauly. 1991. Some new analytical and comparative methods for estimating the food consumption of fishes. *ICES Mar. Sci. Symp.* 193:99-108.
- Jauncey, K. 1982. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of juvenile tilapias (*Sarotherodon mossambicus*). *Aquaculture* 27:43-54.
- Johnson, L. 1966a. Experimental determination of food consumption of pike, *Esox lucius*, growth and maintenance. *J. Fish. Res. Board Can.* 23(10):1495-1505.
- Johnson, L. 1966b. Consumption of food by the resident population of pike, *Esox lucius*, in Lake Windermere. *J. Fish. Res. Board Can.* 23(10):1523-1535.
- Lauzanne, L. 1969. Etude quantitative de la nutrition des *Alestes baremoze* (Pisces, Charac.) Cah. ORSTOM Hydrobiol. 3(2):15-27.
- Lauzanne, L. 1977. Aspects qualitatifs et quantitatifs de l'alimentation des poissons du Tchad. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI, Muséum national d'histoire naturelle, Paris. 284 p. Thèse de doctorat d'Etat.
- Legner, E.F. et C.A. Murray. 1981. Feeding rates and growth of the fish *Tilapia zillii* (Cichlidae) on *Hydrilla verticillata*, *Potamogeton pectinatus* and *Myriophyllum spicatum* var. *exalbescens* and interactions in irrigation canals of south-eastern California. *Mosq. News* 41(2):241-250.
- Lewis, W.M., R. Heidinger, W. Kirk, W. Chapman et D. Johnson. 1974. Food intake of the largemouth bass. *Trans. Am. Fish. Soc.* 103(2):227-280.
- Mann, R.H.K. 1982. The annual food consumption and prey preferences of pike (*Esox lucius*) in the River Frome, Dorset. *J. Anim. Ecol.* 51: 81-95.
- Merola, N. et F.A. Pagán-Font. 1988. Pond culture of the Amazon fish, tambaqui, *Colossoma macropomum*: a pilot study. *Aquacult. Eng.* 7:113-125.
- Micha, J.C., T. Antoine, P. Wery et C. van Hove. 1988. Growth, ingestion capacity, comparative appetency and biochemical composition of *Oreochromis niloticus* and *Tilapia rendalli* fed with *Azolla*, p. 347-355. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Moriarty, C.M. et D.J.W. Moriarty. 1973. Quantitative estimation of the daily ingestion of phytoplankton by *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis* in Lake George, Uganda. *J. Zool. (A)* 171:5-23.
- Nadeem-Sheri, A. 1984. Effect of artificial feed, fertilizer and manure on the growth of carps, *Catla catla*, *Labeo rohita*, and *Cirrhina mrigala*. Department of Zoology and Fisheries, Faculty of Science, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan. 39 p. + 19 tables + 3 figures. (Unpubl.).
- Neveu, A. 1980. Relations entre le benthos, la dérive, le rythme alimentaire et le taux de consommation de truites communes (*S. trutta* L.) en canal expérimental. *Hydrobiologia* 76:217-228.
- Niimi, A.J. 1981. Gross growth efficiency of fish (K_1) based on field observations of annual growth and kinetics of persistent environmental contaminants. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38(2): 250-253.
- Nyberg, P. 1979. Production and food consumption of perch, *Perca fluviatilis* L., in two Swedish forest lakes. Institute of Freshwater Research. Rep. No. 58:140-157. Drottningholm.
- Palomares, M.L.D. 1991. La consommation de nourriture chez les poissons : étude comparative, mise au point d'un modèle prédictif et application à l'étude des réseaux trophiques. Institut national polytechnique de Toulouse. 220 p. Thèse de doctorat.
- Palomares, M.L. et D. Pauly. 1989. A multiple regression model for predicting the food consumption of marine fish populations. *Aust. J. Mar. Freshwat. Res.* 40:259-273.
- Palomares, M.L., P. Reyes-Marchant, N. Lair, M. Zainuri, G. Barnabé et G. Lasserre. 1993. A trophic model of a Mediterranean lagoon, étang de Thau, France, p. 224-229. *In* V. Christensen and D. Pauly (éds.) Trophic models of aquatic ecosystems. ICLARM Conf. Proc. No. 26, 390 p.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. *ICLARM Stud. Rev.* 8, 325 p.
- Pauly, D. 1986. A simple method for estimating the food consumption of fish populations from growth data and food conversion experiments. U.S.

- Fish. Bull. 84(4):827-842.
- Pauly, D. 1989. Food consumption by tropical and temperate fish populations: some generalizations. J. Fish Biol. (Suppl. A) 35:11-20.
- Persson, L. 1982. Rate of food evacuation in roach (*Rutilus rutilus* L.) in relation to temperature, and the application of evacuation rate estimates for studies on the rate of food evacuation. Freshwat. Biol. 12:203-210.
- Persson, L. 1983. Food consumption and the significance of detritus and algae to intraspecific competition in roach, *Rutilus rutilus*, in a shallow eutrophic lake. Oikos 41:118-125.
- Rasmussen, G. 1986. The population dynamics of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to year-class size. Pol. Arch. Hydrobiol. 33(3-4): 489-508.
- Régier, O.B., G.M.O. Maloïy et D. Pauly. 1990. Influence of temperature changes on aquatic ecosystems: an interpretation of empirical data. Trans. Am. Fish. Soc. 119:374-389.
- Rice, J.A. et P.A. Cochran. 1984. Independent evaluation of a bioenergetics model for largemouth bass. Ecology 65(3):732-739.
- Saeed, M.L. et C.D. Ziebell. 1986. Effects of dietary nonpreferred aquatic plants on the growth of redbelly tilapia (*Tilapia zillii*). Prog. Fish-Cult. 48:110-112.
- Sainsbury, K.J. 1986. Estimation of food consumption from yield observations of fish feeding cycles. J. Fish Biol. 29:23-36.
- Sambily, V.C. Jr. 1990. Interrelationships between swimming speed, caudal fin aspect ratio and body length of fishes. Fishbyte 8(3):16-20.
- Silvert, W. et D. Pauly. 1987. On the compatibility of a new expression for gross conversion efficiency with the von Bertalanffy growth equation. U.S. Fish. Bull. 85(1):139-140.
- Stewart, D.J. et F.P. Binkowski. 1986. Dynamics of consumption and food conversion by Lake Michigan alewives: an energetics-modeling synthesis. Trans. Am. Fish. Soc. 115(5):643-661.
- Thorpe, J.E. 1977a. Daily ration of adult perch, *Perca fluviatilis* L. during summer in Loch Leven, Scotland. J. Fish Biol. 11:55-68.
- Thorpe, J.E. 1977b. Synopsis of biological data on the perch, *Perca fluviatilis*, Linnaeus, 1758 and *Perca flavescens*, Mitchell, 1814. FAO Fish. Synop. No. 113. 138 p. Rome.
- Vareschi, E. et J. Jacobs. 1984. The ecology of Lake Nakuru (Kenya). V. Production and consumption of consumer organisms. Oecologia 61: 83-98.
- Wee, K.L. et S.S. Wang. 1987. Nutritive value of *Leucaena* leaf meal in pelleted feed for Nile tilapia. Aquaculture 62:97-108.
- Willoughby, N.G. et D. Tweddle. 1978. The ecology of the commercially important species in the Shire Valley fishery, Southern Malawi, p. 137-152. In Symposium on River and Floodplain Fishes in Africa, 21-23 novembre 1977, Bujumbura, Burundi. CIFA Tech. Pap. 5.
- Worthmann, H.O. 1982. Aspekte der biologie zweier Sciaenidenarten, der Pescadas *Plagioscion squamosissimus* (Heckel) und *Plagioscion monti* (Soares) in verschiedenen Gewässertypen Zentralamazoniens. Université de Kiel, République fédérale d'Allemagne, 178 p. Thèse de doctorat.

SESSION III. REPRODUCTION ET GENETIQUE

Effets des différentes tailles d'hapas sur la préparation à la ponte de *Oreochromis niloticus* dans des étangs de terre fertilisés

A.J.D. AMBALI

Biology Department

University of Malawi

Chancellor College

P.O. Box 280, Zomba, Malawi

D.C. LITTLE

Agricultural and Food Engineering Division

Asian Institute of Technology

G.P.O. Box 2754, Bangkok 10501, Thaïlande

AMBALI, A.J.D. et D.C. LITTLE. 1996. Effets des différentes tailles d'hapas sur la préparation à la ponte de *Oreochromis niloticus* dans des étangs de terre fertilisés, p. 246-251. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La présente étude a été réalisée dans le but de déterminer les effets de la taille des hapas sur la production d'oeufs lors de la période de préparation à la ponte ou synchronisation des femelles de *Oreochromis niloticus* dans des étangs de terre fertilisés. Trois hapas de taille différente : 10,78 m² (faible densité) ; 5,29 m² (moyenne densité) ; et 2,72 m² (haute densité) ont été peuplés de géniteurs femelles (poids moyen 84 g) dont la biomasse était égale dans les trois hapas. Les biomasses (kg·m⁻²) respectives pour les densités faible, moyenne et forte étaient de 0,6 à 0,8 ; 1,2 à 1,4 ; et 2,3 à 2,5. Au cours de cette expérience, les femelles ont été synchronisées pendant une période de 10 jours et les mâles pendant cinq jours. Les géniteurs pouvaient pondre naturellement pendant cinq jours dans des hapas de 40 m². La profondeur des hapas était de 0,9 m pour un volume total de 36 m³ et une profondeur d'eau de 0,75 m pour un volume d'eau de 30 m³. Les résultats n'ont montré aucune différence significative (P>0,05) dans la production d'oeufs qui a toutefois dépassé 30 oeufs·kg⁻¹ de la biomasse totale des femelles en présence par jour et 100 oeufs·kg⁻¹ de femelle oeuvée par jour. La production d'oeufs par m² d'hapa était inversement proportionnelle à la taille des hapas. Des rendements de 147 (± 14) ; 299 (± 34) et 575 (± 60) oeufs·m⁻² d'hapa de synchronisation·jour⁻¹ ont été obtenus respectivement dans les hapas de faible, moyenne et forte densités de charge. Aucune différence significative (P>0,05) n'a été observée au niveau des indices gonadosomatiques (IGS) d'une densité de charge à l'autre mais ceux-ci ont toutefois augmenté tout au long de la durée de l'expérience. La qualité de l'eau s'est dégradée du 45^{ème} au 60^{ème} jour d'expérience en raison de la chute au-dessous de 0,5 ppm des concentrations d'oxygène dissous à l'aube, concordant avec une chute dans la production d'oeufs.

Introduction

La faible fécondité des espèces de *Oreochromis* d'intérêt commercial suppose qu'un grand nombre de géniteurs doit être maintenu en permanence. De ce fait,

l'optimisation des densités de charge de géniteurs présente un intérêt économique, surtout quand, chez ces espèces, il y a corrélation entre ponte et densité de charge. Le contrôle de la ponte chez *Oreochromis* spp. par la densité des géniteurs en présence

est une notion bien connue. Le territoire requis par le mâle pour construire et défendre un nid a servi de critère pour l'estimation des densités de charge optimales (ex. Uchida et King, 1962 ; Fishelson, 1966 ; Balarin et Haller, 1982). Le contrôle de la densité de charge est une méthode qui permet également d'inhiber la reproduction et de neutraliser ses effets négatifs sur la croissance des poissons (Mair et Little, 1991).

La faible productivité d'un certain nombre de systèmes de production de *Oreochromis* peut s'expliquer par les difficultés que présente la gestion d'une population de poissons à la reproduction asynchrone et les problèmes de récolte des oeufs. Le prélèvement fréquent des oeufs de tilapias incubateurs bucaux (Verdegem et McGinty, 1987) ou l'échange de géniteurs (Lovshin et Ibrahim, 1988) sont des méthodes connues pour améliorer la production d'oeufs, surtout si elles sont appliquées simultanément et si les femelles sont isolées entre elles à des densités qui inhibent la ponte (Little, 1990). Toutefois, cette dernière pratique n'empêche pas l'ovulation (Silverman, 1978) et la forte densité de charge semble être un facteur important qui contribue à empêcher les femelles de se reproduire jusqu'à ce qu'elles soient mises en présence à faible densité avec des mâles. Le maintien de la qualité de l'eau à de fortes densités présente certaines difficultés selon que l'on choisisse un type de synchronisation ou un autre. Little (1990) a maintenu des géniteurs à des densités comprises entre 1,2 et 5,0 kg·m⁻² (de 10 à 25 poissons·m⁻²) en hapas de nylon et en bassins avec un approvision-

nement en eau en circuit fermé avant de les mettre en présence avec des mâles pour la ponte.

Cette étude a été réalisée dans le but d'examiner les effets de la densité de charge de la phase de préparation à la ponte dans les hapas sur les performances de reproduction des géniteurs femelles de *Oreochromis niloticus*.

Matériel et méthodes

La production de géniteurs et l'expérience décrite ici ont été exécutées dans le même étang de terre (1.740 m²) sur le campus de l'Institut asiatique de technologie (AIT) à 50 km au nord de Bangkok, Pathum Thani en Thaïlande. Des oeufs de *Oreochromis niloticus* (souche Chitralada pure) provenant de femelles ayant pondu naturellement dans de grands hapas de nylon ont été soumis aux phases d'incubation artificielle, de prégrossissement et de grossissement dans un étang de terre fertilisé, après quoi les poissons ainsi obtenus ont été sexés et utilisés comme géniteurs. Les poids moyens des géniteurs mâles et femelles en début d'expérience (âgés de sept mois) étaient respectivement de 84 g (entre 50 et 120 g) et 93 g (entre 64 et 140 g). Des hapas en nylon (maille : 1 mm, calibre n° 20) ont été installés dans le même étang pour la synchronisation d'une biomasse égale de géniteurs femelles (Tableau 1), pour la synchronisation des géniteurs mâles utilisés dans tous les traitements (40 m² x 1 m) et pour la ponte naturelle (40 m² x 9 m).

Tableau 1. Taille des hapas (longueur x largeur x hauteur) utilisés pour chaque traitement au cours de la période de synchronisation des géniteurs femelles (*Oreochromis niloticus*).

Traitement	Dimensions de l'hapa (m)	Surface de l'hapa (m ²)	Densité de charge (kg·m ⁻²)
Faible densité	3,3 x 3,3 x 0,9	10,89	0,6 - 0,8
Moyenne densité	2,3 x 2,3 x 0,9	5,29	1,2 - 1,4
Forte densité	1,65 x 1,65 x 0,9	2,72	2,3 - 2,5

Chaque traitement a été répété six fois et cinq cycles de synchronisation et de ponte ont été réalisés au cours de la période expérimentale de 75 jours. La synchronisation des femelles et des mâles a duré respectivement 10 et 5 jours, après quoi les femelles de chaque réplicat ont été stockées dans un hapa de 40 m² avec des mâles à un sexe ratio de 1:1. Les géniteurs pouvaient pondre naturellement pendant une période de cinq jours.

Au bout de la période de ponte de cinq jours, les oeufs ont été récoltés et mesurés selon les méthodes décrites par Little et coll. (même volume).

La biomasse des géniteurs a été maintenue aux niveaux du début de l'expérience en sacrifiant quatre femelles tous les 15 jours dans chaque réplicat afin de réduire au minimum la différence entre la biomasse totale initiale et finale pour chaque traitement. Deux des quatre femelles ont été sacrifiées après chaque période de synchronisation et les deux autres après chaque période de ponte. Pour ces deux dernières, il s'agissait d'une femelle qui avait pondu et d'une femelle qui n'avait pas pondu. L'indice gonadosomatique (IGS) de ces femelles a été déterminé de la manière suivante :

$$\text{IGS (\%)} = \frac{\text{Poids des gonades (g)}}{\text{Poids total du corps (g)}} \times 100$$

Des boulettes pour poisson-chat (30 % de protéines brutes ; Charoen Pokphand, Bangkok) étaient distribuées aux poissons dans les hapas de synchronisation et de ponte trois fois par jour à 9h00, 13h00 et 16h00 en accord avec l'appétit des poissons. Des applications d'urée et de superphosphate triple (SPT) étaient réalisées une fois par semaine à des taux de 34,4 et 17,2 kg·ha⁻¹ respectivement. Ces engrais chimiques étaient dissous dans de l'eau avant d'être versés dans l'étang. La qualité de l'eau était contrôlée respectivement tous les neuvième et quatrième jours pendant

les périodes de synchronisation et de ponte. Les paramètres tels que l'oxygène dissous (OD) étaient relevés à 6h00 et 18h00 ainsi que le pH et la température. Une analyse de variance a été réalisée pour rechercher des différences entre les moyennes des paramètres de la reproduction pour chaque traitement.

Résultats

La production d'oeufs a augmenté au cours des premiers 45 jours d'expérience puis a baissé entre le 46^{ème} et 75^{ème} jour (Fig. 1). La production d'oeufs variait, selon la date de collecte, de 35 à 141 oeufs·m⁻²·hapa de ponte·jour⁻¹. La production totale d'oeufs, qu'elle soit exprimée comme le nombre

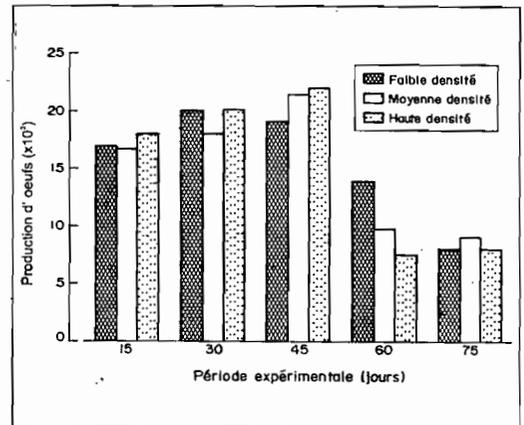


Fig. 1. Nombre total d'oeufs produits par les géniteurs de *Oreochromis niloticus* dans des hapas selon trois densités de charge au cours d'une période expérimentale de 75 jours.

d'oeufs par kg de femelle mise en charge ou ayant pondu par jour ou comme le nombre d'oeufs par m² d'hapa de ponte par jour, n'était pas significativement différente d'un traitement à l'autre ($P < 0,05$). Les rendements en oeufs par unité de surface des hapas de synchronisation se sont améliorés dans les plus petits hapas (Tableau 2).

Une augmentation de presque 40 % de la production d'oeufs a été observée

avec l'utilisation de mâles synchronisés (92 oeufs·m⁻²·hapa de ponte·jour⁻¹ en comparaison de 66 oeufs·m⁻²·hapa de ponte·jour⁻¹).

Les valeurs moyennes des IGS (%) signalaient une tendance à la hausse tout au long de la période expérimentale (Tableau 3). Les différences relevées dans les IGS n'étaient pas significatives ($P > 0,05$) entre l'un et l'autre des trois traitements. Les valeurs moyennes des IGS des femelles oeuvées étaient inférieures à celles des femelles qui n'avaient pas pondu (Tableau 4).

De manière générale, les niveaux d'OD mesurés à l'aube étaient plus élevés au fond de l'hapa (75 cm de profondeur) qu'à 15 cm de la surface. Dans les hapas de synchronisation, les niveaux d'OD les plus élevés ont été enregistrés au 44^{ème} jour (moyenne = 1,67 et 11,8 mg·l⁻¹ correspondant respectivement aux relevés réalisés

face) dans les hapas de ponte étaient inférieurs à 1,0 mg·l⁻¹ pour le traitement de faible densité et à l'extérieur des hapas, et inférieurs à 0,5 mg·l⁻¹ pour les traitements de moyenne et forte densités. Ces résultats ont révélé que plus les niveaux d'OD étaient faibles dans les hapas de ponte, plus la production d'oeufs était importante. La température de l'eau variait entre 26 et 31°C, le pH entre 7,27 et 8,15 sans que les variations enregistrées pour ces deux paramètres ne dépendent de la densité.

Discussion

Les résultats de l'expérience n'ont montré aucun rapport entre les performances de reproduction de ces géniteurs femelles et la densité de charge lors de la période de synchronisation. Ces observations confortent

Tableau 2. Production moyenne d'oeufs (\pm erreur standard, ES) chez les géniteurs *Oreochromis niloticus* à trois densités de charge au cours de la période de synchronisation.

	Faible densité	Moyenne densité	Forte densité
oeufs·m ⁻² ·hapa ^a de ponte·jour ⁻¹	80 (± 7)	79 (± 9)	78 (± 8)
oeufs·m ⁻² hapa ^b de synchro·jour ⁻¹	147 (± 14)	299 (± 34)	575 (± 60)
oeufs·kg ⁻¹ biomasse totale de femelles stockées·jour ⁻¹	30 (± 3)	31 (± 4)	33 (± 5)
oeufs·kg ⁻¹ biomasse totale de femelles oeuvées·jour ⁻¹	101 (± 7)	117 (± 5)	109 (± 4)

^aSur la base d'une période de ponte de 5 jours dans des hapas de 40 m².

^bSur la base d'une période de synchronisation des femelles de 10 jours (forte densité = récolte totale des oeufs sur 5 jours/27,2 ; moyenne densité = récolte totale des oeufs sur 5 jours/52,9 ; et faible densité = récolte totale des oeufs sur 5 jours/108,9).

à l'aube et dans la soirée). Au 45^{ème} jour, l'OD a baissé dans tous les traitements de sorte qu'au 59^{ème} jour, les niveaux d'OD (moyennes des relevés de fond et de sur-

l'hypothèse selon laquelle les tilapias géniteurs peuvent être mis en charge à de fortes densités pendant la période de synchronisation et qu'ainsi peuvent être réalisées des

Tableau 3. Indices gonadosomatiques (moyennes \pm ET) des femelles de *Oreochromis niloticus* au bout d'une période de synchronisation de 10 jours dans des hapas en nylon à trois densités de charge.

	Jour				
	10	25	40	55	70
IGS	%	%	%	%	%
Faible densité	3,42 ($\pm 0,52$)	3,89 ($\pm 0,55$)	4,09 ($\pm 0,43$)	4,26 ($\pm 0,28$)	4,65 ($\pm 0,24$)
Moyenne densité	3,23 ($\pm 0,48$)	3,56 ($\pm 0,42$)	3,80 ($\pm 0,36$)	4,20 ($\pm 0,35$)	4,70 ($\pm 0,33$)
Forte densité	3,43 ($\pm 0,37$)	3,69 ($\pm 0,29$)	3,87 ($\pm 0,44$)	3,87 ($\pm 0,27$)	4,08 ($\pm 0,26$)

Table 4. Indices gonadosomatiques (IGS) (moyennes et écart-type) des femelles de *Oreochromis niloticus* ayant et n'ayant pas pondu, sacrifiées au bout de différentes périodes expérimentales. Chaque chiffre se réfère à une moyenne de 18 poissons (2 poissons par réplicats \times 6 réplicats \times 3 traitements = 36, dont la moitié a pondu et l'autre pas).

Période (jours)	IGS femelles oeuves	IGS femelles non oeuves
	Moyenne \pm ES	Moyenne \pm ES
15	1,0 \pm 0,09	2,1 \pm 0,63
30	1,2 \pm 0,07	2,4 \pm 0,46
45	1,5 \pm 0,25	2,8 \pm 0,39
60	1,6 \pm 0,23	3,1 \pm 0,36
75	1,7 \pm 0,15	3,5 \pm 0,49

économies au niveau des coûts de gestion des géniteurs. L'application de fortes densités dans des hapas de grande taille pourrait donner des résultats similaires dans la mesure où la qualité de l'eau est plus facile à maintenir dans les grands hapas que dans de plus petits.

Des inégalités de production d'oeufs sont apparues au fil de l'expérience, phénomène courant qui pose certaines limites aux systèmes de production de *Oreochromis* spp. en écloséries (Lee, 1979 ; Mires, 1982). Dans les petites et grandes unités de ponte,

la baisse de production a souvent été associée à des changements intervenant dans le milieu et à une altération de l'état des géniteurs. Cette baisse de production au cours des dernières phases de l'expérience a été essentiellement attribuée aux faibles niveaux d'OD à l'aube qui peuvent avoir réduit l'activité de ponte et/ou l'aptitude des femelles à incuber leurs oeufs dans leur bouche (Little, 1990). On peut également poser que les femelles ayant pondu au cours des premiers 45 jours n'ont plus pondu au cours des 20 à 30 jours qui ont suivi, et que la production d'oeufs a par conséquent diminué. D'autres études réalisées sur *O. niloticus* à l'AIT ont rapporté des intervalles de ponte compris entre 25 et 35 jours en fonction des taux de protéines brutes dans l'alimentation. L'intervalle le plus court a été observé chez des femelles nourries avec des aliments contenant 20 % de protéines brutes et l'intervalle le plus long avec des aliments contenant 50 % de protéines brutes (Tuan, 1986).

L'accroissement au fil de l'expérience des valeurs des IGS (Tableaux 3 et 4) et la baisse de production aux 60^{ème} et 75^{ème} jours (Fig. 1) suggèrent que l'efficacité de la reproduction baisse à mesure que les poissons grandissent. L'on sait que chez les tilapias,

le volume des oeufs par ponte augmente avec l'âge et la taille des poissons (Siraj et coll., 1983 ; Rana, 1986) mais ces résultats suggèrent que la proportion d'oeufs matures dans l'ovaire pouvant être libérés est réduite. Le nombre des oeufs collectés de la bouche des femelles se réfère non seulement au nombre d'oeufs dans leurs ovaires mais aussi au temps nécessaire à la ponte et à la fécondation d'un plus gros volume d'oeufs dans une aire de ponte densément peuplée.

Les différences enregistrées au niveau des IGS des femelles ayant et n'ayant pas pondu corroborent les résultats d'études précédentes selon lesquelles l'efficacité de la reproduction peut être améliorée et la production d'oeufs accrue uniquement si les femelles oeuvées sont échangées (Little, 1990) ou si les femelles sont échangées quand elles sont visuellement jugées matures (Little et coll., même volume).

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ICLARM et la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH pour le financement de la présente étude par une bourse de troisième cycle attribuée à l'auteur principal. Le Projet germano-malawien de développement aquacole et halieutique (MAGFAD) doit être également remercié pour avoir financé la participation de l'auteur principal au symposium. Nous sommes aussi reconnaissants envers l'Administration du développement outre-mer du Royaume-Uni qui a partiellement financé la présente étude sous forme d'une subvention à la production d'alevins octroyée au second auteur, et pour avoir financé son séjour à l'AIT. Les personnes suivantes sont également remerciées pour les précieux commentaires qu'elles ont apportés lors de la rédaction du rapport initial : Dr Donald Macintosh, Dr Amararatne Yakupitiyage et Mme Malawan Meewan.

Littérature citée

- Balarin, J.D. et R.D. Haller. 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages, p. 256-355. In J.F. Muir et R.J. Roberts (éds.) Recent advances in aquaculture. Croom Helm, Londres.
- Fishelson, L. 1966. Cichlidae of the genus *Tilapia* in Israel. *Bamidgeh* 18:67-80.
- Lee, J.C. 1979. Reproduction and hybridization of three cichlid fishes, *Tilapia aurea* (Steindacher), *T. homorum* (Trewavas) and *T. nilotica* (Linnaeus) in aquaria and plastic pools. Auburn University, Alabama. Thèse de doctorat.
- Little, D.C. 1990. Evaluation of *Oreochromis* fry production for sex-reversal. University of Stirling, Stirling, Ecosse. Thèse de doctorat.
- Lovshin, L.L. et H.M. Ibrahim. 1988. Effect of broodstock exchange on *Oreochromis niloticus* egg and fry production in net enclosures, p. 231-236. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 632 p.
- Mair, G.C. et D.C. Little. 1991. Population control in farmed tilapias. *Naga*, ICLARM Q. 14:8-13.
- Mires, D. 1982. A study of the problems of mass production of hybrid tilapia fry, p. 317-329. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias, ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Rana, K.J. 1986. Parental influences on egg quality, fry production and fry performance in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) and *O. mossambicus* (Peters). Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, Ecosse. Thèse de doctorat.
- Silverman, H.I. 1978. The effects of different levels of sensory contact upon reproductive activity of adult male and female *Sarotherodon* (*Tilapia*) *mossambicus* (Peters), Pisces: Cichlidae. *Anim. Behav.* 26:1081-1090.
- Siraj, S.S., R.O. Smitherman et S. Castillo-Gallusser. 1983. Reproductive traits for three year classes of *Tilapia nilotica* and maternal effects on their progeny, p. 210-218. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Israël.
- Tuan, N.A. 1986. Effects of dietary protein on growth and reproduction in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus). Asian Institute of Technology, Bangkok, Thaïlande. Mémoire de maîtrise.
- Uchida, R.N. et J.E. King. 1962. Tank culture of tilapia. *US Fish Wildl. Serv. Bull.* 62:21-52.
- Verdegem, M.C. et A.S. McGinty. 1987. Effects of frequency of egg and fry removal on spawning by *Tilapia nilotica* in hapas. *Prog. Fish-Cult.* 49(2):129-131.

Mise en évidence de proportions significatives de mâles inattendus dans les descendance individuelles de néomâles de *Oreochromis niloticus* issus d'une même fratrie

J.F. BAROILLER*

*Programme aquaculture et pêche du Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Département d'élevage et de médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT)
BP 5095, 34033 Montpellier Cédex 01, France
Département piscicole de l'Institut des Savanes (I'IDESSA)
BP 621, Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

BAROILLER, J.F. 1996. Mise en évidence de proportions significatives de mâles inattendus dans les descendance individuelles de néomâles de *Oreochromis niloticus* issus d'une même fratrie, p. 252-260. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Chez le tilapia, la qualité du contrôle artificiel de la reproduction influençant directement la rentabilité de son élevage, de nombreux travaux concernent la différenciation du sexe gonadique et son déterminisme. Chez *Oreochromis niloticus*, les néomâles XX (obtenus par inversion et analyse du sexe ratio de leurs descendance individuelles) peuvent constituer un outil précieux pour analyser aussi bien l'efficacité des traitements masculinisants que le déterminisme du sexe. Vingt-deux géniteurs issus de deux fratries de tels néomâles ont été testés à travers 35 reproductions individuelles par sexage microscopique de la totalité des 4.546 alevins. Les 35 croisements produisent des descendance composées d'une majorité de femelles mais des descendance 100 % femelles ne sont obtenues que dans cinq reproductions. Les autres descendance présentent des sexe ratios significativement différents de 1:1, compris entre 65 et 99 % de femelles, avec une moyenne de 85 %. Trois des mâles inattendus, obtenus dans les descendance ont été reproduits ; leurs descendance comprennent également des mâles inattendus. Ces résultats ne peuvent être expliqués par un simple modèle de déterminisme monofactoriel. Ils suggèrent que d'autres facteurs de type environnemental pourraient être impliqués dans les mécanismes de déterminisme du sexe chez *O. niloticus*.

Introduction

Oreochromis niloticus est aujourd'hui l'une des deux principales espèces de tilapia les plus élevées dans le monde (Pullin, 1983). L'efficacité précoce de sa reproduction (Baroiller et Jalabert, 1989) se traduit, en milieu confiné, par une rapide surpopulation avec une

tendance au nanisme. La qualité du contrôle artificiel de sa reproduction influence donc directement la rentabilité de son élevage. Chez le tilapia, les mâles révélant de meilleures potentialités de croissance que les femelles (Hanson et coll., 1983), trois méthodes sont classiquement proposées pour obtenir des populations monosexes mâles : sexage manuel, l'hybridation et l'inversion hormonale (revues de Guerrero, 1982 ; Lovshin, 1982 ; Wohlfarth et Hulata, 1983 ; Pandian et Varadaraj,

*Adresse actuelle : CIRAD-EMVT, Laboratoire de physiologie des poissons, INRA, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cédex, France.

1987). En moyenne, 2,7-10 % d'erreurs sont commises à l'issue d'un sexage manuel qui conduit par ailleurs à l'élimination de 50 % de la population au bout de deux à trois mois d'élevage (Baroiller et Jalabert, 1989). L'efficacité et la fiabilité de l'inversion hormonale en font aujourd'hui la plus utilisée des trois méthodes. Néanmoins, le métabolisme et l'effet des produits de dégradation des stéroïdes de synthèse sur le milieu étant encore mal connus chez les poissons, cette technique n'est pas autorisée dans certains pays. L'hybridation entre deux espèces parentales d'intérêt aquacole comme *Oreochromis niloticus* et *O. aureus* ne permet généralement pas d'obtenir systématiquement 100 % de mâles (Majumdar et McAndrew, 1983 ; Wohlfarth et Wedekind, 1991).

La démonstration de la viabilité du génotype YY chez *O. niloticus* (Baroiller, 1988b ; Baroiller et Jalabert, 1989 ; Scott et coll., 1989) suggère une quatrième approche, intraspécifique. Chez *O. niloticus* où le mâle est hétérogamétique, une féminisation permet la production de néofemelles XY qui, croisées par un mâle XY, fournissent entre autres dans leurs descendance un génotype nouveau YY. Chaque descendance issue du croisement entre ce mâle homogamétique YY et toute femelle homogamétique XX est théoriquement monosex mâle.

Néanmoins, dans la réalisation pratique de ces modèles inter comme intraspécifiques, apparaissent parfois des sexe ratios qui ne peuvent être expliqués par un déterminisme simple de type monofactoriel XX/XY chez *O. niloticus*. Pour expliquer ces sexe ratios inattendus, trois autres modèles ont été proposés (revues de Avtalion et Don, 1990 ; Mair et coll., 1991 ; Wohlfarth et Wedekind, 1991) : une théorie combinant deux allèles d'un locus autosomique et deux

des trois chromosomes sexuels (Avtalion et Hammerman, 1978 ; Hammerman et Avtalion, 1979) ; un modèle polygénique et/ou pluriallélique (Majumdar et McAndrew, 1983) ; et enfin, un déterminisme monofactoriel avec une possible intervention d'un gène autosomique rare, épistatique aux gènes majeurs. Toutefois, ces trois théories ne permettent pas d'expliquer la totalité des résultats rencontrés dans la littérature.

Afin d'analyser le déterminisme du sexe chez *O. niloticus*, deux fratries de néomâles ont été obtenues et testées individuellement.

Matériel et méthodes

Animaux

OBTENTION DES DEUX STOCKS DE NÉOMÂLES (FIG. 1)

Une famille d'alevins de *Oreochromis niloticus* de la souche "Bouaké" (Baroiller et coll., sous presse) a été obtenue par reproduction d'un mâle avec l'une des quatre femelles placées dans le même aquarium de 400 l. La descendance, prélevée à 10 jours post-fécondation (PF), a subi un traitement d'inversion hormonale à l'aide de 17α -méthyltestostérone, incorporée par imprégnation dans l'alimentation à la dose de $30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Baroiller et Toguyeni, même volume). Trente mâles, issus de la population monosex mâle obtenue, ont été conservés pour analyser le sexe ratio de leurs descendance en aquarium de 400 l. Vingt de ces mâles se sont reproduits avec des femelles classiques. Trente juvéniles de chacune de ces descendance ont été sacrifiés afin de déterminer le sexe ratio de chaque population. Le sexage par squash gonadique est réalisé à 90 jours PF quand les caractéristiques histologiques de la

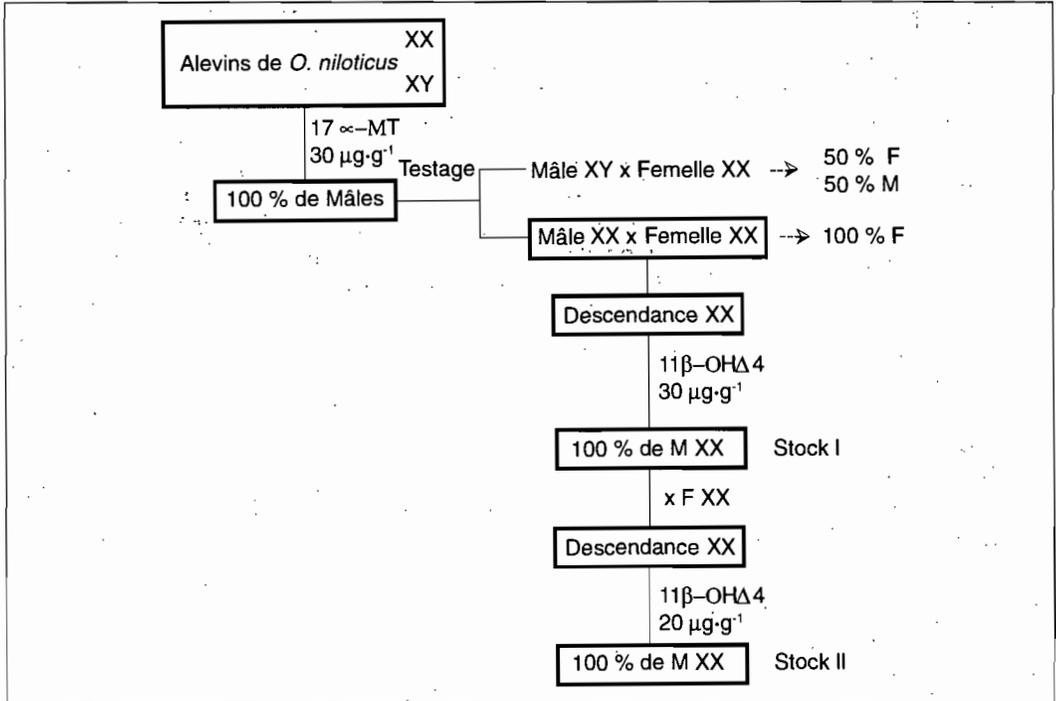


Fig. 1. Obtention des deux stocks de néomâles de *Oreochromis niloticus*.

différenciation sont déjà en place pour les deux sexes (Baroiller, 1988a et 1988b). Les 13 géniteurs dont les descendance ne présentaient pas de différence significative dans leur sexe ratio par rapport à une population 1:1 ont été éliminés (sexe ratios compris entre 33,3 et 60 % de mâles). Les sept autres mâles ayant fourni des descendance 100 % femelles (30 femelles parmi l'échantillon de 30 juvéniles sexes dans chaque descendance) sont conservés comme néomâles. L'un d'entre eux est à nouveau reproduit, et la totalité de sa descendance est soumise à un traitement d'inversion hormonale via l'aliment par la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ à la dose de $30\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Baroiller et Toguyeni, même volume). La population monosexue mâle ainsi obtenue est théoriquement composée exclusivement de néomâles XX ; 60 d'entre eux constituent le stock 1 et seront identifiés par des lettres de

l'alphabet. La descendance de l'un d'entre eux, néomâle J, a été soumise dans sa totalité à un traitement d'inversion hormonale à la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ à la dose de $20\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Baroiller et Toguyeni, même volume). La population monosexue néomâle obtenue constitue le stock 2, et chaque géniteur y est identifié par un chiffre.

REPRODUCTIONS DES NÉOMÂLES ET SEXAGE DE LEURS DESCENDANCES

Treize géniteurs "néomâles" du stock 1 et neuf néomâles du stock 2 ont été reproduits individuellement avec une ou plusieurs femelles en aquarium de 400 l. L'eau des aquariums de reproduction est filtrée en permanence et maintenue à 27°C à l'aide d'une thermorégulation. Chaque animal est individualisé par une marque insérée dans la musculature dorsale. Les reproductions sont détectées par

l'apparition du comportement maternel d'incubation qui se traduit par une dilatation caractéristique de la cavité buccopharyngienne des femelles. Le jour de l'observation de cette caractéristique, tous les autres individus sont retirés pour laisser la femelle incuber dans son aquarium de reproduction. Cinq jours après l'éclosion, soit neuf jours après la fécondation (PF), les alevins sont retirés de la bouche de leur mère. La totalité de chaque descendance (ou un échantillon — au moins 100 alevins — de celle-ci), identifiée par leur date de fécondation et les marques respectives de leurs parents, est élevée séparément en aquariums de 200 l. Les alevins sont nourris six fois par jour ad libitum, sept jours par semaine, avec un aliment pour Salmonidés premier âge (Aqualim), fourni par un distributeur automatique durant les 12 h de photophase. L'eau filtrée et aérée est thermorégulée à $28 \pm 1,5^\circ\text{C}$. Après trois semaines d'élevage en aquarium, quand la différenciation gonadique est déjà bien engagée (Baroiller, 1988a et b), les alevins sont placés en bacs extérieurs de $1,5 \text{ m}^3$ jusqu'au sexage. Ils y reçoivent le même régime alimentaire qu'en aquarium. A 60-90 jours PF, quand les caractéristiques histologiques de la différenciation femelle et mâle sont déjà en place (Baroiller, 1988a et b), tous les alevins sont sexés par examen du squash des gonades à un grossissement de 125. La présence d'ovocytes prévitellogéniques (auxocytose) ou vitellogéniques, et la configuration lobulaire révèlent respectivement les sexes femelle et mâle.

Quatre néomâles du stock 2 (XX4, XX9, XX17 et XX18) ont été chacun successivement reproduits avec trois ou quatre femelles différentes.

Résultats

Les sexe ratios de 22 descendances de néomâles ont été déterminés par

sexage de la totalité des 2.429 alevins obtenus, soit environ 110 poissons par lot. Quatre d'entre elles, soit 18 % des descendances, présentent des sexe ratios de 0:1 (mâle:femelle). Dans les 18 autres descendances, des mâles inattendus selon un déterminisme monofactoriel ont été obtenus dans des proportions comprises entre 1 et 40,5 % (Tableau 1 et Fig. 1). Un seul de ces sexe ratios (40,5 % de mâles) n'est pas significativement différent de 1:1. Rapporté à celui d'une population "moyenne" synthétique de 5.299 alevins issus des reproductions de 42 géniteurs classiques de la même espèce (1,39:1), les 40,5 % de mâles présentent une différence hautement significative. La distribution des fréquences de mâles dans ces descendances est de type unimodale, centrée autour de la classe 0-10 % de mâles.

La descendance de néomâles étant théoriquement composée à 100 % d'individus XX, quatre des mâles inattendus naturellement issus du néomâle XXI (stock 1) ont été conservés jusqu'à leur maturité sexuelle pour analyser le sexe ratio de leurs descendances. Trois des mâles inattendus (D1, D2 et D3) descendant naturellement du néomâle XXI se sont reproduits avec des femelles différentes (Tableau 2). Leurs descendances en majorité femelles comprennent toutefois 2,5-9,2 % de mâles inattendus. Les sexe ratios des descendances des mâles D1, D2 et D3 diffèrent toutes trois significativement de celui de la descendance du néomâle XXI. Aucune différence significative n'est observée entre deux des trois descendances de mâles inattendus (D2 et D3).

Le néomâle XX4 a été successivement reproduit trois fois avec deux femelles : aucune différence significative n'apparaît entre les trois sexe ratios, que les descendances soient issues d'un même

Tableau 1. Reproductions individuelles des néomâles des stocks de *Oreochromis niloticus* 1 et 2 par des femelles XX.

Croisement (M x F)	N de progénitures au sexage	Survie (%)	N mâles	N femelles	Mâles (%)	χ^2 (seuil de signification) ^a	
						1:1	1,39:1
XXA x XXA	116	55	47	69	40,5	2,1(NS)	6,9(**)
XX7 x XX7	179	89,5	63	116	35,2	8 (**)	
XX9 x XX10	146	65,2	50	96	34,2	7,4 (**)	
XXD x XXD	149	ND	38	111	25,5	18,9 (***)	
XXE x XXE	141	47	36	105	25,5	17,9 (***)	
XX10 x XX20	89	ND	21	68	23,6	13,3 (***)	
XXF x XXF	199	ND	45	154	22,6	32,2 (***)	
XXG x XXG	152	ND	34	118	22,4	25,1 (***)	
XXH x XXH	27	ND	6	21	22,3	4,44 (*)	7
XXI x XXI	175	54,2	35	140	20	34,5 (***)	
XX8 x XX8	85	85	15	70	17,6	19,8 (***)	
XXJ x XXJ	70	ND	11	59	15,7	18,6 (***)	
XXK x XXK	119	95,2	14	105	11,8	40,6 (***)	
XXL x XXL	76	ND	6	70	7,9	32,7 (***)	
XX18 x XX16	101	95,3	4	97	4	54,2 (***)	
XX17 x XX15	54	51,9	2	52	3,7	29,5 (***)	
XX4 x XX7	103	94,5	1	102	1	65,1 (***)	
XX1 x XX1	96	90,6	1	95	1	60,5 (***)	
XXC x XXC	74	66,1	0	74	0	74 (***)	
XXB x XXB	86	43	0	86	0	86 (***)	
XXM x XXM	32	ND	0	32	0	32 (***)	
XX11 x XX11	160	93,6	0	160	0	160 (***)	

^aQuand le χ^2 est inférieur ou proche du seuil vis-à-vis d'une population 1:1, les sexe ratios sont testés contre celui de 1,39:1, sexe ratio moyen (minimum de 15,8 % de mâles, maximum de 77,1 %) obtenu sur l'ensemble de 42 reproductions individuelles de mâles XY, soit 5.299 alevins sexés.

NS = Non significatif ; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; ND = Survie non déterminée, le nombre initial d'alevins n'ayant pas été défini.

Tableau 2. Reproductions d'un néomâle de *Oreochromis niloticus* et de trois des mâles inattendus trouvés dans sa descendance : les descendance provenant d'un même néomâle qui possèdent une même lettre minuscule (a, b ou c) présentent des différences significatives ($p=0,05$) entre leurs sexe ratios ; ** = $p < 0,01$.

Croisement (M x F)	N de progénitures au sexage	Survie (%)	N mâles	N femelles	Mâles (%)	χ^2 (seuil de signification)	
XXI x XXI	175	54,2	35	140	20		a b
Descendants							
DI x XX21	317	92,9	8	309	2,5		a b
DII x XX22	314	89,4	29	285	9,2	12,9(**)	a
DIII x XX23	102	86,4	8	94	7,8		b

couple ou seulement d'un même père (Tableau 3).

Quatre descendance ont été obtenues par croisement du néomâle XX9 avec quatre femelles différentes. Trois descendance (mâle XX4 x femelles XX11, XX12 et XX16) sur quatre possèdent des sexe ratios qui ne diffèrent pas significativement les uns des autres. La reproduction avec la femelle XX10 produit au contraire une descendance dont le sexe ratio s'écarte significativement de ceux des familles issues des femelles XX11 et XX12.

Il en est de même entre les sexe ratios des descendance issues du néomâle XX18 puisque trois d'entre elles ne présentent aucune différence significative (descendance issues des femelles XX16, XX17 et XX20).

Enfin chez le mâle XX17, aucune différence significative n'apparaît entre les proportions de mâles inattendus de deux des trois reproductions (XX17 x femelles XX15 et XX11). Toutefois, seul le croisement XX17 x XX11 conduit à la production de 100 % de femelles. La descendance issue de la reproduction du même mâle par la femelle XX16 possède 39,6 % de mâles. Le même mâle XX17 a donc produit successivement avec deux femelles différentes, 0 et 39,6 % de mâles inattendus.

Un croisement de type diallèle impliquant deux néomâles et deux femelles a été enfin obtenu (Tableau 4). Une influence maternelle apparaît dans les deux descendance issues du néomâle XX9. Inversement, une influence paternelle est mise en évidence entre les deux descendance de la femelle XX16.

Discussion

Chez les espèces comme *O. niloticus* où l'on considère que la femelle est homogamétique, la descendance d'un

néomâle est théoriquement monosexue femelle d'après un modèle monofactoriel. Sur 35 reproductions de néomâles réalisées dans la présente étude, cinq descendance seulement, soit 14,3 %, suivent le modèle théorique monofactoriel. Dans les 31 autres descendance apparaissent entre 1 et 40,5 % de mâles inattendus. Ces mâles ne résultent pas d'erreurs de sexage microscopique et présentent une fertilité normale, puisque trois d'entre eux ont été reproduits. Chez *O. niloticus*, trois autres études analysent les sexe ratios de descendance de néomâles. Dans la première, parmi huit descendance de mâles issues d'un traitement masculinisant, quatre descendance sont monosexes femelles, une possède un sexe ratio non significativement différent de 1:1, et trois présentent des proportions inattendues, biaisées vers le sexe femelle représenté à concurrence de 65,2-81,8 % (Jalabert et coll., 1974). Néanmoins, il est impossible d'attribuer la paternité de ces sexe ratios inattendus à des néomâles, plus qu'à des mâles XY compte tenu de la large fourchette de sexe ratios que ces derniers peuvent présenter chez *O. niloticus*, (Shelton et coll., 1983 ; Wedekind, 1987 cité par Wohlfarth et Wedekind, 1991 ; Lester et coll., 1989). Dans la seconde étude (Calhoun et Shelton, 1983), des néomâles obtenus par masculinisation de descendance d'un géniteur néomâle, sont reproduits en masse (22 par expérience) avec deux lots de femelles, et un échantillon de 100 alevins est sexé. Avec l'un des lots de femelles, une descendance sur neuf présente un sexe ratio différent de 100 % de femelles (99 % de femelles). Dans l'autre lot, huit descendance sur neuf produisent 87 à 99 % de femelles et une descendance seulement (soit 11 %) est réellement monosexue femelle et suit donc le modèle théorique monofactoriel XX/XY. Comme dans la

Tableau 3. Reproductions successives de quatre néomâles de *Oreochromis niloticus* : les descendance provenant d'un même néomâle qui possèdent une même lettre minuscule (a, b ou c) présentent des différences significatives ($p=0,05$) entre leurs sexe ratios. NS = Non significatif ; *** = $p<0,001$.

Croisement (M x F)	N de progénitures au sexage	Survie (%)	N mâles	N femelles	Mâles (%)	χ^2 (seuil de signification)	
						1:1	1,39:1
XX4 x XX5	101	84,2	4	97	4	1,8(NS)	
x XX5	104	95,4	3	101	2,9		
x XX7	103	94,5	1	102	1		
XX9 x XX10	146	65,2	50	96	34,2	57,5(***)	a b
x XX11	211	98,6	20	191	9,5		a
x XX12	97	94,2	2	95	2,1		b
x XX16	21	19,6	3	18	14,3		
XX17x XX15	54	51,9	2	52	3,7	58,7(***)	a
x XX11	99	93,4	0	99	0		b
x XX16	53	46,5	21	32	39,6		a b
XX18x XX16	101	90,9	4	97	4	40,9(***)	c
x XX20	363	ND	3	363	0,8		b
x XX17	279	90,6	7	272	2,5		a
x XX14	56	56	9	47	16,1		a b c

Tableau 4. Sexe ratio (σ : φ et % de mâles) dans un croisement de type diallèle entre deux néomâles et deux femelles : les descendance provenant d'un même néomâle qui possèdent une même lettre minuscule (a, b ou c) présentent des différences significatives ($p=0,05$) entre leurs sexe ratios.

	MXX17	σ	MXX9	
FXX11	0:99 (0)	a b	20:191 (9,5)	a
φ				
FXX16	21:32 (39,6)	a	3:18 (14,3)	b

présente étude, l'un des lots produit une grande majorité de descendance dont le sexe ratio est inattendu. Enfin, dans la troisième étude, quatre néomâles sont identifiés par le sexe ratio de leurs descendance dans 11 reproductions individuelles. Deux descendance sur

11 conduisent à des sexe ratios inattendus avec 6,7 et 17,4 % de mâles. Les neuf autres descendance sont considérées comme étant monosexes ; néanmoins, les effectifs sexes restent très faibles, avec en moyenne 20 alevins seulement par lot (minimum :

6 ; maximum : 43), et de faibles pourcentages de mâles inattendus peuvent alors passer inaperçus.

Dans ces quatre différentes études, des sexe ratios inexplicables par un déterminisme monofactoriel sont mis en évidence et peuvent concerner 50 (Calhoun et Shelton, 1983) à 88 % des descendance (la présente étude). Néanmoins, ces proportions de mâles inattendus restant souvent de faibles amplitudes, il est possible qu'elles aient été masquées, au moins partiellement, dans d'autres études où de trop faibles effectifs sont considérés.

Le pourcentage de mâles inattendus diffère dans les descendance successives d'un même néomâle selon les reproductions ; un effet paternel et maternel peut intervenir. Une telle influence maternelle est également suggérée par les différences de proportions de mâles inattendus enregistrés dans les reproductions en masse de néomâles selon le lot de femelles utilisé (Calhoun et Shelton, 1983). Dans des croisements de type diallèle impliquant cinq couples de géniteurs de *O. niloticus*, aucune influence maternelle ou paternelle équivalente n'est constatée (Mair et coll., 1991).

Les déviations observées par rapport au modèle théorique interviennent donc dans des proportions qui peuvent parfois être importantes et semblent peu compatibles avec l'intervention de facteurs autosomiques rares. Les conditions dans lesquelles interviennent ces inversions par rapport au phénotype attendu restent à déterminer ; l'hypothèse simple de contamination génétique semble peu probable depuis la démonstration de l'existence de sexe ratios inattendus dans des populations naturelles isolées (Majumdar et McAndrew, 1983). Des modèles génétiques plus complexes de type polygénique pourraient exister. Toutefois,

l'absence de marqueurs génétiques liés au sexe chez le tilapia rend difficile la réalisation d'analyses génétiques comme celles effectuées chez le platy (*Xiphophorus maculatus*) (Kallman, 1984). Les déviations observées pourraient aussi résulter de potentiels effets des facteurs externes sur la différenciation. Selon les génotypes, un ou plusieurs facteurs externes pourraient influencer le sexe phénotypique d'alevins en cours de différenciation gonadique du sexe. Cette dernière hypothèse, beaucoup plus facile à tester qu'un déterminisme complexe, permettrait alors d'expliquer des résultats inattendus comme la détection de mâles dans les descendance issues de néomâles mais aussi l'identification d'une néofemelle naturelle XY chez *O. niloticus* (Scott et coll., 1989 ; Mair et coll., 1991). Une étude des effets de la température sur le sexe ratio a donc été entreprise sur les descendance issues de ces néomâles (Baroiller et coll., même volume).

Littérature citée

- Avtalion, R.R. et I.S. Hammerman. 1978. Sex determination in *Sarotherodon* (tilapia). I. Introduction to a theory of autosomal influence. *Bamidgeh* 30:110-115.
- Avtalion, R.R. et J. Don. 1990. Sex determining genes in tilapia: a model of genetic recombination emerging from sex ratio results of three generations of diploid gynogenetic *Oreochromis aureus*. *J. Fish Biol.* 37:167-173.
- Baroiller, J.F. 1988a. Etude corrélée de l'apparition des critères morphologiques de la différenciation de la gonade et de ses potentialités stéroïdogènes chez *Oreochromis niloticus*. Université Pierre et Marie Curie, Paris, France. 89 p. Thèse de doctorat.
- Baroiller, J.F. 1988b. Etude des processus morphologiques et endocrinologiques de la différenciation naturelle du sexe chez *Oreochromis niloticus*, appliquée à la production de populations monosexes : intérêts et perspectives, p. 256-266. In G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherche sur les systèmes aquacoles en Afrique. Comptes-rendus d'un atelier organisé à

- Bouaké, Côte d'Ivoire, 14-17 novembre 1988. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.
- Baroiller, J.F. et B. Jalabert. 1989. Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapias. *Aquat. Living Resour.* 2:105-116.
- Baroiller, J.F., X. Rognon, V.C. Yapi et A. Cissé. Genetic characterization and sex determination in tilapia in Côte d'Ivoire. In A. Eknath et B. Acosta (éds.) Present progress, future direction and needs in fish genetics research in Asia Pacific and Africa. Manille, Philippines. (Sous presse.)
- Calhoun, W.E. et W.L. Shelton. 1983. Sex ratios of progeny from mass spawning of sex-reversed broodstock of *Tilapia nilotica*. *Aquaculture* 33:365-371.
- Guerrero, R.D. 1982. Control of tilapia reproduction, p. 309-316. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 434 p.
- Hammerman, I.S. et R.R. Avtalion. 1979. Sex determination in *Sarotherodon* (tilapia). Part II. The sex ratio as a tool for the determination of genotype - a model of autosomal and gonosomal influence. *Theor. Appl. Genet.* 55:177-187.
- Hanson, T.R., R.D. Smitherman, W.L. Shelton et R.A. Dunham. 1983. Growth comparisons of monosex tilapia produced by separation of sexes, hybridization and sex-reversal, p. 570-579. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Jalabert, B., J. Moreau, P. Planquette et R. Billard. 1974. Déterminisme du sexe chez *Tilapia macrochir* et *Tilapia nilotica* : action de la méthyltestostérone dans l'alimentation des alevins sur la différenciation sexuelle ; proportion des sexes dans la descendance des mâles inversés. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 14(4B):729-739.
- Kallman, K.D. 1984. A new look at sex determination in poeciliid fishes, p. 95-171. In B.J. Turner (éd.) Evolutionary genetics of Fishes. Plenum Press, New York, New York.
- Lester, L.J., K.S. Lawson, T.A. Abella et M.S. Palada. 1989. Estimated heritability of sex ratio and sexual dimorphism in tilapia. *Aquacult. Fish. Manage.* 20:369-380.
- Lovshin, L.L. 1982. Tilapia hybridization, p. 279-308. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 434 p.
- Mair, G.C., A. Scott, D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1991. Sex reversal, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus* (L.). *Theor. Appl. Genet.* 82:144-152.
- Majumdar, K.D. et McAndrew. 1983. Sex ratios from interspecific crosses within the tilapias, p. 261-269. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Pandian, T.J. et K. Varadaraj. 1987. Techniques to regulate sex ratio and breeding in tilapia. *Curr. Sci.* 56(8):337-343.
- Pullin, R.S.V. 1983. Choice of tilapia species for aquaculture, p. 64-76. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Scott, A.G., D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1989. The YY supermale in *O. niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. *Aquaculture* 78:237-251.
- Shelton, W.S., F.H. Meriwether, K.J. Semens et W.E. Calhoun. 1983. Progeny sex ratios from interspecific pair spawnings of *Tilapia aurea* and *T. nilotica*, p. 270-280. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Wohlfarth, G.W. et G. Hulata. 1983. Applied genetics of tilapia, 2nd edition. ICLARM Stud. Rev. 6, 26 p.
- Wohlfarth, G.W. et H. Wedekind. 1991. The heredity of sex determination in tilapias. *Aquaculture* 92:143-156.

**Comparaison des effets d'un stéroïde naturel,
11 β -hydroxyandrostènedione, et d'un androgène de
synthèse, 17 α -méthyltestostérone, sur le sexe ratio chez
*Oreochromis niloticus***

**J.F. BAROILLER
A. TOGUYENI**

*Programme aquaculture et pêche du Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement,
Département d'élevage et de médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT),
BP 5095, 34033 Montpellier Cédex 1, France
Laboratoire de physiologie des poissons de l'Institut national
de la recherche agronomique (INRA),
Campus de Beaulieu
35042 Rennes Cédex, France
et
Département piscicole de l'Institut des Savanes (IDESSA)
BP 621, Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

BAROILLER, J.F. et A. TOGUYENI. 1996. Comparaison des effets d'un stéroïde naturel, 11 β -hydroxyandrostènedione, et d'un androgène de synthèse, 17 α -méthyltestostérone, sur le sexe ratio chez *Oreochromis niloticus*, p. 261-269. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Les androgènes de synthèse sont souvent considérés comme étant plus efficaces que les stéroïdes naturels dans l'inversion sexuelle des poissons. Une expérience préliminaire sur le stéroïde naturel 11 β -OH Δ 4, identifié récemment dans les gonades d'alevins de *O. niloticus* à des stades précoces de l'ontogenèse testiculaire, a révélé un fort effet masculinisant. Des alevins de 10-14 jours post-fécondation ont été obtenus par croisements individuels de femelles non traitées par des mâles classiques ou des néomâles afin de mieux évaluer la possible déviation du sexe ratio par rapport au témoin. A partir de cet âge, les alevins ont été traités pendant une période minimale de 21 jours avec le stéroïde naturel ou de synthèse ajouté à la nourriture selon différentes concentrations. Des inversions complètes ont été obtenues avec les deux stéroïdes. Des populations monosexes mâles sont obtenues dans huit des groupes traités à 10-35 μg de 11 β -OH Δ 4·g⁻¹ de nourriture et dans deux groupes respectivement traités à raison de 5 et 20 μg de 17 α -MT·g⁻¹ d'aliment. Aucune différence significative n'a été observée dans l'efficacité des deux androgènes pour des doses supérieures ou égales à 10 μg ·g⁻¹. A 5 μg ·g⁻¹, des populations 100 % mâles ont seulement été obtenues avec la 17 α -méthyltestostérone (17 α -MT), la 11 β -OH Δ 4 ne produisant que 88,9 % de mâles. En revanche, l'administration de la dose la plus faible de 11 β -OH Δ 4 (1 μg ·g⁻¹) a fait sensiblement dévier le sexe ratio alors que le traitement à la 17 α -MT n'a eu aucun effet par rapport au témoin.

L'administration de l'androgène naturel 11 β -OH Δ 4 peut donc remplacer les stéroïdes de synthèse. Une optimisation du traitement à faible dose est entreprise en augmentant la durée.

Introduction

Les tilapias (*Oreochromis*, *Sarotherodon* et *Tilapia*), avec une production mondiale annuelle d'environ 500.000 tonnes (Lazard, 1990), constituent aujourd'hui, en eau douce, l'un des trois groupes les plus utilisés en aquaculture avec les familles des Cyprinidés et des Salmonidés. Néanmoins la grande efficacité de reproduction des espèces de *Oreochromis* (Baroiller et Jalabert, 1989), associée à une maturité sexuelle précoce, conduit en milieu fermé et en situation de compétition alimentaire à une surpopulation et au nanisme. Une solution à ce problème limitant la rentabilité des élevages consiste à produire des populations monosexes. Les populations entièrement mâles sont préférées du fait des meilleures performances de croissance de ce sexe par rapport aux femelles (Pruginin, 1967 ; Hickling, 1968 ; Hanson et coll., 1983).

Actuellement, en pisciculture, les populations monosexes sont produites selon deux techniques (Baroiller et Jalabert, 1989) :

- Le sexage manuel, basé sur l'existence d'un dimorphisme sexuel de la papille urogénitale, qui conduit à éliminer dès que possible (après deux à trois mois de prégrossissement) la totalité des femelles, soit environ la moitié de la population initiale. Cette technique, qui nécessite du temps et du personnel qualifié, reste néanmoins entachée de 3 à 10 % d'erreurs de diagnostic (Lazard, 1980 ; Chervinski et Rothbard, 1982). De plus, elle conduit à élever durant deux à trois mois une population d'alevins dont la moitié (les femelles) sera éliminée. Cette technique, simple mais coûteuse en temps et en main d'oeuvre, utilisée en Afrique, se traduit donc par une sous-utilisation des infrastructures d'élevage et un moindre rendement de l'aliment.

- L'inversion hormonale, qui consiste à masculiniser la totalité d'une popu-

lation d'alevins en incorporant, durant une courte période, un stéroïde dans l'alimentation (Guerrero, 1982 ; Hunter et Donaldson, 1983 ; Pandian et Varadaraj, 1987 ; Baroiller et Jalabert, 1989). Cette technique est couramment utilisée depuis plusieurs dizaines d'années par certains pays producteurs de tilapia comme Israël, Taïwan et les Philippines. Toutefois, elle implique de traiter systématiquement chaque nouvelle population d'alevins destinée à la production. Or l'utilisation d'hormones pour la production d'animaux destinés à la consommation humaine reste interdite dans de nombreux pays (France, Royaume Uni, par exemple) qui considèrent que le devenir et l'effet des produits de dégradation des stéroïdes de synthèse sont encore insuffisamment étudiés, en particulier pour leurs conséquences écologiques.

Chez les tilapias, comme chez l'ensemble des téléostéens, aucune preuve physiologique déterminante ne supporte l'hypothèse de Yamamoto (1969) selon laquelle les stéroïdes sont les inducteurs naturels de la différenciation (Adkins-Regan, 1987). La modification du processus naturel de la différenciation sexuelle par des stéroïdes exogènes pourrait être due à un effet pharmacologique (Reinboth, 1970). De fait, chez les poissons gonochoriques, peu de travaux ont abordé le problème de la stéroïdogenèse précoce durant la période de la différenciation gonadique du sexe (van den Hurk et coll., 1982 ; Rothbard et coll., 1987 ; Baroiller, 1988a et b ; Baroiller et coll., 1988).

Chez *Oreochromis niloticus*, les potentialités stéroïdogènes précoces des gonades mâles et femelles ont été analysées durant les trois premiers mois de leur vie ; cette période couvre l'ensemble des processus de la différenciation ovarienne et testiculaire (Baroiller et coll., sous presse). La testostérone peut être synthétisée par les gonades des deux sexes contrairement à l'oestradiol dont la production se révèle spécifique de l'ovaire

(Baroiller, 1988b). Inversement, certains androgènes comme la 11 β -hydroxyandrosténone (11 β -OH Δ 4) et l'adrénostérone s'avèrent spécifiques du sexe mâle durant cette même période (Baroiller, 1988a et b) et présentent des potentialités masculinisantes (Baroiller, 1988b).

Les stéroïdes artificiels présentent généralement une meilleure efficacité de masculinisation que des androgènes naturels (Hunter et Donaldson, 1983). En ce qui concerne la 17 α -MT, cette efficacité est attribuée à la présence du groupement 17 α -méthyl qui rend son élimination plus lente que celle de stéroïdes naturels comme la testostérone (Fagerlund et McBride, 1978 ; Donaldson et coll., 1979).

Afin de comparer les performances respectives de deux hormones, artificielle ou naturelle, de tester l'hypothèse d'une implication de la 11 β -OH Δ 4 dans le processus de la différenciation testiculaire mais aussi de rechercher une alternative aux traitements classiques d'inversion, une étude de l'efficacité de masculinisation de la 11 β -OH Δ 4 et de la 17 α -MT a été menée chez *O. niloticus*.

Matériel et méthodes

Animaux

Deux types de géniteurs mâles de *O. niloticus* de la souche "Bouaké" (Baroiller, 1988b) ont été utilisés pour la production de familles d'alevins : des mâles classiques (XY) et des néomâles (XX). Ces derniers proviennent de deux fratries apparentées et fournissent, pour la plupart, des proportions significatives de mâles inattendus dans leurs descendance individuelles (Baroiller, même volume).

Reproductions

Les géniteurs mâles ont été placés individuellement en aquariums de 400 litres, avec des femelles classiques, à un sexe ratio de 4:1. L'eau des aquariums de reproduction est filtrée et maintenue à 27°C en permanence. Chaque animal est individualisé par une marque insérée dans la musculature dorsale. Les reproductions sont détectées par l'apparition du comportement maternel d'incubation, qui s'accompagne d'une dilatation caractéristique de la cavité bucco-pharyngienne des femelles. Le premier jour de l'incubation, tous les autres individus sont retirés pour laisser la femelle incubatrice seule dans l'aquarium de reproduction. Cinq jours après l'éclosion, soit neuf jours après la fécondation, les alevins sont retirés de la bouche de leur mère. Chaque descendance, identifiée par sa date de fécondation et les marques respectives des parents, est divisée en deux à cinq lots d'au moins 100 alevins élevés séparément en aquariums de 200 litres.

Traitement hormonal

Les stéroïdes sont administrés via l'alimentation. L'incorporation est réalisée par imprégnation d'un aliment premier âge pour Salmonidés (Aqualim) avec une solution alcoolique contenant les stéroïdes. Des doses de 1 à 45 μ g de stéroïde par gramme d'aliment ont été testées. Pour les lots témoins l'aliment a été préparé de la même façon en omettant d'incorporer les stéroïdes.

Les alevins sont nourris sept jours par semaine à raison de six repas quotidiens distribués ad libitum durant les 12 h de photophase à l'aide d'un distributeur

automatique. Les alevins âgés de 10 à 15 jours post-fécondation (jPF) ont été ainsi traités pour des durées comprises entre 45 et 21 jours. Afin d'éviter un potentiel effet masculinisant de la température (Baroiller et coll., sous presse), l'eau, filtrée et aérée, est thermorégulée à $28 \pm 1,5^\circ\text{C}$.

Prégrossissement et sexage des alevins

Dès la fin du traitement, les alevins âgés de plus de 31 jPF sont élevés en bacs extérieurs de $1,5 \text{ m}^3$ jusqu'au sexage. Ils y reçoivent le même régime alimentaire qu'en aquarium. A 60-90 jPF, quand les caractéristiques histologiques de la différenciation gonadique femelle et mâle sont déjà en place (Baroiller, 1988a et b), la totalité des alevins est sexée par examen microscopique du squash des gonades (grossissement de 125). La présence d'ovocytes prévitellogéniques (auxocytose) ou vitellogéniques, et la configuration lobulaire révèlent respectivement les sexes femelle et mâle.

Les sexe ratios des lots traités et témoins ont été comparés par un test du χ^2 ($\alpha=0,05$).

Résultats

La survie des alevins, déterminée à l'issue du traitement et au moment du sexage, ne diffère pas significativement entre les lots témoins et ceux soumis à des inversions hormonales, quelle que soit la durée ou la dose des traitements utilisés (Tableau 1).

Aucune gonade d'alevins traités à la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ (1.631 animaux sexés) comme à la $17\alpha\text{-MT}$ (416 alevins) ne révèle, lors de l'examen microscopique de leur squash, des caractéristiques hermaphrodites, stériles, ou des anomalies de structure. Les gonades des individus traités par la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ sont

fonctionnelles, quel que soit le génotype de l'individu traité : des néomâles XX et des mâles classiques fonctionnels ont été obtenus et identifiés par analyse du sexe ratio à l'issue de tels traitements (Baroiller, même volume).

Sur l'ensemble des 17 lots traités à la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$, un seul ne présente aucune déviation du sexe ratio par rapport aux témoins (Tableau 2). Contrairement aux 13 autres familles utilisées, la descendance du mâle XY4 n'a été soumise au traitement d'inversion hormonale, qu'à partir du 15^e jPF et non à partir du 10-14^e jPF. Des inversions ayant été obtenues pour les quatre autres lots également traités à $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, cette dose ne semble pas être la cause de l'absence de déviation de sexe ratio observé. Ce résultat pourrait plutôt traduire l'existence d'une période critique de sensibilité hormonale.

Tous les traitements à la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$, appliqués sur des alevins âgés de moins de 15 jPF, quelle que soit la dose utilisée déplacent significativement, par rapport au témoin, le sexe ratio en faveur du sexe mâle (Tableau 2).

La $17\alpha\text{-MT}$ ne présente par contre des effets masculinisants que dans une gamme de doses comprises entre 5 et $45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

Une durée de traitement de 21 jours permet l'obtention de populations monosexes mâles pour des doses d'hormones comprises entre 10 et $35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($11\beta\text{-OH}\Delta 4$) et $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ($17\alpha\text{-MT}$). Pour des doses inférieures ou égales à $5 \mu\text{g}$ de $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ par gramme d'aliment pendant une période de 21 jours, le pourcentage de mâles est proportionnel à la dose utilisée (Fig. 1).

Aucune différence significative d'efficacité de masculinisation n'est décelée entre les deux hormones pour des dosés de $10\text{-}45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. A partir de $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, des différences significatives sont observées dans les résultats des deux types de traitement : pour une dose de $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, seule la $17\alpha\text{-MT}$ permet l'obtention de 100 % de mâles

Tableau 1. Taux de survie des alevins de *Oreochromis niloticus* en fonction du traitement hormonal appliqué pour l'inversion du sexe.

Traitement	Survie après traitement (%)	Nombre de lots testés	Survie au sexage (%)	Nombre de lots testés
11 β -OH Δ 4	83,8	15	55,2	17
17 α -MT	85,6	4	56,7	4
Témoin	79,6	12	50,2	14

Tableau 2. Caractéristiques et résultats des traitements d'inversion hormonale du sexe sur des alevins d'*Oreochromis niloticus* issus de couples de géniteurs comportant des mâles classiques (XY_n) ou des néomâles (XX_n).

Mâle N°	Stéroïde	Caractéristiques du traitement				Caractéristiques du sexage		
		Doses $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Age début traitement (jPF)	Age fin traitement (jPF)	Durée jours	Nombre de mâles	Nombre de femelles	Mâles (%)
XY1	11 β -OH Δ 4	35	12	57	45	81	0	100
	Témoin	0	12	57	45	45	55	45
XY2	11 β -OH Δ 4	35	12	57	45	92	0	100
	Témoin	0	12	57	45	45	41	52
XX1	11 β -OH Δ 4	35	12	57	45	128	0	100
	Témoin	0	12	57	45	64	56	53
XX2	11 β -OH Δ 4	30	13	55	42	64	0	100
	11 β -OH Δ 4	20	13	55	42	51	1	98
	Témoin	0	13	55	42	0	74	0
XX3	11 β -OH Δ 4	30	14	42	28	129	0	100
	11 β -OH Δ 4	30	14	35	21	168	0	100
	Témoin	0	14	42	28	47	69	41
XX4	11 β -OH Δ 4	30	12	54	42	112	2	98
	11 β -OH Δ 4	20	12	54	42	103	1	99
	Témoin	0	12	54	42	0	86	0
XX5	11 β -OH Δ 4	20	11	32	21	74	0	100
	17 α -MT	20	11	32	21	110	0	100
	Témoin	0	11	32	21	23	80	22
XX6	11 β -OH Δ 4	10	10	31	21	100	0	100
	17 α -MT	10	10	31	21	172	1	99
	Témoin	0	10	31	21	34	118	22
XX7	11 β -OH Δ 4	5	10	31	21	24	3	89
	17 α -MT	5	10	31	21	47	0	100
	Témoin	0	10	31	21	6	21	22
XX8	11 β -OH Δ 4	5	11	32	21	79	30	73
	Témoin	0	11	32	21	28	96	23
XX9	11 β -OH Δ 4	5	11	32	21	71	30	70
	Témoin	0	11	32	21	16	69	19
XY3	11 β -OH Δ 4	5	11	32	21	46	20	70
	Témoin	0	11	32	21	15	70	18
XY4	11 β -OH Δ 4	5	15	36	21	79	30	73
	Témoin	0	15	36	21	71	70	70
XX10	11 β -OH Δ 4	1	13	34	21	41	72	36
	17 α -MT	1	13	34	21	12	74	14
	Témoin	0	13	34	21	11	59	16

jPF=jours post-fécondation.

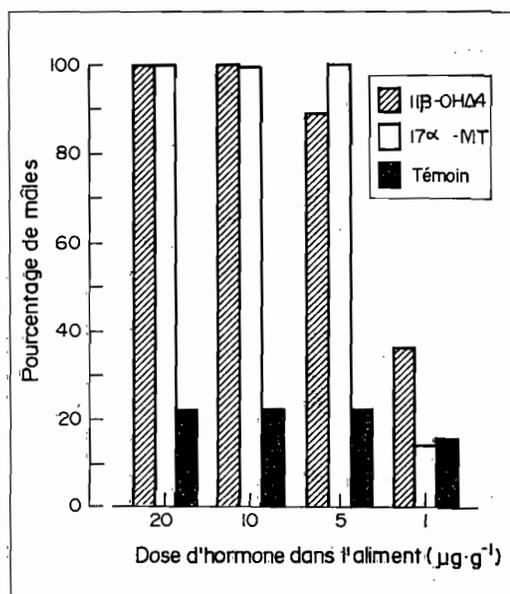


Fig. 1. Efficacité d'un traitement d'inversion hormonale chez *O. niloticus* selon la dose et la nature du stéroïde incorporé dans l'aliment pour tilapia.

contre un maximum de 88 % avec la 11 β -OH Δ 4. Inversement, la 17 α -MT ne présente plus d'efficacité à 1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, alors que la 11 β -OH Δ 4 utilisée à la même dose déplace significativement le pourcentage de mâles par rapport au témoin.

Pour quatre doses différentes de 11 β -OH Δ 4 (5, 20, 30 et 35 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), deux à quatre réplicats ont été réalisés (Tableau 2). Aucune différence significative de sexe ratio n'est observée entre réplicats d'un même traitement.

Discussion

Chez les poissons, les hormones utilisées pour la masculinisation sont généralement des molécules artificielles dérivées de la testostérone : 17 α -MT, 17 α -éthynyltestostérone, acétate de dihydrotestostérone, propionate de testostérone. Ces androgènes de synthèse sont considérés comme étant plus efficaces que les stéroïdes naturels pour l'inversion hormonale des espèces de téléostéens gonochoriques (Hunter et Donaldson, 1983).

Chez le tilapia, de nombreux auteurs ont également obtenu des populations 100 % mâles avec ces stéroïdes, malgré une grande hétérogénéité des conditions expérimentales, en particulier des doses variant de 10 à 240 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d'aliment (Baroiller et Jalabert, 1989). Les doses optimales proposées aujourd'hui sont généralement de 30 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour la 17 α -MT et 60 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour l'éthynyltestostérone (Pandian et Varadaraj, 1987 ; McGeachin et coll., 1987 ; Rothbard et coll., 1987 ; Baroiller et Jalabert, 1989) ; pour la 17 α -MT, la dose minimale pour la production de lots monosexes mâles est de 5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ chez *O. mossambicus* (Pandian et Varadaraj, 1987). D'autres androgènes artificiels comme la 17 α -méthyl-5-androsten-3 β ,17 β -diol (Varadaraj et Pandian, 1987) et la mibolérone (Guerrero et Guerrero, même volume) ont également été utilisés pour ces traitements.

La présente étude indique que chez *O. niloticus*, la dose minimale testée de 17 α -MT, conduisant à une population 100 % mâle est également de 5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pour une période de traitement de 21 jours ; aucun déplacement de sexe ratio n'étant constaté à la dose de 1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$.

La stéroïdogenèse en période de différenciation gonadique restant peu étudiée chez les téléostéens, et en particulier chez le tilapia (Baroiller, 1988a et b ; Baroiller et coll., 1988), seul un nombre restreint d'androgènes naturels a été testé en traitement masculinisant. Parmi ceux-ci, deux dérivés 11-oxygénés, respectivement administrés dans l'eau d'élevage et dans l'alimentation, peuvent modifier le déroulement de la différenciation chez le tilapia : l'adrénostérone, à une dose de 5 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, provoque une destruction des structures ovariennes chez *O. niloticus* (Katz et coll., 1976) et la 11 cétotestostérone, à 200 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, inhibe la formation de la cavité ovarienne mais n'empêche pas l'apparition de jeunes ovocytes qui dégénéreront

ultérieurement chez *O. mossambicus* (Nakamura, 1981). Néanmoins, compte tenu des fortes doses utilisées, l'hypothèse d'effets toxiques ou paradoxaux ne peut être rejetée (Hunter et Donaldson, 1983). Chez *O. niloticus*, de effets masculinisants de l'adrénostérone ont également été démontrés après traitement via l'alimentation à des doses de $45 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Baroiller, 1988b).

La $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ n'avait, jusqu'alors, pas été utilisée en traitement d'inversion hormonale chez le tilapia. Cet androgène naturel présente une efficacité de masculinisation comparable à celle de la $17\alpha\text{-MT}$, pour des doses comprises entre 10 et $35 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. De plus, contrairement à la $17\alpha\text{-MT}$ pour des doses inférieures à $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, des déviations de sexe ratio restent constatées.

Aucune anomalie dans le déroulement de l'ontogenèse gonadique n'est observée lors des examens microscopiques des gonades des alevins traités pendant 60-90 jours ; de plus, l'inversion fonctionnelle des gonades est démontrée par identification de néomâles après épreuve de la descendance des individus traités dans la présente étude (Baroiller, même volume).

La $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ a été identifiée in vitro chez trois espèces de téléostéens à des stades précoces de la différenciation : ce stéroïde 11-oxygéné peut en effet être synthétisé spécifiquement par les testicules de la truite arc-en-ciel *Oncorhynchus mykiss* (van den Hurk et coll., 1982), du poisson-chat *Clarias gariepinus* (van den Hurk et coll., 1989) et de *O. niloticus* (Baroiller, 1988b) durant l'ontogenèse gonadique précoce.

Administrée via l'alimentation (60 et $6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) et via l'eau d'élevage ($300 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ produit des populations à forts taux de mâles, avec respectivement 76-78 % chez la truite (van den Hurk and Lambert, 1982 ; van den Hurk and van Oordt, 1985) et 77 % chez le poisson-chat (van den Hurk et coll., 1989), contre respectivement 48 et 50 % de mâles chez les témoins. Chez *C. gariepinus* (van

den Hurk et coll., 1989), la $17\alpha\text{-MT}$ déplace significativement le sexe ratio en faveur des mâles (65 %) à des doses de $30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ et en faveur des femelles à $100 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Chez *O. mykiss*, les dérivés de la testostérone pourraient ne pas être indispensables à la différenciation testiculaire : en effet, la testostérone et ses dérivés 11-oxygénés ne peuvent être synthétisés par le testicule qu'à des stades ultérieurs à ceux pendant lesquels la $11\beta\text{-OH}\Delta 4$ a été identifiée (van den Hurk et coll., 1982). De plus, un traitement par l'acétate de cyprotérone n'affecte pas le sexe ratio de lots d'alevins de truite (van den Hurk and van Oordt, 1985) et de tilapia (Hopkins et coll., 1979). Les dérivés 11-oxygénés de l'androstènedione pourraient être impliqués dans des étapes de la différenciation testiculaire chez ces trois espèces.

Chez *O. niloticus*, la sensibilité au traitement hormonal apparaît durant une période critique précise. Le traitement pour être efficace doit débiter entre neuf et 13 jPF. Au-delà de cette période, la différenciation semble définitivement engagée conformément au génotype ; dès lors, elle ne serait plus influencée par des facteurs stéroïdiens exogènes.

Le traitement appliqué durant une période de 21 jours intervient donc entre le 9^e et 30^e jPF. Histologiquement, à 27°C, se déroulent successivement chez les individus femelle, la prolifération ovogoniale entre 20 et 28 jPF, puis l'apparition des premières figures de prophase de méiose de 28 à 35 jPF (Baroiller, 1988a et b). Chez le mâle, durant la même période, se déroule la phase de multiplication très progressive des cellules somatiques et spermatogoniales (Baroiller, 1988a et b). Les hormones exogènes sont donc fournies à l'alevin avant la mise en place de ces processus histologiques.

Littérature citée

- Adkins-Regan, E. 1987. Hormones and sexual differentiation, p. 1-29. In D.O. Norris et R.E. Jones (éds.) Hormones and reproduction in fishes,

- amphibians and reptiles. Plenum Publishers, New York.
- Baroiller, J.F. 1988a. Etude corrélée de l'apparition des critères morphologiques de la différenciation de la gonade et de ses potentialités stéroïdogènes chez *Oreochromis niloticus*. Université Pierre et Marie Curie, Paris. 89 p. Thèse de doctorat.
- Baroiller, J.F. 1988b. Etude des processus morphologiques et endocrinologiques de la différenciation naturelle du sexe chez *Oreochromis niloticus*, appliquée à la production de populations monosexes : intérêts et perspectives, p. 256-266. In G.M. Bernacsek and H. Powles (éds.) Recherche sur les systèmes aquacoles en Afrique. Comptes-rendus d'un atelier organisé à Bouaké, Côte d'Ivoire, 14-17 novembre 1988. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.
- Baroiller, J.F., A. Fostier et B. Jalabert. 1988. Precocious steroidogenesis in the gonads of *Oreochromis niloticus* during and after sexual differentiation, p. 137-141. In Y. Zohar et B. Breton (éds.) Reproduction in fish. Basic and applied aspects in endocrinology and genetics. Les Colloques de l'INRA n°44.
- Baroiller, J.F. et B. Jalabert. 1989. Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapias. Aquat. Living Resour. 2:105-116.
- Baroiller, J.F., X. Rognon, V.C. Yapi et A. Cissé. Genetic characterization and sex determination in tilapia in Côte d'Ivoire. In A.E. Eknath et B.O. Acosta (éds.) Present progress, future direction and needs in fish genetics research in Asia, Pacific and Africa. ICLARM Conf. Proc. 38. (Sous presse.)
- Chervinski, J. et S. Rothbard. 1982. An aid in manually sexing tilapia. Aquaculture 26:389.
- Donaldson, E.M., U.H.M. Fagerlund, D.A. Higgs et J.R. McBride. 1979. Hormonal enhancement of growth, p. 456-578. In W.S. Hoar, D.J. Randall et J.R. Brett (éds.) Fish physiology. Vol. 8. Academic Press, New York.
- Fagerlund, U.H.M. et J.R. McBride. 1978. Distribution and disappearance of radioactivity in blood and tissues of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) after oral administration of 3H-testosterone. J. Fish. Res. Board Can. 35:893-900.
- Guerrero, R.D. 1982. Control of Tilapia reproduction, p. 309-316. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Hanson, T.R., R.O. Smitherman, W.L. Shelton et R.A. Dunham. 1983. Growth comparison of monosex tilapia produced by separation of sexes, hybridization and sex-reversal, p. 570-579. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Tel Aviv, Israël.
- Hickling, C.F. 1968. Fish hybridization. FAO Fish. Rep. 44:1-11.
- Hopkins, K.D., W.L. Shelton et C.R. Engle. 1979. Estrogen sex-reversal of *Tilapia aurea*. Aquaculture 18:263-268.
- Hunter, G.A. et E.M. Donaldson. 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture, p. 223-303. In W.S. Hoar, D.J. Randall et E.M. Donaldson (éds.) Fish physiology. Vol. 9(B). Academic Press, New York.
- Katz, Y., M. Abraham et B. Eckstein. 1976. Effects of adrenosterone on gonadal and body growth in *Tilapia nilotica* (Teleostei, Cichlidae). Gen. Comp. Endocrinol. 29:414-418.
- Lazard, J. 1980. Le développement de la pisciculture intensive en Côte d'Ivoire. Exemple de la ferme pilote de Natio-Kobadara (Korhogo). Notes et Documents sur la Pêche et la Pisciculture 21:1-44.
- Lazard, J. 1990. Transfert de poissons et développement de la production piscicole. Exemple de trois pays d'Afrique subsaharienne. Rev. Hydrobiol. Trop. 23(3):251-265.
- McGeachin, R., E.H. Robinson et W.H. Neill. 1987. Effect of feeding high levels of androgens on the sexe ratio of *Oreochromis aureus*. Aquaculture 61:317-321.
- Nakamura, M. 1981. Effects of 11-ketotestosterone on gonadal sex differentiation in *Tilapia mossambica*. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr. 47:1321-1327.
- Pandian, T.J. et K. Varadaraj. 1987. Techniques to regulate sex-ratio and breeding in tilapia. Curr. Sci. 56(8):337-343.
- Pruginin, J. 1967. Report to the Government of Uganda on the experimental fish culture project in Uganda, 1965-1966. UNDP/FAO Report No. TA 2446, 16 p.
- Reinboth, R. 1970. Intersexuality in fishes. Mem. Soc. Endocr. 18:515-544.
- Rothbard, S., B. Moav et Z. Yaron. 1987. Changes in steroid concentrations during sexual ontogenesis in tilapia. Aquaculture 61:59-74.
- van den Hurk, R. et J.G.D. Lambert. 1982. Temperature and steroid effects on gonadal sex differentiation in rainbow trout, p. 69-72. In C.J.J. Richter et H.J.Th. Goos (comps.) Proceedings of the International Symposium on Reproduction Physiology of Fish, PUDOC, Wageningen.
- van den Hurk, R. et P.G.W.J. van Oordt. 1985. Effects of natural androgens and corticosteroids on gonad differentiation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Gen. Comp. Endocrinol. 57:216-222.
- van den Hurk, R., C.J.J. Richter et J. Janssen-Dommerholt. 1989. Effects of 17 α -methyltes-

- tosterone and 11 β -hydroxyandrostenedione on gonad differentiation in the African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture* 83:179-191.
- van den Hurk, R., J.G.D. Lambert et J. Peute. 1982. Steroidogenesis in the gonads of rainbow trout fry *Salmo gairdneri* before and after the onset of gonadal sex differentiation. *Reprod. Nutr. Develop.* 22:413-426.
- Varadaraj, K. et T.J. Pandian. 1987. Masculinization of *Oreochromis mossambicus* by administration of 17 α -methyl-5-androsten-3 β -17 β -diol through rearing water. *Curr. Sci.* 56(9):412-413.
- Yamamoto, T. 1969. Sex differentiation, p. 117-175. *In* W.S. Hoar et D.J. Randall (éds.) *Fish physiology*. Vol. 3. Academic Press, New York.

Effets de fortes températures d'élevage sur le sexe ratio de descendance issues de néomâles de *Oreochromis niloticus*

J.F. BAROILLER*

*Programme aquaculture et pêche du Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement, Département d'élevage et de
médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT)*

BP 5095, 34033 Montpellier, Cédex 1., France

Département piscicole de l'Institut des Savanes (IDESSA)

BP 621, Bouaké 01, Côte d'Ivoire

A. FOSTIER

C. CAUTY

*Laboratoire de physiologie des poissons de l'Institut national
de la recherche agronomique (INRA)*

Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cédex, France

X. ROGNON

(CIRAD-EMVT/IDESSA)

BP 621, Bouaké 01, Côte d'Ivoire

B. JALABERT

*Laboratoire de physiologie des poissons de l'Institut national
de la recherche agronomique (INRA)*

Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cédex, France

BAROILLER, J.F., A. FOSTIER, C. CAUTY, X. ROGNON et B. JALABERT. 1996. Effets de fortes températures d'élevage sur le sexe ratio de descendance issues de néomâles de *Oreochromis niloticus*, p. 270-281. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Chez *Oreochromis niloticus*, l'inversion hormonale de la totalité d'une descendance issue du croisement d'un néomâle XX (lui-même obtenu par traitement stéroïdien) par une femelle classique XX a permis l'obtention d'une fratrie de néomâles XX. Le sexe ratio des descendance individuelles de 22 de ces néomâles n'est que rarement monosexue femelle, contrairement aux prédictions d'un modèle de déterminisme monofactoriel. Afin de rechercher une potentielle thermosensibilité de la différenciation, les descendance de ces néomâles ont été soumises à de fortes températures d'élevage pendant 21 jours. Les alevins âgés de 9-13 jours post-fécondation (jPF) de 17 descendance ont été respectivement élevés à de fortes températures comprises entre 30 et 36°C et à une température témoin moyenne de 28°C. Aucune différence significative de survie n'apparaît entre les deux groupes d'alevins avec respectivement des taux de 76,2 et 74,2 % à 28 et 30-36°C. Tous les alevins survivants (en moyenne une centaine par lot) ont été sexés par examen histologique des squashes à 60-90 jPF. Les fortes températures déplacent les sexe ratios témoins de 0 à 91 %. Les faibles mortalités ne permettant pas d'expliquer ces déviations, une thermosensibilité est donc mise en évidence chez *O. niloticus*.

*Adresse actuelle : CIRAD-EMVT, Laboratoire de physiologie des poissons, INRA, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cédex, France.

Introduction

L'efficacité précoce de la reproduction du tilapia (Baroiller et Jalabert, 1989) conduit en milieu confiné à une rapide surpopulation avec une tendance au nanisme. Le contrôle artificiel de la reproduction du tilapia est donc essentiel pour la rentabilité de son élevage. Les individus mâles possédant de meilleurs taux de croissance que les femelles (Pruginin, 1967 ; Hickling, 1968 ; Hanson et coll., 1983), trois types d'approches ont été d'abord proposées pour obtenir des populations monosexes mâles : (1) l'identification du sexe par examen de la papille urogénitale (Hickling, 1963 ; Guerrero, 1975), (2) l'hybridation (revues de Lovshin, 1982 ; Majumdar et McAndrew, 1983 ; Wohlfarth et Hulata, 1983), et (3) l'inversion hormonale (revues de Guerrero, 1982 ; Hunter et Donaldson, 1983 ; Pandian et Varadaraj, 1987). L'identification du sexe par examen de la papille urogénitale, entachée de 2,7-10 % d'erreurs, conduit à l'élimination de la moitié de la population après deux à trois mois d'élevage (Baroiller et Jalabert, 1989). Bien que l'inversion hormonale soit aujourd'hui la plus utilisée des trois techniques, compte tenu de son efficacité et de sa fiabilité, elle est toutefois souvent remise en cause. En effet, le devenir et l'effet des produits de dégradation des stéroïdes de synthèse sont encore insuffisamment étudiés, en particulier pour leurs conséquences écologiques. L'hybridation utilisant deux espèces parentales d'intérêt aquacole comme *Oreochromis niloticus* et *O. aureus* ne permet généralement pas d'obtenir systématiquement 100 % de mâles (Majumdar et McAndrew, 1983 ; Wohlfarth et Wedekind, 1991).

Une quatrième approche, intraspécifique, suggérée par les travaux de Yamamoto (1969), est envisagée depuis une dizaine d'années. Elle consiste à obtenir

des géniteurs mâles et femelles homogamétiques dont la descendance est monosex mâle. Chez les espèces comme *O. aureus* où le mâle est homogamétique (ZZ), une féminisation suivie d'une analyse du sexe ratio des descendances individuelles des femelles obtenues suffit à produire de tels individus (Hammerman et Avtalion, 1979 ; Jensen et Shelton, 1979). Chez les espèces comme *O. niloticus* où le mâle est hétérogamétique, une étape supplémentaire est nécessaire pour aboutir à la production d'un génotype nouveau YY, viable et fertile (Baroiller, 1988b ; Baroiller et Jalabert, 1989 ; Scott et coll., 1989 ; Varadaraj, 1989).

Néanmoins, dans la plupart de ces études inter comme intraspécifiques apparaissent des sexe ratios incompatibles avec un déterminisme simple de type monofactoriel, XX/XY ou ZZ/ZW, selon les espèces de tilapia (revues de Mair et coll., 1991a, 1991b ; Wohlfarth et Wedekind, 1991). Pour expliquer ces sexe ratios inattendus, deux autres modèles ont été proposés : une théorie combinant deux allèles d'un locus autosomique et deux des trois chromosomes sexuels (Avtalion et Hammerman, 1978 ; Hammerman et Avtalion, 1979) et un modèle polygénique (Majumdar et McAndrew, 1983 ; Mair et coll., 1987). Toutefois, ces deux théories ne permettent pas non plus d'expliquer la totalité des résultats rencontrés dans la littérature (Avtalion et Don, 1990 ; Wohlfarth et Wedekind, 1991).

Cependant, chez plusieurs espèces d'invertébrés (Bacci, 1965 ; Charnov et Bull, 1977) et de vertébrés inférieurs (Conover, 1984 ; Adkins-Regan, 1987 ; Dournon et coll., 1990), des facteurs environnementaux peuvent être déterminants dans l'expression du sexe phénotypique, indépendamment du génotype sexuel fixé à la fécondation. Chez la majorité des vertébrés inférieurs soumis à un déterminisme environnemental du

sexe, le facteur majeur est la température (Bull, 1983). Chez les poissons, une plasticité de la différenciation gonadique du sexe a été démontrée par les nombreuses inversions fonctionnelles induites artificiellement par des traitements hormonaux variés (Yamamoto, 1969 ; Hunter et Donaldson, 1983) ; de plus, des facteurs environnementaux (sociaux, thermiques) sont connus pour influencer le sexe chez les hermaphrodites (Harrington, 1967, 1968, 1971 ; Reinboth, 1975 ; Bruslé et Bruslé, 1983 ; Chan et Yeung, 1983). Ce n'est que dans les 10 dernières années qu'un déterminisme du sexe thermodépendant a été mis en évidence chez un poisson gonochorique (Conover et Kynard, 1981 ; Conover, 1984 ; Conover et Fleisher, 1986 ; Conover et Heins, 1987a, 1987b). Chez les espèces où des sexe ratios variés ne peuvent être expliqués par une simple hétérogamétie, des effets environnementaux pourraient être impliqués (Conover et Fleisher, 1986 ; Chourrout, 1988). Une fratrie de néomâles de *O. niloticus* dont la majorité des descendance présente des sexe ratios inattendus d'après un modèle classique monofactoriel a récemment été obtenue (Baroiller, même volume). L'effet de fortes températures d'élevage sur le sexe ratio a donc été examiné sur ce type de descendance.

Matériel et méthodes

Animaux

Sept néomâles obtenus par traitement hormonal d'une famille d'alevins de *O. niloticus* de la "souche Bouaké" (Baroiller et coll., sous presse) ont été identifiés par leurs descendance individuelles monosexes femelles. L'un de ces néomâles a été reproduit à nouveau pour soumettre la totalité de sa descendance à un

traitement d'inversion hormonale du sexe. Une fratrie de néomâles a été ainsi obtenue (Baroiller, même volume). Neuf d'entre eux ont été placés individuellement, pour leur reproduction, en aquarium de 400 l, avec des femelles classiques, à un sexe ratio de 4:1. La plupart des néomâles originaires du même stock fournissent dans leur descendance des mâles théoriquement inattendus (Baroiller, même volume). L'un de ces mâles (mâle D3) naturellement issu de la reproduction d'un néomâle a également été utilisé comme géniteur dans le cadre de cette expérimentation. La température de l'eau a été maintenue à 27°C à l'aide d'une thermorégulation. Chaque animal est individualisé par une marque insérée dans la musculature dorsale. Les reproductions sont détectées par l'apparition du comportement maternel d'incubation des oeufs puis des larves qui se traduit par une dilatation caractéristique de la cavité buccopharyngienne des femelles. Le jour de l'observation de cette caractéristique (J0), tous les autres individus sont retirés pour laisser la femelle incuber dans son aquarium de reproduction. Cinq jours après l'éclosion, soit neuf jours après la fécondation (JPF), les alevins sont retirés de la bouche de leur mère. Chaque descendance, identifiée par sa date de fécondation et les marques de ses parents, est divisée en deux à cinq lots de tailles égales comprenant au moins 100 individus. Chacun d'eux est élevé séparément en aquariums de 200 l dont l'eau est filtrée, aérée et thermorégulée. Les lots destinés à une exposition à de fortes températures sont placés dans des petits récipients plastiques de 0,5 l avec un bulleur ; ces récipients sont mis à flotter dans les aquariums de traitement jusqu'à équilibre des températures (quelques heures), et les alevins sont alors libérés. Ils resteront 21 jours en aquarium thermorégulé. Cette période correspond à la durée optimale de traitement pour obtenir des populations 100 % mâles par

inversion hormonale avec un stéroïde naturel, la 11 β -OH Δ 4 (Baroiller et Toguyeni, même volume). Les alevins sont nourris ad libitum, 6 fois/jour et 7 jours/semaine, à l'aide d'un aliment pour Salmonidés premier âge (Aqualim), fourni par un distributeur automatique durant les 12 h de photophase. Dix-sept descendance de néomâles ont été utilisées dans la présente étude. Après le traitement, les lots d'alevins âgés d'un mois sont stockés individuellement en bacs extérieurs de 1,5 m³ où ils sont nourris ad libitum, 6 fois/jour et 6 jours/semaine jusqu'à l'identification de leur sexe à 60-90 jPF.

Identification du phénotype sexuel

A un âge minimal de deux à trois mois, quand les caractéristiques histologiques de la différenciation femelle et mâle sont déjà en place (Baroiller, 1988a et b), tous les alevins de chaque lot ont été disséqués et les gonades examinées par simple squash, sous microscope à un grossissement de 125. La présence d'ovocytes prévitellogéniques (auxocytose) ou vitellogéniques et la configuration lobulaire révèlent respectivement l'ovaire et le testicule, et par conséquent le sexe phénotypique.

Résultats

La survie moyenne (S), déterminée au moment de l'identification du sexe, ne diffère pas significativement entre les lots témoins élevés à des températures de 26-29°C (S = 76,2 % pour 1.879 alevins sexés) et ceux soumis à de fortes températures comprises entre 30 et 36°C (74,2 % pour 2.880 alevins). Ces survies permettent en moyenne d'obtenir, à l'identification du sexe, des lots d'une centaine d'individus.

Pour trois familles d'alevins MXX9 x FXX10, MXX9 x FXX11 et MXX7 x FXX7,

deux lots témoins ont été élevés à une température moyenne de 28°C (Tableaux 1 et 2). Aucune différence significative de sexe ratio n'est observée entre les lots d'une même famille.

Dix-sept familles d'alevins, divisées chacune en plusieurs lots, ont été élevées selon deux régimes thermiques : 20 lots constituaient des témoins (températures de 26 à 29°C), tandis que 32 lots subissaient une exposition à de fortes températures d'élevage comprises entre 30 et 36°C (Tableau 3). Seize de ces familles présentent, dans au moins un de leurs lots expérimentaux, des déviations de leur sexe ratio par rapport aux témoins (Tableaux 1 et 2, Fig. 1). Ces modifications de sexe ratio ne peuvent être attribuées à une mortalité différentielle liée aux fortes températures. En effet, dans la plupart des lots, les faibles mortalités observées ne suffisent pas à expliquer ces importantes déviations. En particulier, dans le croisement XX17 x XX11, les sept et six morts respectivement observés dans le lot témoin et le lot à 36°C ne peuvent combler la différence de 91 % de mâles entre les deux populations de 99 et 100 alevins identifiés. Les sexe ratios des descendance issues de néomâles de *O. niloticus* sont donc directement influencés par les fortes températures d'élevage.

Aucune différence significative n'apparaît dans le sexe ratio à 31°C par rapport au lot témoin (Tableau 3). Parmi les six lots traités à 32-33°C, cinq sexe ratios sont significativement déviés en faveur des mâles par rapport aux pourcentages observés dans les lots témoins à 27°C (Tableau 3). Entre 34 et 36°C, 20 lots sur 23 présentent un déplacement significatif du pourcentage de mâles par rapport à leurs lots témoins respectifs. Pour des températures supérieures ou égales à 32°C, les proportions de mâles dans les populations expérimentales augmentent de 0 à 91 % par rapport aux sexe ratios témoins.

Tableau 1. Caractéristiques des lots d'alevins de *Oreochromis niloticus* élevés à différentes températures : voir le texte pour le détail des croisements parentaux.

Croisement parental (M x F)	T°C	Age initial (JPF)	Survie (Nbre)	Survie (%)	Nbre de mâles	Témoin %	χ^2 (seuil de signification)*
XX x XX	27±2	13	141	47	36	25,5	62,05
	35±2	13	67	22	56	83,6	
XX0 x XX0	26±2,5	10	152	76	34	22,4	109,74
	34±1,5	10	125	62,5	107	85,6	
	36±1,5	10	23	11,5	20	86,9	
XX1 x XX1	27±2	9	96	90,6	1	1	0,011
	31±1,5	9	78	73,6	0	0	
	36±2	9	80	25	20	25	
XX4 x XX7	29±1	10	103	94,5	1	1	0,002
	31±1	10	109	100	2	1,8	
	35±1,5	10	105	96,3	13	12,4	
	36±1,5	10	54	49,5	15	27,8	
XX4 x XX5	28±1	15	101	84,2	4	4	0,97
	34±1	15	110	91,7	9	8,2	
	35±1	15	98	81,7	5	5,1	
XX4 x XX5	28±1,5	9	104	95,4	3	2,9	6,73
	33±1	9	101	92,7	14	13,9	
	36±1,5	9	67	61,5	38	56,7	
XX7 x XX7	28±1,5	11	90	90	34	37,8	16,4
	28±1,5	11	89	89	29	32,6	
	35±2	11	88	88	54	61,4	
XX9 x XX10	28±1,5	11	78	69,6	27	34,6	6,63
	28±1,5	11	68	60,7	23	33,8	
	34±2	11	79	70,5	41	51,9	
XX9 x XX11	28±1,5	10	104	97,2	10	9,6	20,5
	28±1	10	107	100	10	9,3	
	34±1,5	10	98	94,2	30	30,6	
	35±1,5	10	93	89,4	47	50,5	
XX9 x XX12	27±2	10	97	94,2	2	2,1	5,99
	33±1,5	10	80	77,7	10	12,5	
	36±1,5	10	94	91,3	20	21,3	
XX9 x XX16	28±1,5	10	21	-	3	14,3	13,6
	36±1,5	10	44	-	29	65,9	
XX11 x XX5	27±2,5	11	119	94,4	5	4,2	0,000
	34±2	11	119	94,4	4	3,4	
	36±1,5	11	104	82,5	19	18,3	
XX17 x XX15	27±2	10	54	51,9	2	3,7	5,06
	32±1,5	10	92	88,5	18	19,6	
	36±2	10	81	77,9	39	48,1	
XX17 x XX11	28±1,5	10	99	93,4	0	0	162,35
	32±1,5	10	106	100	8	7,5	
	36±1,5	10	100	94,3	91	91	
XX17 x XX16	28±1,5	10	53	-	21	39,6	9,24
	32±1,5	10	99	-	66	66,7	
XX18 x XX16	28±1,5	12	101	95,3	4	4	2,29
	31±1,5	12	101	95,3	0	0	
	32±1,5	12	93	87,7	1	1,2	
	35±1	12	105	99,1	2	1,9	
	36±2	12	67	63,2	22	32,8	
XXD3 x XX17	28±1,5	10	102	86,4	8	7,84	62,83
	34±1,5	10	118	100	71	60,2	
	34±1,5	10	102	86,4	66	64,7	

p<0,05 ; **p<0,01 ; *p<0,001.

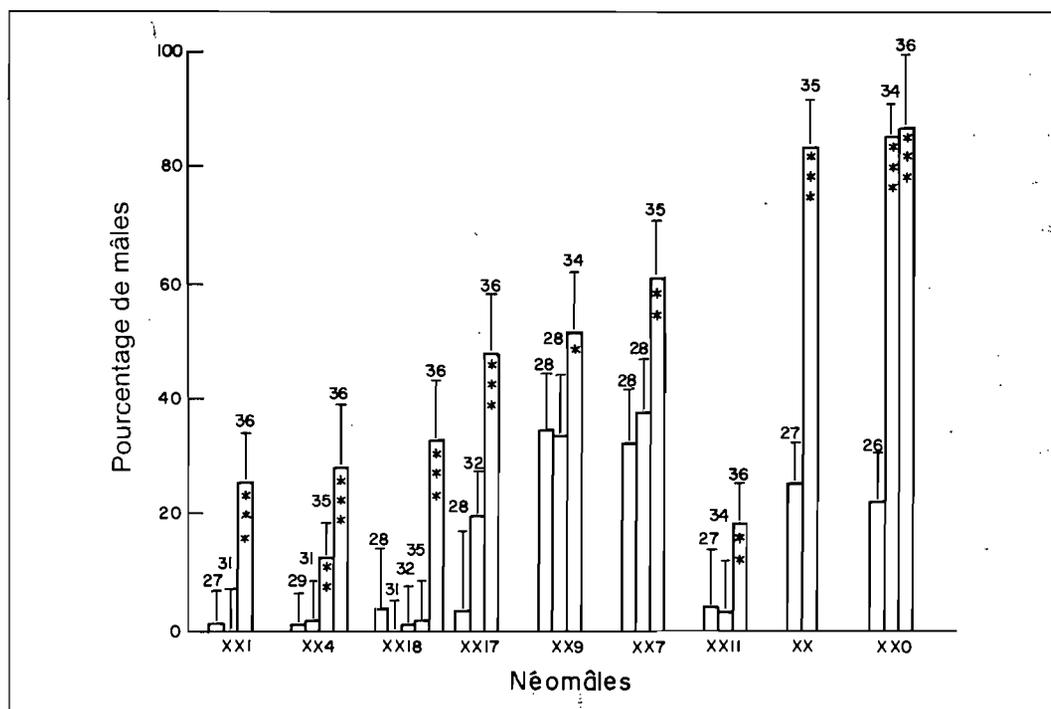


Fig. 1. Effets des températures (27-36°C) sur les pourcentages de mâles obtenus dans les descendance de *Oreochromis niloticus* issues de divers croisements parentaux : voir le texte et le tableau 1 pour le détail de ces croisements ; l'espace entre les colonnes et les valeurs de température représente les erreurs standard, et les astérisques, les différences significatives entre les hautes et basses températures pour ce groupe (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$).

Tableau 2. Réponses en termes de sexe ratio dans les lots d'alevins de *Oreochromis niloticus* élevés à différentes températures.

Températures testées (°C)	Nbre de lots testés	Nbre de réponses significatives
31	3	0
32	4	3
33	2	2
34	7	6
35	6	4
36	10	10

Tableau 3. Effet parental sur le sexe ratio des alevins de *Oreochromis niloticus* élevés à différentes températures : voir le texte pour le détail des croisements parentaux.

Croisement parental M x F	% de mâles		
	Témoin à 36°C		Différence (%) ^a
XX4 x XX5	2,9	56,7	53,8
XX4 x XX7	1	27,8	26,8**
XX9 x XX12	2,1	21,3	19,2
XX9 x XX16	14,3	65,9	51,6***
XX17 x XX15	3,7	48,1	44,4
XX17 x XX11	0	91	91***
XX9 x XX16	14,3	65,9	51,6
XX18 x XX16	4	32,8	28,8**

^a*** $p < 0,01$; ** $p < 0,001$.

L'intensité de la réponse n'est pas directement proportionnelle à la température appliquée, ni au pourcentage de mâles obtenu à la température témoin. En effet, les descendance diffèrent fortement dans leur thermosensibilité, aussi bien vis-à-vis d'une température minimale effective que dans l'amplitude de déviation du sexe ratio pour des conditions d'élevage identiques. Pour une même température expérimentale de 36°C, des modifications de sexe ratios de 14,1 à 91 % de mâles sont observées selon les descendance (Tableaux 1 et 2). De fortes influences paternelles (XX9 x XX16/XX18 x XX16) et maternelles (XX17 x XX15/XX17 x XX11) sur la thermosensibilité des descendance sont mises en évidence (Tableau 3). Néanmoins, sur l'ensemble des lots expérimentaux, la proportion de mâles croît avec la température.

Sur l'ensemble des descendance utilisées, une seule famille ne présente aucune déviation du sexe ratio quelle que soit la température utilisée. Contrairement à l'ensemble des autres expérimentations, les régimes thermiques n'ont été appliqués aux alevins issus du croisement XX4 x XX5 qu'à partir du 15^e jPF et non à partir de 9-13 jPF. Ce résultat traduit probablement l'existence d'une période critique de thermosensibilité. Au-delà de certaines étapes de la différenciation, le sexe gonadique ne pourrait plus être influencé par des facteurs externes comme la température.

La descendance du croisement XX17 x XX11 dont le sexe ratio est conforme à celui attendu selon un modèle génétique simple chez un néomâle de *O. niloticus* présente aussi une thermosensibilité de la différenciation. De même, la descendance d'un mâle inattendu (mâle D3) issu du croisement d'un néomâle par une femelle normale ou primaire possède une thermosensibilité de la différenciation.

Discussion

Chez les poissons, très peu d'études ont analysé la possibilité d'un déterminisme du sexe par les facteurs de l'environnement. L'essentiel des travaux a longtemps concerné exclusivement les espèces hermaphrodites. Chez ces dernières, l'influence de facteurs de l'environnement a été démontrée sur l'inversion naturelle du sexe (revues de Reinboth, 1975 ; Chan et Yeung, 1983.) En particulier, chez *Rivulus marmoratus*, les faibles températures permettent la production de mâles primaires (Harrington, 1967, 1968), et des modifications de photopériode conduisent à l'obtention de mâles secondaires (Harrington, 1971). Chez les espèces gonochoriques, seuls les travaux réalisés sur *Menidia menidia* (Conover et Kynard, 1981 ; Conover, 1984 ; Conover et Fleisher, 1986 ; Conover et Heins, 1987a, 1987b) concluent clairement à un tel effet des facteurs externes. Sur la base de prélèvements effectués dans le milieu naturel, une espèce du même genre, *M. peninsulae*, pourrait aussi présenter une thermosensibilité (Middaugh et Hemmer, 1987). Des études réalisées sur des espèces vivipares comme *Poeciliopsis lucida* suggèrent l'existence d'une influence de l'environnement sur le déterminisme du sexe. Toutefois, les déviations observées pourraient provenir des effets de la température (Sullivan et Schultz, 1986) ou du pH (Rubin, 1985) sur la physiologie de l'organisme maternel, et non traduire un effet direct sur l'embryon. Chez la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*), des chocs thermiques de 25 ou 29°C, ou des expositions plus longues à 23°C, ne produisent aucune modification significative de sexe ratio (Van den Hurk et Lambert, 1982). Chez le tilapia, une thermosensibilité potentielle a été recherchée chez trois espèces. Chez *O.*

aureus, *O. niloticus* et leurs hybrides, les faibles survies ($\leq 26\%$) et les faibles effectifs (23-28 alevins) obtenus en moyenne dans les lots élevés aux températures extrêmes (19,5 et 32°C) ne permettent pas d'exclure une mortalité différentielle (Mair et coll., 1990). Dans la même étude, chez *O. mossambicus*, les sexe ratios de deux lots élevés à 19-20°C diffèrent significativement de ceux de leurs témoins, en faveur du sexe mâle ; néanmoins, les survies (10,6 % et 35,3 %) et les effectifs respectifs (18 et 41 alevins) des lots à faible température, permettent difficilement de conclure.

Compte tenu de bonnes survies enregistrées et du nombre d'alevins utilisés dans la présente étude, l'hypothèse d'une mortalité différentielle ne peut expliquer les déviations observées dans les sexe ratios des descendance de néomâles de *O. niloticus*. La température peut donc affecter le déterminisme du sexe chez *O. niloticus*. Les proportions de mâles au sein d'une même famille, quelle que soit la température d'élevage (26-36°C), sont soumises à de fortes influences paternelles et maternelles. A partir de 34°C, un net effet du milieu sur le sexe ratio révèle une thermosensibilité de la différenciation dans les descendance de néomâles de *O. niloticus*. Chez *M. menidia*, l'effet de la température sur le sexe ratio est également sous forte influence paternelle ; certaines des descendance ne semblent pas affectées par la température d'élevage. Enfin, des pourcentages significatifs de mâles et femelles sont observés aux températures extrêmes (Conover et Heins, 1987b). Le déterminisme du sexe chez *M. menidia* est considéré comme étant intermédiaire entre un déterminisme totalement génétique et un déterminisme dépendant exclusivement de l'environnement (Conover et Heins, 1987b). Chez les reptiles présentant un déterminisme environnemental du sexe, une base génétique faible n'est rencontrée que dans

d'étroites fourchettes (parfois 2°C seulement) autour des températures seuils et seul un sexe est produit à température extrême (Bull et coll., 1982) ; dans ce cas, le déterminisme est alors purement dépendant de l'environnement.

Chez *O. niloticus*, l'influence de l'environnement sur le déterminisme du sexe apparaît durant une période critique thermosensible précise. Le moment d'apparition de cette période se situe entre 9 et 13 jPF. Au-delà de cette fourchette, la différenciation pourrait être déjà irréversiblement engagée, au moins vis-à-vis de facteurs externes, et suivrait alors le génotype. Un traitement thermique d'une durée de 21 jours permet, s'il débute avant 15 jPF, des déviations maximales de 91 %. Des expérimentations supplémentaires sont toutefois nécessaires pour mieux définir la durée de la période critique. Histologiquement, à 27°C, deux événements fondamentaux de la différenciation ovarienne se déroulent entre 20 et 35 jPF : la prolifération ovogoniale s'effectue entre 20 et 28 jPF, puis est suivie par l'apparition des premières figures de prophase de méiose de 28 à 35 jPF, ou encore 756 à 945 degrés x jours (Baroiller, 1988a et b). Durant la même période, se déroule la phase de multiplication très progressive des cellules somatiques et spermatogoniales dans l'ontogenèse testiculaire (Baroiller, 1988a et b). La chronologie de ces événements est dépendante de la température d'élevage, et semble mieux définie par un nombre de degrés x jours que par un âge absolu (la présente étude). Durant un traitement de 21 jours débutant à 10 jPF, les fortes températures sont appliquées avant et au début de ces événements. Chez *M. menidia*, la thermosensibilité se manifeste également durant une période critique bien précise, à l'issue de laquelle se déroule la différenciation gonadique du sexe ; le moment d'apparition et la durée de cette période sont dépendants de la

température (Conover et Kynard, 1981 ; Conover et Heins, 1987b). Il en est de même chez les tortues (Yntema, 1979 ; Pieau et Dorizzi, 1981) et les alligators (Ferguson et Joanen, 1982).

Les caractéristiques chronologiques de cette période, prédéfinies dans la présente étude, correspondent comme chez les reptiles (Gutzke et Chymiy, 1988) à la période hormonosensible chez la même espèce (Baroiller et Toguyeni, même volume). En effet, chez *O. niloticus*, des traitements d'inversion hormonale à l'aide d'un androgène identifié *in vitro*, spécifique du testicule à des étapes précoces de son ontogenèse (Baroiller, 1988a et b), permettent de définir une période de sensibilité hormonale : pour être efficace, le traitement à la 11β -OH Δ 4 doit débuter avant 15 jPF (Baroiller et Toguyeni, même volume) et durer 21 jours. Or, chez des espèces de tortues thermosensibles comme *Emys orbicularis*, la production de certains stéroïdes (oestrogènes) normalement régulée *via* le génotype, deviendrait thermodépendante au-delà de certains seuils critiques de température (Dorizzi et coll., 1991). Un facteur thermosensible pourrait intervenir dans la régulation de la synthèse d'enzymes spécifiques de la production des oestrogènes (Pieau et coll., 1987). Le niveau de ces stéroïdes déterminerait ensuite le sexe phénotypique. Un tel schéma pourrait exister dans la plupart des espèces à détermination de sexe dépendant de la température (Zarborski et coll., 1988).

Des études récentes réalisées chez *O. niloticus* démontrent qu'une telle détermination du sexe par l'environnement se retrouve chez les descendances issues de mâles et femelles classiques (Baroiller et coll., données non publiées).

Chez *O. niloticus*, une thermosensibilité dont les caractéristiques se rapprochent beaucoup de celles de *M. menidia* est mise en évidence dans la présente étude. Le seuil thermique de 34°C, à partir duquel

la thermosensibilité est révélée, peut être rencontré par le tilapia, dans le milieu naturel, comme en élevage (Denzer, 1968 ; Philippart et Ruwet, 1982). Cette caractéristique du déterminisme du sexe pourrait expliquer une partie des résultats inattendus décrits dans la littérature. Le déterminisme du sexe par l'environnement pourrait être beaucoup plus répandu que ce que l'on considère aujourd'hui (Conover, 1984 ; Zaboriski et coll., 1988). Chez le platy (*Xiphophorus maculatus*) où le déterminisme génétique est bien établi, des sexe ratios inattendus ont également été observés, y compris à l'intérieur d'une population. De longs et complexes travaux ont mis en évidence des interactions autosomiques chez cette espèce possédant plusieurs marqueurs liés au sexe (Kallman, 1984). Compte tenu de ces difficultés expérimentales, de telles analyses ne peuvent être raisonnablement menées sur toutes espèces présentant des sexe ratios inexplicables. La présente étude suggère de rechercher d'abord une thermosensibilité potentielle chez l'espèce étudiée, avant d'envisager des travaux à plus long terme.

Remerciements

Nous remercions D. Chourrou pour sa lecture critique du manuscrit et ses suggestions. Ce travail a été réalisé dans le cadre du Groupement de coopération scientifique sur les bases biologiques de l'aquaculture (GCS/BBA), groupe de travail "Aquaculture tropicale".

Littérature citée

- Adkins-Regan, E. 1987. Hormones and sexual differentiation, p. 1-29. In D.O. Norris et R.E. Jones (éds.) Hormones and reproduction in fishes, amphibians and reptiles. Plenum Press, New York et Londres.
- Avtallon, R.R. et I.S. Hammerman. 1978. Sex determination in *Sarotherodon* (tilapia). I.

- Introduction to a theory of autosomal influence. *Bamidgeh* 30:110-115.
- Avtalion, R.R. et J. Don. 1990. Sex determining genes in tilapia: a model of genetic recombination emerging from sex ratio results of three generations of diploid gynogenetic *Oreochromis aureus*. *J. Fish Biol.* 37:167-173.
- Bacchi, G. 1965. Sex determination. Pergamon Press, Oxford, New York. 306 p.
- Baroiller, J.F. 1988a. Etude corrélée de l'apparition des critères morphologiques de la différenciation de la gonade et de ses potentialités stéroïdogènes chez *Oreochromis niloticus*. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. 89 p. Thèse de doctorat.
- Baroiller, J.F., 1988b. Etude des processus morphologiques et endocrinologiques de la différenciation naturelle du sexe chez *Oreochromis niloticus*, appliquée à la production de populations monosexes : intérêts et perspectives, p. 256-266. *In* G.R. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherche sur les systèmes aquacoles en Afrique. Comptes-rendus d'un atelier organisé à Bouaké, Côte d'Ivoire, 14-17 novembre 1988. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.
- Baroiller, J.F. et B. Jalabert. 1989. Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapias. *Aquat. Living Resour.* 2:105-116.
- Baroiller, J.F., X. Rognon, V.C. Yapi et A. Cissé. Genetic characterization and sex determination in tilapia in Côte d'Ivoire. *In* A.E. Eknath, B.A. Acosta et R.S.V. Pullin (éds.) Present progress, future directions and needs in fish genetics research in Asia, Pacific and Africa. ICLARM Conf. Proc. 38. (Sous presse.)
- Bruslé, J. et S. Bruslé. 1983. La gonadogenèse des poissons. *Reprod. Nutr. Dév.* 23(3):453-491.
- Bull, J.J. 1983. Evolution of sex determining mechanisms. Benjamin/Cummings Publ. Co. Inc., Menlo Park, Californie.
- Bull, J.J., R.C. Vogt et M.G. Bulmer. 1982. Heritability of sex ratios in turtles with environmental sex determination. *Evolution* 36:333-341.
- Chan, S.T.H. et W.S.B. Yeung. 1983. Sex control and sex reversal in fish under natural conditions, p. 171-222. *In* W.S. Hoar, D.J. Randall et E.M. Donaldson (éds.) *Fish physiology*. Vol. 9(B). Academic Press, New York.
- Charnov, E.L. et J.J. Bull. 1977. When is sex environmentally determined? *Nature* 266:828-830.
- Chourrout, D. 1988. Revue sur le déterminisme génétique du sexe des poissons téléostéens. *Bull. Soc. Zool. Fr.* 113(2):123-144.
- Conover, D.O. 1984. Adaptive significance of temperature dependent sex determination in a fish. *Am. Nat.* 123:297-313.
- Conover, D.O. et B.E. Kynard. 1981. Environmental sex determination: interaction of temperature and genotype in a fish. *Science* 213:577-579.
- Conover, D.O. et M. Fleisher. 1986. Temperature sensitive period of sex determination in *Menidia menidia*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43:514-520.
- Conover, D.O. et S. Heins. 1987a. Adaptive variation in environmental and genetic sex determination in a fish. *Nature* 326(6112):496-498.
- Conover, D.O. et S. Heins. 1987b. The environmental and genetic components of sex ratio in *Menidia menidia* (Pisces: Atherinidae). *Copeia* 3:732-743.
- Denzer, H.W. 1968. Studies on the physiology of young tilapia. *In* Proceedings of the World Symposium on Warm-water Pond Culture. Vol. 4. FAO Fish. Rep. 44:357-366.
- Dorizzi, M., M.T. Mignot, A. Guichard, G. Desvages et C. Pieau. 1991. Involvement of oestrogens in sexual differentiation of gonads as a function of temperature in turtles. *Differentiation* 47:9-17.
- Dournon, C., C. Houillon et C. Pieau. 1990. Temperature sex reversal in amphibians and reptiles. *Int. J. Dev. Biol.* 34:81-92.
- Ferguson, M.W.J. et T. Joanen. 1982. Temperature of egg incubation determines sex in *Alligator mississippiensis*. *Nature* 296:850-853.
- Guerrero, R.D. 1975. Use of androgens for the production of all-male *Tilapia aurea* (Steindachner). *Trans. Am. Fish. Soc.* 104(2):342-348.
- Guerrero, R.D. 1982. Control of tilapia reproduction, p. 309-316. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.
- Gutzke, W.H.N. et D.B. Chymiy. 1988. Sensitive periods during embryogeny for hormonally induced sex determination in turtles. *Gen. Comp. Endocrinol.* 71:265-267.
- Hammerman, I.S. et R.R. Avtalion. 1979. Sex determination in *Sarotherodon* (tilapia). Part II. The sex ratio as a tool for the determination of genotype - a model of autosomal and gonosomal influence. *Theor. Appl. Genet.* 55:177-187.
- Hanson, T.R., R.D. Smitherman, W.L. Shelton et R.A. Dunham. 1983. Growth comparisons of monosex tilapia produced by separation of sexes, hybridization and sex reversal, p. 570-579. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) *Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Harrington, R.W. Jr. 1967. Environmentally controlled induction of primary male gonochorists from eggs of the self-fertilizing hermaphroditic fish, *Rivulus marmoratus* Poey. *Biol. Bull.* 132:174-199.

- Harrington, R.W. Jr. 1968. Delimitation of the thermolabile phenocritical period of sex determination and differentiation in the ontogeny of the normally hermaphroditic fish, *Rivulus marmoratus* Poey. *Physiol. Zool.* 41:447-460.
- Harrington, R.W. Jr. 1971. How ecological and genetic factors interact to determine when self-fertilizing hermaphrodites of *Rivulus marmoratus* change into functional secondary males, with a reappraisal of the modes of intersexuality among fishes. *Copeia* 3:389-432.
- Hickling, C.F. 1963. The cultivation of tilapia. *Sci. Am.* 208(5):143-152.
- Hickling, C.F. 1968. Fish hybridization. *FAO Fish. Rep.* 44:1-11.
- Hunter, G.A. et E.M. Donaldson. 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture, p. 223-303. *In* W.S. Hoar, D.J. Randall et E.M. Donaldson (éds.) *Fish physiology*. Vol. 9(B). Academic Press, New York.
- Jensen, G.L. et W.L. Shelton. 1979. Effects of estrogens on *Tilapia aurea*: implications for production of monosex genetic male tilapia. *Aquaculture* 16:233-242.
- Kallman, K.D. 1984. A new look at sex determination in poeciliid fishes, p. 95-171. *In* B.J. Turner (éd.) *Evolutionary genetics of fishes*. Plenum Press, New York. 636 p.
- Lovshin, L.L. 1982. Tilapia hybridization, p. 279-308. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.
- Malr, G.C., J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1990. Experimental evidence for environmental sex determination in *Oreochromis* species, p. 555-558. *In* R. Hirano et I. Hanyu (éds.) *The Second Asian Fisheries Forum*. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines. 991 p.
- Malr, G.C., D.J. Penman, A. Scott, D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1987. Hormonal sex reversal and the mechanisms of sex determination in *Oreochromis*, p. 301-312. *In* K. Tiews (éd.) *Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture*. Vol. 2. Heeneman, Berlin.
- Malr, G.C., A. Scott, D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1991a. I. Sex reversal, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus* (L.). *Theor. Appl. Genet.* 82:144-152.
- Malr, G.C., A. Scott, D.J. Penman, D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1991b. II. Sex reversal, hybridization, gynogenesis and triploidy in *O. aureus* Steindachner. *Theor. Appl. Genet.* 82:153-160.
- Majumdar, K.D. et B.J. McAndrew. 1983. Sex ratios from interspecific crosses within the tilapias, p. 261-269. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) *Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Middaugh, D.P. et M.J. Hemmer. 1987. Influence of environmental temperature on sex ratios in the tidewater silverside, *Menidia peninsulae* (Pisces: Atherinidae). *Copeia* 1987(4):958-964.
- Pandian, T.J. et K. Varadaraj. 1987. Techniques to regulate sex ratio and breeding in tilapia. *Curr. Sci.* 56(8):337-343.
- Philippart, J.Cl. et J.Cl. Ruwet. 1982. Ecology and distribution of tilapias, p. 15-59. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.
- Pieau, C. et M. Dorizzi. 1981. Determination of temperature sensitive stages for sexual differentiation of the gonads in embryos of the turtle *Emys orbicularis* L. *J. Morphol.* 170:373-382.
- Pieau, C., M. Dorizzi et G. Desvages. 1987. Une hypothèse sur l'implication des hormones oestrogènes dans la différenciation sexuelle des gonades chez les amphibiens, les reptiles et les oiseaux. *In* "Association des physiologistes", Cinquante-cinquième réunion, Bordeaux. *J. Physiol.* 30A:(Abstract).
- Pruginin, J. 1967. Report to the Government of Uganda on the experimental fish culture project in Uganda, 1965-1966. UNPD/FAO Rep. NOTA 2446.
- Reinboth, R. 1975. *Intersexuality in the animal kingdom*. Springer-Verlag, Berlin. 449 p.
- Rubin, D.A. 1985. Effect of pH on sex ratio in cichlids and a poeciliid (Teleostei). *Copeia* 1985:233-235.
- Scott, A.G., D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1989. The YY supermale in *O. niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. *Aquaculture* 78:237-251.
- Sullivan, J.A. et R.J. Schultz. 1986. Genetic and environmental basis of variable sex ratios in laboratory strains of *Poecillopsis lucida*. *Evolution* 40:152-158.
- Van den Hurk, R. et J.G.D. Lambert. 1982. Temperature and steroid effects on gonadal sex differentiation in rainbow trout, p. 69-72. *In* C.J.J. Richter et H.J. Th. Goos (comps.) *Proceedings of the International Symposium on Reproduction Physiology of Fish*. Pudoc, Wageningen.
- Varadaraj, K. 1989. Feminization of *Oreochromis mossambicus* by administration of diethylsilbestrol. *Aquaculture* 80:337-341.
- Wohlfarth, G.W. et G. Hulata. 1983. Applied genetics of tilapia. 2^e éd. ICLARM Stud. Rev. 6, 26 p.
- Wohlfarth, G.W. et H. Wedekind. 1991. The heredity of sex determination in tilapias. *Aquaculture* 92:143-156.
- Yamamoto, T. 1969. Sex differentiation, p. 117-

175. In W.S. Hoar et D.J. Randall (éds.) Fish physiology. Vol. 3. Academic Press, New York.
- Yntema, C.L. 1979. Temperature levels and periods of sex determination during incubation of eggs of *Chelydra serpentina*. J. Morphol. 159:17-28.
- Zaborski, P., M. Dorizzi et C. Pieau. 1988. Temperature dependent gonadal differentiation in the turtle *Emys orbicularis* concordance between sexual phenotype and serological H-Y antigen expression at threshold temperature. Differentiation 38:17-20.

Cryorésistance chez les femelles tilapias pratiquant l'incubation buccale : estimation de l'héritabilité et corrélation avec les performances de croissance à des températures suboptimales

L.L. BEHRENDIS

J.B. KINGSLEY

M.J. BULLS

*Tennessee Valley Authority
NFE 2-L, Muscle Shoals, AL 35660
Etats-Unis d'Amérique*

BEHRENDIS, L.L., J.B. KINGSLEY et M.J. BULLS. 1996. Cryorésistance chez les femelles tilapias pratiquant l'incubation buccale : estimation de l'héritabilité et corrélation avec les performances de croissance à des températures suboptimales, p. 282-291. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des estimations de l'héritabilité-réalisée calculées d'après le rapport réponse/différentielle de sélection sur une génération de sélection bidirectionnelle du caractère cryorésistant chez les tilapias ont donné les chiffres suivants pour les populations sélectionnées en amont (les plus cryorésistantes) : *Oreochromis aureus*, 0,33 ; *O. niloticus*, -0,05 ; et les hybrides F₁, 0,31. Pour les deux populations sélectionnées en aval (les moins cryorésistantes), ces estimations ont donné : *O. aureus*, 0,04 ; et *O. niloticus*, 0,42. D'après ces premières estimations, les techniques de sélection directe permettraient d'accroître la cryorésistance chez *O. aureus* et ses hybrides.

Suite aux travaux de sélection bidirectionnelle sur deux générations, des études d'accompagnement ont été réalisées pour évaluer la croissance des poissons à des températures suboptimales. Elevés à des températures comprises entre 17,2 et 21,2°C, les fingerlings issus des populations sélectionnées en amont ont enregistré une croissance beaucoup plus rapide ($P < 0,05$) que les fingerlings issus des populations sélectionnées en aval. Quel que soit le critère de sélection, la croissance de *O. aureus* à de basses températures s'est révélée supérieure à celle de *O. niloticus* ($P < 0,05$).

Introduction

L'expansion de l'élevage des tilapias (*Oreochromis* spp.) au sein de l'industrie aquacole pratiquée en eau chaude aux Etats-Unis est entravée par leur sensibilité aux températures hivernales, et dans certains cas, par les difficultés d'acceptation de ces poissons sur les marchés. La croissance et la reproduction de souches commerciales sont négligeables à 20 et 22°C, respectivement (Behrends et Smitherman, 1983), et chez cette espèce, la mort intervient après exposition prolongée

à des températures comprises entre 10 et 15°C (Shafland et Pestrak, 1982 ; Wohlfarth et Hulata, 1983 ; Behrends et coll., 1990a).

Les tilapias rouges sont souvent perçus comme étant plus attrayants que les tilapias de teinte ordinaire et peuvent se vendre à plus haut prix. Cependant, de nombreuses souches commerciales de tilapias rouges ont une croissance lente, souffrent de mortalités élevées (El Gamal et coll., 1988) et sont plus sensibles aux basses températures que d'autres souches commerciales de teinte ordinaire (Behrends et coll., 1990a).

Les méthodes d'hybridation interspécifique et d'introgession associées à des expériences de sélection dirigée offrent des possibilités de développement de souches hybrides de tilapias rouges à croissance rapide et cryorésistantes. Cette démarche suppose la mise en place de deux systèmes de sélection : l'introgession du matériel héréditaire rouge chez des souches commerciales de tilapias de type sauvage et la sélection massale du caractère cryorésistant chez des populations spécifiques, ou encore la ségrégation des générations F_{2+} . Des expériences d'introgession de la couleur rouge des souches normalement improductives chez les souches d'intérêt commercial ont été réalisées chez des poissons interfertiles du genre *Oreochromis* (Behrends et Smitherman, 1984 ; Behrends et coll., 1990b) mais l'amélioration de la cryorésistance par sélection dirigée chez les poissons d'eau chaude n'avait pas encore fait l'objet de recherches (Gjedrem, 1983). Cette démarche suppose d'établir des critères de sélection et de recourir à des techniques de sélection performantes.

La présente étude a eu pour objectif : (1) de rendre compte des estimations de premier ordre de l'héritabilité réalisée du caractère cryorésistant chez plusieurs populations différentes de tilapias et (2) d'évaluer la croissance des souches obtenues par sélection bidirectionnelle à une série de températures suboptimales.

Matériel et méthodes

Populations de poissons

L'expérience a porté sur des populations de *Oreochromis aureus* (souche israélienne), *O. niloticus* (souche égyptienne) et sur des souches hybrides

rouges et de teinte ordinaire F_{2+} (femelles rouges de *O. aureus* x mâles rouges de *O. niloticus*). Les fingerlings utilisés dans les tests de tolérance au froid, d'héritabilité réalisée et de croissance à des températures suboptimales étaient issus de populations couvrant 10 à 40 reproductions par population.

Les souches hybrides rouges et de pigmentation ordinaire de *O. aureus* et *O. niloticus* ont été produites sur plusieurs générations par hybridation introgressive (Behrends et coll., 1990a). Par exemple, cette technique a permis d'obtenir des hybrides F_1 en croisant des femelles de *O. aureus* avec un hybride rouge (*O. mossambicus* essentiellement) puis en rétrocroisant des mâles hybrides rouges avec des femelles de *O. aureus* sur plusieurs générations. Les deux souches hybrides rouges ont ultérieurement été croisées pour combiner la cryorésistance de *O. aureus* et la croissance supérieure de *O. niloticus*.

Estimations de l'héritabilité réalisée

Trois populations témoins (*O. aureus*, *O. niloticus* et une souche hybride rouge F_2) composées de 600 fingerlings par population ont été soumises à des tests de cryorésistance standard de longue durée. Les protocoles et les réponses phénotypiques sont résumés dans une étude d'accompagnement (Behrends et coll., 1990a). Les fingerlings utilisés dans ces essais de sélection du caractère cryorésistant pesaient entre 2 et 90 g. Ceux-ci ont été progressivement soumis à des températures s'abaissant de 16°C (température d'acclimatation) à 5°C, à un rythme moyen de 1°C·jour⁻¹. Les critères de sélection ont été établis en fonction du temps (à l'heure près) et de la température (au centigrade près) enregistrés à la survenue de la syncope (narcose du froid). Les moyennes des heures de degrés cumulées à l'apparition

de la syncope ont été calculées pour chaque population. Ces moyennes représentent la somme des heures degrés inférieures au seuil de température (acclimatation) retenu, ici, 16°C. Par exemple, un poisson soumis à une température de 14°C pendant une heure cumulerait 2 heures degrés si le seuil de température était de 16°C. Et si ce poisson était maintenu pendant une heure supplémentaire à 13°C, la somme serait (16-14)+(16-13) soit 5 heures degrés.

La sélection bidirectionnelle au sein des populations a été réalisée en sélectionnant les populations les plus cryorésistantes, c'est-à-dire les populations chez lesquelles les poissons ont perdu connaissance en dernier (le 10 % supérieur) et les moins cryorésistantes, c'est-à-dire les populations chez lesquelles les poissons ont perdu connaissance en premier (le 10 % inférieur). Cinquante à 60 géniteurs de chacune des populations ainsi sélectionnées en amont et en aval se sont reproduits dans des étangs de terre (réplicat). Des populations témoins ont été recrées à chaque génération par une nouvelle reproduction des lignées parentales d'origine. La progéniture issue de ces reproductions et consistant en plusieurs milliers d'individus par population a été élevée pendant trois mois environ et récoltée à l'automne puis soumise à un hivernage à 16°C. Deux cent fingerlings de chaque population ont été sélectionnés au hasard et marqués au froid (Myers et Iwamoto, 1986) puis stockés collectivement dans des aquariums (réplicat) et enfin soumis à un test standard de tolérance au froid.

Une seconde génération de sélection bidirectionnelle a été réalisée au printemps 1990. Cette sélection a été opérée en retenant 100 individus les plus cryorésistants (50 %) et 100 individus les moins cryorésistants (50 %) parmi les fingerlings de la sélection de

première génération (voir le paragraphe précédent). Les sélections de seconde génération et leurs populations témoins respectives se sont reproduites, des fingerlings ont été produits, mis en hivernage, marqués au froid et finalement soumis à un test standard de tolérance au froid de longue durée.

Les estimations de l'héritabilité réalisée pour les première et deuxième générations de sélection ont été calculées selon le rapport réponse/différentielle de sélection (Falconer, 1981). Les erreurs-types ont été calculées uniquement pour la première génération de sélection en raison des suppositions limitatives de la formule (Prout, 1962).

Corrélation des réponses : croissance à des températures suboptimales

Les fingerlings (*O. aureus* et *O. niloticus*) utilisés dans cette étude étaient issus des géniteurs eux-mêmes issus de sélections de deuxième génération et de témoins correspondants. Ces fingerlings ont été répartis en classes d'un poids moyen de 2 g environ pour éliminer autant que possible les différences de poids en début d'expérience. Ils ont ensuite été transférés en groupes choisis aléatoirement dans des aquariums et ont été soumis à trois périodes de tests de 30 jours ininterrompus aux températures suboptimales moyennes de 17,2, 19,2 et 21,2°C, respectivement. Chacun de ces traitements a été répété trois fois avec 20 fingerlings par replicat.

Un aliment de démarrage pour saumon (50 % protéines brutes) était distribué le matin et l'après-midi dans tous les traitements à raison de 3 % du poids corporel en rations égales. Ces rations étaient ajustées tous les 15 jours en fonction de la biomasse moyenne du groupe à la croissance la plus rapide. La circulation de l'eau était assurée par

un système à circuit ouvert avec un temps de rétention de 5 minutes. Ainsi, à l'exception des températures hydriques, la qualité de l'eau était quasi optimale pour le potentiel de croissance réalisé. Les fingerlings étaient pesés individuellement au 0,1 g près à deux semaines d'intervalle.

Une analyse de variance à deux facteurs et des tests de comparaison de moyennes ont été réalisés pour détecter des différences dans les taux de croissance et dans les poids moyens en fin d'expérience (Barr et coll., 1979). Les effets principaux étaient l'espèce (*O. aureus* contre *O. niloticus*) et les critères de sélection (les populations sélectionnées en amont contre celles sélectionnées en aval contre les témoins). Là où cela s'avérait nécessaire, la covariance a été utilisée pour ajuster les poids moyens en fin d'expérience par les poids en début d'expérience.

Résultats

Estimation de l'héritabilité réalisée

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes de la cryorésistance, les écarts-types, les coefficients de variation et les différentielles de sélection pour trois populations de base et leurs sous-populations respectives issues de la sélection bidirectionnelle. Les tableaux 2 et 3 présentent des données similaires pour la descendance issue de populations sélectionnées et témoins des générations I et II, respectivement.

Les estimations de l'héritabilité réalisée ont été calculées sur une seule génération de sélection bidirectionnelle d'après le rapport réponse/différentielle de sélection. Ce rapport peut varier de -1,0 à 1,0. Théoriquement, $0 \leq h^2 \leq 1$ mais en fonction des erreurs expérimentales,

il n'y a aucune limite absolue pour R/D : $-\infty < R/D < +\infty$.

Les estimations et les erreurs-types respectives calculées sur la base des heures degrés cumulées sont résumées dans le tableau 4. Les estimations pour les populations sélectionnées en amont ont donné : *O. aureus*, 0,33 ; *O. niloticus*, -0,05 ; et les hybrides rouges F_3 , 0,31 ; et pour deux des populations sélectionnées en aval, les résultats étaient : *O. aureus*, 0,04 ; et *O. niloticus*, 0,42.

Les résultats des sélections de seconde génération (Tableau 3) ont révélé que la sélection en amont ne conduisait pas à une meilleure tolérance au froid chez les populations sélectionnées ($P > 0,05$). Toutefois, des réponses significatives se sont avérées dans des lignées de *O. niloticus* et chez les hybrides interspécifiques sélectionnées en aval.

Ces toutes premières estimations de l'héritabilité de la tolérance au froid chez les tilapias indiquent que des réponses statistiquement significatives peuvent être obtenues à des intensités de sélection individuelle relativement élevées. Cependant, l'intensité et la direction des réponses semblent être spécifiques à la souche ou à l'espèce. Par exemple, les résultats indiquent que les travaux de sélection peuvent être utiles pour améliorer la tolérance au froid chez *O. aureus* et ses hybrides mais pas chez *O. niloticus*. A l'inverse, il est possible de sélectionner des souches de *O. niloticus* et des hybrides interspécifiques relativement peu cryorésistants mais il est impossible d'en faire autant pour *O. aureus*.

Corrélation des réponses : croissance à des températures suboptimales

A la température d'élevage de 17,2°C, les taux de croissance absolus

Tableau 1. Cryorésistance chez trois populations de tilapia (*Oreochromis* spp.) et les sous-populations sélectionnées soumises à des températures déclinant de 1°C·jour⁻¹. Les valeurs entre parenthèses représentent des pourcentages.

Population	n	Température ^a inférieure moyenne critique (°C)			Heures degrés cumulées (base 15°C)			Différentielle de sélection
		\bar{x}	ET	CV	\bar{x}	ET	CV	
<i>O. aureus</i>								
Base	594	6,8	0,44	6,5	739	72,2	9,8	-
Sélection amont (10)	60	6,5	0,14	2,1	844	13,8	1,6	+105
Sélection aval (10)	56	7,6	0,52	6,8	593	72,3	12,2	-146
<i>O. niloticus</i>								
Base	584	7,9	0,56	7,0	540	69,0	12,8	-
Sélection amont (10)	60	7,4	0,12	1,6	644	19,6	3,0	+104
Sélection aval (10)	60	8,8	0,40	4,5	415	43,1	10,3	-125
Hybride rouge ^b								
Base	603	7,8	0,71	9,1	552	97,3	17,6	-
Sélection amont (10)	60	7,0	0,46	6,6	698	19,6	2,8	+146
Sélection aval (10)	60	9,0	0,69	7,7	366	68,9	18,8	-186

^aTempérature à laquelle les poissons sont frappés de syncope (narcose du froid).

^bHybride F₂ issu d'un croisement (*O. aureus* rouge x *O. niloticus* rouge).

Tableau 2. Paramètres de la cryorésistance pour la descendance des populations de tilapias (*Oreochromis* spp.) sélectionnées et les populations témoins de *O. aureus*, *O. niloticus* et d'un hybride rouge F₃ (*O. aureus* x *O. niloticus*).

Population	n	Température ^a inférieure moyenne critique (°C)			Heures degrés cumulées (base 15°C)			Réponse à la sélection
		\bar{x}	ET	CV	\bar{x}	ET	CV	
<i>O. aureus</i>								
Témoins	204	6,4	0,49	7,6	853,5	75,22	8,8	-
Sélection amont	189	6,2	0,59	9,3	888,7	85,48	9,6	+35,2
Sélection aval	208	6,4	0,72	11,3	847,6	114,99	13,6	-5,9
<i>O. niloticus</i>								
Témoins	198	7,1	0,64	9,1	715,1	91,39	12,8	-
Sélection amont	209	7,1	0,52	7,2	709,5	74,31	10,5	-5,6
Sélection aval	196	7,3	0,60	8,1	662,2	93,22	14,1	-52,9
Hybride F ₃ ^b								
Témoins	148	7,2	0,56	7,8	699,5	77,99	11,1	-
Sélection amont	172	7,0	0,67	9,6	745,1	82,45	11,1	+45,6
Sélection aval ^c	-	-	-	-	-	-	-	-

^aTempérature à laquelle les poissons sont frappés de syncope (narcose du froid).

^b(*O. aureus* x *O. niloticus*)

^cPerte de populations sélectionnées en aval due au manque d'oxygène dans les étangs d'alevinage.

Tableau 3. Cryorésistance pour la descendance issue de trois populations de tilapia (*Oreochromis* spp.) au bout de deux générations de sélection^a. Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes (P<0,05).

Population	n	Température ^b inférieure moyenne critique (°C)			Heures degrés cumulées (base 16°C)		
		\bar{x}	ET	CV	\bar{x}	ET	CV
<i>O. aureus</i>							
Sélection amont	53	6,6a	0,63	9,5	1.043a	122,7	11,8
Témoins	44	6,4a	0,63	9,8	1.089a	118,2	10,9
Sélection aval	42	6,4a	0,57	8,9	1.073a	113,9	10,6
<i>O. niloticus</i>							
Sélection amont	46	7,2a	0,40	5,5	920a	74,6	8,1
Témoins	44	7,2a	0,45	6,2	906a	79,0	8,7
Sélection aval	50	7,4b	0,61	8,2	853b	98,1	11,5
Hybride rouge (F-4) ^c							
Sélection amont	51	7,2a	0,96	13,4	931a	148,0	15,9
Témoins	50	7,1a	0,57	8,0	927a	102,8	11,1
Sélection aval ^d	49	7,3a	0,51	7,0	870b	85,3	9,8

^aIntensité de sélection de la génération I égale à 60/600 ; génération II = 100/200.

^bLa température a chuté de 1°C.jour⁻¹ de 16°C à 5°C.

^cHybride F₄ issu d'un croisement (*O. aureus* rouge x *O. niloticus* rouge).

^dPopulations sélectionnées en aval issues des 50 % de la génération précédente sélectionnée en amont.

Tableau 4. Réponse à la sélection bidirectionnelle du caractère cryorésistant chez les tilapia (*Oreochromis* spp.). Les paramètres mesurés sont les heures degrés cumulées inférieures aux températures d'acclimatation (15-16°C). Les erreurs-types sont calculées selon Prout (1962).^a

Population	Génération I				Génération II ^d		
	Différentielle de sélection	Réponse	Héritabilité réalisée (R/S)	Erreur- type (moyenne de la population)	Différentielle de sélection	Réponse	Héritabilité réalisée (R/D)
<i>O. aureus</i>							
Sélection amont	+105	+35,2	0,33 ^c	0,004	+46	-46,0	-1,00
Sélection aval	-146	-5,9	0,04	0,007	-59	-16,0	0,27
<i>O. niloticus</i>							
Sélection amont	+104	-5,6	-0,05	0,016	+37	13,0	0,35
Sélection aval	-125	-52,9	0,42 ^c	0,004	-72	-53,0	0,74
Hybrides F _{3,4}							
Sélection amont	+146	+45,6	0,31 ^c	0,002	+54	4,0	0,08
Sélection aval	-186	- ^b	-	-	-54,3	-56,8	1,05

^aFormule des erreurs-types applicable à la sélection de première génération seulement.

^b100 % de mortalité dans la phase de production des fingerlings.

^cRéponse significative à la sélection.

^dPopulations sélectionnées en aval de la génération II issues des 50 % de la sélection en amont précédente.

(g·individu⁻¹·mois⁻¹) des sous-populations sélectionnées de *O. aureus* et *O. niloticus* étaient minimes, variant entre -0,04 et 0,29 g·individu⁻¹·mois⁻¹ (Tableau 5). Bien qu'à cette température, les taux de croissance varient peu parmi les sous-populations sélectionnées, la croissance de *O. aureus*, quel que soit le critère de sélection, était supérieure à celle de *O. niloticus*. De même, la croissance de *O. aureus* était meilleure que la croissance de *O. niloticus* à 19,2 et 21,2°C. Ces résultats vont à l'inverse des performances de croissance à des températures plus élevées (26 à 32°C) sous lesquelles *O. niloticus* a une croissance plus rapide que *O. aureus*.

Les divergences notées dans les taux de croissance parmi les populations sélectionnées au sein des espèces sont apparues légèrement à 19,2°C ($P > 0,05$) mais sensiblement à 21,2°C ($P < 0,05$) (Tableau 5). Les résultats indiquent que la sélection directionnelle du caractère cryorésistant chez deux espèces de tilapia peut avoir significativement influencé les taux de croissance absolus à des températures suboptimales ($P < 0,05$). Toutefois, les résultats étaient inattendus dans plusieurs cas. Alors qu'aucune réponse significative n'a eu

lieu au bout de deux générations de sélection en amont chez *O. niloticus* (Tableau 4), une amélioration des taux de croissance des populations sélectionnées en amont était nettement visible à des températures suboptimales (Tableau 5). A l'inverse, la sélection en aval sur deux générations a conduit à une sous-population de *O. niloticus* significativement moins résistante que leurs témoins respectifs (Tableau 4). En dépit de ces résultats, la sélection en aval n'a pas fait baisser de manière significative les taux de croissance à des températures suboptimales (Tableau 5).

Discussion

Des différences intraspécifiques dans la tolérance au froid parmi des souches géographiquement distinctes ont été remarquées chez *O. niloticus* (Khater, 1985). La souche se trouvant le plus au nord (Egypte 31°N) était significativement plus résistante que les souches de Côte d'Ivoire (10°N) ou du Ghana (6°N). L'hybridation intraspécifique et le rétrocroisement entre les souches d'Egypte et de Côte d'Ivoire n'ont révélé aucune hétérosis significative (Tave

Tableau 5. Taux de croissance des populations sélectionnées* de tilapia élevées à des températures suboptimales. Chaque moyenne est calculée à partir de trois réplicats de 20 poissons chacun. Tests de croissance sur une période de 30 jours pour chaque traitement.

Population	17,2°C			19,2°C			21,2°C		
	Poids initial (g)	Poids final (g)	Différence ^b (g)	Poids initial (g)	Poids final (g)	Différence (g)	Poids initial (g)	Poids final (g)	Différence (g)
<i>O. aureus</i>									
Sélection amont	3,11	3,30	0,19a	3,30	3,65	0,35a	3,65	4,71	1,06a
Témoins	2,62	2,91	0,29a	2,91	3,17	0,26a	3,17	3,94	0,77b
Sélection aval	3,04	3,22	0,18a	3,22	3,40	0,18a	3,40	4,15	0,75b
<i>O. niloticus</i>									
Sélection amont	2,99	2,95	-0,04a	2,95	3,12	0,17a	3,12	4,03	0,91a
Témoins	3,08	3,17	0,09b	3,09	3,21	0,12a	3,23	3,72	0,49b
Sélection aval	2,99	3,09	0,10b	3,09	3,15	0,06a	3,20	3,77	0,57b

*La sélection bidirectionnelle du caractère cryorésistant a été réalisée sur deux générations (voir le texte).

^bLes moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes ($P < 0,05$) ; comparaisons verticales au sein des espèces seulement.

et coll., 1990), ce qui suggère que la tolérance au froid chez ces populations n'est pas contrôlée par une variance génétique dominante. De plus, la variation clonale observée parmi les souches d'une même espèce (Khater, 1985) révèle (1) la présence d'un composant intraspécifique de variance génétique additive et (2) que la sélection naturelle a probablement opéré de manière à accroître l'échelle de tolérance de certaines espèces de *Oreochromis*. Les estimations statistiquement significatives de l'héritabilité de la tolérance au froid chez les tilapias (Tableau 4) fournissent des évidences supplémentaires d'après lesquelles la tolérance au froid serait contrôlée par des gènes additifs. Ainsi, des résultats dans l'une ou l'autre direction, que ce soit par sélection en amont ou en aval, devraient être obtenus aux différentes intensités de sélection préconisées. Les causes potentielles des réponses asymétriques et irrégulières observées entre et parmi les espèces et les hybrides au cours de deux générations de sélection (Tableau 4) sont nombreuses, y compris la dérive aléatoire, les erreurs expérimentales, les différentielles de sélection, la dépression par consanguinité, les effets maternels, l'asymétrie génétique, les gènes aux effets importants, l'asymétrie scalaire et la sélection indirecte (voir Falconer, 1981).

Pour la première génération, des réponses à la sélection ont été obtenues à des niveaux d'intensité de sélection relativement élevés alors que pour la deuxième génération, des réponses ont été obtenues à des niveaux bien plus bas. Malheureusement, les gains positifs réalisés au niveau de la cryorésistance des populations de *O. aureus* et leurs hybrides à la première génération de sélection en amont ont été perdus à la deuxième génération de sélection. En revanche, des gains ont été rapidement obtenus chez des populations de *O.*

niloticus sélectionnées en aval et ce, quelle que soit l'intensité de sélection. Ces résultats sembleraient indiquer que la tolérance au froid se situe près d'une limite de sélection chez ces populations. Le manque de réponse à la sélection en amont dans la deuxième génération peut être dû à un ensemble de facteurs, y compris des erreurs d'échantillonnage, l'apparition d'un plateau de sélection, des erreurs dans le marquage au froid des poissons et/ou une relâche de l'intensité de sélection. Il est à noter que les différentielles de sélection à la première génération ont été obtenues sur la base des 10 % (en amont et en aval) d'une population de base composée de 600 individus. Toutefois, les différentielles de sélection à la deuxième génération de sélection ont été obtenues sur la base des 50 % (en amont et en aval) des 200 individus par population. Ainsi l'intensité de sélection à la deuxième génération était significativement moindre que l'intensité retenue à la première génération.

Il est à noter que les nombreuses causes responsables du manque de réponse et de l'asymétrie de réponse ont un effet plus important lorsqu'il s'agit de petites populations de base. Aux Etats-Unis, certaines populations de tilapia ont été créées dès 1957 à partir d'un stock de cinq géniteurs (R.O. Smitherman, Auburn Université, comm. pers.). Ainsi, un grand nombre des populations de ce pays sont sous l'effet de multiples goulots d'étranglement importants, réduisant d'autant la variance génétique. Malgré une variance phénotypique limitée observée chez plusieurs populations testées (Behrends et coll., 1990a), des réponses à la sélection ont quand même pu être obtenues.

La réponse positive corrélative entre la tolérance au froid et la croissance à des températures suboptimales doit être

confirmée par des travaux supplémentaires. Bien que les souches sélectionnées en amont se développent plus rapidement que les témoins et les populations sélectionnées en aval à des températures suboptimales, les résultats dans certains cas ont été brouillés par des différences au niveau des poids en début d'expérience. Le contrôle des différences dans le poids des souches en début d'expérience soit par blocage statistique soit par calibrage mécanique est important puisque même de petites différences dans les poids initiaux peuvent masquer des différences génétiques dans les taux de croissance.

Les réponses corrélatives à la sélection ont révélé qu'une amélioration de la croissance à des températures suboptimales est possible en sélectionnant le caractère cryorésistant. D'un point de vue pratique, le recours à ces techniques peut contribuer à un allongement marginal de la saison de croissance sous les climats tempérés et permettre un hivernage à de basses températures. D'un point de vue technique, cette réponse indique que la sélection indirecte du caractère cryorésistant est possible par la sélection du caractère de croissance à des températures suboptimales. Les implications techniques et logistiques du recours à ces méthodes sont importantes. La croissance à des températures suboptimales est une mesure indirecte de la tolérance au froid et elle est beaucoup plus facile à mesurer que ne le sont les tests standards de cryorésistance. Les mesures de croissance peuvent aussi être contrôlées sur des périodes plus longues avec plus grande objectivité et précision. Le recours à une combinaison de méthodes de sélection directe et indirecte pourrait vraisemblablement se traduire par l'obtention de gains rapides.

Pour conclure, ces travaux ont dévoilé plusieurs points importants qui devraient être compris par d'autres chercheurs

entreprenant des travaux similaires : (1) que la tolérance au froid est un caractère physiologique malléable apparemment contrôlé par la variance génétique additive ; (2) que l'expression phénotypique est largement influencée par l'historique de l'acclimatation ; et (3) que les variances génotypiques et phénotypiques sont relativement faibles au sein des populations. Les souches de tilapia non résistantes au froid peuvent être souhaitables pour l'élevage dans des Etats ou des régions où il existe des restrictions à l'importation de souches relativement cryorésistantes (Kingsley, 1987).

Remerciements

Cette recherche a été appuyée en partie par une subvention du Fonds agricole de développement Etats-Unis/Israël (BARD US-1062-86). Nous sommes reconnaissants envers Linda Tackett et Mike Montgomery (Institut agricole de TVA) pour leur assistance à la préparation et la rédaction de cet article.

Littérature citée

- Barr, A.J., J.H. Goodnight, J.P. Sall, W.H. Blair, D.M. Chilko, K.A. Council et J.T. Helwig. 1979. SAS user's guide. SAS Institute, Inc., Raleigh, North Carolina. 494 p.
- Behrends, L.L. et R.O. Smitherman. 1983. Use of warm water effluents to induce winter spawning of tilapia in temperate climates. p. 446-454. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv, Israël.
- Behrends, L.L. et R.O. Smitherman. 1984. Development of a cold-tolerant population of red tilapia through introgressive hybridization. *J. World Maricult. Soc.* (15): 172-178.
- Behrends, L.L., J.B. Kingsley et M.J. Bulls. 1990a. Cold tolerance in maternal mouthbrooding tilapias: phenotypic variation among species and hybrids. *Aquaculture* 85:271-280.
- Behrends, L.L., J.B. Kingsley et A.H. Price III.

- 1990b. Two-stage hybridization and introgression for improving production traits in red tilapias, p. 77-81. *In* Genetics in aquaculture: Proceedings of the Sixteenth US-Japan Meeting on Aquaculture. NOAA Tech. Rep. NMFS 92.
- El Gamal, A.A., R.O. Smitherman et L.L. Behrends. 1988. Viability of red and normal-colored *Oreochromis aureus* and *O. niloticus* hybrids, p. 153-157. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. Longman Inc., New York. 340 p.
- Gjedrem, T. 1983. Genetic variation in quantitative traits and selective breeding in fish and shellfish, p. 51-73. *In* N.P. Wilkins et E.M. Gosling (éds.) Genetics in aquaculture. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Oxford, New York.
- Khater, A.E. 1985. Identification and comparison of three *Tilapia nilotica* strains for selected aquacultural traits. Auburn University, Alabama. 68 p. Thèse de doctorat.
- Kingsley, J.B. 1987. Legal constraints to tilapia culture in the United States. *J. World Aquacult. Soc.* 18(3):201-203.
- Myers, J.M. et R.N. Iwamoto. 1986. Evaluation of thermal and chemical marking techniques for tilapia. *Prog. Fish-Cult.* 48:288-289.
- Prout, R. 1962. The error variance of the heritability estimate obtained from selection response. *Biometrics* 18:404-407.
- Shafland, P.L. et J.M. Pestrak. 1982. Lower lethal temperatures for fourteen non-native fishes in Florida. *Environ. Biol. Fish.* 2:149-156.
- Tave, D., V. Jayaprakas et R.O. Smitherman. 1990. Effects of intraspecific hybridization in *Tilapia nilotica* on survival under ambient winter temperature in Alabama. *J. World Aquacult. Soc.* 21(3):201-204.
- Wohlfarth, G.W. et G. Hulata. 1983. Applied genetics of tilapia. *ICLARM Stud. Rev.* 6, 26 p.

Analyse de trois souches de *Oreochromis niloticus* : utilisation d'endonucléases de restriction sur l'ADNmt et analyse enzymatique

J.B. CAPILI*

D.O.F. SKIBINSKI

*School of Biological Sciences
University College of Swansea
Singleton Park, Swansea SA2 8PP
Wales, Royaume-Uni*

CAPILI, J.B. et D.O.F. SKIBINSKI. 1996. Analyse de trois souches de *Oreochromis niloticus* : utilisation d'endonucléases de restriction sur l'ADNmt et analyse enzymatique, p. 292-299. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Une analyse de l'ADN mitochondrial (ADNmt) au moyen d'endonucléases de restriction et une analyse enzymatique ont été réalisées dans le but de caractériser des échantillons de trois populations de *Oreochromis niloticus* : *O.n. niloticus* (lac Manzala, Égypte), *O.n. barlingoensis* (lac Baringo, Kenya) et une souche sélectionnée de *O. niloticus* issue de l'hybridation de diverses souches de *O. niloticus* originaires des lacs Turkana, Victoria, Baringo et Manzala. Des échantillons de *O. aureus* et *O. mossambicus* ont été inclus à des fins de comparaison. Quatorze endonucléases de restriction de base six ont été utilisées dans l'analyse de l'ADNmt où les séquences fragmentées ont été examinées au moyen d'une coloration au bromure d'éthidium sur gélose d'agar à 1 %. Des 10 endonucléases de restriction qui ont fragmenté l'ADNmt, seule *DraI* a pu différencier les trois populations de *O. niloticus*. La spécificité des endonucléases de restriction sur les espèces a été révélée par *BglI*, *EcoRV* et *PvuII*.

Une analyse enzymatique a été réalisée sur 10 locus enzymatiques, polymorphes chez certaines populations de *O. niloticus*. Les résultats indiquent qu'une introgression de *O. aureus* s'est produite chez la souche sélectionnée de *O. niloticus* et chez *O.n. niloticus*. Les limitations de ces deux techniques moléculaires sont discutées.

Introduction

Dans les régions tropicales et subtropicales, les tilapias présentent un énorme intérêt comme source peu coûteuse de protéines animales. La distribution des diverses espèces de tilapias s'étend bien au-delà de leur distribution naturelle, particulièrement dans le cas de *Oreochromis niloticus* (Welcomme, 1981). Aux Philippines, il existe quatre souches de *O. niloticus*

actuellement utilisées en aquaculture. Les conséquences et les implications que les introductions de tilapias entraînent en Asie ont été amplement discutées par Pullin et Capili (1988).

Macaranas et coll. (1986, et données non publiées) ont exploré, par électrophorèse, les possibilités de marquage génétique et biologique de ces souches et autres stocks de *O. niloticus* provenant d'écloseries. Les travaux de ces auteurs ont permis de mettre en évidence une introgression de *O. mossambicus* chez différents stocks de *O. niloticus*. Les marqueurs spécifiques aux souches n'ont cependant

*Adresse actuelle : Freshwater Aquaculture Center, Central Luzon State University, Nueva Ecija, Philippines 3120.

pas encore été identifiés. Parallèlement à ces travaux, Pante et coll. (1988) ont tenté une analyse discriminante canonique des caractères méristiques et morphométriques dans le but de trouver des indices pouvant servir aux aquaculteurs et biologistes de terrain. Cette technique peut seulement différencier des espèces telles que *O. niloticus* et *O. mossambicus* mais ne peut différencier des souches ou des hybrides étroitement apparentés.

Bien que les formes alléliques puissent parfois servir à différencier des stocks, dans bien des cas l'électrophorèse ne parvient pas à identifier des stocks génétiquement distincts. Ceci pourrait être en partie dû au manque de sensibilité de la technique qui révèle des différences au niveau de l'ADN (Ferris et Berg, 1987).

L'analyse de l'ADN mitochondrial (l'ADNmt) au moyen d'endonucléases de restriction est une méthode qui s'avère intéressante pour quantifier les différences génétiques au sein des populations de poissons. Son application à des tilapias d'Afrique de l'Est a été rapportée par Seyoum et Kornfield (1992) qui sont parvenus à identifier des sous-espèces de *O. niloticus*. Ces chercheurs, par leurs résultats, ont inspiré les auteurs de la présente communication à réaliser cette étude dont l'objectif était d'identifier des locus diagnostiques spécifiques et des marqueurs de l'ADNmt chez trois populations de *O. niloticus* où l'on soupçonne une forte hybridation consanguine. Ces populations sont cependant très utilisées dans les travaux de recherche sur la génétique et l'aquaculture du tilapia. L'identification de ces marqueurs permettrait de contrôler la contamination et l'hybridation au sein de ces souches et autres souches et espèces de tilapia. Le but de cette étude était aussi d'évaluer, dans un laboratoire aux Philippines, l'emploi de techniques simples et rapides

d'extraction au phénol de l'ADNmt et de visualisation des fragments au moyen d'une coloration au bromure d'éthidium sur gel d'agarose.

Matériel et méthodes

Les trois populations de *O. niloticus* qui ont servi à cette étude sont : *O.n. niloticus*, originaire du lac Manzala en Égypte ; *O.n. baringoensis*, originaire du lac Baringo au Kenya ; et une souche sélectionnée de *O. niloticus* issue de l'hybridation de différentes souches de *O. niloticus* des lacs Turkana, Victoria, Baringo et Manzala. Des fingerlings issus de deux familles de *O.n. baringoensis*, de trois familles de *O.n. niloticus* et également de trois familles de la souche sélectionnée de *O. niloticus* ont été élevés pendant quatre mois dans des bacs avec alimentation d'eau en circuit fermé. Les stocks de *O. aureus* et de *O. mossambicus* provenaient, à l'origine, du Kenya et du Zimbabwe, respectivement.

L'analyse enzymatique a été réalisée sur des prélèvements de muscle et de foie. Les locus enzymatiques *Adh*, *Ck-3*, *Gpi-1*, *Ga-3-pdh*, *Sdh*, *Sod*, *Mdh-1*, *Mp-3* et *Mp-7*, révélés polymorphes (Taniguchi et coll., 1985 ; Macaranas et coll., 1986) chez *O. niloticus*, ont été analysés par électrophorèse. *Ada*, révélé polymorphe (McAndrew et Majumdar, 1983) chez des espèces de *Sarotherodon* et *Oreochromis*, a également été inclus dans l'analyse. Les méthodes d'analyse enzymatique utilisées dans cette étude reposent sur les travaux de Taniguchi et coll. (1985) et Macaranas et coll. (1986).

L'extraction de l'ADNmt a été réalisée sur du tissu ovarien mature (ou du foie) prélevé sur quatre à six individus de chaque famille. Les méthodes de purification de l'ADNmt utilisées dans cette

étude reposent étroitement sur celles décrites par Fisher et Skibinski (1990). La préparation des mitochondries a été réalisée par centrifugation différentielle du tissu homogénéisé à l'aide d'un homogénéisateur mécanique Polytrons. La purification de l'ADNmt a été réalisée par une procédure d'extraction au phénol et au chloroforme, comprenant une étape au bromure d'hexadécyl-triméthyl-ammonium.

La digestion de l'ADNmt a été réalisée suivant les recommandations du fournisseur (Bethesda Research Laboratories, Harthursburg, Maryland).

Les endonucléases de restriction utilisées dans cette étude sont : *Apal*, *BamHI*, *BclI*, *BglI*, *BglII*, *BstEII*, *DraI*, *EcoRI*, *EcoRV*, *HindIII*, *NdeI*, *PstI*, *PvuII* et *XbaI*.

Les fragments de restriction ont été séparés par électrophorèse horizontale sur gel d'agarose à 1 % et colorés au bromure d'éthidium. Un tampon de Tris acétate (0,4 M Tris Base ; 0,2 M Na acétate ; 0,02 M EDTA ; 0,18 M NaCl ; et pH 8,05) a été utilisé pour les tampons d'électrode et tampons de gel. La séquence fragmentée de l'ADN Lambda mise en évidence par *HindIII* a été utilisée comme marqueur de taille sur tous les gels. L'électrophorèse a duré quatre à cinq heures sous un courant de 75 mA. Les gels étaient éclairés par des UV de faible longueur d'onde (260 nm) et ont été photographiés avec un appareil photographique Polaroid MP4.

Résultats

Analyse enzymatique

Les systèmes enzymatiques et autres protéines étudiés sont présentés dans le tableau 1. Les allèles sont désignés par des lettres majuscules et l'allèle dont la migration est la plus rapide est désigné

par la lettre A. Les expressions alléliques pour les locus *Adh*, *Mdh-1* et *Ada* révélés polymorphes chez les trois populations de *O. niloticus* sont présentées sur la figure 1. Le diagramme de bandes pour la souche référence de *O. niloticus* a été obtenu de Macaranas et coll. (1986). Les prélèvements de tissu de *O. aureus* et *O. mossambicus* ont été placés côte à côte avec les prélèvements de *O. niloticus* pour observer clairement les différences d'expression allélique au sein des espèces de *Oreochromis*. Bien que le nombre d'échantillons de *O. aureus* et *O. mossambicus* ait été très petit, les fréquences de gènes obtenues dans cette étude et dans les travaux de Macaranas et coll. (données non publiées) étaient similaires. Les fréquences de gènes pour les sept locus protéiques observées chez les trois populations de *O. niloticus*, *O. aureus* et *O. mossambicus* et les résultats de Macaranas et coll. (1986) sont présentés dans le tableau 2.

Analyse de l'ADNmt au moyen d'endonucléases de restriction

Des 14 endonucléases de restriction utilisées dans cette étude, quatre ne sont pas parvenues à fragmenter le génome de l'ADNmt (*Apal*, *BstEII*, *BamHI* et *BglII*). D'après les travaux de Seyoum et Kornfield (1992), *Apal* a mis en évidence des fragments qui différenciaient les sous-espèces de *O. niloticus*. Il est possible que dans le cas de la présente étude, des impuretés laissées dans les préparations d'ADNmt aient inhibé cette enzyme.

Les fragments de l'ADNmt révélés par *DraI*, *BglI*, *EcoRV* et *PvuII* sont présentés sur la figure 2. Une variation au sein des trois familles de la souche sélectionnée de *O. niloticus* a été observée dans les fragments mis en évidence par *DraI*. Les familles 1 et 2

Tableau 1. Liste des systèmes enzymatiques et autres protéines examinés chez des souches de *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* et *O. mossambicus*.

Enzymes et protéines	n° CE	Structure	Locus	Allèle	Tissu
Alcool déshydrogénase (ADH)	1.1.1.1	dimère	<i>Adh</i>	A, B	foie
Créatine kinase (CK)	2.7.3.2	monomère	<i>Ck-3</i>	A, B	muscle
Glucose phosphase isomérase (GPI)	5.3.1.9	dimère	<i>Gpi-1</i>	A, B	muscle
Glycéraldéhyde-3 phosphate déshydrogénase (GA-3PDH)	1.2.1.12	dimère	<i>Ga-3-pdh</i>	A, B	muscle
Sorbitol déshydrogénase (SDH)	1.1.1.14	dimère	<i>Sdh</i>	A, B	foie
Superoxide dismutase (SOD)	1.15.1.1	dimère	<i>Sod</i>	A, B	foie
Malate déshydrogénase (MDH)	1.1.1.37	dimère	<i>Mdh-1</i>	A, B	muscle
Adénosine désaminase (ADA)	3.5.4.4	monomère	<i>Ada</i>	A-F	muscle
Protéine musculaire (MP)		monomère	<i>Mp-3</i> <i>Mp-7</i>	A, B A-C	muscle muscle

de la souche sélectionnée possédaient les mêmes trois fragments de restriction que les trois familles de *O.n. niloticus* tandis que la famille 3 possédait la même séquence fragmentée que les deux familles de *O.n. baringoensis*.

Les fragments de l'ADNmt révélés par *Bgl*I ne présentent aucune variation au sein des familles et au sein des trois populations de *O. niloticus*. Quatre fragments de restriction ont été observés chez cette espèce tandis que chez les autres espèces de référence, deux fragments de restriction ont été observés chez *O. aureus* et trois chez *O. mossambicus*. La somme totale, approximative, des tailles des fragments de restriction observés chez les populations de *O. niloticus*, *O. aureus* et *O. mossambicus* étaient, respectivement, 13,8 kb, 9,4 kb et 13,0 kb. La taille totale des fragments observés chez *O. aureus* était très petite par rapport aux tailles des fragments observés chez *O. niloticus* et *O. mossambicus*. Kornfield et Bogdanowicz (1987) ont fait la même observation quand ils ont utilisé la coloration au bromure d'éthidium dans leurs travaux de différenciation de l'ADNmt chez les harengs (*Clupea harengus*). Ceci pourrait être dû à la présence de petits fragments qui ne peuvent être visualisés après coloration au bromure d'éthidium sur

gel d'agarose. Une autre explication possible serait que certaines bandes révéleraient des doublets, c'est-à-dire deux fragments de tailles identiques migrant simultanément.

Les fragments de restriction révélés par les digestats *EcoRV* et *PvuII* ne mettent en évidence aucune variation au sein des familles et populations de *O. niloticus*. Cependant, une variation a été observée au sein de différentes espèces de *Oreochromis*.

D'autres endonucléases de restriction (*Bcl*I, *EcoRV*, *Hind*III, *Nde*I, *Pst*I et *Xba*I) ont révélé des séquences qui ne varient pas entre les espèces.

Discussion

Dans cette étude, l'analyse électrophorétique des protéines n'a pas permis de différencier les populations de *O. niloticus* avec précision. Cependant, des différences au sein des trois espèces de *Oreochromis* ont été mises en évidence au niveau des fréquences alléliques obtenues pour six locus enzymatiques (*Adh*, *Ck-3*, *Ga-3-pdh*, *Gpi-1*, *Sod* et *Mp-3*). La plupart des motifs enzymatiques étaient identiques chez *O. niloticus* et *O. aureus* mais différents entre ces deux espèces et *O. mossambicus*, à l'exception de *Adh*, pour lequel *O. niloticus*

Tableau 2. Fréquences alléliques pour sept locus protéiques chez *Oreochromis* spp.

Locus	Allèle	<i>O. niloticus</i>				<i>O. aureus</i>	<i>O. mossambicus</i>
		Référence de Macaranas et coll. (1986)	Souche "sélectionnée" (27)	<i>O.n. baringoensis</i> (12)	<i>O.n. niloticus</i> (24)	(3)	(1)
<i>Adh</i>	A	0	0,042	0	0,426	1,000	0
	B	1,000	0,958	1,000	0,574	0	1,000
<i>Ck-3</i>	A	0	1,000	1,000	1,000	1,000	0
	B	1,000	0	0	0	0	1,00
<i>Ga-3-pdh</i>	A	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0
	B	0	0	0	0	1,000	0
<i>Gpl-1</i>	A	0	0	0	0	1,000	0
	B	1,000	1,000	1,000	1,000	0	1,000
<i>Sod</i>	A	1,000	1,000	1,000	1,000	0	1,000
	B	0	0	0	0	1,000	0
<i>Mp-3</i>	A	1,000	1,000	1,000	1,000	0	1,000
	B	0	0	0	0	1,000	0
<i>Ada</i>	A	-	0,020	0	-	-	-
	B	-	0,140	0,265	-	-	-
	C	-	0,240	0,647	-	-	-
	D	-	0,300	0	-	-	-
	E	-	0,300	0,044	-	-	-
	F	-	0	0,044	-	-	-

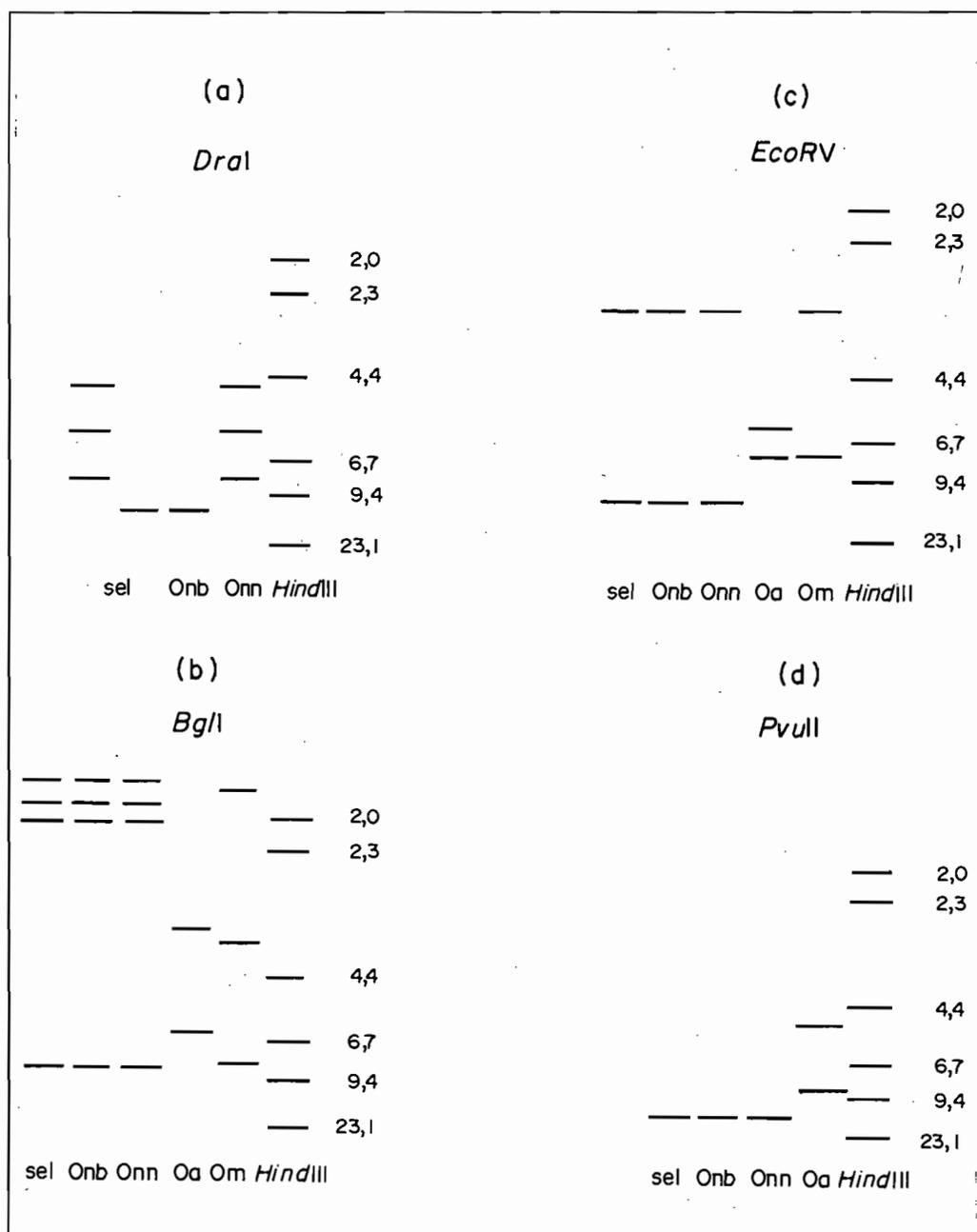


Fig. 1. Motifs électrophorétiques obtenus après digestion de l'ADN mitochondrial par (a) *DraI* (en colonnes 1 et 2, les deux motifs obtenus chez trois familles de la souche sélectionnée [sel] ; colonne 3, *O.n. baringoensis* [Onb] ; colonne 4, *O.n. niloticus* [Onn] ; et la colonne 5 est occupée par le marqueur de taille — ADN de phage Lambda digéré par *HindIII*) ; (b) *BglI* et (c) *EcoRV* (colonnes 1 à 3, les motifs trouvés chez toutes les familles de la souche sélectionnée [sel], *O.n. baringoensis* [Onb], et *O.n. niloticus* [Onn] ; colonnes 4 et 5, ceux trouvés chez *O. aureus* [Oa] et *O. mossambicus* [Om], respectivement ; et le marqueur de taille en colonne 6) ; et (d) *PvuII* (colonnes 1 à 3, les motifs obtenus chez toutes les familles de la souche sélectionnée [sel], *O.n. baringoensis* [Onb], et *O.n. niloticus* [Onn] ; colonne 4, la séquence fragmentée chez *O. aureus* [Oa] ; et colonne 5 avec le marqueur de taille).

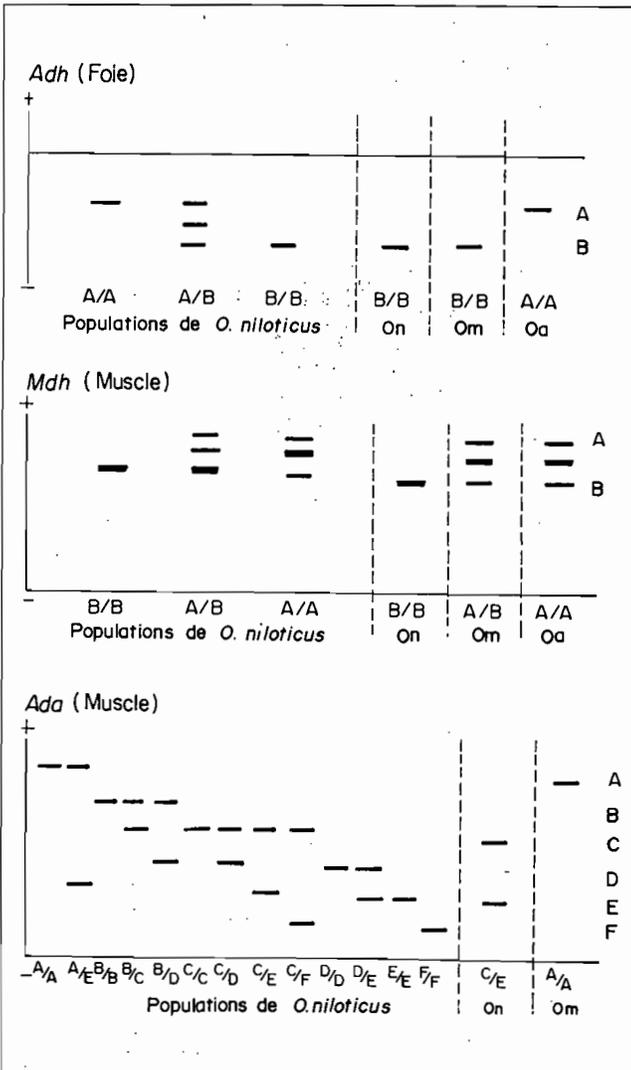


Fig. 2. Expression allélique pour les trois locus polymorphes chez les trois populations de *O. niloticus* (On) ; *O. aureus* (Oa) et *O. mossambicus* (Om) ; la souche référence de *O. niloticus* (On) obtenue de Macaranas et coll. (1986) figure sur le diagramme ; Noter que pour le locus *Ada*, l'expression allélique pour la souche référence de *O. niloticus* de Macaranas et coll. (1986) n'est pas disponible.

et *O. mossambicus* partagent le même motif (allèle A) et *O. aureus* présente l'allèle B (Tableau 2). Ainsi, *O.n. niloticus* et la souche sélectionnée de *O. niloticus* examinés dans la présente étude sont polymorphes au niveau du locus *Adh*. Ceci suggère qu'une introgression de *O. aureus* a pu se produire chez ces deux populations de *O. niloticus*.

Les séquences de fragments de restriction de l'ADNmt mises en évidence par *Bgl*I et *EcoRV* étaient différentes au sein des espèces de *Oreochromis*. Les résultats n'ont révélé aucune introgression de l'ADNmt, contrairement aux résultats obtenus pour *Adh*. Ceci semble indiquer que l'analyse de l'ADNmt peut présenter certaines limitations au niveau du contrôle et de l'identification des stocks. Cette technique ne peut, de par sa propre nature, nous renseigner sur la contamination génétique. Les résultats pour *Dral* apportent l'évidence d'une variation de l'ADNmt au sein de *O. niloticus*. Les familles de la souche sélectionnée possèdent les mêmes séquences de restriction que les deux autres populations, *O.n. baringoensis* et *O.n. niloticus*. Vu que les données disponibles ne concernent qu'un nombre limité de familles, il est difficile de tirer des conclusions sur l'ascendance ou les relations phylogénétiques existant entre ces populations. Il est cependant intéressant de noter que la souche sélectionnée, qui pourrait avoir une ascendance hétérogène, possède deux différents génotypes *Dral*.

Cette étude montre que les génotypes de l'ADNmt peuvent être identifiés et servir au marquage génétique de différentes populations au sein d'une espèce, voire différentes souches au sein d'une famille, comme cela s'est avéré pour la souche sélectionnée dans la présente étude. Ainsi, les techniques d'analyse de l'ADNmt pourraient s'avérer utiles en

aquaculture. Du fait du mode de transmission de l'ADNmt, il est vraisemblable que des familles seront fixées par des génotypes mitochondriaux spécifiques, alors qu'elles présenteront toujours un certain polymorphisme au niveau enzymatique (génomome nucléaire). Ainsi, il se peut qu'il soit plus facile de développer des marqueurs de l'ADNmt que des marqueurs enzymatiques au sein des souches.

Pour résumer ce qui précède, les résultats obtenus dans cette étude indiquent que l'extraction au phénol de l'ADNmt et la visualisation de fragments de restriction au moyen d'une coloration au bromure d'éthidium sur gel d'agarose sont réalisables chez ces espèces de tilapia. Bien que seules quelques endonucléases de restriction aient fragmenté l'ADNmt, ceci nous a donné des résultats intéressants, et des marqueurs diagnostiques de l'ADNmt ont été identifiés au sein des espèces de *Oreochromis* et des populations de *O. niloticus*. Des recherches approfondies sur l'emploi de techniques similaires et sur davantage d'endonucléases de restriction devraient être réalisées.

Remerciements^b

Nous remercions C. Fisher, M. O'Connell et C. Hurst pour les précieux conseils techniques qu'ils ont bien voulu apporter dans la réalisation de cette étude ; E. Roderick, S. McConnell, C. Gilling, C. Pongsri et T. Abella pour leur assistance dans la collection d'échantillons de poissons ; et l'Administration du développement outremer pour la subvention de recherche accordée au Professeur J. Beardmore et aux docteurs D.O.F. Skibinski et G.C. Mair. Le

British Council doit également être remercié pour la bourse d'étude offerte à J.B. Capili.

Littérature citée

- Ferris, S.D. et W.J. Berg. 1987. The utility of mitochondrial DNA in genetics and fisheries management, p. 277-299. In N. Ryman et F. Utter (éds.) Population genetics and fisheries management. Washington Press, Seattle, WA.
- Fisher, C. et D.O.F. Skibinski. 1990. Sex-biased mitochondrial DNA heteroplasmy in the marine mussel *Mytilus*. Proc. R. Soc. Lond. (B Biol. Sci.) 242:149-156.
- Kornfield, I. et S.M. Bogdanowicz. 1987. Differentiation of mitochondrial DNA in Atlantic herring *Clupea harengus*. Fish. Bull. Calif. Dep. Fish. Game 85(3):121-128.
- Macaranas, J.M., N. Taniguchi, M.J.R. Pante, J.B. Capili et R.S.V. Pullin. 1986. Electrophoretic evidence for extensive hybrid gene introgression into commercial *Oreochromis niloticus* (L.) stock in the Philippines. Aquacult. Fish. Manage. 17:249-258.
- McAndrew, B.J. et K.C. Majumdar. 1983. Tilapia stock identification using electrophoretic markers. Aquaculture 30:249-261.
- Pante, M.J.R., L.J. Lester et R.S.V. Pullin. 1988. A preliminary study on the use of canonical discriminant analysis of morphometric and meristic characters to identify cultured tilapias, p. 251-257. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pullin, R.S.V. et J.B. Capili. 1988. Genetic improvement of tilapias: problems and prospects, p. 259-266. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Seyoum, S. et I. Kornfield. 1992. Identification of the subspecies of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae) using restriction endonuclease analysis of mitochondrial DNA. Aquaculture 102(1/2):29-42.
- Taniguchi, N., J.M. Macaranas et R.S.V. Pullin. 1985. Introgressive hybridization in cultured tilapia stocks in the Philippines. Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr. 5:1219-1224.
- Welcomme, R.L. 1981. Register of international transfers of inland fish species. FAO Fish. Tech. Pap. 213, 120 p.

^bNdt : Je tiens à remercier Dr. Xavier Rognon pour son aide précieuse à la traduction de cet article.

Triploïdie induite par choc thermique chez *Oreochromis aureus*

S.L. CHANG

*Tungkang Marine Laboratory
Taiwan Fisheries Research Institute
Tungkang, Pingtung, Taiwan*

I.C. LIAO

*Taiwan Fisheries Research Institute
199 Hou-lh Road, Keelung, Taiwan*

CHANG, S.L. et I.C. LIAO. 1996. Triploïdie induite par choc thermique chez *Oreochromis aureus*, p. 300-307. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La présente communication tente de déterminer les conditions optimales de l'induction de la triploïdie par choc thermique chez le tilapia, *Oreochromis aureus*. La triploïdie chez les poissons a été révélée au moyen de techniques caryologiques capables de détecter les chromosomes en métaphase dans les cellules épithéliales de la queue des larves. Les résultats montrent que le choc thermique à 41°C donne 100 % de triploïdes quand le traitement est appliqué pendant 4 minutes à l'âge zygotique de 3 minutes. Les taux de triploïdie les plus importants ont été obtenus aux températures les plus élevées pendant des temps plus réduits lors de traitements thermiques compris entre 40 et 43°C appliqués pendant des laps de temps variant entre 2 et 8 minutes à l'âge zygotique de 3 minutes. Le traitement appliqué à l'âge zygotique de 7 minutes ou à une température de 39°C pendant 8 minutes n'a produit aucun triploïde. Afin d'obtenir 100 % de triploïdes chez *O. aureus*, les traitements doivent être réalisés à l'âge zygotique de 3 minutes à une température de 40 ou 41°C, et pendant 8 ou 4 minutes respectivement.

Introduction

La triploïdie se traduit, chez les poissons, par une stérilité fonctionnelle (Gervai et coll., 1980 ; Wolters et coll., 1982 ; Don et Avtalion, 1986) qui peut contribuer à la rentabilité des entreprises aquacoles, particulièrement les élevages d'espèces chez qui la reproduction est précoce. La prolifération de ces poissons dans les étangs piscicoles peut conduire au surpeuplement et provoquer de effets indésirables sur la croissance et la survie de ceux-ci. Une hétérozygotie élevée chez les poissons triploïdes peut améliorer la croissance (Stanley et coll., 1984 ; Thorgaard, 1986 ; Scheerer et Thorgaard, 1987).

Chez les tilapias, la triploïdie a été observée par Valenti (1975), Chourrout et Itskovich (1983), Don et Avtalion

(1986, 1988a), Penman et coll. (1987a, 1987b), Pandian et Varadaraj (1988) et Mair et coll. (1991a, 1991b). Bien que des inductions de triploïdie à 100 % aient été rapportées, les résultats ne sont pas consistants et le problème concernant l'âge zygotique le plus propice à l'induction n'est pas encore résolu. La présente étude examine les relations qui existent entre l'intensité du choc thermique, l'âge zygotique et la durée du traitement pour induire la triploïdie chez *Oreochromis aureus*.

Matériel et méthodes

L'étude a été réalisée au Laboratoire de recherches marines de l'Institut de recherches halieutiques de Tungkang à

Taiwan. Quatre aquariums en fibre de verre contenant 0,35 tonnes d'eau (1,2x 0,6x0,6 m) ont été utilisés pour la reproduction. Chaque aquarium contenait trois femelles d'un poids corporel moyen de 395±113 g et un mâle d'un poids moyen corporel de 500-700 g. Ainsi que l'a préconisé Lee (1979), les pré-maxillaires des mâles ont été retirées pour éviter que les femelles ne soient blessées au cours de la parade nuptiale. Une pompe munie d'un filtre permettait de conserver l'eau propre. Les expériences pouvaient être suivies au travers des parois en verre des aquariums. Un aliment pour anguille contenant 44 % de protéines brutes était distribué deux à trois fois par jour. L'expérience a été menée dans des conditions de photopériode naturelle (12:12).

La fécondation artificielle a été réalisée selon les méthodes de Rothbard et Pruginin (1975). Les oeufs d'une femelle ont été mélangés à 0,6-1,0 ml de sperme et le mélange ainsi obtenu a été agité manuellement plusieurs fois. Puis, environ 50 ml d'eau douce souterraine à 30°C y ont été ajoutés pour activer le sperme et ainsi démarrer la fécondation. Immédiatement après cette opération, les oeufs ont été versés dans 10 récipients en plastique et le contenu de chacun a été transvasé dans un tube en plastique (6 cm de longueur et 4 cm de diamètre) obturé par un filet de 0,8 mm. Les tubes ont ensuite été placés dans un incubateur maintenu à une température constante de 30°C jusqu'au moment du traitement par choc thermique.

Selon le schéma expérimental représenté sur le tableau 1, les âges zygotiques propices à l'induction de la triploïdie ont été déterminés tout d'abord pour l'essai n° 1. Puis, des durées de 2, 4, 6, et 8 minutes à diverses températures ont été appliquées pour les essais n° 2 à n° 6. Le tube en plastique

Tableau 1. Résumé des conditions expérimentales et des traitements par choc thermique appliqués pour induire la triploïdie chez des larves de *Oreochromis aureus*.

Choc thermique			
Température Essai	(°C)	Age zygotique (minutes) ^a	Durée (minutes)
1	41	1,3,5,7	4
2	39	3	2,4,6,8
3	40	3	2,4,6,8
4	41	3	2,4,6,8
5	42	3	2,4,6,8
6	43	3	2,4,6,8

^aAprès fécondation artificielle.

contenant les oeufs a été placé dans un autre incubateur pour y subir le traitement, après quoi il a été replacé dans l'incubateur d'origine à une température de 30°C. Chaque traitement a été répété deux fois.

Après le comptage des oeufs, ceux-ci ont été incubés dans une bouteille en plastique remplie d'eau souterraine en circuit fermé. Le taux de survie de larves vésiculées (cinquième jour) a été calculé. Aucun traitement de désinfection n'a été appliqué.

La méthode d'identification des chromosomes en métaphase était quelque peu différente de celles appliquées par Kligerman et Bloom (1977), Chourrou et Itskovich (1983), et Baksi et Means (1988). Des larves de trois à huit jours ont été placées dans un bécher de 50 ou 100 ml contenant 10 ml de colchicine à 0,03-0,05 % pendant 2-4 heures. La région caudale des larves a été sectionnée et immergée dans de l'eau distillée pendant 2 heures. Après élimination de l'eau distillée, le tissu a été fixé pendant plus de 30 minutes dans un mélange d'alcool méthylique et d'acide acétique dans une proportion de 3:1 puis immergé dans de l'acide acétique à 50 % et agité avec le dos d'une pince pour former une suspension de cellules. Cette suspension

a été extraite à l'aide d'une pipette et étalée sur une lame préchauffée. Après élimination de la solution d'acide acétique à 50 %, un anneau cellulaire s'est formé sur la lame. Celle-ci a ensuite été séchée à l'air pendant une journée puis colorée au Giemsa à 6 % pendant 1 heure, et de nouveau séchée à l'air. Pour chaque traitement, 20 à 30 larves ont été sacrifiées en vue des préparations servant à l'identification des chromosomes en métaphase. Deux anneaux cellulaires par larve se sont constitués sur chaque lame.

Résultats

Survie des larves vésiculées et induction de la triploïdie par choc thermique à 41°C à différents âges zygotiques

Essai n° 1. Des taux de survie de 54, 74, 55 et 93 % par rapport au groupe témoin ont été constatés chez des larves vésiculées induites à 41°C pendant 4 minutes aux âges zygotiques de 1, 3, 5, et 7 minutes, respectivement (Tableau

2). Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée entre les survies constatées après un traitement commençant à l'âge zygotique de 7 minutes (60 %) et celles du groupe témoin (65 %). Bien que le taux de survie des larves vésiculées provenant d'oeufs ayant subi le traitement à l'âge zygotique de 7 minutes ait été le plus élevé parmi ces groupes de traitement, aucune triploïdie n'a été induite. En revanche, le traitement a respectivement donné des taux de triploïdie de 93, 100 et 80 % au bout de 1, 3, et 5 minutes de fécondation. Aucune différence ($\chi^2 = 0,7$; $P > 0,05$) n'a été observée entre le traitement aux âges zygotiques de 1 et 3 minutes, mais un écart significatif ($\chi^2 = 3,91$; $P < 0,05$) s'est révélé entre les traitements appliqués aux âges zygotiques de 3 et 5 minutes.

Comme le taux de triploïdie observé dans l'essai n°1 à l'âge zygotique de 3 minutes était le plus élevé, et comme ce laps de temps était suffisant pour placer, après la fécondation, les oeufs dans les récipients et les tubes, l'âge zygotique de 3 minutes a été retenu pour les essais ultérieurs selon des durées de traitement et des températures diverses.

Tableau 2. Taux de survie et pourcentage de triploïdes chez les larves vésiculées de *Oreochromis aureus* provenant d'oeufs traités à 41°C pendant 4 minutes à divers intervalles de fécondation (Essai 1).

Durée du traitement (minute)*	Nbre initial	Larves vésiculées							
		Survies			Nbre de poissons testés	Diploïdie		Triploïdie	
		Nbre	%	% des témoins		Nbre	%	Nbre	%
Témoin	152	99	65	100	20	20	100	0	0
1	161	57	35	54	30	2	7	28	93
3	261	125	48	74	26	0	0	26	100
5	228	81	36	55	30	6	20	24	80
7	199	120	60	93	29	29	100	0	0

*Après fécondation artificielle.

Survie des larves vésiculées et induction de la triploïdie à différentes températures et durées de traitement

Essai n° 2. Les taux de survie enregistrés chez les larves vésiculées provenant d'oeufs ayant été traités à 39°C à l'âge zygotique de 3 minutes pendant 2, 4, 6, et 8 minutes ont respectivement atteint 58, 47, 31 et 70 % par rapport aux témoins (Tableau 3). Aucune triploïdie n'a été induite dans cet essai. Le traitement à 39°C pendant 8 minutes n'a pas pu empêcher la libération du deuxième corps polaire lors de la méiose II.

Essai n° 3. Les larves vésiculées provenant d'oeufs ayant été traités à 40°C à l'âge zygotique de 3 minutes pendant 2, 4, 6, et 8 minutes ont respectivement donné des taux de survie de 91, 66, 59 et 91 % (Tableau 4) par rapport aux témoins. Des triploïdies à 4, 50, 94 et 100 % ont été respectivement obtenues au bout de 2, 4, 6, et 8 minutes de traitement. Aucune différence significative n'a été observée entre les pourcentages de triploïdie obtenus au bout de 2 minutes de traitement et le groupe témoin ($\chi^2=1,4$; $P>0,05$), et au bout de 6 et 8 minutes ($\chi^2=0,04$; $P>0,05$).

Essai n° 4. Des taux de survie de 90, 84, 8 et 1 % par rapport aux témoins ont été respectivement constatés chez des larves vésiculées provenant d'oeufs ayant été traités à 41°C à l'âge zygotique de 3 minutes pendant 2, 4, 6, et 8 minutes (Tableau 5). Aucune triploïdie n'a été induite au bout de 2 minutes de traitement. En revanche, un taux de triploïdie de 100 % a été obtenu au bout de 4 minutes. Aucune larve vésiculée n'a survécu au bout 6 et 8 minutes de traitement pour l'examen des chromosomes.

Essai n° 5. Les taux de survie des larves vésiculées provenant d'oeufs ayant été

traités à 42°C à l'âge zygotique de 3 minutes pendant 2 et 4 minutes ont respectivement atteint 76 et 49 % par rapport aux témoins (Tableau 6). Des triploïdies de 18 et 97 % ont été respectivement observées au bout de 2 et 4 minutes de traitement. Aucune larve vésiculée n'a survécu au bout de 6 et 8 minutes de traitement pour l'examen des chromosomes.

Essai n° 6. Un taux de survie de 71 % par rapport aux témoins ainsi que 100 % de triploïdie ont été observés chez les larves vésiculées après le traitement à 43°C à l'âge zygotique de 3 minutes pendant 2 minutes (Tableau 7). Aucune larve vésiculée n'a survécu pour l'examen des chromosomes dans les autres groupes de traitement.

Discussion et conclusions

Un taux de triploïdie de 100 % a été obtenu au bout de 2 minutes de traitement à 43°C à l'âge zygotique de 3 minutes. Or, un traitement à 40-42°C et de même durée n'a donné qu'un faible pourcentage. A 40°C, il a été nécessaire d'allonger la durée de traitement à 8 minutes pour obtenir 100 % de triploïdie. Ces résultats suggèrent que la formation de microtubules a été interrompue lors de traitements plus courts et à de plus fortes températures, ou lors de traitements plus longs et à de plus faibles températures, empêchant ainsi dans chacun des cas la séparation des chromosomes en métaphase qui restaient sur la plaque équatoriale de la cellule. Une diploïdie complète n'a été obtenue que lors du traitement commencé à l'âge zygotique de 7 minutes. Par ailleurs, le deuxième corps polaire de l'oeuf a été complètement libéré au bout de 7 minutes de fécondation. Ces observations ne s'accordent pas à celles de Valenti (1975) qui, de son côté, a obtenu

Tableau 3. Taux de survie et pourcentage de triploïdes chez les larves vésiculées de *Oreochromis aureus* provenant d'oeufs traités à 39°C pendant des durées différentes à l'âge zygotique de 3 minutes (Essai 2).

Durée du traitement (minute) ^a	Nbre initial	Larves vésiculées							
		Survies			Nbre de poissons testés	Diploïdie		Triploïdie	
		Nbre	%	% des témoins		Nbre	%	Nbre	%
Témoin	329	108	33	100	20	20	100	0	0
2	327	62	19	58	30	30	100	0	0
4	337	52	15	47	30	30	100	0	0
6	334	34	10	31	29	29	100	0	0
8	304	70	23	70	30	30	100	0	0

^aAprès fécondation artificielle.

Tableau 4. Taux de survie et pourcentage de triploïdes chez les larves vésiculées de *Oreochromis aureus* provenant d'oeufs traités à 40°C pendant des durées différentes à l'âge zygotique de 3 minutes (Essai 3).

Durée du traitement (minute) ^a	Nbre initial	Larves vésiculées							
		Survies			Nbre de poissons testés	Diploïdie		Triploïdie	
		Nbre	%	% des témoins		Nbre	%	Nbre	%
Témoin	263	17	7	100	19	19	100	0	0
2	372	22	6	91	28	27	96	1	4
4	345	15	4	66	24	12	50	12	50
6	399	15	4	59	18	1	6	17	94
8	388	23	6	91	25	0	0	25	100

^aAprès fécondation artificielle.

Tableau 5. Taux de survie et pourcentage de triploïdes chez les larves vésiculées de *Oreochromis aureus* provenant d'oeufs traités à 41°C pendant des durées différentes à l'âge zygotique de 3 minutes (Essai 4).

Durée du traitement (min) ^a	Nbre initial	Larves vésiculées							
		Survies			Nbre de poissons testés	Diploïdie		Triploïdie	
		Nbre	%	% des témoins		Nbre	%	Nbre	%
Témoin	178	157	88	100	20	20	100	0	0
2	214	170	79	90	29	29	100	0	0
4	202	150	74	84	30	0	0	30	100
6	217	15	7	8	0	-	-	-	-
8	195	1	1	1	0	-	-	-	-

^aAprès fécondation artificielle.

Tableau 6. Taux de survie et pourcentage de triploïdes chez les larves vésiculées de *Oreochromis aureus* provenant d'oeufs traités à 42°C pendant des durées différentes à l'âge zygotique de 3 minutes (Essai 5).

Durée du traitement (min)*	Nbre initial	Larves vésiculées							
		Survies			Nbre de poissons testés	Diploïdie		Triploïdie	
		Nbre	%	% des témoins		Nbre	%	Nbre	%
Témoin	152	58	38	100	18	18	100	0	0
2	141	41	29	76	28	23	82	5	18
4	177	33	19	49	29	1	3	28	97
6	139	0	0	0	0	-	-	-	-
8	154	0	0	0	0	-	-	-	-

*Après fécondation artificielle.

Tableau 7. Taux de survie et pourcentage de triploïdes chez les larves vésiculées de *Oreochromis aureus* provenant d'oeufs traités à 43°C pendant des durées différentes à l'âge zygotique de 3 minutes (Essai 6).

Durée du traitement (minute)*	Nbre initial	Larves vésiculées							
		Survies			Nbre de poissons testés	Diploïdie		Triploïdie	
		Nbre	%	% des témoins		Nbre	%	Nbre	%
Témoin	135	34	25	100	20	20	100	0	0
2	167	30	18	71	25	0	0	25	100
4	139	0	0	0	0	-	-	-	-
6	162	0	0	0	0	-	-	-	-
8	169	0	0	0	0	-	-	-	-

*Après fécondation artificielle.

chez *O. aureus* une triploïdie au bout de 15 minutes de fécondation à une température d'incubation des oeufs de 32°C. Don et Avtalion (1988a) ont observé que la triploïdie pouvait être induite par traitement au froid (11°C pendant 60 minutes) pour une large gamme d'âges zygotiques (0-15 minutes) mais l'induction de la triploïdie par traitement à des températures élevées n'était possible que dans une gamme d'âges zygotiques étroite : 2,5-3,5 et 3,5-4,5 minutes chez *O. aureus* et *O. niloticus*, respectivement. La grande hétérogénéité de ces résultats est difficile à expliquer.

Dans la présente étude, les taux de survie des larves vésiculées étaient plus élevés chez les groupes triploïdes à 100 et 0 % pour lesquels un traitement par choc thermique avait été appliqué à l'âge zygotique de 3 et 7 minutes (Tableau 2). Ces résultats suggèrent que les embryons étaient plus résistants au choc thermique quand le second corps polaire était retenu ou libéré complètement. A l'exception du groupe dont le traitement a duré 2 minutes, les mêmes résultats ont été obtenus dans l'essai n° 3 (Tableau 4).

Chez les tilapias, l'identification de la ploïdie par des techniques caryologiques

est une pratique très répandue (Chourrout et Itskovich, 1983 ; Myers, 1985 ; Don et Avtalion, 1986, 1988a ; Pandian et Varadaraj, 1988). Dans la diploïdie, il existe deux chromosomes marqueurs distincts qui sont beaucoup plus grands que les autres. D'autre part, il est assez facile d'identifier la triploïdie à partir de chromosomes en métaphase. Celui-ci possède, par rapport aux autres, trois chromosomes plus grands. Les tissus habituellement utilisés pour l'examen des chromosomes sont l'embryon, la queue, les branchies et les reins de la larve. Bien que les embryons pigmentés de tilapias devraient avoir des chromosomes en métaphase abondants en raison d'une segmentation importante des cellules, il est difficile de séparer le vitellus du bourgeon formant la queue. De plus, des particules de vitellus peuvent aisément contaminer la lame. Il faudrait laisser à l'alevin le temps de se développer davantage si l'on veut utiliser les branchies et reins dans l'examen des chromosomes. L'utilisation de la région caudale d'une larve de trois à huit jours constitue sans aucun doute la méthode la plus commode et la plus efficace pour l'identification de la ploïdie.

Chez les tilapias, la production massive de triploïdes par la rétention du deuxième corps polaire, ne serait pas rentable car seuls quelques oeufs pourraient être exprimés par femelle oeuvée. De plus, le temps de ponte est difficile à contrôler. La production de triploïdes stériles en utilisant des géniteurs tétraploïdes dont la première segmentation a été supprimée et en les croisant avec des diploïdes pourrait être une façon de surmonter ce problème comme le suggèrent aussi Chourrout et coll (1986) et Don et Avtalion (1988b).

Littérature citée

- Baksi, S.M. et J.C. Means. 1988. Preparation of chromosomes from early stages of fish for cytogenetic analysis. *J. Fish Biol.* 32:321-325.
- Chourrout, D. et J. Itskovich. 1983. Three manipulations permitted by artificial insemination in tilapia: Induced diploid gynogenesis production of all-triploid populations and intergeneric hybridization, p. 246-255. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Israël.
- Chourrout, D., B. Chevassus, F. Krieg, A. Happe, G. Burger et P. Renard. 1986. Production of second generation triploid and tetraploid rainbow trout by mating tetraploid males and diploid females potential of tetraploid fish. *Theor. Appl. Genet.* 72:193-206.
- Don, J. et R.R. Avtalion. 1986. The induction of triploidy in *Oreochromis aureus* by heat shock. *Theor. Appl. Genet.* 72:186-192.
- Don, J. et R.R. Avtalion. 1988a. Comparative study on the induction of triploidy in tilapias, using cold- and heat-shock techniques. *J. Fish Biol.* 32:665-672.
- Don, J. et R.R. Avtalion. 1988b. Production of viable tetraploid tilapias using the cold shock technique. *Bamidgeh* 40(1):17-21.
- Gervai, J., S. Peter, A. Nagy, L. Horvath, et V. Csanyi. 1980. Induced triploidy in carp, *Cyprinus carpio* L. *J. Fish Biol.* 17:667-671.
- Kligerman, A.D. et S.E. Bloom. 1977. Rapid chromosome preparation from solid tissues of fishes. *J. Fish. Res. Board Can.* 34:266-269.
- Lee, J.C. 1979. Reproduction and hybridization of three Cichlid fishes, *Tilapia aurea* Steindachner, *T. hornorum* Trewavas and *T. nilotica* Linnaeus in aquaria and in plastic pools. Auburn University, Alabama. Thèse de doctorat.
- Mair, G.C., A.G. Scott, D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1991a. Sex determination in the genus *Oreochromis*. 1. Sex reversal, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus* (L.) *Theor. Appl. Genet.* 82:144-152.
- Mair, G.C., A.G. Scott, D.J. Penman, D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1991b. Sex determination in the genus *Oreochromis*. 2. Sex reversal, hybridization, gynogenesis and triploidy in *O. aureus* Steindachner. *Theor. Appl. Genet.* 82:153-160.
- Myers, J.M. 1985. An assessment of spawning methodologies and the induction of tetraploidy in two *Oreochromis* species. Washington University. Mémoire de maîtrise.
- Pandian, T. et K. Varadaraj. 1988. Techniques for producing all-male and all-triploid *Oreochromis mossambicus*, p. 143-151. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium of Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Penman, D.J., M.S. Shah, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1987a. Sex ratios of gynogenetic and

- triploid tilapia, p. 267-276. In K. Tiews (éd.) Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture. Vol. II. Heenemann Verlagsgesellschaft, Berlin.
- Penman, D.J., M.S. Shah, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1987b. Survival, growth rate and maturity in triploid tilapia, p. 271-288. In K. Tiews (éd.) Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture. Vol. II. Heenemann Verlagsgesellschaft, Berlin.
- Rothbard, S. et Y. Pruginin. 1975. Induced spawning and artificial incubation of tilapia. *Aquaculture* 5:315-321.
- Scheerer, P.D. et G.H. Thorgaard. 1987. Performance and developmental stability of triploid tiger trout, brown trout x brook trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 116:92-97.
- Stanley, J.G., H. Hidu et S.K. Allen, Jr. 1984. Growth of American oysters increased by polyploidy induced by blocking meiosis I but not meiosis II. *Aquaculture* 37:147-155.
- Thorgaard, G.H. 1986. Ploidy manipulation and performance. *Aquaculture* 57:57-64.
- Valenti, R.J. 1975. Induced polyploidy in *Tilapia aurea* Steindachner by means of temperature shock treatment. *J. Fish Biol.* 7:519-528.
- Wolters, W.R., G.S. Libey et C.L. Chrisman. 1982. Effect of triploidy on growth and gonad development of channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 111:102-105.

Effets de la qualité de l'eau et de la présence d'un substrat dans les bassins de production saisonnière d'alevins de *Tilapia rendalli*^a

B.A. COSTA-PIERCE^b

International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM)
ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project
P.O. Box 229, Zomba, Malawi

COSTA-PIERCE, B.A. 1996. Effets de la qualité de l'eau et de la présence d'un substrat dans les bassins de production saisonnière d'alevins de *Tilapia rendalli*, p. 308-318. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Les effets de la présence ou de l'absence d'un substrat de ponte, et des variations de la température et de la qualité de l'eau sur la production saisonnière d'alevins en bassins par des géniteurs de *Tilapia rendalli*, ont fait l'objet d'une étude entre le 29 décembre 1989 et le 19 février 1991 (416 jours) au Centre national d'aquaculture de Domasi au Malawi. Pour chacun des deux traitements (l'un avec substrat, l'autre sans), quatre bassins de 5 m³ ont été peuplés avec des géniteurs de *T. rendalli* d'un poids moyen compris entre 35,8 et 44,2 g, et dont les oeufs adhéraient fortement aux parois et au fond des bassins cimentés. Une analyse de variance à un facteur n'a révélé aucune différence significative dans la production d'alevins d'un traitement à l'autre ($P > 0,05$; $n=81$). Celle-ci s'est révélée nettement de type saisonnier. En effet, la production d'alevins a été minimale, voire inexistante du 3 juillet au 25 septembre 1990 quand les températures minimales de l'eau sont tombées au-dessous de 20°C. Une relation significative ($P < 0,05$; $n=136$) a été mise en évidence par analyse de régression multivariée entre la production d'alevins comme variable dépendante, et le poids des géniteurs, la température, la visibilité de l'eau au disque de Secchi et l'oxygène dissous (coefficients positifs de régression) comme variables indépendantes, le substrat (coefficient négatif) étant considéré comme variable dichotomique. La température était un facteur de prédiction positif hautement significatif ($P < 0,01$; $n=136$) de la production d'alevins.

Introduction

Tilapia rendalli, l'un des poissons autochtones d'élevage les plus répandus dans les zones rurales d'Afrique centrale et australe, présente un certain nombre d'atouts pour les petits aquaculteurs des régions où l'alimentation (végétaux) des poissons ne pose pas de problème (Pullin, 1982, 1988; Chikafumbwa et Costa-Pierce, 1992). En effet, la qualité

de sa chair, la possibilité d'utiliser des engins de pêche traditionnels pour sa récolte, et sa propension à se développer sur une alimentation constituée par tous types de végétaux que l'on trouve dans la plupart des fermes, sont autant d'atouts qui incitent les petits exploitants des zones rurales à se lancer dans son exploitation. Toutefois, peu de travaux expérimentaux ont été consacrés à l'aménagement de systèmes d'écloserie pour cette espèce. La présente communication examine la variabilité saisonnière de la production d'alevins par des géniteurs de *T. rendalli* dans des bassins garnis ou non de substrat pour la ponte.

^aICLARM Contribution no. 1003

^bAdresse actuelle : 222 South Hellix Av. 1, Solana Beach, California 92075, Etats-Unis.

Matériel et méthodes

L'étude a été menée dans huit bassins cimentés de 5 m³ au Centre national d'aquaculture de Domasi au Malawi dans le but d'examiner les effets de l'aménagement d'un substrat pour la ponte [couche de 10 cm de sable de rivière et de fin gravier provenant de la rivière Domasi (approximativement de même poids) déposée au fond des bassins], ainsi que les effets des variations saisonnières de la qualité de l'eau sur la production d'alevins de *T. rendalli*.

Deux traitements, l'un avec substrat, l'autre sans, ont été appliqués dans deux blocs randomisés de quatre bassins. Tous les substrats ont été lavés au moins trois fois à l'eau claire à l'intérieur des bassins ou ont été lavés jusqu'à ce que l'eau de rinçage devienne limpide. Quatre des huit bassins n'ont donc pas reçu de substrat.

Des géniteurs de *T. rendalli* (poids corporel individuel moyen compris entre 35,8 et 44,2 g) ont été introduits à un sexe ratio de deux femelles pour un mâle ou six femelles pour trois mâles par bassin de 5 m³. Les poissons étaient nourris quotidiennement au son de maïs à raison de 5 % du poids corporel·jour⁻¹, calculé pour une semaine de cinq jours. Une nouvelle ration était calculée d'après le nouveau poids corporel moyen relevé toutes les trois semaines après vidange de la moitié du volume d'eau des bassins et récolte des alevins nageurs et des adultes au moyen d'une épuisette à mailles fines. Les alevins étaient comptés et les adultes étaient pesés et mesurés individuellement pour obtenir leurs longueurs standard et totale. L'expérience s'est déroulée du 29 décembre 1989 au 19 février 1991, soit 416 jours.

Une analyse de variance à un facteur a été réalisée pour comparer la production d'alevins dans les deux traitements.

La qualité de l'eau était contrôlée par la méthode de Costa-Pierce (1990) toutes les trois semaines la veille de la récolte des alevins. Un relevé de l'oxygène dissous (OD) était effectué entre 6h00 et 7h00. Lorsque les valeurs du pH étaient supérieures à 8,0 (à huit reprises), les concentrations totales d'ammoniaque étaient contrôlées à l'aide de la trousse de Hach. Les différences au niveau des paramètres de la qualité de l'eau entre les traitements ont été analysées par comparaison de moyennes (test-*t*). Une analyse de régression multivariée a été réalisée avec pour variable dépendante le nombre d'alevins produits par bassin et par récolte, et pour variables indépendantes le poids des géniteurs, la température, l'oxygène dissous et le substrat (ajouté comme variable dichotomique). L'analyse a été réalisée selon des méthodes décrites ailleurs (Costa-Pierce et coll., 1993).

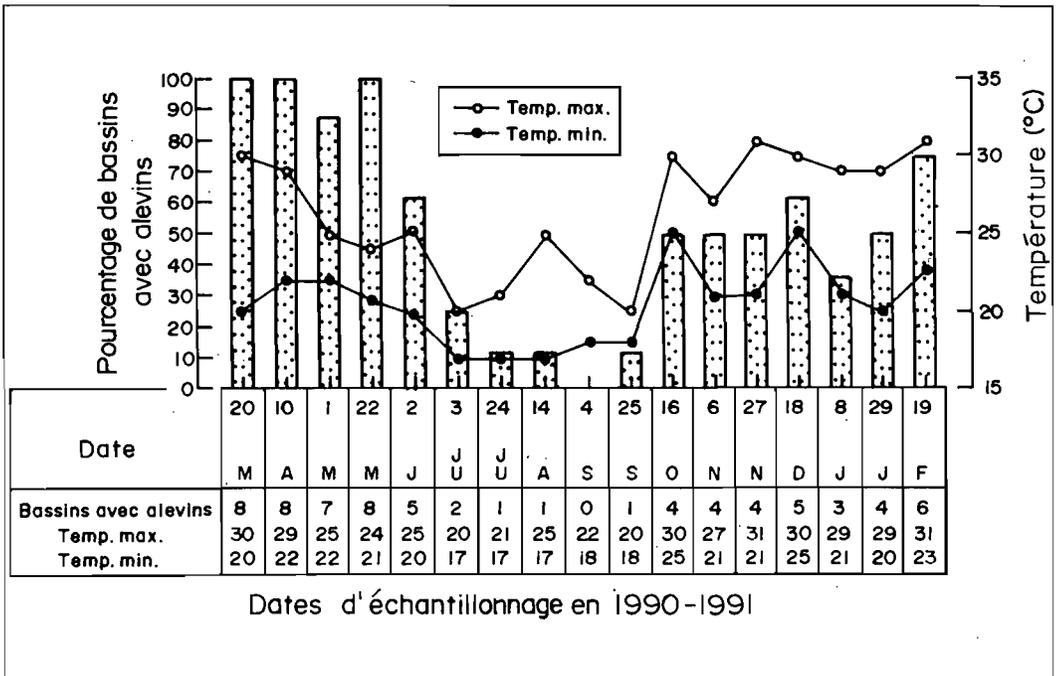
Un indice de croissance en longueur ϕ' (Pauly et coll., 1988) a été calculé à l'aide d'un tableur de croissance mis au point par Vakily (1988). Les longueurs standard ont été utilisées dans les calculs.

Résultats

Au cours des 416 jours d'expérience, soit 19 récoltes d'alevins les géniteurs des bassins avec substrat ont produit un total de 18.217 alevins alors que les géniteurs des bassins sans substrat en ont produit 22.220 (Tableau 1). La production d'alevins s'est révélée fortement saisonnière et très variable, concentrée dans la période du 16 octobre au 12 juin quand les températures minimales de l'eau étaient supérieures à 20°C (Fig. 1). Au cours des 76 périodes d'échantillonnage, 40 de ces périodes (53 %) n'ont donné aucun alevin dans les bassins avec substrat, et 29 de ces périodes (38 %) n'a produit aucun alevin dans les bassins sans substrat.

Tableau 1. Production d'alevins de *Tilapia rendalli* dans des bassins de 5 m³ avec et sans substrat pour la ponte sur une période de 416 jours.

Bassin	Nombre d'alevins	Alevins/femelle	Nombre de pontes
Substrat 1	3.568	595	8
Substrat 2	2.953	492	6
Substrat 3	3.935	656	10
Substrat 4	7.761	1.294	12
Echelle de valeurs	2.953-7.761	492-1.294	
Moyenne	4.554	759	
ET	1.884	314	
Aucun substrat 1	5.240	873	12
Aucun substrat 2	6.285	1.048	15
Aucun substrat 3	1.972	329	6
Aucun substrat 4	8.723	1.454	14
Echelle de valeurs	1.972-8.723	329-1.454	-
Moyenne	5.555	926	-
ET	2.424	404	-

Fig. 1. Régime saisonnier de la production d'alevins nageurs de *Tilapia rendalli* dans huit bassins cimentés de 5 m³. Les températures sont également données.

La production moyenne (\pm ES) d'alevins était comprise entre 13,71 et 28,14 (6,68 et 37,35) alevins \cdot 100 g de géniteur \cdot jour⁻¹ dans les bassins avec substrat, et entre 5,72 et 32,44 (2,63 et 40,54) dans les bassins sans substrat. La production moyenne (\pm ES) d'alevins \cdot m² \cdot jour⁻¹ était comprise entre 1,39 et 3,83 (0,66 et 5,15) dans les bassins avec substrat, et entre 0,77 et 4,30 (0,35 et 5,35) dans les bassins sans substrat (Fig. 2). L'analyse de variance à un facteur n'a révélé aucune différence significative dans la production d'alevins avec ou sans substrat ($P > 0,05$; $n = 81$ comparaisons par paire).

Les géniteurs pesant respectivement 41,8 g (41,0-42,6 g) et 39,0 (37,6-40,4 g) dans les bassins avec substrat et sans substrat à l'empeisonnement ont atteint à la récolte un poids moyen (\pm ES) de 85,3 g (82,6-88,0 g) dans les bassins avec substrat, et 93,8 g (90,2-97,3 g) dans les bassins sans substrat. Les valeurs calculées sur la base d'un indice de croissance en longueur (ϕ') ont donné respectivement des indices moyens (\pm ES) de $2,31 \pm 0,06$ et $2,34 \pm 0,08$ pour *T. rendalli* vivant dans les bassins avec et sans substrat (Tableau 2). Aucune corrélation n'a été observée entre les indices de croissance et la production d'alevins \cdot 100 g de géniteur \cdot jour⁻¹ ($P > 0,05$; $n = 8$).

Les estimations de croissance pondérale des géniteurs étaient très variables. Sur les 72 intervalles de croissance (18 par bassin \times 4 bassins), 11 (15 %) ont enregistré des pertes de poids dans les bassins avec substrat contre 19 (26 %) dans les bassins sans substrat. Dans l'ensemble, sur un total de 144 intervalles de croissance pondérale, 30 (21 %) ont enregistré des pertes de poids chez les géniteurs. Dix-huit (60 %) de ces périodes de perte de poids sont survenues durant la saison fraîche du 3 juillet au 16 octobre 1990.

Les températures moyennes étaient comprises entre 23,1 et 23,9°C dans les huit bassins (Tableau 3) avec trois saisons distinctes (fraîche, 2 juillet-24 septembre ; chaude et sèche, 15 octobre-25 novembre ; chaude et humide, 17 décembre-30 avril) séparées par une période transitoire de refroidissement (21 mai-11 juin) (Fig. 3). Le régime saisonnier des variations au niveau de la conductivité était similaire à celui des températures de l'eau. Une importante corrélation ($P < 0,001$; $n = 136$) a été observée entre les températures et la conductivité.

Les tests de visibilité réalisés au disque de Secchi (VDS) ont donné des moyennes indiquant une tendance similaire dans les traitements avec et sans substrat à mesure que le phytoplancton se développait (Fig. 3). Toutefois, les VDS étaient significativement inférieures (test-*t*, comparaison de moyennes, $P < 0,001$, $n = 68$) dans les bassins avec substrat (Tableau 3). L'analyse de régression multivariée prenant les VDS comme variable dépendante et la température et le substrat comme variables indépendantes était hautement significative ($P < 0,001$; $n = 136$) (Tableau 4).

Les concentrations d'OD indiquaient une tendance saisonnière similaire à celle des températures et de la conductivité (Fig. 3). Le 17 décembre était la date à laquelle l'OD était le plus bas dans tous les bassins sauf un. Dans les bassins avec substrat, l'OD est descendu au-dessous de 1,0 mg \cdot l⁻¹ à 12 dates différentes et à sept dates différentes dans le cas des bassins sans substrat. Les niveaux d'OD étaient significativement plus bas (test-*t*, comparaison de moyennes, $P < 0,001$; $n = 68$) dans des bassins avec substrat (Tableau 3). Le pH moyen était significativement plus élevé (test-*t*, comparaison de moyennes, $P < 0,001$;

Tableau 2. Comparaison des paramètres de croissance des géniteurs de *Tilapia rendalli* dans des bassins avec et sans substrat pour la ponte, obtenus dans cette étude et dans une étude précédente.

Traitement	Paramètres de croissance		
	L_{∞} (LS, cm)	K (an ⁻¹)	ϕ' (=log K + 2 log L_{∞})
Substrat 1	13,4	0,841	2,18
Substrat 2	13,3	1,372	2,39
Substrat 1	15,5	0,627	2,18
Substrat 1	13,2	1,677	2,47
Aucun substrat 1	13,9	1,630	2,50
Aucun substrat 2	14,3	0,860	2,25
Aucun substrat 1	13,2	1,677	2,47
Aucun substrat 1	20,7	0,305	2,12

	n	Echelle	Moyenne ϕ' (ES) de valeurs
Pauly et coll. (1988) (Aquaculture)	4	2,34-2,81	2,60 (0,12)
(Milieu naturel)	16	2,24-2,80	2,45 (0,03)
Cette étude (Aquaculture)			
Substrat	4	2,18-2,47	2,31 (0,06)
Aucun substrat	4	2,12-2,50	2,34 (0,08)

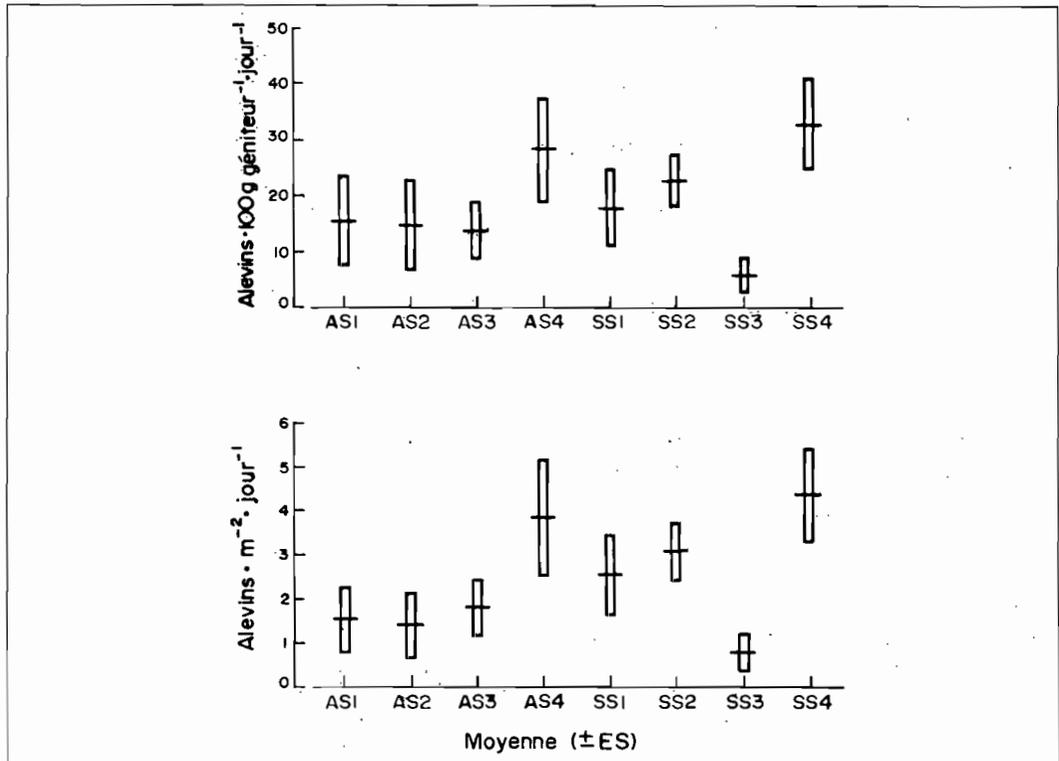


Fig. 2. Production d'alevins de *Tilapia rendalli* par jour dans les bassins cimentés avec et sans substrat (AS, SS). La production d'alevins est calculée et tracée en fonction de la biomasse des géniteurs (par 100 g) (figure supérieure) et en fonction de la superficie des bassins (par m²) (figure inférieure). Les lignes et rectangles représentent les moyennes ± erreur standard (ES).

Tableau 3. Bilan de la qualité de l'eau dans les bassins peuplés de *Tilapia rendalli*. La température est exprimée en °C, la conductivité en $\mu\text{moh}\cdot\text{cm}^{-1}$, l'oxygène dissous (OD) en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, et la visibilité au disque de Secchi (VDS) en cm. E = échelle de valeurs ; M = moyennes arithmétiques ; ET = écart-type ; et CV = coefficients de variation. Les valeurs données reflètent toutes les échelles de valeurs des quatre bassins pour les deux traitements.

Paramètre	Statistiques	Substrat	Aucun substrat	Seuil de signification (n=68)
Température	E	18,0 - 28,4	18,0 - 28,5	P>0,05
	M	23,2 - 23,8	23,1 - 23,9	
	ET	3,2 - 3,4	2,8 - 3,0	
	CV	14 - 15	12 - 13	
Conductivité	E	83,4 - 200,0	91,5 - 197,7	P>0,05
	M	83,4 - 99,7	91,5 - 101,0	
	ET	21,0 - 27,5	18,2 - 24,9	
	CV	17 - 22	15 - 19	
OD	E	0,5 - 5,2	0,4 - 8,9	P<0,001
	M	1,5 - 1,9	2,1 - 3,5	
	ET	0,8 - 1,2	2,0 - 2,3	
	CV	48 - 66	60 - 93	
pH	E	6,56 - 7,98	6,93 - 9,50	P<0,001
	M	7,31 - 7,34	7,78 - 8,14	
	ET	0,30 - 0,38	0,29 - 0,65	
	CV	4 - 5	4 - 8	
VDS	E	0,25 - 1,00	0,33 - 1,00	P<0,001
	M	0,69 - 0,73	0,77 - 0,91	
	ET	0,21 - 0,28	0,10 - 0,23	
	CV	28 - 40	11 - 30	

Tableau 4. Analyse de régression multivariée dans les bassins de géniteurs de *Tilapia rendalli* prenant la visibilité au disque de Secchi (VDS) comme variable dépendante, et la température et la présence ou l'absence de substrat comme variables indépendantes. Les seuils de signification sont indiqués par des astérisques (*=0,05 ; **=0,01 ; ***=0,001) ; b = coefficient de régression ; et ES = erreur standard du coefficient de régression.

Variables indépendantes	b	ES
Température	-0,030	0,006***
Substrat	-0,104	0,035**
Constante (a)	1,518)
r ²	0,209	
Valeur de F	17,614	
Probabilité	<0,001	
n	136	

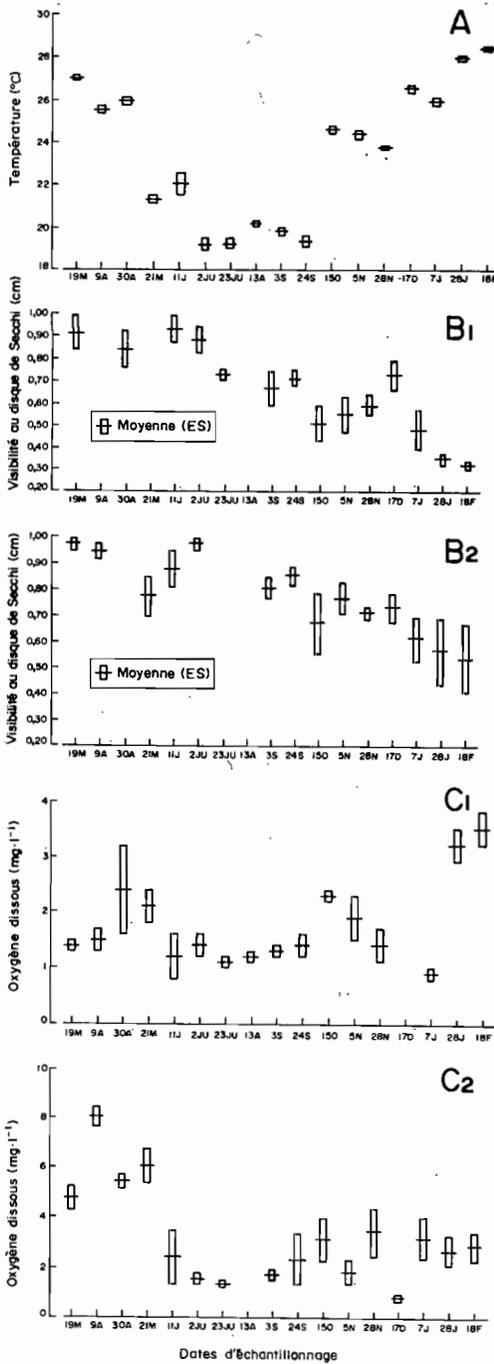


Fig. 3. Variations saisonnières de la température, de la visibilité au disque de Secchi, et de l'oxygène dissous à 6h00-7h00, mesurées dans huit bassins cimentés de 5 m³ contenant des géniteurs de *Tilapia rendalli* (quatre bassins avec substrat pour la ponte, quatre sans substrat). A - température pour tous les huit bassins. B - visibilité au disque de Secchi dans 1. les bassins avec substrat et 2. les bassins sans substrat. C - oxygène dissous dans 1. les bassins avec substrat et 2. les bassins sans substrat. Les lignes représentent les valeurs moyennes et les rectangles représentent les erreurs standard.

n=68) dans les bassins sans substrat (Tableau 3).

Lors d'une analyse de régression multivariée prenant le poids des géniteurs, la température, l'OD et les VDS comme variables indépendantes, la température s'est révélée être le seul facteur de prédiction positif significatif ($P < 0,01$) de la production d'alevins (Tableau 5).

Discussion

Dans le milieu naturel, *T. rendalli* pond dans des aires herbeuses et peu profondes de lacs et de cours d'eau, généralement à 120-130 cm de profondeur mais il peut également pondre dans des eaux de 50 cm de profondeur (Caulton, 1978). Dans cette étude, *T. rendalli* n'a pas eu besoin de substrat pour pondre dans les bassins cimentés de 1 m de profondeur. Les phénomènes de nidification, fécondation et développement des oeufs ont eu lieu sans entrave sur les parois

dénudées des bassins cimentés. Chaque fois que les bassins étaient vidangés pour récolter les alevins, on pouvait fréquemment observer des masses d'oeufs adhérer fortement aux parois des bassins dans les deux traitements. Jubb (1967) note que *T. rendalli* produit des oeufs visqueux qui sont "déplacés de nids en nids, gardés et aérés par une ventilation par la queue effectuée par les deux parents".

Dans cette étude, la production d'alevins par femelle était toutefois inférieure à celle enregistrée auparavant chez des poissons vivant en milieu naturel et en captivité. Les 24 femelles des deux traitements ont produit un total de 18.217 (substrat) et 22.220 (sans substrat) alevins nageurs. Au cours des 416 jours d'expérience, 2.953-7.761 alevins (492-1.294 par femelle) ont été produits à l'issue de six à 12 pontes dans les bassins avec substrat, et 1.972-8.723 alevins (329-1.454 par femelle à l'issue de six à 12 pontes dans les bassins sans substrat (Tableau 2). Kenmuir (1973) a observé qu'un couple de *T.*

Tableau 5. Analyse de régression multivariée sur la production d'alevins de *Tilapia rendalli* prenant le poids des géniteurs, la température, l'oxygène dissous, la visibilité au disque de Secchi et la présence ou l'absence de substrat comme variables indépendantes. La variable dépendante est le nombre d'alevins nageurs par bassin et par période de récolte. Les seuils de signification et les symboles sont représentés dans le Tableau 3.

Variables indépendantes	b	ES
Poids des géniteurs	2,515	3,77
Température	35,396	11,864**
Oxygène dissous	17,787	21,596
Visibilité au disque de Secchi	160,599	216,062
Substrat	-14,296	90,636
Constante (a)	-940,874	
r ²	0,099	
Valeur de F	2,856	
Probabilité	<0,05	
n	136	

rendalli pouvait se reproduire en bassin huit fois par an. Une femelle de 21,1 cm (190 g) a produit 48.000 alevins·an⁻¹ (8 pontes x 6.000 alevins par reproduction) tandis qu'une femelle de 31,5 cm en a produit 70.000·an⁻¹ (Kenmuir, 1973). De Bont (1950) a obtenu 14.380 larves à partir de cinq couples de *T. rendalli* élevés en captivité (2.876 par femelle).

La plus basse production d'alevins enregistrée dans la présente étude peut être attribuée à des températures plus basses et à une saison de reproduction plus courte. La température s'est révélée être un important facteur de prédiction de la production d'alevins ; celle-ci est donc fortement influencée par les cycles saisonniers. La reproduction a presque cessé de juillet à septembre quand les températures minimales de l'eau sont tombées au-dessous de 20°C. Chervinski (1982) rapporte que *T. rendalli* est capable de vivre à 11°C mais il ne se reproduit pas au-dessous de 21°C. Balarin (1988) rapporte des températures de ponte de 20-28°C, et de Pienaar (1978) rapporte que la maturité ainsi que la reproduction ralentissent ou cessent au-dessous de 21°C.

Quinze pontes au moins ont été observées dans un seul bassin au cours de cette expérience (Tableau 1), les pontes étant concentrées durant la saison des pluies (de novembre à mars). Dans le milieu naturel, *T. rendalli* pond tant que les températures hydriques restent au-dessus de 21°C. En Afrique australe, les pontes sont maximales durant la chaude saison des pluies (d'octobre à décembre) (de Pienaar, 1978 ; Kenmuir, 1983). Le nombre de pontes est déterminé par la durée de la saison des pluies (De Bont, 1950) et les températures hydriques (Kenmuir, 1983). La spermatogenèse est continue mais l'ovogenèse est considérablement influencée par les températures et la

photopériode (saison) (Moreau, 1982). Durant la chaude saison des pluies, la reproduction peut avoir lieu toutes les quatre semaines (de Pienaar, 1978).

Les taux de croissance des géniteurs, obtenus sur la base d'un indice de longueur (ϕ'), étaient similaires à ceux enregistrés dans des étangs en Zambie et en Ouganda (Pauly et coll., 1988). La croissance de *T. rendalli* était bonne en comparaison des essais précédents réalisés avec des végétaux pour alimentation complémentaire dans les étangs de terre de Domasi (Chikafumbwa et Costa-Pierce, 1992). Les poissons ont atteint des poids moyens de plus de 80 g en 417 jours dans les deux traitements à base de son de maïs pour unique aliment. Dans cette expérience, les taux de croissance et la taille des poissons à la récolte étaient supérieurs à ceux enregistrés auparavant au Malawi. Noble et Costa-Pierce (1992) rapporte que le poids moyen des poissons vendus provenant de 16 récoltes réalisées par des petits exploitants dans la région de Zomba n'atteignait que 26,6 g. *T. rendalli* n'est pas strictement herbivore mais s'alimente activement de particules de son de maïs.

La production d'alevins en bassins aurait pu être affectée par au moins deux facteurs : la qualité de l'eau et le choix du sexe ratio des géniteurs (2 femelles:1 mâle). La qualité de l'eau était différente dans les deux traitements. Les bassins avec substrat avaient des VDS plus basses, certainement dues à des concentrations de nourriture naturelle plus denses. L'OD et le pH étaient donc plus bas tôt le matin dans les bassins avec substrat. Toutefois, tous les paramètres de la qualité de l'eau dans les deux traitements se situaient dans les normes acceptables pour *T. rendalli* (Philippart et Ruwet, 1982). Même si la qualité de l'eau se révélait parfois douteuse (pH>8, par exemple,

quand les concentrations d'ammoniacque étaient contrôlées), aucune concentration toxique n'a été observée.

T. rendalli est un poisson monogame : une femelle oeuillée s'accouple avec un mâle unique (De Bont, 1950). Dans cette étude, des sexe ratios suboptimaux et la présence de femelles "excédentaires" ont pu faire obstacle à une production maximale d'alevins. Philippart et Ruwet (1982) notent que les géniteurs sur substrat forment des couples territoriaux stables ; les poissons excédentaires ne participent pas à la reproduction mais peuvent perturber les poissons reproducteurs.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce à un financement offert à l'ICLARM par la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Je remercie la GTZ et le ministère malawien des Pêches pour l'octroi des financements nécessaires, pour avoir facilité l'accès aux installations requises et pour avoir approuvé cette étude. Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers le Dr Martin Bilio, Boniface Mkoko, Brian Rashidi et Jaston Mutambo. Je remercie également Fredson Chikafumbwa, Foster Makuwa et John Balarin pour leur assistance technique dans la conception, la coordination et la mise en oeuvre de cette étude.

Littérature citée

- Balarin, J.B. 1988. Development planning for tilapia farming in Africa, p. 531-538. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Caulton, M.S. 1978. The importance of habitat temperatures for growth in the tropical cichlid *Tilapia rendalli* Boulenger. *J. Fish Biol.* 13:99-112.
- Chervinski, J. 1982. Environmental physiology of tilapia, p. 119-128. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.
- Chikafumbwa, F.J. et B.A. Costa-Pierce. 1992. Rates of napier grass additions to polyculture fishponds in Malaŵi. *In* K. Koop (éd.) Proceedings of the IFS Workshop on Aquaculture in Africa, 23-27 janvier 1991, Harare, Zimbabwe. International Foundation for Science, Stockholm, Suède.
- Costa-Pierce, B.A. 1990. Water quality research or water quality checking: proposed guidelines. *Aquabyte* 3(3):2-3.
- Costa-Pierce, B.A., A.A. van Dam et M.V. Kapeleta. 1993. Multiple regression analysis of fish growth as affected by water quality and inputs in aquaculture ponds in Malaŵi, p. 88-96. *In* M. Prein, G. Hulata et D. Pauly (éds.) Multivariate methods in aquaculture research: case studies of tilapias in experimental and commercial systems. ICLARM Stud. Rev. 20, 221 p.
- De Bont, A.F. 1950. La culture des tilapia. C.R. Conf. Piscicole Anglo-Belge, Elizabethville 1949. Communications (Bruxelles) 8:321-336.
- de Pienaar, V. 1978. The freshwater fishes of the Kruger National Park. National Parks Board, Johannesburg, Afrique du Sud.
- Jubb, R.A. 1967. Freshwater fishes of southern Africa. A.A. Balkema Publ., Cape Town, Afrique du Sud.
- Kenmuir, D.H.S. 1973. Observations on a breeding pair of *Tilapia rendalli* (Boulenger, 1896) in an experimental tank at Lake Kariba Fisheries Research Institute. *Hydrobiologia* 43:365-370.
- Kenmuir, D.H.S. 1983. Fishes of Kariba. Wilderness Publs., Harare, Zimbabwe.
- Moreau, J. 1982. Reproductive cycle of *Tilapia rendalli* and *Sarotherodon macrochir* in an upland tropical lake (Lake Alaotra, Madagascar). *Acta Oceanol.* 3:3-32.
- Noble, R.P. et B.A. Costa-Pierce. 1992. Aquaculture technology research for smallholder farmers in rural Malaŵi, p. 11-25. *In* Aquaculture and schistosomiasis. Board on Science and Technology for International Development, National Research Council. National Academy Press, Washington, DC.
- Pauly, D., J. Moreau et M. Prein. 1988. A comparison of overall growth performance of tilapia in open waters and aquaculture, p. 469-479. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15,

623 p.

Philippart, J.-Cl. et J.-Cl. Ruwet. 1982. Ecology and distribution of tilapias, p. 15-60. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.

Pullin, R.S.V. 1982. General discussion on the biology and culture of tilapias, p. 331-352. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.

Pullin, R.S.V. 1986. Culture of herbivorous tilapias, p. 145-149. *In* H.H. Chan, K.J. Ang, A.T. Law, Mohd. Ibarahim b. Hj. Mohamed et Ishak b. Hj. Omar (éds.) Development and management of tropical living aquatic resources. Penerbit Universiti Pertanian Malaysia, Serdang, Selangor, Malaisie.

Vakily, J.M. 1988. Estimation and comparison of fish growth parameters from pond experiments: a spreadsheet solution. ICLARM Software 3, 12 p.

Méthode quantitative pratique pour estimer l'activité relative de reproduction chez *Oreochromis niloticus*^a

A.E. EKNATH^b
J.B. CAPILI^d
J.C. DANTING^c
M.S. PALADA-DE VERA^b
E.E. DIONISIO^c
H.L. BOLIVAR^b
R.A. REYES^c
M.M. TAYAMEN^c

^b*International Center for Living
Aquatic Resources Management (ICLARM)
MCPO Box 2631, 0718 Makati
Metro Manila, Philippines*

^c*Bureau of Fisheries and Aquatic Resources
National Freshwater Fisheries Technology Research Center
(BFAR-NFFTRC)
Muñoz, Nueva Ecija, Philippines*

^d*Freshwater Aquaculture Center
Central Luzon State University (FAC-CLSU)
Muñoz, Nueva Ecija, Philippines*

EKNATH, A.E., J.B. CAPILI, J.C. DANTING, M.S. PALADA-DE VERA, E.E. DIONISIO, H.L. BOLIVAR, R.A. REYES et M.M. TAYAMEN. 1996. Méthode quantitative pratique pour estimer l'activité relative de reproduction chez *Oreochromis niloticus*, p. 319-329. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La mesure quantitative exacte des caractères de la reproduction comme les variations au niveau de l'âge et de la taille de première maturité, la fréquence des pontes et leur relation avec les performances de croissance des poissons exigent de vidanger régulièrement les étangs et de procéder à un échantillonnage de tous les individus, ce qui est impossible lors des cycles normaux de reproduction. La méthode proposée ici tente de créer un "indice de reproduction" à partir des modifications morphologiques et comportementales associées à la reproduction que l'on peut observer lors d'échantillonnages aléatoires réguliers. A cette fin, 7.652 fingerlings individuellement marqués et issus de sept souches de *Oreochromis niloticus* ont été élevés ensemble dans divers systèmes de production y compris en étangs, en cages, et en rizipisciculture. Des échantillonnages aléatoires d'environ 30 % de la population ont été réalisés toutes les trois semaines au cours d'un cycle de production de 90 jours. Les femelles ont été notées sur une échelle de 0 à 5 d'après l'état de leur papille génitale et de leur abdomen ainsi que la présence d'oeufs ou d'alevins dans la cavité buccale. Si la valeur de l'indice de reproduction est égale à 0, on dit que la population est inactive du point de vue de sa reproduction, et si cette valeur est égale à 5, on

dit alors que tous les individus ont complété le cycle de reproduction. L'indice ainsi calculé a donné de faibles valeurs dans les élevages en cage (<1) et en rizipisciculture (2) et des valeurs élevées dans les étangs (4 à 5). Les indices étaient très variables selon les souches mais relativement constants pour l'ensemble des systèmes de reproduction. La reproduction débute bien plus tôt et à un poids moyen plus bas chez les souches à croissance lente que chez les souches à croissance rapide.

Introduction

Les tilapias sont largement reconnus comme étant l'une des espèces les plus importantes pour l'élevage dans un grand nombre de systèmes de production, du simple petit étang alimenté par des déchets agricoles aux systèmes de production intensive (Maclean, 1984 ; Pullin, 1985). Ils constituent souvent la ressource principale d'un grand nombre de pisciculteurs dont les ressources sont très modestes. Un des problèmes principaux de l'élevage du tilapia est l'aptitude de ces poissons à se reproduire à une petite taille et par conséquent à surpeupler les milieux d'élevage. Le contrôle de la reproduction a fait l'objet de nombreuses recherches (Mair et Little, 1991).

La présente étude fait partie d'un important effort de recherche collaborative sur l'amélioration génétique des poissons d'élevage (projet GIFT). Une approche par étape a été adoptée au sein de ce projet : documentation systématique sur les mauvaises conditions dans lesquelles se trouvent les stocks d'élevage en Asie ; identification des ressources génétiques en tilapias sauvages en Afrique ; évaluation de souches prometteuses de *Oreochromis niloticus* ; et établissement de populations de base et projets de mise au point d'un tilapia plus performant (Pullin et coll., 1991). L'intérêt primordial du projet GIFT est la sélection de populations à croissance rapide. L'intégration à un index de sélection d'importants caractères de reproduction comme l'âge et la taille de première maturité est également envisagé dans

les programmes de sélection de populations à maturité tardive.

Le résultats présentés ici reposent sur des travaux préliminaires qui visaient à quantifier la reproduction des femelles de différentes souches de *O. niloticus* mis en élevage communal. L'intérêt était de noter les femelles d'après les caractéristiques morphologiques et comportementales de leur reproduction et l'objectif était de comparer l'activité relative de reproduction des différentes souches de *O. niloticus* dans différents milieux d'élevage.

Matériel et méthodes

Cette étude fait partie d'une expérience conçue pour évaluer les performances de croissance de sept souches de *O. niloticus* mises en élevage dans 11 différents milieux (Eknath et coll., 1993). Un total de 7.652 fingerlings individuellement marqués et issus de trois souches récemment importées d'Afrique (Égypte [E1], Ghana [Gh], et Sénégal [Sé]) et quatre populations d'élevage établies aux Philippines (connues localement sous le nom de "Israël" [Is], "Singapour" [Si], "Taiwan" [Tw] et "Thaïlande" [Th]) ont été mis en élevage communal dans un grand nombre de systèmes de production à faible taux d'intrants : étangs fertilisés (avec ou sans alimentation complémentaire), étangs fertilisés avec des déchets agricoles provenant de la ferme (feuilles de ipil-ipil^e, et feuilles et vigne de patate douce), rizipisciculture, cages (différentes

^eUn arbre légumineux.

densités de charge ; avec ou sans alimentation), et trois écloséries (stations satellites du BFAR^f situées dans différentes régions de l'île de Luçon (Tableau 1). L'origine des souches et le dispositif expérimental ont été décrits par Eknath et coll. (1993).

Des croisements individuels (25 couples de chaque souche) ont été réalisés dans 175 hapas de 1 m³ implantés dans des étangs de reproduction. Les poissons de la descendance de chaque souche ont été élevés séparément dans des hapas jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids corporel moyen de 3-5 g. Ensuite, les poissons ont été marqués individuellement et élevés dans différents milieux d'élevage pendant 90 jours. L'âge et le poids corporel moyens des fingerlings ainsi marqués étaient, au moment de la mise en charge, respectivement de 108 jours (entre 98 et 121 jours) et 5,34 g (entre 1,6 et 14,6 g). Des échantillonnages d'environ 30 % de la population ont été réalisés tous les 21 jours pour relever les poids corporels moyens et l'activité de reproduction, sauf dans le cas de la rizipisciculture.

Les femelles ont été notées sur une échelle de 0 à 5 d'après l'état de leur papille génitale et de leur abdomen ainsi que la présence d'oeufs ou d'alevins dans la cavité buccale.

score = 1 - papille génitale rougeâtre et gonflée, orifice génital légèrement dilaté ;

score = 2 - papille génitale gonflée, orifice génital complètement dilaté, abdomen totalement distendu, femelle prête à pondre ;

score = 3 - incubation buccale, présence d'oeufs dans la bouche ;

score = 4 - incubation buccale, présence d'alevins dans la bouche ;

score = 5 - femelle au stade post-ponte avec abdomen déprimé, mâchoire gonflée, aspect amaigri ; et

score = 0 - aucune des manifestations ci-dessus, les femelles ne sont pas actives.

La fréquence des individus par souche et par milieu expérimental d'élevage a été utilisée pour mettre au point l'indice de reproduction. Si la valeur de celui-ci est égale à 0, on dit que la population est immature ou inactive du point de vue de sa reproduction. Quand cette valeur est égale à 5, on dit alors que tous les individus sont sexuellement matures et qu'ils ont pondu.

Résultats

Mortalité et sexe ratio

Le nombre total de fingerlings individuellement marqués, le taux estimé de mortalité et le sexe ratio à la récolte pour toutes les souches dans chaque milieu testé sont présentés dans le tableau 2. Les taux de mortalité enregistrés étaient variables d'un milieu à l'autre mais ces variations n'étaient pas spécifiques aux souches (Eknath et coll., 1993). Les sexe ratios ne différaient pas significativement ($P < 0,05$) de 1:1 d'un milieu à l'autre.

Croissance

Le poids corporel moyen des femelles des différentes souches dans les différents milieux testés était très variable (Tableau 3). Parmi celles-ci, la souche E1 était invariablement la souche à la croissance la plus rapide et Gh, la souche à la croissance la plus lente. Les

^fBFAR : Philippine Bureau of Fisheries and Aquatic Resources.

Tableau 1. Descriptif des milieux d'élevage expérimentaux pour les recherches génétiques sur différentes souches de *Oreochromis niloticus* d'où les données ont été recueillies pour évaluer l'activité de reproduction.

Code milieu	Description
S1	Station satellite du Philippine Bureau of Fisheries and Aquatic Resources (BFAR) située dans un bas-fonds près du lac Laguna dans le sud de Luçon. <i>Élevage en étangs</i> . Aménagement et fertilisation standard ^a . Densité de charge = $0,6 \cdot m^{-2}$.
S2	Station satellite du BFAR située dans la région côtière du nord-ouest de Luçon. <i>Élevage en étangs</i> . Aménagement et fertilisation standard ^a . Densité de charge = $0,6 \cdot m^{-2}$.
S3	Station satellite du BFAR située sur les hautes terres du centre de Luçon (température = 18-20°C). <i>Élevage en étangs</i> . Densité de charge = $0,6 \cdot m^{-2}$.
P1	Station expérimentale ^b . <i>Élevage en étangs</i> . Aménagement et fertilisation standard ^a . Densité de charge = $0,6 \cdot m^{-2}$.
C1	Station satellite du BFAR située dans un bas-fonds près du lac Laguna dans le sud de Luçon. <i>Élevage en cages</i> dans un réservoir sans fertilisation ni alimentation. Densité de charge = $50 \cdot m^{-2}$.
C2	Station expérimentale ^b . <i>Élevage en cages</i> en réservoir sans fertilisation. Alimentation à raison de 20 % du poids du corps une fois par jour (70 % son de riz et 30 % farine de poisson). Densité de charge = $30 \cdot m^{-2}$.
C3	Station expérimentale ^b . <i>Élevage en cages</i> en étangs (aménagement et fertilisation standard ^a) avec alimentation complémentaire à raison de 10 % du poids du corps deux fois par jour (70 % son de riz et 30 % farine de poisson). Densité de charge = $22 \cdot m^{-2}$.
W1	Station expérimentale ^b . <i>Élevage en étangs</i> . Fertilisation aux fientes de volaille ($1.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) tous les 15 jours. Densité de charge = $0,6 \cdot m^{-2}$.
W2	Station expérimentale ^b . <i>Élevage en étangs</i> . Fertilisation avec des feuilles de ipil-ipil non traitées (<i>Leucaena</i> sp.) à raison de 50 kg de matière sèche $\cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$. Densité de charge = $0,6 \cdot m^{-2}$.
W3	Station expérimentale ^b . <i>Élevage en étangs</i> . Fertilisation avec des feuilles non traitées de patates douces (<i>Ipomea batata</i>) à raison de 50 kg de matière sèche $\cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$. Densité de charge = $0,6 \cdot m^{-2}$.
RP	Station expérimentale ^b . <i>Rizipisciculture</i> . Aménagement de tranchées (0,75 m largeur x 0,5 m profondeur). Parcelles plantées avec la variété de riz IR-70. Densité de charge = $0,5 \cdot m^{-2}$.

^aEngrais chimique (16-20-0) à raison de $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ et fientes de volaille à raison de $1.000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ tous les 15 jours.

^bAu Centre national de production de géniteurs du BFAR et au Centre d'aquaculture d'eau douce de l'université d'État de la région Luçon centre, Muñoz.

Tableau 2. Nombre de fingerlings *Oreochromis niloticus* individuellement marqués ; taux de mortalité estimé (%) et sexe ratio à la récolte dans les différents milieux d'élevage testés.

Milieux testés (voir tableau 1)	Nbre de poissons stockés	Mortalité estimée ^a (%)	Sexe ratio (M:F) ^b
S1	829	10	1,20:1
S2	702	12	0,95:1
S3	680	59	1,20:1
P1	2.714	25	0,96:1
C1	693	5	0,90:1
C2	104	4	0,79:1
C3	596	16	0,79:1
W1	212	49	1,10:1
W2	214	32	0,96:1
W3	218	38	0,97:1
RP	690	51	0,95:1

^aD'après Eknath et coll. (1993).

^bSexe ratio non significativement différent ($P < 0,05$) de 1:1.

Tableau 3. Poids corporel moyen (g) des femelles de sept souches de *Oreochromis niloticus* au bout de 90 jours d'élevage dans différents milieux expérimentaux.

Milieux testés (voir tableau 1)	Souches (voir texte)							Moyenne des milieux
	E1	Gh	Sé	Is	Si	Tw	Th	
S1	117,0	76,9	99,8	92,0	90,3	101,2	106,8	99,4
S2	55,3	33,5	39,7	45,9	48,5	49,0	49,8	46,5
S3	32,9	27,2	28,9	27,4	27,5	30,4	26,2	28,7
P1	75,4	42,1	57,1	57,8	55,9	65,6	60,7	59,0
C1	8,3	8,3	9,7	8,1	7,4	8,9	9,1	8,4
C2	26,4	22,2	28,3	21,5	18,1	23,6	30,2	22,7
C3	70,1	47,0	67,0	63,5	-	63,1	63,8	62,1
W1	26,8	23,4	23,2	23,9	19,9	22,0	19,3	22,7
W2	37,5	19,3	23,3	23,5	25,7	27,9	25,3	25,1
W3	26,2	18,5	25,2	27,7	24,9	30,5	26,1	25,3
RP	20,0	12,0	17,2	14,2	13,7	17,5	14,8	15,5
Moyenne des souches	66,7	38,2	49,1	46,2	41,3	52,2	51,8	

performances de croissance des autres souches étaient intermédiaires. Le poids corporel moyen des femelles de toutes les souches pour l'ensemble des milieux testés (moyenne des milieux ; Tableau 3) était aussi très variable, allant de 107 g pour S1 à 9,1 g pour C1.

Indices de reproduction dans les différents milieux testés

Les indices de reproduction de toutes les souches pour chacun des 11 milieux expérimentaux, calculés à l'occasion d'échantillonnages successifs, sont présentés sur la figure 1. Ces indices étaient très variables, allant de pratiquement 0 dans les milieux C1, C2, W1, W3 à 4,6 dans le milieu S1 à la récolte. Curieusement, les indices de reproduction étaient très variables dans les milieux de reproduction (C2, S3, W1, W2 et W3) où les poids corporels moyens en fin d'expérience étaient similaires (Fig. 1 et Tableau 3). Le milieu RP a donné un indice de reproduction relativement plus élevé par rapport à la moyenne des milieux.

Indices de reproduction des souches pour l'ensemble des milieux testés

Les indices de reproduction des différentes souches pour l'ensemble des milieux expérimentaux, calculés à l'occasion d'échantillonnages successifs, sont présentés sur la figure 2. Les activités de reproduction ont démarré 42 jours après la mise en charge. L'indice était très variable d'une souche à l'autre. L'indice des souches Philippines était relativement plus élevé au 63^{ème} jour (après la mise en charge) que l'indice des souches africaines. A la récolte toutefois, les souches Gh et Sé ont donné des indices plus élevés que les autres souches.

Les indices de reproduction des souches des quatre milieux d'élevage testés sont présentés dans le tableau 4 :

Étangs (S1). Indices très variables au 63^{ème} jour, avec les souches Philippines donnant des valeurs relativement plus élevées que les souches africaines. Toutefois, à la récolte, toutes les souches étaient actives et ont donné des indices similaires.

Étangs de basse température (S3). Pour les quelques femelles qui ont survécu, l'indice de reproduction était très variable. Les indices pour les souches Gh et Si étaient très inférieurs aux indices des autres souches.

Cages (C3). Bien que le poids corporel moyen dans ces milieux ait été relativement élevé (Tableau 3), les indices de reproduction des différentes souches étaient bas. A la récolte, la souche Gh a donné l'indice le plus élevé, et la souche E1, le plus bas.

Rizipisciculture (RP). Les indices de reproduction dans la rizipisciculture étaient bien plus hauts que dans les autres milieux et par rapport à la moyenne. Par ailleurs, les valeurs obtenues étaient très variables d'une souche à l'autre. Curieusement, les souches à la croissance la plus lente (Gh) ont donné les indices les plus hauts et les souches à la croissance la plus rapide (E1) ont donné les indices les plus bas.

Indices de reproduction et croissance

Les relations entre indice de reproduction et poids corporel moyen des différentes souches pour l'ensemble des milieux expérimentaux sont présentées sur la figure 3. Le début des activités de reproduction et les poids corporels moyens correspondant étaient très variables. La souche à la croissance la plus lente, Gh, était dans sa phase

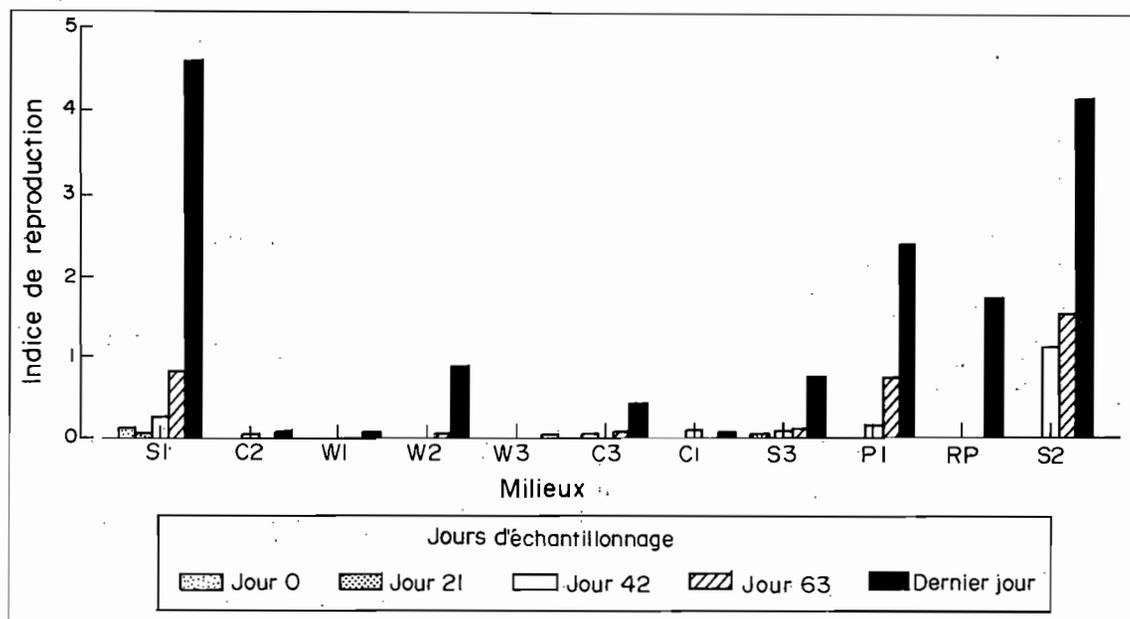


Fig. 1. Indices de reproduction pour les populations de *Oreochromis niloticus* dans 11 différents milieux d'élevage. Voir le texte et le tableau 1 pour un descriptif détaillé des milieux testés.

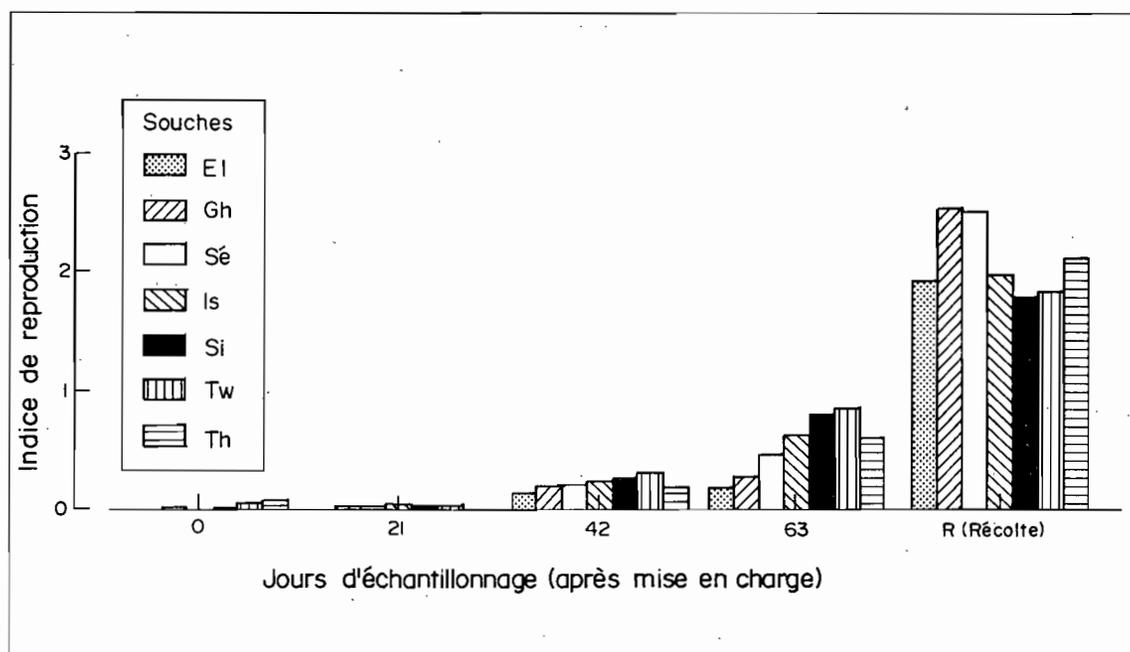


Fig. 2. Indices de reproduction de sept souches de *Oreochromis niloticus* dans tous les milieux testés (jour 0 = mise en charge ; jour R = récolte). Voir le texte pour une description des souches et de leurs origines.

Tableau 4, Indices de reproduction de sept souches de *Oreochromis niloticus* pour quatre milieux d'élevage représentatifs,

Milieux testés (voir tableau 1)	Souches (voir texte)	Jours d'échantillonnage (après la mise en charge)				
		0	21	42	63	90
S1	E1	0	0	0,07	0,45	4,67
	Gh	0,1	0	0,23	0,34	4,55
	Sé	0,13	0,04	0,29	0,63	4,65
	Is	0	0,12	0,13	1,10	4,69
	Si	0,15	0,10	0,41	1,27	4,51
	Tw	0,30	0,13	0,43	1,57	4,57
	Th	0,23	0	0,40	0,57	4,63
S3	E1	0	0	0	0	0,89
	Gh	0	0	0	0	0,21
	Sé	0	0	0	0	0,86
	Is	0	0	0	0	0,78
	Si	0,17	0	0,33	0	0,33
	Tw	0	0	0,35	0,75	1,20
	Th	0,22	0	0	0	0,94
C3	E1	0	0	0,04	0	0,13
	Gh	0	1,10	0	0,03	0,90
	Sé	0	0,06	0	0,06	0,17
	Is	0	0,10	0	0,19	0,56
	Si	*	*	*	*	*
	Tw	0	0,06	0	0,06	0,50
	Th	0	0	0,07	0,11	0,30
RP	E1	0	-	-	-	0,58
	Gh	0	-	-	-	3,30
	Sé	0	-	-	-	2,03
	Is	0	-	-	-	2,20
	Si	0	-	-	-	1,19
	Tw	0	-	-	-	1,22
	Th	-	-	-	-	1,61

* = la souche Si n'a pas été stockée dans C3.

- = pas d'échantillonnage intermédiaire.

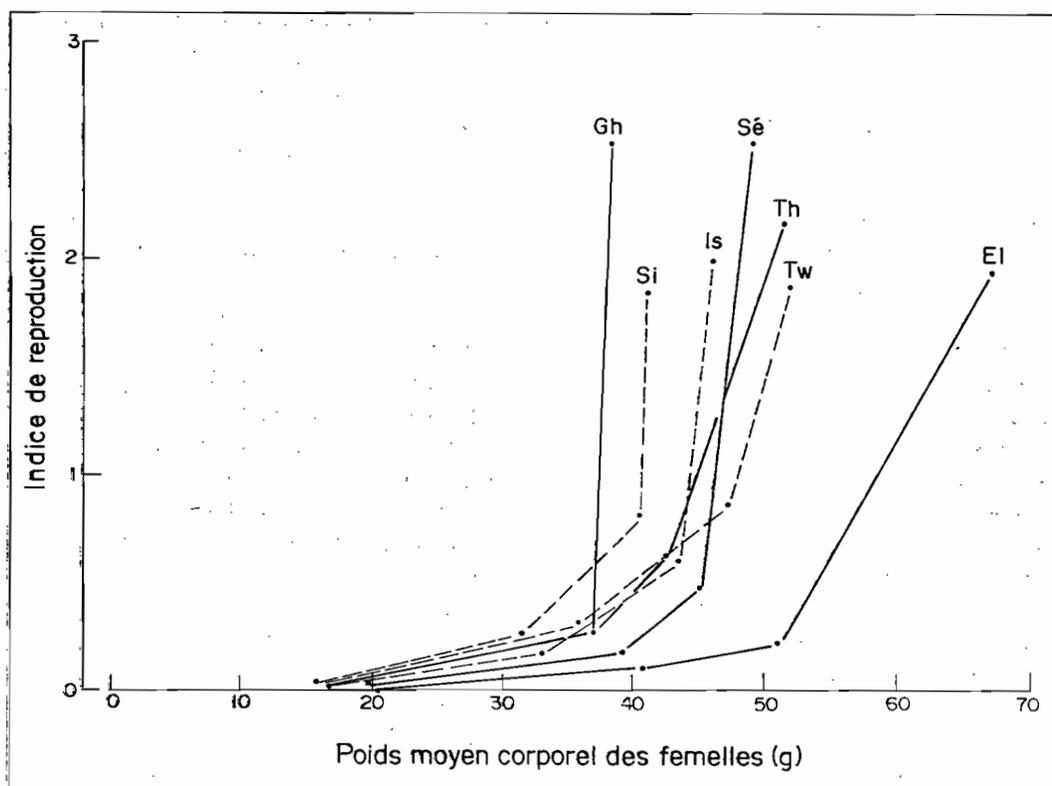


Fig. 3. Indice de reproduction en fonction du poids corporel moyen (g) de sept souches de femelles *Oreochromis niloticus* pour l'ensemble des milieux testés.

de reproduction la plus active quand son poids corporel moyen de récolte était inférieur à 40 g. En revanche, pour la souche à la croissance la plus rapide, E1, la reproduction a démarré à un poids corporel moyen plus élevé (52 g) mais elle atteint son plus haut indice de reproduction quand son poids corporel moyen était d'environ 67 g (poids corporel moyen environ 68 % supérieur à celui de la souche Gh).

Discussion

L'indice de reproduction ainsi qu'il a été mis au point ici fournit des renseignements précieux sur l'activité de reproduction des différentes souches de tilapias dans un ensemble de milieux d'élevage. Ainsi qu'on pouvait s'y

attendre, les indices de reproduction des femelles de poids corporels moyens comparables étaient relativement plus bas en cages que dans les autres milieux. Dans les étangs fertilisés où l'on trouve un substrat adéquat pour la construction du nid, les indices de reproduction étaient relativement élevés. Pour l'ensemble des milieux, il est apparu que la reproduction commençait quand les femelles atteignaient un poids corporel d'environ 25 g, exception faite pour la RP et les étangs fertilisés avec des feuilles et de la vigne de patate douce (W3). Dans le milieu RP, l'activité de reproduction a commencé à un poids corporel moyen plus bas, et dans le milieu W3, aucun signe d'activité de reproduction n'a été observé. Il est possible que les exsudats des feuilles et de la vigne puissent s'opposer à la

reproduction. Ceci fait actuellement l'objet de recherches dans le cadre du projet GIFT.

Des variations considérables ont été observées d'une souche à l'autre (Fig. 3). En général, les souches à la croissance la plus lente commencent leurs activités de reproduction plus tôt et à un poids corporel moyen relativement plus bas que les souches à la croissance plus rapide. Une étude connexe a pu mettre en évidence que les différences de performances de croissance des mâles et des femelles étaient spécifiques aux souches. Des différences dans les taux de croissance se sont révélées à un âge plus avancé et à des poids corporels moyens plus élevés chez les souches à la croissance plus rapide (E1) que chez les souches à la croissance plus lente (Gh) (Palada de Vera et Eknath, 1993).

Dans l'ensemble, les résultats présentés ici suggèrent que l'activité de reproduction des souches est relativement consistante pour l'ensemble des milieux d'élevage testés (Fig. 2). La croissance relative de ces mêmes souches a également montré des résultats consistants pour un grand nombre de milieux testés (Eknath et coll., 1993). Le projet GIFT a maintenant mis au point une population de base constituée par les souches les plus performantes et leurs croisements. Des travaux de sélection pour une croissance rapide sont en cours. Les objectifs suivants seront d'intégrer la procédure décrite ici et d'estimer l'activité de reproduction de familles de plein et de demi-frères et soeurs en vue de mettre au point un indice de sélection. Les activités de reproduction d'un certain nombre de familles seront contrôlées une fois au cours de leur cycle de reproduction. L'idée est d'attribuer une

note plus basse aux familles ayant des indices de reproduction relativement plus élevés lors de l'estimation de leur valeur reproductive. Dans l'intervalle, les recherches se poursuivront pour mettre au point des critères plus objectifs pour évaluer les performances de reproduction tant chez les mâles que chez les femelles.

Cette étude a mis l'accent sur l'estimation de l'activité de reproduction des tilapias femelles. Un indice de reproduction analogue pour les mâles, établi d'après la coloration de la robe nuptiale, l'expression de laitance en appuyant légèrement sur l'abdomen et le nombre de nids comptés après la vidange des bassins, a également fait l'objet d'un certain nombre d'études. Toutefois, ces critères ont été jugés peu pratiques étant donné que la coloration de la robe nuptiale varie considérablement d'une souche à l'autre, que l'expression de laitance est difficile à quantifier et que les nids sont pratiquement tous détruits au cours des récoltes à la senne et des vidanges. D'autre part, le comptage des nids s'est avéré pratiquement impossible dans la rizipisciculture.

Remerciements

Ces travaux font partie du projet de recherche collaborative sur l'amélioration génétique des tilapias d'élevage (GIFT), cofinancé par la Banque asiatique de développement (RETA 5279) et le Programme des Nations Unies pour le développement / Division des programmes à portée globale et interrégionale (INT/88/019). Nous remercions les Dr Hans Bentsen David Penman, Daniel Pauly et Roger S.V. Pullin pour leurs précieux commentaires et suggestions.

Littérature citée

- Eknath, A.E., M.M. Tayamen, M.S. Palada-de Vera, J.C. Danting, R.A. Reyes, E. Dionisio, J.B. Capili, H.L. Bolivar, T.A. Abella, A.V. Circa, H.B. Bentsen, B. Gjerde, T. Gjedrem et R.S.V. Pullin. 1993. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. *Aquaculture* 111:171-188.
- Maclean, J.L. 1984. Tilapia - the aquatic chicken. *ICLARM Newsl.* 7(1):17.
- Mair, G.C. et D.C. Little. 1991. Population control in farmed tilapias. *Naga, ICLARM Q.* 14(3):8-13.
- Palada-de Vera, M.S. et A.E. Eknath. 1993. Predictability of individual growth rates in tilapia. *Aquaculture* 111:147-158.
- Pullin, R.S.V. 1985. Tilapia: 'everyman's fish'. *Biologist* 32:84-88.
- Pullin, R.S.V., A.E. Eknath, T. Gjedrem, M.M. Tayamen, J.M. Macaranas et T.A. Abella. 1991. The genetic improvement of farmed tilapias (GIFT) project: the story so far. *Naga, ICLARM Q.* 14(2):3-6.

Recherche des mécanismes d'isolement chez les tilapias

U. FALTER

Département d'ichtyologie

Institut royal des sciences naturelles

29 rue Vautier, B-1040 Bruxelles, Belgique

FALTER, U., 1996. Recherche des mécanismes d'isolement chez les tilapias, p. 330-339. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias and D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Chez les tilapias, et surtout chez les espèces appartenant au genre *Oreochromis*, l'hybridation spontanée entre espèces est un phénomène fréquent et ne semble donc pas se produire au hasard. Vu les conséquences désastreuses (dans le milieu naturel) ou heureuses (en élevage) de ce phénomène, il est important d'en déterminer les facteurs. La présente étude examine le comportement de ces espèces, *O. niloticus* et *O. mossambicus* (deux souches différentes) principalement mais aussi *O. macrochir*, *O. aureus* ou *O. salinicolus* dans certains essais. Dans le cadre de ces expériences, les contacts intra et interspécifiques au cours de la parade nuptiale et l'accouplement proprement dit ont été étudiés. Bien que les signaux visuels, chimiques et/ou acoustiques aient permis d'identifier les partenaires homospécifiques, ces signaux semblent ne présenter qu'un intérêt limité, la principale barrière à l'accouplement étant le niveau d'agressivité propre à l'espèce, caractérisant non seulement les sexes mais aussi les espèces.

Introduction

Chez les tilapias, l'hybridation est un phénomène fréquent dans les milieux naturels et artificiels comme les lacs, les étangs ou les bassins. Les conséquences de cette hybridation sont soit désastreuses comme dans le milieu naturel, soit bénéfiques dans les milieux où est exercé un certain contrôle de la production. Au cours des dix dernières années, d'importants travaux et expériences ont été réalisés pour évaluer l'impact économique et biologique de l'hybridation des tilapias ; toutefois peu d'efforts ont été consentis à la recherche des mécanismes permettant cette hybridation, c'est-à-dire les mécanismes favorisant l'accouplement et la ponte chez des partenaires hétérospécifiques.

Il est important d'étudier ces mécanismes pour trois grandes raisons. La première est que l'existence

d'hybrides remet en question la notion d'espèce (Templeton, 1989). Chez les tilapias, cette remise en question se traduit par l'utilisation de critères de classification différents, le genre étant caractérisé soit par des critères de divergence au sein des populations naturelles soit par des critères de convergence. En second lieu, dès que deux espèces se rencontrent en eau libre suite à l'introduction volontaire ou accidentelle d'une au moins des deux espèces, l'hybridation spontanée qui en résulte a généralement un effet négatif sur la production naturelle dans ces eaux (Daget et Moreau, 1981). Une meilleure connaissance des mécanismes de l'hybridation permettrait de prédire avec plus grande précision les conséquences de ce type d'introductions. Troisièmement, comme l'élevage d'hybrides dans des systèmes de production contrôlés peut présenter certains avantages

économiques, une meilleure connaissance des mécanismes sous-jacents pourrait non seulement améliorer les techniques de production d'hybrides mais pourrait également encourager la réalisation de nouveaux croisements hybrides d'intérêt aquacole pour les milieux où les conditions sont extrêmes, comme ceux où la salinité est très élevée.

Comme la reproduction interspécifique chez les tilapias fait intervenir des facteurs comportementaux, l'étude des mécanismes d'isolement a été réalisée par des méthodes éthologiques. Nous nous sommes limitées aux espèces dont les femelles pratiquent l'incubation buccale, sous-groupe au sein duquel l'hybridation spontanée a lieu fréquemment et présente un intérêt technique et économique certain.

Mécanismes d'isolement chez *Oreochromis* spp.

Le tableau 1 adapte les catégories de mécanismes d'isolement décrites par Dobzhansky (1970) aux espèces appartenant au genre *Oreochromis* en les formulant en termes éthologiques toutes les fois que des mécanismes comportementaux interviennent. Chez les espèces de ce genre, l'incubation buccale fait partie des soins parentaux. Il apparaît, d'après ce tableau, que même si le sujet est limité aux mécanismes éthologiques, un grand nombre de facteurs, y compris le site particulier qu'occupe le nid ou la période de ponte, doivent être examinés dans le milieu naturel, les facteurs liés à la communication entre partenaires pouvant être aisément étudiés en laboratoire.

Cette étude, qui porte sur la communication interspécifique des partenaires, examine les effets des signaux visuels, chimiques et acoustiques sur le comportement du partenaire hétéro-

spécifique, et analyse l'enchaînement des interactions comportementales au cours de la parade nuptiale interspécifique.

Signaux visuels

La vision joue un rôle prédominant dans le comportement des Cichlidés, y compris lors de la ponte (Baerends et Baerends-Van Roon, 1950). Les partenaires sont visuellement informés du statut sexuel du partenaire éventuel soit par ses caractéristiques morphologiques qui peuvent être permanentes (caractéristiques sexuelles secondaires) ou temporaires (protrusion d'organes spécifiques [papille génitale], parade ou couleur de robe particulière) soit par la forme et l'enchaînement particulier de ses actes.

Afin d'évaluer la facilité avec laquelle les Cichlidés reconnaissent leurs congénères à partir de signaux visuels, une expérience a été mise au point pour suivre le comportement des femelles de *O. niloticus*, *O. mossambicus* (souche albinos) ou d'hybrides F_1 ayant ovulé, envers des mâles des deux espèces pures. Des mâles de poids similaire confinés derrière une vitre ont été mis en présence des femelles tout d'abord séparément, puis collectivement comme décrit dans Falter et Charlier (1989). Une fois l'expérience terminée, les femelles ont été autorisées à rejoindre le mâle de leur choix.

En général, les femelles ont choisi les mâles de leur propre espèce. Toutefois, certaines femelles étaient non seulement attirées par des mâles hétérospécifiques mais elles acceptaient de se reproduire avec eux (Tableaux 2 et 3). Aussi, les probabilités d'accouplement étaient différentes selon l'espèce à laquelle le mâle et la femelle appartenaient. Les croisements entre les femelles de *O. mossambicus* et les mâles de *O. niloticus*

Tableau 1. Mécanismes d'isolement chez les espèces de *Oreochromis* spp.

Barrières de mâles	Mâle d'une espèce	Processus/résultats	Femelle d'une autre espèce	Barrières des femelles
Pré-accouplement	Mature et ayant des impératifs particuliers au niveau du site et de la période de la ponte Comportement nuptial inné et expérience individuelle possible avec des partenaires précédents Equilibre entre les motivations sexuelles, belliqueuses et de fuite	Contact Même endroit, même période Acceptation mutuelle comme partenaire potentiel Ajustement réciproque du comportement au cours de la parade nuptiale pour atteindre la synchronisation de l'accouplement (90 sec.)	Mature et ayant des impératifs particuliers au niveau du site et de la période de ponte Comportement nuptial inné et expérience individuelle possible avec des partenaires précédents Equilibre entre les motivations sexuelles, belliqueuses et de fuite	Ethologiques
Aucune (accouplement)	Fécondation	Fusion de gamètes	Oviposition	Aucune
Post-accouplement	Développement contrôlé dans certains cas par le mâle	Oeufs Larves Alevins Viabilité et flexibilité des hybrides F ₁ , F ₂ et F _n	Développement contrôlé dans la plupart des cas par la femelle	Multiples

Tableau 2. Temps (en secondes) que les trois catégories de femelles ont passé près des mâles de *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* ou dans la zone neutre (moyennes et erreurs standards des moyennes) (Test de Wilcoxon).

Type de femelles	<i>Oreochromis mossambicus</i> mâle	<i>Oreochromis niloticus</i> mâle	Zone neutre	Prob.
Hybride	426 (317)	498 (372)	876 (312)	N.S.
<i>O. mossambicus</i>	766 (196)	259 (180)	775 (276)	<0,0001
<i>O. niloticus</i>	227 (148)	881 (358)	692 (249)	<0,0001

ont régulièrement abouti à une oviposition tandis que les croisements inverses n'ont atteint ce stade qu'avec difficulté, dû principalement à l'agressivité excessive des femelles de *O. niloticus*. Le choix des partenaires chez les femelles hybrides était moins limité que chez les femelles pures, les femelles hybrides acceptant pareillement les mâles des deux espèces parentales.

D'après les résultats de cette expérience, on peut conclure que dans la plupart des rencontres, les signaux visuels assurent seuls la reconnaissance du partenaire. Toutefois, ces stimulus ne sont pas suffisants pour empêcher les accouplements interspécifiques dans tous les cas, dans la mesure où certaines femelles sont nettement plus attirées par le mâle hétérosppécifique en dépit des différences de coloration et des différences dans la forme et la fréquence de son comportement nuptial.

Signaux chimiques

Chez les femelles Cichlidés, des phéromones sexuelles étant libérées suite à l'ovulation, le rôle de ces signaux chimiques a fait l'objet d'une seconde série d'essais (Falter et Dolisy, 1989). Cette fois-ci, le but des expériences était de confirmer l'existence de phéromones sexuelles chez les femelles de *O. niloticus* et *O. mossambicus* prêtes à pondre, de déterminer la spécificité de ces substances et d'évaluer la préférence des mâles hybrides (parents : ♀ = *O. niloticus*, ♂ = *O. mossambicus* souche albinos) pour les signaux chimiques émis par les femelles des deux espèces parentales.

Des échantillons d'eau, censés contenir des phéromones, ont été prélevés dans des petits bassins où des femelles de l'une ou l'autre espèce ayant ovulé avaient été isolées pendant quatre à six heures. Les prélèvements ont été

Tableau 3. Incidence de l'oviposition pendant et après les tests de sélection des partenaires.

Type de femelles	Fréquence de l'oviposition	Au cours du test avec :		Au cours des 15 heures suivant le test avec :		Seules
		<i>Oreochromis mossambicus</i> mâle	<i>Oreochromis niloticus</i> mâle	<i>Oreochromis mossambicus</i> mâle	<i>Oreochromis niloticus</i> mâle	
Hybride	14/17	0	1	5/6	6/6	2/5
<i>O. mossambicus</i>	3/13	1	0	0/4	2/4*	0/5
<i>O. niloticus</i>	0/12	0	0	0/4	0/4	0/4

*Une femelle de *O. mossambicus* a été placée dans le compartiment du mâle de *O. niloticus* après le test.

transférés dans des flacons de Baxter et versés goutte à goutte aux deux extrémités du bassin contenant des mâles. Un miroir a été placé à chacune de ces extrémités pour fournir un élément de neutralité vers lequel le mâle pouvait diriger ses comportements sexuels et/ou ses agressions.

Les quatre séries d'expériences suivantes ont eu pour objet d'évaluer les réactions des mâles de *O. niloticus* ou hybrides F_1 (parents : ♀ = *O. niloticus*, ♂ = *O. mossambicus*) aux stimulations chimiques dans les bassins expérimentaux :

- Série 1 :
O. niloticus ♂ : eau claire
 contre
O. niloticus ♀ ayant ovulé
- Série 2 :
O. niloticus ♂ : *O. niloticus* ♀ ayant ovulé
 contre
O. niloticus ♀ n'ayant pas ovulé
- Série 3 :
O. niloticus ♂ : *O. mossambicus* ♀ ayant ovulé
 contre
O. niloticus ♀ ayant ovulé
- Série 4 :
 Hybride F_1 ♂ : *O. mossambicus* ♀ ayant ovulé
 contre
O. niloticus ♀ ayant ovulé

Dans la série 1, les mâles de *O. niloticus* ont dirigé la plupart de leurs activités du côté du bassin contenant l'échantillon prélevé dans le bassin de la femelle ayant ovulé (Tableau 4). Dans la série 2, les mâles de *O. niloticus* ont dirigé leur l'activité sexuelle plus du côté contenant l'échantillon prélevé dans le bassin de la femelle ayant ovulé que du côté contenant l'échantillon de la femelle n'ayant pas ovulé. Dans la série 3, les mâles de *O. niloticus* ont dirigé leurs activités de préférence du côté de l'échantillon provenant des femelles de la même espèce mais aussi du côté des femelles hétérosécifiques. Dans la série 4, les hybrides mâles F_1 étaient plus attirés par l'échantillon prélevé dans le

bassin des femelles de *O. niloticus*, c'est-à-dire l'espèce de leurs propres mères.

Les conclusions que l'on peut tirer concernant les signaux chimiques sont donc similaires à celles que l'on a tirées au sujet des signaux visuels. A l'ovulation, les femelles libèrent une substance chimique qui attire les mâles. Par ailleurs, les mâles savent différencier les phéromones libérées par des femelles d'espèces différentes bien que les substances libérées par les femelles hétérosécifiques les attirent également.

Signaux acoustiques

Les Cichlidés communiquent également par des signaux acoustiques, particulièrement lors de la défense du territoire et de la parade nuptiale, ce qui a déterminé certains chercheurs à entreprendre des travaux préliminaires sur ce type de comportement. Dans le cadre de la présente étude, les expériences réalisées ont porté sur des mâles de plusieurs espèces de *Oreochromis* placés dans de grands bassins insonorisés dans lesquels un comportement de défense du territoire de reproduction pouvait être observé. Le sonogramme des fréquences de sons émis par les poissons de chaque espèce a révélé des différences propres aux espèces. L'utilisation d'un hydrophone a permis de rendre ces différences perceptibles par l'oreille humaine, le mâle territorial de *O. niloticus* émettant des sons uniques très distincts (quatre à cinq coups) et les mâles territoriaux de *O. mossambicus* émettant plusieurs sons consécutifs moins distincts (roulement de tambour). Les femelles émettaient aussi des sons, mais seulement dans des phases d'agressivité et jamais pendant la ponte. La communication intersécifique n'a pas fait l'objet de recherches.

Dans l'ensemble, les résultats que nous avons obtenus sur la communication

Tableau 4. Différences dans les fréquences des morsures et des mouvements de creusement du nid (et temps en secondes) entre des mâles *Oreochromis niloticus* (N) ou des hybrides F₁ (H) (les deux types : n=12) mis en présence soit d'une femelle *O. niloticus* ayant ovulé ou d'un autre traitement.

Séries	Comportement	♀ ayant ovulé	Autre traitement	Probabilité
1(N)			eau claire	
	Morsure	42,9	7,7	<0,01
	Creusement	21,5	0,6	<0,02
	Temps	631	260	<0,001
2(N)			♀ <i>O. niloticus</i> n'ayant pas ovulé	
	Morsure	14,6	4,3	<0,001
	Creusement	14,5	3,4	<0,001
	Temps	600	299	<0,001
3(N)			♀ <i>O. mossambicus</i> ayant ovulé	
	Morsure	38,1	10,4	<0,01
	Creusement	11,4	2,8	<0,01
	Temps	587	313	<0,001
4(H)			♀ <i>O. mossambicus</i> ayant ovulé	
	Morsure	7,2	4,4	<0,005
	Creusement	11,7	3,7	<0,001
	Temps	486	414	<0,05

sensorielle confirment que chaque espèce met au point ses propres signaux visuels, olfactifs et acoustiques qui lui permettent de distinguer sa propre espèce d'une autre espèce relativement proche. Toutefois, ces distinctions ne semblent pas refléter des préférences radicales du type "tout ou rien" mais traduiraient plutôt un certain type de préférence qui pourrait conduire, dans certains cas, à des préférences individuelles pour les autres espèces.

Séquences nuptiales au cours des contacts Intra et Interspécifiques

D'après les résultats des expériences réalisées dans le cadre de cette étude, il semblerait que l'émission de signaux sensoriels ne suffit pas à elle seule à empêcher l'hybridation. S'il existe des

barrières à l'accouplement, celles-ci devraient pouvoir intervenir pendant la phase de parade nuptiale en perturbant les interactions comportementales nécessaires à la synchronisation mutuelle des partenaires. Comme les espèces de *Oreochromis* ne vivent pas en couple, la phase de parade nuptiale est généralement courte, variant, dans les conditions expérimentales en laboratoire, de quelques minutes à plusieurs heures. Vu que cette période est relativement courte, les mécanismes d'isolement du couple doivent être très efficaces.

La dynamique du comportement pendant la phase de parade nuptiale a été examinée dans le cadre d'une expérience où des mâles et femelles de *O. niloticus* et *O. macrochir* ont été mis en présence lors de contacts intra et interspécifiques (Falter et Dufayt, 1991). Les séquences des différents schémas comportementaux entre mâles et femelles ont été relevées

et les observations ont duré jusqu'à ce que la femelle dépose sa première ponte ou qu'un des deux poissons s'éloigne définitivement.

Le succès de la ponte dépend du type de croisement, une barrière efficace empêchant l'hybridation entre les femelles de *O. niloticus* et les mâles de *O. macrochir* (Tableau 5). La comparaison des séquences comportementales observées dans les quatre croisements offrirait une explication du mécanisme qui empêcherait l'hybridation dans ce croisement particulier. Cette comparaison a révélé que les séquences comportementales pouvaient être classées en deux catégories, la première consistant en actes exécutés en dehors du nid (des agressions et la parade nuptiale pour la plupart), la seconde en actes exécutés à l'intérieur du nid (liés pour la plupart à la parade nuptiale et à la ponte). Des différences propres à l'espèce sont apparues essentiellement dans la première catégorie ; les femelles et les mâles de *O. niloticus* étaient plus agressifs que les femelles et les mâles de *O. macrochir*. Les deux rencontres interspécifiques étaient également caractérisées par des différences au niveau de l'agressivité manifestée. En effet, les agressions étaient pratiquement absentes dans le croisement aboutissant à l'oviposition alors qu'elles

étaient la caractéristique principale du comportement de l'autre croisement dans lequel les interactions entre partenaires ont cessé avant la ponte.

Ces résultats suggèrent que les interactions entre les femelles de *O. niloticus* et les mâles de *O. macrochir* ont été perturbées par l'agressivité excessive des femelles. Deux explications possibles : soit les mâles de *O. macrochir* n'étaient pas suffisamment agressifs pour résister aux agressions des femelles de *O. niloticus* soit les femelles de *O. niloticus* n'ont pas accepté les mâles de *O. macrochir* en raison de leur couleur et ont donc manifesté de l'agressivité envers eux. En effet, les mâles de *O. macrochir* étaient de couleur noire tandis que les mâles territoriaux de *O. niloticus* sont de couleur vive.

Afin d'éprouver ces deux explications, des femelles de *O. niloticus* ont été mises en présence d'hybrides mâles F_1 de couleur presque identique à celle des mâles de *O. macrochir*, c'est-à-dire presque aussi noire, et de niveau d'agressivité semblable à celui des mâles de *O. niloticus*, c'est-à-dire presque aussi agressifs. Dans six des neuf essais réalisés, les femelles de *O. niloticus* ont facilement accepté de s'accoupler avec les hybrides mâles F_1 , révélant qu'un certain niveau d'agression était essentiel à la réussite de l'accouplement, la

Tableau 5. Succès de la ponte lors de deux contacts intra et interspécifiques de *Oreochromis* spp. (Falter et Dufayt, 1991).

Femelles	Mâles	
	<i>O. niloticus</i>	<i>O. macrochir</i>
<i>O. niloticus</i>	6 pontes sur 11 tentatives	0 ponte* sur 7 tentatives
<i>O. macrochir</i>	6 pontes sur 10 tentatives	6 pontes sur 7 tentatives

*Six sur sept de ces femelles de *O. niloticus* ont pondu immédiatement quand elles ont été mises en contact avec un mâle de leur propre espèce.

coloration dans cette période d'activité sexuelle ne jouant, si toutefois, qu'un rôle secondaire.

Ces résultats indiquent clairement que les espèces appartenant au genre *Oreochromis* ont mis au point des signaux et des modes d'interaction propres à leur espèce. Au sein de ce groupe d'incubateurs buccaux maternels, les caractéristiques propres à l'espèce semblent avoir évolué de façon quantitative plutôt que qualitative, les animaux exprimant des préférences plus marquées pour les caractères de leur propre espèce mais restant toutefois réceptifs aux signaux émis par d'autres espèces.

Cette règle quantitative s'applique aussi à l'agressivité, la seule barrière efficace opérant au niveau du comportement. L'agressivité est un élément essentiel de la réussite de la reproduction. Les mâles doivent généralement expulser les autres mâles du territoire de ces derniers par des agressions répétées pour y avoir eux-mêmes accès. Une fois que leur tentative a réussi, ils doivent lutter soit pour accéder à un meilleur territoire soit pour le défendre contre des rivaux éventuels. Quand une femelle s'approche du nid d'un mâle, elle est, au début, souvent traitée comme un mâle et se fait chasser. Les femelles, dont l'agressivité a considérablement augmenté dans la période précédant l'ovulation, résistent généralement à ces attaques et retournent vers le mâle. Dans la plupart des cas, les mâles adaptent leur comportement assez rapidement, passant du mode agressif au mode nuptial. Dans certains cas, cependant, les mâles, particulièrement ceux qui doivent défendre un domaine convoité, ne parviennent pas à changer de stratégie et continuent à attaquer les femelles. Dans ce cas, les femelles se dirigent vers un autre mâle qui les accepte volontiers

tout en assurant encore la garde du nid contre les éventuels intrus. Le rôle que l'agressivité remplit dans la réussite de la ponte a été examiné lors d'une expérience au cours de laquelle les interactions entre les femelles et les mâles de *O. mossambicus* ont été suivies pendant plusieurs mois dans des petites unités de reproduction (Falter et Foucart, 1991). Ainsi, bien que les agressions répétées puissent parfois compromettre la ponte même au sein d'une population homospécifique, la manifestation d'agressivité entre les deux sexes trouve généralement un équilibre, c'est-à-dire qu'elle reste suffisamment élevée chez les femelles pour leur permettre de résister aux attaques des mâles de leurs propres espèces.

Un des effets de ces barrières quantitatives est que les différences entre individus présentent un intérêt considérable pour l'hybridation. En fait, il est possible de classer les espèces selon une échelle d'agressivité où l'on observe des zones de chevauchement entre certaines espèces. De plus, en adaptant le milieu aux impératifs comportementaux des espèces les plus exigeantes, il devrait être possible d'élargir le champ d'interactions possibles entre les individus de deux espèces différentes.

Les résultats de cette analyse nous conduisent à deux applications pratiques. A la question de savoir s'il faut introduire une espèce de tilapia dans un milieu naturel quelconque, la réponse devrait dépendre de l'inventaire qui aura été réalisé des espèces existant déjà dans ce milieu particulier. Dans le cas où deux espèces du même genre se rencontraient, le risque d'hybridation spontanée devrait être élevé en raison de la grande plasticité du comportement des individus. En revanche, ce risque sera limité dans le cas de rencontres intergénériques, l'hybridation intentionnelle

n'existant pas entre les espèces du genre *Sarotherodon* et celles du genre *Oreochromis* (Fishelson, 1988) ainsi qu'entre les espèces du genre *Tilapia* et celles du genre *Oreochromis* (Lovshin, 1982).

Ces résultats pourraient contribuer à une exploitation plus systématique de la tendance qu'ont les tilapias à s'hybrider spontanément entre eux. De nouveaux croisements pourraient être testés. A cet égard, le croisement entre *O. niloticus* et *O. salinicolus* semble être particulièrement prometteur car il pourrait produire un hybride résistant aux salinités élevées et aux fluctuations extrêmes de températures. *O. salinicolus* est une espèce où les femelles pratiquent l'incubation buccale, vivant dans les sources salines de Mwashia (Shaba, Zaïre) et résistant à la salinité élevée et aux très hautes températures. Leur croissance semble être limitée dans le milieu naturel, leur longueur totale variant entre 1,5 et 9,0 cm (Thys van den Audenaerde, 1964). Dans les conditions expérimentales d'un laboratoire, l'adaptation progressive à l'eau douce donne des taux de croissance beaucoup plus élevés : un des individus élevés en captivité a atteint 22,5 cm et pesait 217 g au bout de trois ans (données non publiées). Les individus capturés dans la nature sont extrêmement agressifs une fois transférés en laboratoire, ce qui nécessite de les placer dans de très grands aquariums. Toutefois, leur comportement de reproduction est similaire à celui d'autres espèces du genre *Oreochromis*, et l'hybridation devrait par conséquent être possible.

Conclusion

Chez les tilapias, l'hybridation est fréquente mais les barrières éthologiques observées chez ces espèces

agissent plus comme mécanismes d'espacement que d'isolement. Par ailleurs, on a pensé que chez les tilapias, le taux de spéciation était relativement faible, les poissons étaient davantage des généralistes, et l'hybridation était plutôt accidentelle. Toutefois, vues les caractéristiques particulières (grande tolérance aux conditions environnementales, bonne résistance aux diverses pathologies, reproduction efficace, plasticité comportementale élevée, etc.) de ce groupe (Fryer et Iles, 1972), l'hybridation pourrait aussi être un processus actif par lequel ces espèces opposent leur tendance à la spéciation, ce qui leur permettrait de rester des généralistes. Cette vue répondrait à la notion de cohésion de l'espèce proposée par Templeton (1989) qui définit une espèce comme étant la population qui comprend le plus d'individus présentant un certain potentiel de cohésion phénotypique que leur permet une certaine échangeabilité génétique et/ou démographique. Toutefois, cette définition va au-delà des seuls critères de reproduction.

Remerciements

Je tiens à remercier les professeurs G. Thinès, J.C. Micha et J.P. Gosse pour leurs conseils et leurs encouragements.

Littérature citée

- Baerends, G.P. et J.M. Baerends-Van Roon. 1950. An introduction to the study of the ethology of cichlid fishes. Behaviour (Suppl.) 1:1-242.
- Daget, J. et J. Moreau. 1981. Hybridation introgressive entre deux espèces de *Sarotherodon* (Pisces: Cichlidae) dans un lac de Madagascar. Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. (France) (4e Sér.) 3(2):689-703.
- Dobzhansky, T. 1970. Genetics of the evolutionary process. Columbia University Press, New York.

- Falter, U. et D. Dolisy. 1989. The effect of female sexual pheromones on the behaviour of *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* and hybrid males (Pisces: Cichlidae). Proceedings of the Fourth Workshop on Biology, Ecology and Conservation of Cichlids, Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique. Ann. Sci. Nat. (B Zool) 257:35-38.
- Falter, U. et M. Charlier. 1989. Mate choice in pure-bred and hybrid females of *Oreochromis niloticus* and *O. mossambicus* based upon visual stimuli (Pisces: Cichlidae). Biol. Behav. 14:265-276.
- Falter, U. et D. Foucart. 1991. Territorial competition and sexual selection in the colonial mouthbrooder *Oreochromis mossambicus* (Pisces: Cichlidae). Proceedings of the Fifth European Congress "Biology of Cichlids", Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique. Ann. Sci. Nat. (B Zool) 263:65-72.
- Falter, U. et O. Dufayt. 1991. Behavioural isolating mechanisms in *Tilapia* species. Courtship sequences in intra- and interspecific encounters. Proceedings of the Fifth European Congress "Biology of Cichlids," Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren, Belgique. Ann. Sci. Nat. (B Zool) 263:59-64.
- Fishelson, L. 1988. Behavior and gonadal structure of intergeneric (*Oreochromis-Sarotherodon*) *Tilapia* hybrids, p. 159-167. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on *Tilapia* in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Fryer, G. et T.D. Iles. 1972. The cichlid fishes of the great lakes of Africa. Their biology and evolution. Oliver and Boyd, Edinburgh. 641 p.
- Lovshin, L.L. 1982. *Tilapia* hybridization, p. 279-308. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Templeton, A.R. 1989. The meaning of species and speciation. A genetic perspective, p. 3-28. In D. Otte et J.A. Endler (éds.) Speciation and its consequences. Sinauer Associates Inc., Publ., Sunderland, Massachusetts.
- Thys van den Audenaerde, D.F.E. 1964. Révision systématique des espèces congolaises du genre *tilapia* (Pisces: Cichlidae). Musée royal de l'Afrique centrale; Tervuren, Belgique. Ann. Sci. Nat. (B Zool) 124:100-102.

Plasticité du cycle parental chez *Oreochromis niloticus*

J.Y. GAUTIER^a
 M.A. RICHARD-YRIS
 B. LE FAUCHEUX
 M. FORASTE

Laboratoire d'éthologie, CNRS URA 0373
 Université de Rennes I
 Avenue du Général Leclerc
 35042 - Rennes Cédex, France

GAUTIER, J.Y., M.A. RICHARD-YRIS, B. LE FAUCHEUX et M. FORASTE. 1996. Plasticité du cycle parental chez *Oreochromis niloticus*, p. 340-346. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Appliquée aux femelles incubantes de *Oreochromis niloticus*, la méthode des adoptions croisées (adoption de jeunes alevins après retrait des oeufs ou d'oeufs après retrait des alevins) a mis en évidence une plasticité du comportement maternel chez cette espèce :

- Au rajeunissement de la ponte (adoption d'oeufs) correspond un accroissement net de la durée totale du cycle parental et de chacune de ses phases (incubation avant et après sortie, agressivité). Le vieillissement de la ponte (adoption d'alevins) produit des effets inverses, le raccourcissement de la phase d'incubation après sortie des alevins étant le plus net.

Les femelles tendent donc à ajuster leur comportement parental à l'âge de la ponte, cependant par rapport à l'âge des alevins à la première sortie, cet ajustement n'est pas optimal. Ceci permet d'envisager un double contrôle du comportement maternel : un contrôle externe impliquant les stimulations buccales par la ponte et un contrôle interne dont la nature reste encore à préciser.

Introduction

La présence d'un comportement parental complexe est une des caractéristiques majeures du cycle reproducteur des espèces appartenant aux genres *Sarotherodon* et *Oreochromis* (Cichlidés) (Ruwet et coll., 1976 ; Perrone et Zaret, 1979). La physiologie de la reproduction de ces espèces a fait l'objet de nombreuses études qui ont largement contribué au développement de leur élevage (Baroiller et Jalabert, 1989).

Nos recherches sur *Oreochromis niloticus* ont pour objectif d'analyser la régulation du comportement maternel. Après la ponte et fécondation des oeufs, la femelle les prend en bouche. Elle incube ainsi ses oeufs puis les alevins, l'éclosion ayant lieu dans la cavité buccale.

Cette première phase d'incubation buccale normalement ininterrompue se termine par la sortie massive de tous les alevins. Commence alors une seconde phase caractérisée par des incubations de durées variables de tout ou partie des alevins avec reprise totale durant la nuit, et des comportements agressifs de la femelle qui défend ainsi les alevins. Ce gardiennage persiste alors que toute incubation diurne a cessé. Puis la femelle

^aRecherche réalisée dans le cadre du Groupement de concertation scientifique sur les bases biologiques de l'aquaculture (GCS BBA), "Groupe aquaculture tropicale".

se désintéresse des alevins et le cannibalisme est fréquent si les alevins et la femelle sont maintenus dans le même aquarium.

La présente étude vise à préciser le rôle des stimulations buccales exercées par les oeufs et les alevins dans l'organisation séquentielle et la durée de ces différentes phases du cycle maternel. Pour ce faire, nous avons utilisé une méthode d'adoptions croisées amenant soit à un rajeunissement soit à un vieillissement de la ponte (oeufs ou alevins) incubée.

Matériel et méthodes

Animaux et maintenance

Les animaux (*O. niloticus*) provenaient de l'élevage de Pisci-Meuse à Tihange en Belgique. Le poids moyen des femelles était 304,6 g ($\pm 7,8$), celui des mâles était compris entre 450 et 500 g. Les femelles prélevées dans un élevage de masse où mâles et femelles vivent séparés, ont été pesées, marquées de façon individuelle (bleu alcyan) puis regroupées à raison de trois à six individus dans un aquarium de 300 litres au fond garni de gravier. Un circuit d'eau chaude ($26 \pm 1,5^\circ\text{C}$) alimentait les aquariums situés dans une pièce où règne une photopériode de type 12/12. Les animaux étaient nourris deux fois par jour avec un aliment complet (2 g par 100 g de poids).

Lorsque une femelle présentait des signes de réceptivité sexuelle, notamment le développement de la papille génitale, elle était transférée dans un aquarium de 300 litres où un mâle reproducteur était établi. Après la ponte et la fécondation, la femelle était guidée dans un seau lesté. Après avoir refermé le seau, la femelle était transportée dans un aquarium de 120 litres. Les femelles incubantes étaient donc isolées n'ayant que des contacts visuels avec les congénères. Elles n'étaient plus nourries jusqu'à la sortie des alevins.

Lots expérimentaux

Trois lots de femelles ont été utilisés :

- un lot "témoin", $n=21$; les femelles après fécondation de leur ponte incubaient leurs oeufs puis les alevins, sans intervention particulière ;
- un lot "adoption d'oeufs", $n=10$; les femelles après incubation de leur ponte puis de leurs jeunes alevins ont été soumises à une procédure d'adoption d'oeufs (Tableau 1) ; et
- un lot "adoption d'alevins", $n=12$; les femelles qui incubent leurs oeufs ont été soumises à une procédure d'adoption de jeunes alevins (Tableau 1).

Technique d'adoption croisée

Les deux femelles incubant l'une des oeufs l'autre des alevins étaient à nouveau guidées dans un seau lesté.

Tableau 1. Age de la ponte adoptée (oeufs ou alevins de *Oreochromis niloticus*) et durée préalable d'incubation des femelles adoptives (intervalle entre les dates de ponte et d'adoption).

	Age de la ponte adoptée : oeufs ou alevins	Intervalle ponte-adoption
Adoption d'oeufs	1 à 3 jours	7 à 12 jours
Adoption d'alevins	7 à 12 jours	1 à 3 jours

Le seau contenant une femelle était refermé et sorti de l'aquarium. Chacune des femelles était ensuite capturée à la main afin de provoquer une régurgitation des oeufs ou des alevins dans le seau. Ceux-ci étaient déposés ensuite dans l'aquarium de la femelle adoptive sur une partie du fond dégagée du gravier. Aussitôt après, la femelle receveuse était introduite dans l'aquarium.

Les premiers essais d'adoption ont été réalisés sans anesthésie. Par la suite, les femelles ont été anesthésiées au phénoxyéthanol dans le seau afin de réduire les effets stressants de la manipulation. Les comportements ne semblant pas être modifiés par une anesthésie légère, celle-ci a été systématiquement utilisée. L'âge de la ponte adoptée ainsi que la durée préalable d'incubation des femelles adoptives sont présentés dans le tableau 1.

Mesures effectuées

Nous avons retenu quatre paramètres exprimés en jour : le temps d'incubation totale depuis la ponte de la femelle jusqu'à la "première sortie" des alevins (100 % des alevins à l'extérieur) ; l'âge réel des alevins à la première sortie ; le temps d'incubation après sortie des alevins, correspondant au nombre de jours après la première sortie pendant lesquels la femelle reprend encore tout ou partie des alevins, notamment la nuit ; et la durée d'agressivité de la femelle après la première sortie. Chaque jour on notait si la femelle présentait des comportements agressifs en réponse à l'avancée de la main le long de l'aquarium.

Analyse statistique

Une analyse de variance a permis la comparaison globale des trois lots

expérimentaux. Lorsque les valeurs de F se révélaient significatives, les moyennes des différents traitements étaient alors comparées au niveau de probabilité de 5 % (PLSD de Fisher et test de Scheffé).

Résultats

Comportement des femelles lors des adoptions

ADOPTION DES ALEVINS

L'expérimentation a été réalisée sur 14 femelles mais, en raison de problèmes techniques (capture d'une femelle, date imprécise de sortie des alevins pour une autre), les résultats n'ont été analysés que pour 12 animaux. La prise en bouche des alevins a été rapide, pouvant commencer dès la réunion des alevins et de la femelle, et la reprise a été totale ou quasi totale en moins de 30 minutes pour neuf des femelles, entre 40 et 90 minutes pour trois autres. Enfin, pour deux femelles, l'incubation des alevins n'a été effective qu'au-delà de six heures.

Le nombre d'alevins adoptés variait d'une centaine à 500 et le jour de la sortie, leur nombre n'a pas diminué ou peu, sauf dans deux cas : 200 à 100 et 500 à 50, il s'agissait en outre d'alevins peu vigoureux.

ADOPTION D'OEUFs

L'expérimentation a été réalisée sur 14 femelles mais certains problèmes techniques se sont posés : une femelle n'a pas repris d'oeufs ; deux femelles ont cessé leur incubation deux et trois jours après l'adoption, les oeufs ayant été mangés ; et une femelle n'incubait plus que quelques alevins à leur sortie. Les résultats ne seront donc analysés que pour 10 animaux. Bien que là aussi les délais de reprise aient été variables

d'une femelle à l'autre, l'adoption des oeufs était plus lente que celle des alevins. En effet, si sept femelles ont repris plus de la moitié des oeufs en 30 minutes, pour les autres, l'adoption était plus tardive, pouvant demander jusqu'à six heures et plus. Seule une minorité des femelles a adopté la totalité des oeufs présentés.

Le nombre d'oeufs adoptés variait d'une centaine à 400, et celui des alevins à la sortie n'a pas diminué ou peu, sauf chez deux femelles où il n'était plus que de 50 à 60. Ce phénomène s'est observé également chez des animaux témoins.

Comparaison Interlots

L'analyse de variance a mis en évidence des différences significatives entre lots à $P < 0,05$ pour chacun des quatre paramètres retenus (voir l'ensemble des résultats présenté sur la figure 1).

Les adoptions d'oeufs équivalant à un rajeunissement de la ponte, entraînaient un allongement du temps d'incubation avant sortie par rapport à celui des témoins ($P < 0,02$). A l'inverse, les adoptions d'alevins correspondant à un vieillissement de la ponte, provoquaient un raccourcissement du temps d'incubation avant sortie ($P < 0,05$).

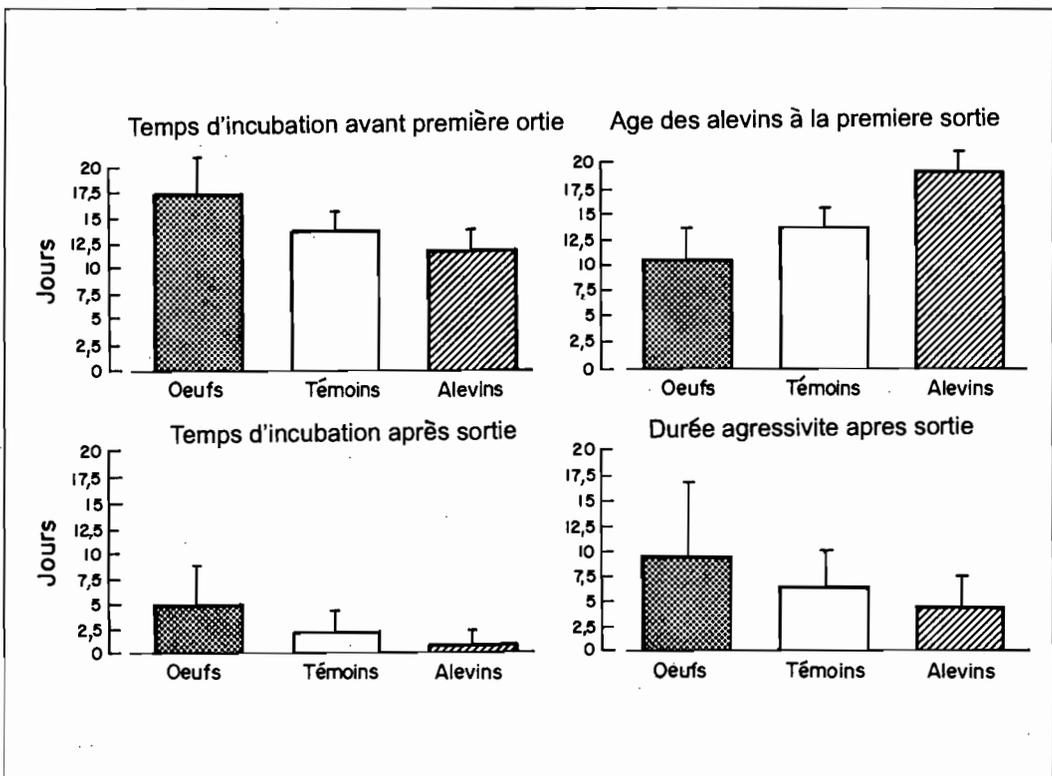


Fig. 1. Résultats des expériences d'adoption d'oeufs ou d'alevins par des femelles de *Oreochromis niloticus* (moyennes et écarts-types des quatre paramètres : temps d'incubation avant première sortie des alevins, âge réel des alevins à la première sortie, temps d'incubation après sortie des alevins et durée de l'agressivité de la femelle après première sortie).

Oeufs : adoption d'oeufs par les femelles (n=10).

Témoins : femelles témoins (n=21).

Alevins : adoption d'alevins par les femelles (n=12).

L'examen de l'âge des alevins à la sortie a complété l'analyse. Lors de l'adoption des oeufs, il était en moyenne inférieur de trois jours à celui des témoins ($P < 0,02$). Ainsi, malgré l'allongement du temps d'incubation, les alevins sortaient trop précocement. Par contre, lors de l'adoption des alevins, leur âge à la première sortie était supérieur à celui des témoins de cinq à six jours ($P < 0,02$). Les alevins adoptés étaient donc "anormalement" âgés à la sortie malgré le raccourcissement du temps d'incubation par les femelles adoptives.

Concernant les deux derniers paramètres, on a noté que le temps d'incubation après la sortie était plus long chez les femelles adoptant des oeufs que chez les témoins ($P < 0,05$) et les femelles adoptant des alevins ($P < 0,02$) où il était d'ailleurs absent chez huit femelles. Cependant, la différence entre témoins et adoptions d'alevins n'a pas atteint le seuil de significativité de 0,05.

Les résultats moyens de la durée d'agressivité après sortie des alevins, s'ordonnaient selon la même tendance que pour le critère précédent mais la différence n'étaient significative qu'entre les adoptions d'oeufs ($X = 9,7$ jours) et les adoptions d'alevins ($X = 4,4$ jours).

Discussion

Les femelles de *O. niloticus* peuvent donc adopter soit des oeufs soit des alevins étrangers après retrait de leur propre ponte. Les femelles adoptent aisément des alevins. Ceux-ci animés de petits déplacements (alevins de sept jours) ou déjà nageurs (alevins de 10 à 12 jours) sont probablement mieux perçus visuellement par la femelle que les oeufs. De plus, les alevins âgés (12 jours) contribuent eux-mêmes à une adoption rapide lorsqu'ils se déplacent vers la femelle. Cette stimulation des

femelles par les alevins peut expliquer la rapidité de l'adoption de tous les alevins.

Les femelles adoptent plus difficilement les oeufs immobiles au fond. Leur détection est liée à une exploration du fond de l'aquarium. Or, les femelles perturbées par le retrait de leur ponte ont tendance à nager en pleine eau. Ceci peut expliquer l'échec signalé et les temps de reprise plus longs qu'avec les alevins. Enfin, les femelles reviennent plusieurs fois au-dessus de la ponte pour reprendre des oeufs en bouche ; ces déplacements dispersent la ponte et les oeufs trop éparpillés ne sont pas repris.

Cette technique des adoptions croisées a permis de mettre en évidence une plasticité du cycle parental des femelles de *O. niloticus*. Les adoptions d'oeufs entraînent un accroissement net de la durée totale du cycle parental, chacune des phases étant concernée : augmentation des temps d'incubation avant et après la première sortie des alevins, accroissement de la durée de la phase d'agressivité. Cependant, la plasticité du cycle n'est pas optimale puisque les alevins sortent prématurément malgré l'allongement de l'incubation avant sortie. Or, comme l'incubation post sortie persiste plus que chez les témoins, ceci compense le déficit d'incubation avant sortie. Les alevins issus d'oeufs adoptés et témoins bénéficient d'une même durée d'incubation lorsque l'on somme incubation avant et après sortie. Après adoption d'alevins, les femelles raccourcissent les temps d'incubation avant et surtout après sortie ainsi que la durée de la phase d'agressivité. Néanmoins là encore, le temps d'incubation avant sortie n'est pas optimal. Ces femelles continuent à incuber des alevins anormalement âgés.

En conclusion, les femelles tentent d'ajuster leur comportement à l'âge de la ponte. Elles sont d'autant plus

maternelles (incubation, défense des alevins) que les alevins sont jeunes ; elles se désintéressent plus rapidement des alevins très âgés après leur première sortie. La durée d'incubation avant la première sortie des alevins, bien que modifiée par les adoptions, semble être la phase la moins plastique du cycle parental.

Ces résultats permettent d'envisager un double contrôle du comportement maternel : d'une part, un contrôle externe mis en évidence par les ajustements présentés ci-dessus et impliquant les stimulations de la cavité buccale des femelles par les oeufs et les alevins ; d'autre part, un contrôle interne, probablement lié à la cinétique hormonale qui pourrait s'opposer à l'ajustement optimal des comportements de la femelle à l'âge des alevins. Cette composante hormonale reste à préciser à partir des données connues. Ainsi, Smith et Haley (1987) comparant des femelles de *Oreochromis mossambicus* non incubantes (dont les oeufs ont été mangés par les femelles) à des femelles incubantes, notent chez ces dernières un développement plus lent de la vague ovocytaire suivante et une dégénérescence du tissu folliculaire post-ovulatoire moins rapide. Selon les mêmes auteurs ceci suggère une inhibition, au moins partielle, par ce tissu du développement ovocytaire. Cette hypothèse est confortée par l'étude des profils hormonaux chez des femelles incubantes et non incubantes (oeufs retirés ou mangés dans les 24 h après la ponte). Des niveaux comparables d'oestradiol 17- β et de testostérone sont atteints plus tard par les femelles incubantes (Smith et Haley, 1988). Le tissu pourrait être également impliqué dans le maintien du comportement parental.

D'autre part, le rôle de la prolactine sur la mise en place du comportement

n'est pas exclu. En effet la prolactine a un rôle activateur de la ventilation chez des espèces de Cichlidés (Blum et Fiedler, 1965 ; Blum, 1966). Et si Wendelaar Bonga et coll. (1984) n'ont pas mis en évidence d'accroissement de la production de prolactine pendant la phase parentale chez *O. mossambicus*, Tacon (1991) obtient des résultats opposés (tendance à l'augmentation de prolactine pendant les soins maternels) chez *O. niloticus*.

Toutes ces données ne sont pas incompatibles avec l'hypothèse d'une action des stimulations buccales par les oeufs puis par les alevins qui, via un réflexe neuroendocrinien, permettrait la persistance du tissu folliculaire post-ovulatoire donc de ses sécrétions et de leurs effets inhibiteurs de l'ovogénèse.

Littérature citée

- Baroiller, J.F. et B. Jalabert. 1989. Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapia. *Aquat. Living Resour.* 2:105-116.
- Blum, V. 1966. Zur hormonalen Steuerung der Brutpflege einiger Cichliden. *Zool. Hb. Physiol.* 72:264-295.
- Blum, V. et K. Fiedler. 1965. Hormonal control of reproductive behavior in some cichlid fish. *Gen. Comp. Endocrinol.* 5:186-196.
- Perrone, M. et T.M. Zaret. 1979. Parental care patterns of fishes. *Am. Nat.* 113:351-361.
- Ruwet, J.C., J. Voss, L. Hanon et J.C. Micha. 1976. Biologie et élevage du tilapia. *In Symposium on Aquaculture in Africa, FAO/CIFA.* Tech. Pap. 4(suppl. 1):332-364.
- Smith, C.J. et S.R. Haley. 1987. Evidence of steroidogenesis in post-ovulatory follicles of the tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Cell Tissue Res.* 247:675-687.
- Smith, C.J. et S.R. Haley. 1988. Steroid profiles of the female tilapia *Oreochromis mossambicus*, and correlation with oocyte growth and mouthbrooding behavior. *Gen. Comp. Endocrinol.* 69:88-98.
- Tacon, A.C. 1991. Analyse descriptive du cycle sexuel de la femelle chez *Oreochromis niloticus* : recherche de correspondance entre comportement parental (incubation buccale), développement ovarien et

paramètres endocriniens. DEA de biologie
et d'agronomie, Université de Rennes. 23 p.
Wendelaar Bonga, S.E.W., A.J.H. De Ruiter, H.

Slijkuis et L. Dirks. 1984. Is parental care
in fish prolactin-dependent? *Gen. Comp.
Endocrinol.* 53:460. (Abstract.)

Inversion sexuelle chez des alevins de tilapias par immersion dans de l'eau contenant des oestrogènes

C.J. GILLING
D.O.F. SKIBINSKI
J.A. BEARDMORE

*School of Biological Sciences
University of Wales, Swansea
Swansea SA2 8PP, Royaume-Uni*

GILLING, C.J., D.O.F. SKIBINSKI et J.A. BEARDMORE. 1996. Inversion sexuelle chez des alevins de tilapias par immersion dans de l'eau contenant des oestrogènes, p. 347-352. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des alevins de *Oreochromis niloticus* (L.) ont été soumis à des traitements par immersion dans trois différents oestrogènes à des concentrations entre 4 et 500 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pour des durées de traitement allant jusqu'à 30 jours. L'éthinyloestradiol (EE) s'est avéré être l'hormone la plus performante dans les essais de féminisation bien que le 17 β -oestradiol et le diéthylstilboestrol aient donné des taux significatifs d'inversion de mâles en femelles chez certains groupes de traitement. D'après les résultats, la période optimale de démarrage du traitement se situe à l'âge de première alimentation ou avant, et la durée optimale du traitement est de 18 jours à des concentrations de EE de 170-200 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Les implications de ces résultats pour la production d'alevins entièrement mâles destinés à l'élevage font l'objet d'une discussion.

Introduction

L'élevage de populations de tilapias entièrement mâles a été proposé en réponse aux problèmes de maturité sexuelle précoce, de surpopulation et de reproduction indésirable des tilapias dans les étangs d'élevage. Bien qu'il existe d'autres méthodes pouvant palier ces problèmes, la recherche s'est récemment concentrée sur la production de mâles génotypiques par la manipulation des mécanismes de détermination sexuelle chez les géniteurs (Shelton, 1987 ; Scott et coll., 1989). La production des nouveaux génotypes, femelles hétérogamétiques XY chez *Oreochromis niloticus* et femelles homogamétiques ZZ chez *O. aureus*, peut servir de modèle à la production d'alevins entièrement mâles chez cette espèce. Toutefois, le fait que les traitements ne

peuvent garantir l'inversion sexuelle des mâles en femelles (féminisation) et que les mécanismes de détermination sexuelle chez l'espèce *Oreochromis* ne sont pas totalement maîtrisés, constitue autant d'obstacles à l'adoption de ce système.

La production massive de géniteurs mâles YY chez *O. niloticus* dépend de la féminisation efficace d'alevins sexuellement non différenciés. La masculinisation d'alevins pour la production de poissons mâles au génotype femelle dans le cadre des programmes de sélection et d'empoisonnement direct est facilement réalisée en ajoutant des androgènes à la nourriture des alevins (Guerrero, 1975). Tayamen et Shelton (1978) ont démontré que *O. niloticus* pouvait être féminisé en ajoutant aux aliments du diéthylstilboestrol (DES) à des concentrations de 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ et Varadaraj (1989) a rapporté 100 % de féminisation chez des jeunes alevins de

O. mossambicus en administrant du DES à des concentrations égales ou supérieures à $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Cependant, l'application systématique de ce traitement chez des alevins de *O. niloticus* dans nos laboratoires a donné des taux très variables d'inversion sexuelle et les résultats suggèrent que la réponse à ces traitements chez cette espèce pouvait varier en fonction de la souche (G.C. Mair, comm. pers.). Cette communication présente les résultats des essais de féminisation chez des alevins de *O. niloticus* en les immergeant dans de l'eau contenant trois oestrogènes à diverses concentrations.

Matériel et méthodes

L'espèce initialement utilisée était une souche de *O. niloticus* à croissance rapide, de couleur claire et au corps haut par rapport à la longueur, sélectionnée à la Baobab Farm (Kenya). Placés individuellement dans des aquariums en verre d'une capacité de 200 l disposant d'un dispositif de filtrage par gravillons, et maintenus à 27°C selon une photopériode de 12 heures, des mâles et femelles sexuellement matures ont été nourris avec un aliment industriel pour truite à raison d'environ 5 % du poids du corps par jour. Les mâles et les femelles étaient séparés par une panneau en perspex, et dès lors qu'une femelle montrait des signes de ponte imminente (papille génitale élargie et activité intense de construction du nid), le mâle était introduit et la ponte pouvait alors avoir lieu.

Au bout de trois jours, les oeufs étaient retirés de la femelle et placés dans des incubateurs jusqu'à ce que le traitement hormonal commence. Les larves étaient placées dans des aquariums de 20 l vigoureusement aérés, à une densité de charge d'environ trois larves par litre, et nourries à l'*Artemia nauplii* pendant les

premiers jours puis suivant une formule industrielle en poudre pour truite, à volonté. L'eau était changée et les aquariums nettoyés entièrement tous les deux jours.

Tous les traitements hormonaux ont été réalisés dans une pièce à une température constante de 28°C jusqu'à ce que les alevins aient atteint une longueur standard moyenne (LS) de 20 mm (indépendamment de la durée du traitement hormonal). Ils étaient alors transférés dans des cuves en plastic dans un système d'approvisionnement d'eau en circuit fermé où ils continuaient leur croissance jusqu'à 60 mm LS. Puis, les poissons étaient sexés par examen des squashes de gonades colorés à l'acétocarmine à un grossissement de 40x (Guerrero et Shelton, 1974).

Un test du chi-carré a été appliqué pour analyser l'hétérogénéité des données de chaque réplicat, des regroupements étant effectués toutes les fois que les échantillons étaient homogènes. Un test du chi-carré a également été appliqué pour comparer les résultats des traitements à ceux des groupes témoins.

Les hormones utilisées dans les traitements étaient le 17β -oestradiol (BE), le DES, et l'éthynylœstradiol (EE), toutes fournies par Sigma Chemicals, Royaume-Uni. Ces hormones étaient dissoutes dans de l'éthanol à 95 % à une concentration de $2 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$. La solution obtenue était ajoutée à l'eau à chaque nouveau remplissage des bacs pour obtenir la concentration voulue. Le nombre initial d'alevins dans chaque traitement était le même que dans le groupe témoin. Comme de fortes mortalités ont été rapportées chez des alevins de Salmonidés immergés dans des solutions d'oestrogènes à fortes doses (Nakamura, 1981), des concentrations entre 4 et $500 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ont été initialement utilisées, tout en observant les mortalités pendant 30 jours.

Résultats

Concentration hormonale et mortalité

D'après les résultats des premiers essais (Tableau 1), le DES s'est révélé le plus toxique et le BE le moins toxique des trois oestrogènes. Des concentrations de EE supérieures ou égales à $250 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ont donné des taux inacceptables de mortalité (>50 %), comme cela s'est produit pour le DES à des concentrations de $500 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Peu d'alevins ont survécu plus de 18 jours à des concentrations de DES de $200 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Dans tous les cas, une corrélation a été établie entre les mortalités et les concentrations croissantes d'hormones. Les mortalités pour chaque traitement sont données en pourcentage du nombre d'alevins restant dans le groupe témoin correspondant au moment du transfert des alevins des aquariums aux cuves en circuit fermé (30 jours après la première alimentation). La survie moyenne chez les groupes témoins était de 96,4 %.

Les résultats des traitements à des concentrations supérieures ou égales à $200 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ BE, $100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ EE, et $100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ DES, étaient significativement biaisés en faveur des femelles pour tous les groupes traités. Outre les taux élevés de mortalité observés dans les traitements à hautes doses ($500 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ BE, et $300 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ EE et DES) les taux de féminisation obtenus étaient relativement faibles chez le peu de poissons ayant survécu.

Démarrage du traitement

Il y aurait tout avantage pour la survie des alevins à démarrer le traitement aussi tard que possible, quand ceux-ci ont atteint l'âge de première alimentation, qu'ils sont donc plus résistants et que les taux de mortalité sont par conséquent plus bas. Ceci permettrait également de traiter des alevins d'âges différents collectés dans divers plans d'eau. Des concentrations de

BE de $250 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pendant 14 jours ayant donné de bons résultats de féminisation ainsi que des taux de mortalité relativement faibles, une série de traitements a été mise en place à l'âge de première alimentation (0) et six, 12 et 18 jours plus tard. Seul le traitement effectué à l'âge 0 a eu un effet significatif sur le sexe ratio (Tableau 2).

Des expériences similaires ont été réalisées en commençant le traitement à des concentrations de EE de $100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pendant 14 jours, deux jours ou un jour avant la fin de la phase de résorption du sac vitellin, quand les alevins (dans les incubateurs) nagent déjà librement ; à la fin de la phase de résorption ; et trois et six jours après la résorption. Les résultats (Tableau 3) indiquent qu'il n'y a aucun avantage significatif à commencer les traitements d'immersion avant la fin de la période de résorption, lorsque les alevins sont capables de survivre en dehors de l'incubateur. Ces résultats confirment également que les traitements hormonaux ne sont pas efficaces s'ils démarrent au-delà de trois jours après la résorption.

Durée du traitement

Les traitements au EE à raison de $100 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ont démarré à l'âge de première alimentation et ont duré six, 12, 18, 24 et 28 jours. Les résultats (Tableau 4) indiquent que l'inversion sexuelle a commencé au bout de 12 jours mais un résultat optimal n'a été obtenu qu'entre 12 et 24 jours. Une corrélation a été établie entre les mortalités observées et la durée du traitement.

Discussion

Actuellement, des descendance femelles à 95-100 % sont obtenues systématiquement dans notre laboratoire en traitant les alevins issus de croisements

Tableau 1. Effet de trois oestrogènes sur la féminisation d'alevins de *Oreochromis niloticus* (souche Baobab). Les données proviennent de croisements où les sexe ratios des témoins ne différaient pas significativement de 1:1. (NS = non significatif ; ***P<0,001 ; **P<0,025 ; NA = test du chi-carré non applicable en raison des faibles taux de survie ; BE = 17 β -oestradiol ; DES = diéthylstilboestrol ; et EE = éthynyloestradiol.)

Concentration hormonale ($\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$)	Durée (jours)	Nbre de réplicats	% Mortalité	♀	♂	♀	Proportion de femelles	Chi-carré
BE	4	30	2	0	68	62	0	0,139 NS
	20	30	2	2	70	63	0	0,184 NS
	100	30	4	5	99	77	3	1,008 NS
	200	30	5	18	159	50	21	17,474***
	250	30	2	68	19	4	3	2,925 NS
	250	14	3	18	96	20	7	38,704***
	500	30	2	94	3	2	0	NA
	500	14	2	42	62	14	2	10,268**
EE	4	30	2	0	77	69	0	0,219 NS
	20	30	2	0	56	64	0	0,267 NS
	100	30	8	7	384	41	43	107,215***
	200	30	2	79	23	3	2	6,452**
	300	30	1	93	1	2	1	NA
	400	30	1	100	-	-	-	NA
DES	100	30	1	17	32	2	1	14,380***
	200	30	1	70	19	2	1	6,482**
	300	30	1	95	3	1	1	NA
	400	30	1	99	-	-	-	NA

Tableau 2. Nombre de femelles, mâles et intersexes produits par l'immersion d'alevins de *Oreochromis niloticus* (souche Baobab) à des concentrations de 17 β -estradiol (BE) de 250 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ pendant 14 jours à partir de l'âge de première alimentation et de six, 12 et 18 jours plus tard. Les données de trois réplicats homogènes ont été regroupées. (Les chiffres portant des exposants différents sont significativement différents ; ***P<0,001 ; NS = non significatif ; et P>0,05.)

Début du traitement (jours après la première alimentation)	% Mortalité	Nbre de femelles	Nbre de mâles	Nbre d'intersexes	Proportion de femelles	Chi-carré
Témoins	3,4	64	54	0	0,54*	-
0	10,3	99	19	3	0,82 ^b	24,292***
6	8,0	75	56	0	0,56*	0,228 NS
12	5,2	70	53	0	0,57*	0,173 NS
18	3,1	62	60	1	0,51*	0,281 NS

Tableau 3. Nombre de femelles, mâles et intersexes produits par l'immersion d'alevins de *Oreochromis niloticus* (souche Baobab) à des concentrations de 100 µg·l⁻¹ d'éthynyloestradiol (EE) pendant 20 jours, commençant deux jours avant jusqu'à six jours après la fin de la phase de résorption. Les données de deux réplicats homogènes ont été regroupées. (Les chiffres portant des exposants différents sont significativement différents ; **P<0,025 ; NS = non significatif ; et P>0,05.)

Début du traitement (jours après la première alimentation)	% Mortalité	Nbre de femelles	Nbre de mâles	Nbre d'intersexes	Proportion de femelles	Chi-carré
Témoins	4,1	40	40	0	0,50 ^a	-
-2	6,1	50	8	14	0,69 ^b	5,932**
-1	5,4	40	6	11	0,70 ^b	9,568**
0	3,9	50	10	6	0,76 ^b	10,146**
+3	4,9	39	30	12	0,48 ^a	0,005 NS
+6	6,8	37	42	1	0,46 ^a	0,225 NS

où les groupes témoins ont un sexe ratio proche de 1:1. Le EE est préféré au BE dans la mesure où il est plus efficace à de plus faibles concentrations. Les deux molécules sont très similaires mais le EE est légèrement plus soluble dans l'eau, ce qui peut expliquer l'obtention de taux d'inversion relativement plus élevés. Le DES est en général l'oestrogène artificiel que l'on préfère utiliser dans les traitements à administration orale. Bien que les premiers essais avec le DES aient donné des résultats prometteurs, certaines craintes concernant les propriétés cancérogènes de cette hormone (IARC Monographs, 1974) ont fait cesser son utilisation au sein de notre laboratoire.

L'administration de EE à des concentrations de 100 µg·l⁻¹ pendant 12+ jours constitue le traitement optimal. A cet âge, les alevins ont atteint des longueurs standards de 13-15 mm dans les conditions de croissance utilisées dans cette étude. Toutefois, il se pourrait qu'une période plus longue de traitement soit nécessaire dans les cas où la croissance serait affectée par un régime alimentaire plus pauvre en protéines ou des températures plus basses. Ces concentrations n'ont pas d'effets nuisibles significatifs sur la croissance et la survie par rapport aux témoins. Eckstein et Spira (1965) ont rendu *O. aureus* stérile en lui administrant des oestrogènes pendant cinq à six semaines, commençant à

Tableau 4. Nombre de femelles, mâles et intersexes produits par l'immersion d'alevins de *Oreochromis niloticus* (souche Baobab) à des concentrations de 100 µg·l⁻¹ d'éthynyloestradiol (EE) pendant six, 12, 18, 24 et 28 jours à partir de la phase de résorption. Les données de trois réplicats homogènes ont été groupées. (Les chiffres portant des exposants différents sont significativement différents ; ***P<0,001 ; et NS = non significatif. Les chiffres portant le même exposant n'étaient pas significativement différents [P>0,05].)

Durée du traitement (jours après la résorption)	% Mortalité	Nbre de femelles	Nbre de mâles	Nbre d'intersexes	Proportion de femelles	Chi-carré
Témoins	2,0	62	60	0	0,51 ^a	-
6	1,5	63	58	0	0,52 ^a	0,037 NS
12	2,9	139	38	5	0,76 ^b	21,290***
18	8,4	93	12	3	0,86 ^b	32,468***
24	6,3	57	3	5	0,88 ^b	24,915***
28	7,2	68	13	7	0,77 ^b	15,170***

quatre à cinq semaines post-éclosion. Quand les périodes de traitement sont plus longues, le développement des ovogonies, aux longueurs standards de 60-70 mm, semble être affecté (Gilling et coll., 1992) mais la plupart des adultes se développent normalement.

Srisakultiew et Rana (1991) ont rapporté qu'une différenciation sexuelle pouvait être observée dans des préparations histologiques de gonades de tilapias à 14 jours post-fécondation. Nos résultats indiquent que les cellules germinales se développent antérieurement et que les traitements doivent être commencés à l'âge de première alimentation ou peu de temps après, de manière que les influences du milieu l'emportent sur toute influence génétique.

Il reste à espérer que l'épreuve de la descendance permettra d'isoler des mâles YY au sein des descendances issues de femelles soumises à une inversion sexuelle et que, grâce à la méthode décrite ici, des femelles du génotype YY pourront être produites. Celles-ci pourraient alors être rétrocroisées avec des mâles YY, donnant ainsi des descendances entièrement YY. A son tour, la base des nouveaux géniteurs ainsi constituée produirait des alevins entièrement mâles pour l'élevage commercial. Cependant, les écarts de sexe ratios calculés selon une théorie de détermination sexuelle monofactorielle décrite par Mair et coll. (1991) pourraient poser certaines limites à l'utilisation de cette méthode. Par ailleurs, il est nécessaire de poursuivre les efforts de recherche sur la viabilité du génotype YY, surtout dans un phénotype femelle.

Remerciements

Nous tenons à remercier Eric Roderick et Richard Morgan pour leur assistance à la réalisation de la présente étude, le Dr.

Graham Mair et Stuart McConnell pour leurs précieux commentaires, et le British Overseas Development Agency pour le financement du projet.

Littérature citée

- Eckstein B. et M. Spira. 1965. Effect of sex hormones on the gonadal differentiation in a cichlid, *Tilapia aurea*. Biol. Bull. (Woods Hole, Massachusetts) 129:482-489.
- Gilling, C.J., D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1992. The effects of estrogen treatment on gonad development in *Oreochromis niloticus*. In D. Penman, N. Roongratri et B. McAndrew (éds.) AADCP Workshop Proceedings Genetics in Aquaculture and Fisheries Management. University of Stirling, Ecosse.
- Guerrero, R.D. 1975. Use of androgen for the production of all male *Tilapia aurea* (Steindachner). Trans. Am. Fish. Soc. 2:342-348.
- Guerrero, R.D. et W.L. Shelton. 1974. An acetocarmine squash method for sexing juvenile fishes. Prog. Fish-Cult. 36:56.
- IARC Monographs. 1974. Evaluation of carcinogenic risk of chemicals to man. Sex hormones. Vol. 6. International Agency for Research on Cancer, Lyon.
- Mair, G.C., A.G. Scott, D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1991. Sex determination in the genus *Oreochromis*. 1. Sex reversal, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus*. Theor. Appl. Genet. 82:144-152.
- Nakamura, M. 1981. Feminization of masu salmon, *Oncorhynchus masou*, by administration of estradiol-17- β . Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 47:1529.
- Scott, A.G., D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1989. The "YY" supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. Aquaculture 78:237-251.
- Shelton, W.L. 1987. Genetic manipulations - sex control of exotic fishes for stocking, p. 175-194. In K. Tiews (éd.) Selection, hybridization and genetic engineering in aquaculture. Vol. 2. Heenemann Verlagsgesellschaft mbH, Berlin.
- Srisakultiew, P. et K.J. Rana. 1991. Effect of stocking density on sex differentiation of *Oreochromis niloticus* (L.). Abstract from the 4th International Symposium on Reproductive Physiology of Fish, juillet 1991, University of East Anglia, Norwich, R-U.
- Tayamen, M.M. et W.L. Shelton. 1978. Induction of sex-reversal in *Sarotherodon niloticus* (Linnaeus). Aquaculture 14:349-354.
- Varadaraj, K. 1989. Feminization of *Oreochromis mossambicus* by the administration of diethylstilbestrol. Aquaculture 80:337-341.

Effets de la triploïdie sur la maturation sexuelle et la reproduction du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* L.

M.G. HUSSAIN^a

D.J. PENMAN

B.J. McANDREW

Institute of Aquaculture

University of Stirling

Stirling FK9 4LA, Ecosse, R-U

HUSSAIN, M.G., D.J. PENMAN et B.J. McANDREW. 1996. Effets de la triploïdie sur la maturation sexuelle et la reproduction du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* L., p. 353-359. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Les effets de la triploïdie sur le développement sexuel et la reproduction ont été examinés chez le tilapia du Nil mâle et femelle (*Oreochromis niloticus* L.). La triploïdie a été induite en soumettant les oeufs récemment fécondés soit à une forte pression hydrostatique (551,6 bars pendant 2 minutes) 9 minutes post-fécondation (PF) soit à un choc thermique (41°C pendant 3,5 minutes) 5 minutes PF. Des écarts significatifs ont été constatés au niveau du poids des ovaires et de l'indice gonadosomatique (IGS) entre les femelles triploïdes et les femelles témoins diploïdes à partir du cinquième mois jusqu'à la fin de la période de croissance (10 mois). Les ovaires triploïdes à l'aspect effiloché contenaient essentiellement des ovogonies et des ovocytes de petite taille en très petits nombres. En revanche, les ovaires diploïdes étaient remplis d'ovocytes secondaires ou vitellogéniques bien développés ou en développement. Les testicules des poissons triploïdes contenaient de la laitance très diluée renfermant très peu de spermatozoïdes motiles, tandis que le contraire a été observé chez les poissons diploïdes. D'après les résultats de 10 croisements différents entre mâles triploïdes et femelles diploïdes, les spermatozoïdes triploïdes étaient pour la plupart incapables de féconder des oeufs normaux. Dans certains croisements où la fécondation a eu lieu, les larves écloses étaient difformes et mouraient avant la résorption du sac vitellin. L'analyse du caryotype a révélé que les embryons issus de ces croisements étaient tous aneuploïdes. Les répercussions de ce type de stérilité sur l'élevage mixte de *Oreochromis* spp. font l'objet d'une discussion.

Introduction

Les tilapias (*Oreochromis*, *Sarotherodon* et *Tilapia* spp.) sont des poissons de grand intérêt commercial dans les pays tropicaux et subtropicaux. Toutefois la prolifération de ces poissons à une taille relativement petite dans les élevages mixtes pose une contrainte majeure à l'obtention d'une production satisfaisante. La production de descendances entièrement triploïdes de

Oreochromis spp. par des techniques de manipulation de génome ou des croisements d'individus tétraploïdes et diploïdes, présente de grandes possibilités d'application commerciale pouvant remplacer les techniques d'hybridation ou les traitements hormonaux pour produire des populations monosexes mâles ou autres populations non reproductrices de tilapias. Les individus triploïdes sont censés être fonctionnellement stériles dans la mesure où les chromosomes homologues ne parviennent pas à s'apparier correctement en prophase I de la méiose. Chez les tilapias, la triploïdie a été réalisée

^aAdresse actuelle : Fisheries Research Institute, Mymensingh 2201, Bangladesh.

dans un certain nombre d'études (Valenti, 1975 ; Chourrout et Itskovich, 1983 ; Penman et coll., 1987 ; Don et Avtalion, 1988 ; Varadaraj et Pandian, 1988 ; Hussain et coll., 1991). Chez d'autres espèces de poissons téléostéens, les ovaires des femelles triploïdes contiennent peu d'ovogonies et les ovocytes primordiaux ne parviennent pas à maturité, de sorte qu'en comparaison des ovaires des femelles diploïdes, ceux des femelles triploïdes restent plus petits à tous les stades de développement (voir, par exemple, Lincoln et Thorgaard et Gall, 1979 ; Chrisman et coll., 1983 ; Scott, 1984 ; Richter et coll., 1987). Chez les mâles triploïdes, la taille des testicules ne diffère pas significativement de celles des mâles diploïdes. Lors de la spermatogenèse, quand les spermatocytes primordiaux commencent à se transformer en spermatocytes secondaires, survient une atrésie massive et une dégénérescence de ces cellules germinales. Si une division active des spermatocytes a lieu et si ceux-ci se transforment en spermatides, quelques spermatozoïdes aneuploïdes sont produits. Ceci conduit ultimement à une stérilité fonctionnelle des testicules (voir par exemple Wolters et coll., 1982 ; Richter et coll., 1987).

Chez le tilapia, il existe quelques rapports sur la maturation sexuelle et la fertilité des poissons triploïdes (Penman et coll., 1987 ; Pandian et Varadaraj, 1988 ; Varadaraj et Pandian, 1990), mais la nature de la stérilité chez ces poissons n'est pas encore maîtrisée en raison d'un manque de tests de contrôle, notamment en ce qui concerne les aspects histologiques et endocrinologiques des gonades triploïdes et diploïdes.

La présente communication a pour objectif de résumer les résultats de nos expériences sur la stérilité fonctionnelle et reproductive (gamètes non viables) des gonades dans des groupes d'âge successifs chez le tilapia du Nil triploïde, *Oreochromis niloticus* L., et d'en examiner les implications pour l'élevage de cette espèce.

Matériel et méthodes

Les géniteurs de *O. niloticus* L. utilisés dans cette étude proviennent de la collection de tilapias de l'Institut d'aquaculture de l'université de Stirling en Ecosse, et sont issus d'un stock pur obtenu d'une population sauvage du lac Manzala en Egypte en 1979 (McAndrew et Majumdar, 1983). Les techniques de reproduction de la population, l'expulsion et la fécondation des oeufs ainsi que les protocoles d'incubation sont comme décrit par Hussain et coll. (1991).

Les oeufs expulsés d'une femelle ont été fécondés avec des spermatozoïdes frais et ont ensuite été divisés en trois lots égaux. Le premier lot d'oeufs a été soumis à un choc thermique (41°C pendant 3,5 minutes) 5 minutes post-fécondation (PF) et le deuxième lot a été soumis à une forte pression hydrostatique (551,6 bars pendant 2 minutes) 9 minutes PF (Hussain et coll., 1991). Le troisième lot a servi de lot témoin.

La ploïdie de tous les poissons, traités et non traités, a été évaluée par l'examen des chromosomes de larves récemment écloses ou âgées d'un jour, selon la technique de Hussain et coll. (1991). La ploïdie chez les grands poissons mis en grossissement a été vérifiée en calculant l'axe principal moyen du noyau des érythrocytes. Des frottis de sang de poisson ont été déposés sur des lamelles de verre et colorés à la coloration de Wright (10 noyaux de globules rouges [GB] par poisson ont été mesurés à l'aide d'un réticule [grossissement 1000x] monté sur un microscope Olympus [Penman et coll., 1987]).

Les premiers alevins triploïdes et diploïdes en âge de s'alimenter (10-12 jours PF) ont été transférés des incubateurs dans des bassins de 20 l alimentés par un système d'approvisionnement en eau (28±1°C) en circuit fermé et aéré. Les poissons triploïdes et diploïdes ont été séparés et maintenus dans les bassins à une densité de charge de 100 alevins par bassin pendant cinq semaines. A la fin de cette période, aucune

différence n'ayant été constatée dans les groupes de traitement triploïdes, des alevins triploïdes de la même fratrie soumis aux deux traitements thermiques ont été réunis pour la phase de grossissement.

Les jeunes alevins étaient nourris avec un aliment commercial pour truite selon les recommandations de McAndrew et Majumdar (1989). Au bout de la période initiale d'élevage, les alevins triploïdes (poids moyen : $0,35 \pm 0,13$ g) ont été stockés séparément dans des bassins de 500 l à une densité de 70 poissons par bassin, et ont été exposés à une photopériode de 12 heures dans de l'eau en circuit fermé thermorégulé à 28°C. Les poissons en phase de grossissement étaient nourris deux fois par jour à raison de 3-5 % du poids corporel avec des granulés pour truite (Ewos Baker, granulés n° 3, 4 et 5 ; 35-50 % de protéines).

Des estimations des longueurs standards, du poids corporel et du poids des gonades chez les mâles et les femelles triploïdes et diploïdes (5 poissons par sexe et par traitement) ont été réalisées tous les mois sur des sous-échantillons prélevés aléatoirement dans chaque catégorie de poissons à partir du quatrième mois jusqu'à la fin de la période de croissance (10 mois). Les valeurs de l'indice gonadosomatique (IGS) ont été estimées par le calcul suivant : poids des gonades $\times 100$ /poids corporel individuel.

Les prélèvements d'ovaires et de testicules ont été placés dans le liquide de Bouin pendant toute une nuit, puis ont été fixés dans une solution d'éthanol à 70 %, et soumis à un examen histologique systématique (inclusion de cire de paraffine ; coloration à l'hématoxyline/éosine).

Dix croisements ont été réalisés entre des mâles triploïdes et femelles diploïdes. Certains mâles et femelles ont été utilisés plus d'une fois, toutefois dans des croisements différents. Toute la laitance des mâles diploïdes et triploïdes sexuellement matures a été examinée au microscope pour évaluer la motilité et la densité des

spermatozoïdes. Les oeufs expulsés d'une femelle normale ont été divisés en deux lots, l'un fécondé avec du sperme triploïde et l'autre avec du sperme diploïde. Le taux de survie des embryons de tous les croisements a été calculé à quatre étapes de développement : morula (MOR), pigmentation (PIG), éclosion (ECL) et résorption du sac vitellin (RSV). Le nombre d'alevins difformes et normaux aux étapes ECL et RSV a aussi été enregistré.

Les données sur les longueurs standards, le poids corporel, le poids gonadique et l'IGS ont été collectées pour tous les groupes. Les différences relevées au niveau de ces variables entre les groupes ont fait l'objet d'une analyse de variance à un facteur (ANOVA). Le rapport entre poids gonadique et poids corporel a fait l'objet d'une simple analyse de régression à l'aide de Statgraphics (Version 3,0).

Résultats et discussion

Le tableau 1 donne la longueur standard moyenne, le poids corporel, le poids gonadique et l'IGS pour les mâles et femelles triploïdes et diploïdes appartenant à des groupes d'âge successifs. Dans cette étude de croissance préliminaire, aucune différence de longueur significative n'a été observée entre les traitements chez l'un ou l'autre sexe. Les femelles diploïdes étaient, au quatrième mois, significativement plus lourdes ($P < 0,05$) que les femelles triploïdes mais cette caractéristique disparaissait chez les poissons prélevés ultérieurement (cinq à 10 mois). Le poids corporel des mâles diploïdes était toujours supérieur à celui des mâles triploïdes tout au long de la période de croissance mais cette différence n'était pas significative, sauf au sixième mois. Ces mesures étaient pour la plupart accessoires dans le calcul de l'IGS et un examen plus approfondi de la croissance comparée d'individus triploïdes et diploïdes est en cours.

Tableau 1. Longueur standard moyenne, poids corporel, poids gonadique et indice gonadosomatique (IGS) chez des femelles et des mâles triploïdes et diploïdes de *Oreochromis niloticus* de groupes d'âge successifs (4, 5, 6, 7, 8 et 10 mois). Toutes les valeurs sont des valeurs moyennes \pm erreur standard obtenues sur la base de cinq poissons par catégorie. Les niveaux de signification de l'analyse de variance ANOVA pour les comparaisons entre les poissons 2n et 3n de l'un et l'autre sexe, à chaque âge, sont donnés en relation au sexe 3n.

Ploïdie/Sexe		Age (mois)					
		4	5	6	7	8	10
Longueur (cm)	2n Femelle	11,10 \pm 0,20	13,10 \pm 0,50	13,20 \pm 0,90	15,90 \pm 0,50	17,50 \pm 0,40	18,00 \pm 0,04
	3n Femelle	10,10 \pm 0,20	11,70 \pm 0,80	13,60 \pm 0,30	14,50 \pm 0,40	17,70 \pm 0,40	19,00 \pm 0,30
	2n Mâle	12,20 \pm 0,40	14,50 \pm 0,10	15,60 \pm 0,80	17,80 \pm 0,40	18,20 \pm 0,40	18,80 \pm 0,30
	3n Mâle	11,60 \pm 0,40	13,40 \pm 0,30	14,20 \pm 0,60	16,40 \pm 0,60	17,60 \pm 0,50	18,60 \pm 0,20
Poids (g)	2n Femelle	56,80 \pm 3,00	88,20 \pm 7,90	95,90 \pm 19,10	164,20 \pm 18,60	212,90 \pm 14,70	227,00 \pm 9,50
	3n Femelle	44,20 \pm 2,80*	73,90 \pm 0,30	123,90 \pm 6,00	147,90 \pm 14,10	238,60 \pm 10,50	257,50 \pm 5,30
	2n Mâle	71,60 \pm 7,70	119,70 \pm 5,00	193,40 \pm 10,70	231,40 \pm 17,30	252,70 \pm 11,30	305,90 \pm 20,80
	3n Mâle	70,80 \pm 4,70	100,00 \pm 6,60	118,70 \pm 9,90**	210,30 \pm 22,90	219,30 \pm 9,90	280,70 \pm 17,90
Poids des gonades (g)	2n Femelle	0,50 \pm 1,60	1,60 \pm 0,20	1,70 \pm 0,20	3,30 \pm 0,40	4,60 \pm 0,50	5,50 \pm 0,90
	3n Femelle	0,01 \pm 0,00	0,03 \pm 0,01***	0,08 \pm 0,01***	0,10 \pm 0,01***	0,20 \pm 0,02***	0,30 \pm 0,02**
	2n Mâle	0,40 \pm 0,10	1,70 \pm 0,60	2,30 \pm 0,30	2,70 \pm 0,30	4,50 \pm 1,10	5,50 \pm 0,60
	3n Mâle	0,40 \pm 0,10	1,40 \pm 0,20	1,90 \pm 0,60	3,30 \pm 0,30	3,80 \pm 0,40	4,80 \pm 0,40
IGS	2n Femelle	0,82 \pm 0,44	1,80 \pm 0,30	1,80 \pm 0,20	2,00 \pm 0,30	2,20 \pm 0,30	2,40 \pm 0,40
	3n Femelle	0,02 \pm 0,00	0,04 \pm 0,10***	0,06 \pm 0,10***	0,07 \pm 0,01***	0,08 \pm 0,01***	0,10 \pm 0,01**
	2n Mâle	0,55 \pm 0,09	1,40 \pm 0,38	1,20 \pm 0,20	1,20 \pm 0,20	1,80 \pm 0,40	1,80 \pm 0,20
	3n Mâle	0,56 \pm 0,13	1,40 \pm 0,19	1,60 \pm 0,30	1,60 \pm 0,20	1,70 \pm 0,20	1,70 \pm 0,10

*P<0,05; **P<0,01; et ***P<0,001

Des différences très significatives au niveau de l'IGS et du poids des ovaires ont été constatées entre les femelles triploïdes et diploïdes entre le cinquième et 10^{ème} mois (Tableau 1). Les ovaires des femelles diploïdes étaient 20 à 50 plus lourds que les ovaires des femelles triploïdes. Les ovaires diploïdes étaient remplis de nombreux ovocytes en développement à partir du quatrième mois jusqu'à la fin de la période de croissance (10 mois). En revanche, chez les femelles triploïdes, la papille urogénitale étaient très peu développée et les ovaires étaient très minces, à l'aspect effiloché et parfois petits et ronds. Le poids corporel moyen et le poids moyen des ovaires pour les femelles des deux niveaux de ploïdie ont montré une corrélation positive durant la période de recherches, et les valeurs des coefficients de corrélation (R) pour l'équation linéaire de régression étaient pour la plupart significatives.

Les testicules diploïdes étaient lisses, allongés, laiteux et remplis de spermatozoïdes motiles. Les testicules triploïdes étaient plus ou moins de la même taille, parfois minces et plats. Tous les testicules

examinés contenaient de la laitance très diluée. Aucune différence significative n'a été observée au niveau du poids des testicules et de l'IGS entre les mâles triploïdes et diploïdes. Une corrélation positive a également été établie entre le poids moyen des testicules et le poids corporel moyen des mâles triploïdes et diploïdes. Les mâles triploïdes, tout comme les mâles diploïdes, présentaient des caractères sexuels secondaires comme une papille urogénitale saillante et un corps de couleur brillante.

Les ovaires diploïdes des poissons âgés de six à huit mois contenaient des ovogonies et de nombreux ovocytes vitellogéniques et prévitellogéniques en cours de maturation contenant un noyau irrégulier et un cytoplasme renfermant des vacuoles. Le vitellus était en formation exogène et endogène (Planche 1A). Les ovaires triploïdes contenaient essentiellement des ovogonies et quelques petits ovocytes primordiaux ou prévitellogéniques (Planche 1B). Aux stades de développement antérieurs (quatre à sept mois), la plupart des cellules étaient pratiquement de la même taille avec très peu de divisions en cours. Aux stades

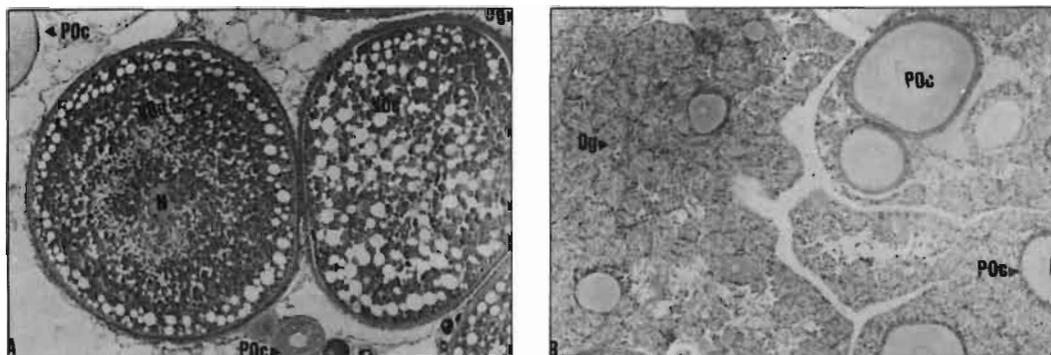


Planche 1. Coupes histologiques d'ovaires de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) au 10^{ème} mois (x63). (A) Ovaire diploïde contenant des ovogonies (Og), des ovocytes primordiaux ou prévitellogéniques (POc) et des ovocytes vitellogéniques (VOc) ; tous les ovocytes ayant un noyau (N). (B) Ovaire triploïde contenant essentiellement des ovogonies (Og) et peu de petits ovocytes primordiaux ou prévitellogéniques (Ocp).

ultérieurs (huit à 10 mois), certains ovocytes prévitellogéniques ou primordiaux commençaient à présenter un développement anormal.

Les testicules diploïdes, de groupes d'âge successifs contenaient des kystes très distincts entourés par la lame basale à tous les stades de développement. Des spermatogonies, des spermatocytes primaires et secondaires, des spermatides et un grand nombre de spermatozoïdes ont été observés chez tous les groupes d'âge après la maturation (Planche 2A). Les testicules triploïdes contenaient essentiellement des kystes avec des spermatogonies et des spermatocytes. Chez certains triploïdes, des cellules germinales contenues dans les testicules étaient en phase de division active et s'étaient transformées en spermatides et spermatozoïdes ; d'autres étaient restées bloquées possiblement à la prophase 1 de la méiose au cours de la spermatogenèse comme Richter et coll. (1987) l'ont suggéré. Aux stades ultérieurs de développement (huit à 10 mois), la plupart des kystes commençaient à fusionner avec des cellules de sperme dégénérées, résultant dans des tubules pratiquement vides contenant du liquide séminal légèrement coloré consistant en quelques spermatozoïdes renfermant des grands noyaux (Planche 2B). La laitance des poissons triploïdes contenait quelques

spermatozoïdes dont la plupart présentaient une morphologie et une motilité anormales ou très anormales.

Des observations similaires ont été faites au niveau des ovaires et des testicules d'individus triploïdes chez d'autres poissons téléostéens (voir, par exemple, Chrisman et coll., 1983 ; Lincoln et Scott, 1984 ; Suzuki et coll., 1985 ; Richter et coll., 1987). Des ovocytes vitellogéniques ont été constatés dans des ovaires triploïdes de certaines espèces, y compris *O. aureus* (Penman, 1989).

Comme certains mâles triploïdes étaient capables de produire des spermatozoïdes motiles, ces mâles ont été croisés avec des femelles normales pour tester la viabilité de leurs spermatozoïdes. Les résultats de 10 croisements différents entre mâles triploïdes et femelles diploïdes ont révélé que les spermatozoïdes triploïdes étaient pour la plupart incapables de féconder des oeufs normaux. Dans quelques croisements où la fécondation (2,7-44 %) a eu lieu, les larves écloses étaient difformes et mouraient avant la résorption du sac vitellin (Fig. 1). L'analyse du caryotype a révélé que les larves écloses de ces croisements étaient toutes aneuploïdes (entre $2n=44$ et $3n=66$). En revanche, tous les croisements entre mâles et femelles diploïdes étaient normaux, et entre 98 et 100 % des oeufs ont été

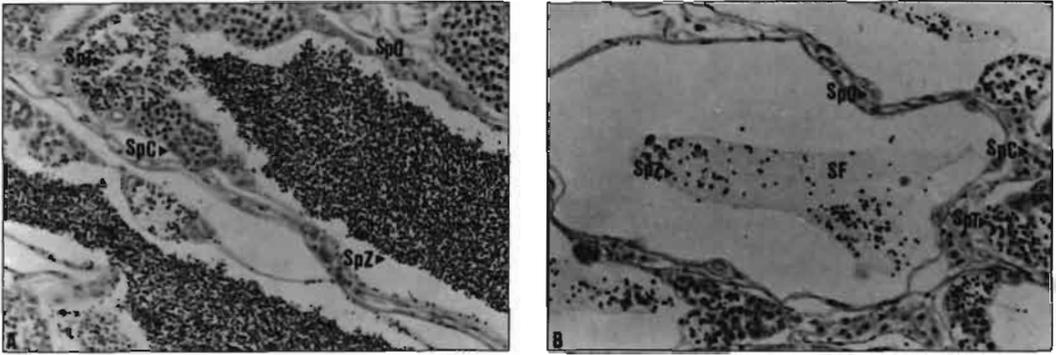


Planche 2. Coupes histologiques de testicules de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) au 10^{ème} mois (x250). (A) Testicule diploïde montrant des spermatogonies (SpO), des spermatocytes (SpC), des spermatides (SpT) et un grand nombre de spermatozoïdes (SpZ). (B) Testicule triploïde contenant des kystes pour la plupart avec des spermatogonies (SpO), des spermatocytes (SpC), certains spermatides (SpT) et quelques spermatozoïdes (SpZ) dans le liquide séminal (LS).

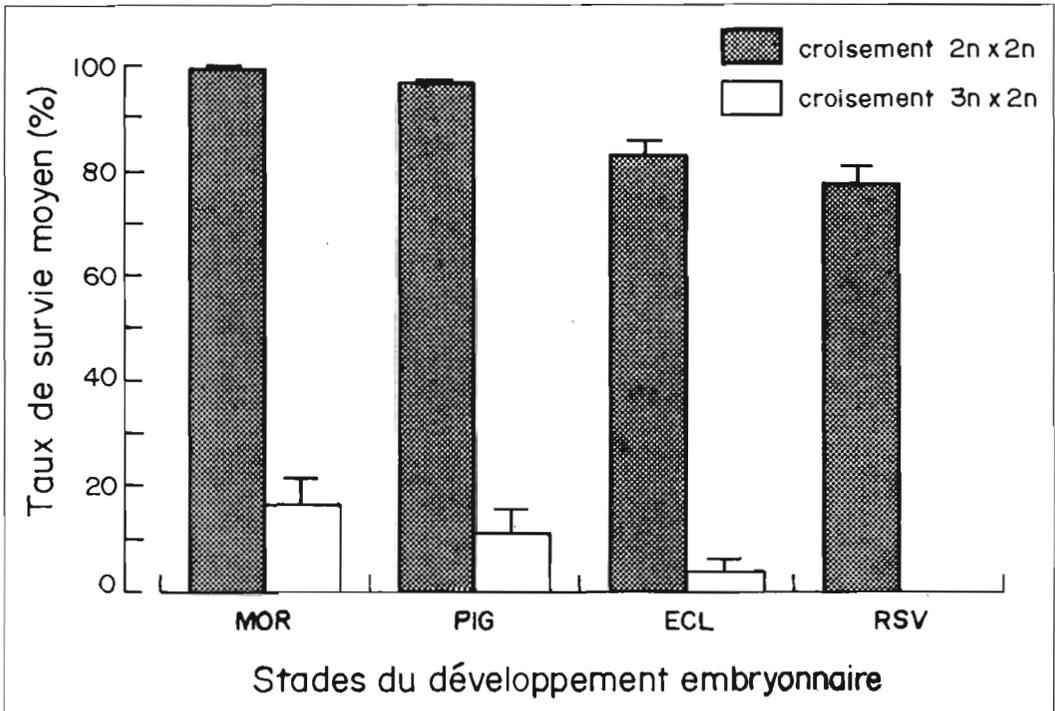


Fig. 1. Taux de survie moyen des embryons de *Oreochromis niloticus* issus de 10 croisements différents entre des mâles triploïdes et des femelles diploïdes à quatre stades de développement : morula (MOR), pigmentation (FIG), éclosion (ECL) et résorption du sac vitellin (RSV). Les barres représentent les moyennes \pm erreur standard.

fécondés. Le taux de survie des embryons jusqu'à la résorption du sac vitellin s'est situé entre 62,5 à 93,7 % et tous les poissons étaient des diploïdes normaux ($2n=44$). En ce qui concerne *O. aureus*, Penman et coll. (1987) n'ont constaté aucune descendance

viable issue de croisements entre des mâles triploïdes et femelles diploïdes.

Cette étude confirme que les mâles et femelles triploïdes de *O. niloticus* sont stériles du point de vue fonctionnel et reproductif. Cette stérilité de la reproduction dans

l'élevage mixte de *Oreochromis* spp. devrait améliorer la production en empêchant une maturation sexuelle précoce, notamment dans les étangs. L'emploi de poissons triploïdes stériles permettrait également d'éviter les risques d'introgression de gènes de populations d'élevage chez des populations sauvages autochtones. L'utilisation à grande échelle de tilapias triploïdes dépendra de la mise au point de techniques permettant une production en grands nombres à un coût raisonnable.

Littérature citée

- Chourrout, D. et J. Itskovich. 1983. Three manipulations permitted by artificial insemination in tilapia: induced diploid gynogenesis, production of all-triploid populations and intergeneric hybridization, p. 246-255. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Israël.
- Chrisman, C.L., W.R. Wolters et G.S. Libey. 1983. Triploidy in channel catfish. J. World Maricult. Soc. 14:279-293.
- Don, J. et R.R. Avtalion. 1988. Comparative study on the induction of triploidy in tilapias using cold and heat shock techniques. J. Fish Biol. 32:665-672.
- Hussain, M.G., A. Chatterji, B.J. McAndrew et R. Johnstone. 1991. Triploidy induction in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. using pressure, heat and cold shocks. Theor. Appl. Genet. 81:6-12.
- Lincoln, R.F. et A.P. Scott. 1984. Sexual maturation in triploid rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J. Fish Biol. 25:385-392.
- McAndrew, B.J. et K.C. Majumdar. 1983. Tilapia stock identification using electrophoretic markers. Aquaculture 30:249-261.
- McAndrew, B.J. et K.C. Majumdar. 1989. Growth studies on juvenile tilapia using pure species, hormone-treated and nine interspecific hybrids. Aquacult. Fish. Manage. 20:35-47.
- Pandian, T.J. et K. Varadaraj. 1988. Sterile female triploid in *Oreochromis mossambicus*. Bull. Aquacult. Assoc. Can. 88:134-136.
- Penman, D.J., D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1987. Survival, growth and maturity in triploid tilapia, p. 277-287. In K. Tiews (éd.) Proceedings of the World Symposium on Selection, Hybridization and Genetic Engineering in Aquaculture. Vol. II. Heenemann, Berlin.
- Penman, D.J. 1989. Genetic approaches to the improvement of *Oreochromis* species. University of Wales. 252 p. Thèse de doctorat.
- Richter, C.J.J., A.M. Henken, E.H. Eding, J.H. Van Doesum et P. De Boer. 1987. Induction of triploidy by cold-shocking eggs and performance of triploids of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), p. 225-237. In K. Tiews (éd.) Proceedings of the World Symposium on Selection, Hybridization and Genetic Engineering in Aquaculture. Vol. II. Heenemann, Berlin.
- Suzuki, R., T. Nakanishi et T. Oshiro. 1985. Survival, growth and sterility of induced triploids in the cyprinid loach *Misgurnus anguillicaudatus*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 51:889-894.
- Thorgaard, G.H. et G.A.E. Gall. 1979. Adult triploids in a rainbow trout family. Genetics 93:961-973.
- Valenti, R.J. 1975. Induced polyploidy in *Tilapia aurea* (Steindachner) by means of temperature shock treatments. J. Fish Biol. 7:519-528.
- Varadaraj, K. et T.J. Pandian. 1988. Induction of triploids in *Oreochromis mossambicus* by thermal, hydrostatic pressure and chemical shocks, p. 531-535. In Proceedings of the Aquaculture International Congress, Vancouver, Canada.
- Varadaraj, K. et T.J. Pandian. 1990. Production of all-female sterile-triploid *Oreochromis mossambicus*. Aquaculture 84:117-123.
- Wolters, W.R., G.S. Libey et C.L. Chrisman. 1982. Effect of triploidy on growth and gonad development of channel catfish. Trans. Am. Fish. Soc. 111:102-105.

Aspects de la stratégie de reproduction de *Sarotherodon melanotheron* : comparaison entre une population naturelle (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire) et différentes populations d'élevage

M. LEGENDRE*

*Institut français de recherche scientifique pour le développement en
coopération (ORSTOM), 213, rue Lafayette
75480 Paris Cédex 10, France
Centre de recherches océanologiques (CRO)
BP V18, Abidjan, Côte d'Ivoire*

J. M. ECOUTIN

ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cédex 1, France

LEGENDRE, M. et J.M. ECOUTIN. 1996. Aspects de la stratégie de reproduction de *Sarotherodon melanotheron* : comparaison entre une population naturelle (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire) et différentes populations d'élevage, p. 360-374. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La taille de première maturation sexuelle, la fécondité absolue, le poids des ovocytes et le poids des pontes ont été comparés chez des femelles de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) collectées en milieu naturel (lagune Ebrié) et dans différentes situations d'élevage lagunaire, élevage intensif en enclos et élevage extensif en "acadjia-enclos" (enclos aménagés de branchages ou de bambous).

En enclos, les femelles parviennent à maturité à une taille inférieure, et produisent des ovocytes plus petits et plus nombreux que dans le milieu naturel. En "acadjia-enclos" où les conditions sont intermédiaires entre celles de l'élevage intensif et celles du milieu naturel, une situation intermédiaire est aussi observée pour la fécondité et la taille des ovocytes produits mais la taille de première maturation reste voisine de celle rencontrée en milieu naturel.

Les relations entre poids de ponte et poids de femelle sont en revanche remarquablement voisines quelle que soit l'origine des poissons. Ces résultats suggèrent que la quantité de matière élaborée au cours d'un cycle de reproduction (évaluée par le poids de ponte) est une constante spécifique qui pourrait être déterminée génétiquement ; l'environnement intervient sur la manière dont est divisé le matériel gonadique et sur la stratégie de reproduction : oeufs petits et nombreux ou gros mais peu nombreux.

Introduction

Sarotherodon melanotheron (Rüppel, 1852) est une espèce estuarienne type que l'on retrouve en abondance dans la

plupart des lagunes et estuaires ouest-africains où elle peut vivre et se reproduire dans une gamme de salinité très étendue (de 0 à 90 ‰ ; Albaret, 1987). Son intérêt potentiel pour la pisciculture a été évoqué en diverses occasions (Pauly, 1976 ; Sivalingam, 1976 ; Legendre, 1983). Toutefois, les différents essais pratiqués dans les conditions d'un élevage intensif, basé sur

*Adresse actuelle : ORSTOM, Kemang Indah Kav. L2, Jl. Kemang Selatan 1, 12730 Jakarta, Indonesia.

l'utilisation d'une alimentation artificielle, ont montré des résultats décevants (faible croissance, mauvaise transformation des aliments composés) qui ne permettent pas en l'état actuel d'envisager une exploitation rentable (Legendre et coll., 1989).

Une voie qui paraît plus prometteuse est celle de l'élevage extensif de *S. melanotheron* en "acadja-enclos" (Hem, 1992) ; une méthode d'élevage dérivée de la très productive pêcherie traditionnelle en acadjas développée dans les lagunes du Bénin (Welcomme, 1972). Les acadjas sont des amas organisés de branchages installés en zones lagunaires peu profondes dans lesquels certaines espèces du peuplement naturel, dont *S. melanotheron*, se concentrent et se multiplient. Cet effet attractif des acadjas semble résulter, d'une part, de l'importante augmentation des surfaces sur lesquelles se développent microfaune et épiphytes, sources de nourriture pour les poissons, et, d'autre part, du rôle d'abri joué par ces structures. Basé sur un principe identique, l'objectif de l'acadja-enclos est de favoriser le développement de nourriture naturelle dans le milieu d'élevage, réduisant d'autant le besoin en aliments composés et, par voie de conséquence, le coût de production du poisson (Hem, 1992). Les premiers essais d'élevage extensif utilisant la technique des acadja-enclos ont donné des résultats encourageants : des rendements annuels en poissons de plus de $8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ d'acadja, dont 60 à 90 % de *S. melanotheron*, sont possibles sans aucun apport en aliment artificiel (Legendre et coll., 1989 ; Hem, 1992 ; Hem et Avit, même volume).

Compte tenu de cette nouvelle orientation donnée aux élevages de *S. melanotheron*, il est apparu utile de préciser les principales caractéristiques de la reproduction de cette espèce dans l'environnement particulier des acadja-

enclos. Dans le présent travail, la taille de première maturation, la fécondité absolue, le poids des ovocytes et le poids des pontes sont déterminés dans deux acadja-enclos de nature différente (supports constitués de fagots de branchages ou de tiges de bambous). Les résultats sont ici comparés à ceux d'une précédente étude où une analyse de la reproduction de *S. melanotheron* avait été réalisée sur la base d'échantillons prélevés en milieu naturel (lagune Ebrié) et en élevage intensif en enclos (Legendre et Ecoutin, 1989). Que ce soit en milieu naturel ou en élevage, les femelles de *S. melanotheron* parvenues à maturité sexuelle effectuent des cycles de reproduction successifs sans interruption tout au long de l'année.

Matériel et méthodes

Les observations et les essais d'élevage ont été réalisés à la station d'aquaculture expérimentale de Layo située à 40 km à l'ouest d'Abidjan dans une région oligomésohaline de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire).

Origine des poissons et caractéristiques des élevages

Quatre populations de *S. melanotheron* sont étudiées : une population naturelle, une population élevée en enclos lagunaire avec distribution d'aliment composé et deux populations élevées dans deux acadja-enclos sans aucun apport d'aliment exogène.

Les spécimens sauvages ont été obtenus sur les secteurs oligohalins de la partie ouest de la lagune Ebrié. Ils ont été achetés directement aux pêcheurs lagunaires peu après leur capture puis disséqués au laboratoire le même jour.

Un élevage intensif de *S. melanotheron* de tailles variées a été réalisé

en association avec *Tilapia guineensis* dans un enclos non aménagé de 625 m² à une densité initiale d'empoisonnement de 5 individus·m². Les poissons ont été nourris avec un aliment granulé à 31 % de protéines brutes (Legendre, 1986) distribué deux fois par jour et six jours par semaine avec une ration quotidienne fixée à 5 % de la biomasse totale des poissons. Initialement, ces poissons avaient été capturés dans les étangs de la station qu'ils avaient spontanément colonisés à partir de la lagune (Albaret et Legendre, 1983). Ils correspondent à des individus ayant pénétré dans les étangs à l'état d'alevins ainsi qu'à des poissons de première génération nés dans les étangs.

Dans le premier acadja-enclos, un récif artificiel constitué de 200 fagots de branchages a été implanté sur une superficie de 200 m² dans un enclos de 625 m². Cette structure a été empoisonnée avec 1.000 *S. melanotheron* d'élevage de 40 g de poids moyen initial (densité de 1,6 poissons par m² d'enclos).

Le second acadja-enclos était constitué de 4.000 bambous piqués verticalement dans le sédiment sur une superficie de 800 m² dans un enclos de 1.250 m². Un empoisonnement avec 4.000 juvéniles de *S. melanotheron* d'élevage de 5 g de poids moyen initial a été réalisé (densité de 3,2 poissons par m² d'enclos).

Les juvéniles utilisés pour l'empoisonnement des acadja-enclos ont été produits à partir de lots de géniteurs initialement capturés en lagune Ebrié et fréquemment renouvelés avec des individus sauvages.

Echantillonnage et étude de la reproduction

Dans le milieu naturel et dans l'enclos, des échantillons mensuels d'effectif

généralement supérieur à 30 individus ont été prélevés simultanément, sur une période de 16 mois entre 1982 et 1983. Dans les deux acadja-enclos, la totalité des poissons a été pêchée en une seule fois, 12 mois après l'empoisonnement. Dans les deux cas, les observations ont été effectuées sur un échantillon d'environ 250 individus. La pêche du premier acadja-enclos a eu lieu en novembre 1986 et celle du second en mars 1988.

Dans tous les cas, la longueur à la fourche (LF±1 mm) et le poids (P±1 g) ont été déterminés pour chaque individu. Le stade de maturité sexuelle a été déterminé par examen macroscopique des gonades selon l'échelle de maturation définie par Legendre et Ecoutin (1989). Après dissection, les gonades ont été pesées au dixième de gramme pour le calcul de l'indice gonadosomatique (IGS = [poids des gonades x 100]/poids du poisson entier).

La taille de première maturation sexuelle (L_{50}) est ici définie comme la longueur à la fourche à laquelle 50 % des poissons se trouvent à un stade avancé de leur premier cycle sexuel (vitellogenèse en cours pour les femelles ou présence de sperme intratesticulaire pour les mâles). De plus, afin de mieux cerner l'étalement de la gamme de taille dans laquelle la première maturation est susceptible d'intervenir, il est utile de préciser, outre la L_{50} , la longueur du plus petit individu mature ainsi que la taille à laquelle la quasi-totalité (95 %) des poissons observés sont à un stade de maturation avancée.

Déterminée à partir des ovaires de femelles en fin de maturation, la fécondité représente ici le nombre des ovocytes qui appartiennent au groupe modal de plus grand diamètre. Ce groupe d'ovocytes est alors nettement séparé du reste de la population ovocytaire et correspond approximativement aux

ovules qui seront émis à la ponte. Le poids moyen des ovocytes a été déterminé par pesée (au milligramme près) de 50 ovocytes soigneusement débarrassés de toute trace d'humidité superficielle avec du papier absorbant. Le poids de ponte (il s'agit plus précisément du poids total des ovocytes destinés à être pondus) a été calculé par le produit : fécondité x poids moyen d'un ovocyte. Le calcul du poids de ponte n'ayant de sens que chez les individus dont la croissance ovocytaire est achevée, le poids moyen d'ovocyte n'a été déterminé que pour les femelles d'IGS supérieur à 5. A partir de cette valeur d'IGS, aucune relation entre poids moyen d'ovocyte et IGS n'a été mise en évidence pour les populations de *S. melanotheron* étudiées (données non publiées).

L'analyse de variance à un facteur et le test de comparaison multiple de moyennes de Duncan ont été utilisés pour la comparaison des poids moyens d'ovocytes de *S. melanotheron* des quatre milieux. Les relations entre fécondité et poids de femelle, d'une part, et entre poids de ponte et poids de femelle, d'autre part, ont été comparées par l'analyse de covariance appliquée à la comparaison multiple de droites de régression.

Résultats

Taille de première maturation sexuelle (Fig. 1, Tableau 1)

Dans les conditions de l'élevage en enclos non aménagé, avec distribution d'aliment composé, les femelles de *S. melanotheron* parviennent à maturité à une taille (L_{50}) très inférieure (140 mm) à celle relevée dans les conditions naturelles (176 mm). Une plus forte proportion de petits individus sexuellement actifs est aussi observée dans la

population de l'enclos (Fig. 1). En revanche, pour les populations des deux acadja-enclos, les tailles de première maturation sexuelle sont élevées (166 et 189 mm) et encadrent celle observée pour les femelles du milieu naturel. Les résultats indiquent par ailleurs que la première maturation sexuelle intervient à une taille similaire chez les mâles et chez les femelles (Tableau 1).

Fécondité, poids d'ovocytes et poids de ponte (Figs. 2 et 3, Tableau 2)

CAS DES POPULATIONS DU MILIEU NATUREL ET DE L'ÉLEVAGE EN ENCLOS

En milieu naturel comme en élevage en enclos, la fécondité absolue et le poids de ponte sont positivement corrélés avec le poids corporel des femelles (Fig. 2). Toutefois, dans les deux cas, les coefficients de corrélation obtenus traduisent une relation plus étroite entre poids de ponte et poids corporel qu'entre fécondité et poids de femelle (Tableau 2). Dans chacun des milieux, les variations individuelles de fécondité sont en effet compensées dans le poids de ponte par une variation en sens inverse du poids des ovocytes. Le poids des ovocytes et la fécondité montrent une évolution en miroir, de sorte qu'à poids équivalent les femelles présentant les fécondités les plus élevées produisent des ovocytes de plus petite taille (Fig. 3, en prenant pour exemple les femelles du milieu naturel).

Des différences très marquées sont mises en évidence dans les caractéristiques de la reproduction de *S. melanotheron* dans les deux milieux. Pour un même poids de femelle, les ovocytes produits en milieu d'élevage sont systématiquement plus petits et plus nombreux que dans les conditions naturelles. En revanche, les relations

Tableau 1. Caractérisation de la taille de première maturation sexuelle (longueur à la fourche) chez *Sarotherodon melanotheron* en milieu naturel (lagune Ebrié) et dans deux systèmes d'élevage (enclos et acadja-enclos).

Milieu d'origine	Sexe	Effectif observé	PPIM ^a (mm)	L ₅₀ ^b (mm)	L ₉₅ ^c (mm)
Lagune	F	365	146	176	223
	M	96	148	nd	nd
Enclos	F	783	100	140	180
	M	211	105	138	200
Acadja-enclos 1	F	170	173	189	220
	M	62	153	170	199
Acadja-enclos 2	F	158	161	166	205
	M	91	152	170	203

^aPPIM : plus petit individu mature.

^bL₅₀ : taille à laquelle 50 % des poissons sont sexuellement matures.

^cL₉₅ : taille à laquelle 95 % des poissons sont sexuellement matures.

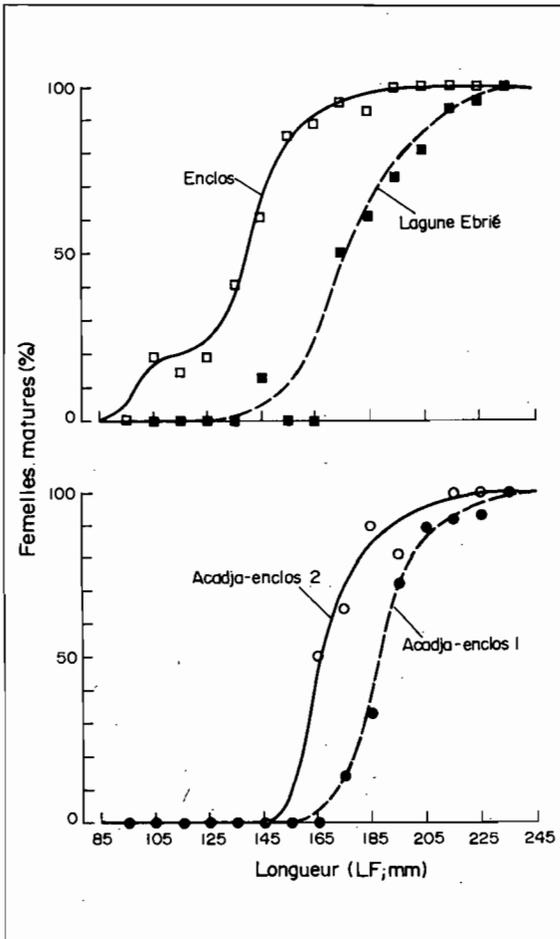


Fig. 1. Détermination de la taille de première maturation sexuelle chez les femelles de *Sarotherodon melanotheron* dans différents milieux.

Tableau 2. Relations entre la fécondité (F) et le poids (P) de femelle ; entre le poids de ponte (P.Pte) et le poids de femelle ; et poids moyen des ovocytes chez *Sarotherodon melanotheron* en milieu naturel (lagune Ebrié) et dans deux systèmes d'élevage (enclos et acadja-enclos).

Milieu d'origine	N	Relation (regression)	r	Poids moyen d'ovocyte (mg)	Int. Conf. 95 % (±)
Lagune	31	$F = -15,0 + 1,72 P$	0,871	28,03	1,90
	31	$P.Pte = 1,60 + 0,041 P$	0,963		
Enclos	46	$F = 203,9 + 2,61 P$	0,777	12,06	1,28
	46	$P.Pte = 0,32 + 0,045 P$	0,939		
Acadja-enclos 1	31	$F = 132,6 + 1,81 P$	0,881	18,94	2,28
	12	$P.Pte = 2,29 + 0,034 P$	0,832		
Acadja-enclos 2	24	$F = 267,3 + 1,25 P$	0,874	15,07	1,74
	18	$P.Pte = 0,38 + 0,043 P$	0,870		

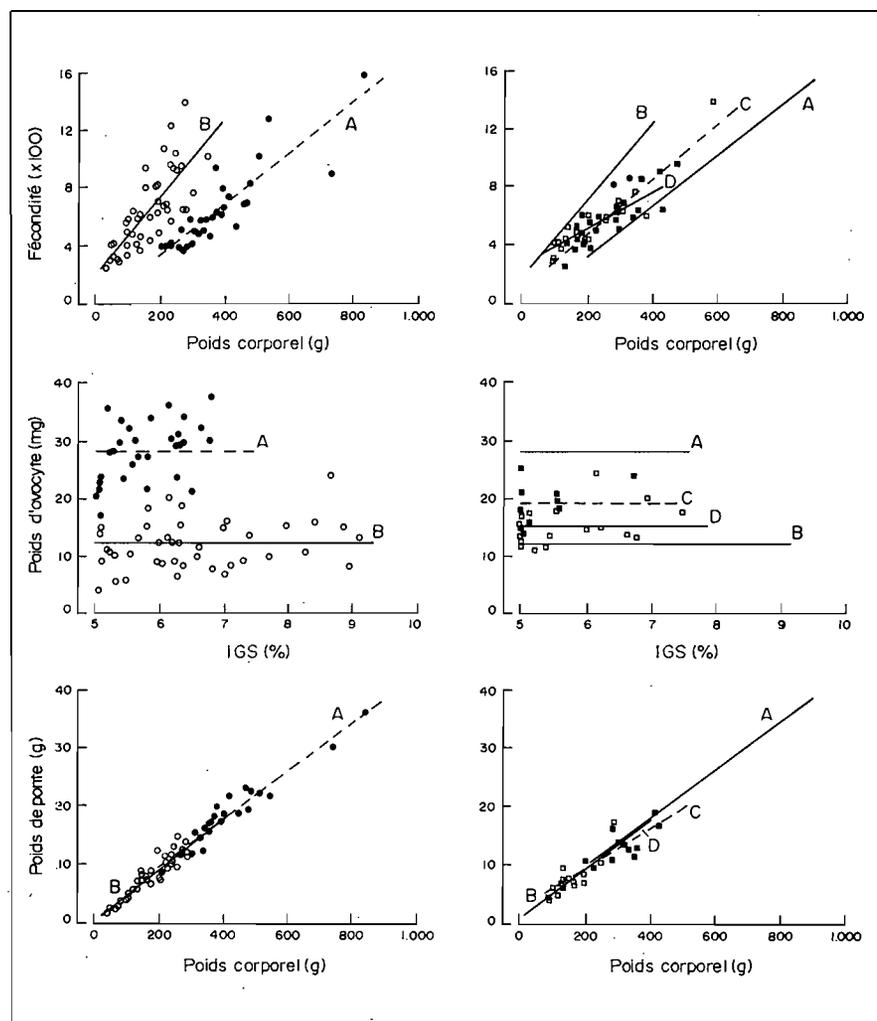


Fig. 2. Comparaison des relations fécondité-poids de femelle, poids des ovocytes-IGS et poids de ponte-poids de femelle obtenues pour *Sarotherodon melanotheron* dans différents milieux : A, milieu naturel (lagune Ebrié) ; B, enclos ; C, acadja-enclos n°1 ; et D, acadja-enclos n°2. Côte gauche : points et lignes pour A et B ; côte droit : lignes pour C et D.

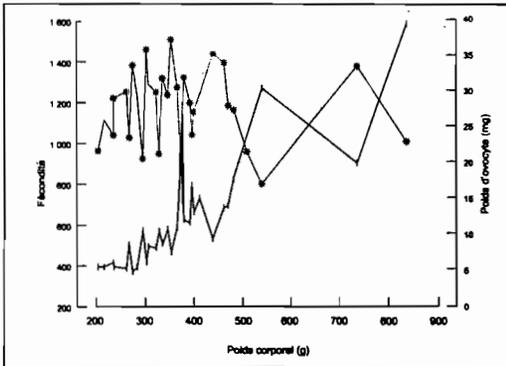


Fig. 3. Correspondance entre la fécondité et le poids des ovocytes pour les femelles de *Sarotherodon melanotheron* du milieu naturel (lagune Ebrié). Chaque couple de données (fécondité, poids d'ovocytes) positionné sur une même verticale correspond à une même femelle. Les variations individuelles de fécondité et de poids des ovocytes montrent une évolution en miroir.

entre le poids de ponte et le poids corporel des femelles sont équivalentes pour les deux environnements (Fig. 2 et Tableau 2).

COMPARAISON AVEC LES POPULATIONS DES ACADJA-ENCLOS

En acadja-enclos, contrairement à la situation décrite précédemment, les coefficients de corrélation des relations entre poids de ponte et poids de femelle ne sont pas plus élevés que ceux obtenus dans les relations entre fécondité et poids de femelle (Tableau 2). Mais ceci peut être attribué aux effectifs plus restreints de femelles prises en compte dans le calcul du poids de ponte (femelles de IGS > 5 uniquement).

Dans les deux acadja-enclos (Fig. 3), les relations entre fécondité et poids de femelle sont voisines. Elles sont en revanche nettement intermédiaires à celles observées en enclos et en milieu naturel dont elles diffèrent significativement par la pente ou par la position ($P < 0,001$). Des observations complémentaires (non publiées) ont montré que la fécondité de *S. melanotheron* varie saisonnièrement et est légèrement plus

élevée en saison sèche qu'en saison des pluies. Les individus considérés pour les populations de la lagune et de l'enclos ont été échantillonnés sur l'ensemble du cycle annuel et intègrent cette variabilité saisonnière, alors qu'en acadja-enclos les échantillonnages ont été ponctuels. Il apparaît cependant clairement que la différence de fécondité entre les femelles des acadja-enclos et les femelles des deux autres milieux excède celle qui pourrait être due à la simple variabilité saisonnière et traduit bien une différence entre populations.

Le poids moyen des ovocytes des femelles provenant de l'acadja-enclos n°1 (19 mg) montre aussi une position intermédiaire ($P < 0,05$) par rapport à ceux des femelles provenant de l'enclos (12 mg) et du milieu naturel (28 mg ; Fig. 2). Pour les femelles de l'acadja-enclos n°2, le poids moyen des ovocytes ne diffère pas significativement de celui observé pour les femelles de l'enclos ou de l'acadja-enclos n°1. D'autres observations ont montré que la taille des ovocytes tend à augmenter avec le poids des poissons jusqu'à 100 g environ et atteint ensuite un plateau. De ce fait, pour la population de l'enclos où quelques petits individus font partie de l'échantillon (Fig. 2), le poids moyen des ovocytes ($12,06 \text{ mg} \pm 4,20$) est légèrement sous-estimé et passe à $13,35 \text{ mg} \pm 3,70$ lorsque seuls les individus de poids supérieur à 100 g sont considérés. Ceci ne modifie cependant pas les conclusions précédentes concernant la comparaison des différentes populations.

Les relations entre poids de ponte et poids corporel sont équivalentes quelle que soit l'origine des femelles (Tableau 2 ; Fig. 2), aucune différence significative n'étant mise en évidence, que ce soit pour la pente ou pour la position, entre les droites de régression calculées pour les quatre milieux étudiés

(milieu naturel, enclos d'élevage avec ou sans apport en aliment composé). Contrairement à la fécondité et à la taille des ovocytes produits, le poids de ponte apparaît donc ici comme une variable indépendante de l'environnement du poisson.

Discussion

Dans cette étude, tous les poissons ont une même origine, la lagune Ebrié, et ne descendent pas, pour les individus produits en élevage, d'une souche de géniteurs longuement isolée de la population naturelle. En outre, dans les acadja-enclos, il semble que même lorsqu'un empoissonnement artificiel est effectué, une partie de la population est constituée par des individus sauvages qui, ayant pénétré dans la structure à l'état juvénile, ont été retenus par le maillage du filet après croissance (Hem, comm. pers.). On peut considérer que tous les poissons étudiés ont un même patrimoine génétique et que les modifications observées dans les caractéristiques de leur reproduction correspondent à des réponses adaptatives (phénotypiques) aux différents environnements.

Taille de première maturation sexuelle

Dans les conditions de l'élevage en enclos, la taille de première maturation sexuelle (L_{50}) est très inférieure à celle observée en lagune Ebrié. En revanche, dans les deux acadja-enclos, la première maturation intervient à une taille voisine de celle des femelles du milieu naturel, légèrement inférieure dans un cas et légèrement supérieure dans l'autre.

Le fait que les superficies et les emplacements lagunaires de l'enclos et des acadja-enclos soient similaires, indique que ni la captivité sur le site

particulier de Layo ni l'espace vital disponible (en terme de volume de lagune enclose), ne peuvent être considérés comme des facteurs responsables de l'abaissement important de la L_{50} observée en élevage intensif.

Lowe-McConnell (1982) rapporte que chez *Oreochromis niloticus*, les populations naturelles dont les individus ont un poids faible pour leur longueur, tendent à entrer en reproduction à une taille inférieure à celle observée pour des populations composées d'individus avec une meilleure condition. Dans la présente étude, une assez bonne concordance entre faible condition des poissons et taille de première maturation réduite est également observée pour les populations étudiées (Fig. 4). Ceci suggère une incidence trophique dans le déterminisme de la maturation sexuelle mais ne signifie pas que l'alimentation soit le seul facteur important.

Bien qu'il n'y ait pas unanimité (voir Noakes et Balon, 1982), il est généralement admis que chez les tilapias, l'abaissement de la taille et de l'âge à la première reproduction est une adaptation à des conditions de vie défavorables (Fryer et Iles, 1972 ; Ruwet et coll., 1976 ; Lowe-McConnell, 1982). La faible condition observée pour les poissons de l'enclos qui présentent la L_{50} la plus réduite va dans le sens de cette interprétation.

En élevage intensif, la première maturation sexuelle de *S. melanotheron* intervient à l'âge de six à huit mois. Mais en l'absence de données sur la croissance de cette espèce en lagune Ebrié ou en acadja-enclos, on ne peut préciser si les différences observées dans la L_{50} résultent d'une simple différence de croissance ou si elles s'accompagnent également d'une différence dans l'âge à la première maturation. Eyeson (1983) rapporte que lorsque les poissons sont

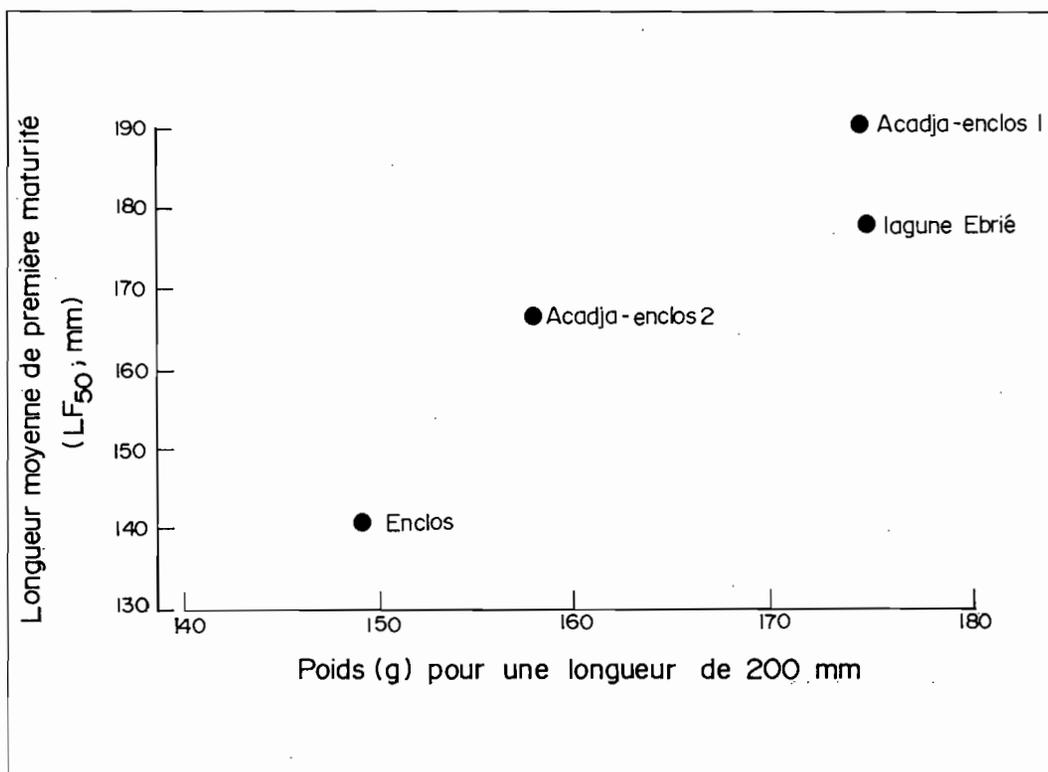


Fig. 4. Correspondance entre la taille de première maturation sexuelle (L_{50}) et la condition des femelles de *Sarotherodon melanotheron* dans différents milieux : milieu naturel (lagune Ebrié) ou milieux d'élevage (enclos, acadja-enclos n°1 et n°2). La condition est ici évaluée par le poids d'un poisson de longueur (LF) 200 mm. Ce poids est estimé par la relation longueur-poids calculée pour chaque milieu étudié.

maintenus en milieu confiné, *S. melanotheron* peut être sexuellement actif dès l'âge de quatre à six mois à une taille aussi réduite que 4 à 5 cm (longueur standard).

Fécondité et taille des ovocytes

Deux niveaux de variations de la fécondité sont mis en évidence dans cette étude : une variation entre individus appartenant à une même population et une variation très marquée entre populations. Au niveau individuel, les résultats ont montré que pour des femelles de poids équivalents, les variations de fécondité s'accompagnent d'une variation en sens inverse du poids des ovocytes ; ils confirment donc

pleinement les observations de Peters (1963) sur la même espèce. Il apparaît de plus que cette règle se vérifie également dans la comparaison entre populations : les femelles des populations ayant globalement les fécondités les plus élevées produisent aussi les ovocytes les plus petits. Cette balance entre fécondité et taille des ovocytes se traduit par une relation entre poids de ponte unitaire et poids de femelle qui reste inchangée quelle que soit la population considérée. La quantité de matière élaborée au cours d'un cycle de reproduction (évaluée par le poids de ponte) apparaît donc comme une constante spécifique qui pourrait être déterminée génétiquement, l'environnement intervenant sur la manière dont

est divisé le matériel gonadique et sur la stratégie de reproduction : oeufs petits et nombreux ou gros mais peu nombreux.

Au niveau interspécifique, l'existence d'une relation inverse entre fécondité et taille des oeufs est un phénomène bien connu chez les poissons (Bagenal, 1978 ; Mann et Mills, 1979 ; Albaret, 1982 ; Elgar, 1990). Cette balance entre le nombre et la taille des oeufs produits a également été montrée ou suggérée pour différents groupes ou populations d'une même espèce (Mann et Mills, 1979 ; Springate et coll., 1985 ; de Silva, 1986) mais elle ne semble pas exister chez toutes les espèces étudiées (Mann et Mills, 1979). A notre connaissance, il n'y a pas d'autre exemple où il ait été clairement démontré que la compensation nombre/taille des oeufs observée pour diverses populations d'une même espèce de poissons s'effectue avec un poids de ponte maintenu. Les variations de fécondité ont parfois été analysées en relation avec les variations d'IGS mais l'IGS ne donne qu'une mesure approximative de l'effort de reproduction et peut changer en fonction du nombre ou de l'état de développement des groupes de jeunes ovocytes qui, outre ceux destinés à être pondus, sont présents dans la gonade (Scott, 1979 ; Mann et coll., 1984).

Trois processus physiologiques sont susceptibles de faire varier la fécondité : le taux de multiplication des ovogonies, le recrutement des ovocytes qui entrent en vitellogenèse et l'atrésie d'une partie des ovocytes en développement (Springate et coll., 1985). Chez les femelles de *S. melanotheron* des quatre milieux étudiés, des ovocytes en atrésie ont systématiquement été observés dans les ovaires des individus en pré ponte. La proportion de ces atrésies n'a pas été déterminée mais elle apparaît toujours faible, ce qui correspond à la

situation rapportée par Peters (1963) chez *Sarotherodon galilaeus*. Ces observations ne constituent cependant qu'une image instantanée ; elles ne préjugent donc pas de l'importance des atrésies qui peuvent se produire aux différents stades de l'ovogenèse et qui peuvent avoir en fin de compte une forte incidence sur la fécondité.

Townshend et Wootton (1984) rapportent qu'en conditions de laboratoire, la taille des oeufs de *Cichlasoma nigrofasciatum* augmente lorsque l'intervalle de temps séparant deux pontes successives s'allonge. Ainsi, dans la présente étude, le poids plus élevé des ovocytes et la fécondité plus faible des femelles du milieu naturel pourraient s'expliquer par l'effet combiné d'un intervalle entre pontes plus long et d'un taux d'atrésie plus élevé (ou d'un même taux sur une période prolongée) que pour les femelles d'élevage. Chez *S. melanotheron*, si l'intervalle de temps moyen séparant deux pontes successives est d'environ deux semaines en élevage en bassins (Legendre et Trébaol, même volume), la fréquence des pontes en milieu naturel n'est pas connue. Le taux de recrutement des ovocytes et le taux d'atrésie peuvent toutefois varier simultanément en relation avec certains facteurs de l'environnement. Townshend et Wootton (1984) attribuent la faible fécondité de *C. nigrofasciatum* dans des conditions d'alimentation restreintes, à la fois à une diminution du recrutement et à une augmentation des atrésies. A l'heure actuelle, l'importance relative de ces processus dans le contrôle de la fécondité reste mal connue chez les poissons et peut varier selon les espèces (Springate et coll., 1985). Plusieurs scénarios sont donc possibles pour expliquer les réponses observées et peuvent impliquer des vitesses de croissance ovocytaire différentes. Une étude histologique comparée et

approfondie du développement ovarien de *S. melanotheron* maintenus dans des environnements différents serait nécessaire pour clarifier ce problème.

Parmi les facteurs externes susceptibles d'avoir une incidence sur la production des oeufs, le rôle de l'alimentation est celui qui a fait l'objet du plus grand nombre d'expérimentations chez les poissons. Une diminution de la fécondité absolue est généralement observée avec une réduction de la ration alimentaire (Bagenal, 1969a ; Wootton, 1979 ; Billard et de Frémont, 1980 ; Springate et coll., 1985). Wootton (1982) indique toutefois que compte tenu de la relation positive entre la fécondité et la taille des femelles, l'effet de l'alimentation sur la fécondité peut être difficile à séparer de celui résultant d'une simple différence de croissance et donc de taille des poissons. Pour les Cichlidés, Mironova (1977) rapporte que chez *Oreochromis mossambicus*, l'abaissement de la ration alimentaire limite la croissance et réduit le nombre des oeufs produits par ponte mais augmente la fréquence de ponte et le nombre total des oeufs produits. Chez *C. nigrofasciatum*, Townshend et Wootton (1984) observent aussi une réduction de la fécondité aux rations alimentaires les plus faibles. Dans notre étude, il paraît donc difficile d'expliquer à la fois la faible condition et la forte fécondité des poissons élevés en enclos simplement par un nourrissage inapproprié. Puisque la ration alimentaire distribuée quotidiennement aux poissons de l'enclos était élevée (5 % de la biomasse des poissons), cela pose le problème de la qualité de l'aliment plutôt que de sa quantité. En outre, bien que l'alimentation soit naturelle et en quantité *a priori* non limitante dans les acadja-enclos et dans la lagune, ceci n'exclut pas la possibilité de différences dans la nature et la qualité nutritive des

organismes (animaux et végétaux) disponibles pour les poissons dans les deux types de milieu.

L'incidence de la teneur en protéines des aliments composés sur la production en oeufs et en alevins a été étudiée récemment chez diverses espèces de tilapias. Chez *S. melanotheron*, Cissé (1988) n'observe de différences significatives ni dans la fréquence de ponte ni dans le nombre d'oeufs produits par ponte en fonction du taux de protéines alimentaires, ce que le faible nombre de poissons utilisés dans cette étude peut cependant expliquer. Santiago et coll. (1985) chez *O. niloticus*, et Chang et coll. (1988) chez l'hybride rouge (*O. mossambicus* x *O. niloticus*), mettent en évidence une augmentation sensible de la production d'alevins pour les géniteurs nourris avec les aliments les plus riches en protéines. Bien qu'il n'y ait pas d'évidence directe, ils attribuent cette réponse à un accroissement de la fréquence des pontes et à une augmentation de fécondité correspondant à un poids de femelle plus élevé. Dans une étude détaillée, Wee et Tuan (1988) ont analysé les caractéristiques de la reproduction de *O. niloticus* nourris ad libitum avec cinq aliments isocaloriques de teneurs en protéines comprises entre 20 et 50 %. Ils montrent que les poissons nourris avec un taux de protéines faible ou intermédiaire (20 à 35 %) ont une fécondité plus élevée et produisent des oeufs plus petits que ceux nourris avec un taux de protéines supérieur (42 et 50 %). De plus, les poissons recevant une alimentation relativement plus pauvre en protéines ont une fréquence de ponte plus élevée. Si ces résultats contrastent avec ceux des études précédemment citées, ils tendent à confirmer l'idée d'une compensation entre fécondité et taille des oeufs, et s'inscrivent bien dans la tendance générale de nos observations.

Ces résultats pourraient aussi suggérer que l'alimentation naturelle consommée par *S. melanotheron* en lagune ou en acadja-enclos est en fait plus riche en protéines que ne l'est l'aliment composé (31 %) distribué aux poissons de l'enclos.

D'autres facteurs de l'environnement tels qu'un espace vital réduit, une densité de population accrue ou une perturbation répétée des poissons par des pêches périodiques (cas de l'enclos) peuvent constituer des facteurs de stress susceptibles d'affecter la production des oeufs, que ce soit directement ou indirectement par le biais d'interactions comportementales. Ainsi, les changements de fécondité observés entre différentes populations de *O. mosambicus* des lacs du Sri Lanka ne semblent pas liés à l'alimentation mais sont positivement corrélés à la pression de pêche exercée sur le plan d'eau (de Silva, 1986).

Outre l'alimentation, la différence majeure entre l'enclos et les acadja-enclos provient de l'organisation spatiale de l'environnement. L'enclos délimite un volume d'eau totalement libre alors que les paquets de branchages ou les bambous disposés dans les acadja-enclos multiplient les caches, les abris, dont la présence peut avoir une incidence sur le comportement de cette espèce territoriale et sur la nature des interactions sociales entre individus. Les acadja-enclos et l'enclos ayant dans cette étude des superficies similaires, l'important n'est peut-être pas tant l'espace vital délimité par ces structures que la perception de cet espace par les poissons. En lagune Ebrié, les zones de mangroves ou les baies dont le fond est encombré de branchages en décomposition constituent les biotopes préférentiels pour *S. melanotheron* (Albaret, comm. pers.). De ce simple point de vue, l'acadja-enclos constituant

un milieu intermédiaire entre le milieu naturel et l'enclos, il n'est donc pas très surprenant que la fécondité de cette espèce y soit également intermédiaire.

De cette discussion, il émerge que, plutôt qu'un seul facteur, c'est très probablement la combinaison des différents facteurs évoqués ci-dessus (et peut-être d'autres) qui est responsable des changements observés dans la tactique de reproduction de *S. melanotheron*. Ceci est illustré notamment par la comparaison des caractéristiques de la reproduction de cette espèce dans le milieu naturel et dans l'acadja-enclos n°1. Dans cet acadja, la fécondité (à taille de femelle égale) est significativement plus élevée que dans la lagune (Fig. 2) alors que la taille de première maturation et la condition (poids pour longueur) des poissons sont voisines (Fig. 4). Cette constatation suggère, d'une part, que taille de maturation réduite et forte fécondité ne vont pas nécessairement de pair et, d'autre part, que ces traits de la reproduction peuvent être sous la dépendance de facteurs proximaux différents.

D'un point de vue aquacole, maturation sexuelle précoce et forte fécondité sont deux caractéristiques défavorables au sein des lots de poissons en grossissement en raison de la prolifération d'alevins indésirés et du ralentissement de croissance qu'elles sont susceptibles d'entraîner. Ces caractéristiques sont en revanche souhaitables pour l'optimisation de la production d'alevins dans le cadre de la gestion d'un stock de géniteurs de tilapias. Mais, comme l'augmentation de la fécondité se fait au détriment de la taille des oeufs, un effet négatif sur la survie des alevins est à envisager. Il est connu que, chez les poissons, les larves issues de petits oeufs ont une taille réduite et des chances de survie plus faibles dans les conditions naturelles (Bagenal, 1969b,

1978 ; Mann et Mills, 1979). En situation d'élevage où les poissons sont plus protégés, une différence de survie entre larves ou juvéniles issus d'oeufs de tailles différentes n'est cependant pas mise en évidence (Billard et de Frémont, 1980 ; Springate et coll., 1985). Chez *S. melanotheron*, une survie très élevée est également observée à partir des oeufs les plus petits produits par les femelles de l'enclos. La mortalité apparaît en effet très réduite pendant l'incubation buccale (Legendre et Trébaol, même volume) et après quatre semaines d'élevage en bassins, la survie de ces alevins avoisine encore 95 % (Legendre, 1983).

En conclusion, les présents résultats illustrent la remarquable plasticité de la reproduction de *S. melanotheron* en fonction des conditions, plus ou moins favorables, de l'environnement. D'importantes modifications sont observées pour la taille de première maturation, la fécondité et la taille des oeufs, avec toutefois une constante dans le poids de ponte.

En élevage intensif (basé sur une alimentation composée), *S. melanotheron* parvient à maturité à une taille inférieure et produit des ovocytes plus nombreux et plus petits que dans le milieu naturel. En acadja-enclos où les conditions sont intermédiaires entre celles de l'élevage intensif et celles du milieu naturel, une situation intermédiaire est aussi observée pour la fécondité et la taille des ovocytes ; la taille de première maturation reste néanmoins voisine de celle rencontrée en milieu naturel.

Le caractère global des comparaisons effectuées ne permet cependant pas d'identifier avec certitude des relations de cause à effet entre les différents facteurs de l'environnement impliqués et les caractéristiques de la reproduction. D'une manière générale, la nature, le rôle et les interactions éventuelles

des facteurs externes (biotiques et abiotiques) impliqués dans le contrôle des différentes étapes de la gamétogenèse restent mal cernés chez les tilapias. Une approche expérimentale s'avère encore nécessaire et pourrait grandement contribuer à la compréhension des stratégies adaptatives développées par ces espèces. Outre son intérêt cognitif, cette démarche pourrait, à terme, conduire à d'importantes retombées pratiques pour la conduite des élevages grâce à un meilleur contrôle de l'influence des facteurs externes sur la fécondité, la fréquence des pontes et l'apparition de la première maturité sexuelle.

Littérature citée

- Albaret, J.J. 1982. Reproduction et fécondité des poissons d'eau douce de Côte d'Ivoire. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 15:347-371.
- Albaret, J.J. 1987. Les peuplements de poissons de la Casamance (Sénégal) en période de sécheresse. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 20: 291-310.
- Albaret, J.J. et M. Legendre. 1983. Les espèces colonisatrices des étangs d'une station de pisciculture lagunaire en Côte d'Ivoire. Description et incidence sur l'élevage. *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan ORSTOM* 14:57-67.
- Bagenal, T.B. 1969a. The relationship between food supply and fecundity in brown trout *Salmo trutta* L. *J. Fish Biol.* 1:167-182.
- Bagenal, T.B. 1969b. Relationship between egg size and fry survival in brown trout *Salmo trutta* L. *J. Fish Biol.* 1:349-353.
- Bagenal, T.B. 1978. Aspects of fish fecundity, p. 75-101. *In*: S.D. Gerking (éd.) *Ecology of freshwater fish production*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Billard, R. et M. de Frémont. 1980. Taux d'alimentation pendant la gamétogenèse et performance de reproduction chez la truite fario. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 279:49-56.
- Chang, S.L., C.M. Huang et I.C. Liao. 1988. The effect of various feeds on seed production by Taiwanese red tilapia, p. 319-322. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.

- Cissé, A. 1988. Effects of varying protein levels on spawning frequency and growth of *Sarotherodon melanotheron*, p. 329-333. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- de Silva, S.S. 1986. Reproductive biology of *Oreochromis mossambicus* populations of man-made lakes in Sri Lanka: a comparative study. Aquacult. Fish. Manage. 17:31-48.
- Elgar, M.A. 1990. Evolutionary compromise between a few large and many small eggs: comparative evidence in teleost fish. Oikos 59:283-287.
- Eyeson, K.N. 1983. Stunting and reproduction in pond-reared *Sarotherodon melanotheron*. Aquaculture 31:257-267.
- Fryer, G. et T.D. Iles. 1972. The Cichlid fishes of the great lakes of Africa. Oliver et Boyd, Edimbourg. 641 p.
- Hem, S. 1992. Acadja-enclos : de la pêche de cueillette à la pêche de culture, p. 101-113. In G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC-MR308 ef. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.
- Legendre, M. 1983. Observations préliminaires sur la croissance et le comportement en élevage de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) et de *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862) en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan ORSTOM 14:1-36.
- Legendre, M. 1986. Influence de la densité, de l'élevage monosexé et de l'alimentation sur la croissance de *Tilapia guineensis* et de *Sarotherodon melanotheron* élevés en cage-enclos en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Rev. Hydrobiol. Trop. 19:19-29.
- Legendre, M. et J.M. Ecoutin. 1989. Suitability of brackishwater tilapia species from the Ivory Coast for lagoon aquaculture. 1-Reproduction. Ressour. Aquat. Vivantes 2:71-79.
- Legendre, M., S. Hem et A. Cisse. 1989. Suitability of brackishwater tilapia species from the Ivory Coast for lagoon aquaculture. 2-Growth and rearing methods. Ressour. Aquat. Vivantes 2:81-89.
- Lowe-McConnell, R.H. 1982. Tilapias in fish communities, p. 83-113. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Mann, R.H.K. et C.A. Mills. 1979. Demographic aspects of fish fecundity. Symp. Zool. Soc. Lond. 44:161-177.
- Mann, R.H.K., C.A. Mills et D.T. Crisp. 1984. Geographical variation in the life-history tactics of some species of freshwater fish, p. 171-186. In G.W. Potts et R.J. Wootton (éds.) Fish reproduction - strategies and tactics. Academic Press, Londres.
- Mironova, N.V. 1977. Energy expenditure on egg production in young *Tilapia mossambica* and the influence of maintenance conditions on their reproductive intensity. J. Ichthyol. 17:627-633.
- Noakes, D.L.G. et E.K. Balon. 1982. Life histories of tilapias: an evolutionary perspective, p. 61-82. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Pauly, D. 1976. The biology, fishery and potential for aquaculture of *Tilapia melanotheron* in a small West African lagoon. Aquaculture 7:33-49.
- Peters, H.M. 1963. Fecundity, egg weight and oocyte development in tilapias (Cichlidae, Teleostei). Traduit de l'allemand par D. Pauly: ICLARM Transl. 2, 28 p.
- Ruwett, J.C., J. Voss, L. Hanon et J.C. Micha. 1976. Biologie et élevage des tilapias, p. 332-364. In Proceedings of the FAO/CIFA Symposium on Aquaculture in Africa, Accra, Ghana. CIFA Tech. Pap. 4.
- Santiago, C.B., M.B. Aldaba, E.F. Abuan et M.A. Laron. 1985. The effects of artificial diets on fry production and growth of *Oreochromis niloticus* breeders. Aquaculture 47:193-203.
- Scott, C.B.C. 1979. Environmental timing and the control of reproduction in teleost fish. Symp. Zool. Soc. Lond. 44:105-132.
- Sivalingam, S. 1976. The biology of cultivable brackishwater and marine finfish in Africa, p. 283-291. In Proceedings of the FAO/CIFA Symposium on Aquaculture in Africa, Accra, Ghana. CIFA Tech. Pap. 4.
- Springate, J.R.C., N.R. Bromage et P.R.T. Cumaranatunga. 1985. The effects of different ration on fecundity and egg quality in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*), p. 371-391. In C.B. Cowey, A.M. Mackie et J.G. Bell (éds.) Nutrition and feeding in fish. Proceedings of the Fisheries Society of the British Isles. Academic Press, Londres.
- Townshend, T.J. et R.J. Wootton. 1984. Effects of food supply on the reproduction of the convict cichlid, *Cichlasoma nigrofasciatum*. J. Fish Biol. 24:91-104.
- Wee, K.L. et N.A. Tuan. 1988. Effects of dietary protein level on growth and reproduction in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), p. 401-410. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia

- in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Welcomme, R.L. 1972. An evaluation of the acadjas method of fishing as practiced in the coastal lagoons of Dahomey (West Africa). *J. Fish Biol.* 4:39-55.
- Wootton, R.J. 1979. Energy costs of egg production and environmental determinants of fecundity in teleost fishes. *Symp. Zool. Soc. Lond.* 44:133-159.
- Wootton, R.J. 1982. Environmental factors in fish reproduction, p. 210-219. *In* C.J.J. Richter et J. Th. Goos (éds.) *Reproductive physiology of fish*. PUDOC, Wageningen.

Efficacité de l'incubation buccale et fréquence de ponte de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) en milieu d'élevage (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire)

M. LEGENDRE*

L. TREBAOL

*Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM)
213, rue Lafayette 75480 Paris Cédex 10, France
Centre de recherches océanologiques (CRO)
BP V18, Abidjan, Côte d'Ivoire*

LEGENDRE, M. et L. TREBAOL. 1996. Efficacité de l'incubation buccale et fréquence de ponte de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1852) en milieu d'élevage (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire), p. 375-386. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Chez *Sarotherodon melanotheron*, l'efficacité de l'incubation buccale et la fréquence des pontes sont deux paramètres importants à prendre en compte pour la gestion pratique des stocks de géniteurs en captivité. Pour cette espèce où le mâle pratique l'incubation buccale, le nombre d'oeufs ou d'alevins incubés est corrélé positivement au poids des mâles (étude effectuée sur une population élevée en enclos lagunaire). Le succès de cette incubation est discuté en relation avec la fécondité des femelles, le volume de la cavité buccale des mâles, le stade de développement des alevins incubés et le rapport des tailles entre mâle et femelle lors de l'appariement des couples.

La fréquence des pontes individuelles a été étudiée en bassins cimentés avec des couples isolés et des familles de sexe ratio variable. Un sexe ratio déplacé en faveur des mâles n'augmente pas significativement la fréquence de ponte, alors qu'un sexe ratio déplacé en faveur des femelles la diminue fortement. Le sexe ratio le plus favorable à la production d'alevins de *S. melanotheron* en captivité est de une femelle pour un mâle. Dans cette dernière situation, l'intervalle de temps moyen séparant deux pontes successives chez une même femelle est généralement compris entre 10 et 16 jours. Sur la base des observations réalisées sur de longues périodes (174 à 587 jours) à partir des couples isolés, une estimation de la prolificité annuelle de l'espèce est effectuée.

Introduction

Contrairement à ce que l'on observe pour la majorité des autres espèces de poissons exploitées en pisciculture, la reproduction des tilapias s'effectue spontanément et à un rythme soutenu en captivité. Afin d'être en mesure de gérer efficacement cette reproduction et de planifier la production d'alevins

pour la pisciculture, la prolificité de chaque espèce doit être connue. Une fois la maturité sexuelle atteinte, celle-ci dépend du nombre d'alevins issus de chaque ponte et de l'intervalle de temps séparant deux pontes successives.

Chez les incubateurs buccaux (genres *Oreochromis* et *Sarotherodon*) le nombre d'alevins issus de chaque ponte est lui-même fonction de deux composantes, la fécondité des femelles et le succès de l'incubation buccale (Welcomme, 1967 ; Marshall, 1979). Ce dernier point paraît d'autant plus important à prendre en

*Adresse actuelle : ORSTOM, Kemang Indah Kav. L2, Jl. Kemang Selatan 1, 12730 Jakarta, Indonesia.

compte lorsque, comme chez *Sarotherodon melanotheron*, l'incubation est pratiquée par le mâle. Dans ce cas, la cavité buccale peut avoir un volume limitant pour la reprise en bouche de la ponte et pour le développement de la progéniture après l'éclosion (Aronson, 1949).

Dans la présente étude, le succès de l'incubation est étudié, chez *S. melanotheron*, en relation avec la fécondité des femelles, le volume de la cavité buccale des mâles, le stade de développement des alevins incubés et le rapport des tailles entre mâle et femelle lors de l'appariement des couples. La fréquence des pontes est suivie en bassins cimentés avec des couples isolés et des familles de sexe ratio variable. Sur la base de ces observations, une estimation de la prolificité annuelle de *S. melanotheron* est effectuée.

Chez cette espèce, contrairement aux autres tilapias incubateurs buccaux, le comportement de protection parentale s'achève brutalement avec la libération des alevins en fin de résorption vitelline ; ceux-ci deviennent alors définitivement autonomes (Aronson, 1949 ; Lowe-McConnell, 1955).

Matériel et méthodes

Les observations ont été réalisées à la station de pisciculture expérimentale de Layo, située à 40 km à l'ouest d'Abidjan dans une région oligo-mésohaline de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Sur cette station, les extrêmes saisonniers de la salinité lagunaire sont de 0 et 10 g.l⁻¹. La température mensuelle moyenne de l'eau fluctue entre 27 et 32°C et le pH est généralement compris entre 6,5 et 7,5.

Incubation buccale

La fécondité des femelles et le nombre d'oeufs ou d'alevins incubés par les mâles ont été étudiés sur une population de *S. melanotheron* de tailles variées, élevés dans

un enclos lagunaire de 625 m², avec une densité initiale d'empeusement de 5 individus par m². Les poissons ont été nourris avec un aliment granulé à 31 % de protéines brutes, distribué à raison d'une ration journalière fixée à 5 % de la biomasse des poissons.

Les modalités d'étude de la fécondité ont été décrites précédemment par Legendre et Ecoutin (même volume). Les mâles incubateurs (n=127), identifiés sous l'eau avec un équipement de plongée par la déformation caractéristique de leur cavité bucco-pharyngienne, ont été capturés individuellement avec une épuisette et rapidement placés dans une cuvette, où la progéniture était généralement crachée immédiatement.

Les mâles ont alors été sacrifiés, pesés au gramme près et leur estomac disséqué afin de dénombrer la progéniture éventuellement avalée durant la capture. Pour certains, le volume buccal a été déterminé par remplissage total de la cavité buccale avec une pâte silicone, selon une méthode voisine de celle décrite par Drenner (1972). Après durcissement, extraction et nettoyage des moulages internes ainsi obtenus, leur volume a été mesuré par déplacement de l'eau dans une éprouvette graduée.

Les oeufs et les alevins ont été conservés dans du formol à 4 % et comptés individuellement. Six stades arbitraires, aisément distinguables à l'oeil nu, ont été considérés pour caractériser l'état de développement de chaque portée (Tableau 1). Le volume moyen des oeufs ou des alevins a été déterminé sur des lots de 50 individus dans une éprouvette graduée et le volume total de la portée calculé par le produit : effectif incubé x volume moyen des alevins.

Fréquence des pontes

COUPLES ISOLÉS

La fréquence de ponte, ou intervalle de temps séparant deux pontes successives,

Tableau 1. Définition des stades arbitraires utilisés pour la caractérisation de l'état de développement ontogénique des oeufs et des alevins incubés par les mâles de *Sarotherodon melanotheron*. Correspondance avec l'âge, la taille et le volume moyens des oeufs et des alevins. Les données entre parenthèses sont les extrêmes des valeurs individuelles moyennes.

Stade	Descriptif	Age (jours) ^a	Taille (mm) ^b	Volume (ml)
1	de la fécondation à l'apparition des mélanophores	0-2	3,4 (3,3-3,5)	17,4 (13,9-21,3)
2	des premiers mélanophores à la pigmentation des yeux	2-4	3,3 (3,2-3,4)	
3	de la pigmentation des yeux à l'éclosion	4-6	3,5 (3,1-3,7)	
4	de l'éclosion à la première moitié de la résorption vitelline	-	7,5 (5,5-8,8)	18,4 (15,2-22,7)
5	seconde moitié de la résorption vitelline	-	10,1 (9,0-10,8)	22,7 (18,8-25,0)
6	vésicule vitelline non visible	14-15	11,4 (10,7-13,0)	26,0 (19,5-40,5)

^aAge depuis la fécondation ; d'après Shaw et Aronson (1954) et Shaw (1956).

^bMoyenne des petits et grands diamètres pour les oeufs, longueur totale pour les alevins.

a été étudiée dans un premier temps sur quatre couples placés chacun dans un bassin en béton (4 m² pour 0,5 m de hauteur en eau) alimenté en eau de lagune. Ces couples, constitués de géniteurs de taille variable (entre 120 et 270 g) et nourris avec un aliment à 31 % de protéines brutes (ration de 3 % par jour), ont été suivis sur une période comprise entre 174 et 587 jours. Tous les sept jours, les bassins étaient vidangés et les pontes enregistrées. Les oeufs ou les alevins vésiculés étaient extraits de la bouche des mâles et comptés individuellement. La date réelle de ponte était estimée sur la base du degré de développement de la progéniture collectée. Dans tous les cas, celle-ci était retirée des bassins.

FAMILLES DE GÉNITEURS

Dans une seconde expérience, réalisée dans des conditions de maintenance des poissons analogues à celles décrites pour les couples isolés, la fréquence des pontes a été comparée sur une période de 76

jours au sein de familles composées de 10 individus de poids voisins (200 à 230 g), avec un sexe ratio variable : 5 femelles et 5 mâles ; 9 femelles et 1 mâle ; 1 femelle et 9 mâles (deux répétitions par traitement). Deux couples supplémentaires, placés chacun dans un bassin en béton, ont été suivis durant la même période. Tous les sept jours, tous les bassins étaient vidangés et les poissons avec des oeufs en bouche, dénombrés. A plusieurs reprises, il est arrivé que des oeufs soient crachés par les poissons incubateurs pendant la vidange, ces oeufs étaient alors immédiatement l'objet d'un intense cannibalisme par les congénères présents dans le bassin. Pour cette raison, le nombre des oeufs produits dans les familles constituées n'a pas été déterminé. Ce problème ne s'est pas posé dans le cas des couples isolés, la capture des poissons étant plus aisée et plus rapide. En fin d'expérience, tous les individus ont été sacrifiés pour examen macroscopique des gonades.

Résultats et discussion

Efficacité de l'incubation buccale

Sur les 127 mâles échantillonnés dans la population de l'enclos, 30 % avaient avalé une partie de leur progéniture durant la capture. Ceci indique que l'estomac des poissons doit être systématiquement examiné pour avoir une estimation exacte des effectifs incubés. L'un des mâles avait ainsi ingéré près de la moitié de sa portée (207 individus nouvellement éclos). Néanmoins, dans la majorité des cas, le nombre d'oeufs trouvés dans les estomacs n'excède pas 5 % de l'effectif total de la portée.

Une relation linéaire positive ($r = 0,793$) est observée entre le nombre d'oeufs ou d'alevins incubés et le poids des mâles incubateurs (Fig. 1). Les droites de régression entre, d'une part, l'effectif incubé et le poids des mâles et, d'autre part, la fécondité et le poids des femelles ont été statistiquement comparées par une analyse de covariance. Aucune différence n'a été trouvée entre les pentes ; en revanche, les ordonnées à l'origine diffèrent significativement. Les deux droites de régression peuvent donc être considérées comme parallèles (Fig. 1). Ce résultat indique l'existence d'un rapport préférentiel entre les tailles des mâles et des femelles lors de l'appariement des couples et suggère que ce préférendum doit être proche de l'égalité des tailles. La forte augmentation des effectifs incubés avec l'augmentation du poids des mâles montre en particulier que les plus gros mâles ne s'accouplent pas spontanément avec les plus petites femelles.

Lorsque l'on examine plus en détail les effectifs incubés en tenant compte du stade de développement de la portée (voir Tableau 1), on constate que la dispersion des nuages de points est similaire pour les oeufs et pour les alevins en fin de résorption vitelline (Fig. 1), laissant

supposer une perte d'oeufs et d'alevins très limitée durant l'incubation. Ceci a été vérifié en calculant, pour chaque individu, le rapport (R) entre l'effectif réellement incubé et l'effectif estimé par le modèle général décrivant l'évolution de la taille moyenne de la portée en fonction du poids des mâles (Fig. 1), soit : $R = \text{effectif observé} / (2,29 P_m + 107,15)$. On constate (Tableau 2) que "R" reste proche de 1 quel que soit le stade de développement des oeufs et des alevins. Ceci confirme que la mortalité embryonnaire doit être très réduite pendant la période d'incubation buccale chez *S. melanotheron*.

Pour *Oreochromis leucostictus* où c'est la femelle qui incubé les oeufs, Welcomme (1967) définit l'efficacité de l'incubation buccale comme le rapport (en %) entre l'effectif incubé (fertilité) et le nombre des oeufs initialement produits (fécondité).

Chez *S. melanotheron*, comme l'incubation est pratiquée par le mâle, le calcul de cette efficacité implique de faire une hypothèse sur les tailles respectives des mâles et des femelles lors de l'appariement des couples. Nous avons vu précédemment que le préférendum se situe vraisemblablement entre individus de tailles voisines. De ce fait, pour le calcul de l'efficacité de l'incubation buccale, trois hypothèses de formation des couples ont été considérées : (1) mâles et femelles de poids égaux ; (2) mâles de poids supérieur d'un quart à celui des femelles ; et (3) mâles de poids inférieur d'un quart à celui des femelles.

Dans le cas n°1 (égalité des tailles), on constate (Fig. 2) que l'efficacité d'incubation est minimale (60 %) lorsque le mâle est de petite taille (25 g). Elle augmente progressivement avec le poids du mâle jusque vers 150 g (75 % environ) et n'excède pas 80 % chez les mâles de 400 g.

Lorsque le mâle est légèrement plus gros que la femelle (cas n° 2), l'efficacité de l'incubation est fortement améliorée

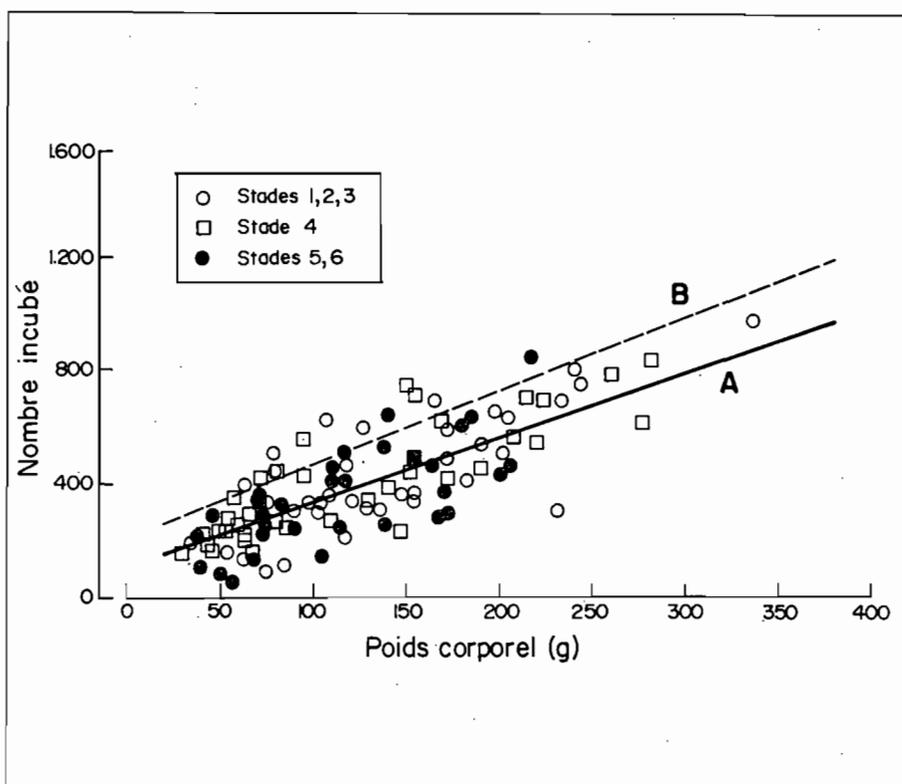


Fig. 1. (A) Relation entre le nombre d'oeufs ou d'alevins incubés (N) et le poids corporel des mâles (Pm) chez *Sarotherodon melanotheron* élevé en enclos ; $N = 2,29 Pm + 107,15$ ($r = 0,793$). Le stade de développement de la portée est indiqué pour chaque individu. (B) Relation entre la fécondité (F) et le poids corporel des femelles (Pf) chez *S. melanotheron* élevé en enclos ; $F = 2,61 Pf + 203,91$ ($r = 0,777$).

Tableau 2. Valeurs de "R" (effectif incubé observé/effectif incubé estimé [voir texte]) en fonction du stade de développement des oeufs et alevins incubés.

Stade de développement	R	Nbre de portées observées.
1	0,99	16
2	1,01	15
3	1,01	18
4	1,06	38
5	0,87	11
6	0,98	26

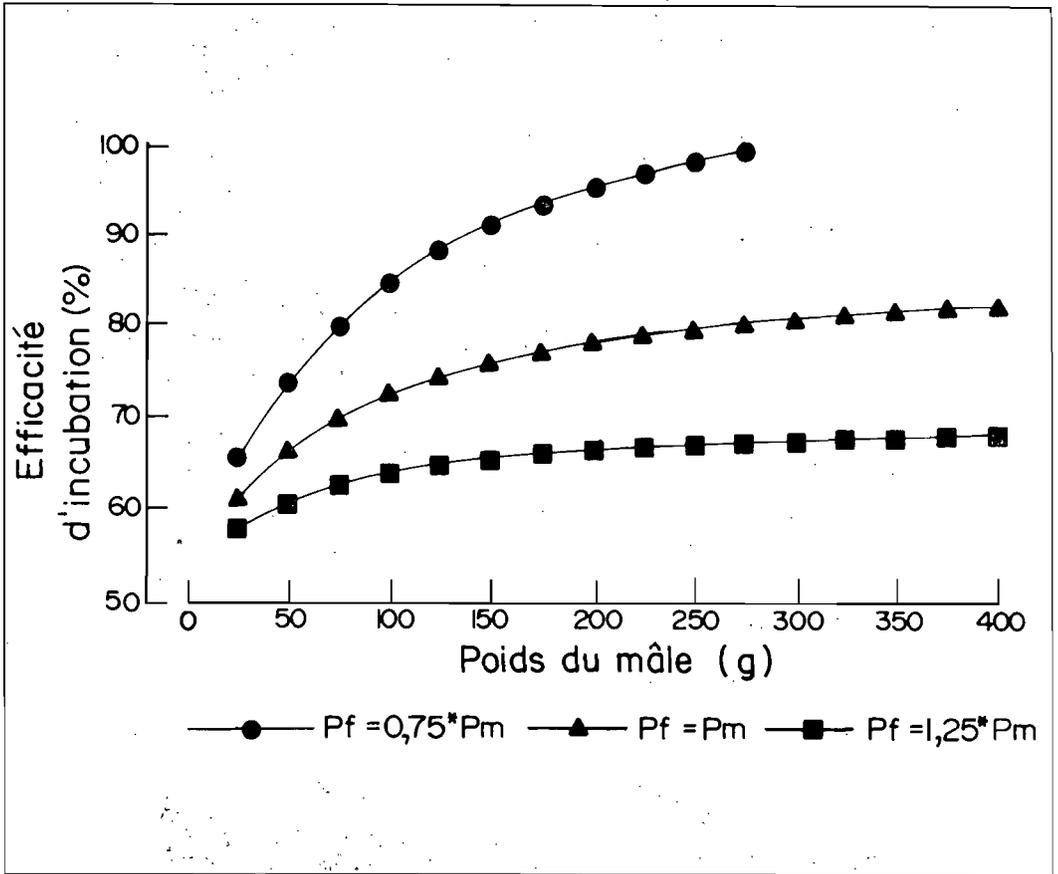


Fig. 2. Efficacité de l'incubation buccale chez *Sarotherodon melanotheron*, en fonction de différentes hypothèses dans le rapport du poids des mâles (Pm) et du poids femelles (Pf) lors de l'appariement des couples.

et atteint une valeur de 100 % pour des mâles de poids supérieur à 300 g. A l'inverse, lorsque le poids du mâle est inférieur à celui de la femelle (cas n° 3), l'efficacité de l'incubation est nettement diminuée et n'excède pas 65 % (Fig. 2).

L'efficacité de l'incubation buccale chez *S. melanotheron* apparaît équivalente à celle observée chez *Oreochromis macrochir* (de 60 à 100 % selon la taille des femelles ; Marshall, 1979) et nettement supérieure à celle rapportée pour *O. leucostictus* (jamais plus de 50 % ; Welcomme, 1967). Il est toutefois à noter que ces deux études ont été réalisées sur des femelles incubatrices capturées à l'aide d'une senne en milieu naturel et que les oeufs et alevins éventuellement avalés

n'ont pas été dénombrés. De ce fait, il est vraisemblable que les effectifs incubés par ces espèces aient été sous-estimés.

Le volume de la cavité buccale est liée au poids des mâles de *S. melanotheron* par une relation linéaire positive ($r = 0,927$; Fig. 3). Lorsque cette relation est comparée à l'évolution du volume moyen des pontes produites en fonction de la taille des femelles (Fig. 3), il apparaît que le volume buccal augmente plus vite avec la taille des mâles que le volume de la ponte n'augmente avec la taille des femelles. Le volume des pontes des femelles de moins de 100 g est peu différent du volume buccal des mâles de même poids. Le volume buccal moyen des mâles de poids inférieur à 50 g est

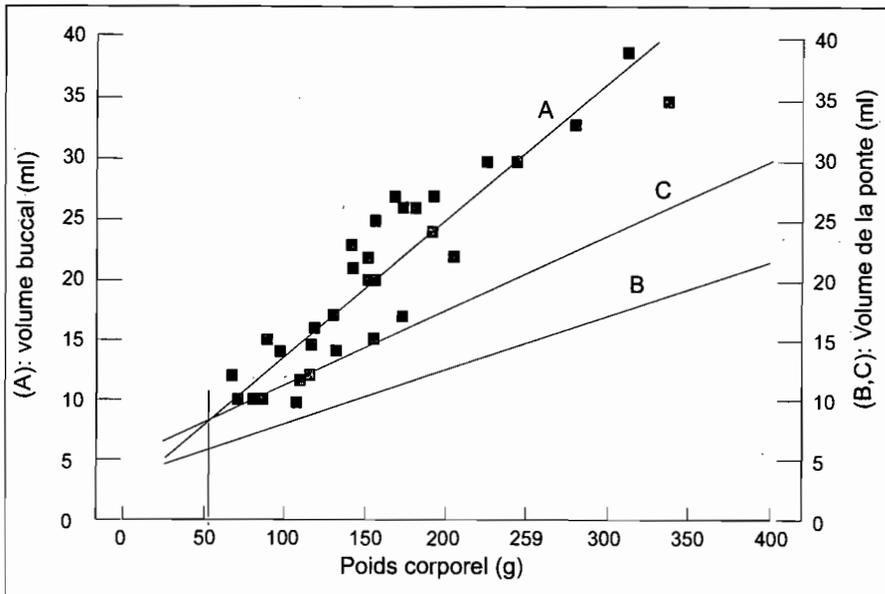


Fig. 3. (A) Relation entre le volume de la cavité buccale (V_b) et le poids corporel des mâles (P_m) chez *S. melanotheron*. $V_b = 0,114 P_m + 2,21$ ($r = 0,927$). (B) Cas des oeufs : évolution moyenne du volume de la ponte en fonction du poids de la femelle. Volume de la ponte = fécondité \times volume moyen d'un oeuf ($17,4 \mu\text{l}$). (C) Cas des alevins en fin de résorption : évolution moyenne du volume de la ponte en fonction du poids de la femelle. Volume de la ponte = fécondité \times volume moyen d'un alevin ($26,0 \mu\text{l}$). Dans les cas B et C, la fécondité est estimée par la relation $F = 2,61 P_f + 203,91$, avec P_f = poids corporel des femelles (Fig. 1).

trop limité pour permettre le développement complet d'une portée moyenne produite par une femelle de même poids. Seuls les mâles de plus de 150 g présentent un volume buccal toujours supérieur au volume moyen des portées en fin de développement (Fig. 3). De ce fait, il apparaît que lorsque l'appariement des couples se fait entre mâles et femelles de tailles équivalentes, le volume de la cavité buccale ne constitue véritablement un facteur limitant pour l'incubation que chez les mâles de poids inférieur à 150 g environ.

Le pourcentage d'occupation de la bouche des mâles par la portée (volume de la portée \times 100/volume de la cavité buccale) a été déterminé pour une trentaine de mâles incubateurs de tailles différentes (Fig. 4). Le pourcentage d'occupation buccale par la portée est plus important (40 à 90 % environ) chez les mâles de poids inférieur à 150 g que chez les mâles

plus gros pour lesquels ce pourcentage n'excède pas 60 %. Ces observations fournissent une explication satisfaisante au fait que l'efficacité de l'incubation buccale est moins bonne chez les mâles de poids inférieur à 150 g que pour les mâles de poids plus élevé (Fig. 2). Elles tendent par ailleurs à confirmer que, dans une population d'individus de tailles hétérogènes, l'appariement des couples s'effectue préférentiellement entre mâles et femelles de tailles voisines. En effet, nous avons vu précédemment (Fig. 1) que les plus gros mâles ne s'accouplent pas spontanément avec les plus petites femelles. Le fait que le pourcentage d'occupation buccale n'excède pas 60 % chez les mâles de plus de 150 g (Fig. 4) confirme ici que les mâles ne s'accouplent pas non plus spontanément avec des femelles beaucoup plus grosses qu'eux.

Dans le milieu naturel (lagune Ebrié), où la taille de première maturation sexuelle

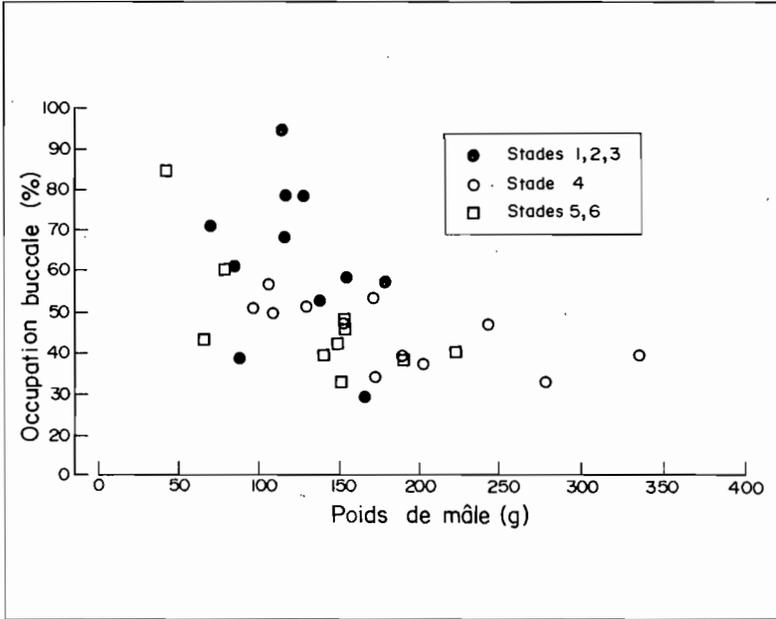


Fig. 4. Pourcentage d'occupation de la cavité buccale par la portée incubée en fonction du poids corporel des mâles de *S. melanotheron*. Le stade de développement de la portée est indiqué pour chaque individu.

est plus élevée que dans les conditions d'élevage (Legendre et Ecoutin, même volume), une meilleure efficacité de l'incubation buccale apparaît très probable. Le plus petit mâle mature observé en lagune présentait une longueur à la fourche de 148 mm (80 g), contre 105 mm (22 g) dans les conditions de l'élevage en enclos. Du fait du volume buccal limité des mâles de petite taille, le nanisme (ou la précocité) observé en élevage devrait être sanctionné par une moins bonne valorisation des pontes unitaires des femelles en termes de rendement en alevins produits.

Fréquence de ponte et nombre d'oeufs collectés

Pour les couples isolés, l'intervalle de temps moyen séparant deux pontes successives est généralement compris entre 10 et 16 jours (Tableaux 3 et 4). Seul l'un des couples, constitué d'une grande femelle associée à un petit mâle a montré un

intervalle moyen entre pontes plus élevé (25 jours ; Tableau 3). Pour tous les couples confondus, les extrêmes observés dans l'intervalle entre deux pontes successives sont de six et 39 jours. Chez *S. melanotheron* élevé en bassins de 2 m³, la fréquence de ponte apparaît donc très régulière en comparaison de celles observées chez d'autres espèces de tilapias, telles que *O. niloticus* ou *O. vulcani* (Mires, 1982). Pour *S. melanotheron*, élevé en aquarium, Aronson (1945) rapporte que l'intervalle de temps entre deux pontes successives varie entre huit jours et une année, mais avec un mode à 15 jours, ce dernier point étant en accord avec les présentes observations.

Le dénombrement systématique des portées pour chacun des couples suivis a montré que les cycles les plus courts (six à huit jours) ne s'accompagnent jamais d'une réduction notable dans les effectifs d'oeufs ou d'alevins produits, en comparaison de ceux obtenus lorsque l'intervalle de temps entre deux pontes

Tableau 3. Fréquence de ponte et quantité d'oeufs collectés pour des couples isolés de *S. melanotheron* en bassins cimentés. Comparaison entre les productions d'oeufs observées et estimées.

N° du Couple	Période d'observation (jours)	Poids moyen des géniteurs (g)		Nbre de pontes observées	Nbre moyen de jours entre pontes	Nbre total d'oeufs collectés	Nbre d'oeufs collectés par an	Nbre moyen d'oeufs collectés par ponte	Nbre d'oeufs estimés	
		Femelle	Mâle						incubé par le mâle ^a	produit par la femelle ^b
1	587	172	194	43	14,0±1,7	24.754	15.392	576	551	653
2	475	164	130	31	15,8±3,5	15.473	11.889	499	405	632
3	398	152	269	34	12,1±0,9	24.425	22.400	718	723	601
4	174	243	118	8	24,8±7,5	2.942	6.171	368	377	838

^aNombres moyens estimés par la relation entre l'effectif incubé (N) et le poids du mâle (Pm) : $N=2,29 Pm + 107,15$ ($r=0,793$).

^bNombres moyens estimés par la relation entre la fécondité (F) et le poids de la femelle (Pf) : $F=2,61 Pf + 203,91$ ($r=0,777$).

Tableau 4. Fréquence de ponte de *S. melanotheron* pour des familles de sexe ratio différents suivies sur une période de 76 jours en bassins cimentés. Les valeurs indiquées correspondent à la moyenne de deux réplicats.

Composition des familles (Nbre femelles/Nbre mâles)	Nbre moyen de pontes observées	Nbre moyen de pontes par femelle	Nbre de jours moyen entre pontes
1/1	6	6 ^a	13,1 ^a
5/5	29	5,8 ^a	13,2 ^a
1/9	7,5	7,5 ^a	10,6 ^a
9/1	14	1,6 ^b	49,5 ^b

Les chiffres affectés d'un même exposant dans une même colonne ne diffèrent pas significativement au risque de 5 %.

est plus long. Ces cycles courts correspondent donc bien à une vitesse de vitellogenèse accrue, conduisant à une ponte totale, et non à l'occurrence de pontes partielles. D'une manière générale, l'intervalle de temps moyen séparant deux pontes successives apparaît plus court chez *S. melanotheron* (deux semaines environ) que pour les espèces de *Oreochromis* étudiées (généralement, quatre à six semaines ; Baroiller et Jalabert, 1989). Pour ces dernières, on sait que la présence d'oeufs ou d'alevins dans la cavité buccale des femelles a un effet inhibiteur sur le développement des ovocytes (Smith et Haley, 1988). Chez *O. niloticus*, le prélèvement fréquent des oeufs en incubation constitue l'une des méthodes utilisées pour accroître la fréquence des pontes et la production d'alevins (Verdegem et McGinty, 1987).

Le nombre moyen des oeufs collectés par ponte pour les différents couples observés varie entre 368 et 718 (Tableau 3). Ce nombre d'oeufs est étroitement dépendant de la taille des mâles utilisés et apparaît en revanche peu influencé par la fécondité des femelles. De fait, la relation décrite précédemment (Fig. 1) entre l'effectif incubé et le poids des mâles

apparaît tout à fait adaptée pour une utilisation prédictive de la production d'oeufs par les géniteurs de *S. melanotheron* en élevage (Tableau 3). Lorsque le poids des mâles utilisés (environ 200 g) est plus élevé que celui des femelles (environ 150 g), le nombre des oeufs collectés pour un couple varie entre 15.000 et 23.000 sur l'ensemble d'une année (Tableau 3). Il convient toutefois de noter que dans les mêmes conditions d'élevage, la fréquence de ponte de *S. melanotheron* est plus élevée en saison sèche (deux à trois pontes par mois) que durant la grande saison des pluies (1,5 pontes par mois ; Legendre et Ecoutin, 1989).

En bassin de 2 m³, la fréquence de ponte par femelle est identique avec un couple isolé ou avec une famille de 10 géniteurs de sexe ratio équilibré (Tableau 4). La production annuelle d'oeufs dans une telle famille devrait pouvoir être estimée directement à partir du modèle prédictif reliant les effectifs incubés à la taille des mâles. Lorsque le sexe ratio est fortement déplacé en faveur des mâles (9:1), l'intervalle de temps moyen entre les pontes, bien que légèrement inférieur, ne diffère pas significativement de celui obtenu avec les familles de sexe ratio équilibré (Tableau

4). En revanche, lorsque le sexe ratio est fortement déplacé en faveur des femelles (1:9), l'intervalle de temps entre deux pontes successives est considérablement allongé (50 jours en moyenne). L'examen macroscopique des gonades de ces femelles en fin d'expérience a montré que, dans 25 % des cas, les ovocytes en fin de vitellogenèse présents dans les ovaires étaient en complète atrophie. Ceci suggère que dans cette situation les femelles sont capables d'effectuer un cycle de vitellogenèse normal, mais que le défaut d'un nombre de mâles suffisant induit périodiquement la résorption totale des ovocytes prêts à être pondus. Il est également possible que dans cette situation la fréquence de ponte ait été sous-estimée. En effet, 29 % des incubations observées étaient effectuées par les femelles (oeufs non fécondés), or on sait que les femelles ont une forte tendance à avaler rapidement les oeufs qu'elles incubent (Aronson, 1949).

Dans leur ensemble, ces résultats indiquent que le sexe ratio le plus favorable à la production d'oeufs et d'alevins de *S. melanotheron* en captivité est de une femelle pour un mâle. Un sexe ratio déplacé en faveur des mâles n'augmente pas significativement la fréquence de ponte individuelle, alors qu'un sexe ratio déplacé en faveur des femelles la diminue fortement.

D'un point de vue pratique, le problème signalé précédemment, concernant le cannibalisme exercé sur les oeufs et alevins crachés par les poissons incubateurs pendant la vidange des bassins, indique que cette structure d'élevage se prête mal à une gestion des géniteurs telle que celle pratiquée ici, avec collecte hebdomadaire de la progéniture. A l'avenir, ce problème devrait pouvoir être résolu en maintenant les poissons dans des structures de type "hapas", plus aisées à manipuler (Hugues et Behrends, 1983) et permettant une capture rapide et simultanée de tous les géniteurs.

Conclusion

Chez *S. melanotheron*, l'efficacité de l'incubation buccale est amoindrie pour les mâles de poids corporel inférieur à 150 g par rapport à celle des individus plus gros. Le volume buccal des mâles de petite taille est en effet très limité et permet à peine d'accueillir la totalité des oeufs produits par les plus petites femelles. Du fait de la contrainte physique que représente le volume buccal, l'efficacité de l'incubation est fortement améliorée lorsqu'une femelle s'accouple avec un mâle de taille supérieure. La mortalité des oeufs puis des alevins apparaît très réduite pendant la phase d'incubation. En pratique, pour la constitution des familles de géniteurs, il est recommandé de ne pas utiliser de mâles de poids inférieur à 150 g et de toujours choisir des mâles plus gros que les femelles.

En captivité, l'intervalle de temps séparant deux pontes successives se situe aux alentours de deux semaines chez *S. melanotheron*. Le sexe ratio le plus favorable à la constitution des familles de géniteurs pour la production d'oeufs et d'alevins en pisciculture est de une femelle pour un mâle. Les productions d'oeufs observées sur une longue période avec des couples isolés, indiquent que la relation entre l'effectif incubé et le poids des mâles peut être utilisée pour prévoir et planifier la production d'alevins dans le cadre d'une exploitation piscicole.

Littérature citée

- Aronson, L.R. 1945. Influence of the stimuli provided by the male cichlid fish, *Tilapia macrocephala*, on the spawning frequency of the female. *Physiol. Zool.* 18:403-415.
- Aronson, L.R. 1949. An analysis of reproductive behavior in the mouthbreeding cichlid fish, *Tilapia macrocephala* (Bleeker). *Zoologica* 34:133-158.
- Baroiller, J.F. et B. Jalabert. 1989. Contribution of research in reproductive physiology to the

- culture of tilapias. *Aquat. Living Resour.* 2:105-116.
- Drenner, R.W. 1972. The feeding mechanics of the gizzard shad (*Dorosoma cepedianum*). University of Kansas, 91 p. Thèse de doctorat.
- Hugues, D.G. et L.L. Berhends. 1983. Mass production of *Tilapia nilotica* seed in suspended net enclosures, p. 394-401. In L. Fishelson and Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 8-13 mai 1983, Tel Aviv, Israël.
- Legendre, M. et J.M. Ecoutin. 1989. Suitability of brackish water tilapia species from the Ivory Coast for lagoon aquaculture. I- Reproduction. *Aquat. Living Resour.* 2: 71-79.
- Lowe-McConnell, R.H. 1955. The fecundity of *Tilapia* species. *E. Afr. Agric. J.* 11:45-52.
- Marshall, B.E. 1979. Observations on the breeding biology of *Sarotherodon macrochir* (Boulenger) in Lake Mcllwaine, Rhodesia. *J. Fish Biol.* 14:419-424.
- Mires, D. 1982. A study of the problems of the mass production of hybrid tilapia fry, p. 317-329. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Shaw, E.S. 1956. Two weeks in father's mouth. *Nat. Hist.* 65:152-153.
- Shaw, E.S. et L.R. Aronson. 1954. Oral incubation in *Tilapia macrocephala*. 1-E.S. Shaw, Embryological studies. 2-E.S. Shaw and L.R. Aronson, Experimental studies. *Am. Mus. Nat. Hist.* 103:380-415.
- Smith, C.J. et S.R. Haley. 1988. Steroid profiles of the female tilapia *Oreochromis mossambicus*, and correlation with oocyte growth and mouthbrooding behavior. *Gen. Comp. Endocrinol.* 69:88-98.
- Verdegem, M.C. et A.S. McGinty. 1987. Effects of frequency of egg and fry removal on spawning by *Tilapia nilotica* in hapas. *Prog. Fish-Cult.* 49:129-131.
- Welcomme, R.L. 1967. The relationship between fecundity and fertility in the mouthbrooding cichlid fish *Tilapia leucosticta*. *J. Zool. Lond.* 151:453-468.

Recherche de régions d'ADN spécifiques du sexe chez *Oreochromis niloticus*

S.K.J. MCCONNELL^a

D.O.F. SKIBINSKI

J.A. BEARDMORE

*Department of Biological Sciences
University College of Swansea
Singleton Park, Swansea SA2 8PP
Pays de Galles, Royaume-Uni*

McCONNELL, S.K.J., D.O.F. SKIBINSKI et J.A. BEARDMORE. 1996. Recherche de régions d'ADN spécifiques du sexe chez *Oreochromis niloticus*, p. 387-392. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Cette étude a été réalisée dans le but de détecter des régions du génome spécifiques du sexe chez *Oreochromis niloticus*, au moyen de séquences donnant des hybridations spécifiques du sexe chez d'autres organismes : pDP1007, une séquence spécifique du chromosome Y humain, et pUGD0600, une séquence spécifique du chromosome W chez les poulets. L'ADN a été extrait de femelles et de mâles issus d'une même fratrie et des hybridations de séquences ont été réalisées après coupure au moyen d'un certain nombre d'enzymes de restriction. Aucune hybridation spécifique du sexe n'a été observée mais les résultats suggèrent que davantage de travaux de comparaison à l'aide de techniques similaires devraient être réalisés.

Introduction

Depuis les travaux de Hickling (1960), les mécanismes du déterminisme du sexe chez les tilapias ont été étudiés en réalisant des croisements intra- et interspécifiques (Jalabert et coll., 1974 ; Majumdar et McAndrew, 1983 ; Hanson et coll., 1983) ; des inversions du sexe par traitement hormonal et des analyses du sexe-ratio des descendance (Clemens et Inslee, 1968 ; Jalabert et coll., 1974 ; Mair et coll., 1987 ; Gilling et coll., même volume) ; et des inductions de gynogenèse diploïde (Chourrout et Itskovich, 1983 ; Penman et coll., 1987 ; Avtalion et Don, 1990 ; Mair

et coll., 1991a, 1991b). Chez *O. mossambicus* et *O. niloticus*, il existe une homogamétie femelle (XX) et une hétérogamétie mâle (XY) tandis que *O. aureus* montre une hétérogamétie femelle (WZ) et une homogamétie mâle (ZZ). Toutefois, des résultats contradictoires dans les sexe ratios tant dans les expériences d'inversion hormonale (Calhoun et Shelton, 1983) que de gynogenèse (Avtalion et Don, 1990) ont poussé certains auteurs (Hammerman et Avtalion, 1979 ; Avtalion et Don, 1990) à proposer d'autres schémas du déterminisme du sexe.

Des séquences d'ADN spécifiques du sexe ont été observées chez un certain nombre d'organismes allant de *Schistosoma* spp. aux humains (voir, par exemple, Kodama et coll., 1987 ; Walker et coll., 1989 ; Page et coll., 1990).

^aAdresse actuelle : Department of Biology, Dalhousie University, Halifax, N.S., Canada B3H 3J5.

Des études récentes ont tenté d'isoler des bandes d'ADN génomique spécifiques du sexe chez les poissons à l'aide de séquences en tandem, spécifiques du sexe issues d'autres phylums et de sondes d'oligonucléotides synthétiques constituées de motifs répétés. Ferreiro et coll. (1989) ont hybridé le gène ZFY spécifique du chromosome Y chez les mammifères (Page et coll., 1990) à l'ADN génomique de la truite et de l'esturgeon, et ont observé des patrons de bandes non spécifiques du sexe. Lloyd et coll. (1989) ont trouvé que les séquences répétées GATA-GACA, isolées à l'origine de la fraction d'ADN satellite spécifique des femelles chez *Bungarus fasciatus* (séquences Bkm ; Singh et coll., 1980), s'hybridaient avec l'ADN génomique de la truite mais donnaient des patrons de bandes non spécifiques du sexe qui révélaient des empreintes génétiques individuelles liées au polymorphisme. Nanda et coll. (1990), utilisant une séquence d'oligonucléotides (GATA)₄, ont trouvé un locus simple répété en tandem spécifique du mâle chez les populations allofécondées de guppys (*Poecilia reticulata*) mais cette observation n'a été faite que chez deux des huit souches de laboratoire. Devlin et coll. (1991) sont récemment parvenus à isoler une séquence d'ADN spécifique du chromosome Y chez *Oncorhynchus tshawytscha* par une hybridation soustractive.

Dans cette étude, deux séquences marquées, une séquence répétée en tandem clonée au niveau du vecteur pUGD0600, qui est spécifique du sexe chez *Gallus* spp. (Kodama et coll., 1987), et une séquence spécifique du chromosome Y humain clonée au niveau du vecteur pDP1007 (Page et coll., 1990) ont été hybridées avec l'ADN génomique de *O. niloticus* dans le but d'étudier leur spécificité dans la différenciation entre mâles et femelles. Le marquage

des deux séquences n'est pas radioactif. Lors d'expériences antérieures, le marquage non radioactif ne s'est pas montré suffisamment sensible pour la détection systématique de séquences uniques. Cependant, la technique de marquage chimioluminescent utilisée dans cette étude promet une sensibilité égale à celle de P³². En outre, des installations radiochimiques ne sont pas nécessaires et ces sondes chimioluminescentes sont stables pendant un an par rapport aux quelques jours offerts par le marquage radioactif des sondes.

L'objectif de cette étude était de détecter de simples différences dans l'ADN génomique des mâles et des femelles de *O. niloticus*, et d'évaluer les possibilités d'utilisation de sondes chimioluminescentes dans les travaux sur l'ADN des poissons.

Matériel et méthodes

Echantillons

Les travaux ont été réalisés sur un stock de *O. niloticus* (lac Manzala) conservé à Swansea et provenant à l'origine de l'université de Stirling. Des échantillons de sang ont été prélevés dans la veine caudale sous anesthésie et des morceaux de nageoire dorsale et caudale ont également été prélevés. Sept mâles et 10 femelles ont été utilisés dans les expériences d'hybridation avec la séquence pDP1007, et cinq mâles et cinq femelles avec la séquence pUGD0600.

Extraction d'ADN

Des échantillons d'ADN de poids moléculaire élevé ont été extraits des échantillons de nageoire et de sang par digestion pendant toute une nuit à l'aide

de la protéinase K (Boehringer Mannheim GmbH ; 10 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$) dans un tampon d'extraction d'ADN STE (0,1M NaCl, 0,05M Tris base et 0,1M EDTA) et SDS à 0,5 % (sodium dodecyl sulfate) suivie par une extraction au phénol/chloroforme et une précipitation à l'isopropanol. La concentration de l'échantillon d'ADN a été déterminée par fluorométrie (Hoefler Scientific Instruments, mini fluoromètre TKO 100).

Electrophorèse et blotting

Les échantillons d'ADN de 10-20 μg ont été digérés par *EcoRI* pendant toute une nuit et placés sur un gel d'agar à 0,8 % pendant huit heures dans un tampon TEA (0,4M Tris Base, 0,2M Na acétate, 0,02M EDTA et 0,18M NaCl). Ils ont ensuite été dénaturés avant de les transférer pendant une heure sur une membrane de nylon chargée positivement (Boehringer Mannheim GmbH), et ont été fixés par chauffage à 120°C pendant 25 minutes.

Sondes

Deux séquences ont été utilisées : le plasmide pDP1007 (Page et coll., 1990) qui contient un fragment *HindIII* de 1,3kb du gène ZFY humain, cloné au site *HindIII* de pUC13 — la séquence de la sonde a été récupérée à l'aide d'un gel d'agar à faible température de fusion après digestion à l'aide de *HindIII* ; et le plasmide pUGD0600 (Kodama et coll., 1987) contenant un motif de répétition de 0,7kb spécifique du chromosome W de la poule White Leghorn, cloné au site *Sal I* de pUC9 — la séquence a été récupérée par digestion à l'aide de *PstI* et *EcoRI*. Les deux séquences ont été marquées par amorçage aléatoire avec de la dizoxigénine-duTP (Boehringer Mannheim GmbH).

Hybridation

Des filtres ont été préhybridés pendant trois heures dans une solution de formamide à 50 % (w/v) ; de réactif bloquant à 2 % (w/v) ; (Boehringer Mannheim GmbH), d'une solution mère stérile à 10 % ; de SDS à 0,02 % (w/v) ; de N-lauroyl-sarcosine à 0,1 % (w/v) ; et ont ensuite été hybridés selon un protocole fourni par Boehringer pendant 16 heures à 42°C avec 30 μl (environ 300 ng) de sonde digérée/marquée dans 4 ml de solution de préhybridation. Les filtres ont ensuite été lavés à faible stringence (2xSSC, SDS à 0,1 % ; 2x10 minutes à température ambiante ; 1xSSC, SDS à 0,1 % ; 2x20 minutes à 60°C) ou forte stringence (2xSSC, SDS à 0,1 % ; 2x10 minutes à température ambiante ; 0,5 ou 0,1xSSC, SDS à 0,1 % ; 2x20 minutes à 68°C). Les sondes digérées/marquées ont été isolées à l'aide de AMPPD (Tropix Inc., Bedford, Massachusetts, E.-U.) utilisé comme substrat chimioluminescent pour le complexe anti-dizoxigénine-AP et visualisées par auto-radiographie (10-80 minutes d'exposition).

Résultats et discussion

Une fois hybridée à l'ADN de *O. niloticus* (digestion à l'aide de *EcoRI*, Fig. 1), la séquence clonée au niveau du plasmide pDP1007 a donné une bande unique de 4kb chez les individus femelles et mâles, tandis qu'une digestion d'ADN mâle humain à l'aide de *EcoRI* a donné deux bandes de 3,6 et 5,6kb. La bande de 3,6kb correspond à la bande spécifique du chromosome Y observée par Page et coll. (1990). Ferreiro et coll. (1989) n'ont observé aucune variation dans les patrons de bandes entre la truite arc-en-ciel femelle

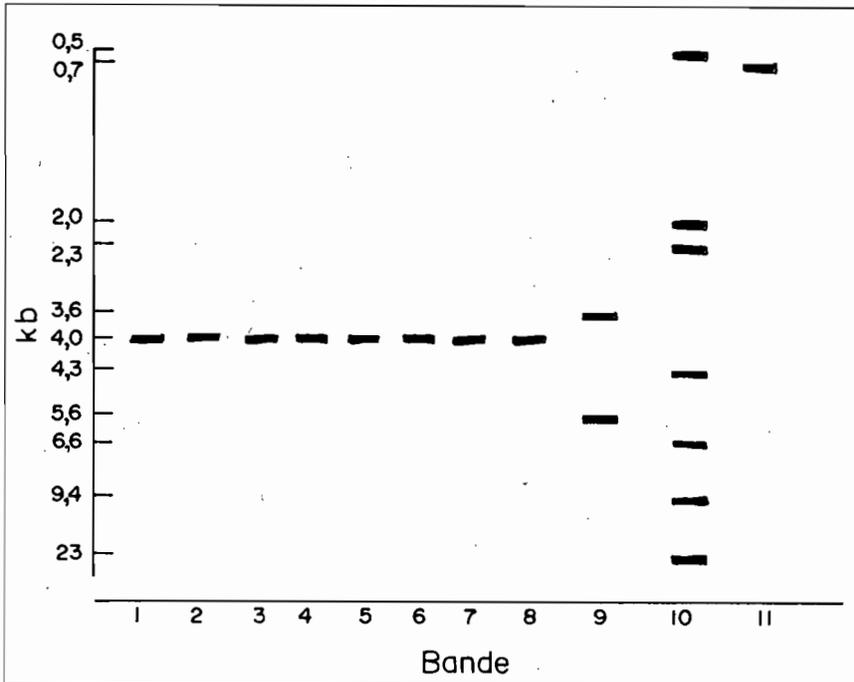


Fig. 1. Résultats de l'hybridation de la séquence clonée au niveau du plasmide pDP1007. Les bandes 1-4 contiennent de l'ADN fragmenté par *EcoRI* d'un mâle de *O. niloticus*. Les bandes 5-8 contiennent de l'ADN fragmenté par *EcoRI* d'une femelle de *O. niloticus*. La bande 9 est un ADN humain mâle fragmenté à l'aide de *EcoRI*. La bande 10 est un ADN lambda fragmenté par *HindIII* et marqué/digéré. La bande 11 est la séquence.

et mâle lorsque les digestions à l'aide de *Taq I*, *Hae III* et *KpnI* de l'ADN génomique de la truite ont été hybridées à pDP1007.

Quand la séquence clonée au niveau du plasmide pUGD0600 a été hybridée à l'ADN génomique de *O. niloticus*, un signal élevé a été observé dans chaque bande du filtre, même à forte stringence, sans que des bandes n'apparaissent clairement. Il s'agit d'une séquence répétée dont l'utilisation révèle la présence de nombreuses séquences répétées éparpillées à travers le génome.

Tandis qu'aucune hybridation spécifique du sexe n'a été observée, la présence chez *O. niloticus* d'une séquence homologue à celle du gène ZFY humain a été détectée même dans des conditions de lavage à forte stringence. Ainsi, bien que la base moléculaire du signal

clé d'une cascade de gènes déterminant le sexe soit différente chez les poissons et les mammifères, le gène ZFY est conservé entre ces lignées. Il a également été démontré que les séquences chimioluminescentes non radioactives sont capables de détecter des séquences uniques chez le tilapia.

Chez les groupes taxonomiques où l'évolution du sexe a été relativement bien étudiée (comme, par exemple, chez les mammifères et les reptiles), des similarités ont été observées au niveau de l'organisation et de l'évolution des chromosomes sexuels (Jones et Singh, 1985 ; Page et coll., 1990). Ceci s'est particulièrement avéré dans le cas de l'accumulation des séquences répétées sur le chromosome sexuel hétérologue (chromosome Y chez les mammifères ; chromosome W chez les oiseaux). La

conservation des séquences participant au déterminisme du sexe peut être déterminée par l'hybridation taxonomique croisée des séquences spécifiques du sexe. Cette démarche devrait prouver son utilité dans l'étude de l'évolution des mécanismes du déterminisme du sexe. Les deux sondes utilisées dans cette étude s'hybrident considérablement et donnent des hybridations spécifiques du sexe chez les taxons à partir desquels elles ont été isolées.

La détection de séquences spécifiques du sexe chez les tilapias au moyen de techniques d'hybridation soustractive (Devlin et coll., 1991) pourrait constituer une approche plus immédiate à l'étude de la base moléculaire du déterminisme du sexe chez les tilapias.

Remerciements

Nous remercions Dr S. Mizuno pour nous avoir fourni la séquence pUGD0600 et Dr D. Page pour la séquence pDP1007. Nous sommes également reconnaissants envers Cath Fisher pour l'assistance accordée au niveau des techniques utilisées. Ces travaux ont reçu l'appui financier de l'Administration du développement outre-mer, Londres.

Littérature citée^b

- Avtalion, R.R. et I.S. Hammerman. 1978. Sex determination of *Sarotherodon (Tilapia)*. 1. Introduction to the theory of autosomal influences. *Bamidgeh* 30:110-115.
- Avtalion, R.R. et J. Don. 1990. Sex-determining genes in tilapia: a model of genetic recombination emerging from sex ratio results of three generations of diploid gynogenetic *Oreochromis aureus*. *J. Fish Biol.* 37:167-173.
- Calhoun, W.E. et W.L. Shelton. 1983. Sex ratios in progeny from mass spawnings of sex-reversed broodstock of *Tilapia nilotica*. *Aquaculture* 33:365-371.
- Chourrou, D. et J. Itskovich. 1983. Three manipulations permitted by artificial insemination in tilapia: induced diploid gynogenesis, production of all triploid populations and intergeneric hybridization, p. 246-255. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) *Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv University, Israël. 624 p.
- Clemens, H.P. et T. Inslee. 1968. Sex ratios in mass spawnings of sex-reversed broodstock of *Tilapia nilotica*. *Aquaculture* 33:365-371.
- Devlin, R.H., B.K. McNeil, T.D.D. Groves et E.M. Donaldson. 1991. Isolation of a Y-chromosomal DNA probe capable of determining genetic sex in chinook salmon (*Onchorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48:1606-1612.
- Ferreiro, C., J. Fernando Medrano et G.A.E. Gall. 1989. Genome analysis of rainbow trout and sturgeon with restriction enzymes and hybridization with a ZFY gene-derived probe to identify sex. *Aquaculture* 81:245-251.
- Hammerman, I.S. et R.R. Avtalion. 1979. Sex determination in *Sarotherodon (Tilapia)*. 2. The sex ratio as a tool for the determination of genotype - a modal of autosomal influence. *Theor. Appl. Genet.* 55:171-187.
- Hanson, T.R., R.D. Smitherman, W.L. Shelton et R.A. Dunham. 1983. Growth comparisons of monosex *Tilapia* produced by separation of sexes, hybridization and sex-reversal, p. 570-579. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) *Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Tel Aviv University, Israël. 624 p.
- Hickling, C.F. 1960. The Malacca *Tilapia* hybrids. *J. Genet.* 12:101-109.
- Jalabert, B., J. Moreau, D. Planquette et R. Billard. 1974. Déterminisme du sexe chez *Tilapia macrochir* et *Tilapia nilotica*: action de la méthyltestostérone dans l'alimentation des alevins sur la différenciation sexuelle; proportion des sexes dans la descendance des mâles "inversés". *Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys.* 14(B):729-739.
- Jones, K.W. et L. Singh. 1985. Snakes and the evolution of sex chromosomes. *Trends in Genetics* 1:55-61.
- Kodama, H., H. Saitoh, M. Tone, S. Kuhara, Y. Sakaki et S. Mizuno. 1987. Nucleotide sequences and unusual electrophoretic behaviour of the W chromosome-specific repeated DNA units of the domestic fowl, *Gallus gallus domesticus*. *Chromosoma (Berl.)* 96:18-25.

^bNdT: Je tiens à remercier Dr. Jean-François Baroiller pour son aide précieuse à la traduction de cet article.

- Lloyd, M.A., M.J. Fields et G.H. Thorgaard. 1989. Bkm minisatellite sequences are not sex associated but reveal DNA fingerprint polymorphisms in rainbow trout. *Genome* 32:865-868.
- Mair, G.C., D.J. Penman, A.G. Scott, D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1987. Hormonal sex-reversal and the mechanisms of sex determination in *Oreochromis*, p. 289-299. In K. Tiews (éd.) Proceedings of the World Symposium on Selection, Hybridization and Genetic Engineering in Aquaculture. Vol. 2. Heenemann, Berlin.
- Mair, G.C., A.G. Scott, D.J. Penman, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1991a. Sex determination in the genus *Oreochromis*. 1. Sex reversal, gynogenesis and triploidy in *O. niloticus*. *Theor. Appl. Genet.* 82:144-152.
- Mair, G.C., A.G. Scott, D.J. Penman, D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1991b. Sex determination in the genus *Oreochromis*. 2. Sex reversal hybridization, gynogenesis and triploidy in *O. aureus Steindachner*. *Theor. Appl. Genet.* 82:153-160.
- Majumdar, K.D. et B.J. McAndrew. 1983. Sex ratios from interspecific crosses within the tilapias, p. 261-269. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Israël. 624 p.
- Nanda, I., W. Feichtinger, M. Schmid; J.H. Shroder, H. Zischler et J.T. Eppelen. 1990. Simple repetitive sequences are associated with differentiation of the sex chromosomes in the guppy fish. *J. Mol. Evol.* 30:456-462.
- Page, D.C., E.M. Fisher, B. McGillivray et L.G. Brown. 1990. The sex determining region of the human Y chromosome encodes a finger protein. *Cell* 51:1091-1104.
- Penman, D.J., M.S. Shah, J.A. Beardmore et D.O.F. Skibinski. 1987. Sex ratios of gynogenetic and triploid *Tilapia*, p. 267-276. In K. Tiews (éd.) Proceedings of the World Symposium on Selection, Hybridization and Genetic Engineering in Aquaculture. Vol. 2. Heenemann, Berlin.
- Singh, L., I.F. Purdom et K.W. Jones. 1980. Sex chromosome-associated satellite DNA: evolution and conservation. *Chromosoma* 79:137-157.
- Walker, T.K., D. Rollinson et A.J.G. Simpson. 1989. A DNA probe from *Schistosoma mansoni* allows rapid determination of sex of larval parasites. *Molecular Biochem. Parasitol.* 33:93-100.

Croissance comparée des hybrides (F_1 , F_2 et F_3) de *Oreochromis niloticus* (L.) et *O. macrochir* (Blgr.)

J.-C. MICHA

*Unité d'écologie des eaux douces (UNECED)
Facultés universitaires N.-D. de la Paix (FUNDP)
Rue de Bruxelles, 61
B-5000 Namur, Belgique*

R. CUVELIER

CH. TILQUIN

B. MURAILLE

M. BOURGOIS

U. FALTER

*Laboratoires de génétique et des eaux et forêts
Université catholique de Louvain (UCL)
Place Croix du Sud, 3
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique*

MICHA, J.-C., R. CUVELIER, CH. TILQUIN, B. MURAILLE, M. BOURGOIS et U. FALTER. 1996. Croissance comparée des hybrides (F_1 , F_2 et F_3) de *Oreochromis niloticus* (L.) et *O. macrochir* (Blgr.), p. 393-399. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Partant de l'hypothèse d'introgression avec croissance ralentie entre deux espèces incubatrices buccales *Oreochromis niloticus* et *O. macrochir* artificiellement mises en présence dans différents lacs africains, nous avons effectué une série d'hybridations jusqu'à la troisième génération puis comparé dans des conditions strictes (aquarium) la croissance des jeunes individus (de 5 g à ± 100 g) des souches parentales et des différentes descendances. Les résultats montrent que l'effet d'hétérosis en F_1 , F_2 et F_3 est relativement faible et pas plus déterminant que la variation intraspécifique. De plus, il apparaît que la souche *O. niloticus* pure croît plus vite que *O. macrochir* et que les différentes souches hybrides, à l'exception de l'hybride F_1 *O. niloticus* femelle x *O. macrochir* mâle (NM). L'hypothèse d'introgression d'une partie du pool de gènes de *O. macrochir* dans le pool de gènes de *O. niloticus* semble se confirmer. Toutefois, l'apparition de deux sous-groupes hybrides à croissance différente ne semble pas se confirmer sur la base de nos résultats de croissance en aquarium limités aux jeunes stades (7 à 100 g).

Introduction

Dans les années 1950, les résultats de production du tilapia en pisciculture le font apparaître comme poisson miracle pouvant résoudre le problème de la malnutrition dans les pays en voie de développement (Micha, 1974 ; Powles, 1987). Dans l'enthousiasme général, diverses espèces pas toujours identifiées correctement, sont introduites dans de

nombreux lacs africains. L'idée n'était pas mauvaise, du moins pour les lacs à niches écologiques vacantes pour ce type d'espèce. Malheureusement, les connaissances insuffisantes de la taxinomie des tilapias, l'absence d'inventaire faunistique des différents lacs et l'ignorance des mécanismes de spéciation ont eu pour résultat un bouleversement de la biogéographie de ce genre africain et de nombreux cas

d'hybridation entre espèces autochtones et introduites.

En général, l'hybridation est une technique utilisée par les éleveurs pour sélectionner des souches à croissance plus rapide. Dans les cas d'hybridation "semi-naturelle" en lacs — lac Itasy à Madagascar (Daget et Moreau, 1981) et lac Ihema au Rwanda (Plisnier et coll., 1988) — elle est considérée comme une faillite de l'isolement reproducteur spécifique qui conduit souvent à une détérioration du stock génétique des espèces parentales. Ainsi dans le lac Itasy qui abritait une population florissante de *Oreochromis macrochir* précédemment introduite, l'introduction complémentaire en 1961 de *O. niloticus* se solda par la disparition de *O. macrochir* au profit de *O. niloticus*. Dans le lac Ihema, l'introduction de *O. macrochir* (circa 1970), après l'introduction de *O. niloticus* (circa 1950) conduit à l'observation d'hybrides (circa 1979). Des comptages effectués de 1983 à 1987 (Kiss, 1976 ; Plisnier, 1984 ; Mughanda et Micha, 1988) indiquent que le phénotype *O. niloticus* diminue d'importance pendant cette période (30 à 20 %) alors que le phénotype *O. macrochir* se maintient aux environs de 60 %, les autres individus présentant une variété de types intermédiaires (foule hybride : 10 à 20 %). L'évolution de l'hybridation entre ces deux espèces proches parentes introduites dans deux lacs différents semble donc différente.

Afin d'éprouver cette hypothèse d'introgession sur la comparaison des caractéristiques morphologiques et de croissance d'hybrides, des expériences contrôlées d'hybridation de première (F_1), deuxième (F_2) et troisième (F_3) générations et de leurs rétrocroisements ont été effectuées en aquarium et les performances de croissance des alevins ont été mesurées et comparées.

Matériel et méthodes

Les géniteurs de *O. niloticus* (16 individus dont huit mâles) proviennent de la souche égyptienne sélectionnée par Auburn University et introduite au Rwanda. Les géniteurs de *O. macrochir* sont originaires de la pisciculture de Kigembe au Rwanda.

Les tests de croissance et les étapes préliminaires (reproduction, alevinage, croissance préexpérimentale) sont réalisés dans les installations du laboratoire M. Huet de la faculté des sciences agronomiques de l'université catholique de Louvain (UCL) à Louvain-la-Neuve (Kestemont et coll., 1989) où l'on dispose notamment d'une batterie d'aquariums de 200, de 100 et de 70 l (L : 58 cm, l : 48 cm et h : 50 cm). L'eau est maintenue à $28 \pm 2^\circ\text{C}$. La photopériode appliquée est de 12 h d'éclairage (7h00 à 21h00) au moyen de trois tubes lumineux de 40 watts. Un siphonnage quotidien permet l'évacuation des déchets organiques du fond de l'aquarium. Durant les expériences, la concentration en oxygène a varié de 70 à 100 % de saturation, celle des nitrites n'a jamais dépassé $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Pour obtenir les hybridations désirées (le parent femelle est conventionnellement indiqué le premier), on a adapté le système de l'arène de Haller et Parker (1981) en équipant les aquariums (200 et 100 l) de deux cloisons de treillis plastifié séparant les loges des femelles (Fig. 1). Une troisième cloison percée d'ouvertures permet uniquement le passage des femelles de taille plus petite que les mâles. Ce système évite aux femelles non prêtes à pondre l'attaque incessante du mâle territorial. Chaque aquarium contient un groupe de quatre poissons : un mâle et trois femelles. L'état des femelles est

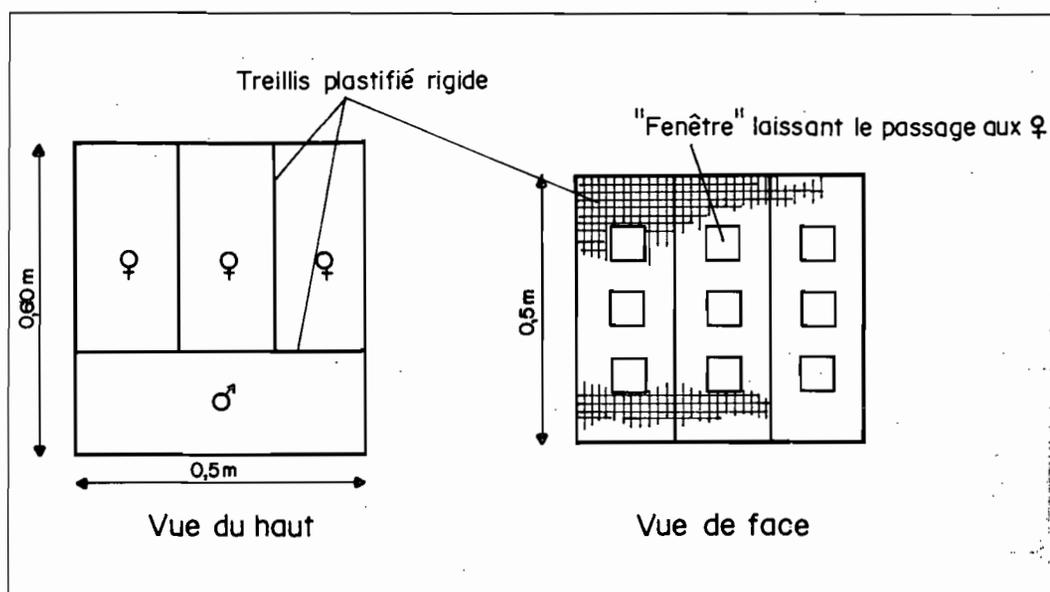


Fig. 1. Système de l'arène de Haller et Parker (1981) adapté à l'échelle de l'aquarium.

contrôlé plusieurs fois par jour. Dès que l'une d'elles incube (bouche gonflée par les oeufs, arrêt de l'alimentation), le mâle est retiré. Six à sept jours plus tard, les deux autres femelles sont éloignées à leur tour. La première nage libre des alevins apparaît deux à trois jours plus tard. Dix jours plus tard, les alevins sont séparés de leur mère et placés dans les aquariums de prégrossissement (50/ aquarium) où ils reçoivent des granulés broyés (Trouvit K30) à raison de 6 % de la biomasse en trois rations quotidiennes. Pour les tests de croissance, deux groupes de 16 individus par aquarium (70 l), présentant un poids moyen de 7,0 g et, marqués individuellement (brûlures avec une tête d'épingle), sont suivis pendant 10 semaines. Chaque semaine, tous les poissons sont mesurés (longueur standard à 0,1 mm près) et pesés individuellement après essuyage sur papier filtre (poids en g à 0,1 g près). Le sexe de chaque individu est déterminé par examen, au binoculaire, de la papille génitale.

La croissance en poids a été estimée par le modèle exponentiel classique

(Wheatley, 1976) et la comparaison de la croissance des différentes souches a été effectuée par ANOVA I ou II, hiérarchisée mixte (Dagnelie, 1975). Le facteur aléatoire "aquarium" comportant deux niveaux est hiérarchisé au facteur fixe "souche", comportant quatre ou six niveaux. Il s'agit d'un modèle non balancé, étant donné que les différentes combinaisons des deux facteurs comportent une quantité différente d'observations (nombre aléatoire de femelles parmi les 16 individus de chaque aquarium). Pour cette analyse, nous avons utilisé le logiciel Statistical Analysis System (SAS) du Centre de calcul de l'UCL à Louvain-la-Neuve.

Résultats

Croissance comparée des géniteurs de souches pures et des hybrides F₁

Les souches parentales (*O. niloticus* et *O. macrochir*) et les hybrides F₁ des croisements *O. niloticus* femelles x *O. macrochir* mâle (NM) et *O. macrochir*

femelle x *O. niloticus* mâle (MN) sont suivis au cours des 10 semaines d'expérience. Le poids moyen des poissons est passé de 7,0 g à près de 100 g.

L'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre aquariums d'une même souche (répétition). Ce résultat nous permet de rassembler, pour chaque souche, les données des deux aquariums afin de rendre le test plus puissant au niveau de l'effet souche par comparaison d'un plus grand nombre d'observations. Seules les données des mâles sont utilisées pour tester les différentes souches (*O. niloticus* : 11 mâles, *O. macrochir* : 18 mâles ; F_1 Nfemelle x Mmâle : 32 mâles, F_1 Mfemelle x Nmâle : 18 mâles). Les résultats de croissance présentés sous forme de droite de régression linéaire (poids en fonction du temps ; Fig. 2) montrent que :

- les hybrides F_1 Nfemelle x Mmâle (NM) ont la meilleure croissance ;
- la souche *O. niloticus* (N) est en seconde position ;
- les hybrides F_1 Mfemelle x Nmâle (MN) sont en troisième position ;
- et
- la souche *O. macrochir* (M) a la croissance la plus faible.

Le test statistique ANOVA I à quatre niveaux (quatre souches) confirme que :

- les hybrides F_1 Nfemelle x Mmâle (NM) ont une croissance significativement supérieure à celle de *O. niloticus* ($P=0,05$) ;
- les hybrides F_1 Nfemelle x Mmâle (NM) ont une croissance significativement supérieure à celle de leurs hybrides réciproques ($P=0,01$) ;
- et
- les hybrides F_1 Mfemelle x Nmâle (MN) ont une croissance significativement supérieure à celle de *O. macrochir* ($P=0,01$) ;
- et
- *O. macrochir* a une croissance significativement inférieure à toutes les autres souches.

Par ailleurs, il faut noter que le croisement Nfemelle x Mmâle donne une descendance hybride homogène (100 % mâles) alors que le croisement inverse femelle *O. macrochir* et mâle *O. niloticus* donne une descendance hétérogène avec 75 % de mâles et 25 % de femelles, chaque sexe présentant deux phénotypes nettement différents (rose-rouge et gris en proportions égales).

Croissance comparée des géniteurs de souches pures, des hybrides F_1 et des rétrocroisements

En seconde génération, trois types de croisements ont pu être effectués :

- femelle hybride x mâle hybride ,
variété grise (G) : MN_G x MN_G,
variété rouge (r) : MN_r x MN_r ;
- femelle pure *O. macrochir* x mâle hybride : MM x NM, MM x MN ;
- et
- femelle hybride x mâle pur :
MN x NN, MN x MM.

Le croisement femelle pure *O. niloticus* x mâle hybride n'a pas été obtenu. Les croisements intraspécifiques purs *O. niloticus* (N) et *O. macrochir* (M) servent de référence. La croissance comparée des souches pures, des hybrides de seconde génération et des rétrocroisements (Tableau 1) montrent que les hybrides de seconde génération à coloration rouge (MN_rMN_r) et le rétrocroisement (MMNM) entre les femelles *O. macrochir* et les hybrides NM ainsi que la souche pure *O. niloticus* (N) sont significativement supérieurs aux autres croisements. Ensuite se classent les deux croisements MN_GMN_G à coloration grise et MNMM. La croissance des croisements MMMN et MN_rMM, respectivement rétrocroisements entre femelles *O. macrochir* et mâles MN et les femelles MN avec les mâles *O. niloticus*, peut être qualifiée de relativement lente. Enfin, la souche pure

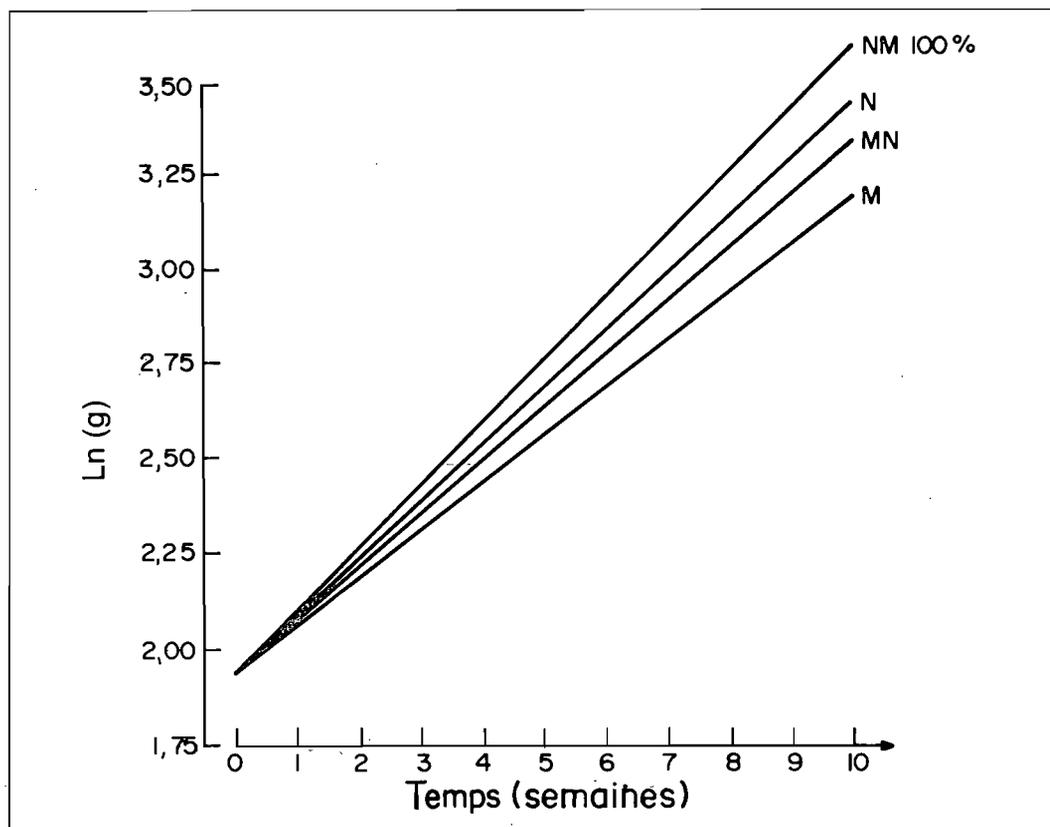


Fig. 2. Droites de régression du logarithme népérien du poids (g) en fonction du temps pour les quatre souches *Oreochromis niloticus* (N), *O. macrochir* (M), hybrides F_1 (Nfemelle x Mmâle : 100 % mâles) et hybrides F_1 réciproques (Mfemelle x Nmâle).

Tableau 1. Comparaison des augmentations de poids (moyennes et écarts-types) chez *Oreochromis niloticus* (N) et *O. macrochir* (M). MN_rMN_r à M représentent les souches parentales, les hybrides F_2 (MN_rMN_r et MN_gMN_g , r et g se rapportant respectivement à la couleur rouge et grise) et les rétrocroisements avec des femelles ($MNNM$, $NNMN$) ou des mâles ($MNMM$, $MNNN$) purs (en souligné). $MNNNNN$ à N représentent des fingerlings mâles issus de souches parentales (N,M) et deux hybrides F_3 issus de femelles hybrides et de mâles purs (en souligné) ($MNNNN$ and $MNMMMM$).

Combinaisons	Pentes		
	Moyenne	ET	CV (%)
<u>MN_rMN_r</u>	0,0224	0,0032	14,3
<u>MN_gMN_g</u>	0,0223	0,0031	13,9
<u>N</u>	0,0218	0,0036	16,5
<u>MN_rMN_g</u>	0,0182	0,0038	20,9
<u>MN_gMN_r</u>	0,0181	0,0039	21,6
<u>MNNN</u>	0,0176	0,0048	27,3
<u>MMMN</u>	0,0174	0,0034	19,5
<u>M</u>	0,0155	0,0036	23,2
<u>MNNNNN</u>	0,0223	0,0032	14,4
<u>MNMMMM</u>	0,0230	0,0043	18,7
<u>M</u>	0,0232	0,0043	18,5
<u>N</u>	0,0256	0,0035	13,7

O. macrochir (M) présente une croissance significativement inférieure aux hybrides de seconde génération et aux rétrocroisements.

Croissance comparée des géniteurs de souches pures et des hybrides F₃ (rétrocroisements)

Pour la troisième génération, une multitude de croisements étaient envisageables. Or, il ressort de la description du phénomène d'introggression que les croisements qui se produisent sont des rétrocroisements entre hybrides à divers degrés et les espèces parentales. Il y a donc deux types de croisements à réaliser :

- femelle pure x mâle hybride ; et
- femelle hybride x mâle pure.

Cependant, le croisement *O. niloticus* femelle x *O. macrochir* mâle est très difficile à obtenir (Falter, même volume) et le croisement femelle pure *O. niloticus* avec des hybrides *O. macrochir* mâles n'a pas eu lieu en aquarium (problème d'agressivité). Nous nous sommes donc limités à des rétrocroisements femelle hybride x mâle pur. Les femelles hybrides choisies (MNMM et MNNN) sont issues des rétrocroisements de seconde génération dont la femelle était elle aussi hybride. La croissance comparée des alevins mâles des quatre souches (Tableau 1) permet de classer *O. niloticus* en premier, suivi de *O. macrochir*. Viennent ensuite les hybrides F₃ dont les deux génotypes semblent ne pas présenter de différence de croissance. L'analyse statistique révèle une différence significative seulement entre le génotype *O. niloticus* (N) et les trois autres génotypes.

Discussion

Un effet d'hétérosis pour la croissance par hybridation interspécifique dans le

genre *Oreochromis* a déjà été mis en évidence pour plusieurs croisements. *O. niloticus* est impliqué dans plusieurs de ceux-ci : avec *O. hornorum* (Pruginin, 1968); avec *O. mossambicus* (Avault et Shell, 1966 ; Kuo, 1969), avec *O. macrochir* (Jalabert et coll. 1971). Nos résultats montrent, comme ceux de Jalabert et coll. (1971), que le croisement *O. niloticus* et *O. macrochir* présente également un effet d'hétérosis d'autant plus net que la femelle appartient à l'espèce à croissance la plus rapide (*O. niloticus*). Il pourrait s'agir d'un effet maternel direct (Falter et de Jaegere, 1989).

Le génotype *O. niloticus* se différencie significativement des autres génotypes. De plus, le génotype MNNNN qui se rapproche le plus du génotype *O. niloticus* montre un taux de croissance beaucoup plus proche de celui du génotype *O. macrochir*.

L'absence de répétitions d'un croisement doit cependant nous inciter à la prudence.

Enfin, le génotype *O. macrochir* présente généralement la croissance la plus faible par rapport aux hybrides F₁ et F₂ mais ne se différencie plus par rapport aux génotypes F₃ (rétrocroisés).

Ces résultats auraient plutôt tendance à supporter l'hypothèse de Daget et Moreau (1981) d'introggression du pool de gènes de *O. macrochir* dans celui de *O. niloticus*, seul phénotype qui subsiste dans le lac Itasy, mais n'apporte aucun élément sur le curieux maintien de *O. macrochir* (60 % des captures de tilapias) et la faible représentation de *O. niloticus* (20 %) dans le lac Ihema.

Enfin, il faut souligner dans cette problématique l'importance des facteurs environnementaux qui n'ont pas été considérés mais qui, à l'évidence, créent des conditions différentes de vie qui peuvent modifier l'équilibre dynamique entre espèces au sein d'une biocénose définie.

Littérature citée

- Avault, J.W. et E.W. Shell. 1966. Preliminary studies with the hybrid tilapia: *Tilapia nilotica* x *Tilapia mossambica*. FAO Fish. Rep. 44(4):237-242.
- Daget, J. et J. Moreau. 1981. Hybridation introgressive entre deux espèces de *Sarotherodon* (Pisces, Cichlidae) dans le lac de Madagascar. Bull. Mus. Natl. Hist. Nat. (Paris). 4(4):689-703.
- Dagnelle, P. 1975. Théorie et méthodes statistiques. Presses agronomiques de Gembloux à Gembloux, Belgique. Vol. 2, 463 p.
- Falter, U. et S. de Jaegere. 1989. Maternal effect of the territorial aggression of *Oreochromis niloticus* (Pisces, Cichlidae). Ann. Mus. R. Afr. Centr., Sci. Zool. 257:39-42.
- Haller, R.D. et I.S.C. Parker. 1981. New *Tilapia* breeding system tested on Kenya farm. Fish Farming Int. 8(1):14-18.
- Jalabert, B., R. Kammacher et P. Lessent. 1971. Détermination du sexe chez les hybrides entre *Tilapia macrochir* et *Tilapia nilotica*. Etude du sex-ratio dans les croisements des hybrides de première génération par les espèces parentes. Ann. biol. anim. Bioch. Biophys. 11(1):155-165.
- Kestemont, P., U. Falter et J.-C. Micha. 1989. Les méthodes de production d'alevins de *Tilapia nilotica*, ADCP/Rep/89/46, 132 p. PNUD-FAO, Rome.
- Kiss, R. 1976. Etude hydrobiologique des lacs de l'Akagera moyenne. Institut national de recherche scientifique, Butare, Rép. Rwandaise 16, 167 p.
- Kuo, H. 1969. Notes on hybridization of tilapias. J. Com. Rural Reconstr. Chin.-Am. Fish. 8:116-117.
- Micha, J.-C. 1974. La pisciculture africaine. Espèces actuelles et espèces nouvelles, 163-195. In J.-C. Ruwet (éd.) Zoologie et Assistance Technique, Ed. Fulreac, Liège. 38 p.
- Mughanda, M. et J.-C. Micha. 1988. Observations préliminaires sur la répartition et les fluctuations de l'ichtyomasse exploitable dans les différentes zones écologiques du lac Ihema (bassin moyen de l'Akagera, Rwanda). Tropicultura 6(1):3-12.
- Plisnier, P.-D. 1984. Etude de la biologie de *Tilapia* (*Sarotherodon*) *macrochir* (Blgr.) et comparaison avec *T. (Sarotherodon) nilotica* (L.), deux espèces commercialement exploitées dans le lac Ihema (Rwanda). Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve. 204 p. Mémoire de maîtrise.
- Plisnier, P.-D., J.-C. Micha et V. Frank. 1988. Biologie et exploitation des poissons du lac Ihema (Bassin Akagera, Rwanda). Presses universitaires de Namur à Namur, Belgique, 212 p.
- Powles, H. 1987. Research priorities for African aquaculture. Report of a Workshop held in Dakar, Sénégal, 13-16 octobre 1986. IDRC-MR 149e, 172 p.
- Pruginin, Y. 1968. The culture of carp and tilapia hybrids in Uganda. FAO Fish Rep. 44(4):223-229.
- Wheaterley, A.H. 1976. Factors affecting maximisation of fish growth. J. Fish Res. Board Can. 33:1046-1048.

Comparaison des performances de croissance et des caractéristiques électrophorétiques de trois souches de *Oreochromis niloticus* présentes en Côte d'Ivoire

P. MORISSENS^a

X. ROGNON^b

Programme aquaculture et pêche

Département d'élevage et de médecine vétérinaire

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD-EMVT)

BP 5095, 34033 Montpellier Cédex 1, France

Département piscicole, Institut des Savanes (IDESSA)

01 B.P. 621, Bouaké, Côte d'Ivoire

I. DEMBELE

Département piscicole, Institut des Savanes (IDESSA)

01 B.P. 621, Bouaké, Côte d'Ivoire

MORISSENS, P., X. ROGNON et I. DEMBELE. 1996. Comparaison des performances de croissance et des caractéristiques électrophorétiques de trois souches de *Oreochromis niloticus* présentes en Côte d'Ivoire, p. 400-407. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Trois souches de *Oreochromis niloticus* présentes en Côte d'Ivoire ont fait l'objet d'une comparaison de leurs performances de croissance et de leur caractérisation par l'étude du polymorphisme enzymatique : la souche dénommée "Bouaké" présente sur la station de recherche de l'Institut des Savanes (IDESSA) à Bouaké ; la même souche ayant passé six ans en "confinement" chez un petit exploitant piscicole de l'ouest de la Côte d'Ivoire (Daloa) ; et une souche originaire du bassin de la Volta et récemment introduite sur la station de l'IDESSA à Bouaké (dénommée souche "Burkina Faso"). Le test de croissance conduit sur quatre mois met en évidence chez les trois souches des performances zootechniques compatibles avec les exigences des pisciculteurs commerciaux (croissances individuelles moyennes supérieures ou égales à 2,5 g·jour⁻¹). Les caractéristiques enzymatiques déterminées par électrophorèse ont permis d'identifier chacune des trois souches. Elles mettent en évidence un taux de polymorphisme élevé, plus particulièrement chez la souche "Bouaké" conservée à l'IDESSA.

Les auteurs concluent aux bonnes potentialités offertes par les trois souches comme poisson d'élevage. Les souches présentes sur la station IDESSA ("Bouaké" et "Burkina Faso") constituent par ailleurs des stocks polymorphes pouvant être utilisés dans le cadre d'un programme d'amélioration génétique.

^aAdresse actuelle : c/o PCAMRD, Dr. Alfonso Eusebio Bldg., BPI Economic Garden, Los Baños, Laguna, Philippines.

^bAdresse actuelle : Institut national agronomique Paris-Grignon (INA P-G), Département des sciences animales, GER amélioration génétique et élevage, 16, rue Claude Bernard, 75231 Paris Cédex 05, France.

Introduction

La station de recherche piscicole de l'IDESSA (Institut des Savanes) (anciennement "Centre technique forestier tropical" [CTFT]) à Bouaké en Côte d'Ivoire a été à l'origine de nombreux transferts de *O. niloticus* vers différents pays d'Afrique mais aussi vers le Brésil (Lazard, 1990). Du Brésil, cette souche "Bouaké" ou "Côte d'Ivoire" a été transférée à l'université d'Auburn (Alabama, Etats-Unis d'Amérique) (Lovshin et da Silva, 1975). Des *O. niloticus* originaires de Côte d'Ivoire se trouvent également en Israël (Hulata et coll., 1985).

Des expérimentations effectuées sur la souche ivoirienne à l'université d'Auburn et en Israël mettent en évidence sa fécondité relativement faible en comparaison d'une souche originaire du Ghana (Hulata et coll., 1985 ; Smitherman et coll., 1988), une difficulté à améliorer ses performances de croissance par sélection (Teichert-Coddington, 1983), et une infériorité de ses capacités de croissance par rapport à une souche égyptienne (Khater, 1985). Il a paru intéressant de faire le point sur la situation actuelle des souches domestiques de *O. niloticus* présentes en Côte d'Ivoire et c'est dans ce sens que les performances zootechniques de trois souches domestiques ivoiriennes ont été testées à la station de recherche de l'IDESSA à Bouaké.

Matériel et méthodes

Origine des souches testées

Les trois souches testées sont les suivantes :

1. La souche dite "Bouaké" (Bk) issue du "mélange" progressif sur la station

IDESSA de Bouaké de poissons introduits en 1957 du Burkina Faso (bassin de la Volta) et en 1968 d'Ouganda et originaires du bassin du Nil. C'est cette souche mélangée ou "synthétique" qui a fait l'objet de transferts vers l'étranger ainsi que d'introductions dans une grande partie du réseau hydrographique ivoirien. Constituée de différents apports génétiques, la souche Bk n'a sans doute pas toujours été aussi homogène qu'elle ne l'est aujourd'hui. Il est donc possible que des différences existent entre les caractéristiques des *O. niloticus* Bk aux différentes époques où ils ont été transférés.

2. La souche dite "Daloa" (Da) est elle-même issue directement de la souche Bk. Introduite depuis de nombreuses années dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire, elle y est utilisée par les pisciculteurs ruraux. Les poissons de ces très petites exploitations se trouvent dans une situation de confinement susceptible de conduire à une dérive génétique.

3. La souche dite "Burkina Faso" (BF) introduite sur la station de Bouaké en 1987 à partir de la vallée du Kou (bassin de la Volta) pour renouveler, si nécessaire, la souche Bk (Lazard, 1990).

Evaluation des performances zootechniques des trois souches dans le cadre d'un essai de production de poissons de consommation

POISSONS UTILISÉS

Des fingerlings mâles sexés manuellement ont été utilisés pour cet essai. Les poissons des souches Bk et BF ont été prégressés sur la station de Bouaké dans des conditions comparables. Les fingerlings de la souche Da ont été introduits déjà sexés depuis leur pisciculture d'origine dans le centre-ouest

du pays pour effectuer l'essai. Les conditions de prégrossissement des poissons de la souche Da ont été différentes de celles des deux autres souches et on ne peut affirmer que cela soit sans aucun impact sur les différences de croissance inter-souches constatées à l'occasion de ce test.

ÉTANGS ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Neuf étangs d'une superficie individuelle de 50 m² de la station de Bouaké ont été utilisés pour cet essai de quatre mois dans le cadre d'un dispositif expérimental à blocs randomisés (trois répétitions par "souche"). Les blocs ont été déterminés préalablement à la mise en place de l'essai par une évaluation sommaire de la fertilité des bassins. A cette fin, chaque étang a été mis en élevage pendant un mois avec des fingerlings mâles de *O. niloticus* Bk à la densité de 0,8 ind·m⁻². Au cours de cette période, les bassins n'ont reçu aucun traitement. Les productions obtenues varient d'un maximum de 530 g·étang⁻¹·mois⁻¹ (1.272 kg·ha⁻¹·an⁻¹) à un minimum de 150 g·étang⁻¹·mois⁻¹ (360 kg·ha⁻¹·an⁻¹). Les étangs ayant enregistré les trois meilleures productions constituent le bloc 1, les trois suivants le bloc 2 et les trois derniers le bloc 3. L'affectation des différentes souches au sein de chaque bloc a été effectuée par tirage au sort.

Les mises en charge ont été effectuées avec 110 fingerlings mâles (2,2 ind·m⁻²) d'un poids moyen individuel de 28,55 g pour la souche Bk, 31,79 g pour la souche Da et 39,61 g pour la souche BF.

ALIMENTATION DES POISSONS

Tout au long de l'essai, les poissons ont reçu un aliment granulé industriel

fabriqué en Côte d'Ivoire ("2GE" de FACI^c composé de 30 % de protéines dont 10 % environ d'origine animale). La distribution à la demande à partir de distributeurs a été effectuée à des rations égales chaque jour dans tous les bassins. L'ajustement des rations a été effectué par alignement sur les consommations les plus faibles parmi les neuf étangs de l'essai, les rations étant augmentées ou diminuées selon que tous les distributeurs étaient vides en fin de journée ou qu'il restait de l'aliment dans un ou plusieurs d'entre eux.

Le rapport entre les moyennes mensuelles des rations quotidiennes distribuées par étang et une évaluation de l'ichtyomasse moyenne par bassin (calculée à partir d'une évaluation sur l'ensemble des bassins) donne respectivement, pour les quatre mois d'élevage, des rations de l'ordre de 4,7 ; 2,6 ; 1,8 ; et 1,6 % de l'ichtyomasse.

PÊCHES DE CONTRÔLE

L'évolution des poids individuels a été calculée à l'occasion de pêches de contrôle effectuées mensuellement à la senne et portant sur 25 à 55 % du peuplement de chaque étang.

VIDANGE FINALE

La capture des poissons après 122 jours d'élevage a été effectuée par vidange totale de l'étang. Les poissons de chaque étang ont été comptés et pesés globalement.

^cFabrique d'aliment de Côte d'Ivoire.

Caractérisation électrophorétique des trois souches

Trente individus par souche ont été échantillonnés au hasard à la fin de l'essai d'élevage. Pour chacun d'eux, des échantillons de muscle, d'oeil et de foie ont été congelés. Au fur et à mesure de leur utilisation, les échantillons ont été broyés dans de l'eau distillée (muscle 1 g·ml⁻¹, oeil 1 g·0,5 ml⁻¹) et centrifugés à 5.000 tours par minute pendant 30 minutes. Pour les yeux, le surnageant était prélevé et mélangé à du chloroforme (un tiers de chloroforme) pour éliminer les glycoprotéines et les glycolipides qui peuvent induire des distorsions lors de la migration des protéines.

L'étude a été réalisée en utilisant la technique d'électrophorèse sur gel d'amidon. Les caractéristiques de migration et de révélation sont modifiées à partir de celles établies par Krieg (1984) et McAndrew et Majumdar (1983) selon un protocole établi par Rognon et Guyomard (même volume). Dix-huit systèmes enzymatiques codés par 30 locus ont été analysés (Tableau 1).

Résultats

Comparaison des performances zootechniques

Les résultats complets d'élevage sont exposés dans le tableau 2, le tableau 3 reprenant les moyennes des gains de poids individuels quotidiens (GMQ), des rendements et des indices de consommation (IC). La figure 1 précise l'évolution des poids individuels moyens et des gains moyens quotidiens enregistrés lors des pêches de contrôle mensuelles et de la pêche finale.

Les trois souches se sont caractérisées par des croissances individuelles satisfai-

santes (2,5 à 2,8 g·jour⁻¹) avec une supériorité marquée pour la souche (2,85 g) qui a présenté un pic supérieur à 3 g·jour⁻¹ au cours du quatrième mois d'élevage. Les indices de consommation se sont avérés relativement bas (Bk 1,58 ; Da 1,71 ; et BF 1,85).

La comparaison des valeurs de rendement qui intègrent croissance et survies ont fait l'objet d'une analyse statistique. L'analyse de variance et un test-*t* de Student mettent en évidence des différences hautement significatives (au risque de 1 %) entre les rendements de la souche Bk (20.376 kg·ha⁻¹·an⁻¹),

Tableau 1. Liste des systèmes enzymatiques étudiés avec leurs localisations dans les tissus, leurs structures et les tampons de migration utilisés. Tissus : F = foie, M = muscle, O = oeil. Tampons de migration : MC2 = morpholine citrate-pH 6,2 (gel à 5 %), MC4 = morpholine citrate-pH 6,6 (gel à 10 %), RW = ridgway, TEB = tris-EDTA-borate.

Système	Locus	Tissus	Tampon
AAT	1*	FMO	MC2
	2*	FO	MC2
	3*	MO	MC2
ADH	1*	F	RW
AK	1*	M	MC2
CK	1*	MO	RW
	2*	O	RW
EST	2*	MO	RW-TEB
FBP	1*	M	MC4
	2*	F	MC4
FH	1*	M	MC2
G3PDH	1*	M	MC4
	2*	FM	MC4
GPI	1*	MO	RW
	2*	FO	RW
IDDH	1*	F	RW
IDHP	1*	F	MC4
	2*	M	MC4
LDH	1*	MO	RW
	2*	FMO	RW
	3*	O	RW
MDH	1*	MO	MC2
	2*	FMO	MC2
	3*	M	MC2
MEP	1*	M	MC4
	2*	FM	MC4
MPI	1*	M	TEB
PGDH	1*	FM	MC4
PGM	1*	M	TEB
SOD	1*	F	RW

Tableau 2. Comparaison des performances zootechniques de trois souches domestiques ivoiriennes de *O. niloticus*. Résultats d'un essai d'élevage de quatre mois mené dans neuf étangs de 50 m² de la station IDESSA à Bouaké.

Paramètres	Souches testées/Réplicats								
	<i>O. niloticus</i> "Bouaké" (Bk)			<i>O. niloticus</i> "Daloa" (Da)			<i>O. niloticus</i> "Burkina Faso" (BF)		
	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
Date de mise en charge	18/03/91	18/03/91	18/03/91	15/03/91	15/03/91	15/03/91	15/03/91	15/03/91	15/03/91
Date de vidange	22/07/91	22/07/91	22/07/91	22/07/91	22/07/91	22/07/91	22/07/91	22/07/91	22/07/91
Nombre de jours d'élevage	122	122	122	122	122	122	122	122	122
Nombre de poissons mis en charge	110	110	110	110	110	110	110	110	110
Densité de mise en charge (Ind·m ⁻²)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Nombre de poissons à la vidange	100	100	100	105	107	99	97	101	98
Survie (%)	90,90	90,90	90,90	95,45	97,27	90,00	88,18	91,82	89,09
Poids Individuel moyen Initial (g)	27,64	28,20	29,82	30,82	32,55	32,00	39,73	40,20	38,91
Poids Individuel moyen final (g)	370,5	360,90	384,40	326,86	342,81	341,52	362,06	336,22	336,22
Gain pondéral moyen quotidien (GMQ) (g·jour ⁻¹)	2,810	2,727	2,906	2,427	2,543	2,537	2,642	2,426	2,437
Poids total initial (kg)	3,04	3,10	3,28	3,39	3,58	3,52	4,37	4,42	4,28
Poids total final (kg)	37,05	36,09	38,44	34,38	36,68	33,81	35,12	33,96	32,95
Production (kg)	34,01	33,00	35,16	30,93	33,10	30,29	30,75	29,54	28,67
Rendement (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	20.350	19.739	21.038	18.707	19.807	18.124	18.399	17.673	17.155
Quantité d'aliment distribuée (kg)	53,9	53,9	53,9	53,9	53,9	53,9	53,9	53,9	53,9
Indice de consommation (IC)	1,58	1,68	1,53	1,74	1,63	1,78	1,75	1,82	1,88
Alevins produits (kg)	-	-	-	2,72	-	-	-	-	-

Tableau 3. Comparaison synthétique des performances zootechniques moyennes de trois populations de *O. niloticus* dans le cadre d'un essai d'élevage de quatre mois mené dans neuf étangs de 50 m² de la station IDESSA à Bouaké.

Paramètres	<i>O. niloticus</i> "Bouaké" (Bk)	<i>O. niloticus</i> "Daloa" (Da)	<i>O. niloticus</i> "Burkina Faso" (BF)
Survie (%)	90,2 (0) ^a	94,24 (3,09)	89,69 (1,55)
GMQ (g)	2,81 (0,07)	2,50 (0,05)	2,50 (0,10)
Rendement (kg·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)	20.376 (531)	18.812 (719)	17.742 (510)
Indice de consommation	1,58 (0,04)	1,72 (0,06)	1,82 (0,05)

^aLes écarts-type sont notés entre parenthèses.

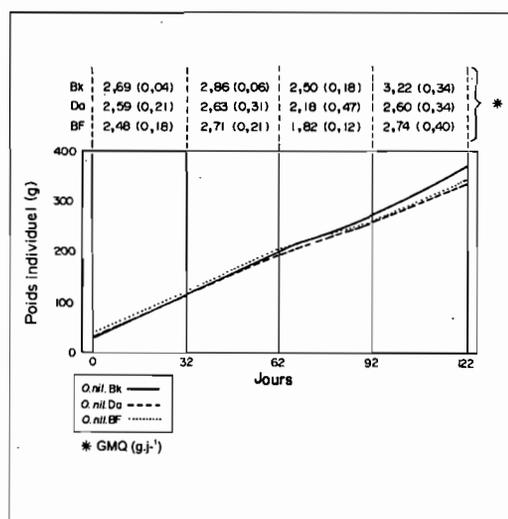


Fig. 1. Evolution des poids individuels et des croissances mensuelles chez les trois souches de *Oreochromis niloticus* testées. Les écarts-types sont donnés entre parenthèses.

d'une part, et des souches Da et BF (respectivement 18.812 et 17.742 kg·ha⁻¹·an⁻¹), d'autre part. Les différences de rendement entre les souches Da et BF sont significatives au risque de 5 %.

Comparaison des caractéristiques électrophorétiques

Les fréquences alléliques des locus polymorphes, les taux de polymorphisme et les taux d'hétérozygotie sont présentés dans le tableau 4. Huit locus ont été trouvés polymorphes dans la souche Bk, quatre chez BF et cinq chez Da.

La souche de pisciculture de Daloa est issue de la souche de *O. niloticus*

de Bouaké, cette dernière ayant été dispersée dans toute la Côte d'Ivoire dans le cadre du développement de la pisciculture en eau continentale. C'est elle qui montre le plus fort taux d'hétérozygotie (7,32 % centre 6,96 %, et 5,86 % pour Bk et BF, respectivement) bien qu'ayant un taux de polymorphisme plus faible que celui de la souche Bk.

Discussion

Ces résultats zootechniques, obtenus dans des conditions d'élevage en étang caractérisées par un faible renouvellement de l'eau et une absence d'aération artificielle, se comparent plus qu'honorablement aux données de croissance de *O. niloticus* révélées par la littérature spécialisée (Mélard, 1986).

Les faibles indices de consommation reflètent, outre les bonnes potentialités des souches testées, la qualité de l'aliment et l'efficacité des techniques de distribution et de rationnement utilisées.

S'il apparaît comme très probable que les différences de performances enregistrées entre les souches Bk et BF sont d'origine variétale, on est tenu à plus de réserve pour ce qui concerne ces différences par rapport à la souche Da. Celles-ci peuvent avoir été affectées par des conditions de prégrossissement moins favorables en milieu paysan (très long prégrossissement avec un aliment

Tableau 4. Fréquences alléliques aux locus polymorphes, taux moyens d'hétérozygotie (H) et taux de polymorphisme (P à 95 et 99 %) pour les trois souches de *O. niloticus* utilisées dans les essais de croissance en étang.

Locus	Allèle	<i>O. niloticus</i>		
		Bk (30)	BF (30)	Da (30)
sAAT*	*100	0,600	0,467	0,683
	*55	0,400	0,533	0,317
FH*	*120	0,500	0	0
	*100	0,500	1	1
IDDH*	*169	0,100	0,500	0
	*100	0,750	0,150	0,533
	*16	0,150	0,350	0,467
LDH-2*	*100	0,950	0,767	0,733
	*52	0,050	0,233	0,267
MDH-3*	*119	0,017	0	0
	*100	0,983	1	1
MEP-1*	*125	0,050	0,183	0,517
	*100	0,950	0,817	0,483
MEP-2*	*120	0,183	0	0
	*100	0,817	1	1
MPI*	*107	0,100	0	0,250
	*100	0,900	1	0,750
H (%)		6,96	5,86	7,32
P95 (%)		23,33	13,33	16,67
P99 (%)		26,67	13,33	16,67

pauvre) qu'elles ne l'ont été pour les autres souches.

Ces trois populations ont des taux d'hétérozygotie supérieurs à ceux obtenus pour des populations naturelles du Nil (McAndrew et Majumdar, 1983), de la Volta ou du Niger (Rognon et Guyomard, même volume). Ceci peut s'expliquer par l'histoire de la souche de Bouaké qui est originellement constituée par le mélange, à partir de 1968 (voir ci-dessus), de deux populations de *O. niloticus* provenant respectivement de la Volta et du Nil. D'autres populations domestiques de Côte d'Ivoire, issues de la souche Bk et utilisées en pisciculture ou dans les empoisonnements des retenues hydro-électriques, ont aussi montré des taux d'hétérozygotie et de polymorphisme analogues (Rognon et Guyomard, même volume).

Par comparaison, dans les stocks exploités dans d'autres pays, des taux

d'hétérozygotie très variables ont été trouvés, comme par exemple 1,35 % pour une population thaïlandaise (Macaranas et coll., 1986) ou 8,88 % au Japon (Basio et Taniguchi, 1984). Les niveaux d'hétérozygotie souvent élevés trouvés dans des stocks de *O. niloticus* utilisés en aquaculture aux Philippines sont dus à une introgression génétique par *O. mossambicus* (Taniguchi et coll., 1985 ; Macaranas et coll., 1986).

Conclusion

Les performances zootechniques et les caractéristiques électrophorétiques des trois souches domestiques de *O. niloticus* testées ne reflètent pas de perte de variabilité génétique par rapport aux populations naturelles d'origine. Leur fondation et leur entretien en captivité paraissent avoir été pratiqués sans trop

d'influence négative (effet fondateur, goulot d'étranglement, consanguinité) sur le maintien de cette variabilité. La souche Bk domine les autres souches testées sur les plans zootechnique et de la variabilité génétique.

Littérature citée

- Basio, Z.U. et N. Taniguchi. 1984. An investigation of enzyme and other protein polymorphism in Japanese stocks of the tilapias *Oreochromis niloticus* and *Tilapia zillii*. *Aquaculture* 38:335-345.
- Hulata, G., S. Rothbard, S. Itzkovich, G. Wohlfarth et A. Halevy. 1985. Differences in hybrid fry production between two strains of the Nile tilapia. *Prog. Fish-Cult.* 47:81-85.
- Khater, A.A.E. 1985. Identification and comparison of three *Tilapia nilotica* strains for selected aquaculture traits. Auburn University, Alabama, Etats-Unis d'Amérique. 67 p. Thèse de doctorat.
- Krieg, F. 1984. Recherche d'une différenciation génétique entre populations de *Salmo trutta*. Université de Paris XI. 92 p. Thèse de 3ème cycle.
- Lazard, J. 1990. Transferts de poissons et développement de la production piscicole. Exemple de trois pays d'Afrique subsaharienne. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23(3):251-265.
- Lovshin, L.L. et A.B. da Silva. 1975. Culture of monosex and hybrid tilapia. Symposium on Aquaculture in Africa, Accra, Ghana. FAO/CIFA/75/SR9. 16 p.
- McAndrew, B.S. et K.C. Majumdar. 1983. Tilapia stock identification using electrophoretic markers. *Aquaculture* 30:249-261.
- Macaranas, J.M., N. Taniguchi, J.R. Pante, J.B. Capili et R.S.V. Pullin. 1986. Electrophoretic evidence hybrid gene Introgression into commercial *Oreochromis niloticus* (L.) - stocks in the Philippines. *Aquacult. Fish. Manage.* 17:249-258.
- Mélard, Ch. 1986. Les bases biologiques de l'élevage intensif du tilapia du Nil. *Cah. Ethol. Appl. Fasc. 3, Vol. 6, 224 p.*
- Smitherman, R.O., A.A. Khater, N.I. Cassel et R.A. Dunham. 1988. Reproductive performance of three strains of *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* 70:29-37.
- Taniguchi, N., J.M. Macaranas et R.S.V. Pullin. 1985. Introgressive hybridization in cultured tilapia stocks in the Philippines. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.* 5:1219-1224.
- Teichert-Coddington, D. 1983. Bidirectional mass selection for rapid prematuration growth in *Tilapia nilotica*. Auburn University, Alabama, Etats-Unis d'Amérique. 33 p. Mémoire de maîtrise.

Différenciation génétique de plusieurs populations de *Sarotherodon melanotheron* et *Tilapia guineensis* de Côte d'Ivoire, du Sénégal et de Gambie

L. POUYAUD

J.F. AGNESE

*Laboratoire de génétique
Centre de recherches océanologiques
BP V 18, Abidjan
Côte d'Ivoire*

POUYAUD, L. et J.F. AGNESE. 1996. Différenciation génétique de plusieurs populations de *Sarotherodon melanotheron* et *Tilapia guineensis* de Côte d'Ivoire, du Sénégal et de Gambie, p. 408-416. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Le polymorphisme des protéines enzymatiques a été étudié chez 12 populations de Côte d'Ivoire du Sénégal, et de Gambie, de *Tilapia guineensis* (238 individus) et sept populations de *Sarotherodon melanotheron* (221 individus). Parmi les 28 locus représentant 15 systèmes enzymatiques, 17 se sont révélés polymorphes chez *T. guineensis* et 11 chez *S. melanotheron*. Chez les deux espèces, les populations du Sénégal sont nettement différenciées des populations de la Côte d'Ivoire. Au sein de chacun de ces deux groupes, chaque population est nettement individualisée. L'importance du polymorphisme observé chez les populations de ces deux espèces permet d'envisager leur utilisation dans des programmes d'amélioration génétique par sélection ou par croisements interspécifiques.

Introduction

Sarotherodon melanotheron et *Tilapia guineensis* sont deux espèces de tilapia lagunaires que l'on rencontre le long de la zone côtière de l'Afrique de l'Ouest, du Sénégal au Congo. Ils peuvent vivre en eau douce ou salée ayant parfois une salinité de 100 ‰. *S. melanotheron* est principalement phytophage. Il est utilisé en Côte d'Ivoire dans les élevages en acadja enclos. Ces deux espèces, du fait de leurs grandes capacités de résistance à la salinité, pourraient être utilisées dans des croisements avec d'autres espèces possédant un fort taux de croissance mais une mauvaise tolérance à la salinité comme *Oreochromis niloticus*.

Le but de cette étude est d'apporter des connaissances sur le polymorphisme

génétique de ces deux espèces afin d'augmenter leurs performances en aquaculture et de les utiliser dans des programmes de croisements interspécifiques.

Matériel et méthodes

Quatre cent cinquante neuf individus provenant de 19 populations ont été étudiés. Les points d'échantillonnages sont indiqués sur les cartes de la figure 1. Noter que tous les sites d'échantillonnage pour la Sénégalie se trouvent au Sénégal sauf Banjul qui se trouve en Gambie.

Après leur capture, les spécimens ont été conservés quelques heures dans la glace puis disséqués au laboratoire. Un oeil ainsi qu'un morceau (environ 1 cm³) de muscle et de foie ont été prélevés

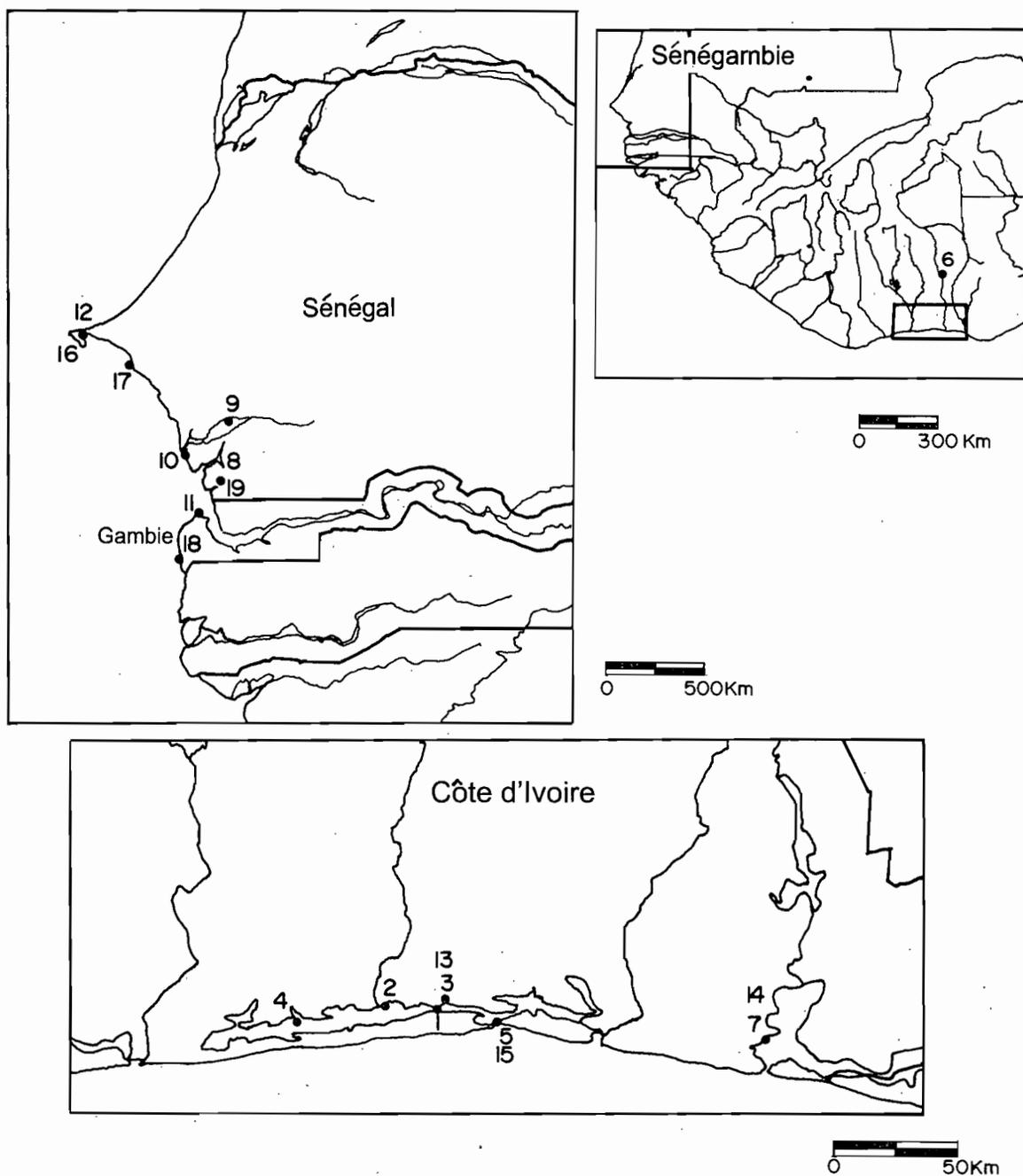


Fig. 1. Localisation des points d'échantillonnage. Pour *Tilapia guineensis*, en Côte d'Ivoire : (1) Adiapoté, (2) Layo, (3) Adiopodoumé, (4) Toupah, (5) Biétry, (6) Pont d'Abengourou et (7) Anga ; en Sénégambie : (8) Missirah, (9) Foundiougne, (10) Djiffer, (11) Banjul et (12) Pikine. Pour *Sarotherodon melanotheron*, en Côte d'Ivoire : (13) Adiopodoumé, (14) Anga et (15) Biétry ; en Sénégambie : (16) Dakar, (17) Somone, (18) Banjul et (19) Missirah.

sur chaque individu. Chaque prélèvement a été conservé dans l'azote liquide jusqu'à son analyse.

Les techniques utilisées pour les électrophorèses enzymatiques sur gel d'amidon ont été réalisées selon les protocoles de Pasteur et coll. (1988), et McAndrew et Majumdar (1983).

Dans le tableau 1 sont indiqués les systèmes enzymatiques révélés, les tampons utilisés et les organes dans lesquels sont exprimés les différents locus. La nomenclature adoptée est celle proposée par Shaklee et coll. (1989).

Les données électrophorétiques ont été traitées par le programme BIOSYS 1 de Swofford (1989). L'indice de distance utilisé est celui de Nei (1978).

Résultats et discussion

Les tableaux 2 et 3 présentent les fréquences alléliques et les taux d'hétérozygotie calculés pour les différentes populations analysées.

En ce qui concerne *T. guineensis*, les taux d'hétérozygotie observés varient entre 0,015 (Lac Pikine, 12) et 0,132 (Adiapoté, 1). Dans l'ensemble, ils sont comparables aux valeurs trouvées chez d'autres espèces de tilapia dans des études précédentes (McAndrew et Majumdar, 1983 ; Basiao et Taniguchi, 1984).

Très peu d'écarts significatifs ont été relevés entre les fréquences alléliques observées et celles attendues sous l'hypothèse de l'équilibre de Hardy Weinberg. Ces populations peuvent être considérées comme panmictiques.

Sur le dendrogramme de la figure 2, obtenu à partir des distances génétiques de Nei (1978) (Tableau 4), on observe le regroupement des populations des lagunes de Côte d'Ivoire et celui des lagunes de Sénégal. Seules deux populations se trouvent rejetées en

dehors de ces groupes : celle de Pikine (12) et celle du pont d'Abengourou (6). Ces deux populations sont caractérisées par les plus faibles taux d'hétérozygotie (0,015 pour la population de Pikine et 0,019 pour celle de pont d'Abengourou). Ces faibles valeurs de H expliquent en partie les plus grandes distances génétiques observées entre ces deux populations et les groupes géographiques auxquels elles appartiennent.

La population de Pikine a été capturée dans une mare alimentée par la nappe phréatique de la proche banlieue de Dakar. En période d'étiage, la surface et le volume disponible pour les poissons diminuent très fortement (moins d'un mètre de profondeur pour un kilomètre carré de surface). La prédation par les oiseaux et par les humains est alors importante.

En fin de période d'étiage, la taille de la population doit être faible. De tels goulots d'étranglement réguliers peuvent expliquer le très faible taux de polymorphisme observé dans cette population.

La population du pont d'Abengourou possède deux allèles diagnostiques (*LDH-1 B* et *LDH-3 C*), c'est-à-dire qui lui sont propres et que l'on ne retrouve pas dans les populations potentiellement sympatriques de la lagune Ebrié : Adiapoté (1), Layo (2), Adiopodoumé (3), Toupah (4), et Biétry (5). Une barrière au flux génique existe entre cette population et les populations avales du bassin de la Comoé. Les populations du Sénégal semblent bien différenciées les unes des autres souvent par plusieurs allèles diagnostiques : *FBP-1 D* et *PGM C* pour la population de Pikine, *AAT-2 E* (Foundiougne, 9 et Banjul, 11), *EST-4 D* (Missirah, 8 ; Foundiougne, 9 ; et Pikine, 12) *FH-1 D* (Missirah, 8 ; Foundiougne, 9 ; et Banjul, 11), *PGI-2 F* (Missirah, 8 ; Foundiougne, 9 ; Djiffer, 10 ; et Banjul, 11) et *PGM-1 B* (Missirah, 8 et Banjul, 11).

Tableau 1. Systèmes enzymatiques, organes (F=foie ; M=muscle ; et O=oeil) et tampons utilisés lors de cette analyse. Les systèmes ont été codés selon les recommandations de Shaklee et coll. (1989), les tampons sont ceux de McAndrew et Majumdar (1983), Basio et Taniguchi (1984), et Pasteur et coll. (1988).

Systeme	N° enzyme	Locus	Tissu	Tampon
AAT	2.6.1.1	<i>AAT-1</i>	F M O	TC 6, 7
		<i>AAT-2</i>	F O	TC 6, 7
		<i>AAT-3</i>	M O	TC 6, 7
ADH	1.1.1.1	<i>ADH-1</i>	F	MC 2
AK	2.7.4.3	<i>AK-1</i>	M	MC 2
ALP	3.1.3.1	<i>ALP-1</i>	F	TC 6, 7
CK	2.7.3.2	<i>CK-1</i>	M O	MC 2
		<i>CK-2</i>	O	MC 2
EST	3.1.1.-	<i>EST-1</i>	F	POULIK 1/2
		<i>EST-2</i>	O	RW, TEB 8, 6
		<i>EST-3</i>	O	TEB 8, 6
		<i>EST-4</i>	F	POULIK 1/2
FBP	3.1.3.11	<i>FBP-1</i>	M	MC 2
		<i>FBP-2</i>	F	MC 2
FH	4.2.1.2	<i>FH-1</i>	M	MC 2
GPI	5.3.1.9	<i>GPI-1</i>	M O	RW
		<i>GPI-2</i>	F O	RW
IDHP	1.1.1.42	<i>IDHP-1</i>	F	MC 2
		<i>IDHP-2</i>	M	MC 2
LDH	1.1.1.27	<i>LDH-1</i>	M O	MC 2
		<i>LDH-2</i>	F M O	MC 2
		<i>LDH-3</i>	O	MC 2
MDH	1.1.1.37	<i>MDH-1</i>	M O	MC 2
		<i>MDH-2</i>	F M O	MC 2
PGM		<i>PGM-1</i>	M	TEB 8, 6
PROT		<i>PROT-1</i>	M	MC 2
		<i>PROT-2</i>	M	MC 2
SOD	1.15.1.1	<i>SOD-1</i>	F	MC 2

Tableau 2. Fréquences géniques observées aux locus polymorphes et tailles des échantillons étudiés (N) de *Tilapia guineensis*. Liste des stations, en Côte d'Ivoire : (1) Adiapoté, (2) Layo, (3) Adiopodoumé, (4) Toupah, (5) Biétry, (6) Pont d'Abengourou et (7) Ànga ; en Sénégal : (8) Missirah, (9) Foundiougne, (10) Djiffèr, (11) Banjul (Gambie) et (12) Pikine. Les locus *AAT-1*, *CK-1*, *CK-2*, *FBP-2*, *GPI-2*, *IDHP-2*, *PROT-2* et *SOD* sont monomorphes pour le même allele dans les échantillons.

Populations (N)		1 (7)	2 (10)	3 (10)	4 (18)	5 (13)	6 (19)	7 (47)	8 (14)	9 (33)	10 (3)	11 (34)	12 (30)
Locus	Alleles												
<i>AAT-2</i>	A	0,79	0,85	0,90	0,86	0,81	0,00	0,97	0,32	0,42	0,83	0,47	0,05
	B	,21	0,15	0,10	0,14	0,19	1,00	0,03	0,68	0,56	0,17	0,51	0,95
	E	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02	-	0,02	-
<i>AAT-3</i>	A	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	1,00
	D	-	,06	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	-
<i>ADH</i>	A	0,64	0,45	0,44	0,61	0,50	-	0,89	1,00	0,91	1,00	1,00	0,92
	D	0,36	0,55	0,56	0,39	0,50	1,00	0,11	-	0,09	-	-	0,08
<i>AK</i>	A	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00	1,0	1,00	1,00
	B	-	-	-	0,06	-	-	0,04	-	-	-	-	-
<i>ALP</i>	A	1,00	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	D	-	-	0,05	-	-	-	0,07	-	-	-	-	-
<i>EST-1</i>	A	0,21	0,65	0,55	0,50	0,45	-	0,89	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	-	-	0,36	-	0,25	0,03	0,17	0,22	0,07
	D	-	-	-	-	-	0,64	0,02	0,75	0,97	0,83	0,78	0,93
	E	0,79	0,35	0,45	0,50	0,55	-	0,09	-	-	-	-	-
<i>EST-4</i>	A	1,00	0,90	1,00	0,92	1,00	1,00	0,95	0,75	0,97	1,00	1,00	0,97
	C	-	0,10	-	0,08	-	-	0,05	-	-	-	-	0,02
	D	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,03	-	-	0,01
<i>FBP-1</i>	A	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
	D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
<i>FH</i>	A	0,50	0,80	0,70	0,93	0,50	1,00	0,89	0,86	0,97	1,00	0,75	1,00
	D	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,03	-	0,25	-
	E	0,50	0,20	0,30	0,07	0,50	-	0,11	-	-	-	-	-
<i>GPI-2</i>	A	1,00	1,00	1,00	1,00	0,69	-	0,99	0,64	0,50	0,17	0,63	1,00
	C	-	-	-	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-
	F	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,50	0,83	0,37	-
	H	-	-	-	-	0,31	1,00	-	-	-	-	-	-
<i>IDHP-1</i>	A	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	E	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-
<i>LDH-1</i>	A	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	B	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-
<i>LDH-3</i>	A	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	C	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-
<i>MDH-1</i>	A	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	B	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>MDH-2</i>	A	0,57	0,85	0,75	0,75	0,83	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	B	0,14	0,15	0,12	0,25	0,12	-	0,02	-	-	-	-	-
	C	0,29	-	0,13	-	0,05	-	0,01	-	-	-	-	-
<i>PGM</i>	A	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,38	1,00	1,00	0,19	-
	B	-	-	-	-	-	-	-	0,62	-	-	0,81	-
	C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
	G	-	-	-	-	-	-	0,11	-	-	-	-	-
<i>PROT-1</i>	A	0,50	0,75	-	0,42	0,55	-	0,30	0,96	-	0,17	0,17	-
	C	-	0,20	0,03	0,05	1,00	-	-	0,14	-	0,05	-	-
	D	0,29	-	0,80	0,50	0,25	-	0,68	0,04	0,86	0,83	0,78	1,00
	F	0,21	0,25	-	0,05	0,15	-	0,02	-	-	-	-	-
	H	0,132	0,086	0,080	0,089	0,127	0,019	0,048	0,101	0,059	0,051	0,077	0,015

Tableau 3. Fréquences géniques observées aux locus polymorphes et tailles des échantillons étudiés (N) de *Sarotherodon melanotheron*. Liste des stations, en Côte d'Ivoire : (13) Adiopodoumé, (14) Anga et (15) Biétry ; en Sénégal : (16) Dakar, (17) Somone, (18) Banjul et (19) Missirah. Les locus *AAT-1*, *AK*, *FBP-2*, *CK-1*, *CK-2*, *EST-2*, *EST-3*, *GPI-1*, *IDHP-1*, *LDH-1*, *LDH-2*, *LDH-3*, *MDH-1*, *MDH-2*, *PROT-2* et *SOD* sont monomorphes pour le même allèle dans toutes les populations.

Populations (N)		13 (13)	14 (40)	15 (44)	16 (27)	17 (29)	18 (32)	19 (36)
Locus	Alleles							
<i>AAT-2</i>	A	-	-	-	1,00	0,95	0,97	0,97
	B	1,00	1,00	1,00	-	0,05	0,03	0,03
<i>AAT-3</i>	A	-	-	-	0,50	0,10	0,03	0,07
	B	1,00	0,81	1,00	0,50	0,90	0,97	0,93
	C	-	0,19	-	-	-	-	-
<i>ADH</i>	A	-	0,01	0,04	-	-	0,05	0,18
	B	1,00	0,99	0,96	1,00	1,00	0,95	0,82
<i>ALP</i>	A	1,00	1,00	1,00	0,35	0,55	0,56	0,51
	B	-	-	-	0,65	0,45	0,44	0,49
<i>EST-1</i>	A	0,11	0,89	0,40	0,35	0,02	0,53	0,21
	B	0,89	0,11	0,60	0,65	0,98	0,47	0,79
<i>FBP-1</i>	A	-	-	-	-	0,14	-	-
	B	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	1,00	1,00
<i>FH</i>	A	1,00	1,00	0,11	1,00	1,00	1,00	1,00
	B	-	-	0,89	-	-	-	-
<i>GPI-2</i>	B	0,04	0,03	0,07	1,00	1,00	0,95	1,00
	C	0,96	0,86	0,93	-	-	-	-
	D	-	-	-	-	-	0,05	-
	E	-	0,11	-	-	-	-	-
<i>IDHP-2</i>	A	-	-	-	-	-	-	0,07
	B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93
<i>PGM</i>	B	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	1,00	1,00
	C	-	-	-	-	0,10	-	-
	D	-	-	-	-	-	-	-
<i>PROT-1</i>	A	0,35	0,03	-	0,40	0,0	0,09	0,01
	B	0,58	0,89	0,99	0,52	0,90	0,89	0,18
	C	0,07	0,08	0,01	0,06	-	0,02	0,81
	D	-	-	-	0,02	-	-	-
	H	0,020	0,032	0,024	0,067	0,049	0,054	0,063

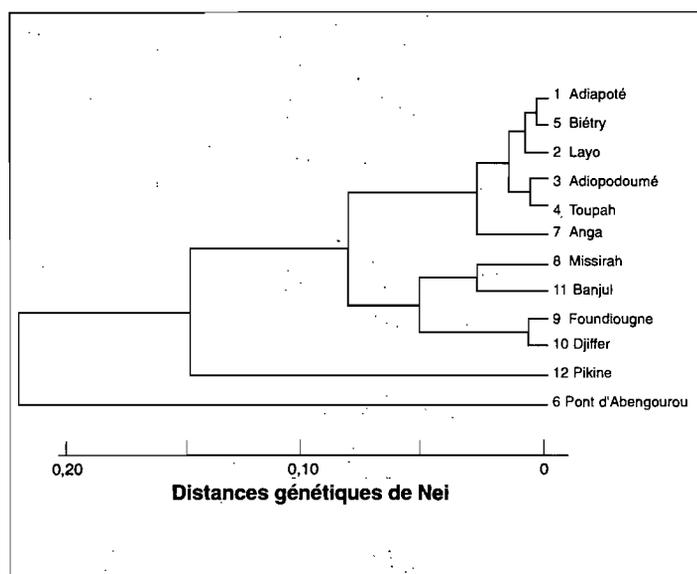


Fig. 2. Dendrogramme montrant les relations génétiques entre les différentes populations de *Tilapia guineensis*, obtenu à partir de la matrice de distances de Nei (1978) (Tableau 4), avec le programme BIOSYS 1 de Swofford (1989).

Tableau 4. Distances génétiques de Nei (1978) entre les différentes populations de *Tilapia guineensis*, obtenues à partir des fréquences alléliques (cf. Tableau 2), en utilisant le programme BIOSYS 1 de Swofford (1989).

Populations	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 ADIAPOTE	-										
2 LAYO	0,987	-									
3 ADIODOUME	0,985	0,977	-								
4 TOUPAH	0,990	0,993	0,994	-							
5 BIETRY	0,997	0,994	0,995	0,999	-						
6 ABENGOUROU	0,770	0,785	0,788	0,782	0,805	-					
7 ANGA	0,964	0,976	0,983	0,988	0,970	0,753	-				
8 MISSIRAH	0,918	0,927	0,891	0,923	0,921	0,786	0,913	-			
9 FOUNDIOUGNE	0,923	0,914	0,929	0,940	0,926	0,816	0,940	0,947	-		
10 DJIFFER	0,920	0,914	0,933	0,939	0,927	0,787	0,943	0,941	0,992	-	
11 BANJUL	0,911	0,901	0,918	0,923	0,911	0,777	0,925	0,972	0,968	0,961	-
12 PIKINE	0,833	0,822	0,848	0,850	0,829	0,729	0,850	0,880	0,904	0,871	0,908

En ce qui concerne les populations de *S. melanotheron*, les taux d'hétérozygotie observés varient de 0,035 (Anga, 15) à 0,071 (Dakar, 16). Aucun écart significatif n'a été mis en évidence entre les fréquences alléliques observées et celles attendues sous l'hypothèse de l'équilibre de Hardy Weinberg.

Sur le dendrogramme de la figure 3 réalisé à partir des distances de Nei (1978) (Tableau 5), on observe le regroupement des populations de la Côte d'Ivoire et celui des populations de Sénégal. Dans le groupe ivoirien, on remarque le regroupement des deux populations de la lagune Ebrié, Adiopodoumé (13) et Biétry (15), par

rapport à la population de la lagune Aby (Anga, 14). Entre toutes ces populations, il existe des allèles diagnostiques : *AAT-3 C* et *PGI-2 E* dans la population de Anga (14), *FH B* dans la population de Biétry (15), *PROT-1 D* dans la population de Dakar (16), *FBP-1 A* et *PGM C* dans la population de la Somone (17), *PGI-2 D* dans la population de Banjul (18) et *IDH-2 A* dans la population de Missirah (19).

Cette différenciation importante observée entre ces populations va dans le sens des travaux de Trewavas (1983) qui distingue plusieurs sous-espèces en Afrique de l'Ouest. Les populations de Banjul (18) et de Missirah (19) peuvent

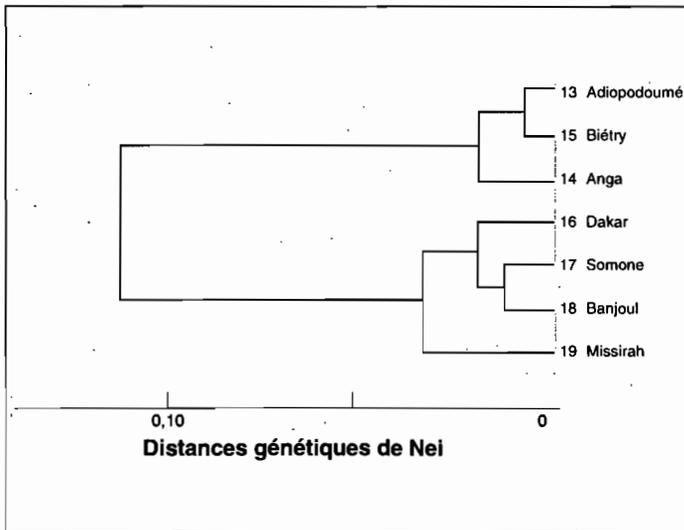


Fig. 3. Dendrogramme montrant les relations génétiques entre les différentes populations de *Sarotherodon melanotheron*, obtenu à partir de la matrice de distances de Nei (1978) (Tableau 5), avec le programme BIOSYS 1 de Swofford (1989).

Tableau 5. Distances génétiques de Nei (1978) entre les différentes populations de *Sarotherodon melanotheron*, obtenues à partir des fréquences alléliques (cf. Tableau 3), en utilisant le programme BIOSYS 1 de Swofford (1989).

Populations	13	14	15	16	17	18
13 ADIOPODOUME	-					
14 ANGA	0,972	-				
15 BIÉTRY	0,992	0,990	-			
16 DAKAR	0,898	0,888	0,894	-		
17 SOMONE	0,918	0,893	0,917	0,983	-	
18 BANJUL	0,913	0,919	0,924	0,985	0,989	-
19 MISSIRAH	0,902	0,881	0,894	0,974	0,974	0,973

être rapportées à la sous-espèce *S. melanotheron heudelotii*, la population de Dakar (16) à la sous-espèce *S. melanotheron paludinosus*. Les individus de la Somone (17) n'ont jamais fait l'objet d'études morphométriques. L'ensemble des populations ivoiriennes, Adiopodoumé (13), Anga (14) et Biétry (15), peut être rapporté à la sous-espèce *S. melanotheron melanotheron*.

La variabilité génétique observée à la fois chez *T. guineensis* et *S. melanotheron* met en évidence une nette différenciation entre les populations de Côte d'Ivoire et celles de Sénégal. Cette différenciation importante permet d'envisager des comparaisons de performance entre des souches provenant de ces deux régions.

Certaines populations de ces deux espèces montrent des taux d'hétérozygotie élevés (0,132 pour la population de Adiopodoumé [1] de *T. guineensis* et 0,067 pour la population de Dakar [16] de *S. melanotheron*). Les individus provenant de ces populations pourraient être utilisés dans des croisements interspécifiques où ils seraient susceptibles d'apporter un grand nombre de gènes nouveaux.

Enfin, l'importance du polymorphisme observé permet d'envisager la poursuite de ce travail en ce qui concerne les lieux d'échantillonnage (Guinée, Cameroun et Congo), et les techniques de génétique utilisées comme le séquençage de l'ADN mitochondrial.

Remerciements

Ce travail a été financé par une subvention du Groupement de coopération scientifique sur les bases biologiques de l'aquaculture et par une subvention de l'ORSTOM. Les auteurs remercient J.J. Albaret, P.S. Diouf et A. Pariselle pour l'aide qu'ils ont apportée lors de la capture des poissons.

Littérature citée

- Basiao, Z.U. et N. Taniguchi. 1984. An investigation of enzyme and other protein polymorphisms in Japanese stocks of the tilapias *Oreochromis niloticus* and *Tilapia zillii*. *Aquaculture* 38:335-345.
- McAndrew, B.J. et K.C. Majumdar. 1983. Tilapia stock identification using electrophoretic markers. *Aquaculture* 30:249-261.
- Nei, M. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics* 89:583-590.
- Pasteur, N., G. Pasteur, F. Bonhomme, J. Catalan et J.B. Davidian. 1988. Practical isozyme genetics. Ellis Horwood Limited (éd.) Chichester, R-U. 215 p.
- Shaklèe, J.B., F.W. Allendorf, D.C. Morizot et G.S. Whitt. 1989. Genetic nomenclature for protein-coding loci in fish: proposed guidelines. *Trans. Am. Fish. Soc.* 118:218-227.
- Swofford, D.L. 1989. A computer program for the analysis of allelic variation in population genetics and biochemical systematics. D.L. Swofford Center for Biodiversity, Illinois Natural History Survey, Champaign, Illinois.
- Trewavas, E. 1983. Tilapia fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakillia*. British Museum (Natural History), Londres; R-U. 563 p.

Croissance et développement gonadique de tilapias triploïdes (*Oreochromis niloticus*)

B. PUCKHABER
G. HÖRSTGEN-SCHWARK

*Institut für Tierzucht und Haustiergenetik
Universität Göttingen
Albrecht-Thaer-Weg 3
D-37075 Göttingen
Allemagne*

PUCKHABER, B. et G. HÖRSTGEN-SCHWARK. 1996. Croissance et développement gonadique des tilapias triploïdes (*Oreochromis niloticus*), p. 417-423. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Dans le cadre d'une expérience d'induction de la triploïdie chez les tilapias, 50 lots d'oeufs de cette espèce ont été soumis à un choc thermique et les résultats obtenus ont été vérifiés par examen des chromosomes au stade embryonnaire. L'étude portait sur la croissance et le développement des gonades des échantillons examinés chez lesquels le traitement a donné 100 % d'embryons triploïdes. Dix-huit fratries ont été utilisées dans cette étude où le temps d'exposition et la durée du choc thermique, et la croissance et le développement gonadique des poissons triploïdes jusqu'au 220^{ème} jour ont été étudiés après une phase d'optimisation du traitement. La moitié des poissons de chaque fratrie a été mise de côté pour servir de témoins diploïdes pendant toute la durée du traitement. Au 136^{ème} jour, la moitié des poissons de chaque lot (diploïdes et triploïdes) a été sacrifiée et un examen des paramètres suivants : poids et longueur du corps, sexe, poids et développement des gonades, et nombre de chromosomes, a été réalisé sur chaque individu. Cette procédure a été répétée aux 178 et 220^{ème} jours. Au total, 1.304 poissons diploïdes et 1.228 poissons triploïdes ont été examinés. Dans l'ensemble, les performances de croissance des poissons triploïdes étaient moins bonnes que chez les poissons diploïdes. Le développement gonadique chez les diploïdes était, à tous les âges observés, nettement supérieur à celui des triploïdes. Les triploïdes se sont montrés incapables de produire des descendance viables.

Introduction

Le nanisme, ou arrêt de croissance que provoque la reproduction trop précoce et excessive des tilapias avant qu'ils n'aient atteint une taille commerciale, est le problème principal que l'on rencontre dans les élevages. La transformation de ces poissons en poissons triploïdes pourrait offrir une solution simple à ce problème. Quelques rares expériences visant à produire des tilapias triploïdes ont été réalisées (Valenti, 1975 ; Chourrou et Itskovich, 1983 ; Penman et coll., 1986 ; Pandian

et Varadaraj, 1990) et jusqu'à présent, les études comparatives sur la croissance et le développement gonadique des tilapias diploïdes et triploïdes ont reposé uniquement sur des petites populations de poissons et sur des périodes relativement courtes. Cette étude vise à tirer le meilleur parti d'une technique mise au point pour obtenir des tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) triploïdes, et à tester le potentiel de croissance et de développement gonadique de ces tilapias triploïdes par rapport aux fratries diploïdes sur une période comprenant la maturation sexuelle.

Matériel et méthodes

L'expérience a porté sur des géniteurs de *O. niloticus* (lac Mansala, Egypte) reçus de l'Institut d'aquaculture de Stirling en Ecosse. Au total, 40 femelles et 40 mâles issus de ces géniteurs ont servi de parents aux fins de cette expérience. Les travaux ont été menés dans les installations en circuit fermé de l'Institut de génétique et de sélection animale de l'université de Göttingen, dans les conditions standards telles que les ont décrites Kronert et coll. (1989).

Des lots d'oeufs ont d'abord été produits par croisements individuels dans des aquariums de 125 l (photopériode : 12/12). Aussitôt après le dépôt des quelques premiers oeufs au fond des aquariums, les femelles ont été retirées, anesthésiées et les oeufs restants ont été extraits manuellement. Ceux-ci ont ensuite été recueillis dans de petites cribles (75 cc) en veillant à ce qu'ils ne soient pas en contact avec l'eau. Puis, la laitance a été extraite à sec et diluée, aux fins de la fécondation, en proportions égales dans une solution de NaCl à 0,9 % à l'aide d'une pipette. Cette mixture a ensuite été délicatement mélangée aux oeufs.

Aussitôt après, les lots d'oeufs ont été recouverts d'eau du robinet à 31°C (pH 8,1) après quoi on les a constamment remués pendant 30 secondes et répartis en deux groupes. A chaque expérience, un groupe était traité pour devenir triploïde tandis que l'autre servait de témoin diploïde.

La rétention du deuxième globule polaire a été rendue possible par choc thermique. Après avoir testé les traitements — modifiés — de Chourrout et Itskovitch (1983) et Penman et coll. (1986) sur 32 lots, la méthode suivante a été choisie en fonction des résultats très encourageants qu'elle a donnés au niveau de l'éclosion et de

la triploïdisation obtenue pour 18 lots (voir Puckhaber, 1992). Quatre minutes après la fécondation, les cribles contenant les lots devant être soumis à une triploïdisation ont été soigneusement transférés dans un bain d'eau à la température constante de 41°C, puis ils ont été légèrement remués et remis, au bout de 4,5 minutes, dans leur récipient en plastique. Quinze minutes plus tard, les oeufs du groupe témoin et les oeufs traités ont été comptés et placés dans un incubateur spécial pourvu d'une arrivée constante d'eau à 27°C. On peut consulter Habitzky-Biester (1987) pour le fonctionnement détaillé de cet appareil. Les chromosomes des embryons et des adultes ont plus tard été examinés pour confirmer la triploïdie réalisée dans les lots d'oeufs traités. Pour chaque lot traité, 10 embryons ont été examinés et seuls les lots dans lesquels les 10 embryons examinés étaient triploïdes ont été sélectionnés en vue de l'élevage.

L'examen des chromosomes des embryons a été réalisé selon une technique utilisée par Kligerman et Bloom (1977) et modifiée comme suit : des embryons âgés de 40 heures ont été placés pendant 4 heures dans une solution de colchicine à 0,4 % à 26°C. Ils ont ensuite été transférés dans une boîte de Pétri contenant une solution de NaCl à 0,7 %, puis disséqués et enfin transférés dans une solution de citrate de sodium à 1,1 % où on les y a laissés pendant 10 minutes. Ensuite, les échantillons ont été fixés dans une solution d'alcool éthylique et d'acide acétique dans une proportion de 3:1 (changée deux fois en 30 minutes) où le tissu embryonnaire est resté pendant toute une nuit à -20°C. Une solution d'acide acétique à 50 % a ensuite été utilisée pour la séparation des cellules. Au bout de 5 minutes, la suspension de cellules a été mélangée à l'aide d'une

pipette et étalée sur une lame préchauffée (50°C). Ensuite, les lames séchées à l'air ont été colorées au Giemsa.

Pour l'examen des chromosomes des adultes traités, une solution de colchicine à 2 % a été injectée dans le muscle dorsal (2 mg · 1.000 g⁻¹) des poissons 4 heures avant que ceux-ci ne soient sacrifiés. Du tissu branchial a alors été prélevé et traité comme pour le tissu embryonnaire ci-dessus. Le plan de nourrissage et d'élevage des fratries diploïdes et triploïdes était comme décrit par Kronert et coll. (1989). Le tableau 1 synthétise ce régime.

Afin d'assurer que les conditions environnementales restent les mêmes pour les triploïdes et les fratries diploïdes correspondantes, les densités de charge ont été ajustées par un échantillonnage aléatoire effectué tous les 15 jours. Aux 136 et 178^{ème} jours, la moitié de chaque groupe diploïde et triploïde a été sacrifiée, et au 220^{ème} jour, le reste de chaque groupe a également été sacrifié. Les paramètres suivants ont été enregistrés : poids corporel, longueur totale, sexe, poids gonadique, stade de développement gonadique et nombre de chromosomes. Le développement gonadique a été classé selon Kronert et coll. (1989) et Oldorf et coll. (1989) (Tableau 2). Au total, 2.532 poissons ont été examinés, 1.304 desquels étaient diploïdes et 1.228 triploïdes. Pour tester

l'aptitude à la reproduction, un mâle et une femelle de chaque lot ont été conservés dans l'aire de frai et testés.

Résultats et discussion

Au total, 18 fratries ont été étudiées sur 220 jours. Le sexe ratio moyen (mâle:femelle) était de 1:0,86 chez les diploïdes et de 1:0,87 chez les triploïdes. L'examen de l'ensemble des chromosomes des 1.228 poissons soumis à la triploïdisation a révélé, dans trois lots, la présence d'un poisson diploïde (0,24 %). Comme il s'agissait de cas isolés, il semblerait que cette présence ait été due à des fuites, au cours des diverses manipulations, de diploïdes provenant des groupes témoins. La méthode modifiée du choc thermique a donné 100 % de triploïdisation et peut être utilisée pour la triploïdisation massive, même dans des systèmes de production tropicaux.

Comparaison des performances de croissance

En général, les performances de croissance des poissons triploïdes sont moins bonnes que celles des diploïdes, comme l'ont également observé Penman et coll. (1986). Même après la maturation sexuelle, les performances de croissance des triploïdes n'étaient pas meilleures

Tableau 1. Plan de nourrissage et d'élevage des familles de diploïdes et triploïdes *Oreochromis niloticus* dans des aquariums de 80 l.

Age (jours)	Nbre de fratries par famille diploïde/triploïde	Ration journalière (poids corporel) ^{0,9} en %	Protéines (%)
24 - 37	150 / 150	9	50
38 - 93	120 / 120	5	50
94 - 135	80 / 80	3	25
136 - 177	40 / 40	3	25
178 - 220	20 / 20	3	25

Tableau 2. Stades du développement des gonades chez les tilapias mâles et femelles.

Stade	Femelles (Kronert et coll., 1989)
1. immaturité/inactivité	pas d'oeufs visibles
2. inactivité-activité	<20 oeufs visibles, taille <0,2 mm
3. activité	>20 oeufs visibles, taille <0,2 mm
4. activité-maturité	oeufs jaunes, taille 0,2 - 1,1 mm
5. maturité/frai	oeufs jaunes, taille > 1,1 mm
6. poisson dépensé	résorption du vitellus, oeufs blancs
Stage	Mâles (Oldorf et coll., 1989)
1. immaturité	aspect filoché, incolore
2. inactivité	translucides, plus larges que ci-dessus
3. inactivité-activité	chair colorée, encore gracile
4. activité	blanches/jaunâtres, épaisses, pas de laitance visible à la section
5. activité-maturité	couleur crème, épaisses et dilatées
6. maturité	distendues totalement sur toute la longueur de l'abdomen, laitance visible quand les testicules sont sectionnées
7. maturité-épanchement de laitance	blanches/argentées, la laitance s'épanche librement par légère pression

que celles des diploïdes comme on a pu l'observer, par exemple, chez la truite (Thorgaard, 1986). Toutefois, les différences de croissance observées entre les fratries diploïdes et triploïdes variaient très nettement d'un lot à l'autre, les valeurs pondérales minimales et maximales entre diploïdes et triploïdes au sein des lots se situant entre +36 % et -48 %.

La figure 1 illustre la croissance moyenne des groupes examinés à trois âges différents. D'après cette figure, le poids corporel des poissons triploïdes était, à tous les âges, significativement ($P < 0,01$) inférieur à celui des groupes témoins diploïdes. Le poids corporel des mâles triploïdes était inférieur (38 %) au poids des mâles diploïdes. Pour les femelles, une différence de poids moyen de 29 % seulement a été observée entre les diploïdes et triploïdes. Les femelles des deux groupes (diploïdes et triploïdes) présentaient un taux de croissance moyen plus bas que le taux observé chez les mâles, sauf pour les triploïdes au

136^{ème} jour. La différence moyenne de poids entre les mâles et les femelles des groupes triploïdes était plus basse (13,3 %) que la différence observée dans les groupes diploïdes (24,6 %) ($P < 0,01$).

Développement gonadique

Dans les conditions expérimentales du laboratoire, la ponte et le dépôt des oeufs des poissons diploïdes n'ont pas eu lieu en raison de l'espace limité, observation révélée par le développement gonadique des femelles diploïdes. Au 220^{ème} jour, 75 % des femelles diploïdes étaient surmatures (stade de maturité 6 = post-ponte).

La figure 2 illustre le développement gonadique moyen des groupes diploïdes et triploïdes. A tous les âges, le développement gonadique chez les groupes triploïdes était significativement inférieur ($P < 0,01$) à celui des fratries des groupes témoins diploïdes. Les différences observées dans le développement gonadique des diploïdes et

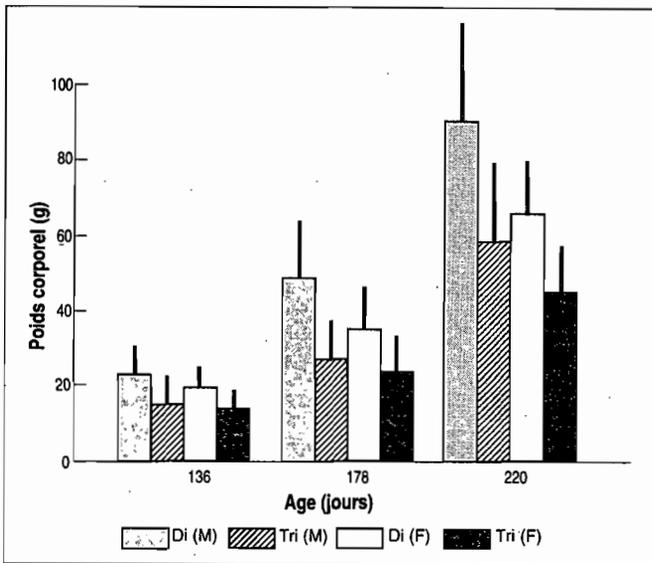


Fig. 1. Croissance de *Oreochromis niloticus* diploïdes (Di) et triploïdes (Tri) (M=mâles ; F=femelles) (et erreurs standards) en fonction de l'âge.

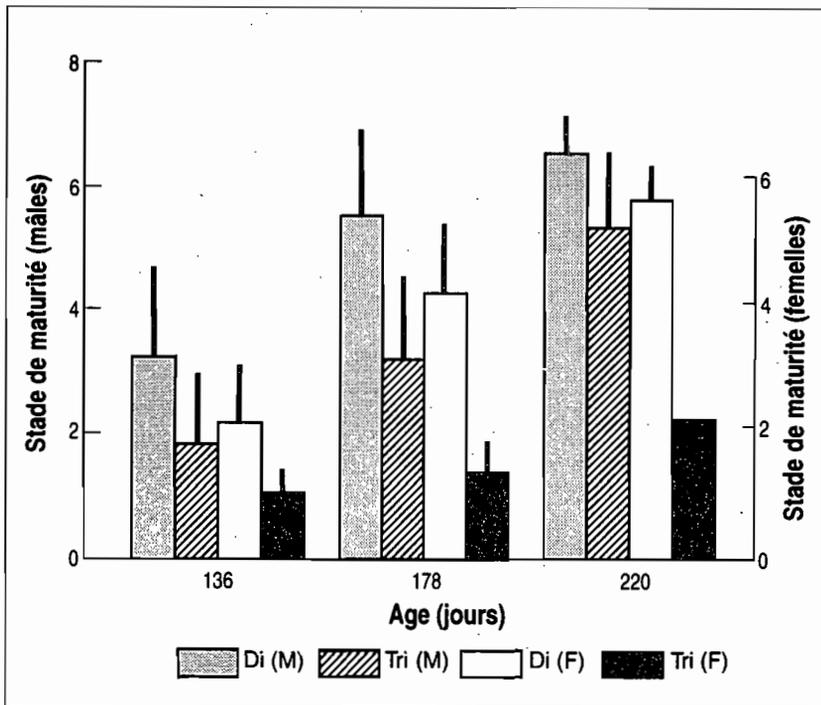


Fig. 2. Développement des gonades chez *Oreochromis niloticus* diploïdes (Di) et triploïdes (Tri) (M=mâles ; F=femelles) (et erreurs standards) en fonction de l'âge. Les stades de maturité correspondent aux stades de développement des gonades présentés dans le tableau 2.

triploïdes étaient plus prononcées chez les femelles (60,6 %) que chez les mâles (34,7 %). Les testicules des mâles triploïdes étaient plus courts et plus translucides que ceux des mâles diploïdes. Les gonades des mâles triploïdes classés "actifs" renfermaient un liquide clair contenant seulement

quelques spermatozoïdes. Les femelles triploïdes avaient des ovules ne contenant que des ovocytes blancs non développés. Les valeurs de l'indice gonadosomatique moyen (IGS, Fig. 3) observées chez les groupes triploïdes étaient significativement inférieures ($P < 0,01$) à celles observées dans les

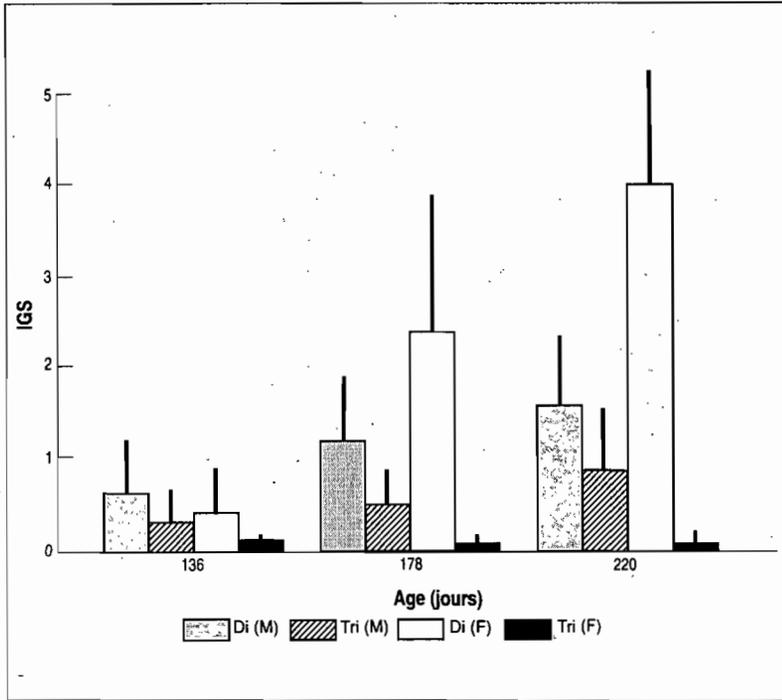


Fig. 3. Indice gonadosomatique (IGS et erreurs standards) de *Oreochromis niloticus* diploïdes (Di) et triploïdes (Tri) (M=mâles ; F=femelles) en fonction de l'âge.

fratries diploïdes. Dans tous les essais, les valeurs d'IGS moyen observées chez les mâles triploïdes étaient plus basses (49,4 %) que celles enregistrées pour les mâles diploïdes. Chez les femelles, la différence observée dans les valeurs d'IGS était encore plus nette (91,3 % plus bas chez les triploïdes que chez les diploïdes).

***S*té**rilité

Les tests de stérilité ont été réalisés sur des poissons triploïdes mis en présence de partenaires diploïdes. Les couples de femelles triploïdes et de mâles diploïdes ont été observés pendant trois mois ; aucune ponte n'est survenue au cours de cette période. L'accouplement des mâles triploïdes avec des femelles diploïdes s'est traduit par des pontes dans tous les cas qui n'ont toutefois donné aucune larve viable. Les poissons triploïdes *O. niloticus* se sont donc avérés

incapables de produire des descendances viables.

D'autres essais de triploïdie vont être réalisés dans des conditions d'élevage extensif en étang. Il se peut que, dans ce type d'environnement et par rapport aux résultats obtenus en laboratoire, la stérilité fonctionnelle des triploïdes se traduise par une amélioration de leurs performances de croissance par rapport à celles enregistrées pour les diploïdes. Des études sur la carcasse nette et la qualité de la chair des triploïdes seront également réalisées. Une attention particulière sera portée à la productivité des étangs.

Littérature citée

- Chourrout, D., et J. Itskovich. 1983. Three manipulations permitted by artificial insemination in tilapia: induced gynogenesis, production of all triploid populations and intergeneric hybridisation, p. 246-255. *In*

- L. Fisherson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 8-13 mai 1983, Nazareth, Israël.
- Habitzky-Biester, H. 1987. Vergleichende Untersuchungen zu Erbrütungs- und Aufzuchtmethoden bei Afrikanischen Buntbarschen (*Oreochromis niloticus*). Universität Göttingen. Dissertationsschrift.
- Kligerman, A.D. et S.E. Bloom. 1977. Rapid chromosome preparations from solid tissues of fish. J. Fish. Res. Board Can. 34:266-269.
- Kronert, U., G. Hörstgen-Schwark et H.J. Langholz. 1989. Prospects for selecting on late maturity in tilapia (*Oreochromis niloticus*). 1. Family studies under laboratory conditions. Aquaculture 77:113-121.
- Oldorf, W., U. Kronert, J. Balarin, R. Haller, G. Hörstgen-Schwark et H.J. Langholz. 1989. Prospects of selecting for late maturity in tilapia (*Oreochromis niloticus*). 2. Strain comparison under laboratory and field conditions. Aquaculture 77:123-133.
- Pandian, T.J. et K. Varadaraj. 1990. Production of all-female sterile triploid *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 84:117-123.
- Penman, D.J., D.O.F. Skibinski et J.A. Beardmore. 1986. Survival, growth rate and maturity in triploid tilapia. EIFAC/FAO Symposium on Selection, Hybridisation and Genetic Engineering in Aquaculture, 27-30 mai 1986, Bordeaux, France.
- Puckhaber, B. 1992. Untersuchungen zur Produktivitätssteigerung bei Afrikanischen Buntbarschen. Universität Göttingen. Dissertationsschrift. 144 p.
- Thorgaard, G.H. 1986. Ploidy manipulations and performance. Aquaculture 57:57-64.
- Valenti, R.J. 1975. Induced polyploidy in *Tilapia aurea* (Steindachner) by means of temperature shock treatment. J. Fish Biol. 7:519-528.

Effets du comportement reproducteur des géniteurs *Oreochromis* vivant en captivité sur la qualité de leurs alevins

K.J. RANA

*Institute of Aquaculture
University of Stirling
Stirling, FK9 4LA Ecosse*

RANA, K.J. 1996. Effets du comportement reproducteur des géniteurs *Oreochromis* vivant en captivité sur la qualité de leurs alevins, p. 424-432. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Il est généralement admis que le comportement parental chez les tilapias a évolué de sorte à accroître la survie de la descendance. En milieu d'élevage, toutefois, il se peut que les conditions de reproduction et certains aspects de leur comportement reproducteur aient été modifiés et affectent la qualité des géniteurs. Certains de ces aspects de la reproduction chez *Oreochromis niloticus* et *O. mossambicus* ont par conséquent fait l'objet de recherches en éclosion pour déterminer l'influence de la fréquence des émissions de sperme sur le taux de fécondation des oeufs ; l'effet de l'incubation par les femelles sur la qualité des alevins ; la croissance des alevins incubés artificiellement et naturellement* ; et l'influence du retardement du premier nourrissage sur la qualité des alevins. Chez les deux espèces, une diminution rapide du nombre d'oeufs se développant au sein des lots a été observée à mesure de l'augmentation de la fréquence des émissions de sperme, quel que soit le jour considéré. A raison de quatre pontes par jour, le taux de fécondation par les mâles a baissé, passant de plus de 90 % à moins de 30 %. Le rapport entre cavité buccale et volume total des oeufs et des alevins suggère que ce volume est très inférieur au volume de la cavité buccale. Le volume des oeufs des femelles représente seulement 10 à 15 % de la cavité buccale de *O. niloticus* et 15-40 % de celle de *O. mossambicus*, mesurant tous deux 11-12 cm. Une augmentation linéaire des pertes des alevins récemment éclos a été observée entre cinq et huit jours après la ponte, et jusqu'à 25 % des oeufs ont été endommagés. Les types de pertes irréversibles sont présentés dans cet exposé.

Dans tous les lots, les alevins incubés artificiellement étaient significativement ($P < 0,05$) plus lourds et plus longs que les alevins incubés naturellement. Cette différence est imputée à la période des premières sorties, des différences allant jusqu'à 200 % ayant été observées. Le retardement du premier nourrissage au-delà du sixième jour post-éclosion a sensiblement affecté ($P < 0,05$) la croissance des alevins, le ralentissement de la croissance étant plus prononcé quand les alevins provenaient de géniteurs plus petits et par conséquent d'oeufs plus petits. Les implications de ces résultats sont discutées au regard de la production d'alevins en éclosion.

Introduction

Chez les espèces de *Oreochromis*, le choix du partenaire et une parade de préfrai menée à bien entre un mâle et une femelle peuvent aboutir à la

formation temporaire d'un couple et à une ponte éventuelle. La femelle reste dans le territoire nuptial du mâle et y pond plusieurs lots d'oeufs (20 à 50 oeufs par lot) qui sont aussitôt fécondés par le mâle, l'opération durant entre 45 et 120 minutes (Trewavas, 1983). Une fois la ponte terminée, la femelle quitte la frayère pour incuber son lot d'oeufs. En éclosion, cependant, certains aspects

*Toutes les fois que l'auteur compare les alevins incubés naturellement et artificiellement, il s'agit d'alevins de mêmes fratries—NdT.

de ce comportement reproducteur peuvent être troublés de sorte que la production globale d'alevins peut se trouver réduite. Certains de ces aspects chez les poissons élevés en captivité ont donc été étudiés (Fig. 1).

Afin d'assurer leur paternité, les mâles *Oreochromis* construisent et défendent vigoureusement les nids établis dans des frayères collectives. Par ailleurs, la femelle en phase pré-génésique se rend sur le site de frai pour y choisir l'un des mâles qui fécondera le lot. Dès lors, les assauts entre mâles peuvent mener à l'apparition de quelques mâles dominants qui féconderont les oeufs d'un nombre bien plus important de femelles.

Pour assurer une descendance aussi large que possible, on pourrait imaginer que les mâles répandent suffisamment de laitance pour augmenter les chances de fécondation des oeufs de chaque lot, et qu'ils s'assurent que les femelles ont déposé tous les oeufs dans leur nid.

Le premier essai décrit ici a été réalisé pour tester l'hypothèse selon laquelle

le taux de fécondation des lots d'oeufs pondus ultérieurement pourrait baisser si le mâle fertilisait plusieurs lots à la fois.

La femelle, par ailleurs, recueille les oeufs dans sa bouche et quitte le lieu de frai pour incuber le lot, période au cours de laquelle les oeufs viables éclosent et le volume total du lot augmente. Le deuxième essai visait par conséquent à déterminer si le volume buccal était un facteur de limitation comme Aronson (1949) et Baerends et Baerends van-Roon (1950) ont pu le suggérer dans des études antérieures, et à évaluer les effets de l'incubation buccale en écloserie sur les pertes d'alevins.

La durée d'incubation buccale, particulièrement jusqu'à la première sortie des alevins chez les espèces *Oreochromis*, peut varier selon les femelles et selon les pontes d'une même femelle (Rana, 1986, 1990). Si la dernière sortie des alevins est retardée au-delà du stade de premier nourrissage, il se peut que leur potentiel de croissance et de survie en soit affecté.

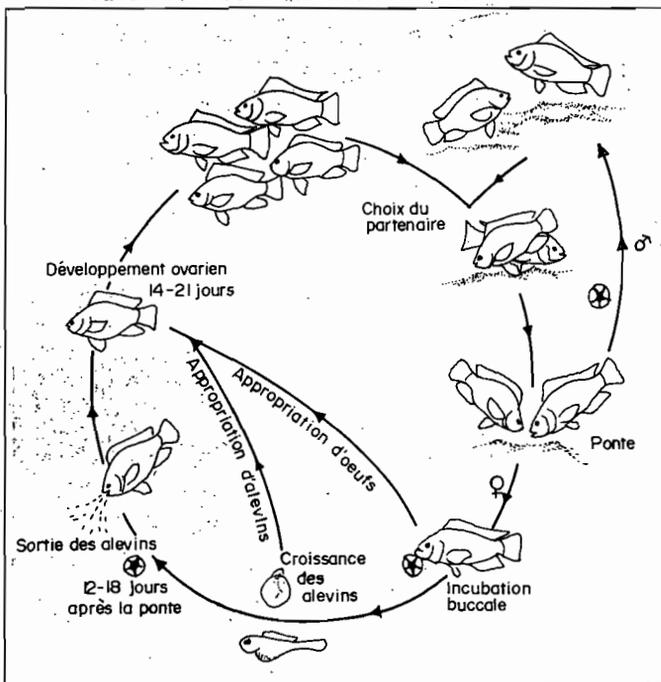


Fig. 1. Comportement reproducteur chez les espèces *Oreochromis*.

Compte tenu des effets possibles de l'interaction des facteurs comportementaux ci-dessus sur la viabilité des oeufs et la qualité des alevins, et sur la croissance et la survie, des essais ont été réalisés en vue de déterminer l'influence :

1. de la fréquence des émissions de sperme sur le taux de fécondation des lots d'oeufs ;
2. du volume de la bouche et de l'incubation buccale sur la survie des alevins ;
3. de l'incubation buccale sur la croissance des alevins naturellement incubés par rapport à celle des alevins artificiellement incubés ; et
4. du retardement du premier nourrissage sur la croissance et la survie des alevins de *O. niloticus* et *O. mossambicus*.

Matériel et méthodes

Effets de la fréquence des émissions de sperme sur les taux de fécondation des lots d'oeufs naturellement incubés

Les mâles et femelles ont été conditionnés séparément dans des bassins de 1 m² et ont été nourris trois fois par jour à raison de 1 à 2 % de leur poids corporel. Les femelles n'ont plus reçu de nourriture 24 heures avant le démarrage de chaque essai. Huit femelles et un mâle dominant ont été choisis et transférés dans un bassin de ponte de 3 m de diamètre contenant 35 cm d'eau. Les femelles pouvaient être identifiées grâce aux marques numérotées et au code-couleur établi par injection sous-cutanée de bleu d'alcan. Les poissons ont ensuite été nourris à volonté trois fois par jour, et l'activité de ponte et la séquence des pontes des femelles marquées ont été

relevés tous les jours. Douze heures après la dernière ponte du jour, les oeufs de toutes les femelles ont été retirés, dénombrés et retournés dans les bacs de ponte. Un échantillon d'environ 100 oeufs dans chaque lot prélevé aléatoirement a été conservé dans du liquide de Bouin et le nombre des oeufs se développant a été noté. Chaque essai, d'une durée de 5 à 18 jours, a été répété quatre fois pour chaque espèce.

Pertes d'alevins imputables à l'incubation buccale

Des femelles (âgées de 12 à 18 mois) marquées et portant un code-couleur, ont été stockées dans des bassins de reproduction de 1 m² et de 2 m de diamètre (profondeur d'eau 35 cm) à un sexe ratio de 3 femelles pour 1 mâle (8 poissons) et dans des aquariums en verre de 100 l (4 poissons), nourris à raison de 1 à 2 % du poids du corps par jour, et maintenus à 28°C.

Les bassins étaient observés plusieurs fois par jour et les dates de pontes des poissons étaient relevées individuellement. Les femelles incubantes ont pu incuber leurs lots d'oeufs pendant 5 à 12 jours. Les larves ont ensuite été soigneusement retirées à l'aide d'un filet à double paroi: une paroi extérieure avec des mailles de 1 mm et une intérieure avec des mailles de 5 mm pour faciliter la séparation et la collecte des oeufs et des larves sans les abîmer. Le lot a ensuite été placé dans une boîte de Pétri de 15 cm de diamètre contenant de l'eau claire, les alevins endommagés ayant aussitôt été écartés et examinés au microscope à dissection. Les alevins abîmés possédant un battement de coeur mais ayant été endommagés seulement du fait de manipulations ont été ajoutés aux alevins sains. Cinq poissons incubateurs ont été prélevés pour chaque période d'incubation.

Estimation du volume de la cavité buccale et des lots d'oeufs

Le volume de la cavité buccale des poissons a été déterminé indirectement par le déplacement d'eau des empreintes en mousse expansible de la bouche (Handy Foam plus-FEB [Grande-Bretagne] Ltd., Manchester, Angleterre).

Des femelles de tailles différentes ont été sacrifiées par surdose de benzocaïne, marquées pour les identifier ultérieurement, pesées et mesurées (LS). De la mousse expansible a été injectée en tous points de la cavité buccale et la bouche a été maintenue fermée à l'aide d'une aiguille de seringue tordue. Un temps de pose de 90 minutes a été aménagé pour permettre à l'empreinte de durcir. Pendant cette phase, une aiguille de seringue tordue en forme de "L" a été insérée dans le moule pour faciliter les manipulations ultérieures. Les empreintes ont ensuite été retirées en coupant le long du plancher de la cavité buccale et de la mâchoire inférieure, lavées et séchées à température ambiante. Les estimations du volume des empreintes ont été répétées trois fois en pesant le volume d'eau déplacé sur une balance tarée.

Pour en compter le nombre, des oeufs provenant de femelles de différentes tailles ont été placés dans une boîte de Pétri et photocopiés. Le volume des oeufs a été déterminé par la méthode de déplacement à l'aide d'un cylindre gradué de 5 ml (précision : 0,1 ml). Le volume de 100 alevins à la vésicule résorbée provenant de ces lots d'oeufs a été mesuré de la même manière et le volume maximum des lots a été calculé en admettant que tous les oeufs avaient atteint le stade de l'alevin.

Croissance des alevins incubés artificiellement et naturellement

Des bacs de ponte ont été aménagés dans des bassins de 1 m² comme décrit dans la section sur les pertes d'alevins ci-dessus. De plus, une alimentation complémentaire moulue et tamisée (250-500 µm) donnée à volonté et contenant 40 % de protéines (Boulette n°4, Edward Baker Ltd., Bathgate, Ecosse) a été prévue pour nourrir les alevins qui viendraient à être libérés. Dans le cadre de cette expérience, les incubateurs buccaux ont été observés quotidiennement pour suivre leur activité de ponte. Les manipulations ont consisté à tout d'abord guider les poissons dans un grand filet puis à rapidement maintenir leur bouche fermée pour empêcher la sortie éventuelle des oeufs. Ensuite, la bouche de chaque femelle a été partiellement ouverte pour libérer environ 100 oeufs avant de la libérer pour qu'elle incube le reste du lot de façon naturelle. La date de ponte et la marque d'identification ont été notées. Pour réduire les risques de mélange des alevins libérés par différentes femelles, les oeufs des poissons ayant pondus au cours des deux derniers jours précédant le dernier relevé, ont été retirés et éliminés. Les oeufs libérés ont été artificiellement incubés dans des incubateurs à fond arrondi (Rana, 1986). Les alevins à la vésicule résorbée ont été stockés à raison de 10 alevins par litre et nourris à volonté quatre fois par jour avec le même aliment utilisé dans les bassins de ponte.

Le nourrissage des alevins artificiellement incubés a été cessé lorsque les premières sorties d'alevins incubés naturellement ont été observées. Ceux-ci ont

été soigneusement collectés et transférés en même temps que les alevins artificiellement incubés (toutefois séparément) dans de l'eau claire pendant quatre à cinq heures afin qu'ils y évacuent le contenu de leurs intestins. Ils ont ensuite été sacrifiés à la benzocaïne et la longueur standard de deux fois 20 alevins choisis au hasard a été mesurée au dixième de millimètre près, et leur humidité moyenne (%) ainsi que leur poids sec (au dixième de milligramme près) ont été déterminés.

Résultats et discussion

Effet de la fréquence des pontes mâles sur les taux de fécondation des lots d'oeufs naturellement pondus

Les résultats de ces travaux suggèrent que bien qu'un mâle puisse facilement parader et s'accoupler avec succès avec plusieurs femelles en un seul jour, son aptitude à féconder décroît à mesure de l'accroissement de la fréquence des pontes.

Chez les deux espèces, entre deux et quatre pontes par jour ont été obtenues (Tableaux 1 et 2). Chez ces deux espèces également, la proportion des oeufs poursuivant leur développement a rapidement baissé à mesure de l'accroissement de la fréquence des pontes, même sans tenir compte de l'âge des mâles. Dans le cas de *O. niloticus*, cette proportion est passée de 96 % lors de la première ponte à 22 % lors de la quatrième. Une tendance similaire a été observée chez *O. mossambicus*. Bien que nous ne possédions malheureusement que les données concernant quatre mâles, les tendances observées au niveau des taux de fécondation sont consistantes chez tous les mâles étudiés (Tableaux 1 et 2).

Pertes d'alevins et types de traumatismes associés à l'Incubation buccale

Chez les deux espèces, les pertes cumulées d'alevins ont augmenté de manière linéaire jusqu'au huitième jour après la ponte (Fig. 2). Par la suite, le taux de perte a diminué jusqu'à descendre à pratiquement zéro au dixième jour. Au douzième jour, les pertes irréversibles affectaient 25 à 30 % du lot. Aucune corrélation significative n'a été observée entre le nombre de pertes irréversibles et le nombre total d'alevins $r^2=0,042$ et $0,167$; dl =respectivement 15 et 18; $P>0,05$).

Le déplacement du sac vitellin représentait 81 à 87 % du total des pertes d'alevins. En outre, 11 à 16 % des alevins ont subi des traumatismes oculaires et 5 % présentaient un écrasement de la tête.

Ces types de traumatismes sont probablement dus aux épisodes où la femelle agite ses oeufs. Dans des conditions normales, la fréquence d'agitation diminue de 95-105 épisodes par minute à 25-30 épisodes par minute au troisième jour après la ponte, et diminue à 3-8 épisodes par minute aux stades ultérieurs d'incubation (Rana, 1986). Quand les femelles sont harcelées par les poissons dominants en milieu confiné, on observe un accroissement de la fréquence des épisodes d'agitation et des mouvements operculaires pouvant se traduire par des blessures occasionnées aux alevins par les dents pharyngiennes.

Les différences observées entre le nombre attendu d'oeufs et le nombre d'alevins incubés ont été attribuées aux ajustements du volume de la bouche (Aronson, 1949; Lowe-McConnell, 1959; Riedel, 1965). D'après les données obtenues concernant les empreintes des volumes buccaux, l'expulsion manuelle

Tableau 1. Effets des accouplements répétés par les mâles de *Oreochromis niloticus* sur la viabilité des lots d'oeufs pondus naturellement.

Mâle n° (âge)	Date du frai	Nbre d'accouplements par jour	Séquence des pontes des femelles ^a	Viabilité des oeufs (% du lot)			
				Oeufs non viables (%) ^b	Oeufs non fécondés (%) ^c	Oeufs en dévelop. (%) ^d	
1 (26 mois)	24/2/84	4	4.383 ^e	3	1	96	
			4.377	4	16	80	
			4.883 ^e	5	26	69	
			4.384	8	70	22	
	4/3/84	2	4.375	0	0	100	
			4.381	3	27	70	
	8/3/84	2	4.377	4	-	96	
			4.384	7	21	72	
	2 (8 mois)	6/7/84	3	4.894	5	11	84
				4.895	4	33	63
				4.891	3	90	7

^aMarques d'identification des femelles classées selon la séquence de leurs pontes.

^bSe réfère aux oeufs dont le disque germinatif était invisible.

^cSe réfère aux oeufs demeurant au stade du disque germinatif.

^dOeufs au stade blastula-membrane embryonnaire.

^eSe réfère à une femelle qui a pondu deux fois.

Tableau 2. Effets des accouplements répétés par les mâles de *Oreochromis mossambicus* sur la viabilité des lots d'oeufs pondus naturellement.

Mâle n° (âge)	Date du frai	Nbre d'accouplements par jour	Séquence des pontes des femelles ^a	Viabilité des oeufs (% du lot)		
				Oeufs non viables (%) ^b	Oeufs non fécondés (%) ^c	Oeufs en dévelop. (%) ^d
1 (16 mois)	27/4/84	4	4.820	2	6	92
			4.890	5	15	80
			4.441	3	41	56
			4.277	2	70	28
	29/4/84	2	4.272	6	14	80
			4.068	2	30	68
2 (9 mois)	2/6/84	2	4.882	2	19	89
			4.889	4	33	63
	10/7/84	2	4.889	1	14	85
			4.881	2	27	71

^aMarques d'identification des femelles classées selon la séquence de leurs pontes.

^bSe réfère aux oeufs dont le disque germinatif était invisible.

^cSe réfère aux oeufs demeurant au stade du disque germinatif.

^dOeufs au stade blastula-membrane embryonnaire.

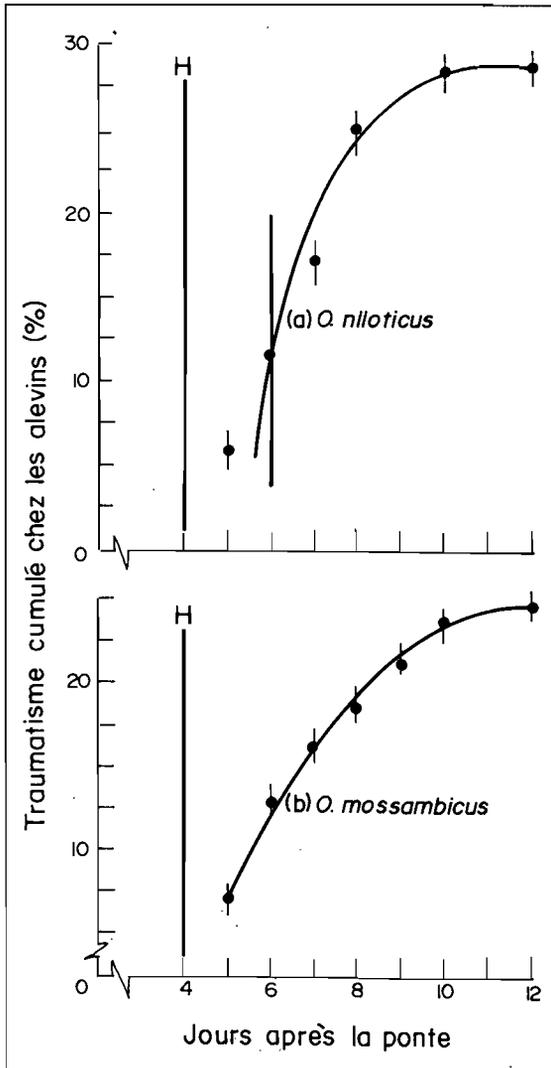


Fig. 2. Traumatismes physiques subis par les alevins dans la cavité buccale au cours de la période d'incubation naturelle en éclosure : (a) *Oreochromis niloticus* et (b) *O. mossambicus*. Les points ● représentent les moyennes, et les barres verticales, l'étendue des dommages subis par les alevins au cours de chaque période d'incubation. Noter que les nombreux traumatismes subis par *O. niloticus* au sixième jour sont dus à la présence de deux parents dans un aquarium de 100 l dans lequel un grand nombre d'alevins ont été endommagés ; les autres incubateurs ont été gardés dans des bassins de 1 et 3m².

des oeufs pour éviter la ponte partielle, et le volume maximum d'alevins à la vésicule résorbée, cette étude suggère que, bien que le volume des lots augmente

de 90-100 % entre la ponte et le stade de résorption, il reste bien en deçà du volume buccal. Il est donc improbable que le volume buccal soit un facteur limitant dans l'incubation buccale (Fig. 3).

Comparaison des alevins incubés naturellement et artificiellement

Les poids des alevins incubés naturellement et artificiellement sont présentés sur la figure 4. La période de première sortie des alevins s'est située entre les 11^{ème} et 18^{ème} jours après la ponte. Dans tous les lots, les alevins de *O. niloticus* et *O. mossambicus*, artificiellement incubés étaient significativement ($P < 0,05$) plus longs et plus lourds (entre 14 et 211 %) que les alevins naturellement incubés : plus la première sortie est tardive, plus la différence est grande. Chez les deux espèces, l'alimentation a commencé entre les cinquième et sixième jours post-éclosion (9 à 10 jours après la ponte) à la température de 27-28°C (Rana, 1985, 1986). Dans ces travaux, les périodes de première sortie se sont situées entre les 11^{ème} et 18^{ème} jours après la ponte et le premier nourrissage a donc été retardé d'un certain nombre de jours, se traduisant par un ralentissement de croissance. Le retardement, au-delà du sixième jour, du premier nourrissage des alevins incubés artificiellement a ralenti significativement ($P < 0,05$) la croissance des alevins, particulièrement lorsque ces alevins provenaient d'oeufs plus petits (Rana, 1990).

Les travaux décrits ici suggèrent que le comportement de reproduction en captivité peut affecter la quantité et la qualité des oeufs et des alevins de tilapia. Le taux de fécondation

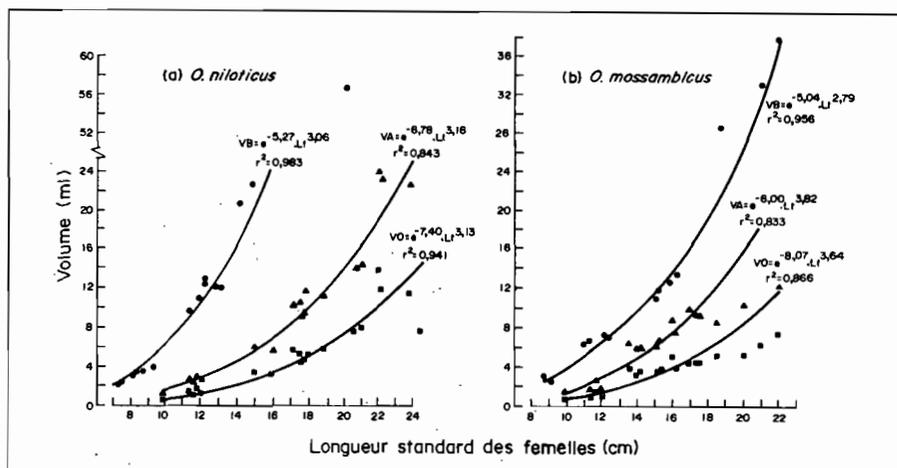


Fig. 3. Comparaison du volume buccal (VB), du volume total des oeufs (VO) et du volume total des alevins (VA) chez des femelles de tailles différentes : (a) *Oreochromis niloticus* et (b) *O. mossambicus*. Les courbes représentent : ● volume buccal ; ■ volume des oeufs ; et ▲ volume d'alevins. Les équations reposent sur une transformation logarithmique des données.

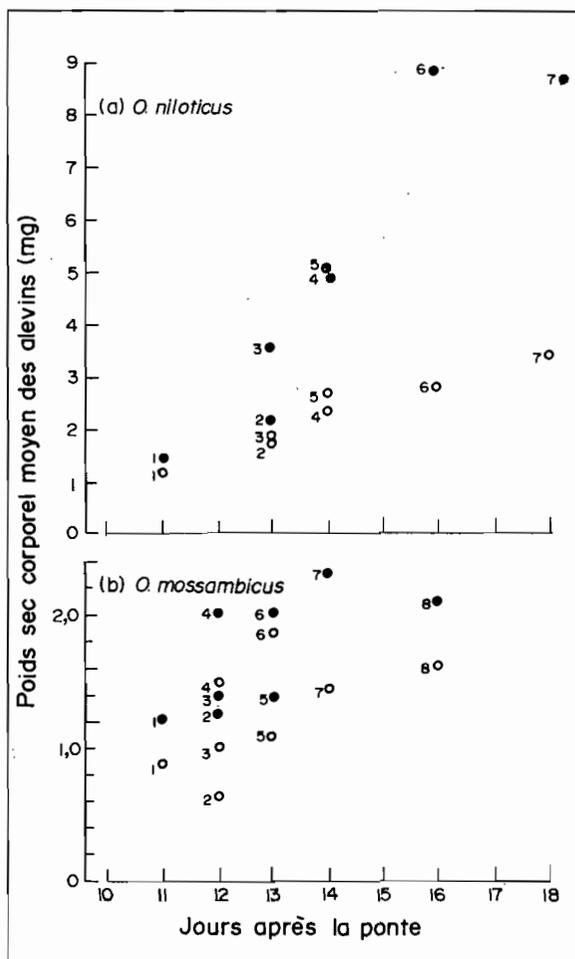


Fig. 4. Comparaison des poids corporels moyens (sans vitellus) des alevins artificiellement et naturellement incubés au sein d'un même lot : (a) *Oreochromis niloticus* et (b) *O. mossambicus*. Les points ○ et ● se réfèrent respectivement aux alevins incubés naturellement et artificiellement.

et de là, la proportion de larves viables peuvent être influencés par la fréquence des pontes mâles. En outre, le nombre de larves endommagées peut augmenté si les incubateurs sont maintenus dans des conditions suboptimales. La qualité des alevins en termes de croissance peut être affectée si la sortie initiale et irréversible des alevins est retardée au-delà de la période du premier nourrissage.

Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce à une subvention octroyée à l'auteur par le African Education Trust, dans les installations de l'Institut d'aquaculture de l'université de Stirling mises à disposition par l'Administration britannique du développement outre-mer.

Littérature citée

- Aronson, L.R. 1949. An analysis of the reproductive behaviour in the mouthbreeding cichlid fish, *Tilapia macrocephala* (Bleeker). *Zoologia* 34:133-158.
- Baerends, G.P. et J.M. Baerends van-Roon. 1950. An introduction to the study of the ethology of cichlid fishes. *Behav. Suppl.* 1:1-243.
- Lowe-McConnell, R.H. 1959. Breeding behaviour patterns and ecological differences between tilapia species and their significance for the evolution within the genus tilapia (Pisces: Cichlidae) *Proc. Zool. Soc. Lond.* 132:1-30.
- Rana, K.J. 1985. Influence of egg size on the growth, onset of feeding, point-of-no-return and survival of unfed *Oreochromis mossambicus* fry. *Aquaculture* 46:119-131.
- Rana, K.J. 1986. Parental influences on egg quality, fry production and performance in *Oreochromis niloticus* (L.) and *O. mossambicus*. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, Ecosse. 295 p. Thèse de doctorat.
- Rana, K.J. 1990. The influence of maternal age and delayed initial feeding on the survival and growth of previously unfed *O. niloticus* (L.) and *O. mossambicus* fry. *Aquaculture* 91:295-310.
- Riedel, D. 1965. Some remarks on the fecundity of tilapia (*T. mossambicus*, Peters) and its introduction into the middle central America (Nicaragua) together with a first contribution towards the limnology of Nicaragua. *Hydrobiologia* 25:357-388.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History), Londres. 583 p.

Observations sur les hybrides intergénériques chez les tilapias

K.J. RANA^{a,c}
B.J. McANDREW
G. WOHLFARTH^{b,d}
I. MACGOWAN

^a*Institute of Aquaculture
University of Stirling
Ecosse FK9 4LA, Royaume-Uni*

^b*Fish and Aquaculture Research Station
Dor, D.N. Hof Hacarmel
30820, Israël.*

RANA, K.J., B.J. McANDREW, G. WOHLFARTH et I. MACGOWAN. 1996. Observations sur les hybrides intergénériques chez les tilapias, p. 433-440. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Cette étude décrit le taux d'éclosion, la croissance, le sexe ratio et le comportement reproducteur des hybrides intergénériques entre *Tilapia zillii* (Linneus) et *Sarotherodon galilaeus* (Linneus), et entre *T. zillii* et *Oreochromis andersonii* (Castelnau), *O. aureus* (Steindachner), *O. macrochir* (Boulenger), *O. mortimeri* (Trewavas), *O. mossambicus* (Peters), *O. niloticus* (Linneus), *O. placidus* (Trewavas), *O. spilurus* (Günther) et *O. tanganicae* (Günther). Seuls les croisements hybrides utilisant *T. zillii* comme parent maternel ont donné des résultats.

Les taux de fécondation moyens obtenus dans le croisement *T. zillii* pur et les croisements hybrides étaient similaires (entre 91 et 98 %), avec des taux d'éclosion compris entre 67 et 91 % et des taux de croissance variant chez les juvéniles hybrides mais reflétant toutefois des similarités avec la croissance de *T. zillii*. Des différences marquées ont été observées au niveau du sexe ratio des hybrides, allant d'un sexe ratio exclusivement en faveur des mâles dans les croisements *T. zillii* x *O. andersonii* et *O. tanganicae* à un sexe ratio exclusivement en faveur des femelles dans les croisements *T. zillii* x *O. niloticus*, *O. placidus* et *O. aureus*. Par convention, nous avons nommé le parent femelle en premier. Dans tous les croisements, les hybrides ont produit des gonades matures et les oeufs présentaient des caractéristiques proches du parent maternel.

Introduction

Au cours de ces dernières années, de nombreuses études ont été réalisées pour résoudre les problèmes que posent les

rendements relativement peu élevés dans les élevages de tilapias et la faible proportion de poissons de taille marchande qui sont les conséquences d'une reproduction excessive de cette espèce dans les systèmes de production mal gérés. L'objectif principal des diverses démarches visant à réduire ou à éliminer ce problème a été de fournir de la semence de tilapia ne produisant que des mâles pour les besoins de l'élevage. L'utilisation de techniques comme le sexage manuel, la radiographie, la

^aAdresse actuelle : FAO of the United Nations, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

^dDr. Wohlfarth, l'un des pionniers de la recherche piscicole et de l'amélioration génétique des poissons en Israël a été tué dans un accident de voiture le 22 août 1994.

stérilisation chimique, l'hybridation interspécifique et les traitements hormonaux a donné des résultats plus ou moins probants. Les travaux d'hybridation ont, pour leur part, suscité un intérêt considérable et soulevé de nombreuses controverses concernant les mécanismes de détermination du sexe chez le tilapia.

Au cours de la dernière décennie, de nombreux travaux d'hybridation interspécifique entre les espèces incubatrices buccales comme *Oreochromis niloticus*, *O. aureus*, *O. mossambicus* et *O. urolepis hornorum* ont été réalisés en vue de produire des progénitures essentiellement mâles destinées à l'élevage (Hulata et coll., 1983). Ces espèces exhibent des comportements reproducteurs compatibles, s'hybrident facilement en élevage et peuvent donc être aisément produits et étudiés. En revanche, il existe peu d'information disponible sur la biologie des hybrides de tilapias intergénériques, particulièrement les hybrides produits entre géniteurs de substrat et incubateurs buccaux. Les recherches sur les hybrides intergénériques entre la femelle *Tilapia tholloni* et les mâles *O. niloticus* et *O. mossambicus* ont toutes donné des hybrides F₁ femelles, les croisements réciproques restant infructueux (Heinrich, 1967 ; Bauer, 1968). D'après les résultats d'une étude de Fishelson (1988) sur les hybrides intergénériques entre *Sarotherodon galilaeus* et *O. niloticus*, les performances en termes de reproduction des hybrides, qu'il est pourtant facile de produire, restent insuffisantes vu que les gonades présentent des malformations à des degrés variés.

Compte tenu de l'incompatibilité du comportement reproducteur des géniteurs de substrat et des incubateurs buccaux, leur descendance ne peut se reproduire naturellement. Des travaux

précédents ont donné des sexe ratios biaisés dans certains croisements, et l'existence de ces hybrides devrait permettre d'élucider les principes de la détermination du sexe chez les tilapias.

Dans la présente étude, des travaux d'hybridation intergénérique entre le géniteur de substrat *T. zillii* et 10 tilapias incubateurs buccaux ont été réalisés pour déterminer si ces croisements pouvaient produire des progénitures viables et pour acquérir davantage d'informations sur la croissance, le sexe ratio et la biologie de la reproduction chez ces hybrides.

Matériel et méthodes

Condition d'élevage des géniteurs

Le géniteur de substrat *T. zillii* a servi de mère dans tous les essais d'hybridation intergénérique, et une femelle différente a été utilisée pour chaque essai. Le nombre de croisements et d'essais réalisés pour un couple d'espèces donné figure dans la partie de cette communication où sont exposés les résultats (Tableaux 3 et 4). De tous les essais de croisements réciproques pour produire des hybrides, six d'entre eux ont été infructueux.

Chaque couple de *T. zillii* (100-200 g) a été placé individuellement dans des aquariums en verre de 140 l pourvus d'un système d'alimentation en eau maintenue à 28°C en circuit fermé où l'activité de ponte était vérifiée tous les jours. Avant la ponte, les femelles ont été retirées et tenues dans un bac en plastique de 10 l recouvert contenant de l'eau claire aérée à 28°C.

Trois *S. galilaeus*, *O. andersonii*, *O. aureus*, *O. macrochir*, *O. mortimeri*, *O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. placidus*, *O. spilurus* et *O. tanganicae* en phase de spermiation ont été transférés dans

des bacs séparés jusqu'à ce qu'on les utilise.

Expulsion manuelle des gamètes et fécondation

Pour éviter la contamination croisée avec la semence au cours de l'hybridation, des pipettes et des boîtes de Pétri jetables ont été utilisées dans chaque croisement et jetées aussitôt après. Environ 150-300 oeufs ont été expulsés sur des plaquettes en perspex étiquetées de 25x5 cm et étalés en une couche monocellulaire à l'aide d'un pinceau fin. La laitance a été recueillie chez trois mâles congénères et aspirée dans une pipette Pasteur puis étendue sur les oeufs et activée avec de l'eau à 28°C. Des prélèvements du mélange ainsi obtenu ont été vérifiés au microscope pour s'assurer de la présence de sperme motile en quantité suffisante. Au bout de 5 minutes, les oeufs ont été délicatement rincés à l'eau (28°C) et placés dans les bacs (contenance = 2 l) d'un système d'incubation contenant de l'eau traitée aux UV (Rana, 1986).

Comme les oeufs ont été expulsés de la femelle à mesure des besoins pour chaque croisement, le croisement pur *T. zillii* a été réalisé en dernier pour vérifier que tous les oeufs étaient viables.

Le taux de fécondation pour tous les croisements a été déterminé en 24 heures. Les oeufs pigmentés provenant d'un échantillonnage aléatoire de 50-100 oeufs ont été comptés sur chaque plaquette à l'aide d'un microscope à dissection. Pour cette procédure, les oeufs ont été transférés dans une boîte de Pétri où ils sont restés submergés avant d'être replacés dans l'incubateur.

Le temps nécessaire à l'éclosion de 50 % des oeufs a été noté pour chaque croisement. Une fois le processus

d'éclosion terminé, les plaquettes ont été secouées pour permettre le décollement des larves, et le taux d'éclosion a été estimé à partir du nombre d'ovisacs vides et d'oeufs non éclos restés collés sur les plaquettes. Les larves de prérésorption (trois jours) ont été transférées et élevées dans des bacs en plastique de 20 l avant de les utiliser dans les essais de croissance.

Survie, croissance et sexe ratio des hybrides Intergénériques

Trente alevins de chaque croisement ont été transférés dans des bacs en plastique de 30 l munis d'un système d'alimentation d'eau en circuit fermé. Les alevins étaient nourris trois fois par jour avec des aliments pour truite contenant 40 % de protéines à raison de 10 % du poids du corps par jour (n° 4, Edward Baker Ltd., Bathgate, Ecosse). Des échantillons de 10 alevins prélevés aléatoirement étaient pesés ensemble tous les 15 jours et les rations alimentaires étaient ajustées en tenant compte des mortalités. Les essais de croissance ont été arrêtés au bout de huit semaines.

Le degré de signification a été déterminé par analyse de variance après transformation des données en valeurs arc sinus. Après pesée des poissons et transfert de chaque croisement dans des bacs de 60 l pour la phase de grossissement jusqu'à maturité sexuelle, les animaux ont été sacrifiés par surdose de benzocaïne. A suivi une opération de sexage des poissons (poids corporel compris entre 50 et 150 g) par examen des papilles génitales, identification interne des gonâdes et, dans les cas incertains, par examen des squashes. Après nouvelle pesée des animaux, extraction des gonâdes et pesée de

celles-ci, des prélèvements tissulaires ont été effectués en vue d'un examen histologique.

Reproduction des hybrides

Pour chaque croisement hybride, des femelles hybrides ont été introduites avec un mâle *T. zillii* ou un mâle de l'espèce de *Oreochromis* servant de parent hybride dans des aquariums de 120 l afin d'y observer le déroulement de la ponte:

Résultats et discussion

Fécondation, taux d'éclosion et différences morphologiques

Les taux de fécondation moyens obtenus dans le croisement *T. zillii* pur et les croisements hybrides intergénériques étaient similaires ($P < 0,05$; entre 91 et 98 %), avec des taux d'éclosion variant toutefois entre 67 % pour le croisement *T. zillii* x *O. mossambicus* et 91 % pour le croisement *T. zillii* pur (Tableau 1). Les temps d'éclosion des hybrides étaient similaires et les oeufs de tous les croisements ont éclos 48 heures après la fécondation. La longueur des hybrides et celle des larves de *T. zillii* à l'éclosion n'étaient pas significativement différentes ($P < 0,05$), variant de 4,8 à 5,0 mm.

T. zillii et toutes les larves hybrides possédaient deux paires de glandes cémentaires mais la quantité de mucus produite par les hybrides s'est trouvée réduite, se traduisant par la sortie prématurée d'un jour des hybrides de leur substrat. La pigmentation des mélanophores du vitellus variait également en intensité selon les hybrides mais elle était plus marquée chez les témoins *T. zillii*. Les alevins hybrides et de *T. zillii* ont commencé à se nourrir

quatre à cinq jours après l'éclosion (à 28°C).

Croissance et survie des alevins au stade précoce de leur développement

Les données de survie et de croissance pour les divers hybrides sont données dans le tableau 2. Des similitudes ont été observées dans le schéma des mortalités relevées entre réplicats, traduisant probablement une influence génétique. Des différences significatives ($P < 0,05$) entre hybrides ont été observées au niveau des survies d'alevins à la fin de l'essai. Les hybrides de *O. mossambicus* et *O. niloticus*, et de *O. andersonii* et *O. aureus* ont respectivement donné les survies les moins et les plus élevées. Malgré ces différences, aucune corrélation significative ($r = -0,145$; $ddl = 21$; $P < 0,05$) n'a été observée entre le taux de croissance des hybrides à la fin de l'essai et le taux de survie.

Les poids moyens en début d'expérience pour les différents groupes d'hybrides ont donné des valeurs variant entre 0,06 et 0,17 g et une corrélation significative a été établie avec les poids en fin d'expérience ($r = 0,712$; $ddl = 21$; $P < 0,05$) et le gain pondéral ($r = 0,699$; $ddl = 21$; $P < 0,05$). Cette association pose un problème dans la mesure où ces indicateurs de croissance peuvent refléter des données de croissance biaisées par les variations de poids en début d'expérience. Afin d'atténuer ce biais, les données de poids ont été transformées et la croissance des hybrides a été comparée en termes de taux de croissance spécifique (TCS) (Tableau 2). Les hybrides de *O. tanganicae*, *O. andersonii* et *O. niloticus* ont donné les taux de croissance les plus élevés. Les taux de croissance apparents élevés des hybrides de *O. niloticus*

Tableau 1. Taux de fécondation et d'éclosion moyens (et erreur standard) pour les hybrides intergénériques entre des femelles *Tilapia zillii* et des mâles de diverses espèces de *Sarotherodon* et *Oreochromis*.

Parent mâle	Fécondation (%)	Éclosion (%)
<i>T. zillii</i> ^f (témoin)	96,8 (1,4)	91,0 (3,29)
<i>S. galilaeus</i> ^c	98,7 (0,86)	87,7 (2,82)
<i>O. andersonii</i> ^b	91,1 (4,54)	89,0 (5,02)
<i>O. aureus</i> ^d	95,0 (2,9)	88,0 (2,65)
<i>O. macrochir</i> ^c	93,3 (3,75)	78,3 (8,43)
<i>O. mortimeri</i> ^b	96,0 (1,84)	84,5 (8,48)
<i>O. mossambicus</i> ^d	93,8 (2,85)	67,1 (3,10)
<i>O. niloticus</i> ^d	93,5 (2,05)	78,6 (2,45)
<i>O. placidus</i> ^b	95,0 (1,70)	85,0 (4,03)
<i>O. spilurus</i> ^d	95,0 (1,7)	83,5 (4,25)
<i>O. tanganicae</i> ^a	92,1 (-)	87,4 (-)

a : N=1 ; b : N=2 ; c : N=3 ; et d : N=4 (nombre d'essais).

Tableau 2. Valeurs moyennes (et erreur standard) obtenues pour les paramètres de croissance des hybrides intergénériques de tilapias juvéniles ayant tous *Tilapia zillii* comme parent femelle et diverses espèces de *Sarotherodon* et *Oreochromis* comme parents mâles.

Parent mâle	Poids initial ¹ (g)	Poids final ¹ (g)	TCS (ET) ^{1,2} (%·jour ⁻¹)	Survie ^{1,2} (%)
<i>T. zillii</i> (témoin)	0,076 (0,003)	2,38 (0,035)	6,4 ^a (0,099)	81,5 ^{cd} (1,61)
<i>S. galilaeus</i>	0,132 (0,027)	3,49 (0,11)	6,1 ^a (0,179)	81,5 ^{cd} (1,66)
<i>O. andersonii</i>	0,072 (0,006)	3,24 (0,057)	7,1 ^{ab} (0,198)	98,5 ^d (1,5)
<i>O. aureus</i>	0,087 (0,004)	2,49 (0,134)	6,2 ^a (0,198)	98,5 ^d (1,50)
<i>O. macrochir</i>	0,096 (0,006)	3,06 (0,10)	6,18 ^a (0,18)	76,5 ^{cd} (3,5)
<i>O. mortimeri</i>	0,093 (0,007)	3,19 (0,028)	6,55 ^a (0,049)	50 ^{ab} (9,9)
<i>O. mossambicus</i>	0,170 (0,003)	5,02 (0,30)	6,25 ^a (0,148)	37 ^a (-)
<i>O. niloticus</i>	0,058 (0,002)	3,68 (0,636)	7,65 ^b (0,247)	48,5 ^a (1,5)
<i>O. placidus</i>	0,115 (0,002)	3,33 (0,010)	6,25 ^a (0,049)	61,5 ^{abc} (8,5)
<i>O. spilurus</i>	0,070 (0,002)	2,29 (0,042)	6,45 ^a (0,049)	88,5 ^{cd} (11,5)
<i>O. tanganicae</i>	0,093 (0,003)	3,79 (0,071)	6,9 ^{ab} (-)	78,5 ^{bcd} (1,5)

¹Valeurs moyennes obtenues dans les réplicats.

²Les valeurs à l'intérieur des colonnes portant les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes (P<0,05).

peuvent toutefois avoir été influencés par les taux de survie relativement bas.

Comportement reproducteur, sexe ratio et développement des gonades

Aucune femelle hybride n'a manifesté le comportement typique de reproduction de l'une ou l'autre de ses espèces parentales, et aucune ponte ne s'est produite dans les bassins de reproduction. Une ponte s'est produite accidentellement entre un *T. zillii* et une femelle *O. mossambicus*. Cette femelle était isolée dans un bac en plastique et aucune information sur la viabilité des oeufs n'a été obtenue. Les oeufs ont été déposés au fond du bac. Ils étaient partiellement adhésifs et semblables à ceux d'un géniteur de substrat. En outre, la femelle surveillait et ventilait régulièrement ses oeufs.

D'après les observations réalisées en vue de déterminer le sexe des hybrides, il n'a pas été possible de classer tous les poissons selon qu'ils étaient mâles ou femelles. Dans certains croisements, entre 1 et 6 % des poissons étaient stériles (Tableau 3). Ces poissons étaient dépourvus de tout tissu gonadique, ayant à la place du liquide clair et visqueux.

Selon l'espèce paternelle, le sexe ratio des hybrides a pu être classé en trois catégories principales : essentiellement mâle, essentiellement femelle et nombre plus ou moins équivalent des deux sexes (Tableau 3). Il est difficile de distinguer un schéma quelconque de détermination des sexes dans d'autres travaux (McAndrew, 1993) dans la mesure où *O. macrochir* et *O. aureus* (mâles homogamétiques) sont présents dans différents groupes. Aucune évidence ne vient définitivement à l'appui de la notion selon laquelle les sexe ratios obtenus refléteraient des liens de parentés phylogénétiques comme Sodsuk et

McAndrew (1991) peuvent le constater en considérant *O. andersonii* toujours étroitement apparenté à *O. mossambicus* et *O. mortimeri*. Dans la présente étude, *O. andersonii* est clairement séparé des deux autres espèces.

Les gonades des hybrides, quand on a pu les distinguer, présentaient un intérêt particulier. Dans tous les cas, les indices gonadosomatiques des deux sexes étaient significativement ($P < 0,05$) inférieurs à ceux de la descendance pure *T. zillii*, allant de 0,005 à 0,36 % pour les mâles, et de 0,32 et 1,74 % pour les femelles (Tableau 4). La plupart des ovaires des femelles hybrides contenaient relativement peu d'ovocytes en comparaison des *T. zillii* purs. La plupart des gonades examinées contenaient des ovocytes prévitellogéniques dont le développement allait jusqu'au stade 3, et peu de gonades contenaient des ovocytes matures aux stades 5 et 6. Bien que les testicules des hybrides issus de *O. andersonii* et *O. tanganicae* aient été significativement plus petits que ceux de *T. zillii*, ils contenaient des gamètes à tous les stades de développement. Chez certains poissons, on a noté la présence de spermatozoïdes matures dans les tubules des testicules.

Les résultats de cette étude ne nous permettent pas de proposer d'hypothèse quant aux mécanismes de détermination du sexe chez le tilapia. Les sexe ratios hybrides présentent des difficultés d'analyse notoires (Majumdar et McAndrew, 1983). Compte tenu des problèmes statistiques que posent l'identification et la séparation des sexe ratios attendus, et de nos connaissances limitées sur les mécanismes génétiques intervenant dans la détermination du sexe chez les espèces pures, il est impossible de prévoir l'issue des travaux d'hybridation. Les sexe ratios observés, les performances plus limitées en matière de reproduction et les habitudes

Tableau 3. Sexe ratios des tilapias hybrides intergénériques ayant *Tilapia zillii* comme parent femelle et diverses espèces de *Sarotherodon* et *Oreochromis* comme parents mâles.

Parent mâle	Essai 1			Essai 2			Essai 3		
	M	F	S	M	F	S	M	F	S
<i>T. zillii</i> (témoin)	15	8	-	10	16	-	14	34	-
<i>O. niloticus</i>	0	21	3	0	23	1	0	27	2
<i>O. placidus</i>	0	32	2	0	46	1	0	65	2
<i>O. mortimeri</i>	0	27	4	-	-	-	2	27	1
<i>O. aureus</i>	2	52	1	-	-	-	0	53	-
<i>O. mossambicus</i>	5	17	1	0	50	-	0	33	-
<i>O. spilurus</i>	7	36	-	-	-	-	0	25	-
<i>S. galilaeus</i>	9	24	-	-	-	-	12	13	-
<i>O. macrochir</i>	81	36	-	-	-	-	-	-	-
<i>O. tanganicae</i>	31	0	-	-	-	-	22	0	-
<i>O. andersonii</i>	52	0	-	-	-	-	49	0	-

M : mâle ; F : femelle ; et S : poisson stérile (voir texte).

Tableau 4. Valeurs moyennes (et écart-type) pour les indices gonadosomatiques (IGS) des tilapias hybrides intergénériques ayant *Tilapia zillii* comme parent femelle et diverses espèces de *Sarotherodon* et *Oreochromis* comme parents mâles.

Parent mâle	N	Sexe	Poids corporel moyen (g)		IGS* (%)	
<i>T. zillii</i> (témoin)	11	M	78,5	(36,2)	1,47	(0,47) ^a
	6	F	51,5	(23,3)	2,8	(0,20) ¹
<i>S. galilaeus</i>	7	M	101,7	(20,6)	0,36	(0,30) ^b
<i>O. andersonii</i>	10	M	136,6	(42,6)	0,02	(0,013) ^b
<i>O. aureus</i>	21	F	101,2	(46,6)	1,26	(0,96) ¹
<i>O. macrochir</i>	33	M	142,7	(52,7)	0,19	(0,05) ^b
	8	F	125,0	(31,9)	0,50	(0,56) ²
<i>O. mortimeri</i>	14	F	103,9	(22,8)	0,67	(0,22) ²
<i>O. mossambicus</i>	6	M	67,0	(34,4)	0,02	(0,005) ^b
	5	F	64,1	(55,5)	0,32	(0,10) ²
<i>O. niloticus</i>	16	F	132,4	(29,4)	1,74	(1,28) ¹
<i>O. placidus</i>	11	F	53,7	(16,7)	0,35	(0,12) ²
<i>O. spilurus</i>	25	F	74,4	(38,8)	0,51	(0,53) ²
<i>O. tanganicae</i>	10	M	75,5	(30,5)	0,05	(0,026) ^c

*Les moyennes portant différentes lettres (mâles) et nombres (femelles) sont significativement différents ($P < 0,05$).

alimentaires phytophages du parent (générateur de substrat) peuvent en soi présenter certains intérêts dans des travaux qui, à l'avenir, utiliseront ces hybrides.

Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants envers l'Administration britannique du développement outre-mer pour les installations

qu'elle a mises à disposition et tiennent également à remercier le Professeur R.J. Roberts pour son soutien financier.

Littérature citée

- Bauer, J. 1968. Vergleichende Untersuchungen zum Kontaktverhalten verschiedener Arten der Gattung *Tilapia* (Cichlidae, Pisces) und ihrer Bastarde. *Z. Tierpsychol.* 25:22-70.
- Fishelson, L. 1988. Behavior and gonadal structure of intergeneric (*Oreochromis-Sarotherodon*) tilapia hybrids, p. 159-167. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Heinrich, W. 1967. Untersuchungen zum Sexualverhalten in der Gattung *Tilapia* (Cichlidae, Teleostei) und bei Artbastarden. *Z. Tierpsychol.* 24(6):684-754.
- Hulata, G., G. Wohlfarth et S. Rothbard. 1983. Progeny-testing selection of tilapia broodstocks producing all-male hybrid progenies - preliminary results. *Aquaculture* 33:263-268.
- Majumdar, K.C. et B.J. McAndrew. 1983. Sex ratios of interspecific crosses within tilapias, p. 261-269. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- McAndrew, B.J. 1993. Sex control in tilapiines, p. 87-98. *In* R.J. Roberts et J. Muir (éds.) Recent advances in aquaculture. Blackwell Scientific Publications, Oxford, R-U.
- Rana, K.J. 1986. Parental influences on egg quality, fry production and performance in *Oreochromis niloticus* (L.) and *O. mossambicus* fry. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Stirling, Ecosse. 295 p. Thèse de doctorat.
- Sodsuk, P. et B.J. McAndrew. 1991. Molecular systematics of three tilapiine genera *Tilapia*, *Sarotherodon* and *Oreochromis* using allozyme data. *J. Fish Biol. Suppl.* 39:301-308.

Etude de la variation génétique chez les populations d'élevage de quelques espèces du genre *Oreochromis*

X. ROGNON*

*Programme aquaculture et pêche du centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement*

Département d'élevage et de médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT)

BP 5095, 34033 Montpellier Cédex 1, France

Département piscicole de l'Institut des Savanes (IDESSA)

BP 621, Bouaké 01, Côte d'Ivoire

Institut national de la recherche agronomique (INRA)

78352 Jouy-en-Josas Cédex, France

R. GUYOMARD

Laboratoire de génétique des poissons

Institut national de la recherche agronomique (INRA)

78352 Jouy-en-Josas Cédex, France

ROGNON, X. et R. GUYOMARD. 1996. Etude de la variation génétique chez les populations d'élevage de quelques espèces du genre *Oreochromis*, p. 441-449. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Une étude électrophorétique du polymorphisme enzymatique a été réalisée sur cinq espèces de tilapias du genre *Oreochromis* : *O. niloticus*, *O. aureus*, *O. mossambicus*, *O. urolepis hornorum*, et *O. macrochir*. Pour *O. niloticus*, cinq populations d'élevage ont été analysées, ainsi que deux populations naturelles de la Volta et du Niger. Dix-huit systèmes enzymatiques, codés par 30 locus, ont été étudiés. Les taux d'hétérozygotie et les distances génétiques entre les différents échantillons ont été calculés. L'étude de la diversité génétique chez *O. niloticus* montre les ressemblances et dissemblances qui existent entre ces populations, et le maintien de la variabilité dans les stocks d'élevage. L'analyse des résultats obtenus pour une des populations de *O. aureus* et *O. mossambicus* suggère un cas d'introgession génétique à la suite de l'utilisation de ces populations en hybridation interspécifique. Une analyse phénétique a été réalisée pour estimer les relations phylogénétiques entre les différentes populations.

Introduction

La production de tilapias connaît un grand essor dans l'ensemble des pays tropicaux et subtropicaux. Une vingtaine d'espèces provenant souvent d'introductions (Welcomme, 1988 ; Lazard, 1990) sont utilisées en élevage, la principale étant *O. niloticus*. Il semble

que la plupart de ces stocks n'aient pas été constitués, puis entretenus en pisciculture, de façon rationnelle (Wolfarth et Hulata, 1983 ; Thys van den Audenaerde, 1988). Ces stocks ont souvent été fondés à partir de géniteurs prélevés dans des sites géographiques restreints, voire uniques, et en petit nombre. De plus, certaines populations d'élevage ont eu une histoire assez compliquée avec des transferts successifs, multipliant les risques d'apparition de goulots d'étranglement. Ainsi

*Adresse actuelle : Institut national agronomique Paris-Grignon (INA-PG), Département des sciences animales, GER amélioration génétique, 16, rue Claude Bernard 75231 Paris Cédex 05, France.

les potentialités génétiques de ces espèces ne sont peut-être pas totalement exploitées et un certain appauvrissement génétique a pu avoir lieu au cours des générations. Enfin, des cas d'introgression génétique ont été mis en évidence (Taniguchi et coll., 1985 ; Macaranas et coll., 1986) dans des souches de pisciculture, que ce soit à la suite de programmes d'hybridation interspécifique ou de l'introduction d'individus étrangers dans les structures d'élevage. D'où l'intérêt manifesté depuis quelques années pour la description de la diversité génétique des principales espèces de tilapias utilisées en aquaculture, permettant l'identification des différentes populations susceptibles d'être exploitées et une meilleure gestion des stocks d'élevage.

En Côte d'Ivoire, les populations d'élevage de *Oreochromis* sont toutes d'origine étrangère bien que *O. niloticus* existe dans quelques cours d'eau appartenant aux bassins du Niger et de la Volta. Les premières introductions ont été réalisées par le CTFT en 1957 (Lazard, 1990) sur la station de Bouaké (actuellement IDESSA^b) et se sont poursuivies, notamment pour la recherche d'espèces propices à l'aquaculture en milieu lagunaire, jusque dans les années 80. Les premiers résultats de l'étude de la diversité génétique, par caractérisation électrophorétique du polymorphisme enzymatique, de ces populations ivoiriennes sont présentés ici.

Matériel et méthodes

Des individus, pris au hasard, de 11 populations d'élevage appartenant à cinq espèces de *Oreochromis*, ainsi que de deux populations naturelles de *O. niloticus*, ont été récoltés (Tableau 1).

Pour chaque individu, des échantillons de muscle, de foie et d'oeil ont été prélevés et congelés à -20°C . Au fur et à mesure de leur utilisation, les échantillons ont été broyés dans de l'eau distillée (muscle $1\text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$, foie $1\text{ g}\cdot 1,5\text{ ml}^{-1}$ et oeil $1\text{ g}\cdot 0,5\text{ ml}^{-1}$) et centrifugés à $5.000\text{ t}\cdot\text{min}^{-1}$ pendant 30 minutes. Pour les yeux, du chloroforme a été ajouté afin d'éliminer les glycoprotéines et les glycolipides qui peuvent induire des distorsions lors de la migration.

Les électrophorèses ont été faites sur gels d'amidon à 12 %. Les caractéristiques de migration et de révélation sont celles décrites par Krieg (1984) et McAndrew et Majumdar (1983). Dix-huit systèmes enzymatiques, codés par 30 locus, ont été analysés (Tableau 2). La nomenclature et la numérotation des différents locus sont celles proposées par Shaklee et coll. (1990). La numérotation des différents locus d'un même système enzymatique est fonction de leur mobilité, le plus proche de la cathode recevant le numéro 1. Pour chaque locus, l'allèle le plus fréquent chez *O. niloticus* "Bouaké" (qui sert de référence) reçoit l'indice 100, les autres allèles étant désignés en fonction de leur mobilité par rapport à celui-ci. Les allèles migrant à la cathode sont numérotés selon le même principe, leur indice étant précédé du signe moins.

Les fréquences alléliques sont estimées à partir du décompte des allèles. Pour les locus polymorphes, le respect de l'équilibre de Hardy Weinberg est vérifié par test exact (BIOSYS-1/1.7 ; Swofford et Selander, 1989). Les taux de polymorphisme sont calculés en considérant qu'un locus est polymorphe quand la fréquence de l'allèle le plus commun est inférieure à 0,95 (P95) ou à 0,99 (P99). Les distances génétiques et les taux d'hétérozygotie sont calculés d'après Nei (1975). A partir de la matrice des distances, un

^bInstitut des Savanes.

Tableau 1. Liste des populations de *Oreochromis* spp. étudiées. Les symboles utilisés pour représenter les populations dans la figure et les tableaux suivants sont indiqués entre parenthèses.

Populations	Origine	Lieu d'échantillonnage	Nombre d'échantillons
<i>O. niloticus</i> (BK)	Volta+Nil.	Station de Bouaké	30
<i>O. niloticus</i> (KO)	Souche "Bouaké"	Lac de Kossou	30
<i>O. niloticus</i> (BU)	Souche "Bouaké"	Lac de Buyo.	14
<i>O. niloticus</i> (DA)	Souche "Bouaké"	Pisciculture Daloa	24
<i>O. niloticus</i> (OD)	Souche "Bouaké"	Pisciculture Odiéné	15
<i>O. niloticus</i> (KU)	Volta	Vallée du Kou	20
<i>O. niloticus</i> (NI)	Niger	Niger (près de Niamey)	17
<i>O. aureus</i> (AI)	Israël (via Belgique)	Station de Bouaké	30
<i>O. aureus</i> (AM)	Idem (via Bouaké)	Station de Mopoyem	14
<i>O. aureus</i> (AE)	Nil (lac Manzalla)	Station de Bouaké	30
<i>O. mossambicus</i> (MO)	Mozambique	Station de Bouaké	30
<i>O. urolepis hornorum</i> (HO)	Malaisie	Station de Bouaké	20
<i>O. macrochir</i> (MA)	Zaïre	Station de Bouaké	30

dendrogramme a été élaboré à partir du programme Kitsch de Phylip (Phylip Package) utilisant les méthodes de Fitch et Margoliash (1967) et des moindres carrés, avec des taux constants d'évolution. Enfin, une décomposition hiérarchique de la diversité génétique selon Nei (1973) et Chakraborty (1980) a été réalisée pour les populations de *O. niloticus*.

Résultats

Les fréquences alléliques des locus polymorphes, les taux de polymorphisme et les taux d'hétérozygotie sont présentés dans le tableau 3. Sur 30 locus étudiés, 17 se sont avérés polymorphes au sein ou entre les populations. Des locus diagnostiques ont pu être mis en évidence, principalement pour *O. macrochir* par rapport aux autres espèces. Les proportions de Hardy Weinberg ont été testées dans toutes les populations. Trois tests sur 67 sont significatifs au seuil 5 %. D'une façon générale, l'équilibre de Hardy Weinberg est respecté et les populations peuvent être considérées comme panmictiques.

Pour chaque population, les taux de polymorphisme P95 et P99 sont assez proches, sauf dans le cas de la souche "Israël-Bouaké" de *O. aureus* où tous les locus polymorphes ont un allèle majoritaire de fréquence supérieure à 0,95 (à l'exception de IDHP-1*).

Les taux d'hétérozygotie varient entre 0 (*O. aureus* "Israël-Mopoyem") et 8,4 % (*O. niloticus* "Buyo"). Les populations d'élevage de *O. niloticus* ont des taux supérieurs à ceux des populations naturelles.

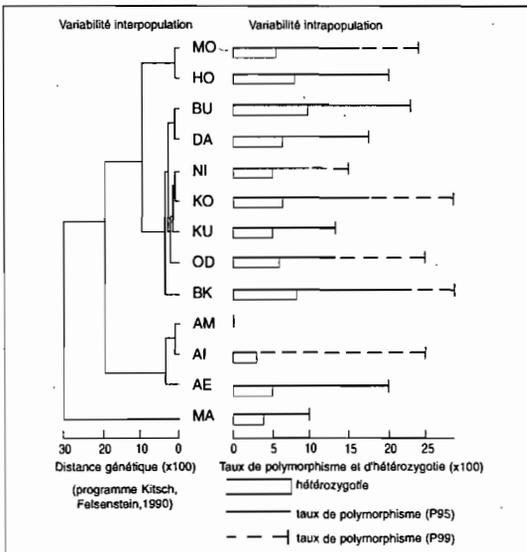
La matrice des distances génétiques est donnée dans le tableau 4 et le dendrogramme qui en résulte est présenté sur la figure 1. Quatre groupes se distinguent : (1) les souches de *O. niloticus*, (2) *O. mossambicus* et *O. urolepis hornorum*, (3) les *O. aureus* et (4) *O. macrochir*.

Discussion

Quand on compare les résultats obtenus sur l'ensemble des populations des cinq espèces de *Oreochromis*, on peut distinguer quatre groupes : (1) *O. macrochir*, (2) les populations de *O.*

Tableau 2. Liste des systèmes enzymatiques étudiés avec leurs localisations dans les tissus, leurs structures génétiques et les tampons de migration utilisés. Tissus : F = foie, M = muscle et O = oeil.

Système	Locus	Tissus	Tampon	Remarques
AAT	1*	F,M,O	MC2	MC2 (Morpholine Citrate) acide citrique 0,08 M, ajusté à pH 6,2 avec morpholine
	2*	F,O		
	3*	M,O		
ADH	1*	F	RW	300 V - 110 mA - 3h30
AK	1*	M	MC2	gel : diluer le tampon à 5 %
CK	1*	M,O	RW	-
	2*	O		
EST	2*	M,O	RW	acide citrique 0,08 M, ajusté à pH 6,6 avec morpholine
FBP	1*	M	MC4	200 V - 110 mA - 3h30
	2*	F		
FH	1*	M	MC2	gel : diluer à 10 %
G3PDH	1*	M	MC4	-
	2*	F,M		
GPI	1*	M,O	RW	tampon électrode : LiOH 0,06 M, H3BO3 0,3 M
	2*	F,O		
IDDH	1*	F	RW	tampon gel : tris 0,03 M, acide citrique
IDHP	1*	F	MC4	0,005 M
	2*	M		
LDH	1*	M,O	RW	gel : tampon gel + 1 % tampon électrode
	2*	F,M,O		
	3*	O		
MDH	1*	M,O	MC2	TEB Tris-EDTA-Borate tris 0,5 M EDTA 0,016 M, H3BO3 0,24 M
	2*	F,M,O		
	3*	M		
MEP	1*	M	MC4	gel : diluer à 10 %
	2*	F,M		
MPI	1*	M	TEB	-
PGDH	1*	F,M	MC4	-
PGM	1*	M	TEB	-
SOD	1*	F	RW	-

Fig. 1. Structure génétique des populations de *Oreochromis* spp.

aureus, (3) les populations de *O. niloticus* et (4) *O. mossambicus* et *O. urolepis hornorum*. Les distances génétiques, entre espèces, sont faibles mais compatibles avec celles calculées par McAndrew et Majumdar (1984), avec une exception pour le groupe *O. mossambicus* et *O. urolepis hornorum*. Les locus diagnostiques, mis en évidence par Brummett et coll. (1988) entre des populations américaines de ces deux espèces, partagent des allèles communs pour les deux populations de Bouaké (dans les deux études, *O. urolepis hornorum* a la même origine). Outre l'action de la dérive génétique chez les populations américaines, dont le polymorphisme est nul ou fortement réduit, une telle différence pourrait être

Tableau 3. Fréquences alléliques aux locus polymorphes, taux moyens d'hétérozygotie (H) et de polymorphisme (P à 95 et 99 %) pour les différentes populations de *Oreochromis* spp. (voir le tableau 1 pour les codes-populations).

LOCUS	ALLELE	BK	KO	BU	DA	OD	KU	NI
AAT-2*	*117							
	*100	0,600	0,607	0,633	0,813	0,633	0,300	0,500
AAT-3*	*55	0,400	0,393	0,367	0,187	0,367	0,700	0,500
	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ADH*	*78							
	*-50							
CK-1*	*-100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
EST-2*	*56							
	*105		0,017					
FH*	*100	1,000	0,983	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	*120	0,500	0,017	0,071		0,133		
GPI-2*	*100	0,500	0,983	0,929	1,000	0,867	1,000	1,000
	*114							
IDDH*	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	*169	0,100	0,143					
IDHP-1*	*100	0,750	0,375	0,643	0,646	0,800	0,684	0,500
	*16	0,150	0,482	0,357	0,354	0,200	0,316	0,500
LDH-2*	*108							
	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
LDH-2*	*70							
	*100	0,950	0,833	0,750	0,750	0,967	0,800	0,971
MDH-1*	*52	0,050	0,167	0,250	0,250	0,033	0,200	0,029
	*46							
MDH-3*	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	*42							
MEP-1*	*119	0,017						
	*100	0,983	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
MEP-2*	*125	0,050	0,083	0,286	0,229	0,100	0,200	0,286
	*100	0,950	0,917	0,714	0,771	0,900	0,800	0,714
MPI*	*120	0,183	0,017	0,179		0,033		
	*100	0,817	0,983	0,821	1,000	0,967	1,000	1,000
PGDH*	*80							
	*70							
SOD*	*107	0,100	0,050	0,250	0,208			
	*100	0,900	0,950	0,750	0,792	0,100	1,000	1,000
SOD*	*92							
	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
SOD*	*69							
	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
SOD*	*19							
H (%)		6,96	5,68	8,40	6,06	4,41	4,97	4,88
P95 (%)		23,33	16,67	23,33	16,67	13,33	13,33	10,00
P99 (%)		26,67	26,67	23,33	16,67	20,00	13,33	13,33

Suite

Tableau 3. (suite)

LOCUS	ALLELE	AI	AM	AE	MO	HO	MA
AAT-2*	*117				0,183		
	*100	0,983	1,000	1,000	0,467	0,450	1,000
	*55	0,017			0,350	0,550	
AAT-3*	*100	0,033			0,983	1,000	1,000
	*78	0,967	1,000	1,000	0,017		
ADH*	*-50	0,967		0,883			
	*-100	0,033	1,000	0,117	1,000	1,000	1,000
CK-1*	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	*56						
EST-2*	*105	0,967	1,000	0,987	0,050		1,000
	*100	0,033		0,033	0,950	1,000	
FH*	*120	0,017		0,117			
	*100	0,983	1,000	0,883	1,000	1,000	1,000
GPI-2*	*114				0,950	0,583	
	*100	1,000	1,000	1,000	0,050	0,417	1,000
IDDH*	*169	0,033			0,850	0,575	
	*100	0,967	1,000	1,000	0,150	0,425	0,362
	*16						0,638
IDHP-1*	*108	0,950	1,000	0,950	0,033		
	*100	0,050		0,050	0,967	0,925	1,000
	*70					0,075	
LDH-2*	*100	1,000	1,000	0,630	1,000	1,000	
	*52						
	*46			0,367			1,000
MDH-1*	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	*42						
MDH-3*	*119	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	*100						
MEP-1*	*125			0,200			
	*100	1,000	1,000	0,800	1,000	1,000	1,000
MEP-2*	*120				0,033		
	*100	1,000	1,000	1,000	0,967	0,750	0,550
	*80					0,250	
	*70						0,450
MPI*	*107						
	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	*92						1,000
PGDH*	*100	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,900
	*69						0,100
SOD*	*100	0,967	1,000	1,000	0,317	0,250	
	*19	0,033			0,683	0,750	1,000
H (%)		1,60	0,000	4,52	5,55	7,87	3,79
P95 (%)		3,33	0,000	20,00	16,67	20,00	10,00
P99 (%)		26,67	0,000	20,00	26,67	20,00	10,00

Tableau 4. Matrice des distances génétiques standards (Nei, 1973) calculées entre les différentes populations étudiées.

	BK	KO	BU	DA	OD	KU	NI	AI	AM	AE	MO	HO
KO	0,0164											
BU	0,0124	0,0061										
DA	0,0178	0,0052	0,0030									
OD	0,0079	0,0062	0,0067	0,0064								
KU	0,0179	0,0067	0,0072	0,0110	0,0063							
NI	0,0181	0,0034	0,0063	0,0076	0,0056	0,0039						
AI	0,1974	0,1934	0,1987	0,1881	0,1815	0,2010	0,1973					
AM	0,2118	0,2075	0,2126	0,2014	0,1950	0,2151	0,2113	0,0004				
AE	0,2000	0,1984	0,1982	0,1885	0,1861	0,2036	0,2009	0,0066	0,0069			
MO	0,1189	0,1059	0,1204	0,1197	0,1126	0,1162	0,1135	0,2201	0,2374	0,2334		
HO	0,0913	0,0835	0,0930	0,0943	0,0843	0,0862	0,0872	0,1951	0,2121	0,2076	0,0109	
MA	0,3129	0,2884	0,2905	0,2828	0,3030	0,3119	0,3046	0,3355	0,3464	0,3150	0,2761	0,2495

due à l'introduction d'allèles étrangers par suite d'introgression entre elles ou avec les autres espèces présentes sur la station de Bouaké.

Les populations d'élevage ivoiriennes de *O. niloticus* présentent des taux d'hétérozygotie supérieurs à ceux obtenus pour les populations naturelles du Niger et de la Volta, et la population naturelle du lac Manzalla (bassin du Nil) étudiée par McAndrew et Majumdar (1983). Un tel niveau de variation chez ces populations issues de la souche de Bouaké peut être expliqué par l'origine double de cette dernière, à la suite du mélange, dans les années 1971-72 des deux populations Volta et Nil présentes sur la station. Dans cette hypothèse, le polymorphisme que l'on constate pour certains locus fixés chez la population Volta (provenant du même lieu que la population mère de la souche "Bouaké") pourrait être dû à l'apport génétique des individus du Nil.

Les populations de Daloa, Odiéné, Kossou et Buyo descendent de la souche "Bouaké". Une certaine différen-

ciation, par rapport à cette souche et entre elles, est constatée, notamment au niveau du nombre de locus polymorphes. Deux hypothèses, non exclusives, peuvent répondre à ceci. D'une part, la séparation entre ces stocks a eu lieu à différentes périodes et donc à divers degrés de mélange des deux pools génétiques à l'origine de la souche "Bouaké". On pourra remarquer à ce propos (bien que les distances génétiques soient toutes très faibles) que la population d'élevage la plus proche de celle de la Volta provient du lac de Koussou qui a été empoissonné à peu près à l'époque où a commencé le mélange, d'où peut-être une plus faible influence de l'origine Nil présente en faible effectif sur la station. D'autre part, de telles différences peuvent s'expliquer par le simple effet de la dérive génétique agissant indépendamment sur ces groupes issus d'un même pool génétique.

D'autres études effectuées sur des stocks d'élevage de *O. niloticus* montrent de grandes variations avec des taux

d'hétérozygotie compris entre 0 et 11,5 % (Basiao et Taniguchi, 1984 ; Taniguchi et coll., 1985 ; Macaranas et coll., 1986 ; Brummett et coll., 1988). Les plus fortes valeurs sont obtenues dans des populations philippines pour lesquelles il y a eu introgression génétique par *O. mossambicus*. Chez les populations de Bouaké et de Kossou, un locus (respectivement MDH-3* et EST-2*) possède un allèle (respectivement *119 et *105) présent à très faible fréquence ($f=0,017$) et qui ne se retrouve dans aucune autre population de *O. niloticus*. Cette présence pourrait être le signe d'une introgression ayant eu lieu avant la séparation des deux populations. En tout état de cause, cette dernière serait très faible.

L'étude des distances génétiques et de la distribution de la diversité génétique chez *O. niloticus* (Tableau 5) montre que la plus grande part de celle-ci est d'origine intrapopulation (90 % de la diversité génétique totale). Ceci confirme la relative homogénéité entre les stocks d'élevage ivoiriens et avec les deux populations naturelles. La différenciation entre ces deux dernières peut être le signe d'une certaine homogénéité de peuplement à la suite de périodes de liaisons entre ces deux bassins.

O. macrochir présente un taux moyen d'hétérozygotie relativement faible (3,8 %) mais proche de celui trouvé par McAndrew et Majumdar (1983, $H=3,1$ %) dans une autre population d'élevage. Cette espèce est présente sur la station depuis 1958, et provient, via le Cameroun, d'un stock créé en 1945 au Zaïre (Thys van der Audenaerde, 1988) à partir de 10 couples. D'où un risque non négligeable d'apparition de goulots d'étranglement.

La variabilité intrapopulation trouvée dans les deux stocks de *O. aureus* "Israël" est nulle pour Mopoyem et très faible

Tableau 5. Décomposition hiérarchique de la diversité génétique totale ($H_T = \bar{H} + D$) chez *Oreochromis niloticus* : 90 % de la diversité génétique est d'origine intrapopulation.

Diversité génétique totale (H_T)	6,56 %
Diversité génétique intrapopulation (\bar{H})	5,90 %
Diversité génétique interpopulation (D)	0,66 %

pour Bouaké où les allèles les plus communs aux locus polymorphes ont des fréquences supérieures à 0,95 (sauf pour IDHP-1*). Cela peut être dû à des goulots d'étranglement apparus au cours des transferts successifs (Israël → Belgique → Côte d'Ivoire/Bouaké → Mopoyem). Dans ce cas, la population de Bouaké présenterait un état résiduel du polymorphisme initial de la souche israélienne, polymorphisme qui aurait été perdu lors de la constitution et de l'entretien du stock de Mopoyem. Il est possible aussi que le stock de Mopoyem représente l'état initial de la souche israélienne à son arrivée en Côte d'Ivoire. Dans ce cas, les variations constatées dans le stock de Bouaké seraient dues à une introgression, notamment par *O. mossambicus* avec laquelle de nombreuses hybridations interspécifiques ont été réalisées et chez qui apparaît, à des fréquences similaires à celles des locus polymorphes de *O. aureus* "Bouaké", des allèles spécifiques de *O. aureus*. Ces deux hypothèses ne sont pas exclusives et, pour permettre une meilleure estimation de la part respective de ces deux phénomènes, il sera nécessaire :

- d'étudier la diversité génétique des populations sauvages de *O. aureus*, notamment pour décrire les différentes formes alléliques présentes dans cette espèce ; et
- de rechercher d'autres techniques pouvant révéler une introgression, telle que l'analyse de l'ADN mitochondrial.

Conclusion

D'après ces premiers résultats, et en regard de ceux obtenus dans d'autres études, il semble que les populations d'élevage de *O. niloticus* en Côte d'Ivoire aient été constituées, puis entretenues pour les stocks de pisciculture, sans perte de variabilité ni introgression évidente par les autres espèces.

Pour les populations de *O. aureus*, utilisées dans les expérimentations pour l'aquaculture lagunaire, l'existence d'une faible introgression est possible. Celle-ci pouvant avoir des conséquences non négligeables au niveau des performances zootechniques (fertilité, croissance, survie), leur état réel devra être contrôlé et, si nécessaire, une nouvelle souche d'élevage sera constituée.

Enfin, on notera la grande similitude entre les populations naturelles de *O. niloticus* des bassins de la Volta et du Niger.

Littérature citée

- Basiao, Z.U. et N. Taniguchi. 1984. An investigation of enzyme and other protein polymorphism in Japanese stocks of the tilapias *Oreochromis niloticus* and *Tilapia zillii*. *Aquaculture* 38:335-345.
- Brummett, R.E., M.L. Halstrom, R.A. Dunham et R.O. Smitherman. 1988. Development of biochemical dichotomous keys for identification of American populations of *O. aureus*, *O. mossambicus*, *O. niloticus*, *O. urolepis hornorum* and red tilapia, p. 135-141. In R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Chakraborty, R. 1980. Gene diversity analyses in nested subdivided populations. *Genetics* 96:721-726.
- Fitch, W.M. et E. Margoliash. 1967. Construction of phylogenetic trees. *Science* 155:279-284.
- Krieg, F. 1984. Recherche d'une différenciation génétique entre population de *Salmo trutta*. Université de Paris XI. 92 p. Thèse de 3^e cycle.
- Lazard, J. 1990. Transfert de poissons et développement de la production piscicole. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23(3):251-265.
- Macaranas, J.M., N. Taniguchi, J.R. Pante, J.B. Capili et R.S.V. Pullin. 1986. Electrophoretic evidence hybrid gene introgression into commercial *Oreochromis niloticus* (L.) stocks in the Philippines. *Aquacult. Fish. Manage.* 17:249-258.
- McAndrew, B.J. et K.C. Majumdar. 1983. Tilapia stock identification using electrophoretic markers. *Aquaculture* 30:249-261.
- McAndrew, B.J. et K.C. Majumdar. 1984. Evolutionary relationships within three Tilapiine genera (Pisces: Cichlidae). *Zool. J. Linn. Soc.* 80:421-435.
- Nei, M. 1973. Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 70(12):3321-3323.
- Shaklee, J.B., F.W. Allendorf, D.C. Morizot et G.C. Whitt. 1990. Gene nomenclature for protein-coding loci in fish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119:2-15.
- Swofford, D.L. et R.B. Selander. 1989. BIOSYS-1: a computer program for the analysis of allelic variation in population genetics and biochemical systematics, release 1.7, program manual. Illinois Natural History Survey. Swofford D.L. (publisher), Champaign, Illinois, USA. Stochastique.
- Taniguchi, N., J.M. Macaranas et R.S.V. Pullin. 1985. Introgressive hybridization in cultured tilapia stocks in the Philippines. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.* 5:1219-1224.
- Thys van den Audenaerde, D.F.E. 1988. Distribution naturelle des tilapias et ses implications sur les possibilités de protection des ressources génétiques, p. 2-14. In R.S.V. Pullin (éd.) *Ressources génétiques en tilapias pour l'aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 16, 129 p. Traduite par Catherine Lhomme-Binudin.
- Welcomme, R.L. 1988. International introductions of inland aquatic species. *FAO Fish. Tech. Pap.* 294, 318 p.
- Wohlfarth, G.W. et G. Hulata. 1983. Applied genetics of tilapia. *ICLARM Stud. Rev.* 6, 26 p.

Déterminisme du comportement sexuel et territorial chez les mâles de *Oreochromis niloticus* et *Oreochromis mossambicus*

Y. ROUGER

Laboratoire de physiologie des poissons
Institut national de la recherche agronomique (INRA)
Campus de Beaulieu, 35042 Rennes Cédex 05, France

ROUGER, Y. 1996. Déterminisme du comportement sexuel et territorial chez les mâles de *Oreochromis niloticus* et *Oreochromis mossambicus*, p. 450-458. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Nous avons comparé la hiérarchie sociale de trois groupes de cinq mâles chez deux espèces de tilapia : *Oreochromis niloticus* et *Oreochromis mossambicus*. Les relevés des taux de stéroïdes circulants (testostérone, 11-KT et 17,20 P) révèlent chez *O. niloticus* un taux élevé de testostérone chez les animaux dominants tandis que chez *O. mossambicus*, aucune différence significative n'est observée dans les taux de testostérone entre dominants et dominés. Il existe une corrélation entre le degré élevé d'agressivité chez *O. niloticus* et la défense du territoire par rapport à *O. mossambicus* dont le niveau endocrinien est faible et le comportement social peu hiérarchisé. Chez *O. niloticus*, la couleur du mâle dominant sous la dépendance du taux de testostérone joue un rôle d'apaisement : la femelle prête à pondre prend cette couleur à la suite d'une montée brutale de testostérone et peut ainsi pénétrer dans le nid défendu par le mâle.

La pose d'implants de divers stéroïdes confirme bien le rôle de la testostérone dans le comportement agressif du tilapia, lui permettant de s'élever dans la hiérarchie sociale. La 11-KT intervient plus directement dans les comportements de creusement du nid que dans la poursuite des congénères.

Introduction

Des corrélations entre les cycles gonadiques, les niveaux de stéroïdes circulants et l'apparition du comportement sexuel ont été mises en évidence chez de nombreux poissons, en particulier les Salmonidés (Liley et Stacey, 1983).

Chez les Cichlidés, Aronson (1945, 1951) a décrit le rôle des stimulations externes (stimuli visuels, émissions sonores, contact entré lignes latérales et communication chimique) produites par d'autres partenaires dans la fréquence des pontes. Chez *Oreochromis mossambicus*, Silverman (1978a, 1978b) suggère une action comparable aux phéromones comme l'a montré Solo-

mon (1977) chez d'autres espèces. Aussi bien les mâles que les femelles peuvent jouer un rôle dans la manifestation plus rapide de la ponte chez cette espèce.

Nous avons dans cette étude comparé le comportement social et le niveau endocrinien de deux espèces de tilapia : *Oreochromis niloticus* et *O. mossambicus*.

Matériel et méthodes

Poissons

Les expériences sur *O. niloticus* ont porté sur des poissons provenant de l'élevage en laboratoire d'une souche originaire de Bouaké (Côte d'Ivoire). Les

animaux provenaient tous du même élevage et étaient âgés d'un an pour une longueur de $14,5 \pm 1,29$ cm et un poids moyen de $96,3 \pm 3,5$ g. Les expériences ont eu lieu tous les ans de 1989 à 1992 entre le mois d'avril et le mois de septembre.

Dans le cas de *O. mossambicus*, les animaux provenaient d'une souche mise au point à Louvain-la-Neuve (Belgique) par Ursula Falter. L'expérience a porté sur 10 femelles de *O. mossambicus* et huit femelles de *O. niloticus*, et sur 15 mâles de chaque espèce.

Conditions d'élevage

En dehors des périodes expérimentales, les poissons, sexes séparés, étaient placés dans des bacs en circuit fermé de $0,5 \text{ m}^3$ d'eau à 27°C ne contenant que des tilapias. En période d'expérimentation, les animaux étaient placés dans des bacs en verre de 300 l environ contenant du sable adsorbant au fond, et étaient transférés, lors des tests, dans un bac de 800 l contenant également du sable adsorbant au fond.

Protocoles expérimentaux et éthogrammes

Les mâles ont été répartis en groupes de cinq animaux. La mise en place d'un éthogramme a permis d'établir la hiérarchie sociale pour chacun de ces groupes et de visualiser les relations sociales au sein du groupe. Afin de permettre leur identification, chaque animal a été marqué par un fil de nylon portant diverses perles de couleurs associées selon un code déterminé, fixé sur la partie postérieure de la tête. Les animaux ont été anesthésiés et une prise de sang a été effectuée avant et après une série de tests comportementaux réalisés sur une période de cinq jours dans le but d'évaluer la hiérarchie sociale.

Les tests ont été répétés trois fois pour chacun des groupes.

Sur l'éthogramme où les cinq poissons sont représentés en cercle (voir la figure 1), le mâle dominant, c'est-à-dire celui qui dirige vers ses congénères le maximum d'activités, est placé au sommet. L'animal dominé, c'est-à-dire celui qui reçoit le maximum d'interactions agressives sans réciprocité, est placé à la base de la figure. Les relations inter-individuelles sont représentées par des flèches orientées dans le sens de l'action et dont les caractéristiques (épaisseur du trait) facilitent la visualisation des rapports entre les poissons dont le nombre est aussi indiqué.

Comportement social et sexuel

Les divers éléments du comportement social et sexuel ont été enregistrés en fonction du temps au cours de tests d'une durée de 10 minutes réalisés toutes les heures huit fois par jour. Ce comportement est caractérisé par des poursuites, des contacts bouche-bouche, des contacts latéraux bouche-flanc, des nages parallèles, un redressement de la nageoire dorsale et le creusement du nid avec prélèvement de sable.

Chaque groupe étudié était constitué de cinq mâles de taille et de poids homogènes.

Prises de sang

Les poissons ont été anesthésiés individuellement avec une solution de phénoxyéthanol à raison de $2 \text{ ml} \cdot \text{l}^{-1}$ d'eau versée dans un bac contenant 10 litres d'eau. Le sang était prélevé (1 à 1,5 ml) à l'aide d'une seringue héparinée de 2 ml entre 9h00 et 11h00, puis conservé dans de la glace disposée dans une caisse isolante en attendant la centrifugation de l'ensemble des prélèvements. Le sang

était ensuite placé dans une centrifugeuse réfrigérée (4°C) où la centrifugation avait lieu pendant 10 minutes à 2.500 tours par minute.

Dosages hormonaux

Les dosages hormonaux ont été effectués par radio-immunologie. La testostérone et la 11-KT ont été mesurées par la méthode mise au point par Fostier et coll. (1982), donnant un coefficient de variation de 8,12 % (18,4 ng·ml⁻¹, n=15) pour le dosage de testostérone et de 6,37 % (17,5 ng·ml⁻¹, n=15) pour la 11-KT. La méthode décrite par Fostier et coll. (1981) a été utilisée pour doser la 17,2 P. Le coefficient de variation a été estimé à 5,74 % (9,25 ng, n=15).

Tests statistiques

Une comparaison par paire a été effectuée après avoir soumis les échantillons à une analyse de variance et au test de Barlett. Les données ont été comparées à l'aide d'un test-*t*. Sauf indication contraire, le niveau de signification était situé à P=0,05.

Résultats

Etude des groupes de mâles : éthogrammes

L'étude des groupes de cinq mâles a révélé la très nette présence d'un mâle dominant dans deux des groupes tandis que les relations sociales dans le troisième groupe étaient beaucoup plus homogènes ; bien qu'un mâle dominant ait pu être reconnu. Les échanges entre les poissons ont également permis de reconnaître l'animal apparaissant comme le second poisson dominant du groupe. Celui-ci a été confirmé par le retrait de l'animal dominant. La figure

1 regroupe en trois diagrammes l'ensemble des activités orientées vers les autres partenaires : poursuites, contacts bouche-flanc, bouche-bouche et érection de la nageoire dorsale à proximité d'un partenaire.

Niveau endocrinien et hiérarchie sociale chez *O. niloticus* et *O. mossambicus*

La comparaison des hiérarchies sociales observées à l'occasion de poursuites a révélé une différence manifeste entre ces deux espèces de *Oreochromis*.

Chez *O. niloticus*, la hiérarchie sociale est très marquée avec un dominant strict dirigeant le maximum d'activités. Seul le mâle dominant a accès au substrat et y creuse le nid. Sa parure est blanc nacré, teintée de rose saumoné, et l'extrémité des nageoires est noire. Les autres poissons, mâles et femelles, sont relégués dans le coin supérieur de l'aquarium. Ils sont stressés et présentent une coloration allant du gris sombre verdâtre au noir.

En revanche, *O. mossambicus* manifeste peu de réactions de poursuites et la hiérarchie sociale chez cette espèce n'est pas apparente. Les interactions entre les individus sont faibles et similaires chez tous les animaux.

La comparaison des niveaux endocriniens des trois stéroïdes chez ces deux espèces (Fig. 2) a révélé un niveau très élevé de testostérone chez *O. niloticus* (52 ng·ml⁻¹) par rapport à *O. mossambicus* (8 ng·ml⁻¹). Les taux de 11-KT et de 17,20 P enregistrés étaient également plus importants chez *O. niloticus* que chez *O. mossambicus*.

Par ailleurs, *O. niloticus* présente des taux de testostérone plasmatique très différents chez les dominants et chez les dominés, alors que chez *O. mossambicus*, aucune différence significative n'a été observée dans les taux de cette

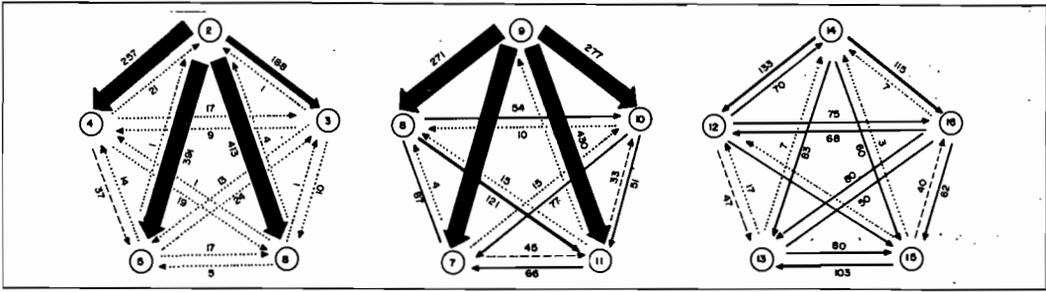


Fig. 1. Ethogrammes pour trois groupes de cinq mâles de *Oreochromis niloticus*. Les chiffres encadrés représentent le nombre d'individus. Les chiffres figurant sur les flèches indiquent le nombre d'interactions agressives (voir le texte).

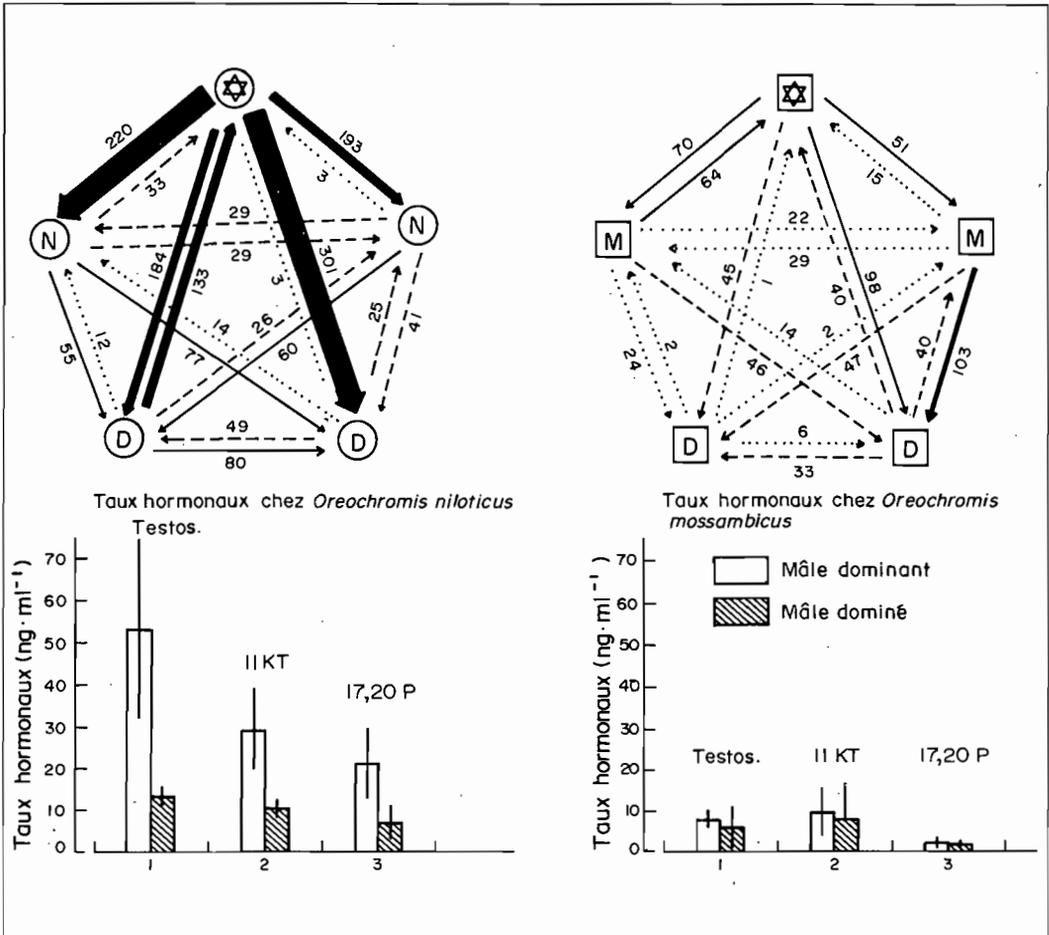


Fig. 2. Niveau endocrinien et hiérarchie sociale chez *Oreochromis niloticus* et *O. mossambicus*. Sur ces éthogrammes, ☆ = poisson dominant, N et M se rapportent aux espèces utilisées et D = poisson dominé (voir le texte et la discussion sur les comparaisons et le seuil de signification des différences).

hormone entre dominants et dominés. La même observation a été faite, bien que la différence soit plus atténuée, au niveau des taux des deux autres stéroïdes considérés (11-KT et 17,20 P).

Niveaux endocriniens et émissions sonores des mâles

Dans le cadre d'une collaboration associant U. Falter et Olivier Dufayt de l'université de Louvain-la-Neuve (Belgique), nous avons pour la première fois mis en corrélation les émissions sonores des mâles de ces deux espèces et d'autres manifestations comportementales.

Le mâle défendant son territoire pourchasse ses congénères (autres mâles ou femelles qui ne sont pas prêtes à pondre) et émet un son bref de moins d'une demi-seconde. La fréquence de cette émission sonore est élevée, de 400 à 700 Hz chez *O. niloticus* et de l'ordre de 250 Hz chez *O. mossambicus*.

Ces émissions, caractéristiques des mâles dominants sont, comme pour la défense du territoire, sous la dépendance du taux de testostérone plasmatique. Seuls les mâles dominants ont la possibilité de se manifester.

Niveaux endocriniens et acceptation de la femelle par les mâles territoriaux

Chez *O. niloticus*, la coloration identique au mâle dominant que prend la femelle prête à pondre est en rapport avec le haut niveau d'agressivité de cette espèce. Ce patron de coloration joue un rôle inhibiteur de l'agressivité chez le mâle qui accepte la femelle de même coloration. Nous avons observé que certains mâles également fortement colorés sont parfois acceptés dans le nid du mâle territorial. L'analyse des taux endocriniens chez

la femelle (Fig. 3) montre que cette coloration est en corrélation avec un taux de testostérone important, particulièrement quand elle est prête à pondre.

Chez *O. mossambicus*, bien que l'on observe le même taux élevé de testostérone chez la femelle prête à pondre, les variations de coloration de la femelle ne sont pas décelables par l'oeil humain. Les autres stéroïdes, de niveau relativement faible, entraînent peu de variations quelle que soit l'espèce.

Effet d'implants de stéroïdes sur le comportement social de *O. niloticus*

Afin de compléter notre étude et de confirmer l'action des stéroïdes sur le comportement social des poissons, nous avons implanté diverses quantités de plusieurs stéroïdes, et étudié leur effet en observant l'éthogramme correspondant. D'un groupe de cinq poissons, trois ont reçu des implants de stéroïdes, les deux autres ayant servi de témoin ou contrôle.

Dans un premier temps, nous avons étudié la cinétique de relargage de testostérone pure incluse dans les implants à raison de 0,5 mg · 100 mg⁻¹ d'implant · 50 ml⁻¹ de solution physiologique. Entre six et 36 heures, la quantité d'hormone libérée était relativement stable pour 1,75 ± 0,25 ng · ml⁻¹. Les animaux qui ont reçu des implants de testostérone ont manifesté une montée d'agressivité, leur comportement gagnant un niveau dans la hiérarchie sociale (Fig. 4) et l'augmentation des poursuites apparaissant quatre heures après la pose d'implants. Le comportement de creusement du nid n'a pas varié de manière significative dans les trois jours qui ont suivi l'implantation (Fig. 5).

L'étude des modifications de comportement chez les témoins a montré

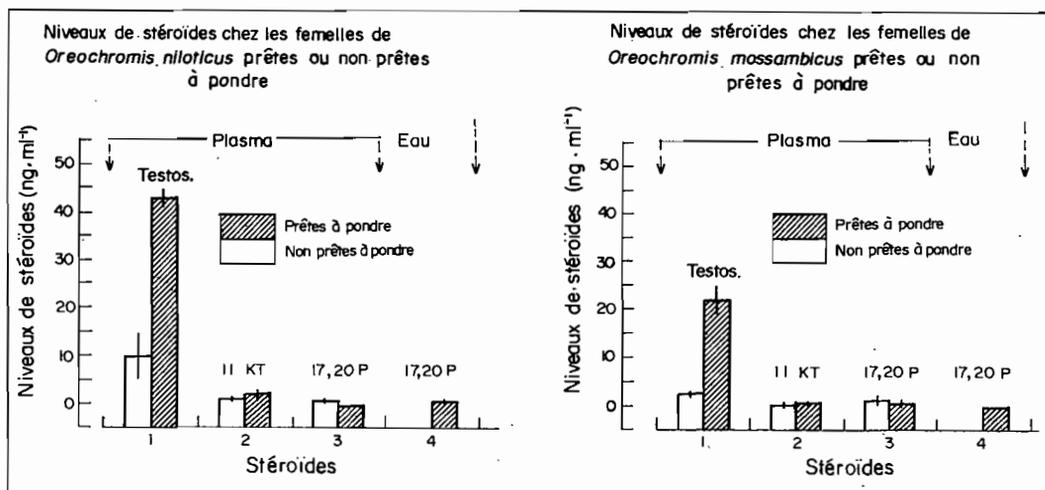


Fig. 3. Etude comparative des niveaux de stéroïdes chez des femelles de *Oreochromis niloticus* et *O. mossambicus*.

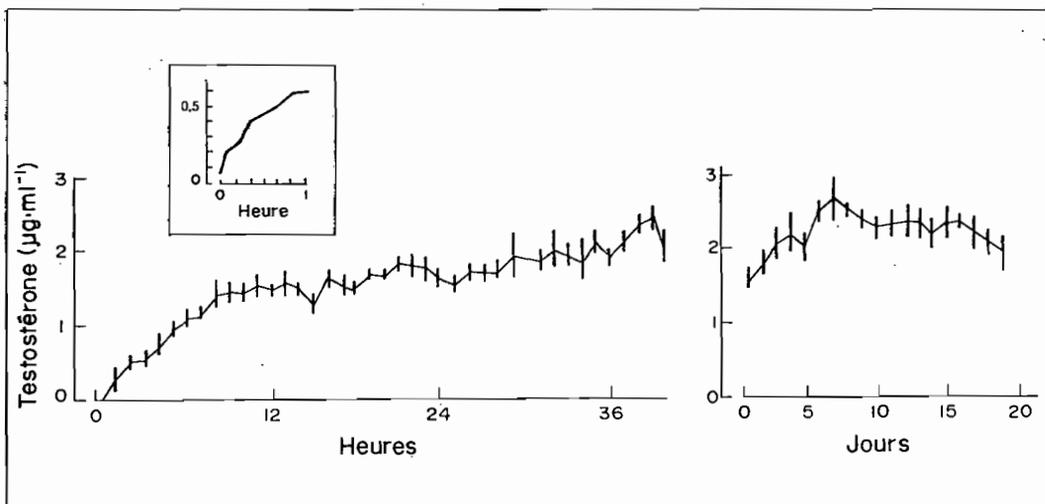


Fig. 4. Cinétique de relargage in vitro des implants de testostérone (0,5 mg T·100 mg⁻¹ implant·50 ml⁻¹ solution physiologique).

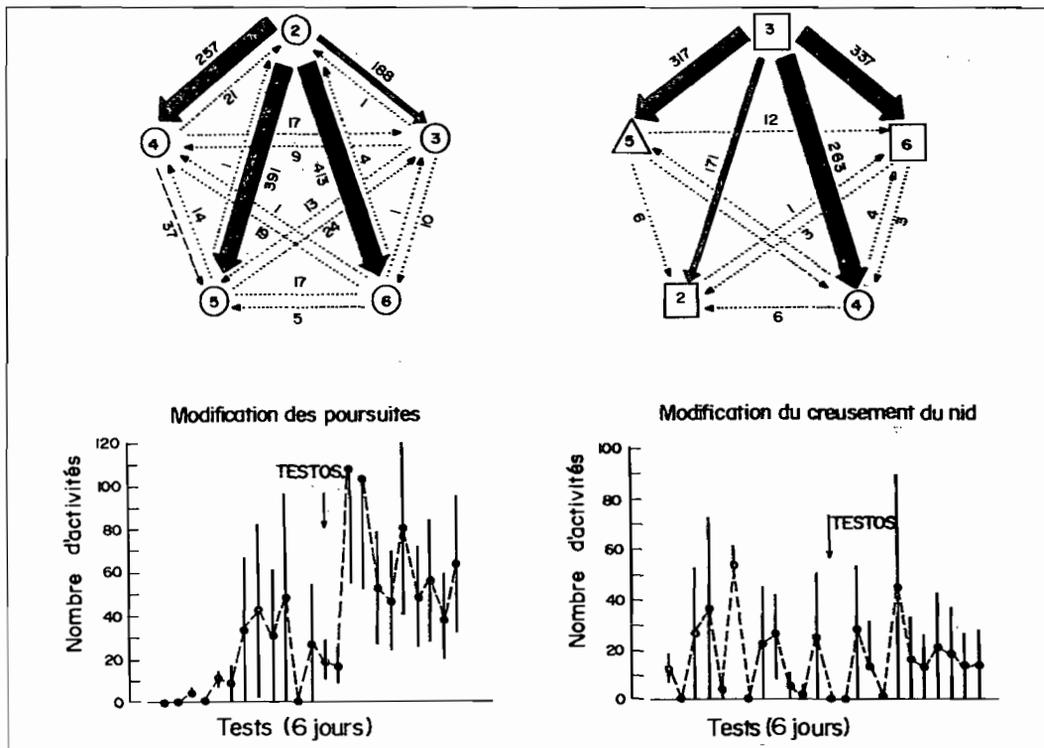


Fig. 5. Effet de la pose d'implants (testostérone 0,25 mg) sur le comportement social de *Oreochromis niloticus*.

une diminution significative d'activités au niveau des poursuites et des creusements de nid. Cet affaiblissement du comportement chez les témoins s'explique par l'augmentation d'activités et d'agressivités chez les animaux ayant reçu des implants et vivant avec eux (Fig. 6).

Dans le cas des animaux ayant reçu des implants de 11-KT, une augmentation significative des creusements de nid après implantation (Fig. 7) a été observée. Par contre, la pose d'implants de 17,20 P n'a pas suscité de variation significative si ce n'est une tendance générale à la réduction d'activités (Fig. 8).

Conclusion

Ces résultats illustrent le rôle important de la testostérone dans l'apparition du

comportement territorial des mâles et le niveau d'agressivité de l'espèce. Les sons émis par les mâles dominants, soit au cours de poursuites d'autres congénères soit pour accompagner et guider dans le nid les femelles prêtes à pondre, sont sous la dépendance de la testostérone. Cette hormone intervient également dans la prise de couleur caractéristique du mâle dominant. On la trouve également chez la femelle prête à pondre qui peut ainsi pénétrer dans le nid. Cette coloration spécifique du mâle dominant adoptée par la femelle produit un effet inhibiteur sur le comportement agressif du mâle territorial.

Chez *O. mossambicus* où l'agressivité est pratiquement inexistante, les niveaux endocriniens sont aussi beaucoup plus faibles. La femelle n'a pas besoin, pour se faire accepter, d'adopter un patron de coloration identique au mâle.

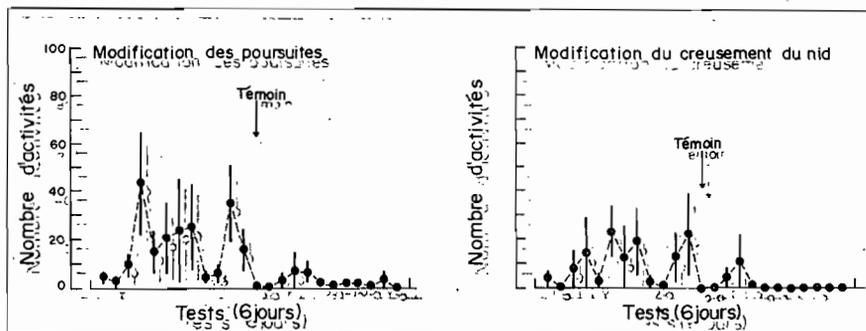


Fig. 6. Effet de la pose d'implants (témoin) sur le comportement social de *Oreochromis niloticus*.

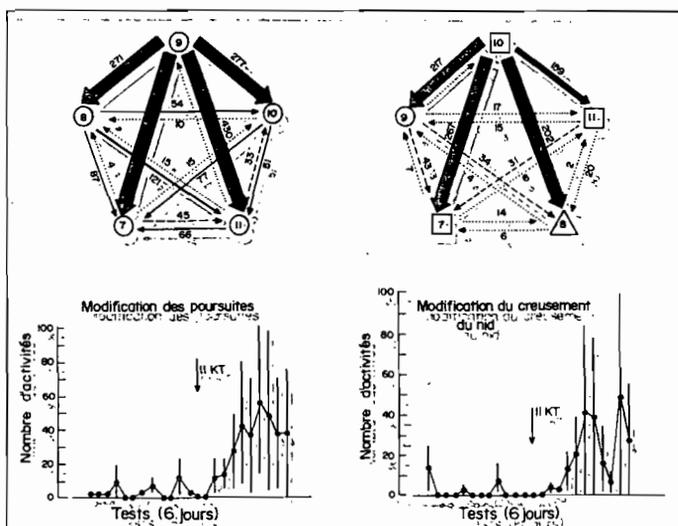


Fig. 7. Effet de la pose d'implants (11-KT, 0,25 mg) sur le comportement social de *Oreochromis niloticus*.

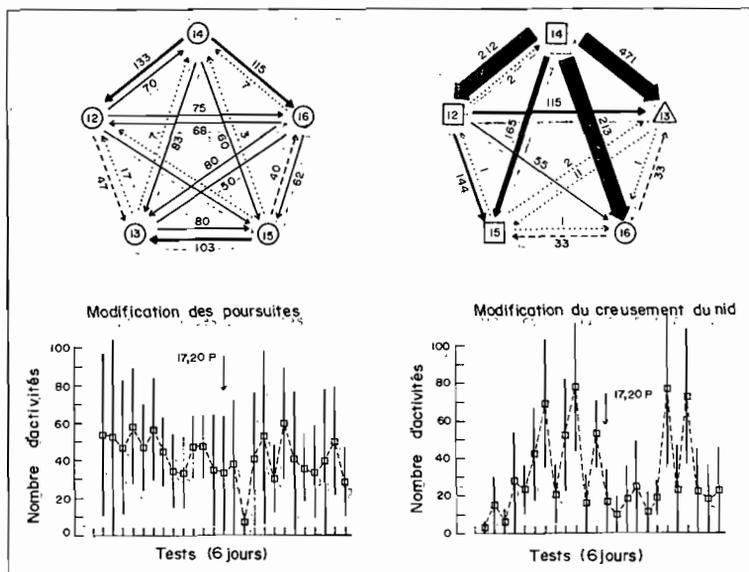


Fig. 8. Effet de la pose d'implants (17,20 P, 0,25 mg) sur le comportement social de *Oreochromis niloticus*.

La kétotestostérone; pour sa part, intervient davantage au niveau du creusement du nid. Ainsi, les diverses hormones ont chacune une action spécifique dans l'apparition des comportements sociaux et de reproduction. Toutefois, le stéroïde 17,20 P ne semble pas avoir d'action apparente directe sur les manifestations comportementales du mâle lorsque le stéroïde est administré sous forme d'implant. Pourtant, les travaux de Stacey et Sorensen (1991) ont montré le rôle de phéromone que pouvait jouer ce stéroïde chez le *Carassius auratus* doré. Il apparaît que les différents stéroïdes jouent un rôle spécifique dans l'apparition des différents éléments des séquences comportementales liées à la défense du territoire et au développement du comportement reproducteur.

Littérature citée

- Aronson, L. 1945. Influence of the stimuli provided by the male cichlid fish *Tilapia macrocephala* on the spawning frequency of the female. *Physiol. Zool.* 18:403-415.
- Aronson, L. 1951. Factors influencing the spawning frequency in the female cichlid fish *Tilapia macrocephala*. *Am. Mus. Novit.* 1484:1-26.
- Fostier, A., B. Jalabert, C. Campbell, M. Terqui et B. Breton. 1981. Cinétique de la libération *in vitro* de 17 α -hydroxy-20 β -dihydroprogesterone par des follicules de truite arc-en-ciel, *Salmo gairdneri*. *C.R. Hebd. Séances Acad. Sci. Paris, Sér. D* 292:777-780.
- Fostier, A., R. Billard, B. Breton, M. Legendre et S. Marlot. 1982. Plasma 11-Oxotestosterone and gonadotropin during the beginning of spermatation in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Gen. Comp. Endocrinol.* 46:428-434.
- Liley, N.R. et N.E. Stacey. 1983. Hormones, pheromones and reproductive behavior in fish, p. 1-63. *In* W.S. Hoar, D.J. Randall, E.M. Donaldson (éds.) *Fish physiology*. Vol. IXB. Behavior and fertility control. Academic Press, New York.
- Silverman, H.I. 1978a. Effects of different levels of sensory contact upon reproductive activity of adult male and female *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* (Peters) Pisces, Cichlidae. *Anim. Behav.* 26:1081-1090.
- Silverman, H.I. 1978b. Changes in male courting frequency in pairs of the cichlid fish *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus*, with unlimited or with visual contact. *Behav. Biol.* 23:189-196.
- Solomon, D.J. 1977. A review of chemical communication in freshwater fish. *J. Fish Biol.* 11:363-376.
- Stacey, N. et P.W. Sorensen. 1991. Function and evolution of fish hormonal pheromones, p. 109-135. *In* P.W. Hochachka et T.P. Mommsen (éds.) *The biochemistry and molecular biology of fishes*. Elsevier, Amsterdam, Oxford et New York.

Caractérisation morphométrique en réseau de huit souches de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*)

R.R. VELASCO^a
 M.J.R. PANTE^b
 J.M. MACARANAS^b
 C.C. JANAGAP^b
 A.E. EKNATH^a

^aInternational Center for Living
 Aquatic Resources Management
 MCPO Box 2631, 0718 Makati
 Metro Manila, Philippines

^bMarine Science Institute
 University of the Philippines
 Diliman, Quezon City, Philippines

VELASCO, R.R., M.J.R. PANTE, J.M. MACARANAS, C.C. JANAGAP et A.E. EKNATH. 1996. Caractérisation morphométrique en réseau de huit souches de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), p. 459-469. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Une étude visant à caractériser huit souches de *Oreochromis niloticus* (Egypte, Ghana, Sénégal, Kenya, Israël, Singapour, Taiwan et Thaïlande) a été réalisée à l'aide d'un système de mesures morphométriques en réseau. Afin d'éliminer tout effet de taille, des dimensions-types corporelles pour chaque sexe ont été fixées. Une analyse en composantes principales (ACP) a permis de rechercher la variation intraspécifique de forme en reportant les valeurs des différentes composantes principales (CP). L'ACP a été exécutée en deux étapes : (1) à partir de toutes les longueurs du réseau ainsi établi ($p=21$) pour chaque sexe et les deux sexes confondus ; et (2) à partir de quelques longueurs du réseau sélectionnées pour chaque sexe et les deux sexes confondus. Le choix des longueurs a été réalisé par analyse discriminante (critère de sélection, Λ de Wilk=0,05). Une analyse de variance (ANOVA) a été exécutée sur toutes les CP afin de détecter les différences de souches. Les CP présentant des différences de souches significatives ont été utilisées pour établir les tracés XY. Le degré de classification des souches a été déterminé par analyse discriminante en procédant préalablement à des regroupements *a priori* de souches.

Le type de scores obtenus pour les huit premières variables a révélé des différences significatives entre les mâles et les femelles des huit souches. L'ANOVA réalisée sur le score de la septième composante (CP7) a révélé des différences significatives ($P<0,05$) qui ont permis d'établir une très nette différenciation entre les souches. Chez les femelles, les valeurs obtenues pour CP8 par rapport à CP7 ont permis de distinguer (légèrement) les souches Kenya et Thaïlande des autres souches du groupe. Une distinction moins nette mais similaire a été observée chez les mâles. Dans l'ensemble, les résultats ont révélé peu de différences morphométriques parmi les huit souches.

Introduction

Les mesures morphométriques et anatomiques ont traditionnellement été utilisées pour différencier les populations en général et les stocks de poissons en particulier (Ihssen et coll., 1981). La caractérisation morphométrique des souches

au sein d'une espèce donnée exige cependant de détecter certaines différences subtiles de forme, indépendante de la taille, ce qui est rendu possible par une méthode puissante : le système de mesures en réseau (morphométrie en réseau) (Strauss et Bookstein, 1982 ; Winans, 1984). La morphométrie en réseau élimine les biais

que comportent les systèmes conventionnels de mesures (longueurs standards et totales, hauteur du corps, etc.), notamment, mesures trop nombreuses (denses) dans certaines parties du corps et rares dans d'autres, et couverture inégale et disproportionnée du corps. La morphométrie en réseau exige de mesurer des distances entre des points homologues (ou points de repère) le long du corps formant un diagramme régulier de quadrilatères contigus ou cellules. Ces mesures, après traitement approprié des données, sont soumises à une analyse statistique multivariée — analyse discriminante ou analyse en composantes principales (ACP) — après un regroupement *a priori* des souches. Une étude complète sur la morphométrie en réseau et son application aux carpes et aux tilapias se trouve dans Brzeski et coll. (1989).

La caractérisation morphométrique en réseau des tilapias a déjà fait l'objet d'études, y compris par Brzeski et Doyle (1988) et Pante et coll. (1988). Les premiers rapportaient une nette différenciation entre les sexes bien avant que des différences de tailles ne soient perceptibles ; les derniers rapportaient de nettes distinctions entre

espèces de tilapias, et des distinctions moins nettes entre souches et entre hybrides issus d'introgessions.

Cette communication décrit la caractérisation morphométrique (taille et forme) de huit souches différentes de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) à partir de 21 points de repère au total. Cette étude continue celle de Pante et coll. (1988), et décrit plusieurs modifications méthodologiques apportées pour mieux différencier les souches. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'un projet de recherche en collaboration sur l'amélioration génétique des tilapias d'élevage (GIFT) (Pullin et coll., 1991 ; Eknath et coll., 1993).

Matériel et méthodes

Un échantillonnage aléatoire de 27 à 30 individus d'un groupe de poissons (Tableau 1) issus des croisements individuels (17-25 couples pour chaque souche) de huit souches de *O. niloticus* a été réalisé en vue de cette expérimentation. (Quatre souches commerciales philippines — israéli, Singapour, Taïwan et Thaïlande — et quatre

Tableau 1. Les huit souches de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et le nombre de mâles et de femelles utilisés pour les mesures en réseau.

Souche	Code-souche	Mâle (M)	Femelle (F)	Total
Souche sauvage d'Afrique				
Egypte	E	14	15	29
Ghana	H	15	14	29
Sénégal	S	15	15	30
Kenya	K	15	15	30
Sous-total		59	59	118
Souches d'élevage des Philippines				
Israël	I	15	15	30
Singapour	G	15	15	30
Taiwan	W	14	15	29
Thaïlande	T	15	12	27
Sous-total		59	57	116
Total		118	116	234

souches importées directement d'Égypte, du Sénégal, du Ghana et du Kenya [Eknath et coll., 1993].) Les procédures pour la collecte des données morphométriques du réseau sont décrites par Velasco et coll. (1992). Un réseau de 21 points de repère (Fig. 1) le long du corps a été dressé à l'aide d'un programme d'analyse monoscopique assisté par ordinateur (CAMA) conçu pour enregistrer des mesures linéaires d'objets sur une image photographique. Afin d'éliminer les effets de taille, une mesure-type de la longueur du corps de chaque sexe a été calculée et exprimée comme la moyenne géométrique de toutes les longueurs du réseau (Brzeski et coll., 1989) :

$$X = \sum_{p=1}^{21} \log x_p / 21 \quad \dots 1)$$

où x_p = longueurs mesurées du réseau ($p=21$) et X = mesure-type de la longueur du corps.

Chaque longueur du réseau (x_p) a alors été soumise à une régression logarithmique sur X d'où on a obtenu l'équation :

$$\hat{x}_p = \beta X^k \quad \dots 2)$$

utilisée pour prédire les valeurs de \hat{x}_p . Les longueurs du réseau corrigées, exprimées comme le rapport de (x_p / \hat{x}_p) ont été utilisées dans d'autres analyses.

En raison des dimorphismes sexuels (Chervinski, 1983) et en l'absence de techniques claires pour corriger ces dimorphismes, les mâles et les femelles ont été analysés séparément, et les données ont été ultérieurement regroupées à des fins de comparaison.

L'ACP a été exécutée en deux étapes : (1) à partir de toutes les longueurs du réseau établi ($p=21$) pour chaque sexe et les deux sexes confondus ; et (2) à partir de quelques longueurs du réseau sélectionnées pour chaque sexe et les deux sexes confondus. Le choix

des longueurs a été réalisé par analyse discriminante (critère de sélection, Lambda de Wilk=0,05). Une analyse de variance (ANOVA) a été exécutée sur toutes les composantes principales (CP) afin de détecter les différences de souches. Les CP présentant des différences de souches significatives ont été utilisées pour établir les tracés XY.

Le degré de différenciation des souches a été déterminé par analyse discriminante en procédant préalablement à des regroupements *a priori* de souches et en utilisant leurs longueurs correspondantes (étape 2 ci-dessus). Le degré d'erreur dans la classification des individus par rapport à leur groupe d'origine *a priori* a été également calculé.

Résultats

ACP sur toutes les longueurs du réseau

Les valeurs des premières huit CP sont présentées dans le tableau 2. La variation totale cumulée mise en évidence par les premières huit CP est d'environ 80 %.

Les valeurs relevées pour CP1 étaient similaires pour les mâles et les femelles : pour les mesures de la tête, celles-ci étaient négatives alors qu'elles étaient positives pour les mesures du corps et de la queue. De même, les valeurs de CP2 et CP3 pour la longueur du corps, les diagonales et la tête des deux sexes étaient similaires. Les valeurs de CP4 ont révélé des différences entre les sexes : la région caudale dont les valeurs étaient négatives chez les femelles a donné des valeurs positives chez les mâles. Les valeurs de CP5 étaient similaires chez les deux sexes au niveau des mesures operculaires, excepté qu'aucun coefficient significatif n'a été observé au niveau de la région caudale chez les mâles. Pour CP6, une variabilité plus prononcée a été observée au niveau de la tête, du corps et de la queue chez les mâles par rapport aux femelles. Les valeurs pour CP7 et CP8 étaient

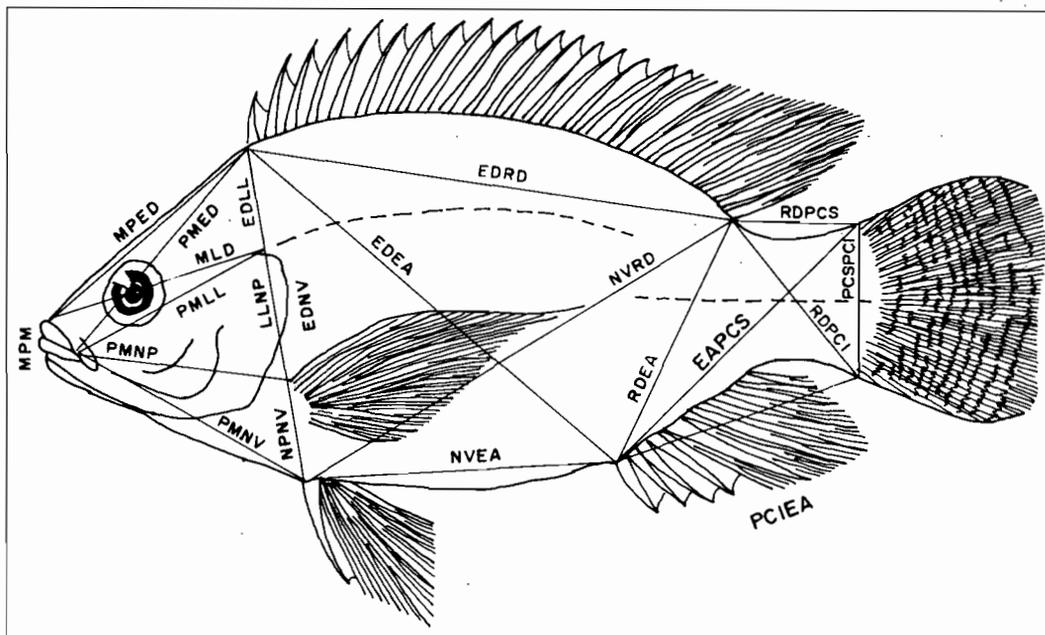


Fig. 1. Réseau de mesures tenant compte de 21 points situés sur le profil du poisson, mesurés lors de la caractérisation morphométrique de huit souches de *Oreochromis niloticus*. Se rapporter au tableau 1 pour une explication des points homologues.

A. Mesures antéro-dorsales

Museau-première épine dorsale	MPED
Museau-prémaxillaire	MPM
Museau-ligne dorsale	MLD
Prémaxillaire-épine dorsale	PMED
Prémaxillaire-ligne latérale	PMLL
Prémaxillaire-nageoire pectorale	PMNP
Prémaxillaire-nageoire ventrale	PMNV
Épine dorsale-ligne latérale	EDLL
Ligne latérale-nageoire pectorale	LLNP
Nageoire pectorale-nageoire ventrale	NPNV

B. Mesures du corps et longueur

Épine dorsale-nageoire ventrale	EDNV
Nageoire ventrale-épine anale	NVEA
Nageoire ventrale-rayons dorsaux	NVRD
Épine dorsale-épine anale	EDEA
Épine dorsale-rayons dorsaux	EDRD
Rayons dorsaux-épine anale	RDEA

C. Mesures de la région caudale

Épine anale-péduncule caudal supérieur	EAPCS
Rayons dorsaux-péduncule caudal inférieur	RDPCI
Rayons dorsaux-péduncule caudal supérieur	RDPCS
Péduncule caudal supérieur-péduncule caudal inférieur	PCSPCI
Péduncule caudal inférieur-épine anale	PCIEA

très contrastées entre les sexes. L'ACP sur les données regroupées pour les mâles et les femelles a mis en évidence des similarités entre les mâles ou entre les femelles.

L'ANOVA réalisée sur les valeurs de CP7 a révélé des différences significatives ($P < 0,05$; Tableau 2, dernière ligne) et une différenciation assez nette entre les souches (test de comparaison multiple des moyennes de Duncan). Pour les femelles, le tracé de CP8 par rapport à CP7 (Fig. 2) a mis en évidence une différenciation peu marquée entre les souches Kenya et Thaïlande, et le

reste du groupe. Une différenciation similaire significative mais moins prononcée des souches a été observée chez les mâles.

Dans l'ensemble, les différences entre les sexes étaient dues aux différences observées au niveau des valeurs relevées pour la tête et la queue.

ACP sur quelques longueurs du réseau

Le pourcentage de variation totale dans les longueurs du réseau (R^2 cumulé) mis en évidence par les premières huit CP, et

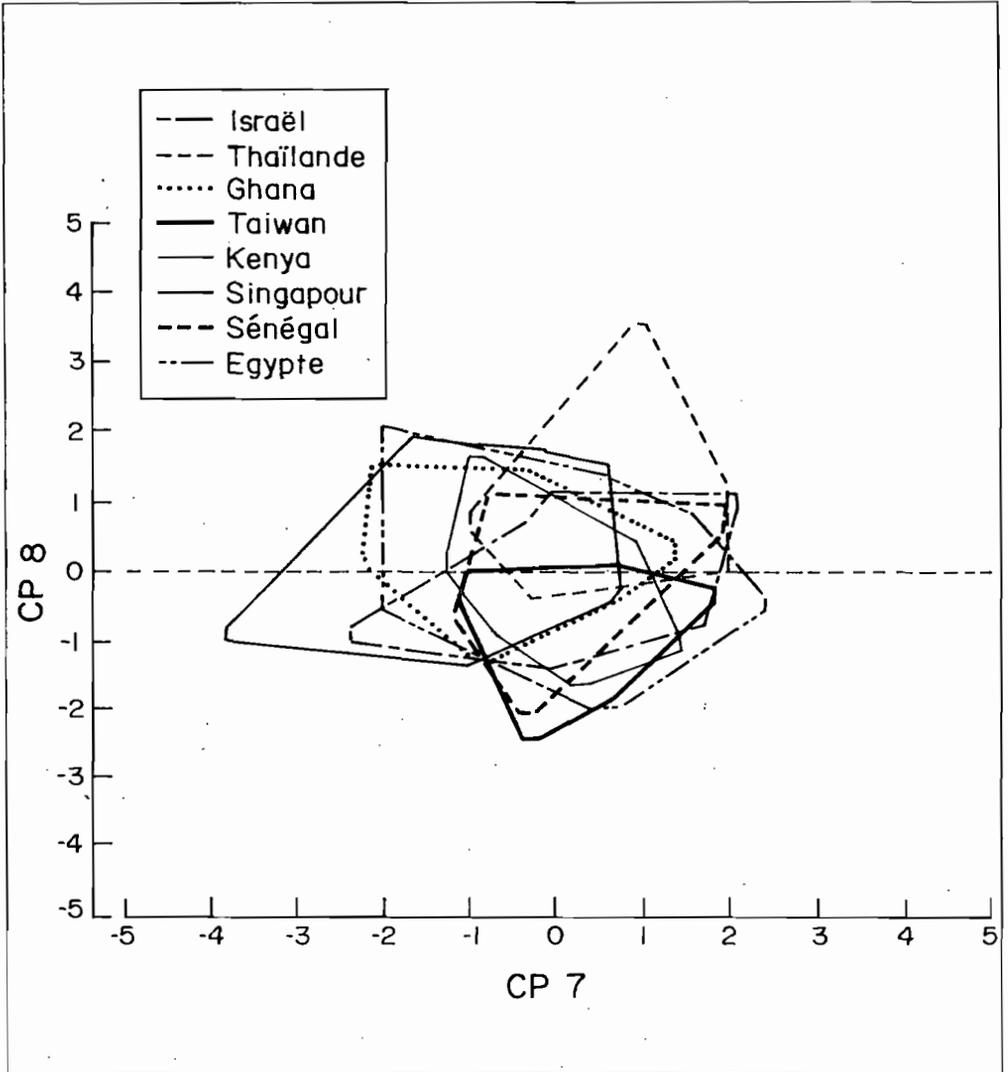


Fig. 2. Tracé des valeurs obtenues pour CP8 par rapport à CP7 à partir de toutes les longueurs du réseau (n=21) des femelles pour huit souches.

Tableau 3. ACP sur les mesures du réseau sélectionnées et réalisées sur huit souches de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) : mesures-types et coefficients obtenus pour les premières huit CP pour les mâles, les femelles et les mâles+femelles. Un signe '+' ou '-' indique des coefficients positifs ou négatifs dont la valeur absolue est supérieure à la moitié du coefficient le plus élevé obtenu pour la CP concernée. Les valeurs inférieures à cette limite ne sont pas indiquées. Les zones d'ombre représentent les longueurs qui n'ont pas été prises en compte dans l'analyse. Voir la figure 1 pour la description des longueurs.

Longueur du réseau	Femelles								Mâles								Les deux sexes															
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8								
Tête :																																
MPED																																
MPM																																
MLD																																
PMED																																
PMLL																																
PMNP																																
PMNV																																
EDLL																																
LLNP																																
NPNV																																
Corps :																																
EDNV																																
NVEA																																
NVRD																																
EDEA																																
EDRD																																
RDEA																																
Queue :																																
EAPCS																																
RDPCI																																
RDPCS																																
PCSPCL																																
PCIEA																																
Valeur de Eigen	2,20	1,70	1,47	0,99	0,76	0,56	0,53	0,47	2,38	1,86	1,45	1,30	0,88	0,66	0,47	0,42	2,44	1,84	1,59	1,10	0,92	0,82	0,65	0,57								
R ² cumulé	24,5	43,4	59,8	70,9	79,4	85,6	91,5	96,8	23,9	42,6	57,2	70,2	79,1	85,8	90,5	94,8	22,2	39,0	53,5	63,5	71,9	79,3	85,3	90,5								
ANOVA R ²	13	20	14	13	12	14	20	23	8	33	27	18	18	11	19	18																

obtenu à partir de l'ensemble des données ($p=21$), était respectivement de 81 %, 80 % et 78 % pour les femelles, les mâles et les femelles + mâles (Tableau 2). Ces pourcentages de variation totale sont passés à 97 %, 95 % et 90 %, respectivement, quand seules les longueurs du réseau préalablement sélectionnées ont été utilisées (Tableau 3). Les valeurs de CP1 ont révélé des différences contrastées entre les sexes. Pour toutes les autres CP, les valeurs étaient similaires. Les valeurs pour CP7 et CP8 ont permis de différencier la tête de la région caudale. Les tracés pour CP3 par rapport à CP2 (Figs. 3a et 3b) ont révélé une différenciation peu marquée entre les souches Egypte et Israël chez les femelles; et entre les souches Egypte et Sénégal chez les mâles.

Les longueurs sélectionnées ont été utilisées dans l'analyse discriminante pour calculer le taux d'erreur de classification des individus par rapport à leurs groupes *a priori* respectifs. Les résultats obtenus pour les mâles et les femelles sont présentés dans les tableaux 4 et 5. Le taux d'erreur de classification des souches était élevé, entre 8 et 60 % chez les mâles, et entre 7 et 47 % chez les femelles.

Discussion

Dans l'ensemble, les résultats révèlent peu de différences morphologiques significatives parmi les huit souches de tilapia du Nil. A noter également le taux élevé d'erreur de classification révélé par l'analyse discriminante. La réduction des données par l'analyse discriminante par étapes, c'est-à-dire en éliminant de manière sélective du réseau de mesures toutes les longueurs répétitives et hautement corrélées, a permis d'obtenir des différenciations un peu plus nettes. A titre d'exemple, dans le cas des mâles, les valeurs pour CP1 obtenues à partir de l'ensemble des données ($p=21$) reflétaient 17,8 % de la variation totale alors que les valeurs de la même CP1 obtenues à partir

des longueurs sélectionnées rendaient compte de 24,5 % de cette variation. De même, les tracés des CP (Fig. 3) obtenus à partir des longueurs sélectionnées montraient seulement une différenciation peu marquée entre les souches.

Une des raisons pour laquelle la différenciation entre les stocks était peu marquée pourrait être la taille de l'échantillon utilisé et le nombre de longueurs du réseau mesurées. Misra et Ni (1983) ont suggéré que l'utilisation d'un grand nombre de caractères pour un échantillon limité peut être une démarche inefficace lorsqu'on procède à une analyse discriminante. Harris (1975, cité dans Corti et coll., 1988) a toutefois suggéré que si le nombre d'individus moins le nombre de variables mesurées était supérieur à 30, alors l'échantillon pouvait être considéré comme large. D'après ce principe, la taille de l'échantillon choisie pour cette étude est inadéquate.

La procédure d'ajustement des longueurs suivie dans cette étude peut avoir, dans une certaine mesure, également masqué des différences entre les souches. Notre technique d'ajustement reposait sur la combinaison de coefficients de régression et de rapports. L'emploi de rapports est sérieusement discuté du fait des difficultés statistiques et conceptuelles qu'ils peuvent poser. Les rapports varient en fonction des valeurs de leurs dénominateurs et des numérateurs, et modifient la structure des facteurs de la matrice de covariance (Thorpe, 1976, cité dans Corti et coll., 1988). Les coefficients de régression, d'autre part, supposent une linéarité entre les variables.

Dans une étude antérieure, les mêmes souches ont été marquées par électrophorèse enzymatique, et un dendrogramme des distances génétiques entre les souches a été établi (Eknath et coll., 1991 ; Macaranas et coll., 1995). Les souches d'élevage d'Asie se sont révélées étroitement liées aux souches sauvages collectées en Egypte et au Ghana. Ceci est en accord avec les données historiques

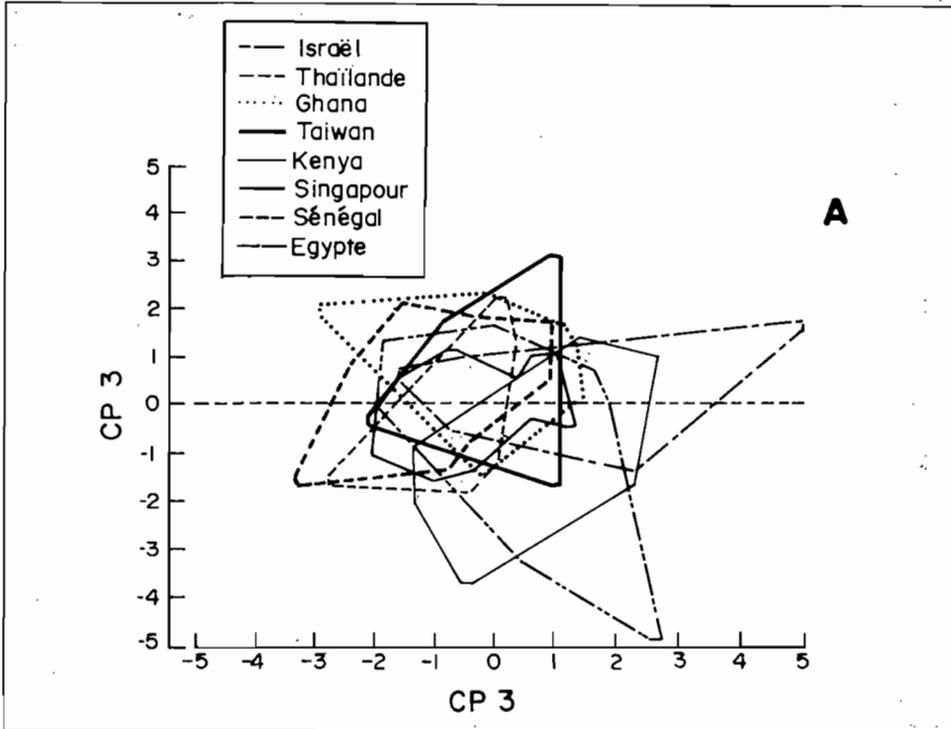


Fig. 3a. Tracé des valeurs obtenues pour CP3 par rapport à CP2 à partir d'un certain nombre de longueurs du réseau ($m=9$) des femelles pour huit souches.

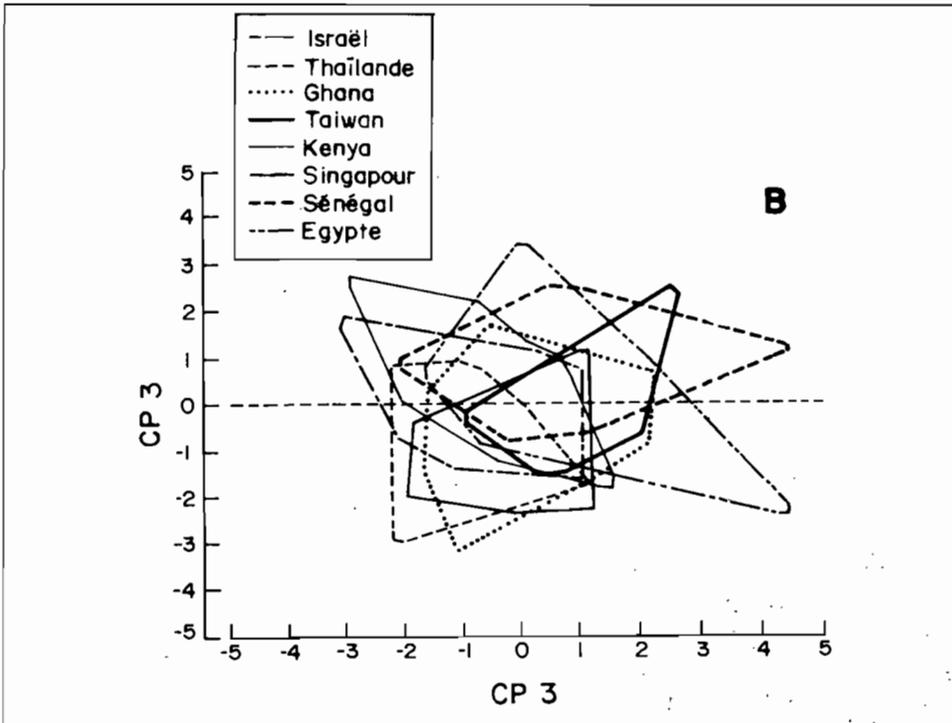


Fig. 3b. Tracé des valeurs obtenues pour CP3 par rapport à CP2 à partir d'un certain nombre de longueurs du réseau ($m=10$) des mâles pour huit souches.

Tableau 4. Femelles : résultats de l'analyse discriminante. Les valeurs représentent des tilapias du Nil individuels (*Oreochromis niloticus*) appartenant à une souche donnée. L'erreur de classification correspondante est donnée entre parenthèses le long de la diagonale. Voir le tableau 1 pour les codes-souche.

Souches	E	G	H	I	K	S	T	W	Toutes
E	6 (60,0)	2	0	1	2	0	1	3	15
G	1	8 (42,90)	0	1	1	0	1	2	14
H	1	0	13 (13,3)	0	0	1	0	0	15
I	0	2	0	11 (26,70)	1	1	0	0	15
K	0	0	0	1	12 (20,0)	0	2	0	15
S	0	0	0	0	0	12 (20,0)	2	1	15
T	0	0	0	0	0	1	11 (8,3)	0	12
W	3	2	0	0	0	0	10	1 (33,3)	15
Toutes	11	14	13	14	16	15	17	16	116

Tableau 5. Mâles : résultats de l'analyse discriminante. Les valeurs représentent des tilapias du Nil individuels (*Oreochromis niloticus*) appartenant à une souche donnée. L'erreur de classification correspondante est donnée entre parenthèses le long de la diagonale. Voir le tableau 1 pour les codes-souche.

Souches	E	G	H	I	K	S	T	W	Toutes
E	11 (21,4)	0	0	0	1	0	0	2	14
G	1	10 (33,33)	1	1	0	0	1	1	15
H	1	3	8 (46,6)	1	1	0	0	1	15
I	0	0	1	11 (26,70)	0	2	1	0	15
K	1	0	2	0	9 (40,0)	2	0	1	15
S	1	0	1	2	0	9 (40,0)	0	2	15
T	0	0	0	0	1	0	14 (6,67)	0	15
W	1	0	0	1	1	1	1	9 (35,7)	14
Toutes	16	13	13	16	13	14	17	16	118

recueillies par Pullin et Capili (1988). La souche collectée au Kenya montrait la plus grande distance génétique par rapport aux autres souches, ainsi qu'on pouvait s'y attendre au vu des résultats de Trewavas (1983) selon lesquels la souche Kenya était une sous-espèce

distincte. Comme on peut le voir sur la figure 3, les distances génétiques entre les souches ne sont pas reflétées au niveau de la différenciation morphométrique des souches. Les souches montrant une tendance à la différenciation étaient les souches Egypte et

Israël (chez les femelles), et Egypte et Sénégal (chez les mâles). La souche Kenya était pratiquement superposée aux autres souches.

La caractérisation des souches et leur évaluation au sein de programmes de sélection seront poursuivies par le projet GIFT. A l'avenir, l'accent sera placé sur l'utilisation simultanée de plusieurs techniques de caractérisation des souches : l'électrophorèse, la morphométrie en réseau, et le recours à l'hémoglobine et autres paramètres sanguins.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet GIFT financé par la Banque asiatique de développement (RETA 5279) et le Programme des Nations unies pour le développement, Division des programmes mondiaux et interrégionaux (INT/88/019). Nous sommes reconnaissants envers le personnel du projet GIFT, et envers Ruben Garcia et Belen O. Acosta pour leur précieuse assistance. Les commentaires du Dr. Hans Bentsen (AKVAFORSK) sont grandement appréciés.

Littérature citée

- Brzeski, V.J. et R.W. Doyle. 1988. A morphometric criterion for sex discrimination in tilapia, p. 439-444. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Brzeski, V.J., R.W. Doyle, G.F. Newkirk, N.L. Shackell et B.A. Topp-Nowen. 1989. Truss morphometrics, p. B1.1-1.45. *In* B.A. Field (éd.) Manual for AGNA, Aquaculture Genetics Network in Asia. International Development Research Centre, Halifax.
- Chervinski, J. 1983. Sexual dimorphism in tilapia. *Aquaculture* 35:171-172.
- Corti, M., R.S. Thorpe, L. Sola, V. Sbordoni et S. Cataudella. 1988. Multivariate morphometrics in aquaculture: a case study of six stocks of common carp (*Cyprinus carpio*) from Italy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45:1548-1554.
- Eknath, A.E., J.L. Macaranas, L.Q. Agustin, R.R. Velasco, M.J.R. Pante, M.C.A. Ablan et R.S.V. Pullin. 1991. Biochemical and morphometric approaches to characterize farmed tilapias. *Naga, ICLARM Q.* 14(2):7-9.
- Eknath, A.E., M.M. Tayamen, M.S. Palada-de Vera, J.C. Danting, R.A. Reyes, E.E. Dionisio, J.B. Capili, H.L. Bolivar, T.A. Abella, A.V. Circa, H.B. Bentsen, B. Gjerde, T. Gjedrem et R.S.V. Pullin. 1993. Genetic improvement of farmed tilapias: the growth performance of eight strains of *Oreochromis niloticus* tested in different farm environments. *Aquaculture* 111:171-188.
- Ihssen, P.E., H.E. Booke, J.M. McGlade, N.R. Payne et F.M. Utter. 1981. Stock identification: materials and methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38:1838-1855.
- Macaranas, J.M., L.Q. Agustin, M.C.A. Ablan, M.J.R. Pante, A.E. Eknath et R.S.V. Pullin. 1995. Genetic improvement of farmed tilapias: biochemical characterization of strain differences in *Oreochromis niloticus*. *Aquacult. Int.* 3:43-54.
- Misra, R.K. et J.H. Ni. 1983. Distinguishing beaked redbishes (deepwater redbish, *Sebastes mentella*, and Labrador redbish, *S. fasciatus*) by discriminant analysis (with covariance) and analysis of covariance. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40:1507-1511.
- Pante, M.J.R., L.J. Lester et R.S.V. Pullin. 1988. A preliminary study on the use of canonical discriminant analysis of tilapias, p. 251-257. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, T. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pullin, R.S.V. et J.B. Capili. 1988. Genetic improvement of tilapias: problems and prospects, p. 259-266. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pullin, R.S.V., A.E. Eknath, T. Gjedrem, M.M. Tayamen, J.M. Macaranas et T.A. Abella. 1991. The Genetic Improvement of Farmed Tilapias (GIFT) project: the story so far. *Naga, ICLARM Q.* 14(2):3-6.
- Strauss, R.E. et F.L. Bookstein. 1982. The truss. Body form reconstructions in morphometrics. *Syst. Zool.* 31(2):113-135.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danikilia*. British Museum (Natural History), Londres.
- Velasco, R.R., A.E. Eknath, J.M. Macaranas et R.C. Garcia. 1992. Photographic image analysis for morphometric studies of tilapia. *Aquabyte* 4(3):2-3.
- Winans, G.A. 1984. Multivariate morphometric variability in Pacific salmon: technical demonstration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41:1150-1159.

Estimation de paramètres génétiques additifs et non additifs de la croissance d'alevins de trois souches de *Oreochromis*

C.V. YAPI-GNAORE*

*Département piscicole, Institut des Savanes (IDESSA)
01 BP 621 Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

YAPI-GNAORE, C.V. 1996. Estimation de paramètres génétiques additifs et non additifs de la croissance d'alevins de trois souches de *Oreochromis*, p. 470-476. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'hétérosis, les effets maternel et additif, et l'aptitude générale au croisement ont été évalués pour la croissance en phase de prégrossissement (taille et poids à 75 et 120 jours post-fécondation) chez trois souches de *Oreochromis* (*O. niloticus* souche Bouaké, *O. aureus* souche Israël et *O. aureus* souche Manzallah, Egypte) dans un dispositif dialléle 3x3. L'hétérosis moyenne (après comparaison de tous les croisements intra et inter-espèces et souches) pour la production d'alevins était de 11,2 %.

Les valeurs d'hétérosis moyenne étaient négatives pour tous les caractères étudiés (-0,13 cm et -0,22 cm pour la taille ; et -0,10 g et -0,31 g pour le poids). Les souches Israël et Manzallah présentaient des effets additifs en valeur absolue très élevés par rapport à la souche Bouaké. L'aptitude maternelle de la souche Bouaké était supérieure à celle des autres souches. Les valeurs de l'aptitude générale au croisement des souches Bouaké et Israël étaient positives. Celles de la souche Manzallah étaient négatives.

Introduction

L'importance de la vigueur hybride (hétérosis) a été reconnue depuis des années chez les animaux domestiques. Cette vigueur peut être expliquée génétiquement par la dominance d'allèles favorables, la surdominance ou la supériorité des hétérozygotes (interaction intra-allélique) ; ou l'épistasie — interaction d'allèles n'appartenant pas à un même locus (interaction inter-allélique). La détermination de la base de cette hétérosis est importante pour mieux en tirer partie dans les programmes de croisement. L'estimation de paramètres génétiques chez les populations hybrides et de race permet d'obtenir des indications quant à la méthode de sélection la plus appropriée.

En aquaculture, et particulièrement en ce qui concerne le tilapia, de nombreuses études d'hybridation ont été réalisées (Wohlfarth et Hulata, 1983) ; or, la plupart de ces études ont été menées dans le but de produire des populations monosexes pour obtenir les croissances supérieures que permet l'élevage de mâles, et de contrôler la reproduction anarchique et précoce chez l'espèce (Lovshin, 1982 ; Wohlfarth et Hulata, 1983). La capacité de croissance a été négligée comme caractère économiquement important en soi.

Les pêcheries continentales et l'aquaculture en Côte d'Ivoire sont dominées par *O. niloticus*. Plusieurs espèces de *Oreochromis* spp. et souches de *O. niloticus* ont été introduites et stockées à l'Institut des Savanes (IDESSA), station de recherche aquacole, depuis 1950 (Nugent, 1988). Ces espèces et souches ont été utilisées dans le cadre de plusieurs études, y compris sur les divers systèmes de production, la comparaison des performances de croissance, l'adaptation

*Adresse actuelle : 04 B.P. 304 Bouaké 04, Côte d'Ivoire.

au milieu, le sexe ratio dans les croisements, etc. (IDESSA, 1989). Pratiquement aucune des études préalables n'avait considéré les performances de croissance des animaux issus de croisements. Dans la réorganisation de ses activités de recherche en 1988, l'IDESSA a lancé un vaste programme visant simultanément la comparaison et la caractérisation de diverses espèces et souches de *Oreochromis* à partir des caractères morphométriques et de production, ainsi qu'à partir des valeurs protéiques.

La présente étude a été réalisée dans le cadre de ce programme et son objectif était de caractériser des hybrides chez deux souches de *O. aureus* et une souche de *O. niloticus* à partir des paramètres génétiques additifs et non additifs de la taille et du poids de leurs alevins.

Matériel et méthodes

Matériel expérimental

Une souche de *Oreochromis niloticus*, Bouaké (NB) et deux souches de *Oreochromis aureus*, Manzallah, Egypte (AM) et Israël (AI), ont été croisées dans un dispositif dialléle 3x3. *O. niloticus* souche Bouaké, décrite par Nugent (1988), est la souche la plus utilisée en pisciculture en Côte d'Ivoire. Les souches de *O. aureus* ont été introduites à la station de recherche piscicole de l'IDESSA à Bouaké dans les années 1980. La souche AI provient d'Israël et a été introduite via Tihange (Belgique) en 1981, et la souche AM provient du lac Manzallah en Egypte et a été introduite en 1988 (IDESSA, 1989).

L'étude a été conduite à la station piscicole de l'IDESSA d'avril à octobre 1989. Des groupes de reproducteurs (trois femelles et un mâle par groupe) ont été placés dans des aquariums de 200 l avec une température de l'eau variant de 20 à 25°C. Pour réduire les blessures infligées aux femelles, le prémaxillaire du mâle était coupé avant son introduction dans l'aquarium. L'identification

des reproducteurs a été faite en utilisant le système des marques de Floy.

Les aquariums étaient observés dans la journée afin d'identifier les femelles en incubation. Lorsqu'une femelle était jugée en incubation, les deux autres et le mâle étaient transférés en bacs de stockage. Au bout de 11 (± 2) jours après la fécondation (PF), les larves étaient récupérées de la cavité buccale de la femelle, comptées puis transférées dans des cages moustiquaires placées en aquarium, jusqu'à l'âge de 20 à 23 jours PF. Des aquariums, les alevins d'environ 23 jours PF étaient transférés en bacs bétonnés équipés de cages moustiquaires de 0,5x0,5x0,75 m jusqu'à l'âge de 75 jours PF avec une densité initiale de 300 à 500 alevins par cage. Ceux-ci ont ensuite été transférés dans des cages de 1x1x1 m jusqu'à l'âge de 120 jours PF.

L'aliment, un composé vitaminé complet pour alevins de Salmonidés, était distribué six fois par jour à une ration de 6 à 20 % de la biomasse.

Une cinquantaine d'alevins par ponte (lorsque le nombre d'alevins présents au moment des mesures le permettait) ont été pesés (g) et mesurés (cm, longueur totale) à 75 et 120 jours PF.

Méthodes statistiques

Les modèles statistiques appliqués aux données sont ceux décrits par Becker (1984) et Bulmer (1985). Deux types d'analyse ont été réalisés : l'une sur les moyennes par type de croisement (Analyse I), et l'autre sur les données individuelles de chaque alevin mesuré (Analyse II).

ANALYSE I, MODÈLE 1

$$E(Y_{ij}) = \mu + G_i + G_j + m_j ; i \neq j$$

où Y_{ij} , μ , G_i (G_j) et m_j représentent respectivement la valeur moyenne observée pour le ij -ème type de croisement ; la

moyenne générale ; l'aptitude générale au croisement de la i -ème souche (j -ème souche) ; et l'effet maternel. L'effet maternel a été retenu au lieu de l'effet réciproque car certains croisements n'ont produit qu'une seule ponte, et la manifestation d'un effet maternel est la raison biologique la plus probable à la manifestation d'un effet réciproque.

ANALYSE I, MODÈLE 2

$$E(Y_{ij}) = \mu + a_i$$

$$E(Y_{ij}) = \mu + h + (1/2 a_i + h_j) + (1/2 a_j + h_i) ; i \neq j$$

où \bar{h} , h_i (h_j) et a_i (a_j) représentent respectivement l'hétérosis moyenne parmi toutes les souches dans tous les croisements ; l'hétérosis de la i -ème (j -ème) souche et l'effet génétique additif de la i -ème (j -ème) souche. Toutes les estimations sont des écarts de la moyenne générale.

ANALYSE II

$$Y_{ijkl} = \mu + c_i + M_{ij} + F_{ijk} + e_{ijkl}$$

où Y_{ijkl} , c_i , M_{ij} , F_{ijk} et e_{ijkl} représentent respectivement la valeur observée du l -ème alevin de la sous-classe ijk ; l'effet du i -ème type de croisement ; l'effet du mâle j dans le type de croisement i ; l'effet de la femelle k croisée au mâle j dans le type de croisement i ; et l'erreur résiduelle. On utilisera cette erreur pour tester les effets des modèles de l'analyse I. L'analyse statistique est faite par la méthode des moindres carrés (Harvey, 1988), et les tests de F , et t . de Bonferonni (Bailey, 1977 ; Gill, 1978).

Résultats

Au total, 16 pontes ont eu lieu entre 12 mâles et 14 femelles. La distribution des pontes par type de croisement est présentée

au tableau 1. En général, les croisements des espèces et des différentes souches avec *O. aureus* ont été plus productives que les croisements entre les souches de la même espèce. Toutefois, le peu de données que nous possédions nous demande de traiter la valeur d'hétérosis au tableau 1 avec prudence.

Le tableau 2 montre que l'aptitude générale au croisement a eu une influence très significative sur les caractères à 75 jours, et moindre ($P < 0,01$) sur ceux à 120 jours. L'effet additif était important ($P < 0,01$) pour la taille à 75 jours. Les autres facteurs n'ont pas eu d'effet significatif sur la taille et le poids des alevins. Des deux variables aléatoires, seule la variable mère intra-père par type de croisement a eu un effet significatif sur la taille à 120 jours et les poids aux deux âges.

Les paramètres génétiques sont présentés dans le tableau 3. Pour tous les caractères étudiés, les valeurs d'hétérosis moyennées étaient négatives (Tableau 3). Ceci indique que les alevins "intra" souche ont réalisé de meilleures performances que les alevins "inter" souche. Les différences étaient de 0,13 et 0,23 cm pour la longueur totale, et de 0,10 et 0,31 g pour le poids à 75 et à 120 jours, respectivement. Les souches NB et AI ont contribué de manière positive aux performances des alevins. Toutefois, les valeurs moyennes pour la longueur totale et le poids des alevins issus des croisements réalisés avec la souche AM étaient plus basses que la moyenne générale.

Les effets génétiques additifs des trois souches (Tableau 3) étaient significativement différents ($P < 0,01$). La souche AI a donné l'effet génétique additif le plus élevé suivie par les souches NB et AM. Des différences significatives au niveau de l'effet génétique additif ont été observées seulement pour la longueur totale à 75 jours.

Un classement similaire a été observé pour l'aptitude générale au croisement, avec des différences significatives parmi les souches

Tableau 1. Reproduction et production d'alevins par type de croisement entre les souches différentes de *Oreochromis* spp. : AI = *O. aureus* (Israël) ; AM = *O. aureus* (Manzallah) ; et NB = *O. niloticus* (Bouaké).

Type de croisement ^a	Nombre de pontes	Poids moyen des géniteurs (g)		Nombre total d'alevins	Nombre d'alevins/poids femelle
		Mâle	Femelle		
Intra-espèces					
ou souches					
NBxNB	5	202,3	137,1	3.122	4,55
AMxAM	1	133,6	126,0	1.082	8,59
AIxAI	1	219,0	120,0	644	5,37
Inter-espèces					
ou souches					
NBxAM	3	123,6	83,9	1.365	5,42
AMxNB	2	172,0	126,0	1.148	7,98 ^b
NBxAI	1	277,0	187,0	1.050	5,61
AIxNB	1	179,0	121,0	375	3,09
AMxAI	1	183,0	113,0	1.078	9,54
AIxAM	1	133,6	100,0	977	9,77
Moyenne					
Intra-espèces					
ou souche	7	185,0	127,7	693 ^c	6,17
Inter-espèces					
ou souche	9	178,0	121,8	731	6,90
Hétérosis %					11,2

^aLa souche parentale femelle est citée en première position.

^bLa deuxième ponte n'a pas été prise en compte ; la femelle a craché plus de la moitié de ses oeufs.

^cNombre d'alevins par ponte.

Tableau 2. Analyses de variance des poids et longueurs à 75 et 120 jours (j) des alevins de *Oreochromis* obtenus par croisement (dans Tableau 1).

Sources de variation	Degrés de liberté	Carrés moyens des écarts			
		Longueur totale (cm)		Poids (g)	
		75 j	120 j	75 j	120 j
Hétérosis moyenne	1	0,032	0,091	0,021	0,192
Hétérosis de souche	2	0,305	0,058	0,101	0,146
Effet additif	2	1,746*	1,085	0,673	1,744
Effet maternel	3	0,992	1,158	0,522	2,839
Aptitude générale au croisement	2	6,549**	2,627*	2,446**	3,863
Génotype	8	26,277	32,125	18,464	85,161
Père/crois.	4	46,788	154,164	34,972	404,074
Mère/père/crois.	2	1,302	8,611**	6,031**	96,504**
Erreur	(a)	0,370	0,541	0,292	1,549

*P<0,01 ; **P<0,001.

(a) Degré de liberté = 438 et 571 pour les relevés à 75 et 120 jours, respectivement.

Tableau 3. Valeurs estimées par la méthode des moindres carrés des paramètres génétiques relatifs aux caractères de croissance des alevins de *Oreochromis* (voir Tableau 1).

Paramètres	Longueur totale (cm)		Poids (g)	
	75 j	120 j	75 j	120 j
Moyenne générale				
Intra-espèces et souches	3,73	5,09	1,08	2,51
Inter-espèces et souches	3,60	4,87	0,98	2,20
Hétérosis moyenne (\bar{h})	-0,13	-0,22	-0,10	-0,31
Hétérosis de souche (h/h _i)				
<i>O. niloticus</i> NB	0,23	0,14	0,24	0,22
<i>O. aureus</i> AM	-0,55	-0,24	-0,30	0,16
<i>O. aureus</i> AI	0,32	0,10	0,06	-0,38
Effet additif (a)				
<i>O. niloticus</i> NB	0,08 ^b	0,37	-0,03	0,94
<i>O. aureus</i> AM	-1,36 ^c	-1,18	-0,80	-1,51
<i>O. aureus</i> AI	1,28 ^a	0,81	0,83	0,57
Aptitude générale au croisement (G)				
<i>O. niloticus</i> NB	0,27 ^b	0,33 ^a	0,23 ^b	0,69
<i>O. aureus</i> AM	-1,23 ^c	-0,83 ^b	-0,70 ^c	-0,60
<i>O. aureus</i> AI	0,97 ^a	0,50 ^a	0,47 ^a	-0,09
Effet maternel (m)				
<i>O. niloticus</i> NB	0,25	0,23	0,21	0,58
<i>O. aureus</i> AM	-0,26	-0,10	-0,31	-0,53
<i>O. aureus</i> AI	-0,01	-0,13	0,10	-0,05

Les valeurs avec différentes lettres dans une même colonne sont significativement différentes ($P < 0,001$).

au niveau de la longueur totale et du poids. L'emploi de la souche AI dans le croisement a augmenté la taille et le poids à 75 jours, respectivement de 2,20 cm et 1,17 g par rapport à la souche AM. Il en était de même pour la souche NB (0,70 cm et 0,20 g). A 120 jours, l'aptitude générale au croisement des souches s'est fait moins sentir (Tableau 3). Les souches NB et AI ne différaient pas pour la taille. Pour le poids, la contribution de la souche NB par rapport à AM était deux fois plus élevée que celle de AI (1,29 g contre 1,51 g).

Les moyennes des moindres carrés pour chaque caractère par types de croisement sont présentées dans le tableau 4. Les alevins AI ont réalisé les meilleures performances suivis par les alevins NB puis par les alevins AM. A 120 jours toutefois, aucune différence

n'a été observée entre NB et AI. Les alevins issus des croisements NB \times AM σ et AI \times NB σ avaient les poids et les tailles les plus élevés. Les alevins AI \times AM σ , ainsi que ceux de AM \times NB σ , ont donné des résultats de croissance très médiocres.

Il faut souligner que l'ensemble de données dont nous disposions était très limité et ne devrait pas être utilisé pour tirer de fermes conclusions. L'intention était d'illustrer la démarche entreprise. Par exemple, bien que l'analyse ci-dessus ait été réalisée à partir des valeurs moyennes de chaque croisement, certains croisements n'ont produit qu'une seule ponte. Dans ces cas, le terme erreur de l'analyse des observations individuelles, exprimé comme la variance des moyennes, a été utilisé pour tester le caractère significatif des effets observés dans l'analyse I.

Tableau 4. Moyennes estimées par la méthode des moindres carrés par type de croisement pour les souches différentes de *Oreochromis* spp. : AI = *O. aureus* (Israël) ; AM = *O. aureus* (Manzallah) ; et NB = *O. niloticus* (Bouaké).

Type de croisement ^a	Longueur totale (cm)		Poids (g)		Gain (g·jour ⁻¹) ^b
	75 j	120 j	75 j	120 j	
Moyenne générale	3,77	5,01	1,07	2,28	0,027
Intra-espèces et souches					
NBxNB	3,89	5,38	1,13	3,22	0,047
AMxAM	2,51	4,05	0,29	1,08	0,018
AIxAI	5,06	5,96	1,94	3,12	0,026
Inter-espèces et souches					
NBxAM	4,68	5,85	2,05	4,21	0,048
AMxNB	2,71	4,14	0,34	1,18	0,019
NBxAI	3,89	4,64	1,13	1,48	0,008
AIxNB	4,86	5,71	1,82	2,67	0,019
AMxAI	3,51	5,41	0,58	2,49	0,042
AIxAM	2,83	3,97	0,38	1,06	0,015
Coef. Var. %	15,9	14,5	49,0	48,2	-

^aLa souche parentale femelle est citée en première position.

^bPar différence entre les moyennes à 75 et 120 jours PF.

Discussion

Les résultats de cette étude donnent des valeurs négatives d'hétérosis. Cependant, des valeurs positives d'hétérosis pour la croissance chez l'espèce *Oreochromis* ont été rapportées (Jayaprakas et coll., 1988 ; Tave, 1988). L'étude de Jayaprakas et coll. (1988) a montré que la souche d'Égypte de *O. niloticus* a, à 60 jours, une croissance supérieure ($P < 0,05$) à la souche de Côte d'Ivoire. La valeur de l'hétérosis des hybrides F₁ Côte d'Ivoire x Égypte (CE) et des hybrides issus des croisements réciproques (CE) était respectivement de 9,5 et 28,3 % pour la taille et le poids. Pour la croissance des hybrides F₁ des trois souches *O. niloticus* (Côte d'Ivoire, Ghana et Égypte) à 47 jours, Tave (1988) a trouvé des valeurs d'hétérosis comprises entre 3,0 et 11,8 %.

Dans notre cas, les valeurs d'hétérosis négligeables ou négatives relevées pour les hybrides des souches de différentes origines pourraient être attribuées à l'épistasie (Falconer, 1981). Il faut également noter que

dans les études précitées, les différentes souches sont de la même espèce tandis que dans notre cas, il s'agit de souches de deux espèces de *Oreochromis*.

Les paramètres estimés chez la souche AM ont tous donné des valeurs négatives. De même, parmi les trois souches, les alevins intra-souche AM ont donné les résultats de croissance les plus faibles. Cette faible performance des alevins est probablement due au grand nombre d'alevins (8,59·g⁻¹) produit par poids de femelle par cette souche. Ceci peut signifier de plus petits oeufs et de plus petits alevins.

Les valeurs estimées de l'effet génétique additif (a) pour la souche AI étaient très élevées par rapport aux valeurs des paramètres non additifs (G, h et m). La souche NB, quant à elle, semble présenter un intérêt pour le croisement vues ses valeurs positives de G, h et m. Cette souche semble être mieux indiquée comme lignée parentale femelle. Cette étude a montré que les souches NB et AI présentaient des effets génétiques additifs positifs. En outre, l'effet maternel

était important chez la souche NB pour les caractères de croissance étudiés (longueur totale et poids). Ces résultats semblent offrir aux programmes de sélection et d'hybridation la possibilité d'améliorer la croissance des alevins de *Oreochromis* spp. en associant sélection et croisement. Toutefois, le peu de données utilisées dans cette étude ne permettent pas de conclure définitivement, et des travaux supplémentaires devront être réalisés.

Littérature citée

- Bailey, B.J.R. 1977. Tables of the Bonferroni t-statistics. *J. Am. Stat. Assoc.* 72:469-478.
- Becker, W.A. 1984. Manual of quantitative genetics. 4^e éd. Academic Enterprises, Pullman, Washington. 186 p.
- Bulmer, M.G. 1985. The mathematical theory of quantitative genetics. Clarendon Press, Oxford. 255 p.
- Falconer, D.S. 1981. Introduction to quantitative genetics. 2^e éd. Longman, Londres. 340 p.
- Gill, J.L. 1978. Design and analysis of experiments in the animal and medical sciences. Vol. 1. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Harvey, W.R. 1988. User's guide for LSMLMW PC-1 version. Mixed model, least squares and maximum likelihood computer program. Columbus, Ohio. 73 p.
- IDESSA. 1989. Rapport annuel du Département piscicole de l'Institut des Savanes. 14 p.
- Jayaprakas, V., D. Tave et R.O. Smitherman. 1988. Growth of the two strains of *Oreochromis niloticus* and their F₁, F₂ and backcross hybrids, p. 197-201. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Lovshin, L.L. 1982. Tilapia hybridization, p. 279-308. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Nugent, C. 1988. The status of wild and cultured tilapia genetic resources in various countries: Côte d'Ivoire (freshwater culture), p. 22-24. *In* R.S.V. Pullin (éd.) Tilapia genetic resources for aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 16, 108 p.
- Tave, D. 1988. Genetics and breeding of tilapia: a review, p. 285-293. *In* R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.) The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Wohlfarth, G.W. et G. Hulata. 1983. Applied genetics of tilapia. ICLARM Stud. Rev. 6, 26 p.

SESSION IV. BIOLOGIE ET ECOLOGIE

Une nouvelle méthode de comparaison des performances de croissance des poissons, appliquée aux tilapias sauvages et d'élevage*

D. PAULY*

*International Center for Living Aquatic
Resources Management (ICLARM)
MCPO Box 2631, 0718 Makati
Metro Manila, Philippines*

J. MOREAU

*Ecole nationale supérieure agronomique
de Toulouse
145, avenue de Muret
31076 Toulouse, Cedex, France*

F. GAYANILO, JR.

*International Center for Living Aquatic
Resources Management (ICLARM)
MCPO Box 2631, 0718 Makati
Metro Manila, Philippines*

PAULY, D., J. MOREAU et F. GAYANILO, JR., 1996. Une nouvelle méthode de comparaison des performances de croissance des poissons, appliquée aux tilapias sauvages et d'élevage, p. 477-485. *In* R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Cet exposé présente une nouvelle méthode informatique de projection, par des "grilles auximétriques" (diagramme dont l'ordonnée est $\log K$ et l'abscisse est $\log W_{\infty}$, tous deux paramètres de l'équation de von Bertalanffy), de l'échelle probable de performances de croissance d'un taxon donné dont plusieurs populations ont été étudiées. Cette méthode est appliquée au tilapia sauvage, notamment *Oreochromis niloticus* qui est défini en fonction "l'espace" de croissance qu'il occupe, cet espace étant distinct de celui occupé par d'autres espèces de tilapias et autres poissons.

Introduction

La croissance des organismes, y compris la croissance des poissons (par exemple, les

tilapias) est un processus par lequel la taille (poids ou longueur) évolue en fonction du temps. Ainsi, toute description ou comparaison de la croissance doit considérer deux dimensions. Cependant, la comparaison des courbes de croissance, qui met en relation la taille et le temps, n'est pas des plus évidentes. En effet, selon ce que chacun entend par croissance "lente" ou "rapide", on peut se heurter

*ICLARM Contribution no. 864.

*Autre adresse : Fisheries Centre, University of British Columbia, 2204 Main Mall, Vancouver, B.C. Canada V6T 1Z4 ; e-mail : Pauly@fisheries.com.

à de sérieuses contradictions dès que les courbes de croissance se croisent. Ainsi, Kinne (1960) écrit que "les différences de taux de croissance déterminés pour les jeunes poissons ne persistent pas tout au long de la vie. Les poissons initialement à croissance lente peuvent dépasser des poissons initialement à croissance rapide, et atteindre à la fin une longueur par rapport à l'âge supérieure".

Il est probable que ce type de contradiction et le fait que les aquaculteurs préfèrent en général des expressions de croissance autres que les courbes du type von Bertalanffy (Hopkins, 1992) aient pu s'opposer à la réalisation de comparaisons de croissance intra- et interspécifiques chez les tilapias, et par conséquent, aient pu retarder la sélection d'espèces et/ou souches présentant un potentiel de croissance élevé au sein d'un large éventail d'habitats (Pullin, 1988).

Afin de résoudre ce problème, nous combinons ici les deux mesures de performances de croissance mises au point par Pauly (1979), que l'on désigne à présent ϕ et ϕ' (Munro et Pauly, 1983 ; Pauly et Munro, 1984), et qui ont été largement appliquées aux tilapias (Moreau et coll., 1986 ; Pauly et coll., 1988a, 1988b) en même temps que le concept de grille auximétrique de Pauly (1979, 1980). Ces deux mesures reposent sur la fonction de croissance de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938) ou FCVB, selon laquelle,

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad \dots 1)$$

pour la longueur, et

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^b \quad \dots 2)$$

pour le poids, où L_t et W_t sont les tailles moyennes calculées à l'âge t ; L_∞ et W_∞ les tailles asymptotiques, c'est-à-dire la taille moyenne qu'un poisson d'une population donnée atteindrait s'il devait croître indéfiniment ; K est le paramètre exprimant

la courbure de la courbe ; t_0 , l'"âge" auquel la taille = 0 ; et b est l'exposant d'une relation longueur-poids selon laquelle $W = aL^b$ (b étant en général proche de 3, c'est-à-dire proportionnel à "longueur au cube", ou volume). Si les valeurs des paramètres sont adéquates, les équations (1) et (2) peuvent être appliquées à un large ensemble de données de taille par rapport à l'âge. Il existe de nombreuses méthodes de calcul de ces paramètres (Gulland, 1983 ; Pauly, 1984).

On notera que, dans le contexte de cet exposé, aucun des paramètres de la FCVB n'est, à lui seul, une expression de la croissance (c'est-à-dire longueur par rapport au temps ou poids par rapport au temps), L_∞ et W_∞ représentant seulement la taille, et K et t_0 exprimant respectivement le temps⁻¹ et le temps. En revanche, certaines combinaisons de ces paramètres, par exemple $L_\infty \cdot K$, expriment la croissance (ici : l/t , c'est-à-dire un taux de croissance) de manière satisfaisante (Gallucci et Quinn, 1979). Bien qu'exprimés sous forme logarithmique, les indices de performances de croissance

$$\phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_\infty \quad \dots 3)$$

et

$$\phi = \log_{10} K + (2/3) \log_{10} W_\infty \quad \dots 4)$$

expriment correctement un taux de croissance, et sont maintenant largement utilisés pour comparer les performances de croissance de différents poissons et invertébrés ; car leur distribution pour différentes populations de la même espèce est normale et étroite (Moreau et coll., 1986 ; Vakily, 1992). Cette caractéristique permet également de calculer K à partir de L_∞ ou W_∞ quand la valeur de ϕ' ou ϕ est connue pour une population donnée, ou quand les valeurs moyennes de ces indices sont connues pour un certain nombre de populations.

Les pentes de 2 et 2/3 dans les équations (3) et (4) respectivement, qui font que ces indices se comportent ainsi, ont été calculées

par Pauly (1979) à partir d'un grand ensemble de données sur de nombreuses populations de poissons décrites dans Pauly (1978, 1979). L'équation (3) implique que les diagrammes de $\log_{10}K$ par rapport à $\log_{10}L_{\infty}$ auront, en moyenne, une pente de 2. De même, l'équation (4) implique que les diagrammes de $\log_{10}K$ par rapport à $\log_{10}W_{\infty}$ auront, en moyenne, une pente de 2/3.

La grille auximétrique (du Grec : "croissance" et "mesure") est un diagramme logarithmique double du paramètre K de la FCVB par rapport à la taille asymptotique (L_{∞} ou W_{∞}). Une population, dont l'ensemble des paramètres de croissance est donné (L_{∞} , K ou W_{∞} , K), y est représentée par un point unique, et différentes populations de la même espèce auront tendance à former une agrégation de points. Comme les équations (3) et (4) impliquent que ces agrégations peuvent être superposées sur des droites de régression dont la pente est connue, l'agrégation implique aussi que des ellipses peuvent être superposées sur les agrégations de points, avec de longs axes parallèles aux deux pentes dans les équations (3) ou (4), un point d'intersection égal à ϕ' ou ϕ , et des surfaces liées à la variance des ensembles de données représentés.

Ainsi les ellipses, dont la circonférence englobe l'intervalle de confiance de 95 % (S) d'une agrégation de valeurs de L_{∞} , K (ou W_{∞} , K), peuvent être facilement calculées. En outre, la valeur de S exprimant l'espace de L_{∞} , K (ou W_{∞} , K) occupé par une espèce donnée peut, au-delà d'un nombre critique de points ($n \approx 5-6$), être rendu facilement indépendant de n. Une simple méthode d'échantillonnage répétitif permet cette opération (Fig. 1).

La grille auximétrique permet ainsi de quantifier la similarité des courbes de croissance des poissons par :

- la superposition des ellipses (réalisée ici au moyen d'un indice de superposition entre des couples d'ellipses ; voir ci-dessous)
- la distance entre le centre d'un grand nombre d'ellipses, et la construction ultérieure d'un dendrogramme.

Ces méthodes de calcul ont été réalisées à l'aide d'un logiciel nommé AUXIM qui comprend trois sous-programmes décrits sur les figures 1-4 et dans le texte ci-dessous.

Application aux tilapias

La figure 1 est une illustration du premier sous-programme de AUXIM, et représente, au moyen d'une grille auximétrique, les données des tableaux 1 et 2. Comme on pourra le constater sur les figures 1A et 1C, les ellipses peuvent facilement englober les données, révélant un intervalle de confiance de 95 %.

Les figures 1B et 1D illustrent notre méthode de calcul de la surface asymptotique (S_{∞}) pour l'ensemble des données figurant respectivement sur les figures 1A et 1C. Chaque point (i) y représente la moyenne de 20 estimations de surface (S_i) pour un ensemble de couples de valeurs de L_{∞} , K ou W_{∞} , K tirés au hasard, i étant égal à 3, 4... n ; les valeurs de S_i sont alors exprimées par l'équation selon laquelle

$$S_i = S_{\infty} + a \cdot n^k \quad \dots 5)$$

Comme on pourra le constater, S_i diminue avec n car les valeurs de t associées aux degrés de liberté (i-1) diminuent plus rapidement que n'augmentent les valeurs de S_i avec n (voir aussi l'appendice 1).

Les figures 1A et 1C comprennent aussi les ellipses asymptotiques pour les données des tableaux 1 et 2, respectivement. Comme on pourra le constater, ces ellipses asymptotiques sont proches (Fig. 1A) ou égales (Fig. 1C) aux ellipses obtenues sans avoir recours à un échantillonnage répétitif, car les valeurs de n sont, dans ces deux cas, $\gg 6$.

La figure 2 représente la superposition des deux ellipses et donc de deux ensembles de paramètres de croissance (d'après les tableaux 1 et 2). Dans cet exemple, l'indice de superposition est de 0,89, une valeur élevée

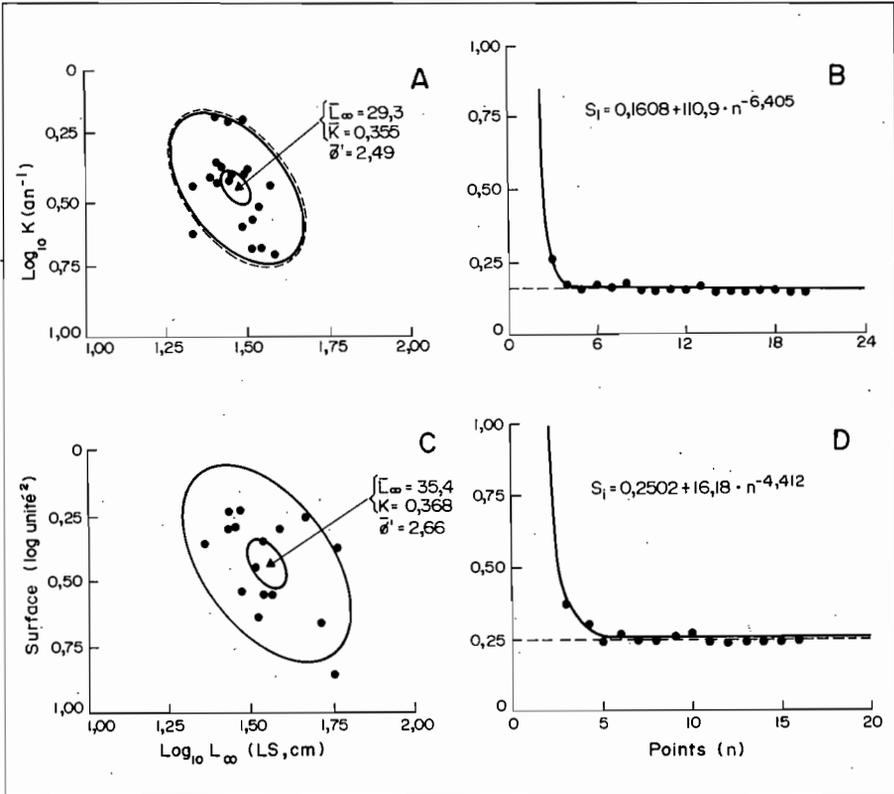


Fig. 1. Intervalle de confiance de 95 % des ellipses délimitant "l'espace de croissance" occupé par deux espèces de tilapias, et diagramme utilisé pour calculer ces ellipses:
 A = Ellipse pour *O. mossambicus*, d'après les données du Tableau 1 ;
 B = Diagramme reposant sur un échantillonnage répétitif des données du Tableau 1 et permettant le calcul de S_{∞} chez *O. mossambicus* ; les points visibles sont $n-2$ (voir aussi l'appendice 2) ;
 C = Ellipse pour *O. niloticus*, d'après les données du tableau 2 ;
 D = Même que pour B, mais pour *O. niloticus*, d'après les données du Tableau 2.
 Noter que chez *O. mossambicus*, S_{20} (en pointillé) est très proche de S_{∞} , tandis que chez *O. niloticus*, S_{16} et S_{∞} se chevauchent complètement.

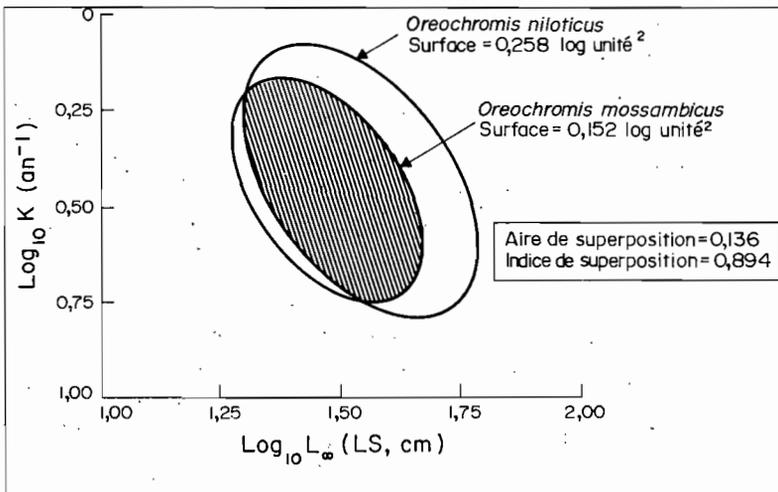


Fig. 2. Superposition des ellipses asymptotiques sur les figures 1A et 1C chez *Oreochromis mossambicus* et *O. niloticus*. Notez l'indice de superposition élevé (0,9), avec des zones séparées représentant des valeurs de ϕ' élevées pour *O. niloticus* et des valeurs de ϕ' faibles pour *O. mossambicus*.

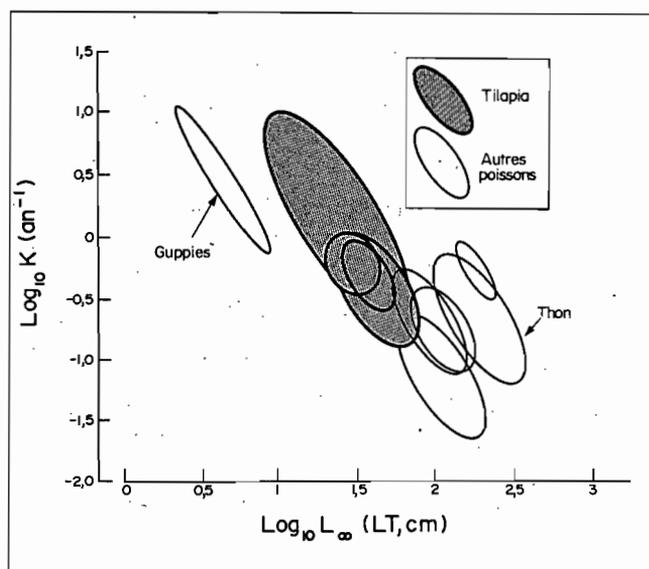


Fig. 3. Grille auximétrique basée sur le fichier du tableau 3, montrant le site et les aires de l'espace L_{∞} , K occupé par 6 espèces de tilapias, et 6 autres espèces de poissons très différents. Les ellipses totalement englobées les unes dans les autres ne sont pas visibles.

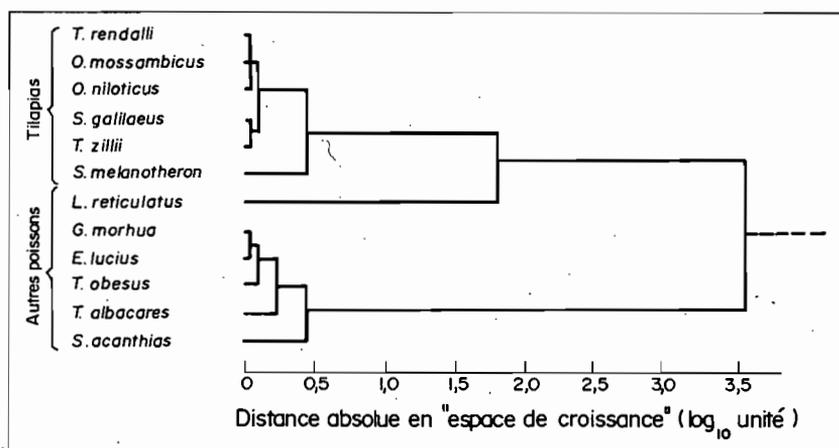


Fig. 4. Dendrogramme des similarités de L_{∞} et K chez les 12 espèces de poissons des tableaux 1-3 et de la figure 3. Notez que *Tilapia* spp., *Oreochromis* spp. et *Sarotherodon galilaeus* forment une agrégation où les degrés de similarité sont très forts, et auquel *S. melanotheron* peut être ajouté (à un degré de similarité moindre), pour former une agrégation bien définie pour les tilapias.

confirmant la grande similarité des performances de croissance des deux espèces comparées ici [cet indice peut être compris entre 1 quand la plus petite des deux ellipses est complètement englobée dans la plus grande, et 0 quand les deux ellipses sont complètement séparées].

Les figures 3 et 4 illustrent le troisième sous-programme de AUXIM qui permet des comparaisons de 20 fichiers à la fois contenant

jusqu'à 200 couples d'estimations de L_{∞} K ou W_{∞} K chacun.

La figure 3 représente la grille auximétrique résultant des fichiers du tableau 3. Celle-ci permet la comparaison de diverses espèces de tilapias avec d'autres groupes d'espèces différentes des tilapias que l'on a fait figurer ici à titre d'illustration.

Comme on pourra le constater, les ellipses représentant les différentes espèces de tilapias

Tableau 1. Exemple d'un fichier nécessaire à l'exécution de AUXIM : paramètres de croissance de von Bertalanffy pour 20 populations de *Oreochromis mossambicus* (adapté de Moreau et coll., 1986, qui donnent des détails sur les sources, les sites, les méthodes de calcul des paramètres, etc.) ; Notez que AUXIM utilise L_{∞} ou W_{∞} , non les deux.

N°	W_{∞} (g)	L_{∞} (LS, cm)	K (an ⁻¹)
1	408	21,6	0,36
2	410	21,7	0,24
3	3.082	38,7	0,20
4	1.725	30,7	0,24
5	655	24,5	0,39
6	1.729	35,1	0,21
7	1.671	34,7	0,30
8	876	28,0	0,38
9	1.450	33,0	0,26
10	897	28,2	0,63
11	1.326	32,0	0,21
12	1.259	32,0	0,41
13	1.082	28,6	0,40
14	770	26,0	0,68
15	719	25,8	0,44
16	737	27,0	0,42
17	675	25,8	0,37
18	1.277	31,2	0,64
19	1.979	37,6	0,36
20	1.132	31,3	0,39

Tableau 2. Paramètres de croissance de von Bertalanffy pour 16 populations de *Oreochromis niloticus* (adapté de Moreau et coll., 1986, qui donnent des détails sur les sources, les sites, les méthodes de calcul des paramètres, etc.).

N°	W_{∞} (g)	L_{∞} (LS, cm)	K (an ⁻¹)
1	1.214	33,4	0,23
2	387	22,8	0,44
3	851	28,6	0,51
4	745	27,2	0,50
5	7.059	57,2	0,14
6	1.579	34,7	0,28
7	1.061	29,4	0,59
8	1.635	34,4	0,45
9	780	27,1	0,58
10	1.013	29,4	0,29
11	1.373	32,6	0,36
12	1.985	36,8	0,28
13	3.504	39,2	0,50
14	7.134	56,3	0,41
15	3.984	46,2	0,55
16	5.663	57,1	0,22

rèvelent une superposition importante et un certain degré de similarité dans leurs performances de croissance. En outre, leurs performances de croissance semblent être bien séparées de celles d'autres poissons dans

"l'espace de croissance" que les poissons occupent sur la grille auximétrique. Les mêmes caractéristiques sont illustrées dans le dendrogramme de la figure 4 où les tilapias forment un groupe homogène, bien distinct

Tableau 3. Détails des fichiers sur les paramètres de croissance qui ont été utilisés avec les tableaux 1 et 2 pour créer les figures 3 et 4 (adapté de Pauly et coll., 1988 ; Moreau et coll., 1986 ; et Pauly, 1978, qui donnent des détails sur les sources, les sites, les méthodes de calcul des paramètres, etc.). Toutes les valeurs de L_{∞} sont exprimées en cm et ont été converties en LT, toutes les valeurs de K sont exprimées en an⁻¹.

<i>Sarotherodon melanotheron</i>		<i>Sarotherodon gallaeus</i>		<i>Tilapia zillii</i>		<i>Tilapia rendalli</i>		<i>Squalus acanthias</i>	
L_{∞}	K	L_{∞}	K	L_{∞}	K	L_{∞}	K	L_{∞}	K
19,4	1,73	37,2	0,465	29,8	0,538	27,0	0,667	132,0	0,074
21,8	1,37	34,7	0,490	26,3	0,603	26,2	0,528	102,0	0,071
19,6	1,65	35,9	0,337	32,9	0,632	36,1	0,523	153,0	0,036
20,9	2,19	27,8	0,670	30,6	0,720	29,3	0,324	84,7	0,092
25,9	1,68	29,0	0,976	27,7	0,334	32,6	0,526	125,0	0,031
26,6	0,30	31,9	0,601	20,4	0,660	29,9	0,504	96,1	0,067
25,9	1,24	32,6	0,660	22,7	0,385	34,9	0,745	129,0	0,034
18,2	2,55	36,6	0,530	18,6	0,510	29,2	0,479	79,7	0,210
19,0	2,93	34,2	0,540			47,9	0,128	101,0	0,110
15,2	7,25	24,1	0,530			33,4	0,467		
33,0	0,16	49,2	0,288			31,6	0,456		
		58,1	0,469			48,0	0,138		
						31,8	0,313		
						48,2	0,177		
						49,3	0,157		
						39,7	0,230		

<i>Thunnus albacares</i>		<i>Thunnus obesus</i>		<i>Gadus morhua</i>		<i>Esox lucius</i>		<i>Lebistus reticulatus</i>	
L_{∞}	K	L_{∞}	K	L_{∞}	K	L_{∞}	K	L_{∞}	K
189	0,560	206	0,380	132,0	0,200	75,0	0,238	5,0	1,74
178	0,660	260	0,125	154,0	0,069	100,0	0,264	2,4	6,90
190	0,660	214	0,106	120,0	0,125	93,3	0,310	3,0	5,11
214	0,420	244	0,183	111,0	0,333	80,6	0,204	5,0	2,12
186	0,564	186	0,608	99,5	0,200	64,4	0,322	2,3	6,87
210	0,327	244	0,114	106,0	0,177	97,5	0,208	6,1	1,10
209	0,454	216	0,167	102,0	0,234	106,0	0,123	4,4	1,98
				112,0	0,154	141,0	0,097	2,6	6,74
				108,0	0,153			4,9	1,77
				123,0	0,232			5,0	1,56
				122,0	0,247			2,2	5,46
								4,2	2,30

*Pour le thon, nous avons utilisé $LF \times 1,1 = LT$, bien conscients que LT ne signifie pas grand chose chez le thon, compte tenu de la rigidité de la fourche caudale.

des autres poissons, tout du moins en ce qui concerne les espèces utilisées ici à des fins de comparaison.

Discussion

Il est certain que la nouvelle méthode présentée ici doit être davantage développée

et appliquée à de nombreuses autres espèces pour que son utilité soit pleinement démontrée.

Ici, nous nous référons seulement aux deux espèces de tilapias dont les performances se chevauchent, *Oreochromis niloticus* et *O. mossambicus*. Comme on pourra le constater sur la figure 2, cette superposition intervient du fait des valeurs moyennes et faibles de ϕ' chez *O. niloticus*. D'autre part, on ne remarque

aucune superposition pour les valeurs de ϕ' plus élevées qui expriment la croissance de *O. niloticus* des grands lacs (naturels et artificiels) d'Afrique (Moreau et coll., 1986). Ceci devrait alors définir, en termes de croissance, la partie de la niche de *O. niloticus* qu'il ne partage pas avec *O. mossambicus*.

Des observations similaires peuvent être faites lorsque l'on considère plusieurs espèces comme celles qui figurent sur la figure 3, et dans le dendrogramme de la figure 4 qui permet des interprétations écologiques des différences de performances de croissance propres à l'espèce. Par exemple, *Tilapia rendalli*, *O. mossambicus* et *O. niloticus* forment une agrégation sur la figure 4. On retrouve le même schéma sur le terrain si l'on considère leurs habitudes alimentaires essentiellement microphages/omnivores très similaires (Costa-Pierce, même volume). L'autre agrégation comprend *Sarotherodon galilaeus* et *T. zillii*, deux espèces de plaines d'inondation. *S. melanotheron*, un détritivore des lagunes côtières de l'Afrique de l'Ouest (Pauly et coll., 1988b) vient compléter l'agrégation des tilapias, celle-ci bien séparée des autres groupes de poissons.

Conclusion

L'idée maîtresse mise en avant ici est que le concept d'"espace de croissance", et le recours à des ellipses pour délimiter cet espace, offrent la possibilité de progresser considérablement dans l'étude de l'écologie des tilapias et autres espèces de poissons.

A l'appui de cette présentation, nous enverrons le programme AUXIM à quiconque en fera la demande (c/o ICLARM, MCPO Box 2631, 0718 Makati, Metro Manila, Philippines).

Remerciements

Nous tenons à remercier Christian Brière du Département de biologie quantitative de l'ENSA à Toulouse qui a prêté main-forte à l'élaboration de la version préliminaire de AUXIM, et à Yongshun Xiao, Paul Fanning,

Bill Warren et John Hoenig pour les suggestions — pas toutes exécutées — qu'ils ont apportées au manuscrit.

Littérature citée

- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries in growth laws, II) Hum. Biol. 10(2):181-213.
- Gallucci, V.F. et T.J. Quinn. 1979. Reparameterizing, fitting and testing a simple growth model. Trans. Am. Fish. Soc. 108:14-25.
- Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment: a manual of basic methods. FAO/Wiley Series on Food and Agriculture, Vol. 1. Wiley Interscience, Chichester.
- Hopkins, D. 1992. Reporting fish growth: a review of basics. J. World Aquacult. Soc. 23:173-179.
- Kinne, O. 1960. Growth food, intake, and food consumption in an eurolastic fish exposed to different temperatures and salinities. Physiol. Zool. 33:288-317.
- Moreau, J., C. Bambino et D. Pauly. 1986. A comparison of four indices of overall fish growth performance, based on 100 tilapia populations (Fam. Cichlidae), p. 201-206. In J.L. Maclean, L.B. Dizon et L.V. Hosillos (éds.) The First Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society, Manille, Philippines.
- Munro, J.L. et D. Pauly. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. Fishbyte 1(1):5-6.
- Pauly, D. 1978. A preliminary compilation of fish length growth parameters. Ber. Inst. Meereskd. Christian-Albrechts-Univ. Kiel 55, 200 p.
- Pauly, D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. Ber. Inst. Meereskd. Christian-Albrechts-Univ. Kiel 63, 156 p.
- Pauly, D. 1980. A new methodology for rapidly acquiring basic information on tropical fish stocks: growth, mortality and stock-recruitment relationships, p. 154-172. In S. Saila et P. Roedel (éds.) Stock assessment for tropical small-scale fisheries. Proceedings of an International Workshop, 19-21 September 1979, University of Rhode Island. International Center for Marine Resources Development, Kingston, Rhode Island.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. ICLARM Stud. Rev. 8, 325 p. (+ feuilles d'errata).
- Pauly, D. et J.L. Munro. 1984. Once more on growth comparison in fish and invertebrates. Fishbyte 2(1):21.
- Pauly, D., J. Moreau et M. Prein. 1988a. Comparison of growth performance of tilapia in open water aquaculture, p. 469-479. In R.S.V. Pullin, T. Bhukasawan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.)

- The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.
- Pauly, D., J. Moreau et M.L. Palomares. 1988b. Detritus and energy consumption and conversion efficiency of *Sarotherodon melanotheron* (Cichlidae) in a West African lagoon. J. Appl. Ichthyol. 4:150-153.
- Pullin, R.S.V, Editor. 1988. Tilapia genetic resources for aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 16, 108 p.
- Sokal, R.R. et F.J. Rohlf. 1981. Biometry. 2^{édition}. W.H: Freeman and Company, San Francisco.
- Vakily, J.M. 1992. Determination and comparison of bivalve growth, with emphasis on Thailand and other tropical areas. ICLARM Tech. Rep. 36, 125 p.

Appendice 1

La figure 5 résume les caractéristiques principales de la méthode utilisée par AUXIM pour tracer les ellipses. (Les équations de croissance sont exprimées en poids mais peuvent être facilement exprimées en longueur) ; à partir de l'équation (4) ci-dessus, nous avons

$$\log_{10} K = \phi - 2/3 \log_{10} W_{\infty}$$

qui est l'équation de l'axe principal de l'ellipse, ϕ étant le point d'intersection avec l'ordonnée.

Simultanément, et parce qu'elle est perpendiculaire, l'équation pour l'axe mineur de l'ellipse est

$$\log_{10} K = Y_0 + 3/2 \log_{10} W_{\infty}$$

où Y_0 est l'ordonnée au point d'intersection avec l'axe d'ordonnée. L'abscisse du point d'intersection de l'axe mineur avec l'axe d'abscisse est

$$X_0 = \log_{10} W_{\infty} - 2/3 \log_{10} K$$

Si une ellipse doit se rapporter à l'intervalle de confiance de 95 % d'une agrégation de points, la longueur (2·a) de l'axe principal doit être liée à l'écart-type de X_0 ; parallèlement, la longueur de l'axe mineur (2·b) doit être liée à l'écart-type de ϕ , ou

$$2 \cdot a = 2 \cdot t \cdot \text{et}(X_0) \cdot 3/2 \cdot (1/((1+(3/2)^2)^{1/2}))$$

$$2 \cdot b = 2 \cdot t \cdot \text{et}(\phi) \cdot 3/2 \cdot (1/((1+(3/2)^2)^{1/2}))$$

où la valeur de t est liée au nombre de points n , t étant égal à 1,96 quand $n \rightarrow \infty$ (Sokal et Rohlf, 1981), et où le facteur $3/2 \cdot (1/((1+(3/2)^2)^{1/2}))$ tient compte du fait que les axes des ellipses ne sont pas parallèles aux axes du système de coordonnées.

Quand les ellipses se rapportent à l'écart-type des valeurs moyennes de $\log_{10} W_{\infty}$ et $\log_{10} K$, les écarts-types pour (X_0) et (ϕ) sont remplacés par les erreurs standard, c'est-à-dire par les erreurs standard pour (X_0) et (ϕ), respectivement.

Appendice 2

AUXIM calcule la surface (S_e) des ellipses asymptotiques en procédant à un échantillonnage répétitif aléatoire des points, comme suit:

Pour toutes les valeurs de n , de 4 au nombre réel de points ($n > 4$), prendre, au hasard, 20 sous-échantillons des ensembles (W_{∞} , K) et, pour chacun, calculer les ellipses comme décrit à l'appendice 1. Calculer alors leurs valeurs moyennes de $\log W_{\infty}$, $\log K$, ϕ , X_0 , $2 \cdot a$, $2 \cdot b$ et, à partir de celles-ci, la surface de l'ellipse moyenne correspondant à toute valeur de n . Enfin, appliquer l'équation (5) à la série de points ainsi obtenus (voir la figure 1).

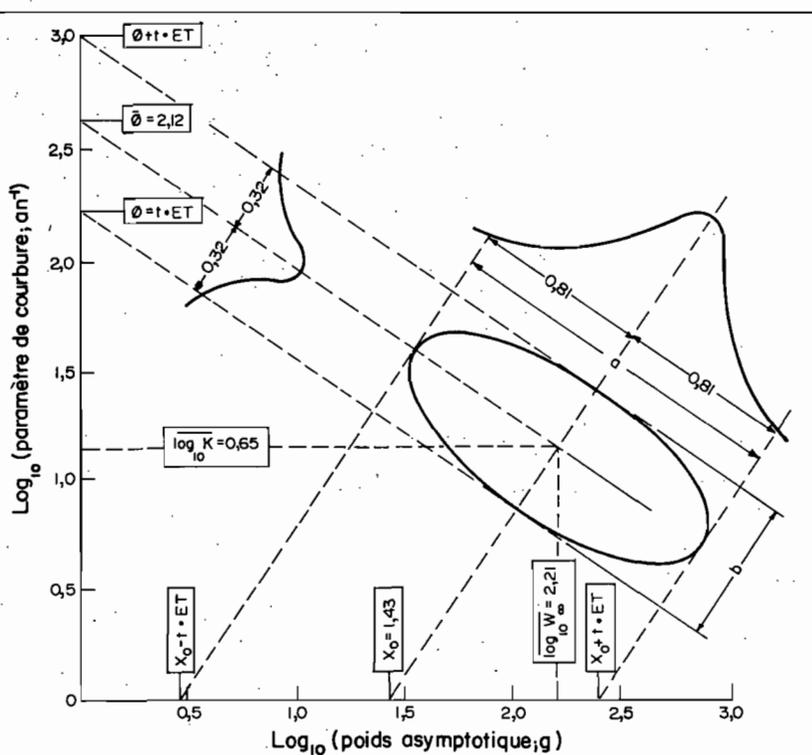


Fig. 5. Représentation schématique de la méthode utilisée pour obtenir des ellipses à partir des valeurs moyennes et de la variance de $\log K$ et $\log W_{\infty}$ (voir le texte).

Survie de *Tilapia guineensis* à de basses concentrations d'oxygène dissous et à un pH peu élevé

K. WOKOMA

Rivers State Ministry of Agriculture
Podium Block Secretariat
Port Harcourt
Nigeria

I.E. MARIOGHAE

African Regional Aquaculture Centre
P.M.B. 5122, Port Harcourt
Nigeria

WOKOMA, K. et I.E. MARIOGHAE. 1996. Survie de *Tilapia guineensis* à de basses concentrations d'oxygène dissous et à un pH peu élevé, p. 486-492. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La survie de *Tilapia guineensis* acclimaté à une salinité de 10 ‰ et à une température de 29°C a été évaluée dans des eaux où les concentrations d'oxygène dissous (OD) sont comprises entre 5,05 et 0,15 mg·l⁻¹, et où le pH se situe entre 3,5 et 2,0. Le seuil de concentration létale de l'OD s'est révélé être 0,18±0,12 mg·l⁻¹. Le taux métabolique des petits poissons (1,4±0,8 g) était de 734 mg·kg⁻¹·heure⁻¹ à de fortes concentrations d'oxygène (6,3±0,79 mg·l⁻¹). Pour les poissons de taille moyenne (10,6±3,0 g), ce taux était de 293 mg·kg⁻¹·heure⁻¹ à de fortes concentrations d'oxygène et de 47 mg·kg⁻¹·heure⁻¹ à de faibles concentrations. Pour le pH, le temps médian jusqu'à mortalité (LT₅₀) augmentait en fonction de l'élévation du pH, de 1,2 heures au pH 2,0 à 62 heures au pH 3,0. Le seuil critique de pH létal médian s'est révélé être 3,3.

Introduction

Tilapia guineensis est un tilapia euryhalin pondéur sur substrat important dans les lagunes et estuaires du littoral ouest-africain (Philippart et Ruwet, 1982) et qui continue de susciter un certain intérêt comme espèce pouvant convenir à l'aquaculture dans ce type de milieu (Payne, 1983). D'où la nécessité d'étudier les facteurs susceptibles d'agir sur sa survie en conditions d'élevage.

Le développement de l'aquaculture dans cette zone estuarienne et côtière passe nécessairement par l'exploitation de sols essentiellement acides sulfureux et par la maîtrise des paramètres de l'eau comme le pH, l'oxygène dissous (OD)

et l'ammoniacale, lesquels affectent la santé et la croissance des poissons. Par ailleurs, le développement de l'aquaculture traditionnelle repose également sur la croissance et le maintien de blooms algales qui entraînent des fluctuations d'OD dans les plans d'eau (Boyd, 1990). Les informations que l'on peut obtenir sur les seuils létaux de l'OD et la consommation d'oxygène des espèces d'élevage permettent une meilleure exploitation des étangs ; toutefois, ces informations font grandement défaut pour *T. guineensis*. Nous avons donc étudié la tolérance de *T. guineensis* à l'OD et au pH, et son taux de consommation d'oxygène en fonction de son poids et de l'oxygène ambiant.

Matériel et méthodes

L'expérience décrite ici a été réalisée avec 150 poissons (poids compris entre 0,01 et 25 g) sur 200 initialement choisis. Tous les poissons provenaient d'un étang d'eau saumâtre de la ferme piscicole du Centre régional africain d'aquaculture à Buguma, dans l'est du delta du Niger au Nigéria. Les paramètres physico-chimiques de l'eau de l'étang relevés alors sont présentés dans le tableau 1. Les poissons ont été placés dans une piscine en plastique (pH $6,6 \pm 0,59$; OD $6,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ et salinité $10,2 \pm 1,8 \text{ ‰}$; moyennes et écarts-types) pendant un minimum de 24 heures sans les nourrir avant de les utiliser.

Expérience avec un pH peu élevé

Deux procédures expérimentales ont été adoptées. Dans la première, 10 poissons de tailles différentes ont été subitement transférés dans de l'eau aérée à un certain pH, jusqu'à ce que mort s'ensuive.

Pour la deuxième procédure, on a laissé s'écouler l'eau (avec certains niveaux d'OD et de pH) qui se trouvait dans un réservoir surélevé de 90 l, dans le vivier contenant 10 poissons, à un débit de 60 ml par minute. A ce débit, il était possible de conserver l'eau du

réservoir pour une journée entière avant de la recycler.

Pour les deux procédures, le pH désiré a été obtenu en mélangeant de petites quantités d'acide sulfurique au milieu. Le pH était contrôlé au moyen du lecteur LITMAX modèle cp-20 et vérifié avec du papier tournesol. Le temps passé jusqu'à la mortalité des poissons a été enregistré pour chaque animal qui était considéré mort quand les battements de l'opercule cessaient et quand il ne répondait plus au toucher. La procédure expérimentale était celle décrite par Alabaster et Lloyd (1980) et Mohamed et Kutty (1987).

Seuils létaux d'oxygène

Chaque poisson était placé dans un respiromètre hermétique (1.155 ml ou 300 ml) jusqu'à asphyxie (Kutty, 1972). La concentration létale d'oxygène (asphyxie) était déterminée directement dans l'eau par une sonde à oxygène dont la performance était confirmée par la technique de Winkler (APHA, 1975). Le test était arrêté quand tout mouvement du poisson cessait.

Consommation d'oxygène

Des individus de *T. guineensis* de poids compris entre 0,5 à 14,4 g ont été utilisés

Tableau 1. Caractéristiques de l'eau d'étang d'où les poissons de l'expérience (*Tilapia guineensis*) ont été obtenus, et de l'eau du milieu d'acclimatation. Les valeurs indiquées sont les moyennes obtenues, les écarts-types, ou la gamme de valeurs.

Paramètres	Eau d'étang	Milieu d'acclimatation
pH	4,33 - 4,68	6,6 ± 0,6
Température (°C)	29,5 ± 2,0	29,3 ± 0,5
Salinité (‰)	9,4 - 10,1	10,2 ± 1,8
Ammoniaque (mg·l ⁻¹)	1,77 - 2,63	0,56 ± 0,20
Oxygène dissous (mg·l ⁻¹)	3,16 - 4,04	6,80 ± 0,70
Nitrate (mg·l ⁻¹)	1,52 - 3,76	idem
Phosphate (mg·l ⁻¹)	1,46 - 2,30	idem
Sulfure (mg·l ⁻¹)	0,01 ± 0,21	idem

pour cette expérience. Chaque poisson était placé dans un respiromètre hermétique et consommait l'oxygène de l'eau. La concentration d'oxygène du milieu était contrôlée toutes les 30 minutes par la sonde à oxygène jusqu'à l'asphyxie des poissons.

Résultats

Expérience avec un pH peu élevé

La relation entre temps de résistance et mortalité des poissons est représentée par une série de courbes sigmoïdes (Fig. 1). Ces courbes se déplacent vers la droite à mesure que le pH du milieu s'élève. Les différents temps auxquels la mortalité atteint 50 % des poissons sont indiqués par des lignes brisées, et les valeurs retenues sont 75 minutes à un pH de 2,0 ; 145 minutes à 2,5 ; 420 minutes à 2,7 ; et 3.695 minutes à 3,0.

Une relation très étroite entre un pH acide et LT_{50} a pu être mise en évidence (Fig. 2) : LT_{50} augmente jusqu'à ce que le pH devienne trop élevé pour qu'une mortalité à 50 % survienne dans les délais expérimentaux.

Concentration létale d'OD

La figure 3 montre la relation entre la concentration d'oxygène dissous où l'asphyxie se produit et le poids du poisson. Bien que l'asphyxie se soit produite à des concentrations plus élevées chez les plus petits poissons (0,35-0,4 $mg \cdot l^{-1}$), le seuil létal moyen ($\pm ET$) pour tous les poissons était de $0,18 \pm 0,12 \text{ mg} \cdot l^{-1}$.

Consommation d'oxygène

L'analyse des données de cette série d'expériences indique que la consommation d'oxygène tend à diminuer à

mesure de la baisse de concentration d'oxygène ambiant, et ce jusqu'à asphyxie quand la consommation d'oxygène devient insuffisante pour assurer le métabolisme.

La figure 4 montre la consommation d'oxygène en fonction du poids du poisson. Le taux de consommation d'oxygène diminue à mesure de l'accroissement du poids des poissons. Aussi, les petits poissons avaient un taux de consommation plus élevé que les plus gros poissons. Les gros poissons consomment bien sûr plus d'oxygène par unité de temps que les petits poissons. La figure 5 illustre les relations entre consommation d'oxygène et poids des poissons dans des conditions de normoxie et d'hypoxie.

Discussion

Survie de T. guineensis à un pH peu élevé

D'après nos résultats, il est clair que toutes les valeurs de pH inférieures à 3,0 sont létales pour *T. guineensis*, avec 100 % de mortalité dans tous les cas. Toutefois, la survie peut atteindre 40 % au pH 3,0, jusqu'à 70 % au pH 3,3 et 100 % au pH 3,4. Une valeur de pH de 3,3 peut donc être considérée comme la valeur où le pH commence à devenir léthal, valeur à laquelle le milieu commence à ne plus convenir au poisson. En revanche, des valeurs de pH comprises entre 3,3 et 3,5 constituent une zone de tolérance. Alabaster et Lloyd (1980) ont pensé qu'il était "peu probable que tous les poissons survivent pour plus de quelques heures dans cette zone de tolérance de pH" (3,0-3,5). Balarin et Hatton (1979) ont aussi estimé que la létalité du pH pour le tilapia était d'environ 3,5. Avec 100 % de survie au pH 3,4, *T. guineensis* semble être assez résistant à un pH peu élevé et devrait

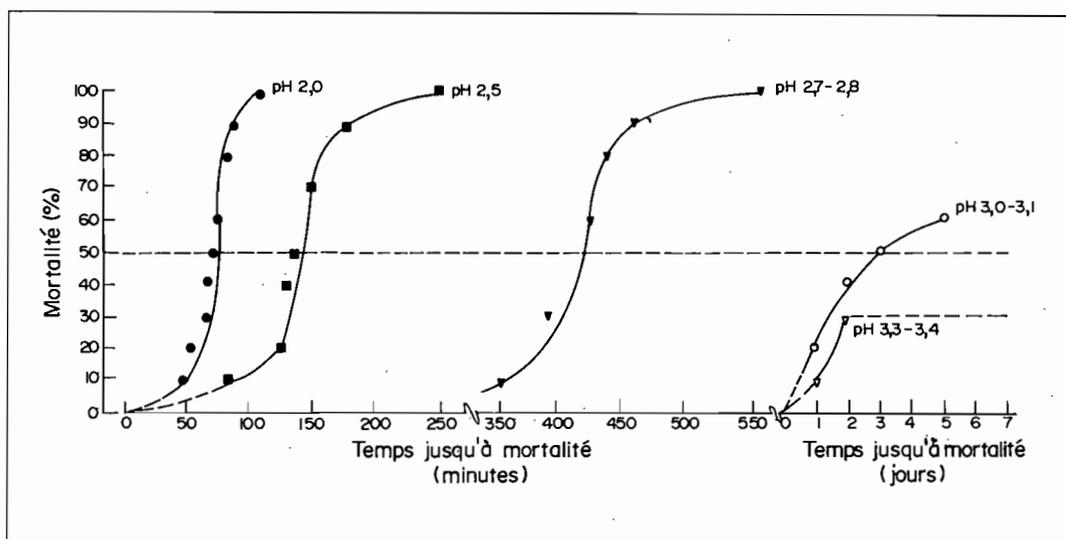


Fig. 1. Temps jusqu'à mortalité des juvéniles de *Tilapia guineensis* (acclimatés au pH 6,6, eau saumâtre) dans divers milieux où les valeurs de pH étaient peu élevées.

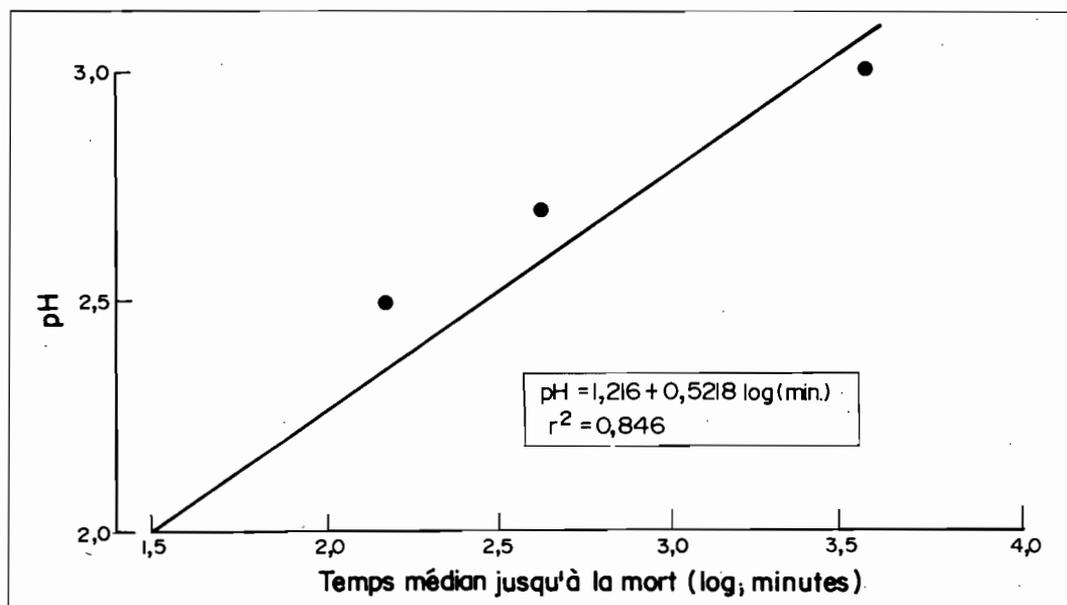


Fig. 2. Relation entre le pH et le temps médian jusqu'à la mort (LT_{50}) des juvéniles de *Tilapia guineensis*.

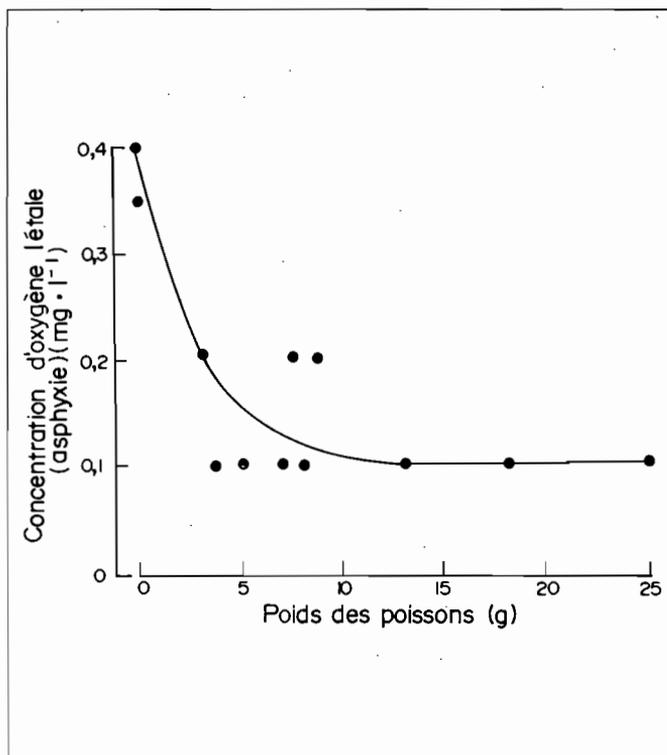


Fig. 3. Concentration létale d'oxygène en fonction du poids pour *Tilapia guineensis*. (Chaque point du tracé représente la moyenne de deux observations).

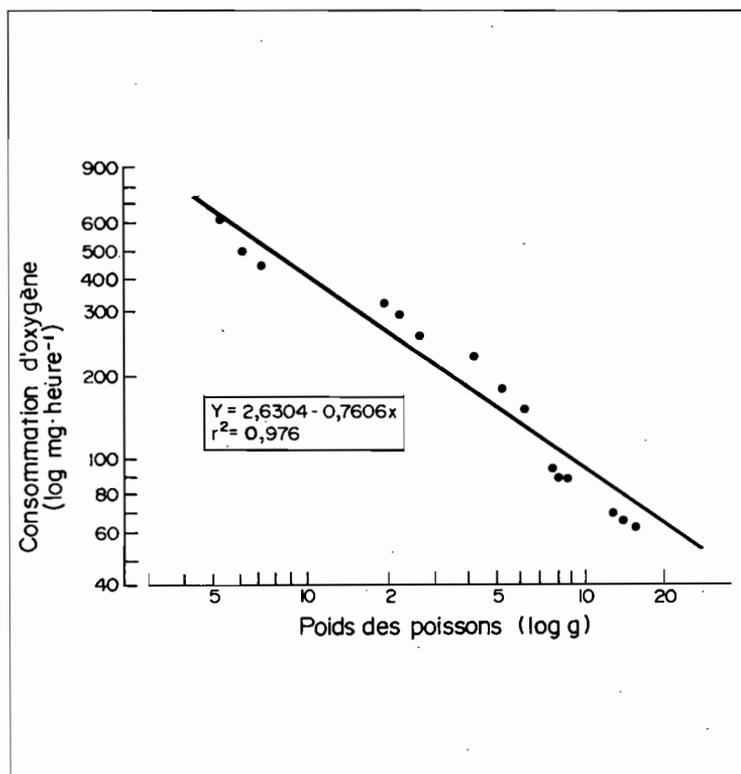


Fig. 4. Expression logarithmique de la relation entre la consommation d'oxygène de *Tilapia guineensis* et le poids des poissons à diverses concentrations d'oxygène ambiant. (Chaque point du tracé représente la moyenne de deux observations).

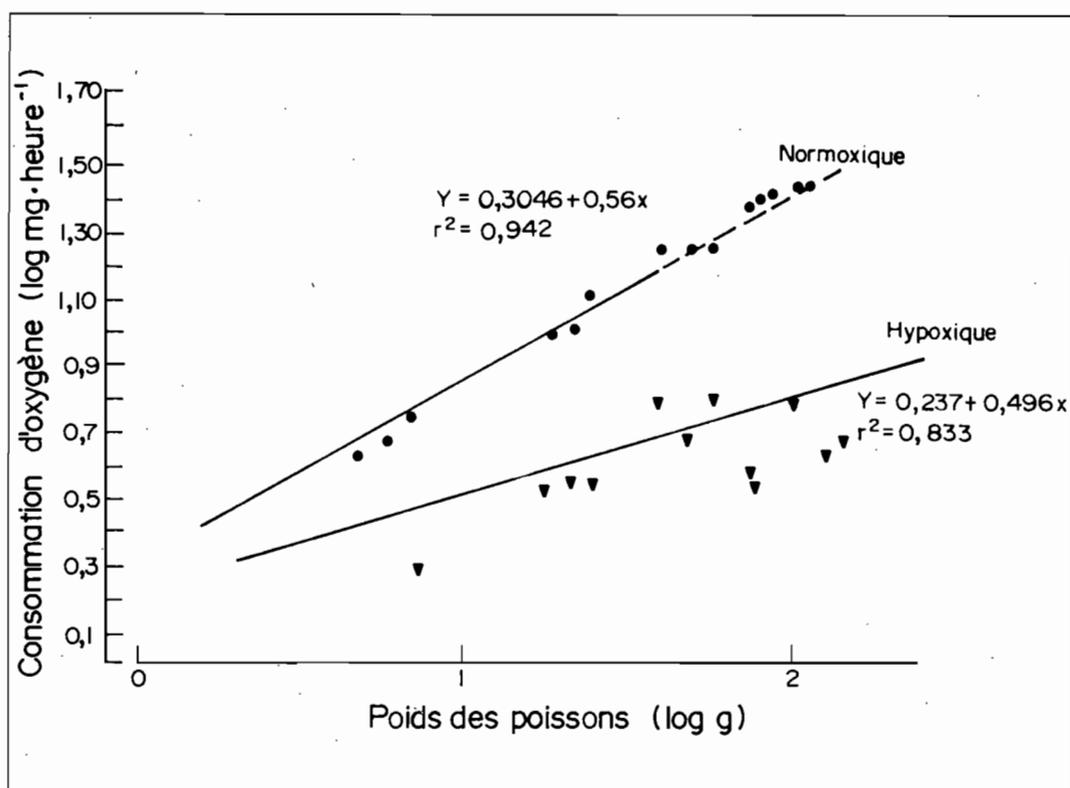


Fig. 5. Consommation d'oxygène (log mg·heure⁻¹) en fonction du poids (log) de *Tilapia guineensis* dans des conditions de normoxie et d'hypoxie. (Chaque point du tracé représente la moyenne de deux observations).

s'adapter quelle que soit l'acidité des étangs. Il n'a cependant pas encore été élucidé à quel point l'acclimatation préalable au pH relativement peu élevé des étangs (4,33 à 4,68) peut avoir contribué au taux satisfaisant de survie des poissons de l'expérience à un pH peu élevé. En tout état de causes, que 40 % des poissons de l'expérience aient survécu au pH 3,0 pendant une semaine est tout à fait remarquable, et fait de *T. guineensis* l'une des espèces de tilapia les plus résistantes aux valeurs peu élevées de pH.

Concentrations létales (asphyxie) d'OD

Bien que la concentration létale d'OD de 0,18 mg·l⁻¹ relevée pour *T. guineensis*

soit bien en deçà de 1,0 mg·l⁻¹ tel que calculé par Magid et Babiker (1975) comme étant le seuil critique pour la plupart des poissons tropicaux, cette valeur se situe quand même dans la fourchette de valeurs relevées pour d'autres Cichlidés (Balarin et Hatton, 1979 ; Philippart et Ruwet, 1982). La survie de *T. guineensis* à un niveau d'OD aussi faible pourrait être due au fait que ce poisson, tout comme un autre tilapia d'estuaire, *Oreochromis mossambicus*, est capable d'anaérobiose à de très faibles niveaux d'OD (Kutty, 1972). Du point de vue de l'aquaculteur tropical, ceci rend l'espèce très désirable pour l'élevage dans des étangs fertilisés où les valeurs d'OD nocturnes et relevées à l'aube peuvent plonger de manière catastrophique (Boyd, 1990).

Consommation d'oxygène en fonction de la concentration d'oxygène ambiant et du poids des poissons

Les courbes sigmoïdes (non fournies) obtenues pour chaque poisson testé montrent que la consommation d'oxygène augmente en fonction des concentrations croissantes de l'oxygène ambiant jusqu'à un certain point au-delà duquel cette relation de dépendance n'existe plus. De même, la consommation d'oxygène diminue en fonction de l'abaissement de la concentration en oxygène (Fry, 1957 ; 1971) jusqu'à un certain point au-delà duquel l'anaérobiose se produit, suivie par l'asphyxie. Le taux de $46,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{heure}^{-1} \pm 16,5 \text{ g}$ ($n=8$) est le taux métabolique le plus bas relevé au cours des présents travaux pour *T. guineensis*. Selon Kutty (1987), ce taux est la valeur la plus proche du métabolisme typique du poisson.

Les résultats de nos expériences révèlent une corrélation négative entre le taux de consommation d'oxygène chez *T. guineensis* et l'unité de poids. La comparaison par analyse de variance de la consommation d'oxygène et des valeurs pondérales des poissons relevées dans des conditions d'hypoxie et de normoxie (Fig. 5) n'a révélé aucune différence significative dans les pentes de régression (0,56 et 0,48) qui sont assez proches de la valeur 0,5 rapportée par Fry (1971) pour d'autres espèces de tilapia.

Remerciements

L'auteur principal remercie vivement le Professeur M.N. Kutty pour l'aide qu'il lui a accordée dans sa capacité de

superviseur principal de ce projet. Il remercie également la CEE pour son appui, et le gouvernement du Rivers State, son employeur.

Littérature citée

- Alabaster, J.S. et R. Lloyd. 1980. Water quality criteria for freshwater fish. Butterworths, Londres. 297 p.
- APHA. 1975. Standard methods for examination of water and waste water. American Public Health Association. 15^e éd. Port City Press, Baltimore, Maryland, E-U. 1268 p.
- Balarin, J.D. et J.P. Hatton. 1979. Tilapia - a guide to their biology and culture in Africa. University of Stirling, Ecosse. 174 p.
- Boyd, C.E. 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Auburn University, Auburn, Alabama. 482 p.
- Fry, F.E.J. 1957. The aquatic respiration of fish, p. 1-63. In M.E. Brown (éd.) The physiology of fishes. Vol. 1 - Metabolism. Academic Press, New York.
- Fry, F.E.J. 1971. The effect of environmental factors on the physiology of fish, p. 1-98. In W.S. Hoar et J.D. Randall (éds.) Fish physiology. Vol. 6. Academic Press, Londres.
- Kutty, M.N. 1972. Respiratory quotient and ammonia excretion in *Tilapia mossambica*. Mar. Biol. Bull. 16(2):126-133.
- Kutty, M.N. 1987. Site selection for aquaculture: chemical features of water. African Regional Aquaculture Centre Work. Pap. ARAC/87/WP/(29), 53 p.
- Magid, A. et M.M. Babiker. 1975. Oxygen consumption and respiratory behaviour of three Nile fishes. Hydrobiologia 46:359-367.
- Mohamed, M.P. et M.N. Kutty. 1987. Observations on low ambient oxygen tolerance in some freshwater teleosts. Experimentia 129-138.
- Payne, A.I. 1983. Estuarine and salt-tolerant tilapias, p. 533-543. In L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Philippart, J.-Cl. et J.-Cl. Ruwet. 1982. Ecology and distribution of tilapias, p. 15-59. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.

SESSION V. PHYSIOLOGIE

Rôle de la prolactine dans l'adaptation du tilapia à des milieux hypo et hyperosmotiques

B. AUPERIN

P. PRUNET

*Laboratoire de physiologie des poissons
Institut national de la recherche agronomique (INRA)
Campus de Beaulieu, F-35042 Rennes Cédex, France*

AUPERIN, B. et P. PRUNET. 1996. Rôle de la prolactine dans l'adaptation du tilapia à des milieux hypo et hyperosmotiques, p. 493-505. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

De nombreux travaux ont mis en évidence le rôle primordial de la prolactine (PRL) dans l'osmorégulation. Lors de transfert de tilapias en milieu hyperosmotique, les concentrations ioniques plasmatiques, le taux de renouvellement ionique et l'activité Na/K-ATPase branchiale augmentent. Les concentrations plasmatiques de PRL chutent. L'hypophysectomie d'animaux en eau douce provoque un déséquilibre de la balance hydrominérale conduisant à la mort des animaux. La supplémentation en PRL permet leur survie en rétablissant le flux net de sodium. En milieu hyperosmotique, l'hypophysectomie n'entraîne pas la mort des animaux. Dans ce milieu la PRL réduit la perméabilité au sodium et provoque une augmentation de la concentration plasmatique en sodium. La PRL semble agir au niveau des cellules à chlorure sans cependant diminuer l'activité Na/K-ATPase branchiale. Le stress lié à l'anesthésie, au confinement ou aux caractéristiques physico-chimiques de l'eau provoque une augmentation de la concentration plasmatique en PRL.

Introduction

Les poissons des genres *Tilapia*, *Sarotherodon* et *Oreochromis* sont caractérisés par leur grande tolérance à un large spectre de conditions environnementales. Ils supportent aussi bien de grandes variations de température (Chervinski, 1982) que de salinité (Dharmamba et Nishioka, 1968 sur *O. mossambicus*; Fukusho, 1969 sur *O. niloticus*), certaines espèces réputées d'eau douce étant rencontrées dans des estuaires ou en mer (voir revue de Stickney, 1986). Ces tolérances s'étendent aussi à la qualité de l'eau : anoxie, pH et azote dissous.

On assiste à des tentatives de développement de l'aquaculture du tilapia dans les zones marginales telles les eaux saumâtres ou l'eau de mer (Payne, 1983). Cependant l'intensification de ce type d'élevage se heurte à des problèmes. En effet les espèces à fortes potentialités aquacoles telles *O. niloticus* ne présentent qu'une faible euryhalinité alors qu'une espèce telle qu'*O. mossambicus* à faible croissance présente une bonne euryhalinité. Ainsi pour les espèces d'intérêt aquacole, Doudet (1986) et Morissens (1987) décrivent de fortes mortalités associées à de faibles taux de croissance lors d'élevages en lagunes d'eau saumâtre. Ces résultats, montrant une faible

résistance des tilapias à la salinité, sont en contradiction avec les résultats de laboratoire. Ceci peut s'expliquer par les fluctuations de milieu (température, salinité, qualité) pendant les cycles d'élevage, non reproduites en laboratoire, aux-quelles doivent résister les animaux pendant de longues périodes.

La compréhension de ces mortalités nécessite l'analyse de l'influence des paramètres du milieu sur la physiologie des poissons, et en particulier sur le contrôle endocrinien de l'osmorégulation. L'acquisition des connaissances reste encore fragmentaire (voir revue de Prunet et Bornancin, 1989).

Dans cet article, nous allons nous limiter à l'étude de la prolactine (PRL) et revoir les principales données bibliographiques, associées à nos propres résultats, concernant cette hormone et son rôle dans l'osmorégulation.

Rappelons sommairement que chez les tilapias la prolactine existe sous deux formes (Specker et coll., 1985 ; Rentier-Delrue et coll., 1989). Elles sont synthétisées à partir de deux gènes distincts (Rentier-Delrue et coll., 1989). Les séquences complètes des deux PRL sont connues (Yamaguchi et coll., 1988 ; Rentier-Delrue et coll., 1989). La plus lourde des deux formes : PRL-I (24 kDa, 188 acides aminés) présente 11 acides aminés de plus que l'autre : PRL-II (20kDa, 177 acides aminés).

Evolution de quelques paramètres physiologiques lors de l'adaptation de tilapias à des milieux hyperosmotiques

Analyse descriptive de quelques paramètres lors de l'adaptation à un milieu hyperosmotique

Des tilapias (*O. mossambicus*) adaptés à l'eau de mer ont des concentrations plasmatiques de Na, de Cl et une pression osmotique légèrement supérieures (5 à

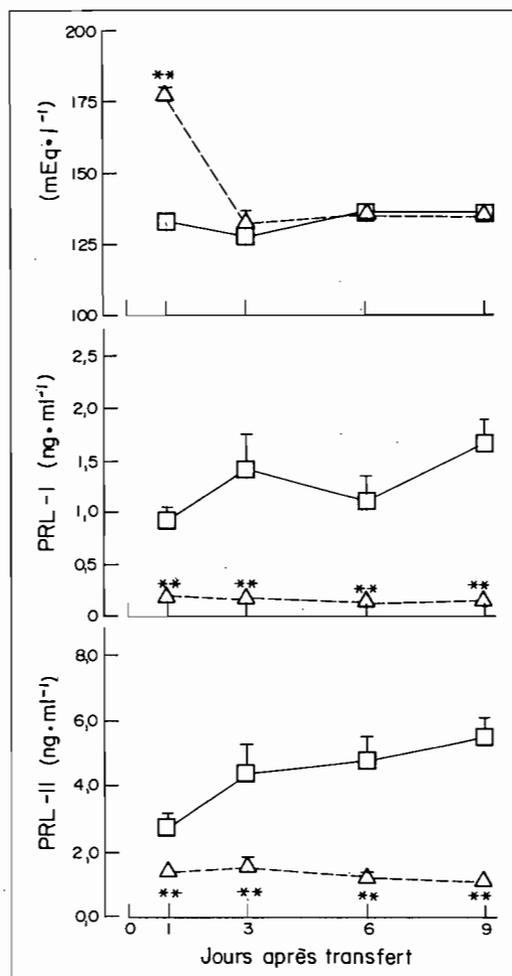


Fig. 1. Evolution des niveaux de Cl, de PRL-I et de PRL-II plasmatiques lors de l'adaptation de *Oreochromis aureus* à un milieu saumâtre (14 ‰). Les expériences ont été réalisées sur des animaux de 70 g de poids moyen. Les prélèvements aux différentes dates après le début du traitement ont toujours été faits à la même heure. Chaque point représente neuf animaux. Carré : animaux témoins en eau douce ; triangle : animaux transférés d'eau douce en eau saumâtre (14 ‰). * : $P < 0,05$; ** : $P < 0,01$.

10 ‰) aux animaux maintenus en eau douce (Tableau 1) (Dharmamba et coll., 1973 ; Dharmamba et coll., 1975 ; Dangé, 1985 ; Young et coll., 1988). Chez *O. aureus*, le transfert direct d'eau douce en eau saumâtre (14 ‰) se traduit par une augmentation des niveaux plasmatiques de chlorure, suivie d'une chute rapide. Après trois jours en eau saumâtre, la chlorémie des animaux

transférés n'est plus significativement différente de celle des animaux maintenus en eau douce (Fig. 1).

L'adaptation à l'eau saumâtre de *O. mossambicus* se traduit par une augmentation de l'activité Na/K-ATPase branchiale comme le montrent soit les mesures directes d'activités (Tableau 1) (Dharmamba et coll., 1975 ; Dangé, 1985 ; Young et coll., 1988), soit des mesures de fluorescence réalisées à l'aide d'ouabaïne fluorescente sur des membranes operculaires (McCormick, 1990).

Enfin, lors de l'adaptation à l'eau de mer, le potentiel transbranchial et le potentiel transépithélial, positifs par rapport au milieu extérieur, augmentent fortement chez *O. mossambicus* (Tableau 1) (Dharmamba et coll., 1975; Young et coll., 1988).

Analyse des mouvements ioniques impliqués dans les variations plasmatiques en ions

Afin de mieux comprendre les variations de concentrations plasmatiques en ions, des

expériences de flux de Na ont été réalisées. Chez les tilapias, *O. mossambicus*, élevés en eau douce, le taux de renouvellement du Na est de 0,15 %·h⁻¹ (Dharmamba et coll., 1973) avec un flux net de sodium positif (entrant). Cette valeur de renouvellement de Na croît à 26 %·h⁻¹ chez des animaux adaptés à l'eau de mer (Dharmamba et coll., 1973).

Cette augmentation du renouvellement en eau de mer peut s'expliquer par une augmentation du flux sortant de sodium (et de chlorure) au niveau des branchies qui est multipliée par 10 fois pour de l'eau de mer diluée au 1/3 et par 200 fois pour de l'eau de mer pure (Tableau 1) (Dharmamba et coll., 1975). Les flux de Cl au niveau de l'opercule membranaire augmentent aussi fortement en eau de mer (Tableau 2) (Foskett et coll., 1981).

En plus de cette modification des flux ioniques, l'adaptation à l'eau de mer de *O. mossambicus* se traduit par une diminution de la perméabilité diffusionnelle à l'eau par rapport aux animaux en eau douce (Potts et coll., 1967).

Tableau 1. Effet de la salinité sur les concentrations plasmatiques de Cl et de Na, sur l'activité Na/K-ATPase branchiale, sur le potentiel transbranchial et les flux de Na (Dharmamba et coll., 1973, 1975; Dangé, 1985; Young et coll. 1988) chez *Oreochromis mossambicus*. Les valeurs sont données comme moyennes \pm ES et les valeurs entre parenthèses représentent le nombre d'échantillons.

		Milieu d'adaptation		
		Eau douce	1/3 eau de mer	Eau de mer
Valeurs plasmatiques ($\mu\text{Eq}\cdot\text{l}^{-1}$)				
Na		158,5 \pm 2,2(12)	163,2 \pm 2,5(9)	163,8 \pm 2,0(11)
Cl		139,0 \pm 1,0(12)	149,5 \pm 2,2(9)	146,2 \pm 1,7(11)
Activités NA/K-ATPases de la fraction microsomale d'épithélium branchial (μmol de Phosphate/heure·milligramme de protéines)		1,5 \pm 0,1(12)	2,8 \pm 0,7(9)	3,5 \pm 0,8(11)
Potentiel transbranchial (Int-Ext) mV			14,7 \pm 1,8(3)	35,2 \pm 3,7(3)
Flux de Na ($\mu\text{Eq}\cdot 100\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	entrant	13,6 \pm 2,5 (8)	116 \pm 29 (6)	746 \pm 79(6)
	sortant	8,4 \pm 1,3 (8)	123 \pm 56 (5)	1.651 \pm 171(8)

Tableau 2. Flux de ^{36}Cl mesurés sous courant de court-circuit au niveau d'opercules membranaires isolés de *Oreochromis mossambicus* adaptés à différents milieux (Foskett et coll., 1981). Les valeurs sont données comme moyennes \pm ES et les valeurs entre parenthèses représentent le nombre d'échantillons.

$\mu\text{Eq}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$	Eau douce	Après 10 jours d'adaptation à l'eau de mer
Flux sortant	0,26 \pm 0,07(6)	2,60 \pm 0,30(5)
Flux entrant	0,18 \pm 0,04(6)	0,50 \pm 0,08(5)
Flux net	0,07 \pm 0,07(-)	2,10 \pm 0,30(-)

Mise en évidence de la concomitance entre les variations de mouvements ioniques et les modifications cellulaires branchiales lors de l'adaptation à un milieu hyperosmotique

L'augmentation de l'excrétion de chlorures décrite précédemment et remise en évidence par Foskett et coll. (1982), peut être corrélée à une modification de cellules à chlorure au niveau de la branchie et de l'opercule membranaire, structure riche en cellule à chlorure excréteur des chlorures (Foskett et Scheffey, 1982). En effet, en eau douce, les cellules à chlorure sont petites et peu développées alors qu'en eau de mer, elles sont riches en mitochondries et présentent un système tubulaire (siège de l'activité Na/K-ATPase) en relation avec la membrane basolatérale, bien développé (Foskett et Scheffey, 1982 : Foskett et coll., 1982).

Foskett et coll. (1982) décrivent deux phases dans les relations entre l'augmentation de l'excrétion de chlorures et les modifications au niveau des cellules à chlorure. La première phase de l'augmentation de l'excrétion des chlorures qui dure trois jours serait liée à une augmentation du nombre de cellules à chlorure. La deuxième phase de l'augmentation de l'excrétion notée après trois jours serait due à une augmentation du diamètre des cellules à chlorure et donc à une augmentation de la sécrétion au niveau de chaque cellule.

Ces travaux d'électrophysiologie et de microscopie permettent de conclure que l'augmentation des flux ioniques transoperculaires observée lors de l'adaptation à l'eau de mer est intimement liée à une augmentation du nombre de cellules à chlorure différenciées, responsables de l'excrétion de chlorures.

Les paramètres endocriniens du plasma

Au niveau endocrinien, l'adaptation à l'eau saumâtre d'*O. mossambicus* se traduit par une chute des niveaux circulants de prolactine. Dès une salinité correspondant à 10 % de celle de l'eau de mer, la chute est marquée (Nicoll et coll., 1981).

Des travaux menés sur *O. aureus* lors d'un transfert en eau saumâtre (14 ‰) montrent que la chute des niveaux circulants de PRL-I et PRL-II a lieu en 24 heures (Fig. 2) (dosages RIA : Aupérin et coll., 1994). L'évolution des niveaux plasmatiques des deux formes suit le même schéma, mais la concentration en PRL-II est plus forte après 15 jours en eau saumâtre que la concentration en PRL-I. Ceci semble indiquer une régulation coordonnée de la sécrétion des deux formes de PRL.

Ces résultats sont en accord avec les études menées in vitro sur *O. mossambicus* indiquant que les hypophysés d'animaux élevés en eau douce synthétisent et sécrètent plus de PRL que celles d'animaux élevés

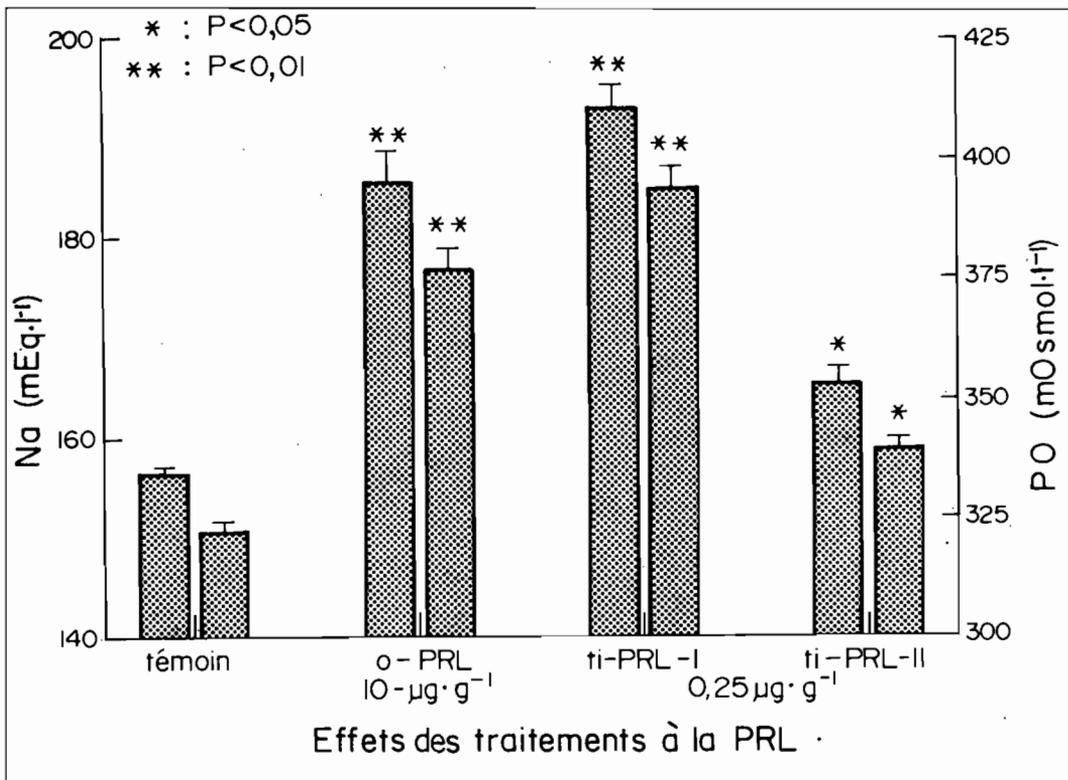


Fig. 2. Effet de traitements avec la PRL (ovine ou de tilapia) sur la pression osmotique (PO) et les concentrations plasmatiques de Na. Les animaux (*Oreochromis niloticus*) étaient adaptés depuis 15 jours à l'eau saumâtre (20 ‰) lors de la première injection. Les injections de PRL ont été réalisées un jour sur deux, 1 heure après le début du jour (12/12) avec un total de quatre injections. Les doses injectées sont : o-PRL : 10 µg·g⁻¹ de poids frais et par injection ; et ti-PRL : 0,25 µg·g⁻¹ de poids frais et par injection (PRL-I et PRL-II fournies par F. Rentier-Delrue). * : P<0,05 ; ** : P<0,01.

en eau de mer (Nagahama et coll., 1975 ; Grau et coll., 1981).

L'adaptation des tilapias à l'eau de mer se traduit donc par une légère augmentation des concentrations ioniques plasmatiques, une augmentation de leur taux de renouvellement, une augmentation de l'activité Na/K-ATPase branchiale et une diminution des concentrations plasmatiques en PRL, ainsi que par une augmentation du potentiel transmembranaire que l'on considère comme responsable de la sortie passive de Na.

Les effets d'hypophysectomie et de supplémentation en prolactine chez des animaux élevés dans des milieux de différente salinité

Les travaux de Handin et coll. (1964) et Dharmamba et coll. (1967) sur des tilapias (*O. mossambicus*) hypophysectomisés ont montré que ces animaux étaient incapables de survivre en eau douce mais que des traitements à la prolactine ovine (o-PRL) permettent leur survie. Ces premiers résultats ont conduit

à la réalisation de nombreux travaux mettant en évidence le rôle de la prolactine dans l'osmorégulation.

Cas d'animaux hypophysectomisés en eau douce

L'élevage de *O. mossambicus* hypophysectomisés dans du milieu de Ringer (milieu isotonique) permet la survie des animaux. Le transfert en eau douce provoque une mortalité de 100 % en 10 jours (Dharmamba et coll., 1967 ; Dharmamba, 1970). Ces mortalités en eau douce sont dues à un déséquilibre de la balance hydrominérale qui se traduit par une chute progressive de la pression osmotique (PO) et de la concentration de Na par rapport aux animaux témoins en eau douce ou aux animaux hypophysectomisés gardés dans du Ringer (Dharmamba et coll., 1967 ; Dharmamba, 1970).

L'analyse des flux de Na montre que l'hypophysectomie de tilapias transférés en eau douce se traduit par une inversion du flux net de sodium : d'entrant, il devient sortant. Cette inversion est due à une forte augmentation du flux sortant passif et une diminution du flux entrant (Tableau 3) (Dharmamba et Maetz, 1972).

Ces résultats sont en accord avec la chute d'activité Na/K-ATPase branchiale et la chute du potentiel transépithélial responsable du flux sortant passif de Na observées chez des animaux hypophysectomisés (Young et coll., 1988).

Cas d'animaux hypophysectomisés en eau douce et supplémentés avec de la prolactine

Des injections journalières de prolactine ovine (10 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de poids vif) chez *O. mossambicus* hypophysectomisés permettent une survie de ces animaux en eau douce pendant plusieurs jours. La pression

osmotique et la concentration en Na plasmatique de ces animaux sont, selon le nombre de jours de traitement, légèrement plus faibles ou égales à celles des animaux témoins opérés non hypophysectomisés (Dharmamba et coll., 1967 ; Dharmamba, 1970).

Des résultats similaires ont été obtenus avec des injections de PRL de tilapia (PRL-I, PRL-II ou un mélange des deux formes) préalablement au transfert des animaux hypophysectomisés en eau douce. Ainsi ces traitements permettent de maintenir au niveau des animaux témoins les concentrations plasmatiques en Na et en Cl ainsi que la PO et le potentiel transépithélial (Specker et coll., 1985 ; Young et coll., 1988). Specker et coll. (1985) ne notent pas de différence d'activité entre les deux formes de PRL sur la rétention de Na.

L'analyse des flux de Na chez les animaux hypophysectomisés transférés en eau douce montre que les injections de PRL ovine chez *O. mossambicus* rétablissent un flux net entrant de Na en diminuant le flux sortant mais ne semblent pas agir sur le flux entrant (Tableau 3) (Dharmamba et Maetz, 1972).

Cas d'animaux Intacts en milieu hyperosmotique

Chez les tilapias (*O. mossambicus*) adaptés à l'eau de mer, des injections de prolactine ovine pendant une période de cinq jours produisent une augmentation de 40 à 50 % de la concentration plasmatique de Na et en Cl et une augmentation de la pression osmotique (Tableau 4) (Clarke, 1973 ; Dharmamba et coll., 1973 ; Dharmamba et Maetz, 1976 ; Herndon et coll., 1991). Des injections de prolactine de tilapia (PRL-I ou PRL-II) réalisées sur *O. niloticus* adapté à l'eau saumâtre (20 ‰) provoquent également une augmentation des concen-

Tableau 3. Flux de Na ($\mu\text{Eq}\cdot 100\text{ g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) au niveau des branchies chez *Oreochromis mossambicus* après six à sept jours en eau douce: Les valeurs sont données comme moyennes \pm ES. Effet de l'hypophysectomie et de la supplémentation en PRL ovine ($10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 1 injection par jour pendant cinq jours) (Dharmamba et Maetz, 1972).

	Flux entrant	Flux sortant	Flux net
Animaux intacts (8)	13,63 \pm 2,49	8,43 \pm 1,27	+5,19 \pm 1,66
Animaux hypophysectomisés (6)	5,58 \pm 2,83	21,56 \pm 3,18	-15,98 \pm 2,32
Animaux hypophysectomisés (7) + NaCl (0,9%)	9,42 \pm 0,89	14,81 \pm 1,35	-5,40 \pm 1,40
Animaux hypophysectomisés (13) + o-PRL ($10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	9,87 \pm 1,24	8,74 \pm 0,94	+1,13 \pm 0,81

Tableau 4. Pression osmotique (PO), concentration en Na plasmatique et flux de Na entrant et sortant ($\mu\text{Eq}\cdot\text{h}^{-1}\cdot 100\text{ g}^{-1}$) chez *Oreochromis mossambicus* adapté à l'eau de mer. Effet d'injection de PRL ovine ($10\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 1 injection par jour pendant cinq jours) et de l'hypophysectomie. (Dharmamba et coll., 1973 : * : Dharmamba et Maetz, 1976 ; et ** : Dharmamba et coll., 1975). Les valeurs sont données comme moyennes \pm ES et les valeurs entre parenthèses représentent le nombre d'échantillons.

	P.O. (mOsmol $\cdot\text{l}^{-1}$)	Concentration en Na plasmatique ($\mu\text{Eq}\cdot\text{l}^{-1}$)	Flux entrant ($\mu\text{Eq}\cdot\text{h}^{-1}\cdot 100\text{ g}^{-1}$)	Flux sortant ($\mu\text{Eq}\cdot\text{h}^{-1}\cdot 100\text{ g}^{-1}$)
Animaux Intacts en eau de mer (5)	293 \pm 7	165,7 \pm 4,5	746 \pm 79(6)**	1.651 \pm 17(8)**
Animaux Intacts en eau de mer + injections de NaCl (5)	294 \pm 9	161,7 \pm 2,5	739 \pm 141,2	1.275 \pm 199,5
Animaux intacts en eau de mer + injections de PRL ovine	414 \pm 10(7)	230,6 \pm 5,2(7)	191 \pm 23,6(5)	321 \pm 61,8(5)
Animaux opérés-fantômes en eau de mer (7)		153,6 \pm 4,8*		
Animaux hypophysectomisés en eau de mer (6)		175,7 \pm 1,5*		

trations plasmatiques de Na et de la PO (Fig. 2), et des concentrations en Cl plasmatiques.

Cette augmentation de Na plasmatique après des injections de PRL peut s'expliquer par une modification de la balance hydrique et de la balance sodique. En effet, les résultats de Wendelaar Bonga et van der Meij (1981) sur des tilapias (*O. mossambicus*) adaptés à un milieu de salinité 9 ‰ (isoosmotique) et pauvre en calcium indiquent que la

prolactine ovine réduit les flux osmotiques entrant et sortant d'eau au niveau de la branchie. Sur cette même espèce adaptée à l'eau de mer, l'augmentation de Na plasmatique suite à des traitements à la prolactine ovine provoque une réduction du renouvellement de Na de 70 à 75 % (Dharmamba et coll., 1973). Ceci est en accord avec la baisse de la perméabilité au Na (Young et coll., 1988) qui se traduit par une diminution de cinq fois du flux entrant

Na, et de quatre fois du flux sortant (Tableau 4). Le flux net sortant est, dans ces conditions, inhibé de 75 % (Dharmamba et coll., 1975).

Ces travaux sont en accord avec ceux de Foskett et coll. (1982) qui montrent que chez les tilapias (*O. mossambicus*) adaptés à l'eau de mer, la PRL ovine inhibe de manière dose dépendante l'excrétion de chlorure et la conductance au niveau de la membrane operculaire. Ces effets sont retrouvés lors d'injection de broyats de la partie rostrale de la *pars distalis* de l'adénohypophyse riche en cellules à prolactine.

Foskett et coll. (1982) suggèrent également que l'inhibition de la sécrétion de chlorure (et par conséquent de Na) après injection de PRL se fait par une réduction de la population des cellules à chlorure excrétrices de sodium et/ou une réduction du transport actif au niveau des cellules restantes. En fait, des travaux récents (Herndon et coll., 1991) montrent qu'un traitement à la prolactine ovine inhibe la différenciation des cellules à chlorure. En effet, le nombre de cellules à chlorure au niveau de l'opercule membranaire ne varie pas mais la taille moyenne (diamètre et hauteur) diminue. Ces cellules à chlorure ne sont plus alors en contact à la fois avec le milieu extérieur et le milieu intérieur. L'effet de la prolactine serait d'inhiber l'hypertrophie et la différenciation des nouvelles cellules à chlorure (Herndon et coll., 1991).

L'ensemble de ces résultats tendrait à suggérer que la prolactine ovine inhibe la Na/K-ATPase branchiale chez des animaux adaptés à l'eau de mer (Dharmamba et coll., 1973). Cependant dans les conditions utilisées par Young et coll. (1988) (deux injections à des animaux hypophysectomisés maintenus dans 25 % d'eau de mer), les deux isoformes de la prolactine ne modifient pas l'activité Na/K-ATPase. Ces résultats sont en accord avec ceux de Herndon et coll. (1991) (Tableau 5) qui ne notent pas

de variations de l'activité Na/K-ATPase suite à cinq injections de prolactine ovine.

Ces deux séries de résultats (diminution du nombre de cellules à chlorure et absence de variation de l'activité Na/K-ATPase) semblent en contradiction et permettent de penser à un effet complexe de la prolactine sur les cellules à chlorure.

Cas d'animaux hypophysectomisés en milieu hyperosmotique

L'hypophysectomie de *O. mossambicus* élevé en eau de mer ne modifie pas significativement les concentrations en Na et Cl par rapport à des animaux intacts en eau de mer (Tableau 4) (Dharmamba et Maetz, 1976) mais produit une inhibition de 50 % du flux sortant de Na (Dharmamba et Maetz, 1976).

Quelle que soit la salinité du milieu, la PRL ovine ou homologue conduit à une augmentation de la PO et des concentrations plasmatiques de Na et Cl. Mais l'action de la prolactine sur les mouvements de sodium semble être différente selon que les animaux soient en eau douce ou en eau de mer. En eau douce, la prolactine n'agit que sur le flux sortant, alors qu'en eau de mer, elle réduit les flux entrant et sortant.

L'ensemble de ces résultats suggèrent que la chute des concentrations plasmatiques de prolactine est une condition nécessaire pour assurer la survie des animaux et une excrétion optimale de sel au niveau de la branchie d'animaux en eau de mer. Cependant l'effet de l'hypophysectomie de tilapias adaptés à l'eau de mer conduisant à une inhibition du flux sortant de Na laisse penser que d'autres mécanismes endocriniens sont en jeu.

Les effets du stress sur les niveaux de prolactine

Nous allons distinguer deux types de stress, le stress lié aux conditions d'élevage

Tableau 5. Nombre et taille des cellules à chlorure au niveau de l'opercule membranaire et activité Na/K-ATPase branchiale chez *Oreochromis mossambicus* adapté à l'eau de mer: Les valeurs sont données comme moyennes \pm ES. Effet de l'injection de PRL ovine ($10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 1 injection par jour pendant 5 jours) (Herndon et coll., 1991).

	Animaux injectés avec NaCl	Animaux injectés avec o-PRL
Nombre de cellules à chlorure (cellules $\cdot\text{cm}^{-2}$)	6.979 \pm 1.825	7.499 \pm 1.258
Taille des cellules à chlorure (μm^2)	325 \pm 55	130 \pm 17
Activité Na/K-ATPase branchiale (mmol ADP $\cdot\text{mg prot}\cdot\text{h}^{-1}$)	9,9 \pm 1.4	11,0 \pm 1.8

(densité d'élevage, manipulation des animaux, etc.) qui provoque chez les Salmonidés des modifications des concentrations plasmatiques de PRL (Avella et coll., 1991) et le stress lié aux caractéristiques physico-chimiques du milieu (pH acide, pollution par des métaux lourds, etc.) qui provoque chez *O. mossambicus* une augmentation de l'activité des cellules à PRL hypophysaires.

Le stress lié aux conditions l'élevage

Deux types d'expérience ont permis de suivre les niveaux plasmatiques de PRL-I et de PRL-II. Nous avons analysé sur *O. niloticus* :

1) l'effet de la méthode de prélèvement : prélèvement rapide lors de la sortie du bac d'élevage, sans anesthésie, technique qui sera prise comme témoin ; prélèvement après anesthésie des animaux en 4 min (0,5 ml phénoxyéthanol $\cdot\text{l}^{-1}$ d'eau) ou en

1 min (1 ml phénoxyéthanol $\cdot\text{l}^{-1}$ d'eau) ; et

2) l'effet de stress par confinement (cinq poissons confinés par une grille dans un espace de 10x40x45 cm) des animaux dans un volume restreint pendant 1 heure puis anesthésiés en 4 min.

Les niveaux circulants de PRL (Fig. 3) sont plus élevés, mais non significativement différents, chez les animaux anesthésiés en 1 min que chez les animaux témoins. Par contre les animaux stressés [présentant des concentrations plasmatiques de cortisol ($93,1\pm 6,3 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$) significativement supérieures aux animaux témoins ($2,4\pm 1,5 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$)] ou anesthésiés en 4 minutes (concentrations de cortisol = $113,8\pm 10,6 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$) ont des niveaux circulants de PRL significativement plus élevés que chez les animaux témoins. Cependant, l'augmentation des niveaux chez les animaux stressés n'est pas significative par rapport aux animaux anesthésiés en 4 min.

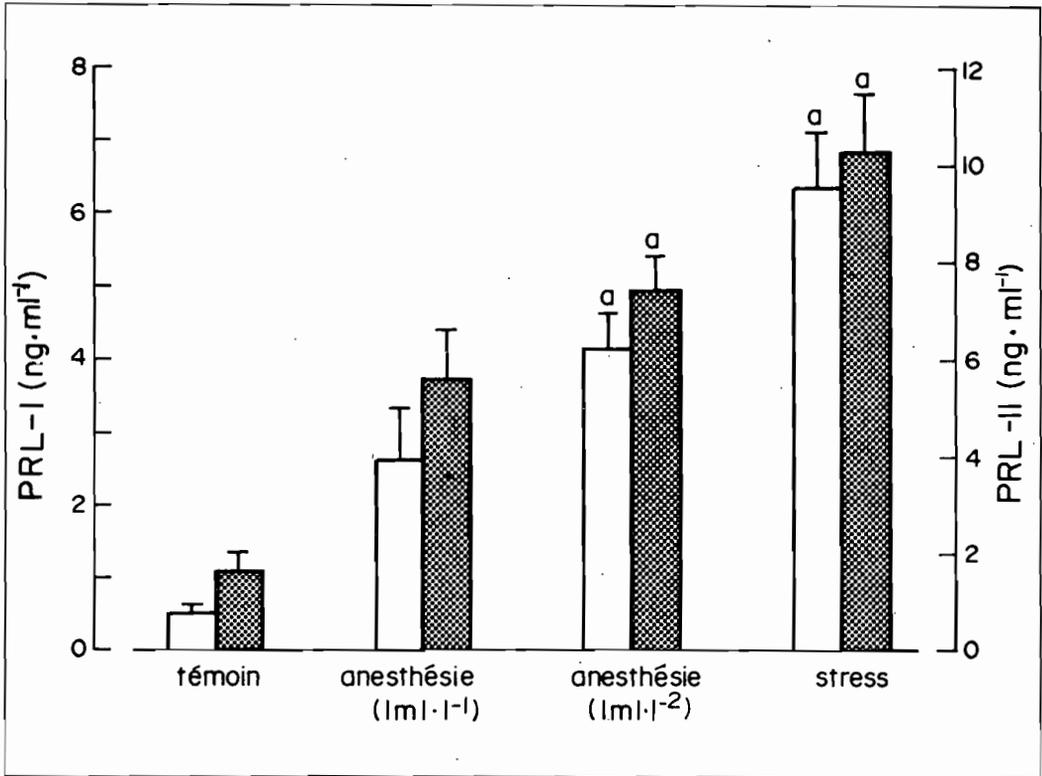


Fig. 3. Effet de l'anesthésie et du stress sur les concentrations plasmatiques de PRL-I et de PRL-II chez *Oreochromis niloticus*. Les animaux sont adaptés pendant 7 jours aux conditions d'élevage. Utilisation de deux doses d'anesthésique (phénoxyéthanol). Le stress est réalisé par confinement des animaux dans un espace réduit de l'aquarium d'élevage pendant des périodes de 1 heure. □ a : $P < 0,05$ par rapport aux animaux témoins.

Le stress lié à des facteurs du milieu

L'exposition aux pH acides (pH 3,5) de *O. mossambicus* provoque un stress sévère conduisant à une réduction prolongée de la PO du plasma (Wendelaar Bonga et coll., 1984). Cette réduction s'accroît pendant les 6 premiers jours après le transfert puis une restauration partielle se produit après 14 jours. Les auteurs décrivent un changement rapide (en 24 heures après le passage en milieu acide) de l'ultrastructure de cellules à prolactine et notent après 14 jours une augmentation de la taille de la partie rostrale de la *pars*

distalis qui passe de 31 à 47 % du volume total de l'hypophyse, suggérant une augmentation de la synthèse et de la libération de la PRL.

A l'issue d'une adaptation de trois mois à des pH acides (4,5), il ne subsiste pas de différence entre les concentrations plasmatiques de sodium des animaux adaptés aux pH acides et des animaux témoins (Flick et coll., 1989).

Ces auteurs indiquent qu'au début de l'expérimentation, le flux entrant de sodium est réduit à 55 % et le flux sortant à 70 % de la valeur trouvée chez les animaux témoins. Par contre, ils décrivent une

restauration du flux sortant après 10 jours. A la fin de cette période, le flux net est nul alors qu'il y a un flux entrant de $93 \text{ nmol}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ chez les animaux à pH 7,0.

Ces résultats confortent les observations faites précédemment, c'est-à-dire que l'augmentation de sécrétion de prolactine observée lors de l'adaptation au pH acide doit être à l'origine de la baisse du flux sortant de Na observée chez ces animaux.

L'effet de pollution par le cadmium induit aussi une réduction transitoire des électrolytes plasmatiques ainsi qu'une augmentation de l'activité des cellules à prolactine, mais cette augmentation n'est que transitoire et disparaît quand les métallothionéines apparaissent dans le foie et les branchies (Fu et coll., 1989 ; Pratap et coll., 1989). Ces protéines de détoxification protègent apparemment les mécanismes osmorégulateurs contre le cadmium.

Conclusion

Cette étude a montré que la prolactine jouait un rôle important chez les tilapias en eau douce. Elle s'avère indispensable à leur survie en réduisant le flux sortant de Na. D'autre part, l'absence de prolactine chez les animaux adaptés à un milieu hyperosmotique semble indispensable puisque cette hormone provoque chez ces animaux une rétention de Na plasmatique qui conduit à la mort des animaux. Dans ce milieu, la prolactine agit en réduisant aussi bien les flux entrant que sortant de Na.

L'application d'un stress (manipulation, confinement, modification de la qualité du milieu d'élevage) conduit à une augmentation rapide et significative des niveaux plasmatiques de PRL. Si ces facteurs induisent également en eau saumâtre une telle augmentation des concentrations plasmatiques de PRL, il est probable qu'ils conduisent à un déséquilibre de la balance

hydrominérale chez ces animaux. Un tel déséquilibre, s'il persiste en milieu hypertonique, pourrait provoquer la mort des animaux et ainsi rendre compte des mortalités inexpliquées qui apparaissent dans certains élevages en lagunes d'eau saumâtre. Cette hypothèse d'une augmentation des concentrations plasmatiques de PRL suite à des fluctuations du milieu au cours des cycles d'élevage serait à approfondir.

Littérature citée

- Avella, M., G. Young, P. Prunet et C.B. Schreck. 1991. Plasma prolactin and cortisol concentrations during salinity challenges of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) at smolt and post-smolt stages. *Aquaculture* 91: 359-372.
- Aupérin, B., F. Rentier-Delrue, J.A. Martial et P. Prunet. 1994. Evidence that two tilapia (*Oreochromis niloticus*) prolactins have different osmoregulatory functions during adaptation to a hyperosmotic environment. *J. Mol. Endocrinol.* 12: 13-24.
- Chervinski, J. 1982. Environmental physiology of tilapias, p. 119-128. In R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.
- Clarke, W.C. 1973. Sodium-retaining bioassay of prolactin in the intact teleost *Tilapia mossambica* acclimated to sea water. *Gen. Comp. Endocrinol.* 21:491-512.
- Dangé, A.D. 1985. Branchial Na/K-ATPase activity during osmotic adjustments in two freshwater euryhaline teleosts, tilapia (*Sarotherodon mossambicus*) and orange chromid (*Etroplus maculatus*). *Mar. Biol.* 87:101-107.
- Dharmamba, M. 1970. Studies of the effects of hypophysectomy and prolactin on plasma osmolarity and plasma sodium in *Tilapia mossambica*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 14:256-269.
- Dharmamba, M. et R.S. Nishioka. 1968. Response of prolactin-secreting cells of *Tilapia mossambica* to environmental salinity. *Gen. Comp. Endocrinol.* 10:409-420.
- Dharmamba, M. et J. Maetz. 1972. Effects of hypophysectomy and prolactin on the sodium balance of *Tilapia mossambica* in fresh water. *Gen. Comp. Endocrinol.* 19:175-183.
- Dharmamba, M. et J. Maetz. 1976. Branchial sodium exchange in seawater-adapted *Tilapia mossambica*: effects of prolactin and hypophysectomy. *J. Endocrinol.* 70:293-299.

- Dharmamba, M., R.I. Handin, J. Nandi et H.A. Bern. 1967. Effect of prolactin on freshwater survival and on plasma osmotic pressure of hypophysectomized *Tilapia mossambica*. Gen. Comp. Endocrinol. 9:295-302.
- Dharmamba, M., N. Mayer-Gostan, J. Maetz et H.A. Bern. 1973. Effects of prolactin on sodium movement in *Tilapia mossambica* adapted to sea water. Comp. Endocrinol. 21:179-187.
- Dharmamba, M., M. Bornancin et J. Maetz. 1975. Environmental salinity and sodium and chloride exchange across the gill of *Tilapia mossambica*. J. Physiol. (Paris) 70:627-636.
- Doudet, T. 1986. Projet pilote de développement de l'aquaculture lagunaire (Côte d'Ivoire). Rapport annuel, Cent. Tech. For. Trop., Nogent-sur-Marne, France.
- Flick, G., J.A. Van Der Velden, H.C.M. Seegers, Z. Kolar et S.E. Wendelaar Bonga. 1989. Prolactin cell activity and sodium fluxes in tilapia (*Oreochromis mossambicus*) after long-term acclimation to acid water. Gen. Comp. Endocrinol. 75:39-45.
- Foskett, J.K. et C. Scheffey. 1982. The chloride cell: definitive identification as the salt secretory cell in teleosts. Science 215:164-166.
- Foskett, J.K., C.D. Logsdon, T. Turner, T.E. Machen et H.A. Bern. 1981. Differentiation of the chloride extrusion mechanism during sea-water adaptation of a teleost fish, the cichlid *Sarotherodon mossambicus*. J. Exp. Biol. 93:209-224.
- Foskett, J.K., T.E. Machen et H.A. Bern. 1982. Chloride secretion and conductance of teleost opercular membrane: effects of prolactin. Am. J. Physiol. 242:R380-R389.
- Fu, H., H. Pratap, R.A.C. Lock et S.E. Wendelaar Bonga. 1989. Effect of cadmium on prolactin cell activity and plasma electrolytes in the freshwater teleost *Oreochromis mossambicus*. Aquat. Toxicol. 14:295-306.
- Fukusho, K. 1969. The specific difference of salinity tolerance among cichlid fishes genus *Tilapia* and histological comparison of their kidneys. Bull. Japan. Soc. Sci. Fish. 35:148-155.
- Grau, E.G., R.S. Nishioka et H.A. Bern. 1981. Effects of osmotic pressure and calcium ion on prolactin release from rostral pars distalis of the tilapia *Sarotherodon mossambicus*. Gen. Comp. Endocrinol. 45:406-408.
- Handin, R.I., J. Nandin et H.A. Bern. 1964. Effect of hypophysectomy on survival and on thyroid and interrenal histology of cichlid teleost, *Tilapia mossambica*. J. Exp. Zool. 157:339-344.
- Herndon, T.M., S.D. McCormick et H.A. Bern. 1991. Effects of prolactin on chloride cells in opercular membrane of seawater-adapted tilapia. Gen. Comp. Endocrinol. 83:283-289.
- McCormick, C. 1990. Cortisol directly stimulates differentiation of chloride cells in tilapia opercular membrane. Am. J. Physiol. 259:R857-R863.
- Morissens, P. 1987. Projet de développement de la pisciculture. Rapport annuel, Cent. Tech. For. Trop., Nogent-sur-Marne, France.
- Nagahama, N., R.S. Nishioka, H.A. Bern et R.L. Gunther. 1975. Control of prolactin secretion in teleosts, with special reference to *Gillichthys mirabilis* and *Tilapia mossambica*. Gen. Comp. Endocrinol. 25:166-188.
- Nicoll, C.S., S.W. Wilson, R. Nishioka et H.A. Bern. 1981. Blood and pituitary prolactin levels in tilapia (*Sarotherodon mossambicus*). Gen. Comp. Endocrinol. 44:365-373.
- Payne, A.I. 1983. Estuarine and salt tolerant tilapias, p. 534-543. In L. Fishelson and Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Tel Aviv University, Israel.
- Potts, W.T.W., M.A.A. Foster, P.P. Rudy et G. Parry Howells. 1967. Sodium and water balance in the cichlid teleost, *Tilapia mossambica*. J. Exp. Biol. 47:461-470.
- Pratap, H.B., R.A.C. Lock et S.E. Wendelaar Bonga. 1989. Effect of waterborne and dietary cadmium on plasma of teleost *Oreochromis mossambicus* in relation to water calcium levels. Arch. Toxicol. 18(4):568-575.
- Prunet, P. et M. Bornancin. 1989. Physiology of salinity tolerance in tilapia: an update of basic and applied aspects. Aquat. Living Resour. 2:91-97.
- Rentier-Delrue, F., D. Swennen, P. Prunet, M. Lion et J.A. Martial. 1989. *Tilapia* prolactin: molecular cloning of two cDNAs and expression in *Escherichia coli*. DNA8, 261-270.
- Specker, J.L., D.S. King, R.S. Nishioka, K. Shirahata, K. Yamaguchi et H.A. Bern. 1985. Isolation and partial characterization of a pair of prolactins released *in vitro* by the pituitary of a cichlid fish, *Oreochromis mossambicus*. PNAS USA 82:7490-7494.
- Stickney R.R. 1986. Tilapia tolerance of saline waters: a review. Prog. Fish-Cult. 48:161-167.
- Wendelaar Bonga, S.E. et J.C.A. Van Der Meij. 1981. Effects of ambient osmolarity and calcium on prolactin cell activity and osmotic water permeability of the gills in the teleost *Sarotherodon mossambicus*. Gen. Comp. Endocrinol. 43:432-442.
- Wendelaar Bonga, S.E., J.C.A. Van Der Meij et G. Flick. 1984. Prolactin and acid stress in the teleost *Oreochromis* (formerly *Sarotherodon*) *mossambicus*. Gen. Comp. Endocrinol. 55:323-332.
- Yamaguchi, K., J.L. Specker, D.S. King, Y. Yokoo, R.S. Nishioka, T. Hirano et H.A. Bern. 1988. Complete amino acid sequences of pair of

fish (tilapia) prolactins, tPRL₁₇₇ and tPRL₁₈₈.
J. Biol. Chem. 263:9113-9121.
Young, P.S., S.D. McCormick, J.R. Demarest, R.J.
Lin, R.S. Nishioka et H.A. Bern. 1988. Effects

of salinity, hypophysectomy and prolactin on
whole-animal transepithelial potential in the
tilapia *Oreochromis mossambicus*. Gen. Comp.
Endocrinol. 71:389-397.

Etude physiologique de l'adaptation de *Oreochromis niloticus* et de *O. aureus* à la salinité^a

M. AVELLA

*Laboratoire de physiologie cellulaire et comparée
Université de Nice, Parc Valrose
06108 Nice Cédex 02, France*

T. DOUDET

*Programme aquaculture et pêche
Département d'élevage et de médecine vétérinaire
Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement (CIRAD-EMVT)
GAMET, B.P. 5095
34033 Montpellier Cédex 1, France*

AVELLA, M. et T. DOUDET. 1996. Etude physiologique de l'adaptation de *Oreochromis niloticus* et de *O. aureus* à la salinité, p. 506-516. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des expérimentations menées dans les lagunes ivoiriennes sur la tolérance des tilapias aux eaux saumâtres ont montré des différences sensibles entre espèces et hybrides de *Oreochromis*, notamment en ce qui concerne leur taux de survie. Afin d'expliquer ces différences, une étude sur la physiologie de l'adaptation à la salinité a été réalisée en choisissant l'espèce la plus tolérante au milieu lagunaire, *O. aureus*, et l'espèce la moins tolérante, *O. niloticus*. Cette étude a été effectuée sur des lots provenant de Côte d'Ivoire (souche de terrain : ST) et sur un lot de *O. niloticus* de même origine mais provenant d'un élevage en laboratoire (souche de laboratoire : SL). Les lots ont été transférés d'eau douce (ED) en eau saumâtre (ES) soit de manière progressive (ED → ES 10 ‰ → ES 20 ‰) soit de manière rapide (ED → ES 20 ‰ → ES 30 ‰). L'adaptabilité a été évaluée au moyen de 4 paramètres : le taux de mortalité, la natrémie plasmatique, l'activité Na⁺/K⁺-ATPase branchiale et l'apparition de cellules à chlorure interlamellaires branchiales.

Il apparaît qu'*O. niloticus* (SL) est la seule à s'acclimater rapidement à 30 ‰ alors qu'*O. niloticus* (ST) tolère difficilement le transfert progressif jusqu'à 20 ‰. Celui-ci est par contre bien supporté par *O. aureus*. Pour chacune des souches, la natrémie plasmatique n'augmente (15 %) que lorsqu'on tend vers le maximum de salinité tolérable. Les mortalités correspondent à une natrémie de 190 μM. L'activité Na⁺/K⁺-ATPase est stimulée mais suit une cinétique différente de celle de la natrémie. Les cellules à chlorure interlamellaires, apparemment rares en eau douce, apparaissent après le transfert en eau saumâtre. Elles deviennent abondantes chez *O. niloticus* (SL) et *O. aureus*.

Les résultats permettent d'établir le classement suivant par ordre de tolérance croissante à la salinité : *O. niloticus* (ST) < *O. aureus* (ST) < *O. niloticus* (SL). Un certain nombre d'hypothèses explicatives sont suggérées.

^aUn rapport plus complet de ces travaux, comprenant également l'ultrastructure des branchies, a été publié par M. Avella, J. Berhaut et M. Bornancin. 1993. Salinity tolerance of two tropical fishes, *Oreochromis aureus* et *O. niloticus*. I. Biochemical and morphological changes in the gill epithelium. J. Fish Biol. 42:243-254.

Introduction

La compétition avec l'agriculture dans l'utilisation du foncier et des ressources hydriques ainsi que la volonté de certains pays d'Afrique tels que le Bénin (Morissens et coll., 1986) et la Côte d'Ivoire (Doudet, 1992) de valoriser les plans d'eau lagunaires, ont incité à développer l'aquaculture des tilapias en eau saumâtre. Beaucoup d'espèces présentent en effet une euryhalinité marquée (Chervinski, 1982 ; Payne, 1983) et de nombreux travaux ont décrits ces espèces dans des régions côtières d'Afrique (Daget et Iltis, 1965 ; Payne et Collinson, 1983).

Cependant, il n'y a pas forcément adéquation entre forte tolérance à la salinité et forte potentialité aquacole, les espèces très euryhalines satisfaisant généralement mal aux critères de rentabilité d'une production intensive. C'est notamment le cas pour *Oreochromis mossambicus* mais la même constatation a pu être faite pour *Sarotherodon melanotheron* et *Tilapia guineensis*, espèces autochtones des milieux

lagunaires ouest africains (Legendre et coll., 1990). En Côte d'Ivoire, cette situation a conduit à mettre en place un programme de comparaison d'espèces et d'hybrides du genre *Oreochromis* d'origine allochtone en vue de sélectionner un tilapia pour l'aquaculture en milieu lagunaire (Doudet, 1992). Des différences sensibles entre espèces et hybrides ont ainsi été mises en évidence, notamment en ce qui concerne leur taux de survie (Tableau 1).

Ces différences pouvant s'expliquer par une aptitude plus ou moins forte des espèces à osmoréguler en milieu hypertonique, une étude de laboratoire sur la physiologie de l'adaptation à la salinité a été initiée en utilisant *O. aureus* et *O. niloticus*. Ces deux espèces ont été retenues vu leurs taux de survie très dissemblables en milieu lagunaire.

L'étude a consisté notamment à suivre l'évolution du sodium plasmatique et de l'activité Na^+/K^+ -ATPasique branchiale ainsi que les modifications intervenant dans la morphologie des épithéliums branchiaux au cours de transferts d'eau douce en eau salée.

Tableau 1. Taux de survie des espèces et hybrides de *Oreochromis* obtenus au cours d'essais effectués en milieu lagunaire en Côte d'Ivoire. Salinité maximum : 15 ‰ ; température moyenne : 27 à 30,5°C ; et durée des essais : 45 à 153 jours (d'après Doudet, 1992).

Numéro de l'essai	Espèces ou hybrides							
	Oa	On x Oa	Om x Ouh	Om	Ouh	On x Ouh	Om x On	On
1	96 ^a	92 ^{ab}	91 ^{ab}	86 ^b	-	-	-	57 ^c
2	-	98 ^a	85 ^b	85 ^b	80 ^b	80 ^b	-	67 ^c
3	-	99 ^a	84 ^b	74 ^c	77 ^c	78 ^c	-	58 ^d
4	85 ^a	77 ^a	-	-	-	-	-	55 ^b
5	91 ^a	-	-	-	-	-	80 ^a	-

Dans un même essai, les moyennes portant la même lettre en indice ne diffèrent pas significativement ($P > 0,05$).

Oa : *Oreochromis aureus* ; On : *O. niloticus* ; Om : *O. mossambicus* ; et Ouh : *O. urolepis hornorum*.

Matériel et méthodes

Matériel biologique et milieux d'adaptation

L'étude a été effectuée sur des lots de *O. aureus* et de *O. niloticus* provenant directement de Côte d'Ivoire (souches de terrain : ST) mais également sur un lot de *O. niloticus* provenant d'un élevage conduit au laboratoire de l'INRA à Rennes depuis plusieurs années (provenance initiale : Bouaké, Côte d'Ivoire, devenue souche de laboratoire : SL). En Côte d'Ivoire, les poissons étaient maintenus à une densité de 9 g·l⁻¹ dans les bassins à terre de 7 m³ en PVC, alimentés en eau de forage. Les animaux ont été transférés à différentes périodes de l'année à l'université de Nice où ils ont été maintenus en eau douce (ED) en circuit fermé à 27°C et à une photopériode de 8-9 heures. Les animaux témoins stabulaient à une densité de 3-12 g·l⁻¹ dans des bacs rectangulaires en PVC, les adaptations se sont effectuées dans des bassins en ciment de 140 l à une densité de 3 g·l⁻¹.

Les expériences de transfert en eau saumâtre (ES) se sont produites à des durées variables après l'arrivée initiale des poissons au laboratoire : pour *O. niloticus* SL, 15 jours ou trois mois après ; pour *O. niloticus* ST, six mois après, et pour *O. aureus* ST, trois mois après.

La composition physico-chimique de l'eau douce d'élevage (1) en Côte d'Ivoire était de (mM) : [Na⁺]=220 ; [K⁺]=30 ; et [Ca⁺⁺]=125 ; et (2) à Nice de : [Na⁺]=148 ; [Cl⁻]=116 ; [K⁺]=14 ; [Ca⁺⁺]=1.585 ; et pH = 7,89.

Les différents milieux saumâtres ont été préparés à l'aide d'eau de mer Méditerranéenne (PO : 1.000 m Osm·l⁻¹ ; et salinité : 36 ‰) diluée avec l'eau douce.

L'étude a été effectuée sur des animaux d'environ 30 g de poids moyen. Ceux-ci ont été transférés en eau saumâtre soit de manière progressive soit, lorsque c'était possible, de manière rapide. Les protocoles de transfert et la fréquence des prélèvements pour les analyses sont repris en figure 1.

Les animaux ont été mis à jeun avant le début de l'expérimentation et n'ont

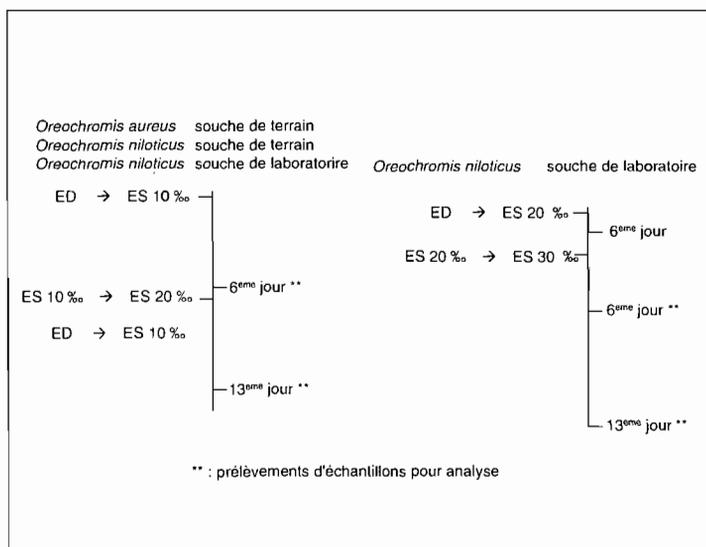


Fig. 1. Protocoles de transfert d'eau douce (ED) en eau saumâtre (ES).

pas été nourris pendant la durée de celle-ci.

Analyse plasmatique

Le sang a été prélevé dans la veine caudale puis centrifugé et le sodium plasmatique a été déterminé au moyen d'un photomètre à flamme Eppendorf.

Activité Na^+/K^+ -ATPase branchiale

Les branchies ont été immédiatement collectées après sacrifice des poissons puis broyées et placées dans une solution contenant 10 % de saccharose et 1 μM de dithiothréitol (pH=7,41). Puis elles ont été centrifugées successivement à 2.000 G pendant 10 minutes, 11.500 G pendant 30 minutes et enfin 30.000 G pendant 30 minutes. Le niveau d'activité microsomale a été déterminé par différence entre les quantités de phosphate inorganique libéré par la préparation membranaire obtenue en présence ou en l'absence d'ouabaïne à 10^{-3} M, les mesures étant faites à l'auto-analyseur TECHNICON suivant la méthode décrite par Bornancin et de Renzis (1976).

Etude morphologique

Pour l'étude en microscopie optique, de petits fragments branchiaux collectés juste après le sacrifice des poissons ont été fixés dans du liquide de Champy-Maillet (Maillet, 1959) pendant environ 10 h puis rincés et déshydratés. Ce fixateur, qui permet une excellente préservation des tissus, colore sélectivement les cellules à chlorure en noir grâce à la réduction du tétraxide d'osmium sur les structures phospholipidiques membranaires. Comme les cellules à chlorure ont un réticulum endoplasmique très développé et une membrane

plasmatique présentant de nombreuses invaginations, elles se colorent spécifiquement (Garcia-Romeu et Masoni, 1970).

Analyse statistique

Les résultats ont été interprétés au moyen d'une analyse de variance à un critère de classification, les moyennes étant comparées deux à deux par la méthode de la plus petite différence significative.

Résultats

Tolérance à la salinité

O. niloticus ST est la souche qui s'adapte le plus mal à la salinité (Tableau 2). Elle tolère difficilement un passage progressif en eau saumâtre à 10 ‰ de salinité (10 % de mortalité) puis à 20 ‰ de salinité (65 % de mortalité finale). Elle ne supporte absolument pas un transfert direct ED \rightarrow ES 20 ‰ (100 % de mortalité). En passage progressif, la mortalité est nulle aussi bien pour *O. niloticus* ST que pour *O. niloticus* SL. Toutefois, *O. aureus* ne s'acclimate pas lors d'un transfert direct ED \rightarrow ES 20 ‰ (100 % de mortalité) alors que *O. niloticus* SL supporte facilement ce passage et peut même tolérer un passage en eau à 30 ‰ de salinité (25 % de mortalité).

Natrémie plasmatique

Lors du maintien à long terme des poissons en eau douce, le Na^+ plasmatique s'avère constant pour toutes les souches mais toujours plus bas chez *O. aureus* ($144,1 \pm 2,1$; n=11) que chez *O. niloticus* ($160,7 \pm 2,3$; n=19) quelle que soit l'origine de la souche (Fig. 2). Chez *O. niloticus* SL, l'augmentation rapide

Tableau 2. Taux de mortalité observés chez *Oreochromis niloticus* et *O. aureus* au cours des transferts d'eau douce (ED) en eau saumâtre (ES). ST = souche de terrain ; et SL = souche de laboratoire.

Modalité de transfert	<i>O. aureus</i> ST	<i>O. niloticus</i> ST	<i>O. niloticus</i> SL
ED→ES 10 ‰→20 ‰ (6 jours) (7 jours)	0 (n=16)	65 (n=14)	0 (n=15)
ED→ES 20 ‰→30 ‰ (2 jours) (4 jours)	100 (n=11)	100 (n=10)	25 (n=20)

n : effectif initial du lot étudié.

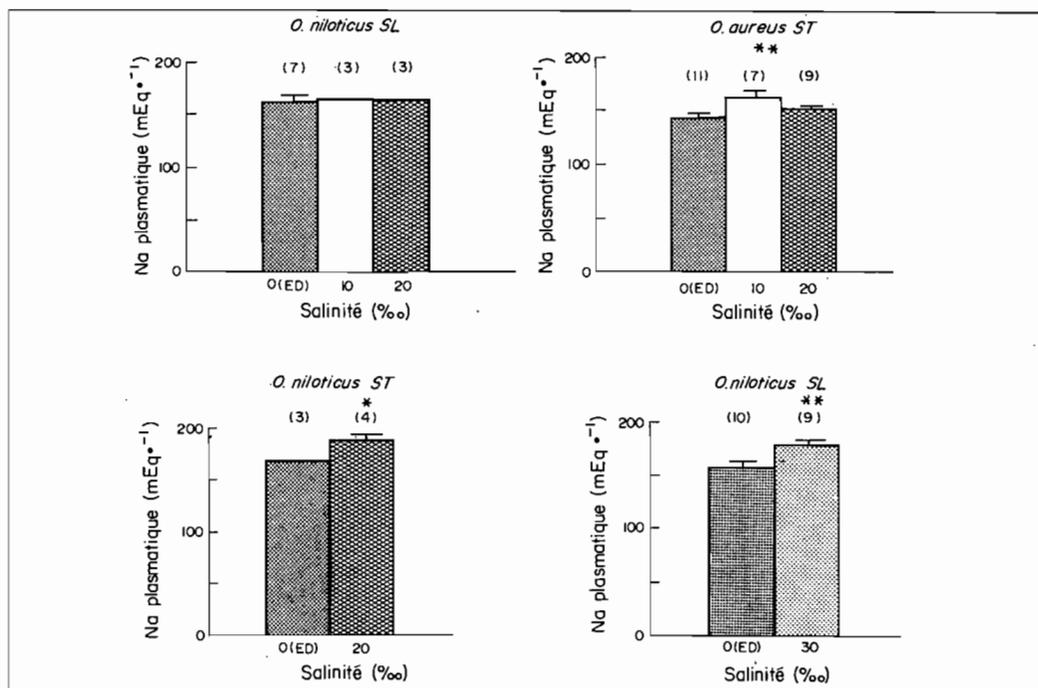


Fig. 2. Evolution des paramètres physiologiques chez *Oreochromis niloticus* souche de laboratoire (SL) et souche de terrain (ST), et *O. aureus* ST au cours du transfert d'eau douce (ED) en eau saumâtre (ES) : natrémie plasmatique. Le nombre d'expérimentations est indiqué entre parenthèses. Comparaisons statistiques : valeurs significativement différentes des témoins *P<0,05 et **P<0,001.

de la salinité externe à 20 ‰ ne modifie pas la natrémie qui n'augmente de façon significative (+13,5 %) qu'après un transfert à 30 ‰. Chez *O. aureus* ST, l'augmentation progressive de la salinité produit à 10 ‰ une stimulation transitoire (+12,5 %) du Na⁺ plasmatique qui retourne à la normale lors du passage à 20 ‰. Enfin, *O. niloticus* ST subit en transfert progressif à 20 ‰ une stimulation drastique de la natrémie (+18,8 %).

Activité Na⁺/K⁺-ATPasique branchiale

L'activité enzymatique, mesurée uniquement chez *O. niloticus* SL et *O. aureus* ST, apparaît deux fois plus faible en eau douce chez cette dernière espèce (Fig. 3). L'effet du passage progressif ED→ES 10 ‰→ES 20 ‰ est très comparable pour ces deux souches en ce qui concerne l'activité enzymatique. Celle-ci n'est stimulée significativement

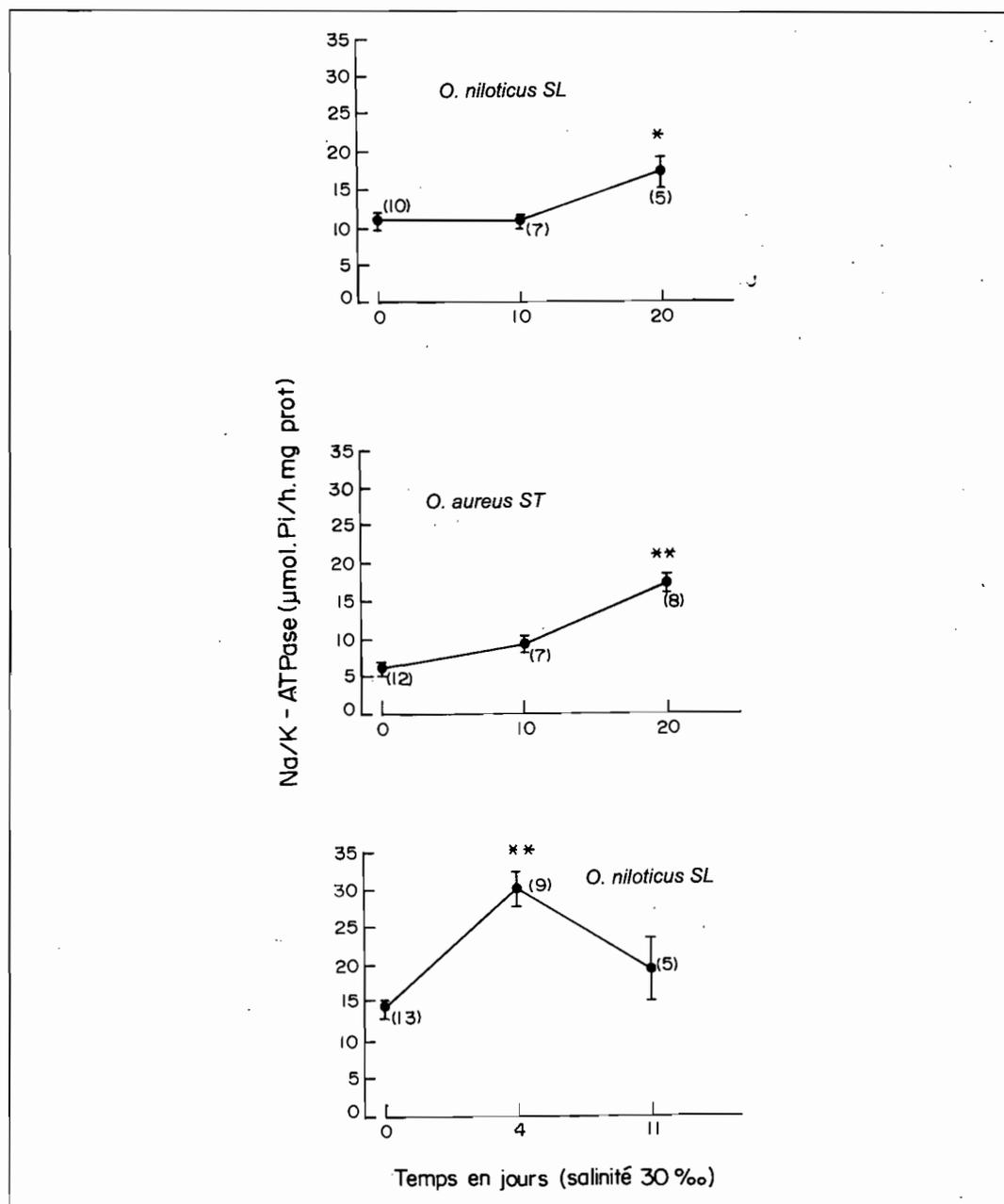


Fig. 3. Evolution des paramètres physiologiques chez *Oreochromis niloticus* souche de laboratoire (SL) et *O. aureus* ST au cours du transfert d'eau douce (ED) en eau saumâtre (ES) : activité Na⁺/K⁺-ATPase. Le nombre d'expérimentations est indiqué entre parenthèses. Comparaisons statistiques : valeurs significativement différentes des témoins *P<0,05 et **P<0,001.

que lors du passage ES 10 ‰ → ES 20 ‰, d'un facteur 1,6 pour *O. niloticus* et d'un facteur 3 pour *O. aureus*. Le transfert rapide ED → ES 20 ‰ → ES 30 ‰, possible uniquement pour *O. niloticus* SL, stimule transitoirement (d'un facteur 2 au bout de quatre jours) l'activité enzymatique branchiale qui retourne à la normale une semaine après.

Morphologie branchiale

En eau douce, quelles que soient l'espèce et la souche étudiées, on constate que les cellules à chlorure (CC) sont absentes au niveau lamellaire (lames secondaires) et rares au niveau interlamellaire (lames primaires) (Fig. 4A). Au cours des transferts en eau saumâtre, il se produit chez *O. niloticus* SL :

- une apparition significative de CC interlamellaires à 10 ‰ (Fig. 4B) ;
- une augmentation du nombre de CC interlamellaires à 20 ‰ (Fig. 4C) ;
- et
- une stabilisation du nombre de CC interlamellaires à 30 ‰ (Fig. 4D).

On observe la même évolution morphologique chez *O. aureus* ST mais l'augmentation du nombre de CC paraît plus faible que chez *O. niloticus* SL lorsque la salinité externe est de 20 ‰. Enfin, à cette même salinité, on observe un faible nombre de CC chez *O. niloticus* ST.

Discussion

Les taux de mortalité relevés au cours du transfert progressif ED → ES 10 ‰ → ES 20 ‰ montrent clairement pour les deux souches provenant directement de Côte d'Ivoire, une tolérance à la salinité bien supérieure chez *O. aureus* que chez *O. niloticus*. Ceci est en accord avec les résultats obtenus en lagune (Doudet,

1992) ainsi qu'avec d'autres observations faites en laboratoire (Watanabe et coll., 1985) et en milieu naturel (Payne et Collinson, 1983). Aucune de ces deux souches ne survit à un transfert direct à 20 ‰ sans une préacclimatation à 10 ‰. Cette étape apparaît donc nécessaire pour réduire le stress osmotique.

La morphologie branchiale des tilapias en eau douce ressemble à celle de poissons sténohalins dulcicoles. Toutefois, les transferts en eau saumâtre induisent une prolifération de CC interlamellaires parallèlement à l'augmentation de salinité. Cette modification de la morphologie est semblable à celle qui se produit lorsque des poissons euryhalins sont placés en eau de mer (Maetz et Bornancin, 1975) et témoigne *a priori* de réelles potentialités d'adaptation à la salinité externe puisque les CC interlamellaires sont impliquées dans l'excrétion de sel en eau de mer (Maetz et Bornancin, 1975). Foskett et coll. (1981) ont d'ailleurs observé sur des membranes operculaires de *O. mossambicus* au cours de l'acclimatation à l'eau de mer, un développement de CC typiques. Ils ont constaté que le nombre de ces CC augmentait au cours des trois premiers jours suivant le transfert en eau de mer, puis ont observé une hypertrophie de ces cellules.

Si on associe l'augmentation du nombre de CC à l'adaptabilité à l'eau saumâtre, nos résultats montrent un développement cellulaire supérieur chez les espèces ou souches tolérant le mieux l'élévation de salinité, c'est-à-dire *O. niloticus* SL, et dans une moindre mesure, *O. aureus* ST.

L'augmentation de la salinité, et notamment le passage à 20 ‰ s'accompagne chez *O. niloticus* et *O. aureus* d'une stimulation de l'activité enzymatique branchiale. Ceci est en accord avec les observations faites sur d'autres

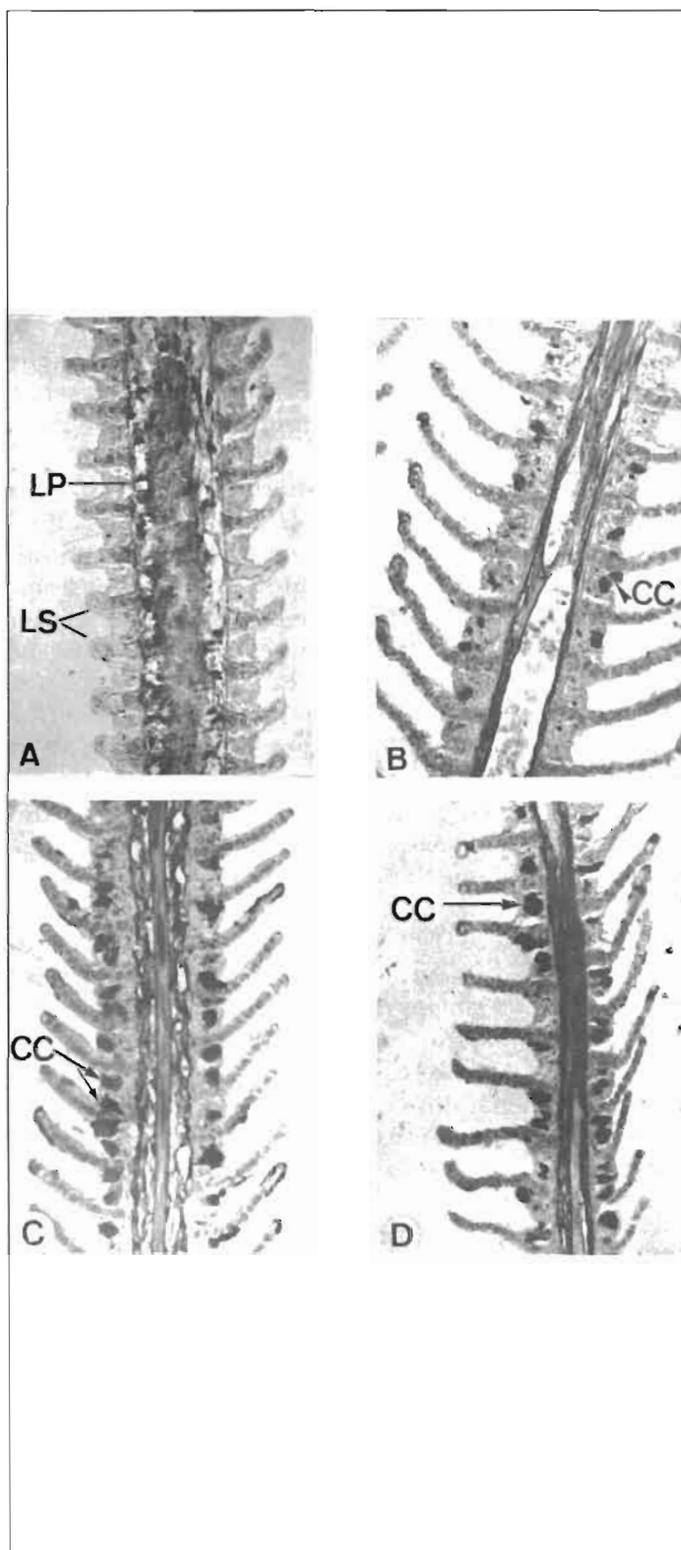


Planche 4. Morphologie de l'épithélium branchial de *O. niloticus* souche de laboratoire (SL) durant le transfert d'eau douce (ED) en eau saumâtre (ES). Observations en microscopie optique (x330). A : eau douce ; B : eau saumâtre à 10 ‰ ; C : eau saumâtre à 20 ‰ ; D : eau saumâtre à 30 ‰ après quatre jours d'acclimation. LP : lamelle primaire ; LS : lamelle secondaire ; et CC : cellule à chlorure.

poissons euryhalins (de Renzis et Bornancin, 1984), en particulier *O. mossambicus* (Dange, 1985). La Na^+/K^+ -ATPase étant responsable de l'excrétion du sodium en eau de mer (Foskett et coll., 1981), l'augmentation de son activité en relation avec l'augmentation du nombre de CC intervient, semble-t-il ici, en réponse au choc osmotique et contribue ainsi à l'osmorégulation. Les structures branchiales qui apparaissent en eau douce s'avèrent donc être fonctionnelles. Les valeurs d'activité enzymatique mesurées au cours de cette étude (entre 5 et 34 $\mu\text{mol Pi/h.mg}$ protéines) se situent dans la fourchette des données disponibles concernant les tilapias soit 1,5 (Dharmamba et coll., 1975), 14,4 (Ho et Chan, 1980) et 66 $\mu\text{mol Pi/h.mg}$ protéines (Balm et coll., 1988). Les différences constatées pourraient résulter soit du mode de préparation des échantillons soit être relatives aux espèces étudiées, les valeurs relevées en eau douce au cours de cette expérimentation étant par exemple deux fois plus élevées pour *O. niloticus* que pour *O. aureus*.

Pour Foskett et coll. (1981), il existe une forte corrélation entre l'accroissement de l'excrétion de sel et la prolifération de CC. Ceci peut s'expliquer par l'apparition d'un plus grand nombre de sites enzymatiques (Thompson et Sargent, 1977), ceux-ci étant localisés au niveau des membranes basolatérales des CC interlamellaires (Karnaky, 1980).

Lors du transfert progressif à 10 puis 20 ‰, l'augmentation de l'activité enzymatique s'accompagne, pour les deux souches s'adaptant parfaitement, soit d'un maintien soit d'une fluctuation transitoire de la natrémie. Toutefois, lors du transfert direct à 30 ‰, l'élévation de la natrémie chez *O. niloticus* SL est associée à une augmentation très importante (d'un facteur 3) de l'activité Na^+/K^+ -ATPasiue. Dharmamba et coll.

(1975) ont mis en évidence un parallélisme intéressant chez *O. mossambicus* entre l'évolution des flux branchiaux de Na^+ et l'activité de la Na^+/K^+ -ATPase. Pour les espèces euryhalines, il semblerait donc que ce soit le taux de Na^+ plasmatique qui stimule la synthèse enzymatique (Valverde et coll., 1982). Chez *O. niloticus* ST, souche qui s'adapte particulièrement mal à la salinité, le transfert en eau saumâtre s'accompagne d'une élévation drastique de la natrémie (190 μM) sans doute responsable de la forte mortalité observée.

Les différences constatées entre les deux provenances de *O. niloticus*, qu'il s'agisse du taux de survie ou des modifications morphologiques ou physiologiques, sont inattendues. On peut penser à plusieurs hypothèses explicatives. La première serait qu'après de multiples générations obtenues en laboratoire à partir d'un nombre d'animaux restreint au départ, il se soit produit une dérive génétique de l'espèce. On sait, en effet qu'il existe une variabilité intraspécifique dans l'adaptabilité à la salinité chez *Oncorhynchus mykiss* (Leary et coll., 1981) et Pora (1960) et Kiener (1978) ont montré chez *Leander squilla* et *Aphanus fasciatus*, respectivement, qu'il existait de nombreuses populations inféodées à des biotopes caractérisés par des compositions ioniques de l'eau différentes. La deuxième hypothèse, qui peut être combinée à la précédente, serait que la capacité d'acclimatation des animaux à l'eau saumâtre soit fonction de la qualité de l'eau douce d'origine (malgré la stabulation de plusieurs semaines à plusieurs mois réalisée au laboratoire). En effet, les travaux d'Avella et coll. (1987) effectués sur *O. mykiss* ont montré que le terme "eau douce" recouvre en fait des situations différentes en termes de pH, Na^+ , Cl^- ou Ca^{++} pour l'adaptation du poisson. Lorsque les poissons sont exposés de

manière durable à des eaux douces de concentrations ioniques différentes, on observe des modifications morphologiques du tissu branchial qui sont associées à des performances physiologiques différentes de l'épithélium, ce qui pourrait conditionner l'adaptabilité ultérieure à l'eau saumâtre.

Une troisième hypothèse pourrait être prise en compte : il se pourrait qu'un animal, élevé en Côte d'Ivoire dans des conditions proches de son milieu naturel et d'origine (*O. niloticus* ST), tolère mal le transfert puis le maintien prolongé en conditions de laboratoire (stress chronique physique, chimique, alimentation différente, etc.) et soit, de ce fait, affaibli, d'où une diminution de ses performances d'adaptabilité à la salinité.

Dans la pratique, il apparaît, pour les souches utilisées en Côte d'Ivoire, qu'une phase de préacclimatation à 10 ‰ est nécessaire avant d'effectuer un transfert à une salinité supérieure. Par ailleurs, les différences trouvées quant à l'évolution des paramètres physiologiques et morphologiques retenus au cours de cette étude, montrent que ceux-ci peuvent être employés comme indicateurs représentatifs des potentialités d'adaptation des espèces à l'eau saumâtre en réalisant, au choix, des observations de la structure branchiale, des mesures du taux de sodium plasmatique ou des mesures de l'activité Na^+/K^+ -ATPase branchiale (Avella et coll., 1993).

Littérature citée

- Avella, M., A. Masoni, M. Bornancin et N. Mayer-Gostan. 1987. Gill morphology and sodium influx in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*) acclimated to artificial freshwater environments. *J. Exp. Zool.* 241:159-169.
- Avella, M., J. Berhaut et M. Bornancin. 1993. Salinity tolerance of two tropical fishes, *Oreochromis aureus* et *O. niloticus*. I. Biochemical and morphological changes in the gill epithelium. *J. Fish Biol.* 42:243-254.
- Balm, P., N. Goosen, S. Van de Ridke et S. Wendelaar Bonga. 1988. Characterization of transport Na^+ -ATPases in gills of freshwater tilapia. Evidence for branchial $\text{Na}^+/\text{H}^+(\text{NH})$ ATPase activity in fish gills. *Fish Physiol. Biochem.* 5(1):31-38.
- Bornancin, M. et G. de Renzis. 1976. A sensitive automated method for adenosine triphosphatase kinetics. *Anal. Biochem.* 75:374-381.
- Chervinski, J. 1982. Environmental physiology of tilapias, p. 119-128. *In* R.S.V. Pullin et R.H. Lowe-McConnell (éds.) *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conf. Proc. 7, 432 p.
- Daget, J., et A. Iltis. 1965. Poissons de Côte d'Ivoire (eaux douces et eaux saumâtres). *Mémoires IFAN* 74, 385 p.
- Dange, A.D. 1985. Branchial sodium potassium ATPase activity during osmotic adjustments in 2 freshwater euryhaline teleosts tilapia *Sarotherodon mossambicus* and orange chromid *Etroplus masculatus*. *Mar. Biol.* 87(1):101-107.
- De Renzis, G. et M. Bornancin. 1984. Ion transport and gill ATPases, p. 65-104. *In* W.S. Hoar et D.J. Randall (éds.) *Fish physiology*. Vol. X: Gills. Part B: Ion and water transfer. Academic Press, Londres.
- Dharmamba, M., M. Bornancin et J. Maetz. 1975. Environmental salinity and sodium and chloride exchanges across the gill of *Tilapia mossambica*. *J. Physiol.* 70:627-636.
- Doudet, T. 1992. Brackishwater tolerance of some species and hybrids of *Oreochromis* for use in lagoon aquaculture (Côte d'Ivoire). *Aquaculture* 102:275-288.
- Foskett, J.K., C.D. Logsdon, T. Turner, T.E. Machen et J.A. Bern. 1981. Differentiation of the chloride extrusion mechanism during seawater adaptation of a teleost fish, the cichlid *Sarotherodon mossambicus*. *J. Exp. Biol.* 93:209-224.
- Garcia-Romeu, F. et A. Masoni. 1970. Sur la mise en évidence des cellules à chlorure de la branchie des poissons. *Arch. Anat. Microsc.* 59:289-294.
- Ho, S.M. et D.K.O. Chan. 1980. Branchial ATPases and ionic transport in the eel, *Anguilla anguilla*. I. Na^+/K^+ -ATPase. *Comp. Biochem. Physiol.* 66B:255-260.
- Karnaky, K.J. 1980. Ion-secreting epithelia: chloride cells in the head region *Fundulus heteroclitus*. *Am. J. Physiol.* 238:R185-198.
- Kiener, A. 1978. Ecologie, physiologie et économie des eaux saumâtres. Collection de biologie des milieux marins. 1. Masson, Paris. 220 p.
- Leary, C., D.A. Collin et A. Florentz. 1981. Time course of osmotic adaptation and gill

- energetics of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) following abrupt changes in external salinity. *J. Comp. Physiol.* 144:175-181.
- Legendre, M., J.M. Ecoutin, S. Hem et A. Cissé. 1990. Recherches sur les tilapias lagunaires de Côte d'Ivoire, p. 93-116. *In* J. Lazard, B. Jalabert et T. Doudet (éds.) L'aquaculture des tilapias : du développement à la recherche. Cah. Sci. CTFT (Suppl. Bois For. Trop. 10).
- Maetz, J. et M. Bornancin. 1975. Biochemical and biophysical aspects of salt excretion by chloride cells in teleosts. *Fortschr. Zool.* 22:322-362.
- Maillet, M. 1959. Modifications de la technique de Champy au tétroxyde d'osmium-iodure de potassium. Résultats de son application à l'étude des fibres nerveuses. *C.R. Soc. Biol. (Paris)* 153:939-940.
- Morissens, P., P. Roche et C. Aglinglo. 1986. La pisciculture intensive en enclos dans les grandes lagunes du sud-est Bénin. *Bois For. Trop.* 213:51-70.
- Payne, A.I. 1983. Estuarine and salt tolerant tilapias, p. 534-543. *In* L. Fishelson et Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israël.
- Payne, A.I. et R.I. Collinson. 1983. A comparison of the biological characteristics of *Sarotherodon niloticus* (L.) with those of *S. aureus* (Steindachner) and other tilapia of the delta and lower Nile. *Aquaculture* 30:335-351.
- Pora, A.E. 1960. L'homéorapie, une notion à préciser dans la physiologie écologique des animaux aquatiques. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditerran.* 15(6):171-188.
- Thompson, A.J. et J.R. Sargent. 1977. Changes in the levels of chloride cells and Na⁺/K⁺-dependent ATPase in the gills of yellow and silver eels adapting to seawater. *J. Exp. Zool.* 200:33-40.
- Valverde, Y.R., O.F. Arbex et M.V. Castro Faria. 1982. Adaptative responses of (Na⁺, K⁺) ATPase from gills and intestine of *Plecostomus ancistroides* and *Tilapia rendalli* to a gradual increase in water salinity. *Rev. Bras. Biol.* 42(1):129-134.
- Watanabe, W.O., C.M. Kuo et M.C. Huang. 1985. Salinity tolerance of the tilapias *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* and an *O. mossambicus* x *O. niloticus* hybrid. *ICLARM Tech. Rep.* 16, 22 p.

SESSION VI. ECONOMIE ET SOCIO-ECONOMIE

Rentabilité de l'aquaculture du tilapia dans les petits plans d'eau au Bangladesh^a

M. AHMED
M.P. BIMBAO
M.V. GUPTA

*International Center for Living Aquatic Resources Management
MCPO.Box 2631, 0718 Makati
Metro Manila, Philippines*

AHMED, M., M.P. BIMBAO et M.V. GUPTA. 1996. Rentabilité de l'aquaculture du tilapia dans les petits plans d'eau au Bangladesh, p. 517-522. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Cette communication examine la rentabilité des points de vue économique et technique de l'aquaculture du tilapia dans les petits étangs et rigoles des "thanas" (unités villageoises) du Trishal, de Fulbaria et de Mymensingh au Bangladesh. Les résultats d'enquêtes menées auprès d'un échantillonnage de 113 et 46 éleveurs ont permis d'estimer respectivement les fonctions de production linéaires et logarithmiques linéaires (Cobb-Douglas). D'après les résultats du modèle linéaire (où l'ajustement entre courbe et données était le meilleur), le taux d'empoissonnement en fingerlings et l'emploi de son de riz ont des effets significatifs sur la production de tilapias. Par ailleurs, on note des taux de productivité différents selon l'emplacement des étangs et leur superficie. Les chiffres obtenus indiquent également que les taux actuels de mise en charge, d'application d'engrais chimiques et de nourrissage au son de riz sont inférieurs aux valeurs optimales. L'emploi accru de sous-produits industriels, pourtant l'un des critères de rentabilité économique, ne semble pas être très raisonnable dans le cadre de ces fermes piscicoles où l'on pratique une aquaculture de subsistance. Disponibilité en sous-produits industriels et liquidités sont autant de conditions préalables à l'exploitation durable, c'est-à-dire à l'augmentation de la production aquacole des tilapias et des revenus qu'elle génère pour ces petit producteurs.

Introduction

Le poisson est une source importante de protéines animales alimentaires pour les populations d'éleveurs ruraux du Bangladesh. Ces poissons proviennent actuellement, pour la plupart, des pêcheries de capture de poissons sauvages dans les vastes plaines d'inondation et dans les cours d'eau. L'élevage de poissons dans le sens d'un

élevage où empoissonnement et récolte aux fins de la consommation et du commerce sont réguliers, n'est pas une pratique très répandue chez les paysans, bien que le pays possède 1,3 millions d'étangs (environ 147.000 ha) où ces activités pourraient s'implanter. Seulement 46 % des étangs ou environ 52 % de la superficie sont actuellement empoissonnés avec des fingerlings. Quatre-vingts pour cent de ces étangs ne reçoivent aucun traitement préalable avant la mise en charge des fingerlings et 92 % ne sont jamais fertilisés (Banque

^aICLARM Contribution No. 967.

Mondiale, 1991). La polyculture associant les principales carpes indiennes et des carpes communes et chinoises récemment introduites, constitue le principal système d'exploitation aquacole qui ne convienne qu'aux étangs relativement grands et où l'approvisionnement en eau est ininterrompu.

Les travaux de recherche et de vulgarisation mettent actuellement l'accent sur l'amélioration des pratiques aquacoles dans les étangs pouvant convenir à la polyculture mais près de 14 % des étangs sont de petite taille et l'approvisionnement en eau est saisonnier. Des milliers de rigoles, de canaux en bordure de routes et de fosses pourraient être utilisés pour l'élevage de poissons à cycle de croissance court, comme c'est le cas pour le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) (Gupta et coll., 1992).

Des recherches menées en station et sur le terrain avec les pisciculteurs ont permis de mettre au point un système simple d'élevage du tilapia du Nil dans des rigoles et étangs saisonniers auxquels des millions de foyers ruraux ont accès, et le transfert de ce système dans plusieurs thanas (unités villageoises) de Mymensingh, de Tangail et de Norshingdi a été fait en collaboration avec des organisations non gouvernementales (ONG) (Gupta et coll., 1992). Les éleveurs ont facilement adopté les techniques d'aménagement des étangs proposées, celles-ci étant simples, peu coûteuses et nécessitant peu d'intrants pour leur préparation, pour le nourrissage des poissons après la mise en charge et pour la fertilisation.

Outre les fingerlings pour l'empoisonnement des étangs, les éleveurs emploient actuellement d'autres facteurs de production comme le fumier organique (fumier de bétail), les engrais chimiques (urée et superphosphate triple) et le son de riz. L'accroissement des revenus et

l'amélioration nutritionnelle figurent parmi les bénéfiques que ce système d'exploitation offre aux petites exploitations. En effet, le rendement des capitaux investis dans des petits plans d'eau saisonniers est en moyenne de 343 % au bout de quatre à cinq mois d'élevage (Gupta et coll., 1992).

L'objectif de cette communication est d'examiner la rentabilité des points de vue technique et économique des intrants dans l'élevage du tilapia dans des étangs et autres plans d'eau de petite taille exploités par les petits éleveurs.

Matériel et méthodes

La présente étude a été réalisée à partir des données transversales intrant-production obtenues dans les étangs d'élevage de *O. niloticus* dans les thanas du Trishal, de Fulbaria et de Mymensingh au Bangladesh. Les enquêtes ont été menées dans le cadre du Projet de recherche agricole au Bangladesh appuyé par l'ICLARM et financé par l'Agence des Etats-Unis pour le développement international. Les données, collectées en juillet 1990, concernent la dernière année de production. Une description plus détaillée du choix des thanas, des caractéristiques des étangs, des pratiques d'aménagement, des revenus générés par l'élevage du tilapia, et de l'évaluation du système par les éleveurs, figure dans Gupta et coll. (1992)

La fonction de production hypothétique s'exprime comme suit :

$$Y=f(X_1 \dots X_8)$$

où :

Y = production de tilapias ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) ;

X_1 = âge de l'étang (années) ;

X_2 = nombre de fingerlings mis en charge par m^2 ;

X_3 =quantité d'engrais chimiques [urée et superphosphate triple (SPT)] appliquée ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

X_4 =quantité de fumier organique (fumier de bétail) appliquée ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

X_5 =quantité d'aliments (son de riz) distribuée ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

X_6 =cycle de production (jours) ;

X_7 =superficie de l'étang (m^2) ; et

X_8 =rétention d'eau (jours $\cdot\text{an}^{-1}$).

Deux formes algébriques de la fonction de production ont été calculées pour déterminer l'influence des intrants sur le rendement en poissons dans les petits plans d'eau utilisés pour l'aquaculture du tilapia. Il s'agit :

(1) de la formulation linéaire

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_8 X_8 \quad \dots 1)$$

(2) de la formulation de Cobb-Douglas

$$Y = \alpha X_1^{\beta_1} \dots X_8^{\beta_8} \quad \dots 2)$$

où $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_8$ sont les coefficients de production calculés.

Afin de mettre en évidence l'influence de l'emplacement des étangs et de la qualité de l'eau sur les rendements en tilapias, des variables dichotomiques (T_1, T_2 et T_3) ont également été incorporées, telles que :

$T_1=1$ si les étangs sont situés à Trishal ; zéro dans les autres cas ;

$T_2=1$ si les étangs sont situés à Fulbaria ; zéro dans les autres cas ; et

$T_3=1$ si l'eau de l'étang est trouble ; zéro si l'eau de l'étang est vert brun.

Dans la formulation linéaire (1) le coefficient β représente les productivités marginales constantes des intrants individuels.

Dans la formulation de Cobb-Douglas (2), la somme des coefficients

indiquera des rendements d'échelle. Les rendements d'échelle constants ($\Sigma\beta=1$) signifient qu'un double apport de tous les intrants se traduira par un rendement double. Une somme des coefficients $\Sigma\beta>1$ implique qu'un double apport de tous les intrants se traduirait par une augmentation de plus du double du rendement. De même, une somme des coefficients $\Sigma\beta<1$ implique qu'un double apport de tous les intrants se traduirait par une augmentation de moins du double du rendement.

La rentabilité économique des facteurs de production

Le rentabilité économique des facteurs de production a été calculée en faisant correspondre les produits physiques marginaux des intrants avec les rapports de prix intrant-produit obtenu respectifs. Les producteurs de tilapias ont une exploitation rentable quand la valeur du produit physique marginal d'un intrant est égale au rapport de prix intrant-produit obtenu. La formulation algébrique s'exprime comme suit :

$$\text{PPM}x_i = P_{x_i}/P_y \quad \text{ou} \quad \dots 3)$$

$$(\text{PPM}x_i) \cdot (P_y) = P_{x_i} \quad \text{ou} \quad \dots 4)$$

$$\text{VPM}x_i = P_{x_i} \quad \dots 5)$$

où :

$\text{PPM}x_i$ =produit physique marginal de l'intrant i ;

P_{x_i} =prix de l'intrant i ;

P_y =prix de la production ou du tilapia ; et

$\text{VPM}x_i$ =valeur du produit marginal de l'intrant i .

Si le $\text{PPM}x_i$ est supérieur (inférieur) au rapport de prix, l'intrant devrait être

augmenté (diminué) (équation [3]). Par ailleurs, la rentabilité économique d'un intrant peut être examinée en comparant $VPMx_i$ et Px_i . Si $VPMx_i$ est supérieure (inférieure) à Px_i , le profit pourrait être augmenté en accroissant (diminuant) cet intrant (équation [5]).

Résultats et discussion

Les fonctions linéaire et logarithmique linéaire (Cobb-Douglas) de production ont été calculées pour l'élevage de tilapias dans des étangs et autres petits plans d'eau (Tableau 1). Dans les deux modèles, onze variables explicatives pourraient expliquer 41 % des variations observées au niveau de la production de tilapias. Cependant, cinq variables sont statistiquement significatives dans le modèle linéaire tandis que dans le modèle de Cobb-Douglas, seules deux variables le sont.

Le modèle linéaire révèle que la densité de charge, la quantité de son de riz utilisé comme aliment complémentaire, la superficie de l'étang et son emplacement, influencent significativement la production de tilapias. A supposer que tous les autres facteurs restent constants, la production de tilapias augmente de 0,03 % chaque fois que la densité de charge augmente de 1 %. De même, une augmentation de 1 % du taux de son de riz correspond à un accroissement de 0,07 % de la production de tilapias. Un rapport négatif a été observé entre la production de tilapias et la superficie de l'étang. En effet, à chaque augmentation de superficie de 1 % correspond une diminution de 0,00028 % de la production de tilapias. Les variables dichotomiques représentant l'emplacement des exploitations étaient significatives au seuil de 5 %, révélant ainsi des différences de productivité parmi les trois thanas. Le coefficient des taux d'engrais chimiques s'est traduit par le

rapport économique prévu sans être statistiquement significatif : une augmentation de 1 % du taux d'application d'urée et de SPT correspondra à une augmentation de 0,00034 % de la production de tilapias. Les taux d'application d'engrais chimiques, en moyenne 80 kg·ha⁻¹ actuellement, sont très bas.

La fonction de production de Cobb-Douglas, qui emploie les mêmes variables explicatives que la formulation linéaire, révèle que la densité de charge et la superficie de l'étang sont les facteurs qui influencent significativement la production de tilapias. A supposer que tous les autres facteurs restent constants, une augmentation de 1 % de la densité de charge entraînerait une augmentation de 0,66 % de la production de tilapias. De même, une augmentation de 1 % de la superficie de l'étang entraînerait une baisse de 0,53 % de la production de tilapias. La somme de tous les coefficients (β_i) partiels de production était 0,60, ce qui indique des rendements d'échelle décroissants.

La rentabilité économique des trois intrants principaux a été calculée à l'aide du modèle linéaire (Tableau 2). Le résultat des calculs révèle que la mise en charge, l'application de son de riz et d'engrais chimiques n'étaient pas réalisés à des taux optimum. La valeur des produits physiques marginaux de ces intrants était supérieure à leurs prix respectifs. Ceci implique que les bénéfices de l'élevage de tilapias peuvent augmenter en augmentant l'un ou l'autre des facteurs de production (densité de charge, taux de son de riz, taux d'engrais chimiques).

L'augmentation de la production de tilapias dans les petits plans d'eau au Bangladesh est tout à fait possible. Les résultats de cette étude suggèrent que vus les prix actuels des intrants et du produit obtenu, l'augmentation de la densité de charge, du son de riz et des taux d'application d'engrais chimiques augmentera la rentabilité économique des

Tableau 1. Fonctions de production et production (par hectare) des élevages de tilapias dans les thanas du Trishal, Fulbaria et Mymensingh au Bangladesh, 1989-90. Se reporter au texte pour l'explication des variables.

Caractéristiques		
Formulation	Linéaire	Log-linéaire (Cobb-Douglas)
Spécification du modèle	$Y = 0,0675 - 0,00079 X_1 + 0,03055 X_2$ (1,13) (-1,26) (2,88)****	$\log Y = \log 182,47 - 0,01572 \log X_1 + 0,66145 \log X_2$ (219)** (-2,50) (2,84)****
	$+ 0,00034 X_3 - 0,07300 X_4 + 0,06660 X_5$ (0,50) (-0,14) (1,56)*	$- 0,15530 \log X_3 + 0,08162 \log X_4 - 0,03580 \log X_5$ (-1,26) (0,93) (-0,25)
	$+ 0,00009 X_6 - 0,00028 X_7 + 0,00160 X_8$ (0,61) (-3,13)**** (0,38)	$+ 0,18187 \log X_6 - 0,52934 \log X_7 + 0,09413 \log X_8$ (0,89) (-2,12)** (0,27)
	$+ 0,04203 T_1 + 0,85300 T_2 - 0,01110 T_3$ (1,65)*** (2,85)**** (-0,72)	$+ 0,15592 T_1 + 0,21865 T_2 - 0,05396 T_3$ (1,16) (1,28) (-0,94)
R ²	0,46	0,56
R ² (ajusté)	0,41	0,41
Valeur de F	7,97****	3,88****
n	113	46
Production estimée à \bar{X}	1,890 t·ha ⁻¹	1,460 t·ha ⁻¹

Note: Seuil de signification : ****=1 % ; ***=5 % ; **=10 % ; et *=15 %.

Tableau 2. Produit physique marginal, prix des intrants et rentabilité économique des élevages de tilapias dans les thanas du Trishal, Fulbaria et Mymensingh au Bangladesh, 1989-90*. (En utilisant le modèle linéaire, le prix des poissons obtenus = Tk 27,09·kg⁻¹ ; Tk 36=US\$1 en 1989.)

	Fingerlings	Son de riz	Engrais chimiques
PPM _{x_i}	0,0306	0,0670	0,0003
VPM _{x_i}	0,8290	1,8150	0,0081
P _{x_i}	0,1900	1,1700	0,0052
VPM _{x_i} /P _{x_i}	4,36	1,55	1,56
Utilisation de l'intrant	Augmentation	Augmentation	Augmentation

*PPM_{x_i} = produit physique marginal de l'intrant i ; VPM_{x_i} = valeur du produit marginal de l'intrant i ou (PPM_{x_i} x prix du produit obtenu) ; et P_{x_i} = prix de l'intrant i.

élevages de tilapias. Toutefois, comme la pisciculture du tilapia a encore un caractère de subsistance, les petits éleveurs n'ayant pas toujours les moyens d'augmenter les apports en intrants. Une aide à l'acquisition de ces intrants et des facilités de crédit devraient permettre aux éleveurs d'accroître leur production piscicole ainsi que leurs revenus.

Littérature citée

- Gupta, M.V., M. Ahmed, M.P. Bimbao et C. Lightfoot. 1992. Socioeconomic impact and farmers' assessment of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in Bangladesh. ICLARM Tech. Rep. 35, 50 p.
- World Bank. 1991. Bangladesh fisheries sector review. World Bank Report No. 8830-BD. World Bank, Washington, DC.

Evolution au niveau régional de la production et des prix du tilapia aux Philippines^a

M.A.P. BIMBAO

M. AHMED

*International Center for Living
Aquatic Resources Management (ICLARM)
MCPO Box 2631, 0718 Makati
Metro Manila, Philippines*

BIMBAO, M.A.P. et M. AHMED. 1996. Evolution au niveau régional de la production et des prix du tilapia aux Philippines, p. 523-535. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'accroissement considérable de la production de tilapias (*Oreochromis* spp.) aux Philippines au cours des années 1980 a été imputée, d'une part, à sa rentabilité croissante comme poisson d'élevage pour les producteurs, et d'autre part, à son acceptabilité comme poisson de consommation. De 1983 à 1990, la production de tilapias en milieu aquacole a augmenté de 7 % par an alors que les pêches de capture ont baissé de 5 %. Cette communication explore les perspectives de développement de l'aquaculture du tilapia dans les douze régions du pays. La demande en tilapia a été analysée en fonction de fluctuations de ses prix et en fonction des variations de prix des autres poissons vendus sur les marchés régionaux. Les atouts et les contraintes associées à la promotion de l'aquaculture du tilapia dans chaque région du pays ont aussi été évaluées.

Introduction

Oreochromis niloticus, introduit au début des années 1970 est, aux Philippines, l'espèce principale de tilapia d'élevage. *O. niloticus* a succédé à *O. mossambicus*, introduit dans les années 1950 mais perçu par les producteurs et les consommateurs comme une espèce inférieure (Guerrero, 1985). L'élevage de *O. niloticus* a fait du tilapia une espèce populaire, particulièrement dans les élevages en étangs d'eau douce, en parcs/enclos et en cages, contribuant à l'essor considérable de l'industrie aquacole (Bimbao et Ahmed, 1990). De 1983 à 1990, la production de tilapias est passée de 62.179 t à 97.424 t, soit une augmentation annuelle

de 7 % (Tableau 1). Une importante fraction de cet accroissement revient à l'aquaculture dont la contribution à la production totale de tilapias a augmenté de 49 % à 78 % au cours de cette période. Tandis que la production de tilapias des pêches de capture en milieu marin et continental a baissé de 1983 à 1990 de 31.407 t à 21.282 t, soit une baisse de 5 %, la production aquacole a augmenté de 30.722 t à 76.142 t, soit une hausse de 14 %. La plus grosse production a été réalisée en étangs d'eau douce, constituant 36 % de la production totale de tilapias en 1990. Le tilapia est l'espèce principale que l'on trouve dans les élevages en étangs d'eau douce et en cages, et représente respectivement 91 % et 95 % de la production totale de poissons dans ces systèmes. De 1983 à 1990, la contribution faite par l'élevage du tilapia à l'aquaculture nationale et à la production

^aICLARM Contribution No. 977.

Tableau 1. Production de tilapias et valeur en fonction du système de production et de capture ; contribution de cette production à la production totale de poissons et à sa valeur totale (en millions de pesos*), Philippines, 1983-1990. (Source : BAS, 1991b).

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Croissance (%)
Tilapia									
Quantité (t)	62.179	54.297	61.836	79.517	93.593	95.006	100.747	97.424	7
Aquaculture	30.772	32.002	43.780	55.836	75.769	75.046	81.675	76.142	14
Etangs d'eau douce	11.315	11.602	13.874	14.064	26.751	30.149	30.900	35.169	18
Cages d'eau douce	4.664	7.070	7.187	8.921	16.823	17.249	18.449	18.220	21
Enclos d'eau douce			9.387	16.313	14.264	9.470	9.246	3.948	-16
Etangs d'eau saumâtre	14.793	13.330	13.332	16.538	17.931	18.178	23.080	18.805	3
Pêcheries	31.407	22.295	18.056	23.681	17.824	19.960	19.072	21.282	-5
Valeur (millions de pesos)*									
Aquaculture	250	394	844	1.337	1.459	1.648	1.995	2.327	38
Etangs d'eau douce	106	146	253	337	542	691	780	1.316	43
Cages d'eau douce	37	86	131	214	341	395	456	515	46
Enclos d'eau douce			217	391	289	217	233	102	-15
Etangs d'eau saumâtre	107	162	243	396	287	345	526	393	20
Pêcheries	256	275	351	567	342	438	467	598	13
Production totale (milliers de t)									
Aquaculture	445	478	495	471	561	600	629	671	6
Etangs d'eau douce	12	13	16	16	30	33	34	36	17
Cages d'eau douce	5	7	7	9	18	18	20	21	24
Enclos d'eau douce	82	82	52	41	36	24	24	24	-16
Etangs d'eau saumâtre	184	199	198	207	234	240	254	268	6
Valeur (millions de pesos)									
Aquaculture	4.799	7.266	8.724	10.832	11.421	15.213	15.673	20.466	23
Total	18.982	25.650	31.297	37.331	37.350	42.118	45.094	52.177	16
% de la production de tilapias en aquaculture									
Etangs d'eau douce	6,9	6,7	8,8	11,8	13,5	12,5	13,0	11,4	10,6
Cages d'eau douce	93,9	88,5	87,4	90,7	88,7	91,6	90,2	98,2	91,1
Enclos d'eau douce	100,0	100,0	96,6	95,2	94,6	94,5	94,6	87,1	95,3
Etangs d'eau saumâtre	8,1	6,7	6,7	8,0	7,6	7,6	9,1	7,0	7,6
Total	3,0	2,6	3,0	3,8	4,2	4,2	4,2	3,9	3,6
% de la valeur des tilapias en aquaculture									
Total	5,2	5,4	9,7	12,3	12,8	10,8	12,7	11,4	10,0
	2,7	2,6	3,8	5,1	4,8	5,0	5,5	5,6	4,4

*US\$1 = P14,002 (1983) ; P28,000 (1990).

totale de poissons a augmenté respectivement de 5 % à 11 % et de 3 % à 6 %.

Cette communication examine l'évolution de la production de tilapias dans les différentes régions des Philippines. Les ressources aquatiques des douze régions sont présentées et examinées en fonction de leur développement et du potentiel piscicole qu'elles offrent. L'évolution des prix du tilapia et d'autres poissons au niveau régional fait également l'objet d'une étude.

Profil des pêcheries aux Philippines

Les Philippines forment un archipel de 7.101 îles s'étalant sur une superficie de 30 millions ha. Cet archipel est constitué par trois grands groupes d'îles : Luçon, les Visayas et Mindanao qui regroupent à leur tour cinq, trois et quatre régions respectivement (Fig. 1). Les ressources aquatiques du pays comprennent des eaux marines (220 millions ha), des eaux

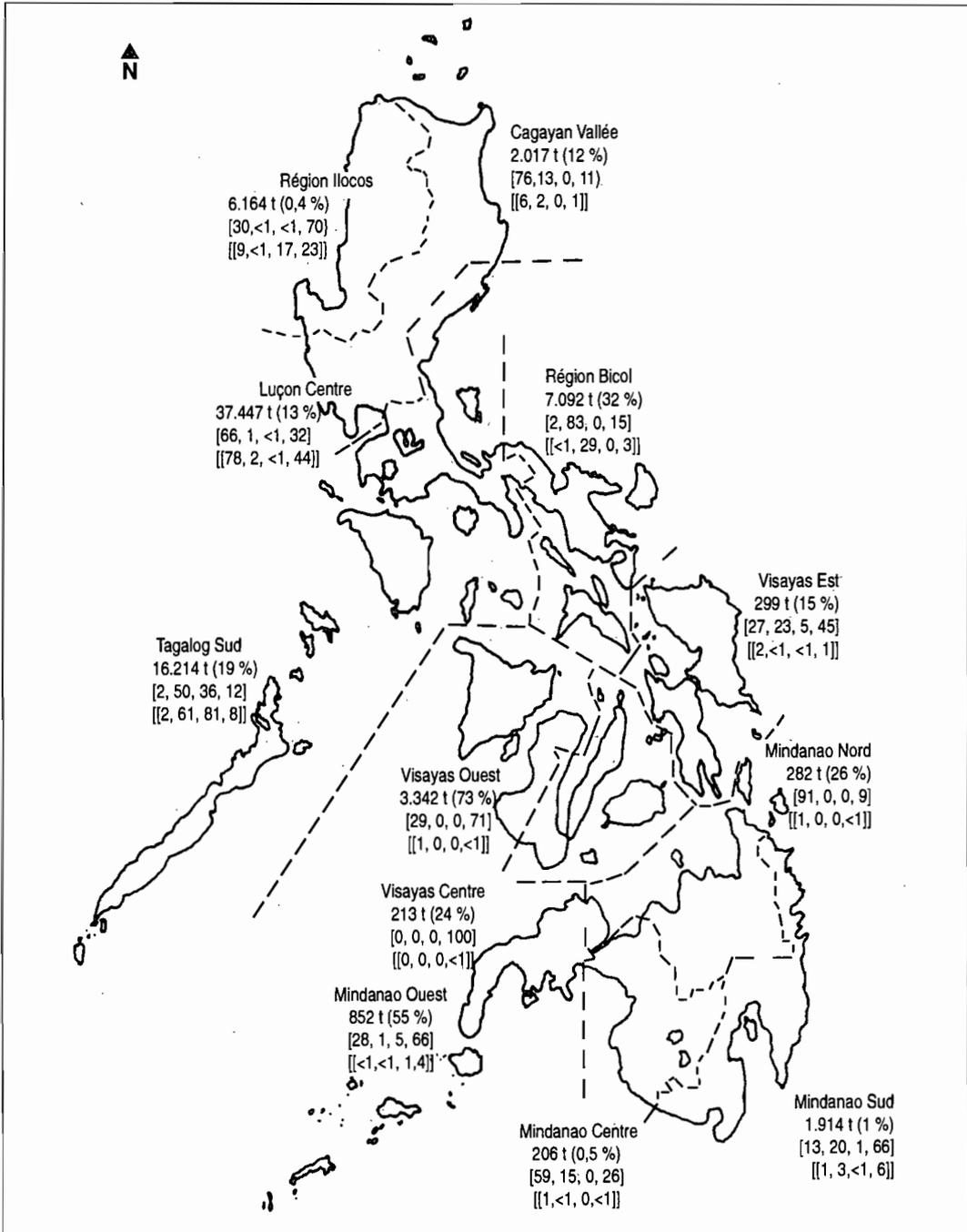


Fig. 1. Carte des Philippines montrant la production aquacole du tilapia pour 1990 exprimée en tonnes, les taux de croissance exprimés en pourcentage (entre parenthèses) pour la période 1983 à 1990, et la production des élevages en étangs, cages, et enclos d'eau douce, et en étangs d'eau saumâtre exprimée en pourcentage de la production totale [intra-] et [[inter-régionale]]. (Source : BAS, 1991b).

saumâtres (marécages : 232.000 ha ; étangs piscicoles : 210.319 ha) et eaux douces (lacs : 22 millions ha, cours d'eau : 31.000 ha ; retenues : 19.000 ha ; marécages : 106,238 ha ; étangs piscicoles : 13.398 ha) (BAR, 1989). Les eaux marines assurent 75 % de la production totale de poissons en comparaison de la production en eau douce (15 %) et en eau saumâtre (10 %) (Tableau 2).

La production aquacole en eau douce a atteint les chiffres les plus élevés dans la région Tagalog Sud (62 % de la production régionale totale), suivie par la région Luçon Centre qui produit 21 % (Tableau 2). Le tilapia est l'espèce d'élevage principale dans les étangs d'eau douce dans toutes les régions sauf dans la région Visayas Est. La production aquacole en eau saumâtre est la plus élevée dans la région Luçon Centre et dans la région Visayas Ouest, constituant respectivement 32 % et 30 % de la production régionale totale. La région Mindanao Ouest, quant à elle, assure presque 77 % de la production marine régionale.

Evolution de la production au niveau régional

De 1983 à 1990, la production de tilapias d'élevage dans toutes les régions a donné des taux de croissance positifs bien que des fluctuations aient été observées dans certaines régions certaines années (Tableau 3). La plus grosse partie de la production de tilapias est réalisée dans la région Luçon Centre et dans la région Tagalog Sud, représentant respectivement en moyenne 43 % et 26 % de la production aquacole totale. La production dans les régions Visayas Centre et Est, et dans les régions Mindanao Nord et Centre constitue moins de un pour cent de la production aquacole nationale. Ces régions, à l'exception de la région Mindanao Centre, possèdent d'importantes ressources marines, ce qui n'incite guère les exploitants à se lancer dans l'aquaculture

du tilapia. En revanche, bien que la région Mindanao Centre détienne les ressources en eau douce les plus vastes parmi les autres régions, la production de tilapias est insignifiante car la région ne consacre qu'une superficie relativement petite (115 ha) à l'élevage en étangs et que ceux-ci servent également à la production de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et du poisson-chat (*Clarias* spp.).

Luçon, région qui possède la plus grande étendue d'étangs d'eau douce et d'eau saumâtre aménagés, surpasse toutes les régions des Visayas et de Mindanao en matière de production de tilapias. Les étangs d'eau douce dans la région Luçon Centre assurent la part la plus élevée (78 %) de la production totale, suivie par Ilocos (9 %) et Cagayan Vallée (6 %) (Fig. 1). La production de tilapias en cages atteint les chiffres les plus élevés dans la région Tagalog Sud avec 81 % de la production totale. Si la production de tilapias en étangs d'eau douce et en cages est concentrée dans le groupe d'îles de Luçon, la production en étangs d'eau saumâtre est en revanche beaucoup plus importante dans certaines régions des Visayas (Visayas Ouest, 10 %) et Mindanao (Mindanao Sud, 6 % ; Mindanao Ouest, 4 %), bien que la production la plus élevée provienne tout de même de la région Luçon Centre (44 %).

Evolution des prix au niveau régional

Prix de détail en termes réels et courants

Partout dans le pays, les prix de détail du tilapia ont augmenté à un taux annuel de 18 %, de P10,53/kg en 1982 à P25,96/kg en 1988 (Tableau 4). Cependant, en valeur réelle, c'est-à-dire compte tenu de l'inflation, les prix n'ont augmenté que de 2 % pendant la même période. Les hausses de prix de détail du tilapia en termes

Tableau 2. Répartition régionale des ressources aquatiques et halieutiques, Philippines. (Source : BAR, 1989).

Région	Eaux douces				Eaux saumâtres			Eau de mer	
	Etangs piscicoles				Aménagées (ha)	Espèces d'élevage principales	Production (t)	Espèces principales capturées	Production (t)
	Aménagés (ha)	Espèces d'élevage principales	Eaux commu- nales (ha) ^a	Production (t)					
I. Ilocos	1.453	tilapia carpe poisson-chat	24	627 (capture) 1.787 (élevage)	16.631	crevette chanos ^b Siganidés	25.145 (élevage)	thon et espèces apparentées; espèces démersales	22.429 (capture) 9.531 (élevage)
II. Cagayan Vallée	1.237	tilapia	2.423	2.825 (capture) 1.793 (élevage)	1.469	crevette chanos ^b crabes	993 (élevage)	petits et moyens pélagiques; espèces démersales	13.119 (capture) 8 (élevage)
III. Luçon Centre	9.105	tilapia	37.365	5.714 (capture) 12.632 (élevage)	5.342	crevette chanos ^b	69.319 (élevage)	thon, poisson volant; espèces démersales	28.886 (capture) 514 (élevage)
IV. Tagalog Sud	372	tilapia carpe		205.789 (capture) 37.991 (élevage)	23.984	crevette chanos ^b	17.979 (élevage)	anchois; thon; espèces démersales	384.741 (capture) 18.759 (élevage)
V. Bicol	131	tilapia		3.161 (capture) 4.005 (élevage)	11.028	crevette chanos ^b crabes	7.791 (élevage)	petits pélagiques, thon; espèces démersales	118.364 (capture) 245 (élevage)
VI. Visayas Ouest	118	tilapia		2.270 (capture) 685 (élevage)	5.894	crevette chanos ^b crabes	64.952 (élevage)	petits pélagiques; espèces démersales	263.136 (capture) 2.644 (élevage)

^aCes eaux comprennent les principaux cours d'eau, lacs/barrages, réservoirs et marais/marécages.

^bFamille des Chanidés.

suite ci-après

Table 2. (suite)

Région		Eaux douces			Eaux saumâtres			Eau de mer	
		Etangs piscicoles			Aménagées (ha)	Espèces d'élevage principales	Production (t)	Espèces principales capturées	Production (t)
		Aménagés (ha)	Espèces d'élevage principales	Eaux communales (ha) ^a					
VII.	Visayas Centre		tilapia carpe	99	21 (capture)	7.110	crevette chanos ^b	7.675 (élevage)	petits pélagiques; espèces démersales 51.986 (capture) 10.691 (élevage)
VIII.	Visayas Est	93			558 (capture) 253 (élevage)	5.740	crevette chanos ^b	2.200 (élevage)	petits pélagiques; espèces coralliennes 48.247 (capture) 6.723 (élevage)
IX.	Mindanao Ouest	148	tilapia		1.167 (capture) 374 (élevage)	16.375	crevette chanos ^b	9.181 (élevage)	thon, sardines; espèces démersales 262.049 (capture) 170.076 (élevage)
X.	Mindanao Nord	385	tilapia	561	2.550 (capture) 739 (élevage)	4.289	crevette chanos ^b	2.370 (élevage)	petits pélagiques, thon; élasbranchés, espèces coralliennes 81.543 (capture)
XI.	Mindanao Sud	241	tilapia	9.284	722 (capture) 573 (élevage)	7.241	crevette chanos ^b	6.065 (élevage)	thon, petits pélagiques; espèces démersales 92.152 (capture) 315 (élevage)
XII.	Mindanao Centre	114	tilapia carpe poisson-chat		28.621 (capture) 123 (élevage)	3.986	crevette chanos ^b	3.446 (élevage)	thon, petits pélagiques; espèces démersales 1.749 (capture)

^aCes eaux comprennent les principaux cours d'eau, lacs/barrages, réservoirs et marais/marécages.

^bFamille des Chanidés.

Tableau 3. Production du tilapia d'élevage par région exprimée en tonnes et en pourcentage de la production totale de tilapias, Philippines, 1983-1990. (Source : BAS, 1991b).

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	Croissance (%)
Philippines	30.772	32.002	43.780	55.836	75.769	75.046	81.675	76.142	13
Région capitale	2	3	2.082	3.092	3.117	1.800	2.014	1.069	145
I. Ilocos	5.979	4.487	4.894	5.243	5.690	5.828	6.414	6.164	0,4
II. Cagayan Vallée	902	1.111	1.308	1.636	1.690	1.625	1.793	2.017	12
III. Luçon Centre	15.667	13.318	15.309	18.131	31.453	34.784	35.723	37.447	13
IV. Tagalog Sud	4.926	6.248	14.173	18.991	23.469	19.851	20.821	15.145	19
V. Bicol	1.011	2.418	1.881	4.351	5.881	6.060	6.419	7.092	32
VI. Visayas Ouest	72	2.026	1.821	1.993	1.726	858	3.792	3.342	73
VII. Visayas Centre	46		3	16	13	14		213	24
VIII. Visayas Est	110	218	87	152	171	199	261	299	15
IX. Mindanao Ouest	40	75	821	903	1.196	1.688	1.766	852	55
X. Mindanao Nord	77	246	324	322	331	348	397	382	26
XI. Mindanao Sud	1.741	1.671	862	842	869	1.837	2.093	1.914	1
XII. Mindanao Centre	199	181	215	164	163	154	182	206	0,5
% de la production totale de tilapias									Moyenne
Région capitale	0,01	0,01	4,76	5,54	4,11	2,40	2,47	1,40	2,59
I. Ilocos	19,43	14,02	11,18	9,39	7,51	7,77	7,85	8,10	10,66
II. Cagayan Vallée	2,93	3,47	2,99	2,93	2,23	2,17	2,20	2,65	2,70
III. Luçon Centre	50,91	41,62	34,97	32,47	41,51	46,35	43,74	49,18	42,59
IV. Tagalog Sud	16,01	19,52	32,37	34,01	30,97	26,45	25,49	19,89	25,59
V. Bicol	3,29	7,56	4,30	7,79	7,76	8,08	7,86	9,31	6,99
VI. Visayas Ouest	0,23	6,33	4,16	3,57	2,28	1,14	4,64	4,39	3,34
VII. Visayas Centre	0,15	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,28	0,06
VIII. Visayas Est	0,36	0,68	0,20	0,27	0,23	0,27	0,32	0,39	0,34
IX. Mindanao Ouest	0,13	0,23	1,88	1,62	1,58	2,25	2,16	1,12	1,37
X. Mindanao Nord	0,25	0,77	0,74	0,58	0,44	0,46	0,49	0,50	0,53
XI. Mindanao Sud	5,66	5,22	1,97	1,51	1,15	2,45	2,56	2,51	2,88
XII. Mindanao	0,65	0,57	0,49	0,29	0,22	0,21	0,22	0,27	0,36
Luçon (I-V et Région capitale)	92,57	86,19	85,80	86,60	89,99	90,81	87,14	89,13	88,53
Visayas (VI-VIII)	0,74	7,01	4,37	3,87	2,52	1,43	4,96	5,06	3,75
Mindanao (IX-XII)	6,68	6,79	5,08	4,00	3,38	5,37	5,43	4,40	5,14

réels et courants étaient plus importantes dans l'île de Mindanao, bien que les prix dans ces régions soient plus bas que dans le groupe d'îles de Luçon.

Si l'on prend la capitale, Manille et sa proche banlieue, considérée ici comme le marché central, comme référence, les prix de détail dans certaines régions de Luçon étaient généralement au-dessus des prix pratiqués dans la capitale (Tableau 4). De 1983 à 1989, les prix de détail à Manille étaient plus bas que les prix pratiqués dans la région d'Ilocos [73 % (courant) et 63 % (réel)] ; dans la région Cagayan Vallée [77 % (courant) et 79 % (réel)] ; et dans la région Luçon Centre [90 % (courant) et 76 % (réel)]. Les prix de détail du tilapia dans

les autres régions étaient plus bas que les prix de Manille, la région Visayas Ouest pratiquant les plus bas prix (47 % des prix pratiqués dans la capitale).

Prix de gros en termes réels et courants

De 1982 à 1989, les prix de gros du tilapia en termes réels et courants ont augmenté respectivement de 20 % et 6 %, soit la même croissance constatée pour les prix de détail (Tableau 4). Les prix de gros du tilapia en termes courants pratiqués dans le groupe d'îles de Luçon ont augmenté en moyenne de 18 %, 19 % dans les Visayas, et 36 % dans l'île de Mindanao.

Tableau 4. Prix de détail et de gros du tilapia et marges bénéficiaires (Pesos*/kg) en termes réels et courants par région, Philippines, 1982-1988. Les prix de détail pour la région Visayas Centre Est et les prix de gros pour la région de la capitale ne sont pas disponibles. Source : BAS, 1982-1988, données non publiées.

	Prix de détail en termes courants							Croissance moyenne annuelle (%)	Prix de détail en termes réels							
	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	
Philippines	10,53	11,25	17,85	21,94	23,57	23,50	25,96	18	19,91	20,42	21,85	21,94	23,29	22,82	22,89	2
Région capitale	21,95	11,57	18,14	21,63	22,60	24,54	32,87	13	39,20	20,23	21,19	21,63	21,36	22,29	25,07	-4
Ilocos	15,68	15,84	23,50	27,94	27,97	31,78	36,76	18	31,05	29,72	30,56	27,94	27,83	31,34	33,88	2
Cagayan Vallée	14,67	14,61	22,23	28,79	28,88	29,69	35,94	18	23,55	23,15	28,32	28,79	24,92	25,01	28,55	4
Luçon Centre	12,47	13,18	21,74	25,31	25,73	25,39	30,02	18	26,65	26,20	27,52	25,31	27,64	26,70	29,72	2
Tagalog Sud	10,56	11,04	17,46	19,28	18,16	18,57	23,34	16	19,45	19,33	21,29	19,28	18,25	18,30	20,93	2
Bicol	9,75	10,31	14,42	17,73	19,13	18,79	20,58	14	17,73	19,06	18,09	17,73	18,83	18,14	17,74	<1
Visayas Ouest	6,95	7,68	13,91	17,52	21,22	16,74	18,66	22	14,10	14,46	18,16	17,52	14,12	16,32	16,78	-4
Visayas Centre	5,68	5,19	9,23	9,03	11,39	12,84	18,17	25	9,36	7,97	10,27	9,03	11,56	12,37	14,89	10
Mindanao Ouest	6,25	7,32	14,63	15,79	16,84	18,02	17,45	23	12,11	13,71	18,33	15,79	17,06	18,99	17,68	8
Mindanao Nord	4,44	7,71	18,60	14,33	19,74	15,15	21,16	41	8,38	14,44	22,85	14,33	19,15	14,54	21,61	25
Mindanao Sud	7,39	7,97	12,69	18,97	20,05	20,91	21,99	22	14,72	15,30	15,76	18,97	19,45	19,49	18,70	4
Mindanao Centre	4,44	7,76	12,75	21,07	21,24	20,29	20,38	34	8,06	13,52	15,42	21,07	20,58	19,18	18,07	17
	Prix de gros en termes courants								Prix de gros en termes réels							
Philippines	5,88	9,86	10,81	16,31	18,12	17,00	14,61	20	11,12	17,89	13,23	16,31	17,91	16,50	12,88	6
Ilocos	8,52	11,55	20,10	23,90	23,93	24,99	18,75	18	16,87	21,67	26,14	23,90	23,81	24,64	17,28	14
Cagayan Vallée	8,82	11,96	18,20	23,54	23,61	27,04	21,21	18	14,16	18,95	23,18	23,54	20,37	22,78	16,85	5
Luçon Centre	6,78	6,54	15,06	12,78	24,19	23,14	17,10	26	14,49	13,00	19,06	23,78	25,98	24,33	16,93	6
Tagalog Sud	7,30	10,57	12,35	14,99	15,00	14,17	11,86	10	13,44	18,51	15,06	14,99	15,08	13,96	10,64	-2
Bicol	5,71	7,46	10,76	12,92	15,07	14,62	14,31	18	10,38	13,79	13,50	12,92	14,83	14,11	12,34	4
Visayas Ouest	4,12	5,35	8,73	11,84	14,21	12,63	12,77	23	8,36	10,08	11,40	11,84	9,45	12,31	11,48	7
Visayas Centre	5,33	4,87	8,66	8,47	9,55	8,77	6,60	8	8,78	7,48	9,63	8,47	9,70	8,45	5,41	-5
Visayas Est	5,34	9,13	4,70	11,46	11,84	12,22	9,51	25	10,68	17,49	5,47	11,46	13,05	13,49	9,83	16
Mindanao Ouest	5,76	6,75	5,61	13,00	14,33	15,68	12,42	44	11,16	12,64	7,03	13,00	14,52	16,52	12,58	9
Mindanao Nord	3,38	5,87	6,12	8,77	10,70	12,62	13,36	28	6,38	10,99	7,52	8,77	10,38	12,11	13,65	18
Mindanao Sud	5,14	5,54	6,42	8,76	12,63	16,50	14,57	21	10,24	10,63	7,98	8,76	12,25	15,38	12,39	6
Mindanao Centre	3,02	5,84	2,38	4,11	11,66	14,56	13,96	52	5,48	10,17	2,88	4,11	11,30	13,76	12,38	41
	Marge bénéficiaire en termes courants								Marge bénéficiaire en termes réels							
Philippines	4,65	1,39	7,04	5,63	5,45	6,50	11,35	68	8,79	2,52	8,62	5,63	5,39	6,31	10,01	35
Ilocos	7,16	4,29	3,40	4,04	4,04	6,79	18,01	38	11,48	8,05	4,42	4,04	4,02	6,70	16,60	20
Cagayan Vallée	5,85	2,65	4,03	5,25	5,27	2,65	14,73	17	9,39	4,20	5,13	5,25	4,55	2,23	11,70	55
Luçon Centre	5,69	6,64	6,68	1,53	1,54	2,25	12,92	77	12,16	13,20	8,46	1,53	1,65	2,37	12,79	64
Tagalog Sud	3,26	0,47	5,11	4,29	3,16	4,40	11,48	176	6,00	0,82	6,23	4,29	3,18	4,33	10,30	115
Bicol	4,04	2,85	3,66	4,81	4,06	4,17	6,27	11	7,35	5,27	4,59	4,81	4,00	4,03	5,41	-3
Visayas Ouest	2,83	2,33	5,18	5,68	7,01	4,11	5,89	23	5,74	4,39	6,76	5,68	4,66	4,01	5,30	2
Visayas Centre	0,35	0,32	0,57	0,56	1,84	4,07	11,57	100	0,58	0,49	0,63	0,56	1,87	3,92	9,48	59
Mindanao Ouest	0,49	0,57	9,02	2,79	2,51	2,34	5,03	255	0,95	1,07	11,03	2,79	2,54	2,47	5,10	161
Mindanao Nord	1,06	1,84	12,48	5,56	9,04	2,53	7,80	132	2,00	3,45	15,33	5,56	8,77	2,43	7,97	94
Mindanao Sud	2,25	2,43	6,27	10,21	7,42	4,41	7,42	38	4,48	4,66	7,79	10,21	7,20	4,11	6,31	19
Mindanao Centre	1,42	1,92	10,37	16,96	9,58	5,73	6,42	78	2,58	3,34	12,54	16,96	9,28	5,42	5,69	43

*US\$1 = P9,171 (1982) ; P21,335 (1988).

Cependant, en valeur réelle, la région Tagalog Sud et la région Centre des Visayas ont enregistré un accroissement négatif, ce qui signifie que les augmentations de prix de gros du tilapia étaient inférieures à la hausse générale des prix dans ces régions.

Les prix de gros du tilapia en termes réels et courants dans toutes les régions ont aussi été comparés aux prix pratiqués dans la région Luçon Centre, considérée ici comme le centre nerveux de la production (Tableau 4). Comparés aux prix pratiqués dans la région Luçon Centre, les prix appliqués dans la région d'Ilocos et dans la région de Cagayan Vallée étaient en moyenne plus élevés [21 % (courant) et 16 % (réel), et 24 % (courant) et 6 % (réel), respectivement]. Les prix de gros du tilapia dans les autres régions étaient plus bas que dans la région Luçon Centre. Les prix pratiqués dans la région Visayas Centre étaient les plus bas, en moyenne 39 % (courant) et 56 % (réel) des prix pratiqués dans la région Luçon Centre.

Marges bénéficiaires en termes réels et courants

Les marges bénéficiaires, c'est-à-dire la différence entre le prix de détail et le prix de gros, représentent les profits ou l'importance des activités commerciales entre les deux points de vente. De 1982 à 1988, les marges bénéficiaires réalisées sur le tilapia en termes courants ont atteint en moyenne P5,57/kg dans l'île de Mindanao et P5,36/kg dans le groupe d'îles de Luçon (Tableau 4). Dans les Visayas, les marges bénéficiaires étaient plus basses, P3,74/kg.

D'une région à l'autre, les marges bénéficiaires réalisées sur le tilapia en termes courants allaient de P2,75/kg dans la région Visayas Centre à P7,49/kg dans la région Mindanao Centre (Tableau 4). Cependant, en valeur réelle, ces marges étaient les plus élevées dans les régions d'Ilocos (P8,29/

kg) et les plus faibles dans la région Visayas Centre (P2,50/kg).

Analyse comparative des prix avec d'autres poissons

Evolution des prix du tilapia et d'autres poissons

L'évolution des prix de quatre autres poissons concurrents a été comparée avec l'évolution des prix du tilapia. La disponibilité de certains poissons sur les marchés régionaux a été retenue comme critère de concurrence. La stratification des préférences des consommateurs a été établie en fonction du niveau de leurs revenus. Le tilapia est un poisson de seconde classe et a été comparé à deux autres poissons du même groupe : le Caesio asuror (Caesio asuror spp., appelé localement *dalang bukid*) et la cohana (*Nemipterus spp.*, appelé localement *bisugo*). Le tilapia a également été comparé au chanos (*Chanos chanos*, nom local : *bangus*) et à la comète fine (*Decapterus macrosoma, galunggong*), considérés respectivement comme des poissons de première et de troisième classe.

Dans la plupart des régions de l'île de Luçon, de 1982 à 1989, pratiquement les mêmes prix ont été pratiqués pour le tilapia, le Caesio asuror, la cohana et le chanos (CBAS, 1982-1989). Cependant, dans les îles des Visayas et de Mindanao (à l'exception des régions Centre et Est des Visayas), les prix du tilapia et de la comète fine étaient assez proches, ce qui revient à dire que le tilapia est moins attrayant dans ces régions que dans Luçon et que cela pourrait être attribué à la disponibilité d'une grande variété de poissons marins que l'on trouve dans les Visayas et à Mindanao. En termes de fluctuations annuelles, le comportement des prix du tilapia était similaire à celui d'autres poissons, sauf dans la région Nord de Mindanao où les fluctuations des prix du

tilapia étaient plus prononcées en comparaison d'autres poissons.

Rapports entre les prix du tilapia et d'autres poissons concurrents

En règle générale, les prix de détail du Caesio asuror étaient plus élevés que les prix du tilapia (Tableau 5). Cependant, l'évolution des prix entre 1982 et 1989 reflète une augmentation des prix de détail du tilapia par rapport aux prix du Caesio asuror. En 1989, les rapports de prix entre Caesio asuror et tilapia ont chuté au-dessous de 100 % dans quatre régions de Luçon, ce qui signifie que les prix du tilapia sont plus élevés dans ces régions. En revanche, bien que les rapports de prix entre le Caesio asuror et le tilapia aient baissé depuis 1982, les prix de détail du Caesio asuror étaient tout de même plus élevés que les prix du tilapia dans la région Visayas Ouest et dans les régions de Mindanao. Cette évolution des prix témoigne d'un accroissement de la demande en tilapia par rapport à la demande en Caesio asuror.

Les rapports de prix de détail entre la cohana et le tilapia de 1982 à 1989 reflète aussi une tendance à la baisse (Tableau 5). Mais en 1989, les prix de détail de la cohana étaient tout de même plus élevés que les prix du tilapia, sauf dans la région de Cagayan Vallée où les prix de la cohana étaient plus bas (8,4 %). En comparaison des autres régions, les régions des Visayas et de Mindanao montrent des rapports de prix de détail plus élevés entre la cohana et le tilapia.

De 1982 à 1989, les rapports de prix de détail entre le chanos et le tilapia traduisent une évolution fluctuante mais croissante, sauf dans les régions Tagalog Sud et de Mindanao (Tableau 5). En moyenne, les prix de détail du chanos étaient plus élevés que les prix du tilapia dans les régions de Luçon (24 %), dans les Visayas (64 %) et à Mindanao (49 %).

Les prix de détail de la comète fine étaient généralement inférieurs aux prix du tilapia dans les régions d'Ilocos, de Cagayan Vallée et dans la région Luçon Centre, et supérieurs dans les régions Visayas Centre et Mindanao Centre. Toutefois, les mouvements de prix étaient mixtes dans d'autres régions (Tableau 5). Les rapports de prix supérieurs à 100% dans les régions Visayas Centre et de Mindanao indiquent que dans ces régions la comète fine est préférée au tilapia.

Discussion

L'accroissement de la production du tilapia au cours des dix dernières années est imputé au développement de l'aquaculture. Cette évolution devrait continuer à mesure que la production des pêches de capture en milieu continental diminue. Le tilapia est l'espèce principale des élevages en étangs d'eau douce, en cages et en enclos dans tout le pays à l'exception de la région Visayas Est. La production de tilapias est la plus importante dans l'île de Luçon, particulièrement dans la région Centre, région essentiellement enclavée, et dans la région Tagalog Sud, dotée de vastes ressources halieutiques en milieu continental. Dans les Visayas et à Mindanao, la production du tilapia est faible et son élevage n'est pas très populaire. Ces régions ont d'importantes ressources marines qui offrent aux consommateurs un grand choix de poissons, ce qui n'incite guère les producteurs à s'engager dans l'élevage du tilapia.

Bien que de façon générale les prix du tilapia, de la comète fine, du Caesio asuror et de la cohana aient été très voisins, des différences régionales sont à constater. Par exemple, les prix de détail du tilapia dans l'île de Luçon sont nettement plus élevés que les prix de la comète fine. En revanche, dans l'île de Mindanao, les prix de détail du tilapia et les prix de la comète fine sont assez voisins, ce qui semblerait signifier que

Tableau 5. Rapports des prix de détail du tilapia (*Oreochromis* spp.) avec d'autres espèces concurrentes : Caeslo asuror (*Caesio* spp.), cohana (*Nemipterus* spp.), chanos (*Chanos chanos*) et comète fine (*Decapterus macrosoma*) sur les marchés régionaux, Philippines, 1988-1989. (Source : BAS, 1982-1989).

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989		1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
	Rapport des prix de détail entre le Caeslo asuror et le tilapia									Rapport des prix de détail entre la cohana et le tilapia							
Philippines	118	124	116	111	110	117	113	84	130	143	139	129	122	123	113	106	
Ilocos	103	106	98	98	113	104	99	85	114	114	114	114	128	116	108	106	
Cagayan Vallée	98	108	112	101	107	108	101	90	104	116	113	110	111	106	97	92	
Luçon Centre	105	101	106	103	106	108	105	104	155	148	139	131	132	132	114	117	
Tagalog Sud	118	109	123	127	137	139	112	88	143	146	153	158	151	145	123	119	
Bicol	116	108	108	100	90	105	113	87	110	104	109	108	99	108	112	114	
Visayas Ouest	172	178	125	130	121	135	124	98	177	162	155	148	130	142	136	128	
Visayas Centre	207	207	200	218	203	186	150	157	198	208	195	217	175	164	130	190	
Mindanao Ouest	175	140	113	123	99	104	129	107	180	150	124	133	121	118	135	131	
Mindanao Nord	274	157	102	155	124	178	138	129	278	166	112	165	138	178	134	167	
Mindanao Sud	201	193	170	138	136	163	167	125	227	207	169	138	143	142	141	148	
Mindanao	331	186	168	113	122	125	152	135	316	183	178	125	127	147	161	135	
	Rapport des prix de détail entre le chanos et le tilapia									Rapport des prix de détail entre la comète fine et le tilapia							
Philippines	121	112	120	122	125	127	126	131	84	88	99	94	88	85	88	79	
Ilocos	104	93	106	119	130	117	115	127	67	66	84	82	78	74	78	71	
Cagayan Vallée	105	101	111	115	114	121	112	116	68	67	81	82	80	80	76	74	
Luçon Centre	115	108	113	114	123	125	118	131	54	60	41	34	70	85	80	80	
Tagalog Sud	130	120	130	140	167	154	135	129	95	88	111	115	116	105	88	85	
Bicol	143	130	141	100	136	143	142	157	96	105	113	110	109	107	107	100	
Visayas Ouest	157	149	138	140	137	153	154	165	124	111	118	105	98	97	103	99	
Visayas Centre	177	193	178	207	183	167	131	192	170	181	176	194	173	141	121	145	
Mindanao Ouest	170	144	122	130	124	123	138	145	115	100	96	94	82	71	89	80	
Mindanao Nord	274	160	104	152	125	172	140	158	231	126	91	120	96	134	108	101	
Mindanao Sud	177	167	167	139	137	136	136	142	119	118	114	94	94	96	100	88	
Mindanao Centre	295	174	161	114	123	140	159	173	227	139	136	99	101	94	121	125	

le tilapia est moins apprécié des consommateurs à Mindanao où il est encore considéré comme un poisson de troisième classe. L'évolution des prix de détail de 1982 à 1989 indique que les hausses de prix du tilapia étaient supérieures aux augmentations de prix du *Caesio asuror* et de la cohana, bien que les prix du tilapia soient restés inférieurs. En 1989 cependant, les prix du tilapia dans l'île de Luçon étaient déjà supérieurs aux prix du *Caesio asuror*. Ceci pourrait signifier que la demande en tilapia augmente par rapport à la demande en *Caesio asuror* et en cohana. L'évolution des prix du chanos montre que les prix de ce poisson ont augmenté davantage que les prix du tilapia et que ceux-ci sont bien inférieurs aux prix du chanos. Bien que cela puisse donner l'impression que la production de chanos n'a pas été influencée par la production de tilapias, la baisse de la production de chanos dans les élevages en enclos en 1985 est, au contraire, attribuée au fait que les opérateurs d'élevages en enclos ont remplacé le chanos par le tilapia et la carpe dans la Laguna de Bay, un lac d'eau douce de 90.000 ha dans la région Tagalog Sud (BAS, 1991a).

Les différences observées au niveau de la production et des prix du tilapia signifient que la demande en tilapia varie d'une région à l'autre. En règle générale, la production et les prix atteignent des chiffres plus élevés dans les régions de Luçon en comparaison des Visayas et de Mindanao. Bien que les ressources nécessaires pour l'élevage du tilapia soient abondantes partout dans le pays, la croissance de cette industrie est lente dans les Visayas et à Mindanao, et ceci est largement dû à la disponibilité d'une grande variété de poissons marins que l'on trouve dans ces régions. Dans les régions de l'île de Luçon, le tilapia constitue une part très importante du marché en raison de la demande relativement grande pour ce poisson par rapport à la demande pour d'autres poissons d'origine marine. L'analyse de l'évolution des prix du tilapia et d'autres

espèces de poissons indique que le tilapia peut concourir sur les marchés de poissons. De façon générale, la hausse des prix du tilapia est supérieure à l'augmentation des prix d'autres poissons, ce qui est un signe prometteur de l'accroissement de la demande en tilapias.

Littérature citée

- BAS. 1989. The National Agricultural Research and Extension Agenda 1988-1992. Bureau of Agricultural Statistics. Department of Agriculture, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1982. Price series 1982. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1983. Price series 1983. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1984. Price series 1984. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1985. Price series 1985. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1986. Price series 1986. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1987. Price series 1987. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1988. Price series 1988. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1989. Price series 1989. Agricultural Marketing and Statistical Analysis Division, Bureau of Agricultural Statistics, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1991a. Fishery Statistics Bulletin Vol. 1, No. 1, June 1991. Bureau of Agricultural Statistics. Department of Agriculture, Quezon City, Philippines.
- BAS. 1991b. Selected fishery statistics 1979-1990. Bureau of Agricultural Statistics. Department of Agriculture, Quezon City, Philippines.
- Bimbao, M.P. and M.P. Ahmed. 1990. Market potential of tilapia in the Philippines: an assessment. Paper presented at the Asian Regional Workshop on Tilapia Genetics: Present Progress, Future Directions and Needs in Fish Genetics with Emphasis on Tilapias, 29-31 August 1990, Central Luzon State University, Muñoz,

Nueva Ecija, Philippines.
Guerrero, R.D. III. 1985. Tilapia farming in the
Philippines: practices, problems and prospects,

p. 3-14. In I.R. Smith, E.B. Torres and E.O. Tan
(eds.) Philippine tilapia economics. ICLARM
Conf. Proc. 12, 261 p.

L'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal : les raisons d'un échec

P.S. DIOUF

J.J. ALBARET

*Centre de recherches océanographiques de Dakar - Thiaroye (CRODT),
B.P. 2241 Dakar, Sénégal*

DIOUF, P.S. et J.J. ALBARET. 1996. L'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal : les raisons d'un échec, p. 536-549. *In* R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Après avoir suscité de réels espoirs à ses débuts, l'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal connaît actuellement de grandes difficultés (production inférieure à 50 tonnes). En effet, malgré l'existence de nombreux éléments favorables (importance du potentiel hydrique, abondance des sous-produits de l'agriculture et de l'élevage, déficit d'approvisionnement de la région du fleuve en poisson d'environ 21.000 t), l'élevage du tilapia n'a pas été un succès. Cet échec est dû à de nombreuses contraintes : (1) environnementales — irrégularité du régime hydrologique naturel, pauvreté des eaux du fleuve en sels minéraux, forte turbidité durant la saison des pluies et températures hydriques basses de novembre à mars ; (2) techniques — mauvais choix des sites, étangs de pisciculture pas assez profonds, digues mal construites, manque de suivi de la qualité de l'eau et alevins de mauvaise qualité ; (3) administratives — mauvaise définition des responsabilités, insuffisance de l'encadrement, confusion constante des objectifs d'expérimentation et de vulgarisation ; et (4) socio-économiques — perception de la pisciculture par les paysans comme une activité très secondaire, coûts d'aménagement élevés et concurrence de la pêche. Toutefois, avec la construction des barrages de Diama et de Manantali, une conjoncture plus favorable semble se dessiner.

Introduction

Après un peu plus d'un demi siècle d'expérience, la pisciculture dans beaucoup de pays africains cherche encore sa voie (Lazard et coll., 1990). La production de poisson de pisciculture du continent ($62.000 \text{ t}\cdot\text{an}^{-1}$) et particulièrement de l'Afrique subsaharienne ($10.500 \text{ t}\cdot\text{an}^{-1}$) est faible en comparaison de la production mondiale ($13 \text{ millions t}\cdot\text{an}^{-1}$) (FAO, 1989).

Les activités piscicoles au Sénégal, après avoir suscité de réels espoirs à leurs débuts, sont retombées à un niveau très faible, la production annuelle ne dépassant pas 100 t. La tentative de

développer l'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal a été motivée par plusieurs raisons. Depuis deux décennies, le bassin du fleuve Sénégal connaît un déficit pluviométrique et un développement des aménagements hydro-agricoles qui ont considérablement affecté le régime hydrologique et réduit, d'une manière drastique, les surfaces inondées (Lazard, 1981 ; Denneville et Jamet, 1982 ; Diouf et Bousso, 1988). Celles-ci sont passées de près de 400.000 ha en 1969 à moins de 100.000 ha ces dernières années (OMVS, 1986). La réduction des superficies inondées a eu pour conséquence une diminution des captures de poisson. D'environ

20.000 t en 1969 (Fall, 1980), les prises sont tombées à 8.000 t en 1988 (Diouf et coll., 1991). Or, la demande en poisson n'a cessé d'augmenter du fait de l'accroissement de la population. Actuellement, le déficit en poisson pour cette région du Sénégal est estimé à 21.000 t·an⁻¹ (Diouf et coll., 1991), la consommation idéale étant de 36,5 kg·tête⁻¹·an⁻¹ (Lazard, 1981). L'importation de poisson de mer à partir d'autres régions du Sénégal arrive à peine à combler le tiers du déficit (Diouf et coll., 1991).

Les circuits de distribution du poisson de mer, bien que plus performants ces dernières années, ne permettent pas un approvisionnement régulier des zones très enclavées comme le département de Bakel (Fig. 1) — surtout durant la saison des pluies — en raison des problèmes de conservation du produit associé à un acheminement difficile. Le poisson de mer présenté aux consommateurs dans cette zone est cher (Tableau 1), et souvent de qualité médiocre (Diouf et coll., 1991). Dans ces zones, le poisson d'eau douce et particulièrement les tilapias (pêche et pisciculture) sont préférés au poisson de mer.

Le prix de la viande dans le bassin est relativement élevé surtout en milieu urbain où le prix moyen est de l'ordre de 800 F CFA·kg⁻¹ (US\$2,7). En milieu rural, les habitudes sociales sont telles que la consommation de viande est faible. Dans ce contexte, la pisciculture semble une nécessité dans le bassin du fleuve Sénégal.

Le choix du tilapia (essentiellement, *Oreochromis niloticus*) par les promoteurs de la pisciculture dans la région a été dicté par le fait que ce poisson est très prisé, qu'il est résistant et que les techniques de son élevage sont relativement bien connues.

Après une rapide présentation du milieu, nous ferons l'historique de

l'élevage du tilapia dans la région du fleuve Sénégal et tenterons d'en évaluer les atouts et les freins.

Présentation du milieu

Avec une longueur d'environ 1.800 km, le Sénégal est, par l'importance de ses écoulements, la septième artère fluviale de l'Afrique et la deuxième de la région ouest-africaine. Son bassin versant couvre une superficie de 340.000 km².

La répartition des isohyètes montre des variations considérables de la pluviométrie sur l'ensemble du bassin. Elle passe de 2.000 mm dans sa partie sud à environ 300 mm sur sa limite septentrionale. Dans cette région, une des caractéristiques les plus marquantes de la pluviométrie est l'irrégularité interannuelle, particulièrement prononcée dans le nord.

L'histoire climatique de ce bassin est marquée par une succession de périodes sèches et de périodes humides (Olivry, 1982 ; Sow, 1984 ; Kane, 1985). La période actuelle se caractérise par un déficit pluviométrique persistant.

La quantité d'eau évaporée par année est importante. A l'évaporomètre Piche, les relevés moyens sur une période de plusieurs décennies ont été de 2.950 mm à Saint-Louis où le degré hydrométrique de l'air est relativement important, de 3.220 mm à Matam et de 3.550 mm à Rosso (Platon, 1981).

Le régime hydrologique du fleuve Sénégal, classé dans le type tropical par Frecault (1982), Gac et Kane (1985), et Kane (1985) se caractérise par son extrême irrégularité interannuelle. Les barrages de Diama (Fig. 1) et de Manantali (au Mali) vont profondément modifier ce régime naturel. L'objectif de l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) est de

Tableau 1. Prix moyen (F CFA)/kg au détail de quelques espèces de poissons de mer à Dakar (pour comparaison), Podor, Matam et Bakel entre 1986 et 1987. (Source : Chaboud et Kébé 1990).

Espèces	Noms scientifiques	Dakar	Podor	Matam	Bakel
Ethmalose	<i>Ethmalosa fimbriata</i>	96	138	227	400
Sardinelle ronde	<i>Sardinella aurita</i>	107	176	232	295
Sardinelle plate	<i>Sardinella maderensis</i>	77	188	231	296
Brochet	<i>Sphyraena</i> spp.	426	600	481	589
Mulets (Mugilidae)	<i>Liza</i> , spp. et <i>Mugil</i> spp.	280	383	425	540
Mérou blanc, bronzé	<i>Epinephelus aeneus</i>	554	711	752	603
Carpe blanche	<i>Pomadasys jubelini</i> et <i>P. peroteti</i>	276	376	591	573
Otolithe du Sénégal	<i>Pseudotolithus senegalensis</i>	233	500	484	550
Courbine	<i>Argyrosomus regius</i>	435	699	689	576

US\$ 1.00=300 F CFA.

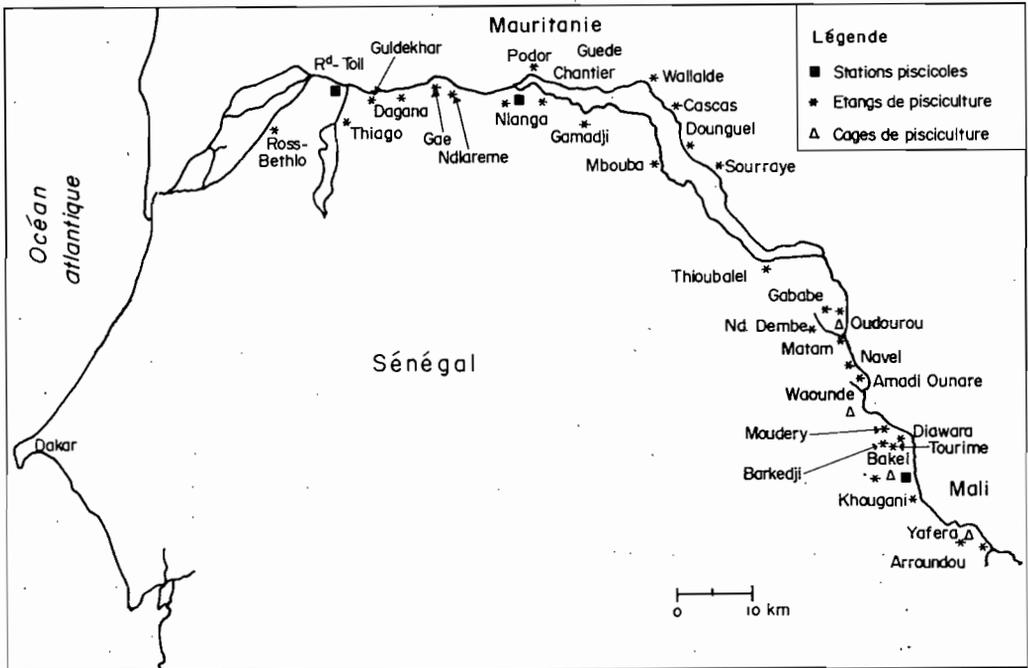


Fig. 1. Localisation des stations piscicoles, des étangs et des cages d'élevage le long du fleuve Sénégal.

remplacer les cultures de décrue du bassin du fleuve Sénégal par des cultures irriguées. Cependant, pour éviter un changement brutal qui risquerait de provoquer d'importants problèmes socio-économiques, il a été décidé que pendant les premières années de fonctionnement des barrages, des lâchers spécifiques (crues artificielles) seront effectués à Manantali afin de créer et de maintenir les conditions de crue nécessaires à la poursuite des cultures de décrue.

Pour ce qui est de la salinité, avant l'édification des barrages, l'eau douce inondait toute la vallée du fleuve Sénégal en période de crue. Mais dès la mi-octobre, l'intrusion saline commençait.

Avec l'édification du barrage de Diama, le bief aval fonctionne comme un bassin évaporant et on assiste à une augmentation progressive de la salinité qui peut atteindre 40 à 45 ‰. En amont du barrage, l'eau reste douce tant que celui-ci est fermé.

La température des eaux du fleuve Sénégal présente des variations saisonnières liées à l'existence de deux régimes thermiques de l'air : une saison chaude (juin-novembre) avec des températures hydriques de 30-33°C et une saison fraîche (décembre-avril) avec des températures de l'ordre de 16 à 26°C. Au niveau des mares et des zones peu profondes, des maxima de l'ordre de 45°C et des minima de l'ordre de 12°C peuvent être enregistrés.

L'hydrochimie n'est pas la même dans la vallée et dans le delta. Dans la vallée où l'eau est douce toute l'année, les eaux sont tétraioniques, pauvres en chlorure et en sulfate. Ces eaux contiennent très peu de sels minéraux (Reizer, 1974). Il s'ensuit que les eaux du fleuve sont peu productives. Au niveau du delta, pendant la crue, on retrouve la même eau que celle de la vallée. En revanche, durant la décrue,

les eaux de mer, hexaioniques et contenant beaucoup de sels nutritifs, occupent le delta. De l'aval vers l'amont, on note une diminution progressive de la teneur en sels minéraux.

Historique de l'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal

La pisciculture en étang (USAID et Catholic Relief Services)

PHASE I (1979-1981)

L'histoire de l'élevage du tilapia démarre réellement dans le bassin du fleuve Sénégal avec la signature de l'accord de financement du projet "Impact accéléré de pisciculture intensive" entre l'USAID et le gouvernement sénégalais en août 1979. La première phase de ce projet (décembre 1979 à décembre 1981), dite "pilote", avait comme principaux participants l'USAID, la Direction des eaux et forêts, le Corps de la paix et les coopératives villageoises. En 1980, fut construite la station de Richard-Toll. Elle était composée de deux étangs de 25 ares et quatre de 5 ares. Ces étangs furent empoissonnés avec des géniteurs de *Oreochromis niloticus* provenant de la Côte d'Ivoire (Projet FAO, Bouaké). En 1981, ils avaient produit 50.000 alevins qui devaient être utilisés dans les étangs de démonstration.

En 1980 également, des étangs ont été construits dans les villages de Gaya; Ndiarème, Nianga, Guédé, Gamadji et Mboumba (Fig. 1). Leur superficie variait entre 30 et 40 ares. Ils furent empoissonnés en octobre-novembre avec des alevins provenant de la station de Richard-Toll à des taux de 1,25 à 1,7 alevins·m⁻². Ces alevins avaient un poids individuel variant entre 11 et 23 g.

En mars 1981, une évaluation du projet a été faite avant qu'aucun étang ne réalise sa première récolte. Selon les conclusions de cette évaluation, le projet était en bonne voie et les chances de succès étaient grandes.

Au bout de quatre mois et demi, les poissons des étangs pesaient entre 90 et 125 g. Les résultats de la première année d'élevage ont été encourageants avec des rendements moyens de 1,2 t·ha⁻¹ (Freudenberger, 1988).

En raison de l'indisponibilité de rapport sur cette période, il est impossible de reconstituer dans le détail la manière dont l'élevage a été mené. Toutefois, il ressort de nos enquêtes que pour le régime alimentaire et la fertilisation, l'accent a été mis sur le son de riz et les engrais organiques.

PHASE II (1982-1984)

A l'issue de la première phase, une prolongation de deux ans a été accordée par l'USAID grâce au fonds du projet "Périmètres irrigués" de Bakel. Durant cette période dite "d'extension", la participation principale du gouvernement sénégalais était confiée à la Société pour l'aménagement et l'exploitation des terres du Delta (SAED).

Pendant cette période, deux nouvelles stations piscicoles furent construites : Bakel (1982-1983) et Nianga (1983-1984). Quarante étangs de démonstration supplémentaires ont été creusés. La plupart d'entre eux durent être abandonnés à cause de leurs résultats décevants.

Pour réduire la concurrence avec le poisson de mer, le centre d'intérêt de la pisciculture se déplaça vers les parties centrale et orientale du bassin du fleuve Sénégal.

La station de Bakel comprenait trois étangs : deux de 35 ares et un de 75 ares. Cette station n'a produit que 15.000

alevins pour l'empoisonnement des étangs de Arroundou, Koungani, Yafera et Wallalde (Fig. 1).

Cette station de Bakel a connu de sérieuses difficultés liées à des problèmes d'infiltration et de gestion. En effet, la gestion était assurée par une coopérative de pêche avec le concours d'un volontaire du Corps de la paix. Certains membres du groupe, forts de leur expérience halieutique et de leur "connaissance du poisson", refusaient de suivre les conseils du volontaire. A la suite d'une très mauvaise récolte en 1984, la station de Bakel fut abandonnée.

Pendant cette seconde phase, la qualité des alevins produits au niveau de Richard-Toll était médiocre en raison de densités de stockage de géniteurs trop élevées.

Paradoxalement, on assistait à une augmentation spectaculaire du nombre des étangs de démonstration dans les villages alors que les récoltes demeuraient mauvaises.

Peu d'informations sur l'alimentation des poissons durant cette phase sont disponibles. Toutefois Lazard (1984) précise qu'un mélange de 90 % de son de riz et de 10 % de farine de poisson était utilisé à la station de Richard-Toll.

PHASE III (1985-1988)

La station de Nianga fut empoisonnée fin 1984 et début 1985 avec des *O. niloticus* dont une partie venait de Richard-Toll et une autre du lac de Guiers, des canaux des périmètres situés aux environs de Podor, et de l'étang de Guidékhar.

Au cours de la première année d'exploitation de la station, près de 20.000 alevins ont été produits. L'un des étangs d'alevinage a été empoisonné durant la première campagne avec des *Sarotherodon galilaeus*. Aucune donnée n'est disponible sur le résultat de cet élevage.

Cette station a permis de ravitailler en alevins les étangs et les cages des environs pendant la phase III, quoique de manière insuffisante.

A Nianga, comme d'ailleurs dans les étangs de démonstration des villages, l'alimentation comprenait 80 % de son de riz et 20 % de farine de poisson. D'autres mélanges ou types d'aliments ont été essayés (sang d'animaux d'abattage, tourteaux d'arachide, etc.) mais jusque-là, les résultats n'ont pas été concluants.

Les expérimentations menées à Nianga ont permis de conclure qu'un taux d'alevinage de 2 alevins·m⁻² était nettement plus avantageux sur le plan production que 1 alevin·m⁻². En effet, les rendements obtenus avec le premier taux étaient 1,66 fois plus élevés que ceux obtenus avec le second (2,427 t·ha⁻¹·an⁻¹ contre 1,462 t·ha⁻¹·an⁻¹). En revanche, sur le plan financier, le taux de 2 alevins·m⁻² est 1,4 fois moins rentable à cause des charges supplémentaires de nourriture et d'engrais (Freudenberger, 1988).

Par ailleurs, il a été montré que les petits étangs de 2,75 ares (1,462 t·ha⁻¹·an⁻¹) étaient plus productifs que les grands de 33 ares (0,850 t·ha⁻¹·an⁻¹).

En 1985, quatre ans après le démarrage du projet, une seconde évaluation a été réalisée révélant que les résultats obtenus étaient bien en deçà des prévisions.

En mars 1985, l'USAID a arrêté de financer le projet piscicole, cette période a coïncidé avec d'énormes problèmes sociaux et de gestion. La relève (à partir du mois de mars 1985) en ce qui concerne le financement fut alors assurée par le Catholic Relief Services (CRS).

Sur la base d'une nouvelle évaluation (Freudenberger, 1988), le CRS décida également d'arrêter de financer le projet. La conclusion de l'expertise était la suivante :

“Le projet de pisciculture est largement passé à côté de son objectif primaire qui consistait à donner une preuve concrète de sa faisabilité sous forme d'étangs de démonstration réussis et à montrer cette preuve aux différents agriculteurs en créant un programme efficace de démonstration. Ce projet n'a atteint ni ses objectifs d'aider les paysans locaux à accroître la quantité et la disponibilité de protéines dans leur régime alimentaire, ni ceux d'augmenter leurs revenus individuels.”

La pisciculture en cage

En raison de la difficulté de faire face aux coûts de l'eau et de l'aménagement des bassins, des tentatives d'élevage en cage ont été menées. Les premières cages furent installées à Bakel et à Waoundé en 1984. Elles étaient construites avec des tubes en PVC et du grillage recouvert d'une couche plastique anti-rouille. En raison de la force du courant, ces cages n'ont pas tenu plus d'un mois. Des recherches pour trouver une solution de rechange furent entreprises et de nouveaux essais furent menés en juin de l'année 1985, aboutissant à la mise au point de nouvelles cages (filet de pêche en nylon et barres de fer).

L'alimentation des poissons était essentiellement composée d'un mélange de 80 % de son de riz et de 20 % de farine de poisson. Les résultats enregistrés ne furent guère encourageants.

La pisciculture extensive

Un essai de pisciculture extensive a été réalisé dans le marigot de Guia, près de la station piscicole de Nianga. Le 2 octobre 1986, ce marigot fut

empoissonné avec 2.000 alevins de *O. niloticus*. Les poissons ont été exclusivement nourris avec du son de riz. La récolte effectuée vers la fin du mois de juin 1987 fut de 895 poissons soit 24,6 kg et découragea les paysans.

La rizipisciculture

Des tentatives de rizipisciculture ont été menées par les volontaires du Corps de la paix à Ndiarème (Dagana). Ce projet a été financé par l'USAID et a reçu l'appui de divers organismes publics et privés tels que la SAED, l'Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest (ADRAO), l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA), les eaux et forêts, la Compagnie sucrière sénégalaise (CSS), la FAO, le Corps de la paix et l'USAID.

L'espèce de poisson utilisée était *O. niloticus* et la variété de riz employée le KN-1H-350, originaire d'Indonésie. Cette variété résiste bien à la fraîcheur et donne souvent de bons rendements.

Selon Chopak (1983) et Bloom (1986), tous les objectifs ont été atteints. Malheureusement, après deux saisons d'expérimentation (1982-1983), l'USAID a arrêté le financement malgré des résultats encourageants (Tableaux 2 et 3).

Le Projet Matam III

Dans le cadre du projet d'aménagement hydro-agricole du département de Matam, phase III, un volet pisciculture a été créé. Ce volet, Matam III a effectivement démarré en septembre 1986. Il est financé par la Caisse centrale de coopération économique avec pour maîtres d'oeuvre la SAED et l'Association française des volontaires du progrès (AFVP). La Direction des eaux et forêts en a assuré l'exécution et l'encadrement administratif. Dans le cadre de ce projet,

quatre fermes piscicoles ont été réalisées. La qualité des ouvrages est médiocre : étangs insuffisamment profonds, digues très sensibles à l'érosion et moine mal construit.

En octobre 1990, seuls deux cycles complets de production de poissons marchands avaient été réalisés et deux autres cycles étaient en cours. Il est apparu, lors de l'évaluation d'octobre 1990 (Parrel, 1990) :

- que sur les 10 fermes préalablement prévues, seules quatre ont été installées, à la suite de difficultés pour trouver des entreprises compétentes et disponibles pour réaliser de tels chantiers ;

- qu'aucune des fermes n'est totalement opérationnelle et que la qualité des infrastructures réalisées est relativement médiocre ;

- que l'encadrement rencontre de réelles difficultés pour mobiliser efficacement les pisciculteurs dont la formation est insuffisante ;

- que les résultats des élevages sont décevants ; et

- que l'équipe responsable du projet manque de "professionnalisme".

Selon Parrel (1990) ;

"L'échec actuel de ce projet n'est donc en rien celui de la pisciculture, d'autant que celle-ci se développe avec succès au Niger (Lazard et coll., 1990) dans des conditions physiques et climatiques totalement similaires et que les techniques de

Tableau 2. Rendements comparés de la riziculture, de la pisciculture et de la rizipisciculture au Sénégal. Source : Chopak (1983).

Culture	Rendement (t·ha ⁻¹)	
	Poisson	Riz
Riziculture	-	4,800
Pisciculture	2,134	-
Rizipisciculture	2,098	4,500

Tableau 3. Coûts et revenus (pour un champ de riz, un étang d'élevage, et un bassin de rizipisciculture d'un hectare). Tous les coûts sont exprimés en francs CFA ; US\$1.00 était égal à environ 300 F CFA. Source : CHOPAK (1983).

Postes	Riziculture	Pisciculture	Rizipisciculture
I. Equipement			
- Location de machines et main-d'oeuvre	90.000	188.000	218.800
- Matériel	20.000	58.200	49.200
Total	110.000	246.200	268.000
II. Coûts d'exploitation (par saison)			
- Eau	25.000	30.000	40.000
- Alevins	-	20.000	20.000
- Engrais	37.700	87.000	107.200
- Alimentation (son de riz)	-	60.000	60.000
- Semences de riz	9.900	-	9.900
- Machines agricoles	70.306	-	70.306
- Commercialisation	5.000	7.500	15.000
- Main-d'oeuvre	160.000	162.000	190.000
- Location	-	-	-
Total	307.906	366.500	512.406
III. Revenus			
- Vente du poisson (150 CFA·kg ⁻¹)	-	320.100	314.700
- Vente du riz (66,6 CFA·kg ⁻¹)	319.680	-	299.700
Total	319.680	320.100	614.400

production d'*O. niloticus* sont maintenant bien maîtrisées pour ce type d'élevage.

Cet échec est donc plus celui d'une opération et, l'accepter — après celui du projet "Peace Corps" — revient à condamner pour de longues années le développement de la pisciculture à Matam.

Aussi Parrel (1990), afin de donner une autre chance au développement de la pisciculture dans la région, a proposé une prolongation du volet piscicole de Matam III jusqu'au 31 décembre 1992, moyennant des réorientations et des modifications assorties de conditions.

Les atouts et les freins de l'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal

Les atouts

Le bassin du fleuve Sénégal constitue un potentiel considérable en eau. Outre le cours principal de 1.800 km de long, on y trouve des lacs dont les plus importants, du point de vue piscicole en terre sénégalaise, sont le lac de Guiers et les lacs collinaires. Outre ces derniers, on compte également un nombre important de mares (DEFC, 1988). En outre, l'agriculture et l'élevage sont très

développés dans la région, d'où une disponibilité de sous-produits indispensables à la pisciculture. Cependant, la concurrence pour les aliments entre le bétail et les poissons de pisciculture peut occasionnellement poser quelques problèmes. Dans le bassin du fleuve Sénégal, le déficit d'approvisionnement en poisson est énorme et il existe un marché potentiel pour le poisson de pisciculture.

L'édification des barrages de Diama et de Manantali constitue un facteur favorable à l'élevage du tilapia à plusieurs titres :

- il permet de disposer d'un approvisionnement en eau régulier et peu coûteux ;
- il permet le développement de l'agriculture et par conséquent l'augmentation des sous-produits utilisables pour l'élevage du tilapia ; et
- par l'augmentation probable des revenus des habitants de la région, il permettra l'amélioration du pouvoir d'achat des paysans.

Enfin, l'un des atouts majeurs de la pisciculture est la volonté de l'État de développer ce secteur d'activité.

Les freins

LES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

La grande irrégularité du régime hydrologique naturel du fleuve Sénégal constituait un handicap pour l'élevage du tilapia. En effet, l'énorme variabilité de ce régime rendait difficile la maîtrise de l'eau et compromettait dans certaines zones la réussite de la pisciculture.

A cette contrainte liée à l'irrégularité du régime hydrologique, il faut ajouter la forte évaporation sur la presque totalité du bassin et la perméabilité des sols de certaines parties (Bakel), entraînant la nécessité d'une remise à niveau régulière des étangs.

En outre, le faible degré de minéralisation des eaux du fleuve Sénégal (Reizer, 1974 ; Diouf et coll., 1991) constitue un inconvénient pour l'élevage du tilapia. Pour obtenir une bonne croissance dans les étangs, les pisciculteurs sont obligés de procéder à un enrichissement trophique important des eaux. Il en découle des dépenses supplémentaires qui viennent augmenter les coûts d'exploitation déjà élevés.

Durant la saison des pluies, les eaux du fleuve Sénégal sont généralement boueuses, d'où une augmentation de la turbidité dans les bassins. Cette turbidité affecte grandement la production phytoplanctonique, diminuant ainsi la richesse trophique des étangs. Ce phénomène est particulièrement important au niveau de Matam.

De novembre à mars, les températures hydriques sont relativement basses (jusqu'à 16°C) et provoquent une diminution, voire l'arrêt de la croissance dans les bassins.

D'une manière presque générale, les pentes en travers des terrains sont faibles. Ce qui est à l'origine de problèmes techniques et de coûts supplémentaires pour l'aménagement du fait de l'obligation de construire les étangs totalement en remblais.

CONTRAINTES TECHNIQUES ET ADMINISTRATIVES

Dans l'histoire de la pisciculture sénégalaise, le choix des sites (exemples de Bakel et de Navel) n'a pas toujours été judicieux. Or, l'emplacement des bassins a une importance capitale pour la réussite technique et économique des exploitations piscicoles.

La construction des bassins ne respecte pas toujours les normes techniques requises pour une bonne exploitation (bassins pas assez profonds, digues mal faites).

Par ailleurs, les dimensions parfois grandes des bassins rendent difficile leur gestion hydraulique.

Le problème des défauts d'aménagement des bassins est lié à la difficulté dans la vallée de disposer, d'une part, d'engins lourds, et d'autre part, de techniciens de terrassement expérimentés en matière de construction de bassins piscicoles.

Une entrave majeure au développement de la pisciculture a été la confusion quasi constante des objectifs d'expérimentation et de vulgarisation. Très souvent, les techniques de pisciculture ont été vulgarisées avant d'être maîtrisées. Il s'en est suivi des échecs qui ont fortement ébranlé la bonne volonté des paysans.

En ce qui concerne la qualité de l'eau, il est à déplorer l'absence fréquente d'un suivi systématique et régulier de l'évolution des paramètres physico-chimiques, même si des efforts dans ce sens sont consentis sur les stations de Ndouloumadji Dembe et de Nianga.

La disponibilité d'alevins en qualité et en nombre suffisant a souvent constitué une contrainte majeure. Selon Freudemberger (1988), parlant de la station de Richard-Toll :

"On ne se rappelle pas un seul instant où des alevins produits à Richard-Toll ont entièrement satisfait aux besoins des étangs de village. Au cours de la première année de fonctionnement, les poissons fournis étaient plus gros que des alevins et pendant les années qui ont suivi, il y a eu un problème de reproduction au niveau des alevinières, ce qui a conduit à une surpopulation et un arrêt de croissance des poissons. On croit qu'une bonne partie des poissons fournis aux étangs de village

durant ces années-là étaient en fait des individus atteints de nanisme plutôt que de réels alevins. Lorsqu'on les introduisait dans les étangs, ils se mettaient aussitôt à se reproduire, à devenir trop nombreux pour les étangs une fois de plus et à réduire énormément le rendement."

L'insuffisance en nombre du personnel d'encadrement et son inexpérience (Shelton, 1985 ; Freudemberger, 1988) ont été un handicap certain pour la réussite de la pisciculture. Ce fait a été aggravé par le manque de coordination et les mauvaises relations qu'entretenaient les différents organismes concernés par la pisciculture dans la vallée du fleuve Sénégal.

Il semblerait également que le manque de rigueur, à plusieurs niveaux, dans la gestion des projets et le style même de la gestion administrative aient contribué à l'échec de la pisciculture dans le bassin du fleuve Sénégal. Du moins, c'est ce qu'il ressort des entretiens que nous avons eus avec un nombre de personnes impliquées dans les actions de pisciculture.

CONTRAINTES SOCIO-ÉCONOMIQUES

Une de plus grandes entraves à la rentabilité financière de la pisciculture dans le bassin du fleuve Sénégal est sans nul doute le prix élevé des aménagements. A titre d'exemple, les coûts d'aménagement (gros oeuvre) d'un hectare ont été évalués à environ 8 millions de F CFA ou US\$ 26.700 (Corlay et Seck, 1988).

L'importance de cette somme fait que cette activité ne peut pas être prise entièrement en charge par les paysans. Dès lors, se pose la question de savoir si, oui ou non, il faut subventionner la

pisciculture dans le bassin du fleuve Sénégal.

Le principe de la subvention est fréquent dans le domaine de l'aquaculture notamment en France où elle peut constituer 50 % de l'investissement global (Corlay, 1989). Il faut signaler qu'au Sénégal, la riziculture, filière déficitaire, est subventionnée pour près de la moitié du prix aux consommateurs (70 F CFA [US\$0,20] de subvention pour un prix de 160 F CFA/kg [US\$0,50]). De même, pour la pêche, le carburant des pirogues et le matériel de travail sont subventionnés. Toutefois dans le cadre actuel de la politique économique du gouvernement sénégalais, il est difficile d'envisager l'octroi d'une subvention à la pisciculture.

Avec l'amélioration des circuits de distribution, le poisson de mer concurrence sérieusement la pisciculture (Chaboud et Kébé, 1990). En particulier, l'augmentation du nombre des camions frigorifiques destinés au transport des produits halieutiques a considérablement accru le rayon d'action des mareyeurs.

La pisciculture subit également la concurrence des autres activités telles que l'agriculture, l'élevage et la pêche. Ces dernières, étant des activités traditionnelles bien intégrées à la vie sociale, sont jugées prioritaires par les paysans. Ce qui explique certains comportements vis-à-vis de la pisciculture. En effet, beaucoup d'entre eux hésitent à investir leur force physique ou leur argent dans des activités piscicoles, estimant qu'ils seraient plus rentables ailleurs (agriculture, élevage ou pêche), d'autant que la pisciculture tarde à faire ses preuves.

Par ailleurs, les coopératives ont entravé le développement de la pisciculture. Les bassins gérés par une coopérative connaissent généralement d'énormes problèmes de gestion qui finissent par compromettre la réussite

de l'élevage. A cela s'ajoutent souvent des problèmes de politique locale qui enveniment les relations.

Discussion

Après un peu plus de 10 ans de tentative d'élevage du tilapia dans le bassin du fleuve Sénégal, les cas de réussite sont extrêmement rares, voire inexistant. Il faut donc admettre que la "tilapiculture" a échoué dans cette région.

Cet échec est dû à plusieurs causes d'ordre environnemental, technique, administratif et socio-économique qu'il convient d'analyser.

Sur le plan environnemental, l'extrême irrégularité du régime hydrologique du bassin du fleuve Sénégal a longtemps été une contrainte majeure. Toutefois, avec l'entrée en service des barrages de Diama et de Manantali, ce problème va (sans doute) être résolu. En revanche, en ce qui concerne les inconvénients liés à la forte évaporation, à la faiblesse de la pente en travers des terrains, au faible degré de minéralisation des eaux et à l'importance de la turbidité, les chances de trouver une solution économiquement rentable sont faibles.

Le choix des sites n'a pas toujours été judicieux, notamment pour les cas de Bakel et de certains bassins piscicoles de Matam III. Une rapide étude pédologique des terrains et un examen sommaire de l'environnement socio-économique auraient permis d'éviter des erreurs qui ont grandement contribué à l'échec de la pisciculture dans le bassin du fleuve Sénégal.

Les défauts de construction des bassins ont également porté préjudice à la pisciculture. La solution à ce problème passe par une meilleure formation des agents et le recours à des consultants compétents en pisciculture africaine et

tropicale. Le choix des consultants nécessite une attention toute particulière. Certains se fixent des normes élevées et fournissent un excellent travail, mais il existe également des cabinets et des indépendants dont la compétence et même l'honnêteté sont douteuses.

Deux problèmes situés à des niveaux très différents mais qui conditionnent en grande partie la réussite de la pisciculture sont le manque de suivi systématique des paramètres physico-chimiques et l'absence de recueil des données économiques et financières d'élevage des poissons. Il est évident que dans de pareilles conditions, les chances de réussite de la pisciculture sont très limitées.

Sur le plan administratif, la pisciculture a souffert de son mode de gestion. Il est temps qu'une décentralisation technique et financière de la gestion des projets de pisciculture ait lieu. Les fonds doivent être affectés aux directeurs de projet. Cette décentralisation devra s'accompagner d'un rythme plus élevé des évaluations techniques, administratives et financières. De la part des directeurs de projets, une plus grande rigueur dans la gestion est indispensable.

Toutes ces contraintes font que se pose avec acuité la question fondamentale du bien fondé de nouvelles perspectives et tentatives piscicoles.

Dans le bassin du fleuve Sénégal, la production de la pêche continentale a fortement baissé et n'arrive plus à satisfaire les besoins en protéines des populations locales (Diouf et coll., 1991). Une solution à ce problème serait d'améliorer les circuits de distribution du poisson de mer en renforçant les infrastructures routières et de conservation des produits halieutiques. Toutefois, à moyen terme, cette solution risque de ne pas être adéquate. En effet, la population sénégalaise ne cesse de

croître, alors que les ressources qui sont actuellement bien exploitées, ne peuvent supporter une augmentation considérable sans risque d'effondrement des stocks (Bakhayokho et coll., 1985). Il est donc à prévoir que d'ici quelques années, la pêche maritime pourra difficilement satisfaire la demande. Les prix du poisson de mer risquent d'augmenter, ce qui rendra plus compétitif le poisson de pisciculture sur les marchés de la vallée du fleuve Sénégal.

Le prix de la viande — qui pourrait remplacer le poisson — est relativement élevé et hors de portée de la bourse de la plupart des ruraux.

Il apparaît donc qu'une nouvelle conjoncture plus favorable à la pisciculture est en train de se mettre en place, d'autant que le fonctionnement des barrages permettra de disposer d'assez d'eau et ceci de manière plus régulière.

Il serait donc judicieux de se préparer en conséquence, en mettant en place des structures d'expérimentation et de recherche qui pourront mettre au point des méthodes piscicoles adaptées au milieu. Cette phase qui risque de durer cinq à 10 ans conditionne la réussite future de la pisciculture.

Cette démarche permettra d'éviter une erreur fondamentale qui a été commise dès le début de la pisciculture dans le bassin du fleuve Sénégal à savoir donner la primauté à la production sur la recherche. Cette attitude était dictée par la certitude des responsables de la pisciculture que les techniques mises au point dans d'autres pays pouvaient être transférées telles quelles au Sénégal. A l'expérience, il s'est avéré que la dimension locale de la pisciculture est très importante : pour chaque milieu, une adaptation des techniques est nécessaire.

Le choix du type de pisciculture à mener dans le bassin du fleuve Sénégal

sera également déterminant pour l'avenir. La pisciculture d'autoconsommation a peu de chances de réussir. En effet, par rapport à la technicité que requièrent les activités piscicoles, elle n'est pas, économiquement, suffisamment attrayante (Lazard et coll., 1990) d'où un rapide désintéressement des paysans.

En ce qui concerne la pisciculture industrielle, l'expérience montre que la plupart des opérations de ce type ont échoué : les prix de revient restent largement supérieurs aux prix du marché (Lazard et coll., 1990).

Le type de pisciculture qui présente sans doute le plus de chances de réussite est la pisciculture artisanale de "petite" production marchande intégrée aux systèmes de production agricole existants. Cette dernière a l'avantage de fournir aux paysans des revenus supplémentaires et de ne pas demander des investissements très lourds.

Littérature citée

- Bakhayokho, M., F. Bastie, A. Caverivière, P. Cayre, H. Diadhiou, M. Gérard, F. Laloe, P. Lamoureux, L. Le Reste, J.J. Leyenez, A. Samba, M. Thiam et D. Thiam. 1985. Exploitation, p. 207-295. *In* Approche globale du système pêche dans les régions du Sine Saloum et de la Casamance. Contribution à l'élaboration d'un plan directeur pour le développement des pêches dans le sud du Sénégal. CRODT, Sénégal.
- Bloom, P. 1986. Fish-cum-rice acculturation in the Senegal river Valley; an ex-post evaluation. *Environnement Développement Afrique Tiers Monde*, 70 p.
- Chaboud, C. et M. Kébé. 1990. Commercialisation du poisson de mer dans les régions intérieures du Sénégal. Données statistiques. CRODT/FAO, 300 p.
- Chopak, C.J. 1983. Rapport final sur la première campagne de pisciriziculture des paysans de Ndiarème dans le périmètre de la SAED de Dagana. USAID/SAED, 35 p.
- Corlay, D. 1989. Projet d'aménagement hydro-agricole de Matam III - volet pisciculture. *Rapp. Act. 2*, 18 p.
- Corlay, D. et C.A. Seck. 1988. Projet d'aménagement hydro-agricole dans le département de Matam - volet pisciculture. AFVP/SAED, 47 p.
- DEFC. 1988. Projet d'aménagement des mares semi-permanentes dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Direction des eaux, forêts et chasses, Dakar, 14 p.
- Denneville, J. et J. Jamet. 1982. Bilan programme du secteur de la pêche continentale. Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS/FAO), 124 p.
- Diouf, P.S. et T. Bousso. 1988. Fleuve Sénégal - environnement aquatique et pêche. *Doc. Scient. CRODT 108*, 109 p.
- Diouf, P.S., M. Kebe, L. Le Reste, T. Bousso, H. Diadhiou et A. Gaye. 1991. Plan d'action forestier - pêche et aquaculture continentales. Vol. 1 : Diagnostic. Centre de recherches océanographiques de Dakar-Thiaroye et Ministère du Développement rural et de l'Hydraulique (CRODT/MDRH/FAO), 268 p.
- Fall, A.O. 1980. Pêche continentale au Sénégal. Ministère du Développement rural. Direction des eaux et forêts, Dakar, 6 p.
- FAO. 1989. Aquaculture production (1984-1987). *FAO Fish. Circ. (815)*, rev. 1, 130 p.
- Frecault, R. 1982. Eléments d'hydrologie et de dynamique fluviale. I. Hydrologie et dynamique fluviale des régions chaudes et humides des basses latitudes. Université Nancy II (Edit.), 147 p.
- Freudenberger, K.S. 1988. Projet de pisciculture dans le bassin du fleuve Sénégal. Rapport préparé pour le Catholic Relief Services. Catholic Relief Services, Dakar, 61 p.
- Gac, J.Y. et A. Kane. 1985. Le fleuve Sénégal : I. Bilan hydrologique et flux continentaux de matières particulaires à l'embouchure. *Sciences Géol. Bull.* 39(1):99-130.
- Kane, A. 1985. Le bassin du fleuve Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particulaires. Invasion marine. Université Nancy II, 205 p. Thèse de doctorat 3ème cycle.
- Lazard, J. 1981. Plan directeur de développement forestier du Sénégal. Diagnostic. Pêche et pisciculture continentales. Centre forestier tropical (CTFT/SCET International), 120 p.
- Lazard, J. 1984. Recherche et développement en pêche et pisciculture continentales au Sénégal. Nogent-sur-Marne, CTFT, 19 p.
- Lazard, J., P. Morissens, P. Parrel, C. Aglingio, I. Ali et P. Roche. 1990. Méthodes artisanales d'aquaculture du tilapia en Afrique. Nogent-sur-Marne, CTFT/CIRAD Edit:23-46.
- Olivry, J.C. 1982. Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap Vert. *Cah. ORSTOM. Sér. Hydrobiol.*

XX, 1 p.

- OMVS. 1986. Etude de la gestion des ouvrages communs de l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal. Rapport face I Vol. 1-D. Actualisation de l'étude hydrologique. Sir Alexander Gibbs & Partners. Electricité de France International, Euroconsult, 133 p.
- Parrel, P. 1990. Mission d'évaluation du volet piscicole du projet d'aménagement hydro-agricole du département de Matam (phase III). CTFT-CIRAD, 110 p.
- Platon, P. 1981. Le fleuve Sénégal et son environnement. Marchés Tropicaux et Méditerranéens 1849:1063-1068.
- Reizer, C. 1974. Définition d'une politique d'aménagement des ressources halieutiques d'un écosystème aquatique complexe par l'étude de son environnement abiotique, biotique et anthropique. ARLON Fondation Universitaire Luxembourgeoise, 6 vol., 525 p. Thèse de doctorat.
- Shelton, W. 1985. Reassessment evaluation of Peace Corps Fish Culture Program in Senegal. Dakar. 12 p.
- Sow, A.A. 1984. Pluie et écoulement fluvial dans le bassin du fleuve Sénégal. Université Nancy II, 442 p. Thèse de doctorat 3ème cycle.

Elevage du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) dans des petits plans d'eau suivant divers traitements alimentaires et de fertilisation^a

M.V. GUPTA

*International Center for Living
Aquatic Resources Management
MCPO Box 2631, 0718 Makati City
Metro Manila, Philippines*

MD. AKHTERUZZAMAN

A.H.M. KOHINOOR

M.S. SHAH

*Freshwater Station
Fisheries Research Institute
Mymensingh 2201, Bangladesh*

GUPTA, M.V., MD. AKHTERUZZAMAN, A.H.M. KOHINOOR et M.S. SHAH. 1996. Elevage du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) dans des petits plans d'eau suivant divers traitements alimentaires et de fertilisation, p. 550-555. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Oreochromis mossambicus et *O. niloticus* ont été introduits au Bangladesh en 1954 et 1974, respectivement, mais des problèmes de gestion piscicole n'ont pas permis à ces populations, qui se sont mélangées, de bien s'implanter comme espèces d'élevage. Une nouvelle population de base de *O. niloticus* provenant de la Thaïlande a été introduite en 1986 et des principes d'aménagement ont été mis au point en vue de son élevage dans des étangs saisonniers et autres petits plans d'eau. Cette communication décrit l'économie de la production de *O. niloticus* dans ces petits plans d'eau suivant divers régimes alimentaires et de fertilisation. La production et les bénéfices réalisés en utilisant le tourteau d'oléagineux et le son de riz comme alimentation complémentaire ont atteint des chiffres élevés. Toutefois, les difficultés d'approvisionnement en tourteaux et leur prix élevé s'opposeront certainement à son emploi dans l'élevage de tilapias dans un avenir proche. Cette communication examine également les problèmes de gestion des étangs permanents et évalue les possibilités d'amélioration de la nutrition et des revenus des ménages bangladais qui offre l'élevage de *O. niloticus*.

Introduction

Le poisson est la source principale de protéines animales pour les populations du Bangladesh, représentant 71 % de l'apport protéique animal total. Le Bangladesh est l'un des pays les moins développés, et un tiers de ses terres inondées pendant environ

six mois de l'année. Malgré les vastes ressources en eau dont le pays dispose, la production piscicole en milieu continental reste très faible et la consommation insuffisante de poissons par habitant, de l'ordre de 7,5 kg·an⁻¹ (World Bank, 1991), a largement contribué à la malnutrition (par carence protéique) qui sévit surtout dans les zones rurales.

Les carpes indienne et chinoise sont les espèces principales des élevages pratiqués

^aICLARM Contribution No. 846.

en étangs d'eau douce. En dehors des étangs permanents (plus de 1,3 millions) répartis sur 146.000 ha, de nombreux petits étangs saisonniers, fossés et fosses, et canaux d'accotement sont remplis d'eau pendant quatre à sept mois de l'année. La plupart des foyers ruraux possèdent sur leur terrain des plans d'eau de ce type. Cependant, ceux-ci sont rarement utilisés aux fins de l'aquaculture car les éleveurs les considèrent inappropriés pour l'élevage des espèces traditionnelles, particulièrement les carpes indienne et chinoise. Afin de convertir ces petits plans d'eau en milieux piscicoles productifs, des recherches ont été entreprises à l'Institut de recherches halieutiques de Mymensingh pour trouver des espèces susceptibles de convenir à l'aquaculture de cycle court et mettre au point des principes de gestion économiques permettant d'optimiser la production. Le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), poisson robuste capable de survivre dans de l'eau trouble et peu profonde, et de surcroît bon transformateur de matière organique en protéines de haute qualité (Stickney et coll., 1979 ; Pullin et Lowe-McConnell, 1982) a été identifié comme espèce candidate.

O. mossambicus a été introduit au Bangladesh en 1954 et *O. niloticus* en 1974. Malgré leur longue présence dans le pays, le manque de principes de gestion piscicole efficaces n'a pas permis à ces deux espèces dont les populations se sont mélangées de s'établir comme espèce d'élevage (Hussain et coll., 1989). Dès lors, un nouveau stock originel de *O. niloticus* fut importé de Thaïlande en 1986 : la souche Chitralada d'origine égyptienne. Des études ont été entreprises à la station de recherches et à la ferme avec la participation des éleveurs pour évaluer la production potentielle de *O. niloticus* dans des petits plans d'eau saisonniers suivant divers régimes alimentaires et de fertilisation (Hussain et coll., 1989). Les résultats de cette étude sont présentés dans cette communication.

Matériel et méthodes

Essais en station de recherches

Les études ont été réalisées dans des étangs de 280 m², d'une profondeur moyenne de 1 m d'eau empoissonnés avec des fingerlings issus de la souche Chitralada importée de Thaïlande. Les essais d'élevage de *O. niloticus* ont porté sur deux systèmes de production : (1) fertilisation des étangs sans alimentation supplémentaire et (2) alimentation supplémentaire sans fertilisation. Deux types d'aliments ont été mis à l'essai, l'un à base de son de riz seulement et l'autre à base de son de riz et de tourteaux de moutarde (*Brassica campestris*) dans un rapport de poids de 3:2. Tous les traitements ont été répétés trois fois. Le tableau 1 résume les traitements appliqués.

La préparation des étangs pour tous les traitements a consisté en une vidange préalable et en une application de chaux au fond des étangs à raison de 250 kg·ha⁻¹. Trois jours après le chaulage, les étangs ont été remplis d'eau souterraine et fertilisés avec des engrais chimiques et du fumier de bétail (urée et super phosphate triple [SPT] dans un rapport de 1:2) à raison de 750 et 25 kg·ha⁻¹, respectivement. Cinq jours après la fertilisation, les étangs ont été empoissonnés avec des fingerlings de *O. niloticus* de 10 à 11 g à raison de 20.000 fingerlings·ha⁻¹. Pour les traitements 1 et 2 comprenant une alimentation complémentaire, la distribution d'aliments avait lieu six fois par semaine à raison de 5-6 % de la biomasse estimée des poissons. Le taux de rationnement était calculé et ajusté tous les mois après prélèvement au filet de 10 % des poissons et calcul de la biomasse. Pour le traitement 3, la fertilisation était réalisée chaque semaine avec des engrais chimiques et du fumier de bétail (urée et SPT dans un rapport de 1:2), à raison de 750 et 25 kg·ha⁻¹·semaine⁻¹, respectivement. Deux mois après l'empoissonnement et toutes les deux

Tableau 1. Production (en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) introduits à raison de 20.000 fingerlings- ha^{-1} dans trois séries d'étangs de 280 m^2 au bout de six mois d'élevage suivant divers traitements alimentaires et de fertilisation (voir le texte). Les résultats présentés dans ce tableau représentent les moyennes obtenues dans les trois séries d'étangs. Les fourchettes de production sont données entre parenthèses.

Traitement n°.	Traitement				Production		
	Poids moyen à la mise en charge (g)	Aliment complémentaire	Engrais	Indice de consommation	Poissons trop petits (< 80 g)	Poissons de taille marchande (> 80 g)	Total
1	10,5	Son de riz	-	5,8	700 (582-864)	2.038 (1.904-2.068)	2.738 (2.486-2.932)
2	11,0	Son de riz 60% + tourteaux de moutarde 40%	-	4,6	400 (296-529)	3.154 (3.036-3.250)	3.554 (3.332-3.707)
3	10,5	-	Fumier de bétail, urée et SPT	-	627 (586-689)	883 (775-1.068)	1.510 (1.382-1.757)

semaines par la suite, les alevins produits dans les étangs étaient retirés à l'aide d'une senne à mailles très fines afin de réduire la compétition pour la nourriture. La récolte des étangs a été effectuée au bout de six mois et la production a été estimée.

Essais à la ferme

A la ferme, les essais associant la participation des éleveurs ont été réalisés dans six étangs saisonniers anciennement abandonnés, mesurant chacun entre 80 et 120 m^2 . Dans ces étangs, le niveau d'eau, alors d'une profondeur maximale de 1 m pendant la saison des pluies (juin), baisse avec le temps jusqu'à évaporation totale quand vient décembre-janvier. Avant le début des pluies, les étangs ont été défrichés et chaulés à raison de 200 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Une fois les étangs remplis d'eau de pluie, des fingerlings de 5-10 g, procurés par des éleveurs exploitant des étangs permanents où ils élèvent la souche Chitralada, ont été introduits à des densités de 20.000- ha^{-1} . Les étangs ont ensuite été partagés en deux groupes : pour le premier groupe, on a demandé aux éleveurs de fertiliser leurs étangs avec des engrais chimiques (urée et SPT dans un

rapport de 1:2) à raison de 25 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{semaine}^{-1}$, tandis que l'on a demandé aux trois autres éleveurs de fertiliser leurs étangs avec du fumier de bétail à raison de 750 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{semaine}^{-1}$. Ces deux traitements ont été choisis parce que certains éleveurs ont facilement accès au fumier de bétail et son emploi contribue à l'optimisation des sous-produits de la ferme. Par contre, les autres éleveurs n'ayant pas cet avantage (et le transport de cet engrais étant difficile), ils préfèrent utiliser des engrais chimiques (urée et SPT) dans la mesure où les étangs n'en requièrent que de petites quantités. Toutefois, même si les éleveurs ont appliqué les engrais qu'ils préfèrent, ils n'ont pu strictement suivre les taux de fertilisation et de rationnement préconisés, d'où les variations importantes dans les taux d'application d'un étang à l'autre. On a demandé à tous les éleveurs de nourrir leurs poissons quotidiennement avec du son de riz à raison de 5 % de la biomasse estimée de poisson. Les périodes d'élevage ont varié de quatre à six mois en fonction de la durée de rétention d'eau dans les étangs. Les récoltes ont eu lieu quand le niveau d'eau de l'étang baissait en dessous de 30 cm.

Résultats et discussion

Essais en station de recherches

Le tableau 1 résume les résultats obtenus pour les trois traitements. Bien que consommables, les poissons de moins de 80 g sont considérés trop petits pour la vente régulière sur les marchés et ne peuvent se vendre qu'à bas prix.

Dans le bilan financier présenté dans le tableau 2, le traitement 3 (fertilisation sans alimentation complémentaire) est celui qui a demandé les plus bas coûts de production (Tk 17,200·ha⁻¹, non compris la location des étangs et la main-d'oeuvre). Toutefois, les bénéfices nets étaient plus élevés dans les traitements avec une alimentation complémentaire. La petite différence en termes de bénéfices nets (Tk 4.361·ha⁻¹) obtenue entre les traitements 1 et 2 (apport de tourteaux de moutarde) exige un surcoût de production de Tk 24.199·ha⁻¹, ce qui représente un investissement trop important par rapport aux bénéfices nets obtenus. Ainsi, des trois traitements comparés, le traitement à base de son de riz s'est avéré l'opération la plus économique, donnant un rapport bénéfice:coût de production de 2,50 contre 1,41 pour le traitement à base d'engrais, et 2,07 pour celui à base de tourteaux de moutarde et de son de riz. Par ailleurs, l'emploi de tourteaux de moutarde dans l'alimentation de *O. niloticus* est au-delà des moyens de la plupart des éleveurs démunis des régions rurales.

Essais à la ferme

Au bout de quatre à six mois d'élevage (Tableau 3), les rendements dans les étangs fertilisés avec des engrais chimiques ont augmenté de 1.500 à 2.343 kg·ha⁻¹ et de 1.441 à 1.925 kg·ha⁻¹ dans les étangs fertilisés avec du fumier de bétail. Il est difficile d'évaluer quel engrais a donné les meilleurs résultats dans la mesure où les éleveurs

n'ont pas respecté les taux d'application prescrits. Tandis que les engrais chimiques étaient utilisés à l'excès (125-316 % des taux suggérés), les taux d'application du fumier de bétail étaient au contraire très bas (6-21 % des taux recommandés) (Tableau 3). Les taux de rationnement du son de riz étaient aussi très bas et variaient d'un étang à l'autre. Compte tenu de cette situation, il est difficile de tirer des conclusions quant à l'efficacité des engrais utilisés pour augmenter les rendements dans les étangs.

Malgré cela, des rendements de 1.441 à 2.343 kg·ha⁻¹ obtenus au bout de quatre à six mois d'élevage peuvent être considérés élevés par rapport aux rendements de 100-200 kg·ha⁻¹ de poissons sauvages que les éleveurs avaient l'habitude de récolter dans ces étangs. Le coût moyen de production s'élevant à Tk 11,73·kg⁻¹ de poisson récolté pour un prix de vente de Tk 35·kg⁻¹, des marges bénéficiaires importantes ont été réalisées.

Depuis cette série d'expérience, 5.000 éleveurs environ se sont lancés dans l'élevage de *O. niloticus* dans leurs propres étangs. Une étude portant sur 113 fermes a révélé une production moyenne de 1,4 t·ha⁻¹ au bout de six à huit mois d'élevage, pour un coût de production de Tk 6,60·kg⁻¹ (Gupta et coll., 1991 ; Gupta, 1992). Ce faible coût de production est en rapport à l'utilisation parcimonieuse des facteurs de production par les éleveurs. Soixante-dix pour cent de cette production est consommée par les familles d'éleveurs chez qui la nutrition et la santé se voient améliorées. La production moyenne de *O. niloticus* dans un étang de 170 m² seulement (superficie moyenne des étangs couverts par la présente étude) a atteint 23,5 kg, représentant pratiquement la moyenne nationale de consommation de poissons par foyer de six personnes chez les populations rurales à faibles revenus (World Bank, 1991).

Un des problèmes que les éleveurs ont rencontré, particulièrement dans les étangs permanents ou dans ceux retenant l'eau

Tableau 2. Bilan financier (en taka) de la production du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), introduit à raison de 20.000 fingerlings·ha⁻¹ dans des d'étangs de 280 m² au bout de six mois d'élevage, suivant divers traitements alimentaires et de fertilisation. Les résultats présentés dans ce tableau représentent les moyennes de trois étangs par ha.

	Traitement 1 Aliment compl. : son de riz Fertilisation : 0		Traitement 2 Aliment compl. : son de riz + tourt. moutarde Fertilisation : 0		Traitement 3 Aliment compl. : 0 Fertilisation : organique + chimique	
	Quantité (kg)	Coût (Tk*)	Quantité (kg)	Coût (Tk*)	Quantité (kg)	Coût (Tk*)
Coûts de fonctionnement:						
1. Préparation des étangs						
- Chaux	250	750	250	750	250	750
- Fumier de bétail	750	325	750	325	750	325
- Engrais chimiques	25	125	25	125	25	125
2. Fingerlings (nbre)	20.000	4.000	20.000	4.000	20.000	4.000
3. Aliments + engrais						
- Son de riz	14.792	22.188	9.598	14.397	-	-
- Tourteaux moutarde	-	-	6.398	31.990	-	-
- Fumier de bétail	-	-	-	-	18.000	9.000
- Engrais chimiques	-	-	-	-	600	3.000
Total (Tk)		27.388		51.587		17.200
Production brute (kg·ha⁻¹)		2.738		3.554		1.510
Ventes (à Tk 35·kg⁻¹)		95.830		124.390		52.850
Bénéfice net		68.442		72.803		35.650

* US\$1=Tk 37,50.

Tableau 3. Expériences d'élevage de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) à la ferme, introduit à raison de 20.000 fingerlings·ha⁻¹ dans de petits d'étangs anciennement abandonnés, suivant divers traitements alimentaires et de fertilisation (alimentation dans la mesure du possible à base de son de riz). Voir le texte.

Superficie de l'étang (m ²)	Engrais appliqués	Durée d'élevage (mois)	Taux préconisés (kg/étang)	Taux réelle- ment appliqués (kg/étang)	Taille moyenne à la récolte (g)	Production brute (kg/étang)
80	Urée + SPT	6	4,8	12,0	82,2	16,00
120	Urée + SPT	6	7,2	11,5	89,0	28,12
80	Urée + SPT	4	3,2	4,0	95,7	12,00
120	Fumier de bétail	4	144	9,0	97,2	17,29
120	Fumier de bétail	6	216	45,0	98,1	23,10
120	Fumier de bétail	4,5	162	34	126,0	19,13

pendant plus de six mois, est celui de la reproduction intense des poissons qui conduisent à des phénomènes de surpopulation et d'arrêt de croissance, et qui posent un frein à l'élevage de *O. niloticus* dans des étangs permanents. Des recherches sont actuellement réalisées pour résoudre ce problème, notamment par l'introduction de poissons carnivores dans le système.

Littérature citée

- Gupta, M.V. 1992. Low input technologies for rural aquaculture development in Bangladesh, p. 26-35. *In* Aquaculture and schistosomiasis. Board on Science and Technology for International Development, National Research Council. National Academy Press, Washington, DC.
- Gupta, M.V., M. Ahmed et M.P. Bimbao. 1991. Economic viability and farmers' assessment of a new technology. Paper presented at the 11th Annual Symposium of the Association of Farming Systems Research-Extension, Michigan University, Michigan. 16 p.
- Hussain, M.G., M.A. Rahman, M. Akhteruzzaman et A.H.M. Kohinoor. 1989. A study on the production of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus), under semi-intensive systems in Bangladesh. *Bangladesh J. Fish.* 12(1):59-65.
- Pullin, R.S.V. et R.H. Lowe-McConnell, Editeurs. 1982. The biology and culture of tilapias. ICLARM Conf. Proc. 7, 360 p.
- Stickney, R.R., J.H. Hesby, R.B. McGeachin et W.A. Isbell. 1979. Growth of *Tilapia nilotica* in ponds with different histories of organic fertilization. *Aquaculture* 17:189-194.
- World Bank. 1991. Bangladesh fisheries sector review. Report no. 8830-BD. World Bank, Washington, DC.

Développement rural de la pisciculture des tilapias en Afrique : comment passer du mythe à la réalité

C. KOFFI

*Département piscicole, Institut des Savanes (IDESSA)
01 B.P. 621, Bouaké, Côte d'Ivoire*

M. OSWALD

*Mission française de coopération et d'action culturelle (MCAC)
01 B.P. 1839 Abidjan 01, Côte d'Ivoire
Projet de développement de la pisciculture en milieu rural
B.P. 494 Bouaké, Côte d'Ivoire*

J. LAZARD

*Programme aquaculture et pêche, Département d'élevage
et de médecine vétérinaire du Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement (CIRAD-EMVT)
B.P. 5095, 34033 Montpellier Cédex 1, France*

KOFFI, C., M. OSWALD et J. LAZARD. 1996. Développement rural de la pisciculture des tilapias en Afrique : comment passer du mythe à la réalité, p. 556-566. *In* R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Les opérations de développement de la pisciculture ont souvent souhaité voir les paysans africains intégrer cette activité dans leur système de production. Celle-ci (à l'image de ce qui s'observe en Asie du Sud-Est) aurait dû évoluer au gré des processus de développement en cours, et même devenir le catalyseur d'une réorientation de l'agriculture (itinerante-sédentaire). L'objectif de cet article est d'apporter une contribution pour concrétiser cette dynamique en Afrique.

Cet objectif n'a pratiquement jamais été atteint et certaines raisons de cet échec sont évidentes : le paysan a été considéré comme incapable d'innover et irrationnel dans le choix de ses stratégies économiques. Par ailleurs, il y avait une ignorance totale des contraintes socio-économiques du paysan et les économies internes aux projets de développement rural faisaient oublier la nécessité de proposer une unité de production qui lui soit réellement accessible. Le souci de développer une production piscicole reste toujours d'actualité.

Les sciences sociales utilisent de nombreux outils pour comprendre les stratégies paysannes. Ici, le paysan sera considéré comme un agent économique dont la rationalité s'explique essentiellement par son environnement socio-économique et le milieu qu'il exploite.

La pertinence de cette analyse sera testée par rapport à un cas concret : la région forestière du centre-ouest de la Côte d'Ivoire où cette approche appliquée depuis cinq ans donne des résultats intéressants. Nous commencerons par une rapide description de l'agriculture en termes de systèmes agraires. Celle-ci cherchera à privilégier sa dynamique à l'aide d'une typologie des systèmes de production où la pisciculture ne sera prise en compte qu'en fonction des contraintes qu'elle peut lever. La productivité du travail procuré par la pisciculture sera comparée à celle d'autres spéculations agricoles.

Introduction

La pisciculture est considérée par les populations rurales de Côte d'Ivoire comme une variante possible de la stratégie paysanne de minimisation des dépenses de consommation de protéines animales, d'augmentation ou maximisation des revenus et de diversification de culture (Koffi, 1989). Au plan socio-économique par conséquent, la problématique du développement de la pisciculture en Afrique devrait se poser en termes de rentabilité et de coût d'opportunité des facteurs de production, d'accessibilité et d'efficacité des systèmes, et de couverture contre les risques et incertitudes.

Rentabilité financière et économique des systèmes de pisciculture

La rentabilité s'apprécie au double plan micro-économique (au niveau du paysan) et macro-économique (celui de la collectivité ou de l'Etat). L'analyse financière évalue la rentabilité des systèmes pour le paysan alors que l'analyse économique évalue la contribution de la pisciculture à la croissance du revenu national (Produit intérieur brut ou PIB). L'analyse économique s'impose avec acuité car les subventions et les autres mesures de politique économique prises en vue de protéger les producteurs en vertu de la thèse de l'industrie naissante sont des coûts supportés par la collectivité nationale. Ces subventions sont en général devenues chroniques et les entreprises ne leur survivent pas. Le désengagement progressif de l'Etat impose la nécessité de l'évaluation économique.

Koffi (1989) a établi la rentabilité financière des modèles d'élevage monosexé de *Oreochromis niloticus* à

la différence des élevages mixtes en Côte d'Ivoire. Il note par ailleurs que la fertilisation organique au lisier de porc frais permet d'accroître sensiblement la productivité sans accroître pour autant les coûts de production (dans les conditions actuelles du marché de cet intrant). Cela explique en partie la rentabilité économique observée pour l'élevage monosexé de *O. niloticus* utilisant le son de riz en alimentation et la fertilisation organique sur des fermes encadrées par une structure de vulgarisation légère et autonome dans son fonctionnement (Tableaux 1 et 2).

De fait, la privatisation, souhaitable, de la production d'aliments nutritionnellement performants (exemple : l'aliment 3A^a devrait permettre une hausse de productivité adéquate pour suppléer la subvention étatique de manière à obtenir un prix de revient non prohibitif pour la pisciculture (prix de revient inférieur ou égal à 50 F CFA·kg⁻¹ pour l'aliment 3A, alors qu'il est actuellement de plus de 80 F CFA^b selon Lazard et coll. (1991).

Comparaison des taux de valorisation des facteurs de production entre la pisciculture et les autres activités agricoles irriguées

Les résultats de l'analyse financière portent à l'optimisme quant à la possibilité de vulgariser les systèmes d'élevage de tilapia monosexé en milieu continental. Cependant, l'on conviendra que la pisciculture ne pourra s'imposer en milieu paysan que si les

^aL'aliment 3A est produit par le Projet de développement de la pisciculture en milieu rural. Il est composé de 10 % de farine de poisson, 20 % de tourteau de coton, et 70 % de farine basse de riz. La teneur en protéines avoisine 25 %.

^bUS\$1=300 F CFA en 1991, actuellement 600 F CFA.

Tableau 1. Ratios de rentabilité financière de différents modèles de pisciculture développés en Côte d'Ivoire (Koffi, 1989).

Modèles	Ratios	Ferme moyenne	
		(moyenne)	(écart-type)
M1	BNE/T	14.189	5.117,4
	TRT	2.742	1.006,22
	TRF	47 %	0,17
	TRA	47 %	0,17
M2	BNE/T	13.604	6.850,38
	TRT	2.501	1.410,6
	TRF	43 %	0,26
	TRA	43 %	0,26
M3	BNE/T	22.009	6.369,24
	TRT	3.919	1.410,6
	TRF	522 %	3,57
	TRA	126 %	0,75

BNE/T : Bénéfice net d'exploitation par are et par an en F CFA.

TRT : Taux de rémunération journalière du travail et de la gestion familiale en F CFA.

TRF : Taux de rentabilité des fonds propres.

TRA : Taux de rentabilité des actifs.

Modèle M1 : Encadrement dense — pisciculteurs témoins Bouaké — tilapia monosexé mâle espèces prédatrices : *Clarias* et aliment 3A.

Modèle M2 : Pisciculteurs témoins Daloa — encadrement dense — tilapia monosexé mâle et espèces prédatrices associées : *Clarias* — aliment son de riz.

Modèle M3 : Encadrement dense PAPU-CD (Projet agricole périurbain de la commune de Daloa) — tilapia monosexé mâle en association avec des espèces prédatrices + polyculture de *Heterotis* et de *Heterobranchus isopterus* et intégré à l'élevage de porcs pour la fertilisation organique.

Tableau 2. Comptes d'exploitation de différents modèles de pisciculture développés en Côte d'Ivoire avec prise en compte du coût de l'encadrement et de la vulgarisation.

Type d'encadrement	BEN/are (1)	Solde/are compte encadrement a.	Solde/are compte aliment b.	Solde/are compte matériel c.	Total vulgarisation e=a+b+c	Solde (1)-e
M3	20.138	-13.689	0	0	-13.689	+6.450
M1	-1.238	-23.855	-19	14	-23.860	-25.098
M2	8.878	-18.570	-19	14	-18.575	-9.697

BEN/are : Bénéfice économique net·are·an¹ (compte producteur) en F CFA.

ratios économiques et financiers calculés se comparent favorablement à ceux obtenus sur d'autres spéculations agricoles irriguées.

Produit monétaire par unité de surface de production

En général, les spéculations qui sont en compétition avec la pisciculture dans l'utilisation de la terre (bas-fonds) sont essentiellement le riz irrigué, le maïs et les cultures maraîchères.

La comparaison du produit monétaire indique que les modèles performants de pisciculture (Tableau 1) valorisent mieux la terre que le riz irrigué (de 904 à 2.204 F CFA par are et par an selon la SATMACI et la CIDT^c) mais moins bien que certaines cultures maraîchères (17.277 F CFA par are et par an pour la tomate selon Kinimo [1988]).

Il convient de noter que les études faites sur les cultures maraîchères ont un caractère prospectif, prévisionnel. Les modèles analysés présentent le désavantage de ne pas intégrer toutes les contraintes socio-économiques spécifiques à la population cible. Les ratios calculés sont quelquefois des estimations biaisées par rapport aux performances réellement accessibles aux paysans.

Valorisation du travail

En termes de valorisation du travail familial, les modèles d'élevage mono-sexe de tilapia associé ou non avec des espèces prédatrices et intégrés à diverses formes d'élevage d'animaux, se comparent favorablement à l'agriculture vivrière.

^cSATMACI : Société d'assistance technique à la modernisation agricole de la Côte d'Ivoire ; CIDT : Compagnie ivoirienne pour le développement des textiles.

Les ratios trouvés par Ruf (1982) pour le riz pluvial (de 512 à 1.108 F CFA par jour) et l'igname (de 670 à 1.108 F CFA par jour) dénotent de la moindre rentabilité de ces spéculations par rapport aux modèles performants de pisciculture.

Rentabilité des capitaux

Le taux de rentabilité économique moyen prospectif est de 17 % pour les projets de développement rural financés par la Banque mondiale et destinés particulièrement aux petits agriculteurs et aux ruraux pauvres (Gittinger, 1985). Il est de 20 % pour toutes les autres catégories de projets agricoles. Le taux minimum acceptable est de 10 % dans la plupart des pays en développement. Les meilleurs modèles de pisciculture donnent un taux de rentabilité des fonds propres et des actifs supérieur à ce taux, de même qu'à celui de l'épargne bancaire classique.

Notons cependant que le crédit informel se fait à des conditions usuraires infiniment plus avantageuses que la pisciculture. Ce système de crédit dit "margouillat" est très répandu en milieu urbain et se pratique au taux d'intérêt nominal de 30 % par mois.

Accessibilité et efficience des différents systèmes

En plus des modèles qui tiennent compte des exigences de rentabilité financière et économique, il existe des modèles qui sont effectivement accessibles à des individus issus de populations modestes, voire démunies.

Il est souhaitable de promouvoir des modèles utilisant des intrants disponibles et accessibles à des conditions qui permettent de produire à un prix de revient compétitif. Pour cela, les disponibilités locales d'éventuels intrants

valorisables par la pisciculture doivent être inventoriés. Le modèle doit être très peu capitalistique, c'est-à-dire privilégiant l'utilisation de la force de travail de l'exploitant par rapport aux capitaux. Dans le milieu rural africain, le facteur le plus rare est le capital. Or, les systèmes les plus efficaces sont ceux qui utilisent intensément les facteurs les plus abondants, c'est-à-dire ici le travail.

Les systèmes choisis doivent donc faire appel à des combinaisons productives conformes aux contraintes en facteurs (contraintes financières, de travail, foncières, de commercialisation). Au regard de la contrainte financière, les modèles ayant une forte exigence en fonds de roulement ne sont pas adaptés au développement rural.

Entre deux voies possibles, il est socialement plus intéressant de privilégier le modèle qui ne dispose pas d'avantage spécifique pour les catégories financièrement aisées. A défaut, la pisciculture contribuerait, certes, dans le meilleur des cas, à accroître la disponibilité en protéines mais en exacerbant les inégalités sociales dans la répartition des revenus.

Couverture contre les risques et les Incertitudes

Les risques liés aux systèmes de pisciculture sont aussi un critère fondamental dans le choix des modèles techniques. Ceux présentant de moindres risques sont préférés.

Sur le plan technique, le choix des carnassiers associés aux tilapias d'élevage se justifie à ce titre. Leur emploi élimine le risque de voir la production de tilapias sexés bloquée par la prolifération des alevins (liée aux erreurs inévitables de sexage). Ceci arrive fréquemment dès que les pêches de contrôle ne sont plus ou sont mal effectuées.

En outre, pour que la pisciculture puisse être considérée comme un élément d'une stratégie de diversification des sources de revenus, il ne faut pas qu'il y ait une corrélation positive entre ses risques (risque de prix, de rendements, de charges) et les risques des autres activités traditionnelles de la population. A titre d'exemple, une ferme piscicole qui dépend pour son fonctionnement des recettes tirées de l'agriculture, d'un salaire, ou de subventions étatiques ne survivra pas aux aléas liés à ces activités.

Les analyses évoquées ci-dessus ne permettent pas à elles seules de définir le modèle à proposer, des contraintes majeures n'étant pas prises en compte (rapport foncier, groupes dominants). Il est nécessaire d'avoir recours à une analyse fine du système agraire qui permette d'appréhender au niveau d'une région, le fonctionnement de la société agricole. Cette approche permet en outre de préciser les catégories cibles à partir de la dynamique des systèmes de production, et de définir le type d'unités de production piscicole susceptibles d'être intégrées dans leur évolution.

Condition de l'intégration de la pisciculture dans la dynamique paysanne (cas du centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

Trop souvent le monde paysan est assimilé à un tout homogène et seules les qualités personnelles (par exemple : aptitude au travail physique, facultés intellectuelles, niveau d'étude, etc.) sont retenues pour expliquer la qualité de la relation avec les services d'encadrement. Prises de façon exclusive, celles-ci ne permettent pas d'expliquer la rationalité des choix des paysans.

La prise en compte de l'environnement socio-économique aboutit

automatiquement à la définition de catégories cibles. Bien menée, elle doit permettre d'expliquer en partie pourquoi tel groupe réussit là où tel autre généralement échoue. Il est également important de préciser que ces critères ne sont que des indicateurs de tendance. Cette notion de catégories cibles, pour devenir un outil pertinent, devrait être élaborée dans une concertation dynamique entre des socio-économistes et les services d'encadrement.

Une approche privilégiant la dynamique du développement rural s'appuie sur une analyse socio-économique de l'histoire de l'agriculture, afin de caractériser le système agraire propre à la région. En effet, les pratiques agricoles, voire piscicoles ne sont pas réduites à leur seule dimension productive mais sont aussi considérées en tant que pratiques sociales. Un outil de cette approche est la définition de groupes d'exploitations (typologie) au sein desquels l'accès aux facteurs de production est équivalent, la reproduction de leur activité étant limitée par les mêmes contraintes. Les exploitations d'un même type adopteront des comportements similaires par rapport à certaines contraintes, la même problématique déterminant le cadre de leur reproduction.

Le défi qui se pose aux paysans de la région centre-ouest est analysé ci-après.

Bref rappel historique

L'agriculture bétée a été intégrée tardivement à l'économie de plantation, ce retard pouvant être attribué à des raisons historiques (liées, notamment, à la colonisation ; Dozon, 1985 ; Ruf, 1988).

Les facteurs déterminants de cette évolution sont principalement au nombre de deux :

- l'indépendance avec le slogan : "la terre appartient à celui qui la cultive" ; et

- l'excellente rémunération du travail, à partir de 1965, offerte par le cacao et aussi par le café en comparaison des autres productions.

Ces conditions liées à des densités de population autochtone faibles et à un contrôle parfois lâche du foncier ont favorisé une immigration massive à partir des années 1970, la population allochtone supplantant aujourd'hui la population bétée : 60 % contre 40 %. Cette immigration récente a abouti à la constitution de trois sous-groupes de populations dont les comportements économiques diffèrent :

- les autochtones (les Bétés) ;
- les allogènes du centre (les Baoulés) ; et
- les allogènes du nord (Dioulas, Burkinabés, etc.).

Ces derniers sont venus parfois comme manoeuvres puis ont acheté des terres ou des plantations (Forget, 1982 ; Ruf, 1984). Au-delà de cette classification, les systèmes de production (assolements, rapports de production, organisation du travail) se sont organisés autour des plantations de café et de cacao, et les revenus familiaux dépendent à un degré majeur de la vente de ces produits.

Conséquences de cette évolution, deux facteurs sont déterminants dans l'organisation des systèmes de production à l'heure actuelle :

- le travail qui a été investi (qui se traduit par le "capital arbre") et la main d'oeuvre qui est disponible sur l'exploitation, et donc le type de plantation ; et
- la disponibilité en terre (disponibilité en jachères, en bas-fonds, en forêt, en plantation, etc.) (Ruf, 1987).

Récemment la chute des cours du café et du cacao ainsi que les problèmes liés

à leur commercialisation ont limité l'intérêt de ces cultures et ont plongé cette société agraire dans une crise sans précédent, remettant en question la mise en place de nouvelles plantations.

De plus, la forêt "noire" ayant presque totalement disparu, le facteur terre devient limitant : on atteint dans certaines zones une relative saturation foncière.

Essai de typologie

De nombreuses typologies existent sur la région centre-ouest (Forget, 1982 ; Forget et Chatellier, 1984 ; Ruf, 1985, 1988). Elles cherchent à privilégier la dynamique des systèmes de production pour faciliter la compréhension d'une intégration éventuelle de la pisciculture. Dans ce cadre, cinq types d'exploitations ont pu être mis en évidence (Tableau 3) :

Type 1. Ce type concerne quelques grosses exploitations capitalistiques dont la source initiale de capitaux est exté-

rieure à l'agriculture. Elles comportent plus d'une dizaine d'hectares en plantation qui correspondent à une combinaison d'une ou plusieurs spéculations suivantes : cacao, colatier, café, hévéa, cocotiers, voire cultures mécanisées de vivriers ou élevage extensif.

Type 2. Il s'agit de grosses exploitations de paysans planteurs (plantations d'une surface voisine de 10 ha). Il regroupe les allogènes ayant réussi à mobiliser une main d'oeuvre importante lorsque la terre était disponible, des autochtones installés depuis longtemps (anciens chefs de quartier ou de famille).

Ces exploitations se caractérisent toutes par un accès important à la main d'oeuvre : soit au travers des liens que leurs exploitants ont conservés avec leur société d'origine (allochtones), soit (pour les autochtones) grâce aux ventes de foncier qui leur ont permis d'accumuler le capital nécessaire à l'emploi de salariés. Plantations de café-cacao et existence de cultures vivrières destinées

Tableau 3. Typologie des exploitations agricoles dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire.

Type	Dimension et cultures pratiquées	Caractéristiques
1	Plusieurs dizaines d'hectares	Logique extérieure à l'évolution du monde paysan
2	Une dizaine d'hectares de plantations Plusieurs hectares de vivrier	Contrôle du foncier valorisation de la main d'oeuvre sur les plantations
3	Quelques hectares de plantations	Limitation en main d'oeuvre
4-1	0,5 ou 1 ha de plantations beaucoup de cultures vivrières au cours de l'année	Disponibilité en terre à l'avenir (jeunes) Evolution vers le type 2
4-2	0,5 ou 1 ha de plantations beaucoup de cultures vivrières au cours de l'année	Accès au foncier limité Impossibilité d'investir le travail sur une plantation
5	Pas de foncier	Vente du travail

à l'autoconsommation caractérisent ces exploitations.

Type 3. Il regroupe les petites exploitations de paysans planteurs qui n'ont eu qu'un accès limité à la main d'oeuvre et qui, de ce fait, n'ont pu développer qu'une surface en plantation réduite. Le déficit peut avoir plusieurs origines : vieux planteur ayant longtemps été le "petit frère" d'un gros planteur ou manoeuvre n'ayant eu que très tard accès au foncier, par exemple.

La force de travail limitée se valorise le mieux par un travail extensif sur les plantations aux périodes adéquates : cueillette, nettoyage des plantations dans les périodes creuses du vivrier notamment.

Type 4. Il est représenté par les petites exploitations autochtones, disposant d'un surplus structurel de main d'oeuvre qu'elles ne peuvent valoriser que sur le vivrier (l'accès aux plantations est limité de même que l'accès à la main d'oeuvre étrangère).

En revanche, leurs exploitants peuvent avoir accès aux jachères ou aux bas-fonds pour y pratiquer des cultures annuelles. Le facteur travail ne pouvant être investi sur les plantations, il se reporte sur le vivrier et le coton. Suite à la baisse du revenu des cultures de rente, ce groupe d'exploitants agricoles se divise actuellement en deux sous-groupes :

4-1. Ceux qui, après un héritage au niveau de la famille restreinte, disposent ou disposeront d'une portion importante de terre dont ils peuvent tirer un avantage (ils peuvent, par exemple, la louer contre un service en travail).

4-2. Ceux qui ne disposent que d'une superficie limitée et qui sont amenés à valoriser leur force de travail sur des terres extérieures. Ils mettent en place plusieurs cultures dans la même année sur la même parcelle (exemples : riz-coton ; riz-maïs-manioc). Les faibles superficies ne leur permettent pas "d'investir" leur travail dans la réalisation d'une plantation pérenne.

Il convient de souligner la relation étroite qui existe entre le mariage et l'accès à la propriété. Un homme marié ne se verra pas disputer sa terre, ce qui se produit fréquemment pour un jeune non marié (Dozon, 1985 ; Ruf, 1988). L'homme chargé d'une famille se voit reconnaître son droit au foncier, par l'ensemble du village et son exploitation dispose en outre de plus de main d'oeuvre.

Ce type 4 doit se retrouver dans les zones où le foncier est dominé par des Baoulés et des Mossis (Burkinabés) et où il n'y a plus de forêt à défricher, mais ceci reste à préciser.

Par ailleurs, tant que la terre n'a pas été un facteur limitant, ce type 4 se transformait en un type 2. La moins bonne rémunération du travail sur les cultures de rente s'est combinée avec la raréfaction des terres pour maintenir ce groupe à l'écart des plantations.

Type 5. Il est constitué par les derniers migrants qui n'auront plus accès à la propriété et ne reçoivent l'usufruit que d'une parcelle de terre de vivrier destinée à couvrir leurs besoins alimentaires. Ce prêt fait partie de la rémunération de leur travail.

Des jeunes Bétés, employés par les unités du type 2, qui attendent que leur situation familiale évolue, s'intègrent de façon transitoire au groupe 5 et évoluent normalement vers le type 4.

Il convient de souligner que cette présentation rapide ne permet pas d'expliquer l'évolution chez les Bétés et notamment le passage du type 2 au type 3, du type 4-1 au type 2, ou du type 5 au type 4. En effet, cette évolution dépend de l'organisation familiale (famille élargie ou famille restreinte), de la fonction et du rôle attribués à chaque membre de la famille. Le fait que le type 4 s'isole du type 2 et cherche à constituer une unité de production indépendante peut s'expliquer en partie par la relation entre vieux et jeunes.

Il reste à définir parmi ces systèmes quels sont ceux qui sont susceptibles d'intégrer la pisciculture en tant qu'innovation technique portée par la dynamique paysanne et donc les principales caractéristiques de la pisciculture en tant qu'atelier de production.

Il convient de rappeler ici la demande importante en poisson dans la région étudiée. Le poisson restant la première source de protéines chez les planteurs, le débouché local est évident.

L'investissement nécessite du travail ou une somme d'argent très importante par rapport au revenu du paysan. La réalisation de plusieurs fermes avec des jeunes montre que l'investissement est accessible à l'ensemble des catégories. Il nécessite aussi un accès sûr au foncier. La surface nécessaire est cependant très limitée mais se situe dans les bas-fonds relativement disponibles non convoités par les plantations installées sur les plateaux.

Le fonctionnement nécessite une quantité importante de travail répartie sur l'ensemble de l'année.

La valorisation du travail dépend des sources d'intrants : lorsque les conditions sont favorables au niveau du son de riz, elle est de l'ordre de 3.000 F CFA par jour.

Conséquences de la typologie

Il est clair que toutes les catégories qui ont une force de travail limitée qu'elles valorisent le mieux en rendant plus extensif le travail sur les plantations, ne peuvent se permettre de la réduire encore.

La baisse récente du pouvoir d'achat empêche même le type 2 de réaliser une pisciculture avec de l'argent liquide.

Dans une zone où le foncier reste dominé par les Bétés, les seules catégories éventuellement candidates pour l'activité piscicole sont les types 4-1, 4-2, et 5.

L'instabilité du type 5 et la disponibilité en terre du type 4-1 contribuent à faire du type 4-2 le groupe privilégié pour réaliser une unité piscicole.

Comparaison avec la situation réelle

Le Projet piscicole périurbain de la commune de Daloa (PAPU-CD) a encadré huit jeunes pisciculteurs Bétés en brousse.

Le groupe 4-2 est représenté par quatre pisciculteurs. En général, ils ont réalisé la plus grande partie de leur ferme eux-mêmes et sont prêts à investir davantage de travail. A Zalihouan, le pisciculteur étend sa ferme ; à Bolia, il a réalisé un élevage de lapins pour fertiliser son eau et a accepté de tenter l'expérience de "l'acadja" implanté en étang ; à Nioubuoua, il a associé les lapins à sa pisciculture ; et à Tahiraghue, le pisciculteur est intéressé par la réalisation d'un nouvel acadja.

Le groupe 4-1 est représenté par un pisciculteur à Bla qui, suite au décès récent de son père, appartient maintenant au groupe 2. Les étangs ont été entièrement réalisés par des tâcherons et sont actuellement délaissés.

Le groupe 3 est représenté par un pisciculteur de Zakoua qui a entièrement sous-traité la réalisation de sa pisciculture à des tâcherons.

Le groupe 2 est représenté par un pisciculteur de Zakoua et un de Tchébologué (ce dernier se trouve dans une situation un peu spéciale puisque la plus grande partie de ses plantations a brûlé).

La motivation du groupe 4-2 s'explique en partie par le fait que la pisciculture permet une alternative qui met beaucoup mieux en valeur les facteurs disponibles que pour les autres exploitations. De plus, elle leur permet de trouver un statut social qui est devenu inaccessible suite aux évolutions récentes

déjà décrites. Renoncer à la pisciculture serait associé à renoncer à un statut équivalent à celui de planteur. A ce niveau, on cherche à proposer un modèle technique bien adapté à ce type, qui devrait constituer un instrument de promotion sociale (Oswald et Copin, 1992). Il est important de souligner que ces jeunes exploitants, limités dans leur accès au foncier mais disposant d'une certaine capacité de gestion, ont été retenus dans le cadre du projet car un modèle technique relativement élaboré et performant de pisciculture leur semblait accessible.

Sur la base de ces hypothèses, un modèle technique viable sera caractérisé par le report de la force de travail sur la pisciculture (dans le cadre du groupe 4-2) qui devrait permettre la poursuite de l'investissement, c'est-à-dire l'extension en superficie de l'exploitation piscicole. Un scénario possible de réussite du modèle se traduirait par l'accès à de la main d'oeuvre extérieure à l'exploitation, ce qui permettrait un investissement beaucoup plus rapide. Dans ces conditions, on pourra véritablement parler d'un développement rural de la pisciculture. Dès que les conditions économiques de la reproductibilité seront atteintes, il faudra observer l'appropriation sociale de la technique par les pisciculteurs et les possibilités de reproduction spontanées, pour pouvoir définir le type d'encadrement le plus approprié.

Conclusion

L'absence réelle d'un développement rural de la pisciculture en Afrique ne doit pas porter au découragement. Il est clair que la situation d'un paysannat est difficile à appréhender, comme en témoigne l'échec de très nombreux projets agricoles. Cependant, dans de nombreux cas, l'évolution rapide des pratiques agricoles traduit la capacité des paysans à mettre en oeuvre de nouveaux systèmes de produc-

tion. Les actions qui cherchent à mobiliser cette capacité de mise en oeuvre passent nécessairement par la recherche systématique de la valorisation des facteurs de production. Elles se justifient entièrement dans une perspective de développement à moyen terme et la pisciculture peut parfaitement y trouver naturellement sa place.

Littérature citée

- Dozon, J.P. 1985. La société bété. ORSTOM KARTHALA, Paris. 367 p.
- Forget, M. 1982. Année zéro du projet centre-ouest. Des relations de production à la typologie des exploitations. Daloa. SATMACI-PACO. Fascicule 111. 33 p.
- Forget, M. et G. Chatellier. 1984. Essai de typologie des exploitations. Daloa. SATMACI-PACO. 36 p.
- Gittinger, P. 1985. Analyse économique des projets agricoles. Paris, Economica. 547 p.
- Kinimo, Y.R. 1988. Etudes des potentialités agro-économiques et perspectives d'installation des différents types d'exploitations piscicoles dans la région de Bonoua. CIRES, Abidjan, document interne. 90 p.
- Koffi, C. 1989. Conclusions et recommandations de l'étude "aspects économiques de la production en étang". Université nationale de Côte d'Ivoire, Abidjan, RCI. 187 p. Thèse de doctorat.
- Lazard, J., Y. Lecomte, B. Stomal et J.Y. Weigel. 1991. Pisciculture en Afrique subsaharienne. Situation et projets dans pays francophones. Propositions d'action. Ministère de la Coopération et du Développement, Paris, France. 155 p.
- Oswald, M. et Y. Copin. 1992. Le volet piscicole du projet périurbain de la commune de Daloa, p. 382-397. In G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherche sur les systèmes aquacoles en Afrique. Comptes-rendus d'un atelier organisé à Bouaké, Côte d'Ivoire, 14-17 novembre 1988. International Development Research Centre, Ottawa, Canada.
- Ruf, F. 1982. Ma forêt est finie où planter l'igname ? Contribution des femmes à la production alimentaire, p. 127-149. In Cahier du CIRES n° 23 actes de séminaires 1982 Tome 1. Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Ruf, F. 1984. Quelle intensification en économie de plantation ivoirienne ? I-Histoire, systèmes de production et politique agricole. Agron. Trop. 39(4):367-382.
- Ruf, F. 1985. Quelle intensification en économie

de plantation ivoirienne ? Quels programmes, pour quelles exploitations. *Agron. Trop.* 40(1):44-53.

Ruf, F. 1987. Eléments pour une théorie sur l'agriculture des différentielles, au cacaoyer, capital travail. *Agron. Trop.* 42(3):218-230.

Ruf, F. 1988. Stratification sociale en économie de plantation. TOME III : De "l'exploitation agricole" au "terroir" : quelques typologies. UER de géographie, Faculté des lettres et des sciences humaines. Université de Paris X 6 tomes, 1353 p. Thèse de doctorat.

Quelle recherche pour quel développement de l'aquaculture des tilapias en Afrique subsaharienne ?

J. LAZARD

*Programme aquaculture et pêche
Département d'élevage et de médecine vétérinaire
Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement (CIRAD-EMVT)
GAMET-BP 5095-34033 Montpellier Cédex 1
France*

LAZARD, J. 1996. Quelle recherche pour quel développement de l'aquaculture des tilapias en Afrique subsaharienne ? p. 567-577. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La recherche menée depuis une trentaine d'années sur l'aquaculture des tilapias en Afrique subsaharienne ne semble pas avoir relevé d'une véritable stratégie, que ce soit au niveau national ou régional. La recherche dans ce domaine a toujours été très "opportuniste", principalement pour des raisons budgétaires. Dans certains cas, la recherche a été menée dans le cadre d'importants projets de développement dont les bases biotechniques s'avéraient insuffisantes. A l'issue des projets, cette recherche d'accompagnement était contrainte de s'arrêter.

La recherche en aquaculture des tilapias a également souvent été menée indépendamment des autres disciplines telles que la biologie, l'agronomie, la zootechnie et la socio-économie (systèmes de production). Elle était généralement rattachée aux départements de recherches forestières ou de la faune sauvage, héritages des anciennes puissances coloniales. Cette recherche ne s'est que très rarement inscrite dans un plan global de développement de l'aquaculture qui, au demeurant, n'existait généralement pas. Le résultat est que de nombreux chercheurs en aquaculture sur le continent sont conduits à travailler en vase clos, et leurs résultats n'ont souvent que peu de répercussions au niveau du développement. Par ailleurs, la recherche fondamentale a principalement été menée dans l'optique d'une pisciculture intensive et/ou industrielle qui, dans la plupart des cas, semble mal cadrer avec le contexte socio-économique et technique prévalant sur le continent africain.

Ces différentes considérations sont analysées sur la base d'un certain nombre d'exemples. L'interface recherche-développement est étudiée sous l'angle des projets "pilotes" et des recherches "d'accompagnement". En conclusion, des propositions sont faites pour l'avenir en termes d'adéquation entre planification du développement aquacole et stratégies de recherche fondamentale et appliquée.

La recherche aquacole (et notamment sur les tilapias) en Afrique subsaharienne

Historique et situation actuelle

Le continent a une longue histoire de recherche en aquaculture car de nombreux pays africains ont entrepris des recherches dans ce domaine dès avant les

indépendances. Elles étaient plutôt de nature empirique et appliquée.

Les principales stations de recherche implantées sur le continent furent la Station de la Djoumouna au Congo, la Station de la Landjia en République centrafricaine, la Station de Fouban au Cameroun, la Station de recherches piscicoles de Bouaké en Côte d'Ivoire, la Station de Sagana au Kenya, les Stations d'Anamalazaotra et

d'Ampamaherana à Madagascar, la Station de Kipopo au Zaïre, la Station de Kajansi en Ouganda, la Station de Chilanga en Zambie, et le Centre de recherche Henderson au Zimbabwe.

Seules la Station de Bouaké (devenu Centre piscicole IDESSA) et celle de Chilanga ont poursuivi, sans interruption, leurs travaux de recherches piscicoles depuis leur création (en 1957/58 pour Bouaké). Les autres ont fait l'objet de travaux de recherches à l'occasion de projets de développement incluant un volet recherches (Landjia, par exemple), généralement financées par le PNUD et mises en oeuvre par la FAO avec éventuellement coopération d'un laboratoire européen (Wageningen sur *Clarias gariepinus* à la Landjia, par exemple).

Aujourd'hui, force est de constater qu'en Afrique francophone, peu de stations de recherches sont réellement opérationnelles, capables d'alimenter le développement en véritables innovations scientifiques et/ou techniques. Parmi les stations en activité, à des degrés divers, on peut citer celles situées en Côte d'Ivoire (Centre de recherches océanologiques d'Abidjan-Layo, Centre piscicole IDESSA de Bouaké), au Congo (Station de la Djoumouna) et au Cameroun (Station de Foumban).

Outre ces stations, certains laboratoires universitaires développent aussi des actions de recherche en aquaculture ou en hydrobiologie appliquée.

En complément des importantes stations expérimentales énumérées ci-dessus qui mobilisent des financements importants (nationaux ou internationaux), un système plus souple de financement de la recherche (ou plus exactement de *chercheurs*) s'est développé depuis une quinzaine d'années : d'abord avec la FIS (Fondation internationale pour la science, Suède) puis avec le CRDI (Centre de recherche pour

le développement international, Canada). Il s'agit de bourses de recherches pour des projets et des chercheurs précis, bien identifiés et limités dans le temps. Ces financements permettent à de nombreux chercheurs de se mettre en selle ou de mener un programme de recherches mais pas d'asseoir une station ou un laboratoire.

Le problème de la pérennité de cette recherche est le problème majeur qui se pose aujourd'hui en Afrique : elle coûte cher (comme partout) et les chercheurs sont peu nombreux. Autre problème qui se pose : quelle recherche mener en Afrique ? De la recherche fondamentale, de la recherche appliquée, les deux ? La première ne peut guère se concevoir que dans des laboratoires bien équipés et par des scientifiques de haut niveau, formés par la recherche.

Une alternative temporaire pourrait consister à mener les recherches fondamentales sur les espèces et problématiques de base tropicales dans les laboratoires du Nord en y formant des chercheurs africains et en préparant progressivement le transfert de ces activités au Sud. Le problème qui se pose est celui du retour de ces chercheurs dans leur pays. Ils n'y retrouvent rien ou presque des moyens d'analyse et documentaire sur lesquels ils ont été formés. Le métier de "chercheur en aquaculture" est à créer en Afrique. Quant à la recherche appliquée, elle est généralement étroitement associée au développement et sera traitée plus loin à propos de la recherche-développement. On notera tout de même qu'il y a une forte corrélation entre recherche et production : le pays d'Afrique noire francophone ayant aujourd'hui la plus forte production aquacole est celui où l'effort de recherche dans ce domaine ne s'est jamais interrompu et s'est même intensifié ces dernières années : il s'agit de la Côte d'Ivoire.

Les programmes et les principaux résultats

Les principaux programmes de recherche aquacole menés jusqu'à présent sur le continent et leurs résultats les plus significatifs peuvent être résumés de la façon suivante.

LES ESPÈCES

Les tilapias. Les espèces les plus étudiées, originaires du continent africain, et qui représentent au demeurant la majorité de sa production aquacole, sont des tilapias. La systématique moderne (Trewavas, 1983) les classe aujourd'hui en trois genres : *Oreochromis*, *Sarotherodon* et *Tilapia*.

Paradoxalement, après quelques essais sporadiques et limités menés sur *Oreochromis niloticus* sur les stations africaines, c'est d'Asie, berceau de la pisciculture dans le monde, qu'est venu le véritable point de départ du travail de recherche sur ces espèces et la mise en évidence de leur intérêt biologique et économique pour l'aquaculture. A partir d'espèces introduites d'Afrique, Hickling (1960) a mis au point, sur la Station de Batu Berendam en Malaisie, des croisements de diverses espèces de *Oreochromis* (*urolepis*, *honorum*, *mossambicus*) donnant des hybrides monosexes mâles. Ce travail a été repris dans les années 1960 sur la Station de Bouaké (Lessent, 1968) et c'est à partir de ce moment que le genre *Oreochromis* a servi de base pour le développement de l'aquaculture en Afrique (Lazard et coll., 1990b).

Des travaux plus récents ont également porté sur les espèces de tilapias autochtones de milieux lagunaires : *S. melanotheron* et *T. guineensis* principalement (Legendre et coll., 1990).

Les autres espèces autochtones africaines. Parallèlement, un certain nombre de travaux de recherche ont porté sur des

espèces autochtones africaines autres que les tilapias. Il s'agit essentiellement, jusqu'à présent, de trois Siluridés (*Clarias gariepinus*, *Chrysichthys nigrodigitatus* et *Heterobranchus longifilis*) et de *Heterotis niloticus*.

Les transferts de poissons sur ou vers le continent africain. Les problèmes dans ce domaine se posent en termes différents selon qu'il s'agit d'introductions de genres ou d'espèces absents du continent ou d'espèces (ou souches) d'un genre autochtone. Le second type de transfert risque en effet d'induire des hybridations inter-spécifiques ou des interfécondations entre souches rendant aléatoire le maintien de populations originelles dans le milieu naturel et même en station.

Selon Welcomme (1988), les introductions et transferts de poissons réalisés vers ou sur le continent africain auraient été de 256 depuis 1850 (dont 146 réalisés entre 1950 et 1980). Sur ce total, les tilapias représentent 74 introductions, 62 d'entre elles ayant été réalisées entre 1950 et 1980. Cet inventaire n'est vraisemblablement que très partiel, un grand nombre de mouvements de poissons, notamment à l'intérieur du continent, ne faisant pas l'objet de compte rendu officiel.

Cette question des introductions et des transferts doit absolument faire l'objet le plus rapidement possible d'un large débat, ouvert et transparent. Chaque pays africain devrait s'attacher à faire un bilan aussi exhaustif que possible de la situation dans ce domaine afin qu'une stratégie à l'échelle continentale en matière de conservation et de gestion des ressources génétiques des espèces aquatiques africaines puisse être mise en oeuvre. Celle-ci doit s'appuyer sur des programmes de recherches en matière de génétique des populations des principales espèces d'intérêt halieutique et aquacole potentiel (Pullin, 1988 ; Lazard, 1990), notamment sur les tilapias dont l'Afrique constitue aujourd'hui le grenier génétique.

Disciplines biologiques. De très nombreux travaux ont été réalisés dans les différentes disciplines biologiques relatives aux tilapias. L'essentiel du travail de recherche a été effectué ailleurs qu'en Afrique. Dans certains cas, les tilapias étaient considérés comme des modèles biologiques (notamment *O. mossambicus*) et les recherches menées sur ces poissons n'avaient pas pour objectif premier d'en développer l'aquaculture.

Peu de recherche fondamentale sur les tilapias a été menée jusqu'à présent sur le continent africain et celle-ci a concerné essentiellement la physiologie de la reproduction en vue, notamment, de la compréhension du déterminisme du sexe (Jalabert et coll., 1974 ; Baroiller, 1988) et la génétique des populations (Pouyaud et Agnese, même volume ; Rognon et Guyomard, même volume) ainsi que des travaux sur l'hybridation, sur la base de collaborations étroites avec des laboratoires du Nord. Cependant, l'essentiel des recherches menées dans les disciplines biologiques ont revêtu un caractère essentiellement appliqué.

Systèmes et techniques d'élevage. On peut considérer que toutes les principales structures d'élevage ont été testées en Afrique, particulièrement sur les tilapias mais également sur d'autres espèces : étangs, cages, enclos, raceways.

A chaque structure d'élevage peuvent correspondre différents systèmes d'élevage mis au point en station de recherche ou dans le cadre d'opérations de recherche-développement.

Dans ce domaine, cependant, beaucoup de travail reste à faire dans l'optique d'une meilleure intégration des systèmes de production piscicole aux systèmes de production agricole.

Les deux voies à creuser, à l'avenir, semblent devoir être l'optimisation sur les plans biotechnique et économique des

travaux déjà entrepris et la mise au point de nouveaux systèmes d'élevage performants adaptés au milieu rural ou un vide important règne à l'heure actuelle. Un système artisanal de petite production marchande en milieu rural (le "pendant" du système périurbain) reste à trouver.

La mise au point de ce modèle ne peut se faire sans les paysans. Ces recherches sur les systèmes sont donc davantage à mettre sous la tutelle du développeur au niveau des orientations globales de développement rural et ne peuvent être déconnectées d'une réalité régionale. Le terme "système" a une composante socio-économique déterminante : la recherche sur le système en station ne se justifie donc que si elle constitue le maillon de la recherche-développement le plus rapproché de la recherche fondamentale.

Sciences sociales et économiques. La recherche en sociologie ou économie de l'aquaculture en Afrique est quasiment inexistante. Il n'existe pas, en effet, de véritables programmes de recherche en la matière. Cette situation peut s'expliquer par l'impact négligeable de l'aquaculture sur les économies africaines, par l'hésitation des chercheurs concernés à s'impliquer dans des programmes qui ne peuvent être que pluridisciplinaires, et par une conscience tardive de la part des planificateurs ou responsables de projets aquacoles de la nécessité d'intégrer la dimension sociale ou économique.

On note quelques exemples de cette prise de conscience tardive puisqu'elle est intervenue pendant les projets. Citons les efforts déployés par le Projet de développement de la pisciculture en milieu rural et par le Projet de développement de l'aquaculture lagunaire, tous deux en Côte d'Ivoire. Le premier projet s'est attaché à déterminer la rentabilité économique et financière des différents systèmes de production aquacoles mis en place. Pour ce faire, des enquêtes ont été

menées auprès de 104 pisciculteurs en vue d'établir des bilans et des comptes d'exploitation pour chaque sous-système de production ainsi qu'un ensemble de ratios (liquidité, solvabilité) qui ont été soumis à une analyse de sensibilité de manière à faire ressortir quelques scénarios tenant compte des éléments d'incertitude et de risques liés aux aléas naturels et économiques (Koffi, 1992).

Le deuxième projet a porté sur la formation des prix du poisson d'aquaculture, un descriptif des circuits commerciaux et la mise en évidence de stratégies commerciales mises en oeuvre par les différents acteurs opérant à chaque étape des divers circuits (Weigel, 1989).

En matière de sciences sociales relatives à l'aquaculture en Afrique, trois voies de recherche pourraient être explorées. Ces recherches devraient permettre une connaissance d'une nature et d'un intérêt différents de celle acquise dans le passé, qui reposaient, pour la plupart d'entre elles, sur des expertises rapides et superficielles.

- La première voie aurait pour objectif, en référence à des situations locales spécifiques, d'analyser l'insertion d'activités aquacoles dans le système de production agricole ou halieutique déjà existant. En effet, pour la pisciculture artisanale, les nouvelles allocations des facteurs de production nécessaires se font par rapport à l'ancienne activité. L'enjeu de la connaissance relative à l'allocation des terres, de la force de travail, du capital disponible et des différents intrants, est la réussite de la greffe aquacole sur une organisation sociale et économique qui a ses propres règles de fonctionnement. Encore une fois, sous peine de conclusions erronées liées à une problématique ou à une méthodologie inadéquate, ce genre de recherches requiert des compétences en sciences sociales qui ne peuvent être seulement le fait de biologistes ou technologues.

- La deuxième voie pourrait être une analyse bio-économique de quelques aquacultures existantes ou en gestation. Cette analyse interdisciplinaire par essence devrait permettre de dégager les conditions optimales de rentabilité de l'aquaculture considérée. Elle nécessite un suivi très rapproché des coûts d'investissement et surtout de fonctionnement des unités aquacoles ainsi que l'adéquation de ces coûts aux paramètres biotechniques. A terme, cette recherche devrait fournir des éléments sur la rentabilité optimale et les coûts unitaires réels.

- La troisième voie pourrait être une analyse macro-économique, menée à l'échelle régionale de l'aquaculture par rapport à l'ensemble de la filière halieutique et, en ce sens, elle dépasse le cadre aquacole. Cette analyse permettrait d'identifier les principaux éléments quantitatifs et les différents agents de la filière susceptibles d'être impliqués dans une activité aquacole, avec en particulier un descriptif du rôle et de la structuration des producteurs et des commerçants. Mais cette étude permettrait également un repérage des institutions financières susceptibles d'être impliquées, ainsi qu'un jalonnement des interventions souhaitables des gouvernements et des bailleurs de fonds en matière d'incitations diverses.

La recherche-développement

Sous ce vocable ne devrait se trouver que l'ensemble du travail réalisé à l'interface entre la recherche et le développement. En fait, l'analyse des actions de toute nature menées depuis 30 ans sur le continent africain en matière de pisciculture, révèle que, en dehors de quelques programmes de recherches bien définis et des opérations de vulgarisation stricte, c'est à la fois du domaine de la recherche

et de celui du développement qu'elles relèvent.

D'où provient cette confusion ? Les principales explications suivantes peuvent être avancées.

- Insuffisance de bases scientifiques biotechniques et socio-économiques lors du démarrage d'un projet de développement le faisant qualifier de "recherche-développement", "pilote", "prévulgarisation" : tous ces termes signifient bien souvent que le projet n'a pas de véritable thème biotechnico-socio-économique à vulgariser.

- Volonté des bailleurs de fonds de voir les projets déboucher rapidement sur des productions "significatives" même si les bases techniques sont fragiles ou inexistantes.

- Isolement des stations et laboratoires de recherches qui ne mènent pas toujours des recherches utilisables par le développement.

Ces différents aspects conduisent généralement aux résultats suivants :

- La plupart des projets pilotes ont eu une démarche allant "du développement à la recherche" (Lazard et coll., 1990a).

- L'institutionnalisation des recherches d'accompagnement est le signe d'une mainmise des projets de développement sur la recherche en vue de résoudre des problèmes urgents, généralement de nature biotechnique. En fait, cette mainmise a des aspects positifs par le fait qu'elle accélère en la motivant (financièrement et thématiquement) la recherche (exemple de la reproduction en captivité de *C. nigrodigitatus* en Côte d'Ivoire), mais a également des effets pervers en mobilisant toutes les forces souvent limitées d'une station ou d'un laboratoire sur un thème supposé porteur en termes de développement mais qui peut se révéler une impasse, au moins temporaire (exemple : élevage de *Oreochromis* spp. en milieu lagunaire en Côte d'Ivoire).

En outre, pour des observateurs non parfaitement avertis, cette "mainmise" apparaît souvent comme un exemple remarquable de complémentarité.

Pour l'avenir, dans le domaine de la recherche-développement en pisciculture, il semble que les orientations pourraient être les suivantes, basées sur la volonté de ne pas confondre les genres, même s'ils sont étroitement liés.

- la recherche doit être réalisée par des chercheurs sur des stations et dans des laboratoires correctement équipés et bénéficiant d'un environnement scientifique stimulant, d'où l'intérêt de créer des pôles régionaux réunissant des masses critiques de chercheurs, jumelés avec des centres de recherches du Nord ;

- le développement doit être fait par des développeurs professionnels ;

- l'interface est actuellement inexistante en Afrique : elle est à créer et il ne semble pas y avoir de règle générale dans ce domaine. On peut imaginer qu'elle ait son siège dans le cadre de stations pilotes constituant la courroie de transmission entre la recherche et les pisciculteurs. D'autres alternatives existent dans lesquelles les pisciculteurs pilotes joueraient le rôle d'interface entre recherche et développement, ce qui permettrait, en outre, de résoudre le problème crucial du devenir des stations pilotes à l'achèvement des projets ;

- ne pas confondre les genres revient à professionnaliser les différents acteurs du développement de la pisciculture tels que décrits ci-dessus avec, entre ces métiers, des cloisons aussi poreuses que possible. Cette porosité sera directement fonction de l'absence de blocage entre institutions en charge de cette activité, et l'on sait qu'elles peuvent être nombreuses et antagonistes dans de nombreux pays. Le véritable problème, plus que la multiplicité des intervenants, est l'absence de passerelles entre eux :

cette mobilité est nécessaire si l'on veut un jour arriver à un développement harmonieux de la pisciculture sur le continent africain ;

- optimiser l'utilisation des ressources humaines : les chercheurs africains formés à grands frais à l'étranger et au prix de sacrifices personnels devraient à leur retour trouver un emploi dans le domaine où ils ont été formés. Sinon la formation à la recherche par la recherche est vaine ;
- les programmes de recherche piscicole devraient, en toute logique, être définis en totale concertation avec le développement, et devraient se voir dotés de moyens propres leur évitant d'avoir à dépendre exclusivement des projets pour leur mise en oeuvre, dans le cadre trop restreint de seules recherches d'accompagnement.

Pour une stratégie de recherche piscicole en Afrique subsaharienne

Analyse critique des recherches menées en aquaculture (notamment des tilapias) sur le continent africain

L'ANALYSE DES RECHERCHES AQUACOLES MENÉES SUR LE CONTINENT AFRICAÏN DEPUIS UNE TRENTAÏNE D'ANNÉES NE FAIT APPARAÎTRE AUCUNE VÉRITABLE STRATÉGIE DE RECHERCHE SUR LE PLAN NATIONAL OU RÉGIONAL

La recherche aquacole se révèle, en effet, *a posteriori*, avoir été très "opportuniste", ce qui s'est traduit concrètement par les faits suivants :

- Une recherche indépendante et marginalisée. La recherche aquacole s'est déroulée systématiquement en dehors du contexte des autres recherches agronomiques et zootechniques dans les disciplines biologiques, technologiques et socio-économiques.
- Une recherche fondamentale (cognitive) quasiment inexistante sur le

continent du fait de l'absence d'environnement scientifique adéquat (intellectuel et matériel) mais également de l'absence d'un véritable secteur aval demandeur.

- Assimilation abusive des concepts de recherche amont et manque de rigueur dans la conduite des programmes de recherche.

• La recherche aquacole s'est en fin de compte souvent révélée être opportuniste, notamment pour des raisons de financement. Elle a suivi les grandes tendances qui présidaient à la mise en oeuvre des projets de développement (notamment par les organisations internationales) généralement avec pour vocation de faire de la pisciculture "l'affaire de tous" induisant une recherche corrélative peu inventive. Parallèlement, des "recherches d'accompagnement" à des projets mettant en oeuvre des techniques d'élevage plus intensives et plus sophistiquées, ayant démarré sur des bases biotechniques faibles ou inexistantes, ont tenté de résoudre dans les délais imposés, généralement courts, des problèmes de grande ampleur. Dans ce cas, les recherches se sont souvent arrêtées, avant d'avoir abouti, avec les projets qui leur avaient donné naissance.

L'EXPLICATION DE CETTE SITUATION RÉSIDE PROBABLEMENT DANS LE FAIT QUE LA PISCICULTURE EN AFRIQUE N'A PAS, SAUF EXCEPTIONS, ENCORE DE DIMENSION ÉCONOMIQUE VÉRITABLE

En d'autres termes, la recherche et le développement ont démarré en même temps dans les années 1940-1950 et se sont poursuivis de front. Tous deux devaient rapidement jeter des bases en comptant l'un sur l'autre pour progresser, d'où la relative incohérence de l'un et de l'autre depuis 40 ans. Le développement doté d'importants moyens devait rapidement obtenir des résultats pour justifier sa poursuite et son amplification,

sans bases biotechniques fiables. La recherche, dotée de faibles moyens, n'était pas en mesure d'effectuer des recherches de base (biologiques et technologiques) de grande envergure et sentait confusément qu'en l'absence d'un développement assis, son apport par une approche disciplinaire des problèmes serait d'un faible impact. Le développement est resté expérimental (ou pilote) et la recherche très finalisée sur les systèmes d'élevage dont le champ de répétabilité est très limité, faute d'une bonne connaissance des mécanismes intimes qui régissent ceux-ci.

Pour la même raison, la recherche s'est attaquée dès le début à des systèmes d'élevage complexes (polyculture, élevages associés, fertilisation organique), pour la plupart résultats du transfert de techniques en provenance d'autres continents (Asie principalement) dotés, eux, de traditions et de savoir-faire empirique dans ce domaine.

L'ILLUSTRATION DE CETTE ANALYSE EST DONNÉE PAR L'EXAMEN DU CONTENU DE TROIS SYMPOSIUMS TENUS CES 15 DERNIÈRES ANNÉES SUR L'AQUACULTURE AFRICAINE

En 1975, le "Symposium sur l'aquaculture en Afrique" (FAO, 1976) faisait apparaître au centre des préoccupations :

- sur le plan des espèces, une grande importance accordée aux tilapias mais également aux nouvelles espèces (parmi lesquelles *Clarias lazera* principalement) dans un souci évident de diversification des espèces à proposer aux aquaculteurs et aux consommateurs avec une préoccupation concernant l'introduction d'espèces exotiques sur le continent africain ;
- sur le plan des techniques et systèmes d'élevage, priorité donnée à l'utilisation d'intrants "rustiques" (engrais minéraux et organiques, élevages associés, rizipisciculture) sur la base de recettes, beaucoup plus que sur une compréhension

des mécanismes d'action de ces différents traitements ; et

- la socio-économie de l'aquaculture n'est abordée que succinctement et qui plus est par des non spécialistes.

- En 1985, l'"African Seminar on Aquaculture" (Huisman, 1986) dénote une évolution radicale des recherches menées sur le continent en 10 ans.

Les actes sur ce séminaire font apparaître de façon dominante :

- des résultats d'élevage intensif de tilapias avec utilisation d'aliment artificiel ;
- une part importante consacrée à des travaux menés sur d'autres espèces que les tilapias : principalement *Chrysichthys* et dans une moindre mesure *Clarias* ; et
- l'absence quasiment totale d'analyse socio-économique de l'aquaculture.

- En 1988, l'"Atelier sur la recherche appliquée en aquaculture en Afrique" (Bernacsek et Powles, 1992) dénote une évolution de la recherche et notamment :

- une approche plus scientifique de la fertilisation organique et le souci d'en comprendre les mécanismes pour une meilleure utilisation que la fourniture de simples recettes ;
- une approche biologique approfondie de l'élevage de certaines espèces (tilapias en milieu lagunaire, maîtrise de la filière de *Heterobranchus*, déterminisme du sexe chez *Orèochromis*) ; et
- une approche socio-économique approfondie de différents modèles techniques et de développement vulgarisés.

Rôle stratégique des recherches sur le développement de l'aquaculture en Afrique

QUEL DÉVELOPPEMENT ?

De nombreux cas de figures peuvent se présenter en Afrique quant aux options de développement de l'aquaculture et notamment des tilapias.

Selon le type de milieu. Le type de milieu détermine en grande partie le mode d'aquaculture à mettre en oeuvre et son niveau d'intensification :

- pisciculture extensive dans les plans d'eau naturels (mares) ou artificiels (retenues hydroagricoles et agro-pastorales) par leur mise en valeur piscicole (alevinage, aménagement de la pêche) ;
- pisciculture semi-intensive en étangs de pisciculture ; et
- pisciculture intensive en bassins de terre à fort renouvellement d'eau ou en cages et en enclos placés dans le milieu naturel (lac, fleuve, lagune).

Selon le type de populations cibles. Les formes de pisciculture à développer seront différentes selon les populations de pisciculteurs que l'on souhaite promouvoir : villageois, pêcheur, artisans, petites et moyennes entreprises, industriels, tant en termes d'investissements que des systèmes d'élevage. On privilégiera les formes de pisciculture requérant de la force de travail pour les investissements, et un minimum de trésorerie pour le fonctionnement dans le cas d'une pisciculture rurale ; le problème se pose en termes radicalement différents pour une pisciculture industrielle.

Selon le type de marché visé. Le type de pisciculture à développer sera différent selon qu'elle vise des marchés urbains dont le pouvoir d'achat est relativement élevé ou l'approvisionnement de zones rurales à faible pouvoir d'achat (ou en tous cas inégalement reparti dans le temps).

QUELLE RECHERCHE ?

Face à l'absence de schémas de développement clairement définis et même de cadre général dans lequel s'inscrire, la recherche doit improviser, en même temps que le développement. L'avantage est un épanouissement pour des chercheurs à large spectre de compétences et d'intérêts créatifs et imaginatifs car tout

leur est permis en termes d'espèces d'élevage, de disciplines à explorer, de systèmes et de filières d'élevage à mettre au point ; le balayage de ces champs de recherche allant de l'amont à l'aval. En revanche, cette situation génère une grande frustration chez les chercheurs souhaitant approfondir une discipline précise appliquée à une espèce donnée compte tenu à la fois de la faible ampleur du développement aquacole actuellement rencontré en Afrique et de l'absence de cap fixe en matière de développement auquel ancrer les programmes de recherche. La recherche dans ce contexte est contrainte de travailler selon tous les axes de développement imaginables.

QUELLE STRATÉGIE ?

On se limitera ici à fournir quelques exemples du rôle stratégique que peuvent avoir certaines recherches aquacoles sur le mode de développement de cette activité dans un pays ou une région considérés.

Génétique des populations. Les travaux sur ce sujet sont récents. Ils ont principalement porté sur les tilapias et ont essentiellement été motivés par leur utilisation en aquaculture sur d'autres continents (Asie).

Une véritable politique africaine d'utilisation prioritaire d'espèces autochtones en vue de leur aquaculture devrait promouvoir ces recherches en génétique des populations et les faire suivre d'essais de testage en station (comparaison de souches, de populations, d'espèces) par rapport à des critères d'intérêt aquacole tels que la vitesse de croissance en captivité, la transformation des aliments artificiels, la résistance à des facteurs du milieu (température, salinité, etc.). Enfin, des programmes d'amélioration pourraient être mis en place à l'issue de ces travaux.

Un tel programme aurait comme retombées :

- la connaissance de la protection des ressources génétiques des espèces

africaines d'intérêt aquacole et halieutique ;

- leur utilisation optimale en aquaculture ; et

- la limitation des introductions d'espèces exotiques.

C'est-à-dire un véritable impact stratégique.

Choix des espèces d'intérêt aquacole potentiel. Le choix d'espèces en vue de leur aptitude à l'aquaculture n'est pas neutre. Exceptés les tilapias qui présentent des aptitudes à une aquaculture à faibles coûts de production, les autres espèces sur lesquelles des recherches ont été menées jusqu'à présent ne présentent en général pas les mêmes caractéristiques, notamment au niveau de leur mode de reproduction et de leur régime alimentaire.

Dans ce domaine, il semble qu'un programme concerté à l'échelle continentale devrait viser la connaissance des principaux paramètres biologiques appliqués à l'aquaculture des espèces d'intérêt aquacole potentiel. Sur ces bases, une véritable stratégie de développement de l'aquaculture de ces espèces pourrait être élaborée en tenant compte des principales contraintes d'élevage, du marché visé en fonction de leur prix de revient et des populations cibles pour la mise en oeuvre de leur élevage.

A ce niveau de réflexion se situe le choix à effectuer de travailler sur de nombreuses espèces (travail de "screening" à poursuivre et amplifier) ou de se concentrer sur quelques unes et d'en approfondir les recherches de base dans les principales disciplines biologiques et technologiques.

Système de production. Aucun travail approfondi n'a été mené jusqu'à présent sur la place que peut occuper la pisciculture dans les systèmes de production agricole africains et son insertion spatiotemporelle dans ceux-ci ; ce travail est cependant essentiel et ne doit pas se limiter à des transferts de technologie tels que les élevages associés, par exemple, qui durent

autant que les projets qui les encadrent et s'arrêtent avec ceux-ci. Une bonne connaissance des systèmes de production agricole et de leur dynamique dans une région donnée est essentielle. Alors, seulement pourront être envisagées la forme et la place de la pisciculture à y intégrer.

En conclusion, on peut avancer qu'un pays doit élaborer un plan de développement de ses productions halieutiques et, à partir de là, un plan stratégique de recherches lui permettant d'atteindre ses objectifs de développement. Or, c'est généralement le contraire qui se produit dans la réalité : une recherche livrée à elle-même à la rescousse d'opérations de développement en difficulté. Aucune stratégie de recherche n'est possible dans ce contexte : elle est condamnée à demeurer opportuniste et d'accompagnement à un développement qui n'a pas encore fait ses preuves.

Littérature citée

- Baroiller, J.F. 1988. Etude corrélée de l'apparition des critères morphologiques de la différenciation de la gonade et de ses potentialités stéroïdogènes chez *Oreochromis niloticus*. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 89 p. Thèse de doctorat.
- Bernacsek, G.M. et H. Powles, Editeurs. 1992. Recherche sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC-MR308 ef. Centre de recherches pour le développement, Ottawa, Canada. 426 p.
- FAO. 1976. Proceedings of a Symposium on Aquaculture in Africa, 30 septembre-2 octobre 1975, Accra, Ghana. CIFA Tech. Pap. 4 (Suppl. 1), 791 p.
- Hickling, C.F. 1960. The Malacca tilapia hybrids. J. Genet. 57(1):1-10.
- Huisman, E.A., Editeur. 1986. Aquaculture research in African region. FIS Seminar. PUDOC, Wageningen, Pays-Bas. 274 p.
- Jalabert, B., J. Moreau, P. Planquette et R. Billard. 1974. Déterminisme du sexe chez *T. nilotica* et *T. macrochir* : action de la méthyltestostérone dans l'alimentation des alevins sur la différenciation sexuelle ; obtention de mâles inversés fonctionnels. Ann. Biol. Anim.

- Biochem. Biophys. 14:729-739.
- Koffi, C. 1992. Aspects économiques de la production piscicole en étang : l'expérience de la pisciculture rurale au centre-ouest et au centre de la Côte d'Ivoire, p. 49-63. *In* G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Atelier du 14-17 novembre 1988, Bouaké, Côte d'Ivoire. IDRC-MR308 ef. Centre de recherches pour le développement, Ottawa, Canada. 426 p.
- Lazard, J. 1990. Transferts de poissons et développement de la production piscicole. Exemple de trois pays d'Afrique subsaharienne. *Rev. Hydrobiol. Trop.* 23(3):251-265.
- Lazard, J., B. Jalabert et T. Doudet, Editeurs. 1990a. L'aquaculture des tilapias : du développement à la recherche. Cah. Sci. 10. Centre technique forestier tropical, Département du CIRAD, Nogent-sur-Marne, France. 116 p.
- Lazard, J., P. Morissens, P. Parrel, C. Aglinglo, I. Ali et P. Roche. 1990b. Méthodes artisanales d'aquaculture du tilapia en Afrique. Centre technique forestier tropical, Nogent-sur-Marne, France. 82 p.
- Legendre, M., J.M. Ecoutin, S. Hem et A. Cissé. 1990. Recherches sur les tilapias lagunaires de Côte d'Ivoire, p. 93-116. *In* J. Lazard, B. Jalabert et T. Doudet (éds.) L'aquaculture des tilapias : du développement à la recherche. Cah. Sci. 10. Centre technique forestier tropical, Département du CIRAD, Nogent-sur-Marne, France.
- Lessent, P. 1968. Essais d'hybridation dans le genre tilapia à la station de recherches piscicoles de Bouaké, Côte d'Ivoire. *FAO Fish Rep.* 44(4):148-159.
- Pullin, R.S.V. 1988. Tilapia genetic resources for aquaculture. *ICLARM Conf. Proc.* 16, 108 p.
- Trewavas, E. 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis*, and *Danakilia*. British Museum (Natural History), Londres.
- Weigel, J.Y. 1989. La commercialisation du poisson en pays lagunaire ivoirien. ORSTOM Ed., Coll. Etudes et Thèses, Paris. 138 p.
- Welcomme, R.L. 1988. International introductions of inland aquatic species. *FAO Fish Tech. Pap.* 294, 318 p.

Présentation de la pisciculture périurbaine dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire

M. OSWALD

*Mission de coopération et d'action culturelle (MCAC)
01 BP 1839 Abidjan 01*

*Projet de développement de la pisciculture en milieu rural
BP 494 Bouaké 01, Côte d'Ivoire*

Y. COPIN

*Association française des volontaires du progrès
Centre de recherche Mèze Hérault (AFVP/CEREMHER)
BP 118 34140 Mèze, France*

D. MONTFERRER

*Association française des volontaires du progrès (AFVP)
BP 2532 Abidjan 01, Côte d'Ivoire*

OSWALD, M., Y. COPIN et D. MONTFERRER. 1996. Présentation de la pisciculture périurbaine dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire, p. 578-590. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'échec des nombreuses tentatives de développement de la pisciculture en Afrique tropicale, au cours des dernières années, se traduit actuellement par un découragement de différents intervenants dans ce domaine. Aujourd'hui, sans constituer à elle seule une alternative aux spéculations de rentes en crise, la pisciculture constitue cependant un élément de diversification intéressant des activités agricoles à la périphérie de grandes villes. Certains pisciculteurs consacrent l'essentiel de leur temps de travail à cette activité depuis six ans. Les choix des pisciculteurs découlent plus d'une logique paysanne que d'une logique d'entreprise.

Les étangs sont construits en bordure des bas-fonds de riz irrigué. La cohabitation de ces deux spéculations a révélé des interactions positives (gestion plus régulière de l'eau, remontée des nappes phréatiques, fertilisation de l'eau).

Une polyculture est pratiquée où l'espèce dominante est *Oreochromis niloticus*. Son élevage monosexé se déroule en trois phases : géniteurs, fingerlings et production de poisson de taille marchande. L'aliment utilisé est le son de riz ; une fertilisation est apportée en complément (déchets d'abattoirs ou lisier). Les résultats de cette polyculture ainsi qu'une présentation économique de différentes fermes font l'objet de la présente communication. Ces résultats démontrent l'intérêt de cette activité pour le pisciculteur. Une comparaison des spéculations piscicole et rizicole est également proposée.

En conclusion, les auteurs insistent sur l'importance de cette pisciculture périurbaine dans le cadre de laquelle la réponse du marché au poisson de pisciculture et l'apparition de mécanismes d'entraide entre pisciculteurs se révèlent porteurs de nombreux développements économiques.

Introduction

En 1990, sur un total de 230.000 tonnes de poissons consommé, la Côte d'Ivoire a importé 150.000 tonnes. Ce déficit n'a fait qu'augmenter ces dernières années. Malgré les efforts de développement de la pisciculture, rares sont les producteurs qui, dans le milieu rural, continuent à exercer cette activité.

Les exigences de la pisciculture (Lazard et coll., 1991), notamment au niveau des sous-produits agricoles et de l'existence d'un marché urbain (Koffi, 1990), ont conduit les opérateurs à recentrer leurs actions en zone périurbaine (exemple : Projet AFVP/SATMACI^a à Daloa et à Gagnoa dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire).

Sous la pression démographique (Daloa : 125.000 habitants recensés en 1984 et 175.000 en 1988), les mairies dépossèdent les propriétaires coutumiers, c'est-à-dire ceux qui traditionnellement géraient les terres. Les espaces non constructibles qui demeurent officiellement la propriété des communes sont transformés en rizières et en jardins maraîchers. Ces bas-fonds périurbains sont exploités par une petite paysannerie principalement allogène originaire des régions du nord de la Côte d'Ivoire et des pays sahéliens (Mali, Burkina Faso). Le réseau hydrographique du centre-ouest permet l'implantation de nombreux étangs sur le flanc des vallées, contigu aux rizières.

Appuyé par le Projet piscicole périurbain de Daloa, une première ferme allait, à partir de décembre 1986, permettre à un pisciculteur de vivre de cette activité. A sa suite, d'autres personnes ont fait le choix d'une

pisciculture semi-intensive sur la base d'un modèle technique rigoureux (étangs de géniteurs, de fingerlings et de production de poisson marchand) exigeant une certaine technicité (sexage manuel, fertilisation organique, emploi de carnassiers, polyculture) et un outil de production performant (étangs bien construits).

Cette production allait devenir pour beaucoup d'entre eux leur activité principale, voire exclusive.

Bien que l'analyse présentée ici repose sur un nombre encore restreint de pisciculteurs, elle se propose de décrire les prémices d'une dynamique piscicole périurbaine, et d'analyser les stratégies développées par les pisciculteurs au niveau de l'aménagement (investissement) et du modèle technique d'exploitation.

Etangs et bas-fonds

L'aménagement

PROBLÉMATIQUE

Les sociétés des zones tropicales humides d'Afrique de l'Ouest n'ont généralement pas eu à faire face à des contraintes relatives à l'eau pour accroître la production agricole. Les connaissances en hydraulique et la pratique des aménagements sont donc récentes, notamment dans le sud forestier de la Côte d'Ivoire. Les premiers aménagements de bas-fonds à vocation rizicole remontent aux années 1970. C'est ainsi que les canaux d'irrigation du riz durent être creusés et entretenus par la SODERIZ^b. Par la suite, ces ouvrages furent délaissés

^aAFVP : Association française des volontaires du progrès ; SATMACI : Société d'assistance technique à la modernisation agricole de la Côte d'Ivoire.

^bSODERIZ : Société pour le développement de la riziculture. Société d'Etat qui était chargée du développement de la riziculture et de l'aménagement des bas-fonds pour la riziculture irriguée. Ses activités dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire ont été reprises par la SATMACI.

au profit de barrages en terre et branchages disposés sur le collecteur principal, servant ainsi à alimenter directement les casiers. Cette dérive du modèle proposé s'explique selon les situations par le manque d'entente entre riziculteurs, par la disponibilité en eau insuffisante et par le surcroît de travail mal valorisé (par exemple, un casier éloigné du collecteur demande beaucoup plus de travail pour être alimenté en eau : entretien du canal d'irrigation, construction et surveillance des barrages). La réalisation d'étangs de pisciculture, beaucoup plus exigeante quant à la gestion de l'eau (nécessité de prévoir un déversoir, entretien des étangs, des canaux d'alimentation et de vidange, etc.), peut paraître, dans ces conditions, vouée d'emblée à l'échec.

Cependant, aujourd'hui, dans certains bas-fonds rizicoles périurbains, plusieurs noyaux de pisciculteurs se constituent et au fil des années, améliorent et étendent leurs aménagements (bas-fonds rizicoles "Gako" à Daloa, et de Barouhio à Gagnoa, etc.), malgré l'absence d'une tradition en matière de gestion de l'eau et malgré l'importance de l'investissement à réaliser. Ce développement dénote un intérêt certain à l'égard de la pisciculture.

INTERACTIONS RIZICULTURE/PISCICULTURE

L'alimentation en eau se fait soit par une dérivation à partir du collecteur central du bas-fond rizicole, soit par le captage d'une nappe phréatique secondaire alimentant la rizière (les étangs se situant en amont des casiers de riz).

Les interactions positives entre ces deux spéculations se sont révélées nombreuses : disponibilité en eau plus importante pour le riz, meilleure maîtrise de l'eau sur le bas-fond, augmentation de la surface en riz irrigué, relative dimi-

nution des pertes de récoltes provoquées par les crues, fertilisation du riz par l'eau de la pisciculture, etc.

Les enquêtes effectuées en fin 1990, auprès des riziculteurs situés à proximité des piscicultures ont montré que :

- 6,6 % estiment que la pisciculture concurrence le riz au niveau de l'espace et de l'eau ;

- 13,3 % estiment que la pisciculture peut gêner le riz si l'aménagement piscicole ne prend pas en compte les exigences du riz ; et

- 80 % sont satisfaits de voir des étangs à proximité de leurs casiers (Barmoy, 1990)^c.

A terme, le développement des étangs piscicoles en bordure des bas-fonds rizicoles entraînera une remontée de l'ensemble des nappes qui les alimentent. C'est pourquoi les services chargés de l'encadrement doivent privilégier une approche d'aménagement globale sur le bas-fond, permettant de réaliser des économies d'eau et de travail au fur et à mesure des extensions tant des étangs de pisciculture que des casiers rizicoles.

APPROPRIATION DE L'AMÉNAGEMENT

Une description des techniques d'aménagement des étangs de pisciculture a été proposée dans le "Manuel de construction des étangs" (Oswald, 1989b).

Le degré d'appropriation de l'aménagement par le paysan va résulter de tâtonnements visant à améliorer la qualité technique de ses installations piscicoles, et à minimiser ses temps de gestion et d'entretien. Le résultat atteint est parfois décevant ; cependant, une expérience se constitue progressivement qui permet au pisciculteur de concevoir des étangs de qualité et de minimiser

^cDans un cas extrême, un pisciculteur est même parvenu à faire participer financièrement les riziculteurs à la réparation de son barrage qui avait été emporté par une crue.

l'effet des aléas climatiques (déversoirs mieux calibrés, nouveau tracé de canal limitant les pertes d'eau par renforcement de la digue en aval diminuant l'impact du déficit en eau lié à la saison sèche, etc.).

Les erreurs fréquentes des débutants contribuent pour beaucoup à la compréhension de la logique de l'aménagement : combien de grosses pluies, emportant une partie des digues et des poissons, ont fait prendre conscience de l'utilité des déversoirs aux pisciculteurs.

A l'encontre des idées reçues, le pisciculteur intègre rapidement les avantages d'un aménagement de qualité. Ceci se traduit par sa réceptivité aux normes proposées : il intègre rapidement certains critères de qualité qui, pourtant, exigent un surcroît de travail (renforcement des digues en aval, pente de l'assiette de 2 %, pente des digues, profondeur minimale des étangs de 0,60 m, plus d'un mètre au moine).

Un aménagement réussi offre une bonne maîtrise de l'eau, facilitant des vidanges fréquentes et une pratique de la fertilisation raisonnée.

Dans ce contexte, le moine est un outil indispensable : il sert de trop plein et de vidange, et permet de régler la hauteur de l'eau, ce qui facilite la capture des derniers poissons avant la vidange complète.

A titre d'exemple, le plan du bas-fond Gako a été reproduit sur la figure 1 où les années de différents aménagements sont indiquées. Ceci illustre bien l'extension des surfaces de cette pisciculture artisanale périurbaine.

Valeur de l'aménagement

ACCESSIBILITÉ À L'INVESTISSEMENT

La construction des étangs nécessite un investissement, en liquidité, pour

l'achat des matériaux et des outils. Elle demande également un investissement en travail fourni par le pisciculteur ou sous-traité à des tâcherons.

• Les dépenses minimales par poste et par étang s'établissent comme suit :

- ouvrage de vidange : en moyenne 20.000 F CFA^d ou environ US\$70 (tuyaux de PVC de 125 mm, sacs de ciment, location du moule pour la confection du moine) ; et

- matériel de terrassement : prix du matériel neuf 30.000 F CFA (brouette, daba^e, machette, lime) ; le pisciculteur dispose souvent de ces outils avant de débiter les travaux.

L'absence chronique de liquidité dans le milieu rural rend difficile la mobilisation des fonds demandés au cours de la réalisation d'une unité de cinq étangs. C'est souvent l'incapacité à fournir cet argent au moment adéquat qui freine les constructions.

• La quantité de travail nécessaire à la réalisation de cinq étangs varie selon la nature du terrain, la forme de l'étang et la quantité de terre à déblayer. Un homme seul travaillant à plein temps met entre deux et trois mois pour réaliser un étang de 4 à 5 ares (dans le cas où déblais-remblais s'équilibrent). Les périodes creuses du calendrier agricole rendent possibles de telles réalisations par les paysans.

Selon les deux situations extrêmes envisageables, le coût du travail peut s'évaluer comme suit (Tableau 1).

• Situation 1 : entre 45.000 et 60.000 F CFA pour un étang de 4 à 5 ares réalisé par un tâcheron rémunéré par le pisciculteur (suite à la crise, les coûts de la main d'oeuvre ont eu tendance à diminuer).

^dEn 1991, US\$1=300 F CFA ; en 1996, US\$1=600 F CFA.

^eCet outil africain est une houe à manche courte.

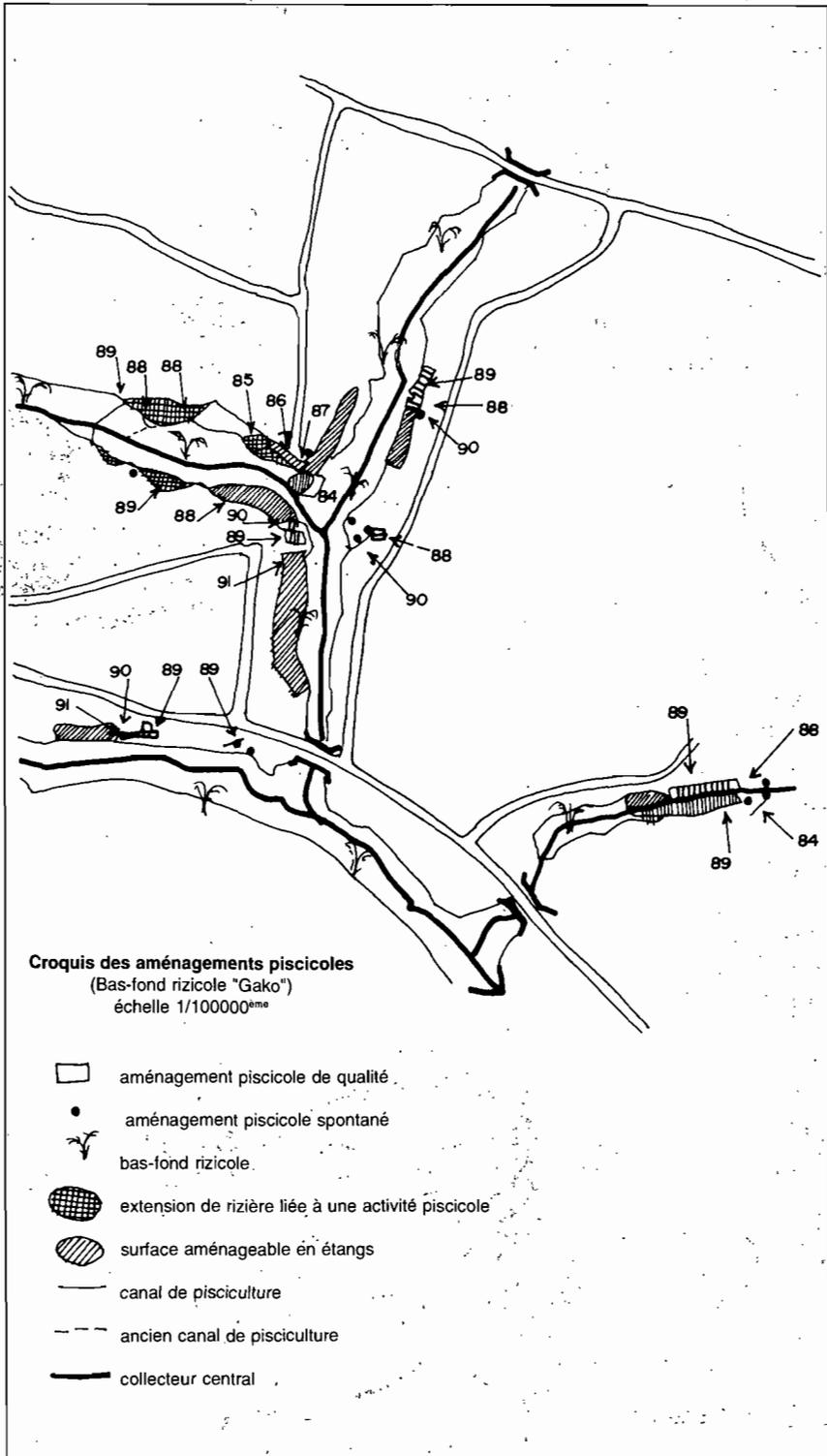


Fig. 1. Aménagements piscicoles dans le bas-fond rizicole de Gako. Les chiffres indiquent l'année de construction.

Tableau 1. Coût de construction d'un étang de 4 à 5 ares selon différentes modalités.

Coût d'un étang	Situation 1 (tâcheron)	Situation 2 (pisciculteur)
Maximum	80.000 F CFA	56.000 F CFA
Minimum	65.000 F CFA	41.000 F CFA

• Situation 2 : entre 21.000 et 36.000 F CFA pour un étang de même superficie réalisé par un manoeuvre qui renonce à vendre sa force de travail afin de réaliser sa propre pisciculture ; le coût d'opportunité de sa journée de travail a été évalué à 350 F CFA (Koffi, 1989).

Par ailleurs, il est intéressant de constater que les rares ventes d'étangs se sont effectuées à des prix nettement supérieurs (plus de 200.000 F CFA par étang).

L'itinéraire technique

Rappel du système technique proposé

L'élevage de *Oreochromis niloticus* se déroule dans trois types d'étangs : géniteurs, fingerlings et production de poisson de taille marchande (étang de tilapias mâles contrôlés par quelques carnassiers, destiné à produire des poissons d'un poids moyen supérieur ou égal à 200 g). Le modèle technique s'inspire des travaux de Lazard (1984). Il a déjà plusieurs fois été décrit (Copin et Oswald, 1988 ; Oswald, 1989a ; Oswald et Copin, 1992).

Le modèle technique privilégie la maîtrise des facteurs de production par le pisciculteur (alevins, intrants, commercialisation). Les intrants retenus sont le son de riz comme "aliment" et des déchets organiques d'élevage ou d'abattoir comme "fertilisant".

Ce modèle permet une gestion rationnelle et simple. Les cycles s'enchaî-

nent logiquement : trois étangs de production sont alimentés à tour de rôle par les mâles issus de l'étang de fingerlings, chaque fois réempoissonné par l'étang de géniteurs. Chaque vente et chaque sexage sont associés à une vidange. Tous les étangs sont compatibles avec toutes les phases du cycle, ce qui permet une réorganisation facile de l'exploitation.

A cette rationalité du schéma d'exploitation s'ajoute aussi une souplesse de gestion dans la mesure où les durées de cycles pourront s'adapter suivant les performances techniques et le marché. En pratique, un retard de trois mois ne perturbe pas sensiblement la production. Le même modèle technique s'applique pour un pisciculteur effectuant trois ventes ou pour celui qui en effectue six dans l'année.

Les exigences du modèle

La maîtrise de la technique par le paysan exige un certain "savoir-faire". La fertilisation n'est possible qu'à condition de posséder une bonne maîtrise de l'alimentation en eau et une profondeur suffisante dans les étangs (0,60 m). Elle s'appuie sur une réflexion au niveau des couleurs de l'eau, du temps de pipage des poissons, des pêches de contrôle, etc.

L'emploi de carnassiers stricts (*Hemichromis fasciatus* ou *Parachanna obscura*) permet un contrôle de la population de tilapias sexés (reproductions incontrôlées liées à des erreurs de sexage) mais le maintien d'un stock suffisant de ces carnassiers est délicat.

La polyculture proposée systématiquement associe *Heterotis niloticus* et *Heterobranchus isopterus*. *Heterotis* a son propre cycle de production divisé en trois phases. Les géniteurs sont placés dans un étang de production de tilapia, l'étang de fingerlings est commun à celui des fingerlings de tilapias, les autres étangs de production de tilapia servent à la fois à la production de *Oreochromis* et de *Heterotis*. Les *Heterobranchus isopterus* pêchés dans le milieu naturel (marigots) sont introduits à la densité maximale de 20·are⁻¹ dans les étangs de production de tilapia.

Niveau d'appropriation de la technique proposée

DESCRIPTION DE L'ÉVOLUTION DE QUELQUES PRATIQUES

L'observation de l'évolution des pratiques des pisciculteurs permet d'apprécier le niveau d'appropriation des techniques décrites ci-dessus.

- Protection contre les poissons sauvages :

La recherche de matériaux récupérés servant à fabriquer les grilles d'alimentation et de vidange est permanente ; on y trouve aussi bien des filtres à air que des étagères de réfrigérateur.

- Pratique de la fertilisation :

L'importance de la fertilisation ne devient évidente qu'au bout de quelques mois d'élevage du premier lot de tilapias sexés. Dans un deuxième temps, la fertilisation sera pratiquée dès l'empoissonnement et l'on peut même constater des cas de surfertilisation. Parallèlement, certains pisciculteurs vont même jusqu'à renouveler l'eau, de façon excessive, annulant les effets de la fertilisation.

Lors de certaines vidanges, les pisciculteurs ont regretté de ne pouvoir réutiliser leur eau déjà bien fertilisée pour un autre cycle.

- Emploi de carnassiers :

Le pisciculteur débutant n'en voit l'utilité qu'après trois ou quatre mois d'élevage lorsqu'il constate un blocage de croissance couplé à une présence d'alevins indésirables. A partir de ce moment, le pisciculteur cherche à se procurer dans les marigots un nombre suffisant de carnassiers.

- Gestion de la production d'alevins :

Le nombre d'alevins produits dans un étang de géniteurs augmente si l'on passe d'une pêche tous les deux mois à deux pêches par mois. En contrepartie, le poids moyen des alevins sera plus faible (Lazard, 1984).

Par contre, sur une ferme de cinq étangs, un pisciculteur trouve son intérêt à pêcher tous les deux mois pour récolter suffisamment d'alevins d'un poids moyen élevé.

Le choix consistant à privilégier la taille des alevins devient une contrainte avec l'extension de la ferme car le pisciculteur a tendance à maintenir un intervalle entre deux pêches suffisamment long pour conserver la même taille d'alevins. Il se trouve donc incapable de satisfaire ses nouveaux besoins en alevins. Un pisciculteur s'est heurté à ce problème et l'a d'abord résolu en ayant recours aux excédents de production d'alevins de ses voisins. Ces derniers, lassés de cette relation déséquilibrée, l'ont contraint à remettre en cause la gestion de son étang de géniteurs. Obligé de pêcher ses petits alevins, il se trouve à nouveau dans une situation où la production d'alevins n'est plus un facteur limitant. Le tableau 2 illustre ce changement de situation.

En conclusion, ces observations montrent à quel point les techniques ne sont

assimilées et reproduites que lorsqu'elles contribuent à lever une contrainte bloquant une situation vécue par le pisciculteur.

CHOIX OPÉRÉS PAR LES PISCICULTEURS PAR RAPPORT AU MODÈLE TECHNIQUE ET JUSTIFICATIONS

Pour le comptage des alevins transférés dans l'étang de fingerlings, les services d'encadrement préconisaient une évaluation à partir de la biomasse et du poids moyen. Le pisciculteur a opté dès le départ pour un comptage exhaustif plus fiable et finalement plus accessible dans la mesure où il n'observait pas plus de mortalité.

La maîtrise du sexage dès un poids moyen de 18 g par les pisciculteurs les plus performants permet de réduire les cycles de fingerlings au profit des cycles de production.

A la suite de différents événements climatologiques (assèchement), ou sociaux (funérailles au village), certaines fermes ont vu leur cycle d'élevage totalement désorganisé. Les pisciculteurs concernés, sans l'appui de l'encadrement, ont préservé une situation d'attente et ont rapidement rétabli leur cycle à partir du stock de poissons disponibles.

Les pisciculteurs sont très intéressés par la possibilité de maîtriser d'autres espèces que le tilapia (en particulier *Heterotis niloticus*, *Heterobranchus longifilis* et *H. isopterus*, *Labeo coubie*,

etc.). En effet, ils conservent des géniteurs de ces espèces, même si ce choix induit une diminution de rendement ou une immobilisation improductive d'une surface en eau. Cette motivation a permis la mise au point d'une technique de reproduction et de production de *Heterotis niloticus* associé au tilapia.

Il semble que les pisciculteurs souhaitent améliorer le modèle vers la production de tilapia marchand de taille supérieure, l'optimisation de la polyculture par la reproduction d'autres espèces, et une spécialisation de certains étangs pour produire des poissons à haute valeur marchande (*Heterobranchus longifilis*).

Aperçu économique des exploitations piscicoles

Compte d'exploitation piscicole

Deux comptes d'exploitations sont présentés ici (Tableaux 3 et 4) :

- une ferme piscicole de 10 étangs fonctionnant depuis plusieurs années et dont les résultats de 1987 ont déjà fait l'objet d'une publication (Copin et Oswald, 1988) ; et
- une pisciculture qui est entrée en production en 1991.

Au total sur la première ferme, 229 jours de travail ont été consacrés à l'exploitation et 260 à la commercialisation

Tableau 2. Evolution technique de la gestion de l'étang de géniteurs (moyenne sur plusieurs cycles). Situation 1 : le pisciculteur privilégie le poids moyen des alevins ; et situation 2 : le pisciculteur privilégie le nombre d'alevins. (Traitement : son de riz à raison de 4 kg·jour⁻¹ ; 0,5 géniteur·m⁻² ; et poids moyen des géniteurs : 30 g.)

	Situation 1	Situation 2
Fréquence de pêches (·mois ⁻¹)	0,61	2
Durée moyenne du cycle (mois)	5,5	2,75
Nombre d'alevins·mois ⁻¹ ·are ⁻¹	446	2.265
Production d'alevins (kg·mois ⁻¹ ·are ⁻¹)	1,9	3,2
Poids moyen des alevins récoltés (g)	4,2	1,4

Tableau 3. Compte d'exploitation d'une ferme de 10 étangs de 4,5 ares (alimentation au son de riz et fertilisation avec des déchets d'abattoir).

Charges F CFA		Produits F CFA	
Aliment :		Vente <i>O n</i> (Pm 150-220 g)	
Son de riz 23.850 kg x 2 F CFA	47.700	1.321 kg x 500 F CFA	649.000
Commercialisation :		Vente <i>Het</i> (Pm 2.000-3.000 g)	
100 F CFA·jour ⁻¹ x 260 jour·an ⁻¹	26.000	380 kg x 500 F CFA	160.000
Location magasin :		Vente <i>H is</i> (Pm 400-600 g)	
3.000 F CFA·mois ⁻¹ x 12 mois	36.000	150 kg x 530 F CFA	80.000
Achat alevins <i>H is</i>		Vente <i>H lg</i> (Pm 2.000-5.000 g)	
400 alevins x 25	10.000	80 kg x 800 F CFA	64.000
Amortissement petit matériel ^a		Vente <i>O n</i> (Pm 30 g)	
	21.250	300 kg x 150 F CFA	45.000
Amortissement étang ^a		Vente alevins <i>O n</i>	
	40.000	5.000 alevins	5.000
		Vente alevins <i>Het</i>	
		50 alevins	7.500
		Autoconsommation	36.000
Total	220.950		1.046.500
Bénéfice net	935.550		

(*O n* : *Oreochromis niloticus* ; *Het* : *Heterotis niloticus* ; *H is* : *Heterobranchus isopterus* ; *H lg* : *Heterobranchus longifilis* ; Pm : poids moyen.)

^aL'amortissement du petit matériel et des étangs est calculé respectivement sur 5 et 20 ans.

Tableau 4. Compte d'exploitation d'une ferme de cinq étangs de 5 ares (alimentation au son de riz et déchets d'abattoirs). Cas d'un jeune homme valorisant son propre travail.

Charges		Produits	
Aliment :		Vente <i>O n</i> (Pm 150-220 g)	
Son de riz 13.250 kg x 2	26.500	620 kg x 453	281.000
Achat alevins <i>H n</i>		Vente <i>Het</i> (Pm 2.000-3.000 g)	
40 alevins x 150	6.000	103 kg x 450	45.000
Amortissement petit matériel ^a		Vente <i>H is</i> et <i>H lg</i>	
	21.250	99 kg x 610	60.300
Amortissement étang ^a		Vente <i>O n</i> (Pm 30 g)	
	14.000	240 kg x 190	45.600
		Autoconsommation	12.000
Total	67.750		443.900
Bénéfice net	376.150		

(*O n* : *Oreochromis niloticus* ; *Het* : *Heterotis niloticus* ; *H is* : *Heterobranchus isopterus* ; *H lg* : *Heterobranchus longifilis* ; Pm : poids moyen.)

^aL'amortissement du petit matériel et des étangs est calculé respectivement sur 5 et 20 ans.

(déplacements de la maison à l'exploitation non compris).

En 1990, la productivité de la journée de travail (F CFA par jour) est de 1.913 F CFA, la productivité de l'are est de 20.790 F CFA par an.

Ce pisciculteur a remboursé au cours de l'année 50.000 F CFA au titre du crédit.

Dans le cas de la ferme de cinq étangs, 183 jours ont été consacrés à l'exploitation et 37 jours à la commercialisation (déplacements de la maison à l'exploitation non compris).

En 1990, la productivité de la journée de travail (F CFA jour⁻¹) est de 1.710 F, la productivité de l'are (F CFA are⁻¹) est de 15.040 F CFA par an.

A noter que cette ferme n'est pas encore en régime de croisière et que le pisciculteur consacre une bonne partie de ses recettes au remboursement de son crédit (124.100 F CFA).

Comparaison des revenus de la pisciculture avec ceux de la riziculture

A titre indicatif, la comparaison des résultats de la pisciculture avec les revenus de la riziculture montre une meilleure productivité du travail ainsi qu'un revenu par unité de surface supérieur pour la pisciculture.

Le besoin en fonds de roulement pour la pisciculture est inférieur à celui exigé par la riziculture (Tableau 5).

Il convient de noter que progressivement quelques riziculteurs se lancent dans la pisciculture.

Dynamique sociale et pisciculture

Rôle du projet

On ne peut se permettre de sous-estimer le rôle joué par la structure

"projet" qui intervient à plusieurs niveaux.

Il est garant d'une certaine fiabilité technique en contrepartie de l'engagement demandé aux pisciculteurs. Les tentatives pour reproduire ce modèle sans encadrement se sont toutes soldées par des échecs, faute d'un outil de production performant. L'un des rôles prépondérants du Projet se situe au niveau de l'étude et du suivi de l'aménagement. Aujourd'hui, le pisciculteur livré à lui-même est incapable de réaliser des étangs de qualité.

De plus, le projet soutient financièrement l'investissement en mettant à la disposition du pisciculteur un crédit et, entre autres, vend par exemple les sennes au pisciculteur.

Si aujourd'hui un auto-développement paraît donc impossible, des évolutions importantes apparaissent concernant en particulier la maîtrise de nombreux facteurs de production par les pisciculteurs (production d'alevins, approvisionnement en intrants, techniques de production) et les échanges de services (aide au sexage, à la commercialisation).

On constate également un transfert du modèle sans encadrement sur des mares temporaires, empoissonnées avec quelques tilapias sexés, associés à des prédateurs.

Quelle dynamique ? Premiers éléments de réponse

- Organisation de l'approvisionnement en son de riz :

Certains pisciculteurs ont recours aux services d'un "pousse-pousse" attiré.

'Le crédit n'est pas abordé de façon détaillée. A la différence des premiers pisciculteurs installés (Copin et Oswald, 1988), certains pisciculteurs réalisent aujourd'hui leurs fermes sans crédit. Le crédit n'a donc plus le rôle déterminant qu'il a pu jouer initialement.

Tableau 5. Données économiques de quelques cas de fermes rizicoles dans la région de Gagnoa en Côte d'Ivoire (François, 1991).

Situations	1	2	3	4
Surface (ha)	1,5	1,5	0,5	0,25
Propriétaire (situation foncière)	oui	oui	oui	non
Production (t·an ⁻¹)	7	7,2	4	0,6
Intensité capitalistique	moyenne	moyenne	forte	faible
Bénéfice net de l'exploitation (F CFA·an ⁻¹)	420.000	520.000	280.000	40.000
Temps de travail (jours·an ⁻¹)	390	540	140	90
Productivité du travail (F CFA·jour ⁻¹)	1.070	960	2.030	460
Productivité de la terre (F CFA·are ⁻¹ ·an ⁻¹)	2.800	3.470	5.600	1.600

Il se crée des relations entre le pisciculteur et le gérant de la décortiqueuse qui se traduisent par des crédits et des paiements différés. Une pisciculture de cinq étangs consomme de sept à 20 tonnes de son de riz par an, selon la nature du fertilisant associé.

• Organisation de la commercialisation :

Une organisation informelle se met en place entre les pisciculteurs. La production de trois fermes situées sur le bas-fond de Gako est actuellement commercialisée par la femme d'un seul de ces pisciculteurs.

• Approvisionnement en poissons :

Les pisciculteurs rencontrent parfois des perturbations dans leurs cycles : manque d'alevins et insuffisance de mâles. En premier lieu, ils recherchent à y pallier en s'approvisionnant chez d'autres pisciculteurs voisins, services rendus à charge de revanche.

Les quantités de poissons échangées sont surprenantes par leur volume : les données recueillies sur les cahiers des pisciculteurs en 1990 du bas-fond de Gako indiquent :

- 10.565 alevins de 4 g (poids total : 45,86 kg) ; et
- 2.304 fingerlings mâles de 27 g (62,92 kg).

Ces chiffres sont probablement supérieurs dans la réalité (négligence

dans la tenue des cahiers) et en 1991, les chiffres pour les six premiers mois sont encore plus importants.

Ces pratiques totalement indépendantes de l'encadrement montrent le dynamisme de la profession qui permet un fonctionnement plus optimal de différentes fermes. En 1990, le quart des poissons produits sur ce bas-fond était issu d'une autre pisciculture.

Les différents poissons sont transportés à pied dans des cuvettes. Un pisciculteur qui s'était approvisionné en alevins dans une pisciculture à 4 km du bas-fond a même eu recours au taxi pour transporter ses poissons (2.000 alevins en trois voyages à 100 F CFA par voyage !).

Logique paysanne ou logique d'entreprise ?

La pisciculture apparaît pour tous comme un moyen de s'approprier de façon définitive un lopin de terre. L'encadrement est perçu comme le gérant de l'investissement réalisé. Dans des cas extrêmes, les propriétaires fonciers traditionnels ont même prétexté un intérêt pour la pisciculture dans la seule intention de récupérer leur patrimoine foncier.

La pisciculture apparaît également comme un capital transmissible. Le

pisciculteur évoque souvent le fait qu'il travaille pour sa famille, ce qui lui permet en retour d'exploiter celle-ci.

La main d'oeuvre, essentiellement d'origine familiale, dépend pour sa gestion du type d'organisation sociale. De fortes disparités existent entre des pisciculteurs d'origine ethnique différente. Contrairement aux Bétés^s qui ont du mal à mobiliser la main d'oeuvre familiale, les Dioulas^h rencontrent moins de difficultés.

Lors de la difficile entrée en production, certains pisciculteurs privilégient l'autosubsistance et la vente de travail à l'extérieur au détriment d'une montée rapide en production (étangs bloqués par des stockages de fingerlings ou de poissons sauvages) de leurs propres infrastructures.

Bien que l'on ait généralement qualifié cette pisciculture d'"artisanale" ou "entreprenuriale", quelques unes de ces remarques nous amènent à penser que ces producteurs s'inscrivent bien dans une logique "paysanne".

Conclusions

Bien que ce développement piscicole soit encore limité en quantité et fragile, quelques éléments significatifs d'une dynamique endogène peuvent être retenus.

L'investissement en travail, considérable pour atteindre une taille de cinq étangs, semble compatible avec le calendrier agricole. Même si plusieurs années sont nécessaires pour réaliser cet aménagement, la présence d'un noyau de pisciculteurs performants permet de rendre l'exploitation fonc-

tionnelle dès le départ. La majorité des pisciculteurs optent pour un agrandissement de leur ferme, une fois entrée en régime de croisière.

La technique est facilement reproduite dès que les pisciculteurs possèdent une certaine expérience et maîtrise technique. Une fois installé, le pisciculteur ne dépend d'aucune structure quant au fonctionnement de sa ferme.

Cette pisciculture est financièrement et économiquement rentable. De plus, elle est à l'abri d'un manque de liquidité, phénomène particulièrement chronique dans le contexte socio-économique actuel. Même si ces bases laissent envisager un réel développement de l'activité, elle se justifie dès aujourd'hui par la valorisation des sous-produits agricoles qu'elle permet, et par le fait qu'elle représente une amélioration socio-économique pour les catégories sociales concernées.

L'existence de noyaux de pisciculteurs dynamiques est un excellent support pour mettre au point de nouveaux modèles d'exploitation adaptés au contexte rural, à condition que les structures chargées de la recherche puissent nouer un dialogue fructueux avec les acteurs de ce développement. Compte tenu de la place que prendra, d'après nous, la pisciculture dans les systèmes de production des zones tropicales humides, l'existence et la valorisation d'un tel référentiel technique, social et économique paraît être un enjeu de première importance pour le développement agricole.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Damien Colin, responsable du volet piscicole de la SATMACI-PAPU CD, pour la gentillesse avec laquelle il a recherché de nombreuses informations utiles

^sBété : ethnie autochtone de la région centre-ouest de Côte d'Ivoire.

^hDioula : regroupe les ethnies du Nord d'origine Malinké ; elles contrôlent en outre l'essentiel du commerce.

à la préparation de cette communication.

Littérature citée

- Barmoy, M. 1990. Enquêtes auprès des riziculteurs. Documents du projet : "volet piscicole de la SATMACI-PAPU CD" AFVP SATMACI. Daloa, Côte d'Ivoire, 35 p.
- Copin, Y. et M. Oswald. 1988. La pisciculture semi-intensive du tilapia devient une réalité sociale et économique. Une démonstration concrète en Côte d'Ivoire. *Aqua-revue* 17:15-21.
- François, C. 1991. Enquêtes auprès des riziculteurs. Documents du projet piscicole de Gagnoa AFVP-SATMACI. Daloa, Côte d'Ivoire, 44 p.
- Koffi, C. 1989. Conclusions et recommandations de l'étude "aspects économiques de la production en étang". Université nationale de Côte d'Ivoire. Faculté des sciences économiques. Centre ivoirien de recherches économiques et sociales, Abidjan. 189 p. Extrait d'une thèse de doctorat.
- Koffi, C. 1990. Perspectives de débouchés pour le poisson de pisciculture. Projet de développement de la pisciculture. Bouaké, Côte d'Ivoire. 42 p.
- Lazard, J. 1984. L'élevage du tilapia en Afrique. Données techniques sur la pisciculture en étang. *Bois et forêts des tropiques* 206: 33-50.
- Lazard, J., J.Y. Weigel, B. Stomal et Y. Lecomte. 1991. Pisciculture en Afrique subsaharienne. Situations et projets dans des pays francophones. Propositions d'action. Ministère de la Coopération et du Développement. CID/DOC, Paris, 155 p.
- Oswald, M. 1989a. Comment suivre sa pisciculture et l'améliorer. Documents association française des volontaires du progrès. 80 p.
- Oswald, M. 1989b. Manuel de construction des étangs. Documents association française des volontaires du progrès. 55 p.
- Oswald, M. et Y. Copin. 1992. Le volet piscicole de la SATMACI-PAPU CD, p. 382-387. *In* G.M. Bernacsek et H. Powles (éds.) Recherches sur les systèmes aquacoles en Afrique. Comptes-rendus d'un atelier organisé à Bouaké, Côte d'Ivoire, 14-17 novembre 1988. Centre de recherches pour le développement international, Ottawa, Canada.

C. PANNEAUX

Croissance et conversion alimentaire des alevins de cinq souches de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*)

B.O. ACOSTA^a

E.E. DIONISIO^b

A.E. EKNATH^a

*^aInternational Center for Living Aquatic
Resources Management (ICLARM)
MCPO Box 2631, 0718 Makati City
Metro Manila 1200, Philippines*

*^bNational Freshwater Fisheries
Technology Research Center
Bureau of Fisheries and Aquatic Resources
Central Luzon State University
Muñoz, Nueva Ecija, Philippines*

ACOSTA, B.O., E.E. DIONISIO et A.E. EKNATH. 1996. Croissance et conversion alimentaire des alevins de cinq souches de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), p. 591. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'étude, réalisée en laboratoire, porte sur la croissance et la conversion alimentaire des alevins de cinq souches de tilapia du Nil (Egypte, Sénégal, Thaïlande, Israël et Singapour) (*Oreochromis niloticus*). Les alevins (0,0256 g poids corporel moyen et 1,15 cm longueur totale moyenne) ont été stockés dans 15 aquariums d'une capacité de 20 l chacun, et nourris tous les jours avec un aliment de fabrication industrielle sous forme de poudre contenant 30 % de protéines totales. La ration alimentaire était calculée à 20 % de la biomasse totale des poissons par jour. Le relevé des poids et mesures a été effectué une fois par semaine pendant cinq semaines sur des échantillons prélevés à cet effet.

Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée au niveau des taux de croissance spécifique et de conversion alimentaire d'une souche à l'autre.

Historique et aspects techniques de l'introduction de l'élevage du tilapia en Colombie

L.F. CASTILLO CAMPO

CAMARPEZ LTDA

Cr. 25 No. 6-70

Cali-Valle

Colombie

CASTILLO CAMPO, L.F. 1996. Historique et aspects techniques de l'introduction de l'élevage du tilapia en Colombie, p. 592. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Koñthias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Le premier tilapia introduit en Colombie en 1953 à partir de la Jamaïque fut de l'espèce *Oreochromis mossambicus*. A l'époque, la pisciculture du tilapia était essentiellement pratiquée à l'échelle rurale. La dissémination, l'élevage et la distribution du tilapia furent ultérieurement interdits en raison de sa propension à envahir les eaux naturelles au-dessous de 1.200 m. En 1962, *Tilapia rendalli* fut introduit à partir de Panama dans l'espoir de tirer parti de son mode alimentaire pour lutter contre la croissance des adventices dans les étangs, réservoirs et canaux. Cependant, son établissement dans les eaux naturelles au-dessous de 1.600 m eut des effets indésirables sur la faune et la flore de ces régions et des restrictions à son élevage furent appliquées. En 1979, *Oreochromis niloticus* (souche Ghana) fut introduit à partir du Brésil. Sa saveur, son aptitude à croître rapidement, sa grande taille, et les avantages qu'il présentait à être élevé dans le cadre d'une monoculture ou d'une polyculture en lacs, réservoirs, et étangs piscicoles au-dessous de 2.400 m contribuèrent à son acceptation. Le problème pour la pisciculture commerciale fut de faire face à la concurrence des pêcheries de capture exercées dans les eaux naturelles, et la nécessité de réaliser des rendements élevés tout au long de l'année pour répondre à ce problème. Cette transformation, d'une activité essentiellement de subsistance pratiquée à l'échelle familiale en 1980, à une entreprise commerciale, fut réalisée en l'espace de sept ans (1987). En 1985, *Oreochromis urolepis hornorum* fut introduit du Brésil pour la production de descendance monosexes mâles par croisement avec *O. niloticus*, expériences qui échouèrent pour la plupart. Malgré sa croissance rapide et sa grande taille, la couleur noire de ce poisson était déplaisante. En 1982, un tilapia rouge de Floride (*O. mossambicus* albino x *O. urolepis hornorum*) fut introduit d'Alabama aux Etats-Unis pour une pisciculture plus intensive. L'accroissement de la demande en tilapias rouges fut lente dans un premier temps mais en 1987, la première ferme piscicole à vocation plus intensive fut implantée, utilisant sa propre souche de tilapia rouge appelée tilapia rouge yumbo (Floride rouge x *O. niloticus*) dans la Valle del Cauca. Ces installations disposent d'un système d'aération et d'approvisionnement en eau souterraine, et les poissons sont nourris avec des granulés de haute qualité. La ferme réalise deux récoltes totalisant 40 à 50 t an⁻¹ entre les marchés locaux et d'exportation. Au niveau national, la production de tilapias d'élevage est passée de 100 t en 1985 à 700 t en 1988. En 1989, plusieurs éleveurs de tilapias israéliens ont créé une coentreprise avec des investisseurs colombiens visant l'implantation de deux larges exploitations piscicoles intensives de tilapias : l'une à Nariño (45 ha) et l'autre dans la Valle del Cauca (101 ha). Les deux établissements sont en opération depuis 1990. Ils possèdent le "tilapia rouge de Floride 1985 ; *O. aureus* rouge de Jamaïque et d'Israël ; *O. niloticus* d'Egypte (lac Manزالah) ; et *O. aureus* d'Israël. Ces fermes disposent d'installations modernes pour l'élevage de tilapia hautement intensif. En 1991, de nouvelles fermes de tilapias rouges ont été construites et environ 65 exploitations étaient en opération en 1992 sur une superficie de 635 ha. Ainsi, en 1992, la Colombie devenait le troisième producteur de tilapias de l'Amérique latine, produisant 11.050 t, précédée par le Mexique (75.000 t) et Cuba (16.500 t).

Travaux sur les performances de croissance et le développement des gonades du tilapia triploïde *Oreochromis aureus*

S.L. CHANG

C.F. CHANG

*Tungkang Marine Laboratory
Taiwan Fisheries Research Institute
Tungkang, Pingtung
Taiwan*

I.C. LIAO

*Taiwan Fisheries Research Institute
199 Hou-lh Road, Keelung
Taiwan*

CHANG, S.L., C.F. CHANG et I.C. LIAO. 1996. Travaux sur les performances de croissance et le développement des gonades du tilapia triploïde *Oreochromis aureus*, p. 593. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La méthode de Chang et Liao (même volume), qui consiste en un choc thermique à 41°C, a donné un taux de triploïdie de 100 % chez *Oreochromis aureus*. Des alevins diploïdes (témoins) et triploïdes à la vésicule résorbée ont été stockés dans des hapas (cages en filet de 2x1,2 x0,9 m) aménagés dans un étang d'une profondeur d'eau de 60 cm. Chaque hapas (triplicat) contenait 20 poissons, alimentés deux fois par jour avec un aliment commercial pour anguille pendant les 12 premières semaines, puis avec un aliment pour tilapia distribué sous forme de boulettes flottantes pendant les 12 semaines suivantes. Le taux de protéines brutes contenu dans ces aliments était respectivement de 44 et 23 %. Vingt poissons diploïdes et 20 triploïdes ont alors été mesurés et le développement de leurs gonades a été examiné. L'indice gonadosomatique (IGS) a été calculé comme suit : $IGS = (\text{poids des gonades} / \text{poids du corps}) \times 100$.

Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée au niveau du poids (poids corporel = $119,79 \pm 40,00$ et $109,50 \pm 21,70$ g) entre les poissons diploïdes et triploïdes, respectivement, bien qu'une plus grande uniformité des poids ait été remarquée chez les triploïdes par rapport aux diploïdes. A l'âge de 18 semaines, les papilles génitales des poissons triploïdes n'étaient pas développées contrairement à celles des diploïdes. Le poids gonadique moyen des femelles et des mâles était similaire chez les diploïdes ($1,02 \pm 0,93$ g et $1,01 \pm 0,34$ g, respectivement) mais différent chez les triploïdes ($0,08 \pm 0,10$ g et $0,34 \pm 0,31$ g, respectivement). Chez un certain nombre de triploïdes, les testicules étaient bien développés avec un grand nombre de spermatozoïdes d'aspects variés logés dans la cavité lobulaire. Les ovocytes des diploïdes contenaient du vitellus en grande quantité mais les ovaires des triploïdes étaient filiformes contenant essentiellement des ovogonies ne renfermant que quelques ovocytes avec peu de vitellus.

Projet de pisciculture dans les régions nord et centre du Malawi : recherches, progrès et perspectives

M. DICKSON

BAFRU

Institute of Aquaculture

University of Stirling

Stirling FK9 4LA

Ecosse, R-U

DICKSON, M. 1996. Projet de pisciculture dans les régions nord et centre du Malawi : recherches, progrès et perspectives, p. 594. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias and D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Le projet piscicole des régions nord et centre du Malawi a été lancé en 1989 pour une durée de cinq ans grâce à des financements du Fonds européen de développement de la Communauté européenne (US\$3,6 million) et du gouvernement du Malawi (US\$1,2 million). Le but principal était d'accroître l'approvisionnement en poissons par l'exploitation piscicole dans les secteurs du nord et du centre du Malawi où celle-ci est très peu développée. L'objectif premier était "de définir les paramètres techniques et économiques nécessaires au développement de l'exploitation piscicole dans les régions nord et centre du Malawi". Cet objectif est réalisé par le biais de recherches sur les méthodes d'élevage de poissons, et d'initiatives de vulgarisation de ces méthodes auprès des éleveurs. Le siège de ce projet se trouve à Mzuzu dans la région nord.

Les travaux de recherche principaux se sont concentrés sur :

- les espèces autochtones candidates pour l'élevage. Les performances de croissance de *Oreochromis shiranus*, l'espèce principalement utilisée au Malawi, sont très médiocres. *Oreochromis karongae* atteint une plus grande taille avant de parvenir à maturité et son taux de croissance est globalement plus rapide. *Claris gariepinus* et *Bathyclarias* spp. semblent également être des espèces prometteuses pour l'élevage ; et

- le potentiel piscicole des petits plans d'eau et des barrages pour la production de poissons.

Le programme de vulgarisation est exécuté par une équipe de vulgarisateurs de terrain qui préconisent l'application de méthodes simples : élevage d'une seule espèce, fertilisation avec du son de maïs et du fumier d'animaux, et récolte par vidange des étangs. Le nombre d'éleveurs est passé à 300 dans les environs de Mzuzu et 458 étangs sont exploités. Le problème principal est le manque de fingerlings.

Le projet prévoit de mettre en oeuvre les activités suivantes :

- poursuivre la recherche sur les méthodes d'élevage appropriées ;
- accroître la couverture des services de vulgarisation ; et
- * mettre au point des modèles pour l'exploration des petits plans d'eau.

Interactions entre le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et la communauté biologique des étangs à diverses densités de charge de poissons

F.A.R. ELHIGZI

P. LARRSON

Department of Ecology

Zoologisk Musium

Universitetet i Bergen

5007 Bergen, Norvège

ELHIGZI, F.A.R. et P. LARRSON. 1996. Interactions entre le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et la communauté biologique des étangs à diverses densités de charge de poissons. p. 595. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothlas et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Le tilapia du Nil se nourrit essentiellement d'algues. Elevé en étang, il se peut qu'il entretienne une relation de compétition ou qu'il ait un type quelconque d'interaction avec les espèces herbivores Invertébrées, modifiant ainsi la structure et les processus au sein du système. Les interactions entre le tilapia et le reste de la communauté biologique sont toutefois peu maîtrisées. Dans le cadre de cette étude, la succession au sein de la communauté biologique a été suivie dans neuf étangs expérimentaux fertilisés, peuplés à forte et faible densités, et aussi dépourvus de poissons. L'expérience a duré 74 jours.

Les étangs, d'une superficie de 10x4 m² et d'une profondeur d'eau de 1 m environ, étaient fertilisés tous les jours avec des superphosphates. La température, la teneur en oxygène, la transparence, le niveau d'eau, le pH, la conductivité, les taux de phosphate, de nitrate, de phytoplancton et de zooplancton ont été relevés tous les jours. Un échantillonnage des poissons a été réalisé six fois au cours de la période expérimentale. Le régime alimentaire, la croissance et la production chez les tilapias ont été mesurés et calculés.

Le régime alimentaire des poissons était composé essentiellement de Desmidiacées, de Chlorophycées et de Cyanophycées. Le zooplancton était plus rare, *Bosmina longirostris* étant dominant. Les communautés biologiques ont réagi différemment selon le traitement. La transparence était plus élevée dans les étangs sans poisson. Les différences observées n'ont pas semblé avoir d'effet significatif sur le taux de croissance des tilapias.

Maîtrise du recrutement des tilapias dans le cadre d'une polyculture associant des prédateurs dans le sud-ouest du Nigéria

O.A. FAGBENRO

A.A. SALAMI

Department of Fisheries and Wildlife

Federal University of Technology

P.M.B. 704, Akure, Ondo State

Nigéria

FAGBENRO, O.A. et A.A. SALAMI. 1996. Maîtrise du recrutement des tilapias dans le cadre d'une polyculture associant des prédateurs dans le sud-ouest du Nigéria, p. 596. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

De nombreuses méthodes ont été mises au point et appliquées en vue de limiter la reproduction excessive des tilapias, et l'introduction de prédateurs dans les élevages reste la méthode la plus efficace dans le contexte africain. La présente étude porte ainsi sur l'efficacité de prédateurs tels que *Parachanna obscura*, *Clarias gariepinus*, *C. isheriensis* et *Heterobranchus bidorsalis*, espèces évaluées dans des étangs cimentés (160 m², profondeur d'eau = 1,4 m) suivant diverses combinaisons au cours de quatre cycles successifs de production d'une durée de 180 jours chacun. L'objectif était de parvenir à maîtriser le recrutement et à produire des poissons de l'espèce *Tilapia guineensis* de taille commerciale. Des fingerlings de tilapias ont été stockés tout d'abord, suivis par des fingerlings prédateurs 60 jours après, ceci afin de permettre aux tilapias de croître suffisamment pour se reproduire. La fertilisation des étangs a été réalisée avec des fientes de volaille séchées (60 kg·ha⁻¹·jour⁻¹) et la nourriture des poissons était un mélange de farine de macadamia et de farine de sang séché distribué en proportions égales, et contenant 56,8 % protéines, suivant un taux de rationnement de 5 % du poids du corps par jour. Au moment de la récolte (180 jours après la mise en charge des prédateurs), les étangs ont été vidangés ; tous les poissons ont été retirés et triés par espèce, comptés et pesés. Le poids marchand des tilapias a été arrêté à 200 g et l'efficacité du contrôle du recrutement a reçu la valeur A₁ (exprimée en pourcentage de poids de tilapias de taille commerciale de la population) soit >90 %. Une analyse de variance et un test de comparaison multiple des moyennes (P=0,05) ont été réalisés sur les valeurs moyennes obtenues.

Le taux de mortalité des tilapias obtenu dans tous les étangs était inférieur à 10 %, dû essentiellement aux problèmes de manipulation et de stress lors des pesées périodiques et non aux traitements. Tous les prédateurs mis en charge ont été récupérés à la récolte. Les alevins de tilapias ont été observés à partir du 90^{ème} jour après la mise en charge. La présence de prédateurs a eu un effet direct sur la production de tilapias. En général, plus le nombre de prédateurs était bas, plus l'était également le rendement en tilapias adultes. Les combinaisons prédateurs:tilapias ayant donné les meilleurs résultats dans la maîtrise du recrutement étaient celles associant *P. obscura* (10:1), *C. gariepinus* (6:1), et *C. isheriensis* et *H. bidorsalis* (20:1), et ont donné des valeurs A₁ supérieures à 90. Les différences observées dans les valeurs A₁, le poids moyen en fin d'expérience et le rendement en tilapias d'un traitement à l'autre étaient significatives (P<0,05) pour chaque prédateur testé, reflétant la consommation, par les prédateurs, des alevins de tilapias nés dans les étangs. La compétition pour la nourriture entre les tilapias adultes et ces juvéniles s'en est trouvée réduite, permettant ainsi aux adultes de se développer. Ces résultats sont une démonstration de la réduction effective des tilapias juvéniles par tous les prédateurs qui ont été testés. Cette technique a amélioré les rendements en tilapias, représentant un gain économique pour l'éleveur.

Observations sur les possibles effets de la salinité, des divers traitements appliqués dans les étangs et du comportement sur l'élevage de *Tilapia guineensis* et *Sarotherodon melanotheron*

G.D. IGONIFAGHA

S.N. DEEKAE

I.E. MARIOGHAË

*African Regional Aquaculture Centre
P.M.B. 5122, Port Harcourt, Nigéria*

IGONIFAGHA, G.D., S.N. DEEKAE et I.E. MARIOGHAË. 1996. Observations sur les possibles effets de la salinité, des divers traitements appliqués dans les étangs et du comportement sur l'élevage de *Tilapia guineensis* et *Sarotherodon melanotheron*, p. 597. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Les essais de polyculture de *Tilapia guineensis* et de *Sarotherodon melanotheron* entrepris à la ferme piscicole du Centre régional africain d'aquaculture de Buguma au Nigéria ont montré que quel que soit le rapport des deux espèces lors de la mise en charge, *S. melanotheron* était toujours dominant, représentant 70 à 95 % de la récolte tant sur le plan numérique que pondéral. Des recherches sur le rapport d'abondance des deux espèces dans le canal d'amenée ont donné 1:1,8 en faveur de *S. melanotheron*. En revanche, dans les petits plans d'eau autour de la ferme, ce rapport était de 1:1,1. Ces résultats suggèrent que l'abondance de *S. melanotheron* en étangs dépend probablement du système même d'élevage. D'autres recherches sur l'abondance naturelle des espèces en milieu polyhalin (salinité annuelle moyenne, 20 ‰) ont donné un rapport de 2,1:1 en faveur de *T. guineensis*. De même, *T. guineensis* est l'espèce que l'on trouve presque exclusivement en milieu oligohalin (salinité annuelle moyenne, 5 ‰).

Ces résultats suggèrent que *S. melanotheron* profite davantage de la fertilisation des étangs, vu qu'il est, entre autres, planctonophage. En second lieu, le fait que cette espèce pratique l'incubation buccale, lui permet de croître en nombre dans les étangs tout en se nourrissant des alevins de *T. guineensis*. D'après les résultats de cette expérimentation, on pense que la polyculture des deux espèces devrait être évitée et que la monoculture de *T. guineensis* est à déconseiller dans les milieux mésohalins, vu que l'abondance de *S. melanotheron* favorise son infiltration et que l'élevage conventionnel en étang offre un avantage à ce dernier. Il est également suggéré d'élever *T. guineensis* en monoculture en milieux oligohalins et polyhalins, là où *S. melanotheron* est moins abondant.

Composition périphtique et facteurs physico-chimiques au sein d'un habitat artificiel (acadja-enclos) pour *Sarotherodon melanotheron* — site d'Adiapoté, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire

A.A. KONAN

Laboratoire d'écologie benthique
Centre de recherches océanologiques (CRO)
29, rue des Pêcheurs
B.P. V 18 Abidjan
Côte d'Ivoire

KONAN, A.A. 1996. Composition périphtique et facteurs physico-chimiques au sein d'un habitat artificiel (acadja-enclos) pour *Sarotherodon melanotheron* — site d'Adiapoté, lagune Ebrié, Côte d'Ivoire, p. 598. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Sarotherodon melanotheron est un poisson brouteur qui colonise les habitats artificiels du type acadja-enclos (parcs à branchages implantés dans des eaux douces ou saumâtres peu profondes). Le périphyton se développant sur les bambous (constituant les acadjas) sert de nourriture principale à ce tilapia lagunaire.

Des prélèvements mensuels du périphyton et un dosage des facteurs physico-chimiques (température, oxygène, salinité, turbidité, pH et sels nutritifs : PO_4 , NO_2 , NO_3 et NH_4) ont été réalisés en eau libre et au sein de l'acadja-enclos de novembre 1988 à décembre 1989 sur le site d'Adiapoté, un milieu d'eau saumâtre à la salinité fluctuante de la lagune Ebrié en Côte d'Ivoire.

Les espèces dominantes de périphyton sont : *Mougeotia floridana* (Chlorophycées), *Lithococcus schizodichotomum* et *Lyngbya rivulariarum* (Cyanobactéries) et des Diatomées du genre *Nitzschia*, *Melosira*, *Fragilaria*, et *Achnanthes*. De manière générale, les Chlorophycées sont dominantes tout au long de l'année. Toutefois, malgré leur abondance en saison sèche, ce sont les Cyanobactéries (en février), puis les Diatomées (en mars, avril) qui dominent. Les Diatomées sont abondantes pendant huit mois de l'année et sont remplacées en saison sèche (février-juillet-novembre et décembre) par les Cyanobactéries. Le biovolume du périphyton varie de 0,06 à 0,72 $ml \cdot cm^{-2}$. Les valeurs les plus fortes se situent dans la période de mars à août (y compris la grande saison des pluies) avec un biovolume de 0,53 $ml \cdot cm^{-2}$. La température (25 à 31°C), l'oxygène (3,8 à 7,2 $mg \cdot l^{-1}$), la salinité (1 à 25 ‰) et le pH (6,7 à 8,6) ont le même profil en eau libre et au sein de l'acadja. En revanche, la turbidité (0 à 55), le PO_4 (0,5 à 12 $mole \cdot l^{-1}$), le NO_2 (1,2 à 8,5 $mole \cdot l^{-1}$), le NO_3 (0 à 21 $mole \cdot l^{-1}$) et le NH_4 (2 à 70 $mole \cdot l^{-1}$) présentent des profils différents selon que l'on est en eau de lagune ou au sein de l'acadja.

Au mois de juillet, on enregistre un pic important au niveau des nitrates et de l'ammoniaque en acadja comme en eau libre alors que le pic pour les nitrites se situe en décembre, et seulement en eau libre. Les phosphates présentent un pic très élevé en août avec des valeurs de fonds plus fortes (février-juillet). La turbidité de fond est plus forte de novembre à mai tandis que de juin à novembre, les valeurs de fond et de surface sont identiques.

Obtention de pseudo-femelles par un traitement à l'éthynyloestradiol chez *Oreochromis aureus*

CH. MÉLARD

Laboratoire de démographie des poissons et d'aquaculture
 Université de Liège
 10 Chemin de la Justice
 4500 Tihange, Belgique

MELARD, Ch. 1996. Obtention de pseudo-femelles par un traitement à l'éthynyloestradiol chez *Oreochromis aureus*, p. 599. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'objectif de cette étude est la mise au point d'une technique de production massive de "pseudo-femelles" (phénotype femelle, génotype mâle) de *Oreochromis aureus* en vue de produire des populations d'alevins à haut pourcentage de mâles (90 à 100 %) en évitant les techniques classiques d'inversion du sexe (traitement à la méthyltestostérone). Des lots d'alevins de *O. aureus* ont été soumis à un traitement hormonal à base de 17 α -éthynyloestradiol. Les deux doses différentes qui furent testées : 100 et 200 mg·kg⁻¹ d'aliment, permirent d'obtenir après 40 jours de traitement, respectivement 94 et 98 % de femelles par comparaison aux 51 % de femelles obtenues dans les lots témoins. Quelques individus hermaphrodites sont observés dans les lots traités (2 %).

Plusieurs femelles (n=53) provenant de ces lots d'alevins furent testées par croisement avec des mâles normaux (génotype ZZ) en vue de sélectionner les "pseudo-femelles" (génotype ZZ). Sur 53 poissons testés, 25 ont donné des descendance à haut pourcentage de mâles (72,7 à 100 %). Ces poissons sont considérés comme des "pseudo-femelles". Des croisements répétés (n=2 à 4) ont permis de vérifier la stabilité du sexe ratio dans plusieurs descendance successives de ces individus (variation de 0 à 9,1 % de la proportion de mâles).

Afin de multiplier le nombre de pseudo-femelles, les alevins (génotype ZZ) issus des croisements entre "pseudo-femelles" produisant systématiquement un haut pourcentage d'individus mâles (98 à 100 %) et mâles normaux, subissent un traitement d'inversion sexuelle à l'éthynyloestradiol (200 mg·kg⁻¹). Ces poissons seront utilisés comme géniteurs femelles en étang d'alevinage pour la production de populations à haut pourcentage de mâles.

Consommation du phytoplancton par *Oreochromis niloticus* dans le lac Muhazi (Rwanda)

J.C. MICHA

J.P. DESCY

*Unité d'écologie des eaux douces (UNECED)
Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP)
Rue de Bruxelles, 61
B-5000 Namur, Belgique*

F. LAVIOLETTE

*Laboratoire de pisciculture M. Huet
Université catholique de Louvain (UCL)
Place Croix du Sud, 2
B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgique*

MICHA, J.C., J.P. DESCY et F. LAVIOLETTE. 1996. Consommation du phytoplancton par *Oreochromis niloticus* dans le lac Muhazi (Rwanda), p. 600. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Le lac Muhazi d'une superficie de 34,1 km² présente des eaux eutrophes à biomasse phytoplanctonique élevée dominée par les Cyanophycées. Par contre, la faune piscicole est peu diversifiée et peu productive. Pour vérifier la bonne utilisation du phytoplancton lacustre par *Oreochromis niloticus*, des échantillons de plancton et de contenus stomacaux de *O. niloticus* ont été récoltés aux mêmes endroits et aux mêmes moments. L'analyse en composantes principales, les comparaisons d'histogramme de fréquence des principaux taxons et l'examen du coefficient d'électivité indiquent que l'eau du lac et le contenu des estomacs sont dominés par les Cyanophycées et les Chlorophycées. De très faibles variations dans la composition relative des taxons inférieurs (genre et espèce) apparaissent en fonction des saisons et des stations du lac. Il n'empêche que certaines catégories d'algues (Cyanophycées filamenteuses) sont sélectionnées par *O. niloticus* alors que d'autres (Diatomées et Chlorophycées) ne sont que peu consommées. En conclusion, il apparaît que le phytoplancton du lac Muhazi est utilisé sélectivement par *O. niloticus* et qu'une partie conséquente des algues produites n'est pas consommée par les poissons.

Classement et évaluation des populations ghanéennes de *Oreochromis niloticus* en vue de leur élevage

J.K. OFORI

J.N. PADI

Institute of Biology (CSIR)

Post Office Box 38

Achimota, Accra

Ghana

OFORI, J.K et J.N. PADI. 1996. Classement et évaluation des populations ghanéennes de *Oreochromis niloticus* en vue de leur élevage, p. 601. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La croissance et la survie de deux populations naturelles de *Oreochromis niloticus* de la souche Ghana originaire du lac Volta (désignées KU et KG 1) et d'un stock commercial (FS) ont été évaluées lors d'une expérimentation en deux phases. Des fingerlings des deux sexes issus de différents stocks de tilapias ont été marqués et testés ensemble dans des étangs de 0,2 ha pendant 77 jours (Phase 1). Les juvéniles mâles sexés manuellement et triés à la fin de la phase 1 ont servi à une expérience similaire (Phase 2) pendant 105 jours. Tous les étangs ont été fertilisés régulièrement avec des fientes de volaille ou des bouses de vache séchées, du NPK (15:15:15) et de l'urée. Une alimentation complémentaire composée d'un mélange pulvérulent de farine de poisson, de tourteaux de coprah et de son de blé (1:2:7 par poids) a également été fournie.

Des différences ont été observées dans la croissance et la survie des stocks testés. La survie diminuait dans l'ordre suivant : KU>KG>FS au cours de la phase 1, et KG=FS>KU au cours de la phase 2. La croissance a été enregistrée comme suit : KG=KU>FS en phase 1, et KU>KG>FS en phase 2. Toutefois, aucune différence statistique significative n'a été observée au niveau des performances de croissance entre les trois populations étudiées ($P>0,05$).

Induction de la ponte chez *Oreochromis niloticus* L.

E.E. RODERICK^a

L.P. SANTIAGO^b

M.-A. GARCIA^a

G.C. MAIR^a

^a*School of Biological Sciences
University College of Swansea
Singleton Park, Swansea SA2 8PP
Wales, R-U*

^b*Freshwater Aquaculture Center
Central Luzon State University
Muñoz, Nueva Ecija 3120, Philippines*

RODERICK, E.E., L.P. SANTIAGO, M.-A. GARCIA et G.C. MAIR. 1996. Induction de la ponte chez *Oreochromis niloticus* L., p. 602. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

L'induction chimique de la ponte chez le tilapia devrait permettre la synchronisation de celle-ci et conduire à une augmentation de la fécondité et au contrôle de la production d'alevins. Cette technique pourrait être utile aux petites écloseries commerciales et à la recherche. La présente étude a eu pour objet de démontrer l'efficacité de quatre inducteurs chimiques administrés en dose unique — la gonadotrophine chorionique humaine (GCH), l'analogue du LHRHa, l'acétate de buséreline (ReceptalTM) et l'acétate de fertireline (OvalyseTM) — notamment dans l'induction de la ponte suivant un rythme particulier pour permettre une récolte fiable des oeufs. Le GCH et l'acétate de buséreline se sont montrés inefficaces bien que les doses d'acétate de buséreline aient été administrées en doses bien plus faibles que ce qui était recommandé pour les autres espèces. Les injections de LHRHa (30 mg·100 g⁻¹ de poids corporel) et l'acétate de fertireline (1-22,5 mg·100 g⁻¹ de poids corporel) ont fait significativement augmenter la proportion des femelles pondant sur une période de huit jours. Les doses uniques se sont toutefois révélées insuffisantes pour induire des pontes parfaitement synchronisées.

Toxicité du permanganate de potassium, des dérivés du pétrole et des effluents provenant d'une usine textile sur *Oreochromis niloticus*

**A.A. SALAMI
O.O. OGUYEMI**

*Department of Fisheries and Wildlife
Federal University of Technology
P.M.B 704, Akure, Ondo State, Nigéria*

SALAMI, A.A. et O.O. OGUYEMI. 1996. Toxicité du permanganate de potassium, des dérivés du pétrole et des effluents provenant d'une usine textile sur *Oreochromis niloticus*, p. 603. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias and D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

La présente étude porte sur la détermination des effets hautement toxiques du permanganate de potassium (KMnO_4), des dérivés du pétrole (huile de moteur et hydrocarbures dans un rapport de 3:1), et des effluents provenant d'une usine textile sur *Oreochromis niloticus*. Ces substances, incorporées dans de l'eau dormante d'aquarium en dose unique, ont été testées sur *O. niloticus* soit avec de l'eau de source (alcalinité : 70 à 80 ppm) soit avec de l'eau d'étang (alcalinité : 160 à 180 ppm) après quoi le LC_{50} de 96 heures a été déterminé. Pour le permanganate de potassium, le LC_{50} a été déterminé à $5,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ et $3,0 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pour l'eau d'étang et l'eau de source respectivement. Pour les hydrocarbures et l'huile de moteur (3:1), le LC_{50} a été déterminé à $13,0 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ et $12,5 \text{ ml}\cdot\text{l}^{-1}$ pour l'eau d'étang et l'eau de source respectivement. Pour les effluents provenant d'une usine textile, ces valeurs ont été déterminées à 31,2 % (eau d'étang) et 24,0 % (eau de source). Les valeurs de LC_{50} dans l'eau de source et dans l'eau d'étang étaient statistiquement différentes ($P=0,05$). Les poissons montraient une hyperactivité, présentaient des atrophies, des lésions et des nécroses au cours de la période d'exposition aux substances toxiques testées. Les effets de ces substances sur l'épithélium branchial, le foie et les reins sont examinés.

Analyse morphométrique de trois tilapias (*Tilapia zillii*, *Sarotherodon galilaeus* et *Oreochromis niloticus*) et de leurs hybrides intergénériques

E. SCHWANCK*

K. RANA

Institute of Aquaculture

University of Stirling

Stirling FK9 4LA

Ecosse, R-U

SCHWANCK, E. et K. RANA. 1996. Analyse morphométrique de trois tilapias (*Tilapia zillii*, *Sarotherodon galilaeus* et *Oreochromis niloticus*) et de leurs hybrides intergénériques, p. 604. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Comprendre le mode de transmission des caractères morphométriques chez les tilapias est de grande importance quand on soupçonne une hybridation chez des stocks d'élevage ou d'origine naturelle, et que celle-ci doit être confirmée, et aussi lorsque les hybrides sont le résultat de travaux d'amélioration génétique. Douze caractères morphométriques et méristiques ont été mesurés chez des populations de *Tilapia zillii*, *Sarotherodon galilaeus* et *Oreochromis niloticus* élevées en laboratoire, ainsi que chez leurs hybrides intergénériques.

Les hybrides montraient des déviations fréquentes du point intermédiaire (particulièrement dans les croisements *S. galilaeus* et *O. niloticus*) et une hérédité différentielle entre les sexes. Les coefficients allométriques ("croissance") des différents caractères ont été comptés séparément chez les poissons "petits" (LS, 9 à 13 cm) et "grands" (13 à 20 cm) pour identifier les cycles de croissance rapide dans les caractères mis en corrélation. L'analyse indique une dichotomie importante entre la croissance du poids et de la hauteur d'une part, et la croissance de certains caractères liés à la longueur (oeil, mâchoire et nageoires) d'autre part. Le deuxième type de croissance semble être lié à l'activité sexuelle et apparaît chez *T. zillii* de petite taille mais pas chez *O. niloticus* avant que sa LS n'atteigne 13 cm. Chez *S. galilaeus*, il semble y avoir deux brefs moments de croissance intense dans ce cycle, l'un à une taille très petite (LS < 9 cm) et l'autre à la LS de 20 cm. On tente ici d'interpréter les déviations du point intermédiaire et les différences spécifiques au sexe chez les hybrides en désynchronisant le cycle de croissance des espèces parentales.

*Adresse actuelle : Department of Fisheries, P.O. Box 350100, Chilanga, Zambie.

Mise au point d'un système pilote autonome fonctionnant en eau recyclée, destiné à la production associée du tilapia et d'une espèce maraîchère se comportant en épurateur du milieu

K. SOULEYMANE

*Faculté des sciences, Université de Niamey
BP 10.662 Niamey, Niger*

M. DIDIER

*Station de recherches de nutrition
Installations piscicoles expérimentales
Institut national de recherche agronomique (INRA)
78350 Jouy en Josas, France*

I. QUILLERET

*Laboratoire du métabolisme et de nutrition des plantes
Institut national de recherche agronomique (INRA)
78000 Versailles, France*

SOULEYMANE, K., M. DIDIER et I. QUILLERET. 1996. Mise au point d'un système pilote autonome fonctionnant en eau recyclée, destiné à la production associée du tilapia et d'une espèce maraîchère se comportant en épurateur du milieu, p. 605-606. *In* R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Dès 1982, les auteurs ont recherché des moyens susceptibles de résoudre les problèmes de production animale liés à la situation climatique du Sahel et au manque de ressources en eau. La mise en service d'un système pilote, à l'université de Niamey au Niger en 1986 et à l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) de Versailles en France en 1988, a permis de collecter les informations qui sont à la base de cet exposé.

L'association de poissons, de bactéries, et de végétaux constitue un système d'exploitation au sein duquel la production associée de protéines animales (poissons) et de protéines végétales (tomates) autorise une utilisation maximale de l'azote introduit par le biais des aliments pour poissons. Ce système de production fonctionne également sur le principe du recyclage de l'eau qui est utilisée comme support pour les poissons et comme vecteur de nutriment grâce à une épuration physique (décantation) et une épuration biologique par la présence de bactéries dont le rôle est de transformer un produit hautement toxique pour les poissons (NH_3) en un produit non toxique (NO_3).

Le système pilote de Niamey, aménagé sur le site de la faculté des sciences, comprend des bassins d'élevage circulaires en ciment, un décanteur, des bacs de traitement de l'eau (filtre bactérien) et une fosse de pompage, également cimentée, qui abrite une pompe immergée assurant la circulation de l'eau. L'eau est amenée tangentiellement dans les bassins, puis évacuée au centre par un trop plein. Le débit à l'entrée, de l'ordre de $0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, permet le renouvellement de l'eau toutes les trois heures environ dans chaque bassin, soit huit fois par jour. Le décanteur est un bac cylindroconique en aluminium au fond duquel se déposent les matières en suspension (MES) les plus grossières essentiellement constituées de fèces et d'aliments non consommés. Le filtre hydroponique bactérien est constitué de deux bacs en aluminium contenant $2,8 \text{ m}^3$ de gravier calibré entre 15 et 20 mm qui permettent le piégeage des MES les plus fines, la nitrification des excréta et la fixation des plantes. Les bassins d'élevage seuls sont alimentés par pompage, les autres compartiments le sont par gravité.

Le projet, dont la mission essentielle est de démontrer l'applicabilité du Circuit fermé recyclé hydroponique (CFHR) en région subsaharienne, a donné des résultats qualitatifs encourageants. La qualité de l'eau était

excellente et les coefficients de transformation étaient voisins de 1,2 avec un aliment fabriqué sur place (15 % de farine de poisson).

Deux espèces du genre *Tilapia* (*Oreochromis niloticus*) et *Clarias* sp. ont été testées dans ce système. Pour les végétaux, plusieurs essais sur le gombo, le maïs (*Zea mays* L.) et la tomate (*Solanum lycopersicum*) ont donné de très bons résultats.

Le système pilote de Versailles est constitué d'un bassin d'élevage, d'un étage d'épuration composé d'un décanteur et d'un filtre biologique à lit fixé, et d'un étage de culture des végétaux. Les dimensions de la structure d'élevage sont de 1,90x1,10x1,10 m avec un volume de 1.800 l. Un débitmètre rotatif assure un débit d'eau de 50 l par minute, soit 3 m³·h⁻¹ qui transitent dans une colonne d'aération avant d'être introduits dans le bassin d'élevage. Celui-ci est thermorégulé pendant la saison hivernale par une résistance de 1 kW pilotée par un régulateur proportionnel.

Par mesure de sécurité, un apport d'oxygène par bullage est réalisé grâce à deux pompes à air de faible puissance. L'évacuation de l'eau se fait par trop plein. Le bassin est équipé d'une face en verre pour faciliter l'observation des poissons.

Au CFHR de Versailles, la croissance des poissons de 12 à 250 g (taille marchande) s'est déroulée en 150 jours pour une température moyenne de 29°C. Les coefficients de transformation varient de 1,36 à 1,65 suivant les tailles initiales de poissons dans nos conditions d'élevage. La croissance entre 250 et 600 g donne des coefficients de transformation de 1,65 (certains de nos animaux atteignent 1,1 kg). Ces expérimentations nous ont permis d'établir les conditions de qualité d'eau favorables aux phases d'incubation, d'alevinage et de grossissement des tilapias.

La biomasse totale maximale était de 60 kg, soit 31 kg·m⁻³. Cette valeur dépend de l'hydraulique du bassin d'élevage qui pourrait facilement être modifiée et permettre un gain d'environ 30 %. La production de végétaux a atteint 201 kg sur une période de six mois, soit environ 5 kg de tomates par pied.

Sur une période de 359 jours de fonctionnement, le CFHR de Versailles a recyclé 25.843 m³ d'eau et consommé 75 m³ d'eau neuve, y compris l'eau destinée au nettoyage et aux végétaux. Cet apport d'eau représente un renouvellement de 8,6 % du volume total du CFHR par jour et 0,29 % du débit recyclé. La consommation électrique totale pour 359 jours a été de 6.500 kW, soit 0,25 kW·m⁻³ recyclé, puissance qui peut être notablement réduite par l'acquisition d'une pompe adéquate.

Nous avons mis en évidence l'importance, aux stades juvéniles, du mélange de produits toxiques comme l'azote ammoniacal et les nitrites, importance qui était négligée dans les études antérieures malgré l'impact négatif de ces produits sur la croissance, la survie et la fragilisation potentielle des poissons vis-à-vis des agents pathogènes. Nous avons observé au travers de nos différents élevages l'influence des conditions de stockage en circuit fermé sur la reproduction du tilapia. Les obstacles prévisibles dans le cadre de productions couplées de poissons et de végétaux relevaient d'une interprétation fractionnée de critères classiques d'un milieu piscicole (pH, O₂, T°, ions et substances dissoutes). Chaque étage devait être adaptée au mieux pour optimiser la production concernée. Cette vision figée ne reflète pas le processus complet dans un système en production. Nos observations nous permettent d'établir des cycles ou des périodes qui régissent les différents flux du système. Il en résulte que la mise au point fine de ces techniques implique la synchronisation des modulations des flux afin de tirer le maximum de la chaîne de production.

Les trois étages principaux (poissons, bactéries et tomates) obéissent à des cycles et à des variations calés sur des horloges différentes (H1, H2 et H3), le but principal de nos expérimentations étant d'établir l'horloge de synchronisation principale pouvant tenir compte des fréquences de H1, H2 et H3.

Les résultats obtenus à Versailles et à Niamey ont permis d'élaborer des analyses qui doivent être confirmées. En éliminant l'influence climatologique grâce à la comparaison des différents sites, nous devrions être en mesure de fournir des clés de conception et de gestion adaptables à des conditions variées sans être inféodés à des conclusions issues de résultats acquis sur un site unique.

En ce qui concerne la partie animale, nous devons étudier la limite supérieure de fonctionnement du système en augmentant la charge en poissons et tester parallèlement d'autres espèces. Cette étude doit être menée avec notre aliment de référence et avec des aliments adaptés aux ressources locales envisagées. Pour la partie végétale, une diversification des espèces et des variétés est envisageable.

Présentation du registre de souches de tilapias dans la base de données FishBase

W. VILLWOCK

U. SIENKNECHT

Zoologisches Institut und Zoologisches Museum

Martin-Luther-King-Platz 3

D-2000 Hamburg 13, Allemagne

R. FROESE

L. AGUSTIN

International Center for Living

Aquatic Resources Management

MCPO Box 2631, 0718 Makati City

- Metro Manila, Philippines

VILLWOCK, W., U. SIENKNECHT, R. FROESE et L. AGUSTIN. 1996. Présentation du registre de souches de tilapias dans la base de données FishBase, p. 607. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Le Zoologisches Institut und Zoologisches Museum Hamburg (ZIM) et le Centre international de gestion des ressources vivantes (ICLARM) collaborent actuellement à la réalisation et à la mise à jour d'un registre de souches de tilapias. L'ICLARM entretient une importante base de données biologiques sur les poissons (nommée FishBase) qui traite toute l'information disponible sur les espèces de tilapia (habitats, données génétiques, données électrophorétiques, origine des souches, performances aquacoles, etc.). Le ZIM réalise actuellement une collection d'espèces de tilapia et rassemble des informations sur l'existence d'autres espèces dans d'autres musées. Le ZIM vérifie également et apporte des informations complémentaires sur les espèces incorporées à la base de données FishBase. Jusqu'à présent (août 1996), contient 117 espèces de tilapia et 47 souches sont recensées dans le CD-ROM de FishBase, que l'on peut obtenir à l'ICLARM.

Dans l'intervalle, l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'ICLARM ont signé un protocole d'accord pour une collaboration suivie au niveau de ce registre.

Effets des glucides, des lipides, du phosphore et du zinc sur la croissance et l'indice de consommation du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*)

L. ZHONGJIE

L. WU

Y. YUNXIA

Institute of Hydrobiology

Academia Sinica

Wuhan, Hubei, Chine

ZHONGJIE, L., L. WU et Y. YUNXIA. 1996. Effets des glucides, des lipides, du phosphore et du zinc sur la croissance et l'indice de consommation du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), p. 608. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

Résumé

Des juvéniles de *Oreochromis niloticus* ont été nourris pendant 54 jours sur des régimes alimentaires contenant des taux égaux d'énergie digestible ($3.200 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$) et 20 % de protéines. Ces régimes contenaient en outre 9, 32 ou 50 % de glucides (dextrin) et 22,2, 12 ou 4 % de lipides (huile de soja). Cette alimentation était complétée par 0,85 ou 1,5 % de phosphore et 40 ou $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de zinc. L'expérience a été réalisée en aquarium avec de l'eau courante déchlorurée à 24°C. Les résultats montrent que l'augmentation du taux de glucides dans la ration alimentaire favorise un gain pondéral de 43 à 249 % et une élévation de 27 à 59 % de l'indice de consommation. Le phosphore alimentaire s'est révélé important pour la croissance des poissons nourris avec un régime riche en glucides. Chez les poissons nourris avec des régimes contenant 36 à 50 % de glucides, une augmentation de 1,5 % du phosphore ajouté au régime a favorisé un gain pondéral considérable. A l'inverse, le régime riche en zinc ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) a eu pour effet d'inhiber la croissance. L'augmentation de la teneur en zinc a eu des effets positifs seulement chez le groupe nourri avec un régime contenant 50 % de glucides.

D. SPONSORS ET COLLABORATEURS

ACCT

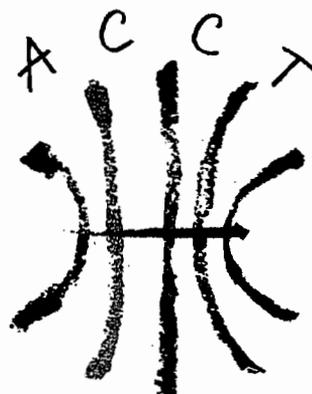
Agence de coopération culturelle et technique

L'Agence de coopération culturelle et technique (ACCT), créée à Niamey en 1970, est l'unique organisation intergouvernementale de la Francophonie et le principal opérateur des Conférences bisannuelles des chefs d'Etat et de gouvernement des pays ayant le français en partage, aussi appelées Sommets francophones.

L'Agence assure le secrétariat de toutes les instances de la Francophonie. Elle déploie son activité multilatérale dans les domaines de l'éducation et de la formation, de la culture et de la communication, de la coopération technique et du développement économique, de la coopération juridique et judiciaire, de diverses actions ponctuelles au titre de son Programme spécial de développement (PSD).

Outre son siège, situé à Paris, l'Agence dispose d'une Ecole internationale à Bordeaux (France) où est située sa direction générale Education-Formation, d'un Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français (IEPF) à Québec (Canada), d'un Bureau de liaison avec les organisations internationales à Genève (Suisse), d'un Bureau de liaison avec l'Union européenne à Bruxelles (Belgique), d'un Bureau de liaison avec les Nations unies à New York (Etats-Unis), d'un Bureau régional de l'Afrique de l'Ouest à Lomé (Togo), d'un Bureau régional de l'Afrique centrale à Libreville (Gabon), d'un Bureau régional pour l'Asie-Pacifique à Hanoi (Viêt-nam).

L'ACCT regroupe 44 pays ou gouvernements : Bénin, Bulgarie, Burkina-Faso, Burundi, Cambodge, Cameroun, Canada, Canada-Nouveau-Brunswick, Canada-Québec, Centrafrique, Communauté française de Belgique, Comores, Congo, Côte d'Ivoire, Djibouti, Dominique, Egypte, France, Gabon, Guinée, Guinée-Bissau, Guinée-équatoriale, Haïti, Laos, Liban, Luxembourg, Madagascar, Mali, Maroc, Maurice, Mauritanie, Monaco, Niger, Roumanie, Rwanda, Sainte-Lucie, Sénégal, Seychelles, Tchad, Togo, Tunisie, Vanuatu, Viêt-nam et Zaïre. (Le Royaume de Belgique, le Cap-Vert et la Suisse portent à 47 le nombre des pays et gouvernements participant aux Sommets.)



L'Agence dans le monde

Siège :

13, quai André-Citroën, 75015 Paris, France

Tél. : (33) 1 44 37 30 00 + ; télécopie : (33) 1 45 79 14 98 ; télex : 201 916 F

Direction générale Education - Formation - Ecole internationale de Bordeaux :

43, rue Pierre-Noailles ; 33405 Talence, France

Tél. : (33) 5 56 84 25 00 + ; télécopie : (33) 5 56 04 42 01 ; télex : 571 741 F

Institut de l'énergie des pays ayant en commun l'usage du français :

56, rue Saint-Pierre, Québec, Canada, G1K4A1

Tél. : (1-418) 692 57 27 ; télécopie : (1-418) 692 56 44 ; télex : 051 3024

Bureau régional de l'Afrique de l'Ouest (BRAO)

BP 7223, Lomé, Togo

Tél. : (228) 21 63 50 ; télécopie : (228) 21 81 16 ; télex : 5024

Bureau régional de l'Afrique centrale (BRAC)

BP 8075 Libreville, Gabon

Tél. : (241) 73 95 61 ; télécopie : (241) 73 95 58 ; télex : 5202

Bureau régional de l'Asie-Pacifique (BRAP) :

2 B Van Phúc (quartier diplomatique) Hanoi, Viêt-nam

Tél. : (84-4) 23 18 36 ; télécopie : (84-4) 23 18 43

Bureau de liaison de Genève (BdG) :

46, avenue Blanc, 1202 Genève, Suisse

Tél. : (41-22) 738 96 66 ; télécopie : (41-22) 738 96 82

Bureau de liaison auprès de l'Union européenne :

8, chaussée de Charleroi, 1060 Bruxelles, Belgique

Tél. : (32-2) 535 67 82

Bureau permanent d'observations auprès des Nations unies

801, 2nd Avenue, Suite 605, New York, N.Y. 10017, Etats-Unis

Tél. : (1-212) 867 67 71 ; télécopie : (1-212) 867 38 40

CIRAD

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement



Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agro-alimentaires des régions chaudes. Sa mission : contribuer au développement de ces régions par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation, l'information scientifique et technique.

Il emploie 1.800 personnes, dont 900 cadres, qui interviennent dans une cinquantaine de pays. Son budget s'élève à 1 milliard de francs français, dont plus de la moitié provient de fonds publics.

Le CIRAD comprend sept départements de recherche : cultures annuelles (CIRAD-CA) ; cultures pérennes (CIRAD-CP) ; productions fruitières et horticoles (CIRAD-FHLOR) ; élevage et médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT) ; forêts (CIRAD-Forêt) ; systèmes agro-alimentaires et ruraux (CIRAD-SAR) ; et gestion, recherche, documentation et appui technique (CIRAD-GERDAT). Le CIRAD travaille dans ses propres centres de recherche,

au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, ou en appui à des opérations de développement.

Le CIRAD-EMVT a pour mission de contribuer au développement et à l'amélioration de l'élevage et des industries animales dans les régions chaudes d'Afrique, d'Asie, d'Amérique du Sud et du Pacifique.

Dans le domaine des ressources aquatiques vivantes, le CIRAD-EMVT mène au travers de son Unité de recherche aquaculture (ABEL : Aquaculture, Biologie et Elevage) des actions de recherche et de développement en aquaculture sur les trois continents : Afrique, Amérique latine et Asie. Les actions de recherche portent sur la biologie des espèces aquacoles et sur l'écologie des étangs de pisciculture. Parallèlement sont étudiés, dans le cadre d'opérations de recherche-développement, les principaux systèmes de production et techniques d'élevage aquacoles. Un appui est apporté par le CIRAD-EMVT à différents pays pour la conception et la mise en oeuvre de stratégies de développement aquacole adaptées. Le CIRAD-EMVT dispose, en outre, d'une base à Montpellier dotée d'infrastructures expérimentales permettant de mener des recherches sur des espèces tropicales, d'assurer la formation de partenaires des trois continents et de fournir un appui documentaire.

CIRAD-EMVT

Unité de recherche aquaculture ABEL

GAMET

BP 5095

34033 Montpellier Cédex 1, France

Tél. : (33) 4 67 04 63 00 ou 4 67 04 63 65

Télécopie : (33) 4 67 63 57 95

CRO

Centre de recherches océanologiques

Créé en 1958 sous la forme d'un service d'Etat et géré jusqu'en novembre 1991 par l'ORSTOM, ce centre a été réorganisé sous la forme d'un Etablissement public national à caractère administratif (Décret n° 91-646 du 09 octobre 1991). Ses missions sont, pour l'essentiel, des recherches dans les domaines de l'océanologie, la limnologie et l'aquaculture.

Afin de fournir aux politiques et aux décideurs des éléments de réflexion basés sur une meilleure connaissance de ces écosystèmes, les études menées depuis 1958 par le Centre de recherches



océanologiques d'Abidjan se sont progressivement recentrées vers les interactions individu-environnement. C'est ainsi que trois grands axes de travail se sont mis en place autour d'un thème fédérateur, le poisson :

- mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes, avec une focalisation sur les effets des variations climatiques, les relations trophiques qui lient les communautés ichtyologiques aux ressources planctoniques et benthiques et la dégradation de la qualité de l'environnement à proximité des concentrations urbaines ;
- suivre en permanence l'état des stocks de poissons pélagiques et démersaux pour être à même de proposer des mesures de gestion rationnelles, respectueuses du renouvellement de la ressource ; et
- étudier les potentialités aquacoles d'espèces locales à partir de connaissances de leur biologie et de leur physiologie et présenter ces filières aux développeurs.

Ces thématiques convergent vers une meilleure exploitation de milieux aquatiques fragiles, devant à terme déboucher sur une utilisation avisée des ressources naturelles. La vulgarisation des résultats de ces recherches doit amener les populations riveraines à prendre en charge progressivement la gestion de leur environnement, afin de pérenniser leurs activités dans un environnement protégé.

CTA
Centre technique de
coopération agricole et rurale



Le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) a été fondé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé entre les Etats membres de l'Union européenne et les Etats du groupe ACP (Afrique, Caraïbes et Pacifique).

Le CTA est à la disposition des Etats ACP pour leur permettre un meilleur accès à l'information, à la recherche, à la formation et aux innovations dans les domaines du développement agricole et rural et de la vulgarisation.

Pour atteindre cet objectif, le CTA commandite et publie des études ; organise et apporte son soutien à des conférences, ateliers et séminaires ; édite ou coédite une grande diversité d'ouvrages, comptes rendus, bibliographies et annuaires ; renforce les services de documentation dans les pays ACP ; et propose un important service de documentation.

CTA
 Postbus 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas
 Tél. : (31-317) 46 71 00
 Télécopie : (31-317) 46 00 67

ICLARM
Centre international de gestion
des ressources aquatiques
vivantes



L'ICLARM est un centre international scientifique et technique autonome, non gouvernemental et à but non lucratif créé pour conduire des travaux de recherche, stimuler et accélérer celle-ci sur tous les aspects de l'halieutique et autres ressources bioaquatiques. Créé et enregistré à Manille en 1977, l'ICLARM est devenu membre du Groupe consultatif sur la recherche agronomique internationale (GCRAI) en 1992.

L'ICLARM est un centre d'opérations, non une organisme de financement. Son programme de travail vise à résoudre les contraintes sérieuses socio-économiques et techniques à l'augmentation de la production, à la rationalisation de la gestion des ressources et à la répartition équitable des bénéfices dans les pays en voie de développement économique. Les travaux du centre portent essentiellement sur les environnements aquatiques continentaux et marins des pays tropicaux et concernent plus particulièrement les questions de dynamique des populations, la mise sur pied de plans d'aménagement et l'augmentation de la productivité d'espèces importantes. Le centre est aussi engagé dans des travaux de coopération avec des institutions de pays en développement et met en œuvre des projets liés à l'information et à la formation. Les programmes de l'ICLARM sont financés par un certain nombre d'agences gouvernementales et de fondations privées.

Les politiques du centre sont établies par un Conseil d'administration composé de membres provenant de la communauté internationale. La direction de l'ICLARM, au titre des politiques fixées par le Conseil, est sous la responsabilité du directeur général.

ICLARM

MCPO Box 2631

0718 Makati City, Philippines

Tél. : (63-2) 818 04 66; 818 92 83; 817 51 63 and 812 86 41 to 47

Télécopie : (63-2) 816 31 83

INRA
Institut national de la
recherche agronomique



Au service de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de l'environnement, l'INRA se place au premier rang des organismes mondiaux de recherche agronomique.

Statut et missions

Créé en 1946, l'Institut national de la recherche agronomique est devenu, en 1984, un Etablissement public à caractère scientifique et technologique (EPST), placé sous la double tutelle des ministres chargés respectivement de la recherche et de l'agriculture.

Ses domaines de recherche incluent en particulier:

- l'inventaire et la gestion des ressources du milieu physique (sol, micro-climat et réserves hydriques) ;
- l'amélioration des productions végétales et animales intéressant l'économie agricole, dont les espèces forestières et aquatiques ;
- la conservation, la transformation des produits agricoles en produits alimentaires et leur adaptation aux demandes des consommateurs ;
- les valorisations non alimentaires des produits agricoles par le développement de cultures spécifiques ou par l'utilisation de sous-produits ;
- la protection, la sauvegarde et la gestion rationnelle des ressources naturelles et de l'espace rural ; et
- la compréhension du monde agricole et rural et de ses transformations par le développement des sciences sociales.

Structures et fonctionnement

Huit mille sept cents employés permanents dont 1.800 chercheurs et 2.100 ingénieurs sont répartis en 300 laboratoires et 170 installations expérimentales localisés dans la plupart des régions françaises, y compris en Guyane et Guadeloupe.

Le budget global est de plus de 3 milliards de francs, provenant pour 87 % de subventions de l'Etat et pour 13 % de ressources propres (variétés végétales, licences, contrats, etc.).

Coopération scientifique

Pour développer ses objectifs, l'Institut développe un partenariat important :

- avec l'enseignement supérieur, en particulier avec les écoles agronomiques et vétérinaires (35 laboratoires associés) mais aussi avec les universités (10 laboratoires associés) et d'autres grandes écoles (ENS, INSA, etc.) ;
- avec les autres organismes scientifiques français : CNRS, INSERM (nutrition humaine en particulier), CEMAGREF (forêts, hydraulique), CEA (environnement) et CIRAD (agronomie tropicale) ; et
- avec les organismes de recherche étrangers, en particulier européens (BBSRC, DLO) et américains (AAC, USDA) et les organisations internationales (FAO, CIRA).

INRA
Direction Générale
147, rue de l'Université
75338 Paris Cédex 07
Tél. : (33) 1 42 75 90 00
Télécopie : (33) 1 47 05 99 66

Le Ministère français de la Coopération

Avec, en 1995, 0,57% de son produit national brut consacré à l'aide publique au développement, la France se situe au deuxième rang, en valeur absolue, des pays donateurs. Une grande part de cette aide va à l'Afrique, en particulier francophone.

Le ministère de la Coopération a aujourd'hui vocation à intervenir dans 71 pays d'Afrique subsaharienne, des Caraïbes et du Pacifique. Le fait que ces pays soient signataires des accords de Lomé permet de rechercher une plus grande synergie avec les projets de l'Union européenne et d'atteindre ainsi à une meilleure efficacité.

Soucieuse d'asseoir l'Etat de droit et de garantir la paix civile, la coopération française accompagne ses partenaires dans la recherche d'une organisation plus performante de leur société et d'une ouverture vers plus de transparence et de pluralisme, conditions nécessaires à une meilleure intégration dans l'économie et les échanges internationaux.

Son ambition est d'aider les pays en développement à opérer dans la stabilité les changements économiques et sociaux indispensables au développement durable.

Les secteurs d'intervention du ministère de la Coopération sont :

- le développement économique et l'environnement ;
- l'éducation, la recherche et la culture ;
- la santé et le développement social ; et
- le développement institutionnel.



Coopération française

Ministère de la Coopération
Département de l'information et de la communication
20, rue Monsieur 75007 Paris
Tél. : (33) 1 53 69 30 00
Télécopie : (33) 1 53 69 32 94
Email : coopcom1@magic.fr

ORSTOM

**L'Institut français de
recherche scientifique pour
le développement en
coopération**



Missions

- de promouvoir et de réaliser tous travaux de recherche susceptibles de contribuer au progrès économique, social et culturel des pays en développement par l'étude des milieux physiques, biologiques et humains de ces pays menée par des actions conduites en partenariat ;
- d'assurer l'information scientifique et technique dans les divers milieux concernés ;
- de contribuer à la valorisation sociale, économique et culturelle des résultats de ses recherches ;
- de participer au renforcement des capacités scientifiques du Sud, à la formation à la recherche et à des appuis spécifiques ;
- de favoriser et de participer à des actions communes avec des partenaires nationaux, européens et internationaux dans ses domaines de compétence.

Moyens

L'ORSTOM dispose d'un effectif de 2.500 personnes dont 600 originaires du Sud, et d'un budget d'un milliard de francs.

Thématiques scientifiques

L'interdisciplinarité est la voie privilégiée de la recherche à l'ORSTOM ; cinq grandes thématiques rassemblent près de 900 chercheurs :

- conditions et modes de développement ;
- le milieu physique, ses ressources et l'impact des activités humaines sur l'environnement ;
- exploitation des ressources naturelles et développement viable ;
- villes et développement ;
- santé et développement.

L'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
209-213, rue la Fayette
75480 Paris cedex 10
Tél. : (33) 1 48 03 77 77
Télécopie : (33) 1 48 03 08 29

Ces actes constituent le premier ouvrage réalisé à l'ICLARM par un logiciel de traduction dont la base de données terminologique est constamment enrichie par un travail de lexicographie propre à l'halieutique mené au sein du Service de traduction du Centre. Ont prêté leur concours aux diverses étapes de ce travail de traduction Jean-François Baroiller, Eva Claudio, Carl Dawson, Beth Eleccion, Daniel Pauly, et Xavier Rognon qui sont ici vivement remerciés.

Index des Auteurs

- Acosta, B.O. 591
 Agnese, J.F. 408
 Agustin, L. 607
 Ahmed, M. 517, 523
 Akhteruzzaman, Md. 550
 Albaret, J.J. 536
 Ambali, A.J.D. 246
 Auperin, B. 493
 Avella, M. 506
 Avit, J.L.B. 48
 Baijot, E. 29
 Baroiller, J.F. 252, 261, 270
 Barry, I. 29
 Beardmore, J.A. 347, 387
 Behrends, L.L. 282
 Bimbao, M.A.P. 517, 523
 Bolivar, H.L. 319
 Bouda, S. 29
 Bourgois, M. 393
 Bulls, M.J. 282
 Capili, J.B. 292, 319
 Castillo Campo, L.F. 592
 Cauty, C. 261
 Chan, J.R. 176
 Chang, C.F. 593
 Chang, S.L. 300, 593
 Chikafumbwa, F.J.R. 193
 Chimatiro, S.K. 202
 Cissé, A. 213
 Copin, Y. 578
 Costa-Pierce, B.A. 142, 202, 308
 Cuvelier, R. 393
 Danting, J.C. 319
 Deekae, S.N. 597
 Dembele, I. 400
 Descy, J.P. 600
 Dickson, M.W. 118, 594
 Didier, M. 605
 Dionisio, E.E. 319, 591
 Diouf, P.S. 536
 Doudet, T. 506
 Durand, J.R. 34
 Ecoutin, J.M. 360
 Edwards, P. 99
 Eknath, A.E. 319, 459, 591
 Elhigzi, F.A.R. 595
 Fagbenro, O.A. 596
 Falter, U. 330, 393
 Foraste, M. 340
 Fostier, A. 261
 Froese, R. 607
 Garcia, M. -A. 602
 Gautier, J.Y. 340
 Gayanilo, F. Jr. 477
 Gilling, C.J. 347
 Guerrero III, R.D. 44
 Gupta, M.V. 517, 550
 Guyomard, R. 441
 Head, W.D. 185
 Hem, S. 34, 48, 130
 Hopkins, K.D. 167
 Hörstgen-Schwark, G. 417
 Hussain, M.G. 353
 Igonifagha, G.D. 597
 Jalabert, B. 261
 Jamu, D.M. 56
 Janagap, C.C. 459
 Kabore, K.H. 29
 Kaunda, E.K.W.H. 64
 Kingsly, J.B. 282
 Knud-Hansen, C.F. 73
 Koffi, C. 556
 Kohinoor, A.H.M. 550
 Konan, A.A. 598
 Kwei Lin, C. 73
 Langston, S.A. 148
 Larrison, P. 595
 Laviolette, F. 600
 Lazard, J. 17, 82, 556, 567
 Le Fauchoux, B. 340
 Legendre, M. 82, 360, 375
 Liao, I.C. 300, 593
 Little, D.C. 99, 246
 Macaranas, J.M. 459
 Macgowan, I. 433
 Macintosh, D.J. 99
 Mair, G.C. 109, 602
 Maluwa, A.O. 118
 Marioghae, I.E. 486, 597
 McAndrew, B.J. 353, 433

- McConnell, S.K.J. 387
Meyer, D.E. 123
Micha, J.-C. 393, 600
Middendorp, A.J. 219
Mélard, CH. 599
Montferrer, D. 578
Moreau, J. 477
Moreau, Y. 226
Morissens, P. 130, 400
Msiska, O.V. 56, 142
Mueller, K.W. 185
Muraille, B. 393
Mutambo, J.T.B. 148
Noble, R.P. 155
Ofori, J.K. 601
Oguyemi, O.O. 603
Olla, B.L. 176
Oswald, M. 130, 556, 578
Padi, J.N. 601
Palada-De Vera, M.S. 319
Palomares, M.L. 234
Pante, M.J.R. 459
Pauly, D. 234, 477
Penman, D.J. 353
Pouyaud, L. 408
Prunet, P. 493
Puckhaber, B. 417
Pullin, R.S.V. 1
Quilleret, I. 605
Rana, K.J. 424, 433, 604
Reyes, R.A. 319
Richard-Yris, M.A. 340
Roderick, E.E. 602
Rognon, Y. 261, 400, 441
Rouger, Y. 450
Salami, A.A. 596, 603
Sanchez, F. 130
Santiago, L.P. 602
Schwanck, E. 604
Shah, M.S. 550
Sienknecht, U. 607
Skibinski, D.O.F. 292, 347, 387
Smith, S.J. 176, 185
Smitherman, R.O. 123
Souleymane, K. 605
Szyper, J.P. 167
Tayamen, M.M. 319
Tilquin, Ch. 393
Toguyeni, A. 270
Traore, A.C. 29
Trebaol, L. 375
Van Dam, A.A. 109
Velasco, R.R. 459
Villwock, W. 607
Watanabe, W.O. 176, 185
Weigel, J.-Y. 17
Wicklund, R.I. 176
Wohlfarth, G. 433
Wokoma, K. 486
Wu, L. 608
Yapi-Gnaore, C.V. 470
Yunxia, Y. 608
Zhongzie, L. 608

Liste des Participants

ABBAN, E.K.

Institute of Aquatic Biology
P.O. Box 38
Achimota, Ghana

ABO, Kouame

Projet Piscicole de Bouaké
01 B.P. 494
Bouaké, Côte d'Ivoire

ACOSTA, B.O.

ICLARM
MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
Philippines

AGNESE, Jean-François

ORSTOM-CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

AHMED, Mahfuzuddin

ICLARM
MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
Philippines

AJAYI, F.O.A.

Institute of Aquaculture
University of Stirling
Scotland FK9 4LA, Royaume-Uni

AKTHERUZZAMAN, Md.

12/2 Mirbugh, Mayatola
Dhaka 1217, Bangladesh

ALBARET, Jean-Jacques

ORSTOM-CRODT
B.P. 2241
Dakar, Sénégal

AMBALI, Aggrey J.D.

Biology Department
University of Malawi
Chancellor College
P.O. Box 280
Zomba, Malawi

AMEVENKU, F.

Institute of Aquatic Biology
P.O. Box 38
Achimota, Ghana

AMON KOTHIAS, Jean-Baptiste

CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

ASAMOAH, Ambrose

Institute of Aquatic Biology
P.O. Box 38
Achimota, Ghana

AUBIN, Joël

CRO-ORSTOM
23 rue Mouchotte
94160 St. Mandé, France

AUPERIN, B.

INRA
Laboratoire de Physiologie des Poissons
Campus de Beaulieu
35042 Rennes Cedex, France

AVELLA, M.

Laboratoire de Physiologie Cellulaire et
Comparée
Université de Nice, Parc Valrose 06108
Nice Cedex 02, France

AVIT, Jean-Baptiste Louis-François

CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

BAIJOT, Etienne

5, rue Saint Urbain
6851 Nolleaux, Belgique

BALOYI, J.J.

Henderson Research Station
P. Bag 2004
Mazowe, Zimbabwe

BAROILLER, Jean-François
 CIRAD-EMVT INRA
 Laboratoire de Physiologie des Poissons
 Campus de Beaulieu
 35042 Rennes Cedex, France

BEDIER, E.
 IFREMER
 155, av. Jean-Jacques Rousseau
 92183 Issy les Moulineaux, France

BEHREND, Leslie L.
 Tennessee Valley Authority
 NFE 2-L, Muscle Shoals
 AL 35660, Etat-Unis

BIMBAO, M.P.
 ICLARM
 MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
 Philippines

BOIDY, Kouao
 CFP
 B.P. 621
 Bouaké, Côte d'Ivoire

BOUBACAR, L.Y.
 CNROP
 B.P. 22
 Nouadhibou, Mauritanie

BOUDA, Sana
 Direction des Pêches/Projet VPH
 B.P. 1625
 Ouagadougou, Burkina Faso

CAMARA, Odile
 CFP
 B.P. 621
 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

CAPILI, Josephine B.
 Freshwater Aquaculture Center
 Central Luzon State University
 Nueva Ecija, Philippines

CAPRA, Michael
 Queensland University of Technology
 GPO Box 2434, Brisbane
 Queensland 4001, Australie

CARRILHO, Maria DO CARMO
 Ministry of Agriculture
 P.O. Box 1573 Praca dos Herois
 Maputo, Mozambique

CAVALLINI, Ugo
 La Casella Acquacoltura SRL
 Via Argine del Ballotino
 29010 Sarmato (PC), Italie

CHANG, Su-lean
 Tungkang Marine Laboratory
 Taiwan Fisheries Research Institute
 Pingtung, 928 Taiwan

CHIKAFUMBWA, Fredson J.K.
 ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project
 P.O. Box 229
 Zomba, Malawi

CHIMATIRO Sloans K.
 Fisheries Department Aquaculture
 Farming Systems
 P.O. Box 206
 Zomba, Malawi

CISSE, Adou
 CRO
 B.P. V 18
 Abidjan, Côte d'Ivoire

COLIN, Damien
 Association des Volontaires du Progrès
 B.P. 1104
 Daloa, Côte d'Ivoire

COPIN, Yves
 CEREMHER/AFVP
 B.P. 118
 34140 Mèze, France

COSTA-PIERCE, Barry A.
222 South Helix Ave. 1
Solana Beach
California 92075, Etats-Unis

COULIBALY, N.D.
I.S.P.A./Halieutique
65, rue de Saint Briec
35042 Rennes Cedex, France

CROMBACH, Paula
Tilapia International Foundation
Mr. Beukenweg 6
6281 BN Mechelen, Pays-Bas

DA COSTA, Kouassi S.
IDESSA
B.P. 621
Bouaké 01, Côte d'Ivoire

DADIE SERY-BAILLY, Patricia
Laboratoire de Pathologie Aquacole
B.P. V 19
Abidjan 01, Côte d'Ivoire

DEMBELE, Inza
IDESSA
B.P. 621
Bouaké 01, Côte d'Ivoire

DIALLO, Anis
CRODT
B.P. 2231
Dakar, Sénégal

DICKSON, Malcolm W.
Institute of Aquaculture
University of Stirling
Stirling FK9 4LA
Royaume-Uni

DION GOGBEU, Gaston
Projet BAD Ouest
B.P. 346 Man
Côte d'Ivoire

DIOP, Elimane
PLOAO (OCP)
Kankan, Guinée

DIOUF, Pape Samba
CRODT/ISRA
B.P. 2241
Dakar, Sénégal

DJOBBO, Anvra Jeanson
Aquaculture Lagunaire
Direction des Pêches
B.P. V 19
Abidjan, Côte d'Ivoire

DUCARME, Christian
S.A. Piscimeuse
Chemin de la Justice, 8b
B-4500 Tihange, Belgique

DUMOULIN, Annette
Tilapia International Foundation
239 Rua Padre Cicero
6310 Juazeiro do Norte,
CEARA, Brésil

DURAND, Jean-René
ORSTOM
Kemang Indah
Kav L2, Jl. Kemang Selatan 1/2
Djakarta 12730, Indonésie

EDY, N'Gouan Germain
Projet Piscicole
01 B.P. 494
Bouaké, Côte d'Ivoire

EKNATH, A.E.
ICLARM
MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
Philippines

ELHIGZI, Fatin Abdel Razig
 Zoologisk Musium
 Universitetet i Bergen
 P.O. Box 5007 Bergen, Norvège

FALTER, Ursula
 22, avenue des Pavieurs
 B-1410 Waterloo
 Belgique

FANTODJI, Agathe
 Faculté Science & Techniques
 22 B.P. 582
 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

FITZSIMMONS, Kevin
 The University of Arizona
 Environmental Research Laboratory
 2601 E. Airport Drive
 Tucson, Arizona 85706-6985, Etats-Unis

FLAN, Diomande
 Ministère de l'Agriculture et des
 Ressources Animales
 B.P. 24
 Korhogo, Côte d'Ivoire

FOSTIER, Alexis
 INRA
 Laboratoire de Physiologie des Poissons
 Campus de Beaulieu
 35042 Rennes Cedex, France

FRANCOIX, Christophe
 c/o CRO
 B.P. V 18
 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

FROESE, R.
 ICLARM
 MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
 Philippines

GAUTIER, Jean-Yves
 U.R.A. No. 373 CNRS
 Laboratoire d'Ethologie
 Université de Rennes 1
 Avenue du Général Leclerc
 35042 Rennes, France

GHONEIM, Samir
 Fish Research Centre
 Suez Canal University
 Ismailia, Egypte

GILLING, C.J.
 School of Biological Sciences
 University of Swansea
 Singleton Park, Swansea
 Wales, SA2 8PP, Royaume-Uni

GREVET, Bertrand
 Projet Piscicole AFVP Danané
 01 B.P. 2532
 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

GUPTA, Modadugu V.
 ICLARM
 MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
 Philippines

HANLEY, Fred
 Master Blend Feeds
 P.O. Box 24, Old Harbour
 St Catherine
 Jamaïque

HEAD, William D.
 Caribbean Marine Research Center
 1501 Northpt. Parkway, Suite 102
 West Palm Beach, FL 33407, Etats-Unis

HEIJNE, Ben
 Tilapia International Foundation
 Centr. Bur. vor Beleidszaken
 Postbus 12
 NL - 3880 AA Putten, Pays-Bas

HEINE, John D.F.
 Tilapia International Foundation
 P.O. Box 2375
 3500 GJ Utrecht, Pays-Bas

HEM, Saurin
 ORSTOM
 BP 5045
 34032 Montpellier Cédex 1, France

HOPKINS, Kevin D.
University of Hawaii at Hilo
College of Agriculture
Hilo, Hawaii 96720, Etats-Unis

IDRISSA, Ali
ADA
B.P. 11688
Niamey, Niger

JALABERT, Bernard
INRA
Département d'Hydrobiologie
Campus de Beaulieu
35042 Rennes Cedex, France

JAMU, Daniel
ICLARM/GTZ Africa Aquaculture Project
P.O. Box 229
Zomba, Malawi

JANKE, Achim
MAGFAD
P.O. Box 206
Zomba, Malawi

KALI-TCHIKATI, Edouard
Centre Piscicole National de
Djoumouna
B.P. 675
Brazzaville, Congo

KAMAGATE, Souleymane
SATMACI
B.P. 101
Daloa, Côte d'Ivoire

KAMBAMBA NZALEY ANS., G.D.
CRDI
B.P. 16383
Kinshasa I, Zaïre

KANE, Souleymane
Faculté des Sciences
Université de Niamey
B.P. 10662
Niamey, Niger

KAUNDA, Emmanuel K.W.H.
University of Malawi
Animal Science Department
Bunda College of Agriculture
Box 219, Lilongwe, Malawi

KEBE, Moustapha
CRODT/ISRA
B.P. 2241
Dakar, Sénégal

KEMME, Pieter
Union GVC Petits Elevages
B.P. 745
Korhogo, Côte d'Ivoire

KHELIF, Soraya
Tilapia International Foundation
Eichenweg 9
7446 Oberboihingen
Allemagne

KIENTA, Moussa
FAOMLI 86 001, c/o PNUD
B.P. 120
Bamako, Mali

KNUD-HANSEN, C.F.
Asian Institute of Technology
G.P.O. Box 2754
Bangkok 1501, Thaïlande

KOFFI, Camille
IDESSA
B.P. 633
Bouaké 01, Côte d'Ivoire

KONAN, Amino Annabelle
CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

KONAN, Kouadio
DRARA/MINAGRA
B.P. 1081
Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

KONE, Favognon
Direction de l'Aquaculture et des Pêches
04 B.P. 283
Abidjan 04, Côte d'Ivoire

KONE, Moriba
Direction Nationale des Eaux et Forets
B.P. 275
Bamako, Mali

KOUASSI, Attiegoua
c/o CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

KOUASSI, N'Gouan Cyrille
IDESSA
01 B.P. 621
Bouaké, Côte d'Ivoire

LAE, R.
ORSTOM
B.P. 2528
Bamako, Mali

LANGSTON, Steven
MAGFAD
Fisheries Department
P.O. Box 206
Zomba, Malawi

LAZARD, Jérôme
CIRAD-EMVT
GAMET
B.P. 5095
34033 Montpellier Cedex 1, France

LE GOUYAT, Jean-Paul
Projet de Développement de l'Aquaculture
Lagunaire
01 BP V19 Abidjan
Côte d'Ivoire

LE MENN, Françoise
Laboratoire de Biologie Marine, Université
de Bordeaux, Av. des Facultés
33405 Talence, France

LEGENDRE, Marc
ORSTOM
Kemang Indah Kav. L2
Jl. Kemang Selatan 1
12730 Jakarta, Indonésie

LEMOALLE, Jacques
ORSTOM
B.P. 5045
34032 Montpellier, France

LEVEQUE, Christian
ORSTOM
213, rue Lafayette
75480 Paris Cedex, France

LHOMME-BINUDIN, Catherine
ICLARM
MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
Philippines

LUQUET, Pierre
INRA
Saint-Pé-sur-Nivelle
64, France

MACKAY, Kenneth T.
Environment and Natural Resources
IDRC
250 Albert Street
Ottawa, Canada K1G 3H9

MAGBY, Djédjé Florent
B.P. V 19
Abidjan 01, Côte d'Ivoire

MAGNET, Christophe
1, rue de Feucherolles
78630 Orgeval, France

MAIR, Graham
Freshwater Aquaculture Center
Central Luzon State University
Nueva Ecija, Philippines

MALUWA, A.O.
Malawi Fisheries Department
Central and Northern Regions
Fish Farming Project
P.O. Box 700
Mzuzu, Malawi

MANGARA, Moussa
Projet Piscicole
B.P. 83
Gagnon, Côte d'Ivoire

MARIOGHAE, Israel E.
African Regional Aquaculture Centre
P.M.B. 5122
Port Harcourt, Nigéria

McANDREW, Brendan J.
Institute of Aquaculture
University of Stirling
Stirling FK9 4LA
Scotland, Royaume-Uni

McCONNELL, Stewart K.J.
School of Biological Sciences
University of Swansea
Singleton Park, Swansea
Wales, SA2 8PP, Royaume-Uni

MELARD, Charles
CERER Pisciculture
Université de Liège
8 Chemin de la Justice
B-4500 Tihange, Belgique

MENSAH, G.
Direction des Pêches
B.P. 383
Cotonou, Bénin

MEYER, Daniel E.
Panamerican Aquaculture School
P.O. Box 93, Tegucigalpa, Honduras

MICHA, J.-C.
UNECED
Facultés Universitaires
Notre-Dame de la Paix
Rue de Bruxelles, 61
B-5000 Namur, Belgique

MIDDENDORP, Hans
Oxbow Lakes Small Scale Fisheries Project
P.O. Box 12
Jessore 7400, Bangladesh

MIEVIS, Guy
FAOMLI 86 001, c/o PNUD
B.P. 120
Bamako, Mali

MONFERRER, Dante
Association Française des Volontaires
du Progrès (AFVP)
01 B.P. 2532
Abidjan 01, Côte d'Ivoire

MOREAU, Jacques
ENSAT, INP Toulouse
145, avenue de Muret
31076 Toulouse Cedex, France

MOREAU, Yann
ORSTOM-GAMET
BP 5095 F-34033
Montpellier Cedex 1, France

MORISSENS, Pierre
c/o PCAMRD, Dr. Alfonso Eusebio Bldg.,
BPI Economic Garden, Los Baños, Laguna
Philippines.

MSISKA, Orton V.
University of Namibia
SADC Fisheries Management Course
Private Bag 13303
Windhoek, Namibie

MUBANDU, Mpeleda
Délégation Spéciale à la Francophonie
18/8 Q. Malandi a Matete
Kinshasa, Zaïre

NERMARK, Ulf P.
FAO/ALCOM
P.O. Box 3730
Harare, Zimbabwe

N'GORNA, Ya Nestor
CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

NIAONE, Abdoulaye
Inspecteur Eaux et Forêts
Projet Pêche
B.P. 2937
Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso

NIARE, T.
ORSTOM
B.P. 2528
Bamako, Mali

NOBLE, Reg
570 Hillside Avenue East
Toronto, Ontario M4S 1V2
Canada

NUGENT, Christopher
FAO
3, Richmond Road
B.P. 3730
Harare, Zimbabwe

NUÑEZ-RODRIGUEZ, Jesus
CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

OBERST, Sabine
Hamburg University
Martin Luther King Platz-3
2000 Hamburg 13, Allemagne

OFORI, Joseph Kitson
Institute of Aquatic Biology (CSIR)
P.O. Box 38
Achimota, Ghana

OSWALD, Marc
3, square Guimard
78960 Voisin-le-Bretonneux
France

OTEME, Ziriga Josué
CRO
B.P. V 18
Abidjan, Côte d'Ivoire

OUATTARA, Brahim
Section Piscicole
B.P. 135
Danané, Côte d'Ivoire

OUATTARA, Siaka
Division Pisciculture et Pêche
B.P. 27
Korhogo, Côte d'Ivoire

PALOMARES, Maria Lourdes
ICLARM
MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
Philippines

PARISELLE, Antoine
ORSTOM
B.P. 5045
34032 Montpellier, France

PARREL, Philippe
10, rue de Navarre
64130 Mauléon-Soule
France

PAULY, Daniel
Fisheries Centre
University of British Columbia
2204 Main Mall, Vancouver
B.C. Canada V6T 1Z4

PENMAN, David
 Institute of Aquaculture
 University of Stirling
 Stirling FK9 4LA
 Scotland, Royaume-Uni

POIRIER, Agnès
 Laboratoire de Pathologie Aquacole
 Direction des Pêches
 B.P. V 19
 Abidjan, Côte d'Ivoire

POUOMOGNE, Victor
 Station IRZ
 B.P. 255
 Foumban, Cameroun

POUYAUD, Laurent
 ORSTOM
 B.P. 5045
 34032 Montpellier, France

PREIN, Mark
 ICLARM
 MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
 Philippines

PUCKHABER, Birgit
 Institut für Tierzucht und
 Haustiergenetik
 Universität Göttingen
 Albrecht-Thaer-Weg 3
 D-37075 Göttingen, Allemagne

PULLIN, Roger S.V.
 ICLARM
 MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
 Philippines

RAJTS, François
 Projet Pêche GTZ
 B.P. 2937
 Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso

RAKOCY, James
 University of the Virgin Island
 RR2, Box 10,00 Kingshill
 Saint Croix, Iles Vierges 00850

RANA, Krishen
 FAO of the United Nations
 Viale delle Terme di Caracalla
 00100 Rome, Italie

RASHIDI, B.B.A.
 C & N Reg. Fish Farming Project
 P.O. Box 700
 Mzuzu, Malawi

RIGAUX, Emmanuel
 c/o CRO
 B.P. V 18
 Abidjan, Côte d'Ivoire

RODERICK, Eric
 School of Biological Sciences
 University of Swansea
 Singleton Park, Swansea
 Wales, SA2 8PP, Royaume-Uni

ROGNON, Xavier
 INA-PG, Département des sciences
 animales
 GER 16, rue Claude Bernard
 75231 Paris Cedex 05
 France

ROUGER, Yves
 INRA
 Laboratoire de Physiologie des
 Poissons
 Campus de Beaulieu
 F-35042 Rennes Cedex, France

RUTTEN, Hilde
 Union des GVC Petits Elevages
 B.P. 745
 Korhogo, Côte d'Ivoire

SALAMI, Adebowale A.
 Department of Fisheries and Wildlife
 Federal University of Technology
 P.M.B. 704
 Akure, Ondo State, Nigéria

SANCHEZ, Frédéric
 Projet Piscicole AFVP de Gagnoa
 01 B.P. 2532
 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

SATIA, Njunkeng B.P.
 FAO of the United Nations
 Viale delle Terme di Caracalla
 00100 Rome, Italie

SEKA, Assi Akaffou
 Eaux et Forêts, Projet Pisciculture
 B.P. 494
 Bouaké, Côte d'Ivoire

SHAH, M. Saifuddin
 Freshwater Station
 Fisheries Research Institute
 Mymensingh 2201, Bangladesh

SLEMBROUCK, Jacques
 ORSTOM
 Kemang Indah Kav. L2
 Jl. Kemang Selatan 1
 12730 Jakarta, Indonésie

SOSSOUHOUNTO, Antoine
 Tilapia International Foundation
 B.P. 62
 Abomey, Bénin

SZYPER, James P.
 University of Hawaii at Manoa
 Hawaii Institute of Marine Biology
 P.O. Box 1346
 Kaneohe, Hawaii 96744, Etats-Unis

TAYAMEN, Melchor M.
 BFAR/NFFTRC
 CLSU Campus, Muñoz
 Nueva Ecija, Philippines

TENABE, V.O.
 Ondo State Agriculture Development
 Project
 P.M.B. 622
 Akure, Ondo State, Nigéria

THOMESSEN, Inge
 Storsandlia 19
 3475 Saetre, Norvège

THYS V.D. Audenaerde, Dirk F.E.
 Musée Royal de l'Afrique Centrale
 13 Steenweg op Leuven
 B-3080 Tervuren, Belgique

TRAORE, Alamoussa
 Projet de Valorisation du Potentiel
 Halieutique
 B.P. 7044
 Ouagadougou 01, Burkina Faso

TRAORE, Kassoum
 IDESSA
 B.P. 621
 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

TREBAOL, Loic
 ORSTOM
 12, rue Vasselot
 35000 Rennes, France

VAKILY, Michael
 ICLARM
 MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
 Philippines

VAMET, Félicité
 Laboratoire de Pathologie Aquacole
 B.P. V 19
 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

VAN RUYMBEKE, Luc
 Tilapia International Foundation
 Cal. Estigarribie y
 Coromel Romero 2324
 San Lorenzo, Paraguay

VAN RUYMBEKE, Selma Ramos
 Tilapia International Foundation
 Cal. Estigarribie y
 Coromel Romero 2324
 San Lorenzo, Paraguay

630

VELASCO, Ravelina R.
ICLARM
MC P.O. Box 2631, 0718 Makati City
Philippines

WATANABE, Wade O.
Caribbean Marine Research Center
805 E. 46th Place
Vero Beach, FL 32963, Etats-Unis

WEIGEL, Jean-Yves
ORSTOM
6 Square de Port Royal
75013 Paris, France

WOHLFARTH, Giora W.
MAARO, Fish and Aquaculture Research
Station
Dor, M. P. Hof Hacarmel 30-820
Israël

WOMAS, Koami Victor
BOAT
B.P. 1172
Lome, Togo

WONGBE, Alexis Yté
IDESSA
B.P. 621
Bouaké 01, Côte d'Ivoire

YAO, Kouakou
INRA, Campus de Beaulieu
35042 Rennes Cedex, France

YAPI-GNAORE, Valentine Chia
04 B.P. 304
Bouaké 04, Côte d'Ivoire

ZAGRA, Marcel
Laboratoire de Pathologie Aquacole
B.P. V 19
Abidjan, Côte d'Ivoire

ZIEHI, Antoinette
IDESSA
01 B.P. 633
Bouaké 01, Côte d'Ivoire

Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture. R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly, Editeurs. 1996. Traduit de l'anglais par Catherine Lhomme-Binudin. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

AUTRES TITRES D'INTERET EDITES PAR L'ICLARM

The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. R.S.V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai et J.L. Maclean, Editeurs. 1989. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.

Ressources génétiques en tilapia pour l'aquaculture. R.S.V. Pullin, Editeur. 1989. ICLARM Conf. Proc. 16, 129 p.

Aquaculture research and development in rural Africa. B.A. Costa-Pierce, C. Lightfoot, K. Ruddle et R.S.V. Pullin, Editeurs. 1991. ICLARM Conf. Proc. 27, 52 p.

Environment and aquaculture in developing countries. R.S.V. Pullin, H. Rosenthal et J.L. Maclean, Editeurs. 1993. ICLARM Conf. Proc. 31, 359 p.

Research for the future development of aquaculture in Ghana. M. Prein, J. Ofori et C. Lightfoot, Editeurs. 1995. ICLARM Conf. Proc. 42, 92 p.

Atlas démographique des populations de poissons d'eau douce d'Afrique. J. Moreau, M.L.D. Palomares, F.S.B. Torres, Jr. et D. Pauly, Editeurs. 1995. ICLARM Tech. Rep. 45, 140 p.

Aquaculture for African smallholders. R.E. Brummett et R. Noble. 1995. ICLARM Tech. Rep. 46, 69 p.

Recherche et formation pour le développement des systèmes de production intégrée agriculture-élevage-pisciculture en zone tropicale. P. Edwards, R.S.V. Pullin et J.A. Gartner. 1991. Traduit de l'anglais par Catherine Lhomme-Binudin. ICLARM Stud. Rev. 16, 71 p.

The context of small-scale integrated agriculture-aquaculture systems in Africa: a case study of Malawi. ICLARM et GTZ. 1991. ICLARM Stud. Rev. 18, 302 p.

FishBase 96: concepts, design and data sources. R. Froese et D. Pauly, Editeurs. 1996. CD ROM user's manual, 179 p. US\$95 CD plus manuel, coût de l'envoi par avion compris.

POUR COMMANDER

Pour obtenir des informations sur les tarifs de nos publications, veuillez contacter :

The Editor
ICLARM
MCPO Box 2631, 0718 Makati City, Philippines
Tél : (63-2) 812-8641, 818-0466 poste 110
Télécopie : (63-2) 816-3183
E-mail: ICLARM@cgnnet.com

Tout paiement en dollars des Etats-Unis par chèque établi à l'ordre de l'ICLARM et tiré sur une banque située aux Etats-Unis. Nous acceptons également la carte American Express.

Consultez notre page d'accueil : <http://www.cgiar.org/iclarm/>