

RESEARCH OUTPUTS / RÉSULTATS DE RECHERCHE

Méthodes de production d'alevins de *Tilapia nilotica*

Kestemont, Patrick; Micha, Jean-Claude; FALTER, U.

Publication date:
1989

[Link to publication](#)

Citation for published version (HARVARD):

Kestemont, P, Micha, J-C & FALTER, U 1989, Méthodes de production d'alevins de *Tilapia nilotica*. ADCP/REP/89/46, FAO, Rome, ADCP/REP/89/46, FAO, , Rome.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Les Méthodes de Production d'Alevins de *Tilapia nilotica*. ADCP/REP/89/46, FAO, Rome, 132 p.

Par P. Kestemont, J.C. Micha et U. Falter

<http://www.fao.org/docrep/t8655f/t8655f00.htm>



**P. Kestemont, J.C. Micha et U. Falter, 1.989 - Les méthodes de production d'alevins de
Tilapia nilotica, ADCP/Rep/89/46. FAO, Rome, 132 p.**

**PROGRAMME DE MISE EN VALEUR ET DE COORDINATION DE
L'AQUACULTURE**

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT

**ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET
L'AGRICULTURE**

Cette version numérique du document a été scannérisé en utilisant des logiciels de reconnaissance optique de texte (OCR) et en vérifiant manuellement et attentivement le texte. Bien que la digitalisation soit de haute qualité, la FAO décline toute responsabilité pour les éventuelles différences pouvant apparaître dans ce document par rapport à la version imprimée originale.

Table des matières

Avant-propos

Introduction

1. Biologie de *Tilapia nilotica*

1.1. Caractéristiques taxonomiques et morphologiques

1.2. Répartition géographique originelle et actuelle

1.3. Exigences écologiques

1.4. Régime alimentaire

1.5. Croissance

1.6. Biologie de la reproduction

1.7. Dynamique de population

2. Techniques actuelles de reproduction et d'alevinage

2.1. Reproduction et alevinage en étangs

2.1.1. Rappel général sur les étangs de pisciculture

2.1.1.1. Importance du choix du site

2.1.1.2. Caractéristiques requises pour les étangs

2.1.2. Méthode de production d'alevins en étang

2.1.2.1. Elevage mixte ou par classes d'âges mélangées

2.1.2.2. Elevage par classes d'âges séparées

2.1.2.3. Fertilisation minérale et organique

2.1.2.4. Alimentation artificielle et complémentaire des géniteurs et des alevins

2.1.3. Prédations, maladies, vols en étang

2.1.3.1. Prédateurs naturels des alevins

2.1.3.2. Maladies

2.1.3.3. Empoisonnements

2.1.3.4. Vols

2.1.4. Bilan économique de la production d'alevins en étang

2.1.5. Avantages et inconvénients de la production d'alevins en étang

2.1.6. Recommandations pour une stratégie d'élevage en étang

2.2. Reproduction et alevinage en hapas et en cages

[2.2.1. Définitions et caractéristiques générales](#)

[2.2.1.1. Les hapas](#)

[2.2.1.2. Les cages](#)

[2.2.2. Méthodologie de la production de larves en hapas](#)

[2.2.2.1. Age et taille des géniteurs](#)

[2.2.2.2. Densité de stockage](#)

[2.2.2.3. Rapport des sexes](#)

[2.2.2.4. Fréquence de récolte des larves et de remplacement des adultes](#)

[2.2.2.5. Modèles de hapas](#)

[2.2.3. Méthodologie de la production de larves en cages](#)

[2.2.4. Alimentation des géniteurs et des larves en hapas et en cages](#)

[2.2.5. Grossissement des larves et des alevins](#)

[2.2.5.1. Prégrossissement des larves et des alevins. - Phase 1](#)

[2.2.5.2. Premier grossissement des alevins. - Phase 2](#)

[2.2.6. Evaluation économique de la production d'alevins en cage](#)

[2.2.7. Avantages et inconvénients de la production d'alevins en cages](#)

[2.2.7.1. Avantages](#)

[2.2.7.2. Inconvénients et remèdes](#)

[2.2.8. Recommandations pour la production d'alevins en hapas et en cages](#)

[2.3. Reproduction et alevinage en tanks, "raceways" et arènes](#)

[2.3.1. Caractéristiques et construction des tanks, "raceways" et arènes](#)

[2.3.1.1. Modèles de tanks et raceways.](#)

[2.3.1.2. Arènes de reproduction](#)

[2.3.1.3. Dispositif et taux d'écoulement](#)

[2.3.2. Gestion des stocks de géniteurs et d'alevins](#)

[2.3.2.1. Densité de stockage et rapport des sexes](#)

[2.3.2.2. Récolte du frai](#)

[2.3.2.3. Croissance des alevins en tanks](#)

[2.3.3. Alimentation des géniteurs et des alevins](#)

[2.3.3.1. Composition de l'aliment](#)

[2.3.3.2. Formulation et taille de l'aliment](#)

[2.3.3.3. Ration et fréquence de nourrissage](#)

[2.3.4. Bilan économique de la production d'alevins en tanks](#)

[2.3.5. Avantages et inconvénients de l'élevage en tanks, raceways et arènes](#)

[2.3.5.1. Avantages](#)

[2.3.5.2. Inconvénients](#)

[2.3.6. Recommandations pour la production d'alevins en tanks, "raceways" et arènes](#)

[2.4. Reproduction et alevinage en aquarium](#)

[2.4.1. Installation générale](#)

[2.4.1.1. Types d'aquarium](#)

[2.4.1.2. Distribution et épuration des eaux](#)

[2.4.1.3. Circuit d'air](#)

[2.4.1.4. Eclairage](#)

[2.4.1.5. Autres aménagements](#)

[2.4.1.6. Entretien des installations](#)

[2.4.2. Gestion des poissons](#)

[2.4.2.1. Maintenance des géniteurs](#)

[2.4.2.2. Gestion des géniteurs pour la production d'alevins](#)

[2.4.2.3. Elevage de la descendance](#)

[**3. Conclusions et recommandations**](#)

[**Annexes**](#)

[**Planches photographiques**](#)

[**Glossaire**](#)

[**Remerciements**](#)

[**Bibliographie**](#)

Avant-propos

Une Consultation d'experts sur la planification de l'aquaculture, organisée par le Programme de mise en valeur et de coordination de l'aquaculture (ADCP) à Policoro (Italie) en 1988 (voir ADCP/REP/89/33), a identifié un éventail intégré de possibilités en vue d'une assistance technique au pays en développement. Il en ressortait un ensemble de besoins ou d'idées qui, regroupés, aideraient à la prise de décisions quant à l'investissement, surtout à l'échelle nationale, tant au niveau du secteur public que privé.

Nombre d'exigences identifiées par les participants concernaient la manière d'améliorer les structures locales et nationales afin d'aider les producteurs et le transfert de technologie, et ce, tout particulièrement au sein des pays africains. Il est apparu comme étant de la première

importance d'améliorer la livraison d'informations appropriées, de fournir une formation et du matériel didactique bilingues à tous les niveaux.

La Consultation a remarqué qu'il y avait des responsabilités et des mesures pouvant être prises, tant au niveau régional qu'interrégional, d'assistance aux projets nationaux qui pourraient aider dans la traduction de matériel technique vers les langues nationales, voire même les dialectes locaux dans le cas de la vulgarisation.

La plupart des quelques documents techniques sur l'aquaculture, disponibles en Afrique de nos jours, sont en langue anglaise. Cependant, la majeure partie des pays africains où est pratiquée l'aquaculture sont de langue française. En conséquence, il faudrait traduire ces documents de l'anglais, ou préparer des documents en français spécialement à l'usage des producteurs, agents de vulgarisation et autres chercheurs.

C'est à cet effet que l'ADCP a préparé quatre documents précis traitant d'activités techniques spécifiques actuelles. Tous les quatre traitent des espèces principales trouvées dans la majorité des pays africains, à savoir les tilapias, ainsi que des pratiques les plus répandues et les plus importantes. Le premier de cette série, intitulé "Les méthodes de production d'alevins de *Tilapia nilotica*", a été préparé par MM. P. Kestemont, J.C. Micha et U. Falter.

Ce document servira aussi de document de base pour des cours de formation, en particulier les cours offerts dans le cadre du tout nouveau projet régional de développement du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) et l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).

Colin E. Nash
Craig B. Kensler
Rome, 1989

Introduction

La pisciculture en Afrique est une technique d'introduction récente qui a connu ses premiers balbutiements vers les années 1920 au Kenya, vers les années 1930 au Zaïre (POWLES, 1987). Mais le véritable développement de la pisciculture (DE BONT, 1950 a, b; HALAIN, 1950; HUET, 1957; MICHA, 1974; POWLES, 1987) démarre principalement après la seconde guerre mondiale en Afrique de l'Est et en Afrique Centrale (Zaïre: 1946, Cameroun: 1948, Congo-Brazzaville: 1949, etc...). Pendant les années 1950 et 1960 la pisciculture des tilapias en étangs connaît un développement spectaculaire dans un nombre croissant de pays africains. Malheureusement, après les années 1960, on constate, dans la plupart des pays devenus indépendants, une nette régression des activités de pisciculture qui font penser à un échec généralisé mais dont les causes (MICHA, 1974) apparaissent explicables: dépendance des pisciculteurs privés vis-à-vis des stations d'alevinage de l'état, résultats discordants de production vu la méconnaissance des espèces de *Tilapia*, élevage par classes d'âge mélangées avec le corollaire de la surpopulation et du nanisme, superficie trop faible des étangs ruraux, absence d'études économiques, etc...

Il n'empêche que la pisciculture est bien introduite en Afrique et que la plupart des pays vont relancer à partir des années 1970 des activités de pisciculture basée essentiellement sur la production en étangs d'une série d'espèces typiquement africaines (*Tilapia nilotica*, *T. andersonii*, *T. nigra*, *T. macrochir*, *T. rendalli*, etc...). Cette nouvelle vague d'intérêt et de développement de la pisciculture est loin d'être terminée actuellement et régulièrement de nouveaux pays (Burkina Faso, Niger, etc...) tentent de développer ce secteur à différents niveaux (formation, recherche, vulgarisation). Bien que la tendance actuelle des nouveaux programmes de recherche soit à la diversification des espèces d'élevage autres que *Tilapia* (*Clarias gariepinus* = *C. lazera*, *Chrysiichthys nigrodigitatus*, *Heterobranchus longifilis*, etc...), on peut considérer que l'essentiel de la production en pisciculture africaine reste actuellement les tilapias et parmi ceux-ci, *Tilapia nilotica*, espèce à large distribution africaine, semble bien être la plus cultivée (VINCKE, 1987) et la plus performante (PAULY et al, 1988; Mc ANDREW and MAJUMDAR, 1989).

Actuellement les quantités annuelles de *T. nilotica* produites sur ce continent peuvent être évaluées à 38.950 tonnes d'après FAO (1989), chiffre proche des estimations de BALARIN (in PULLIN, 1988), qui évalue la production aquicole africaine à environ 45000 tonnes par an bien que en 1985, la FAO évaluait la production aquicole à 10.445 t/an. Cette production reste faible par rapport à la production mondiale de tilapias en pisciculture (279.600 tonnes d'après FAO, 1989). Il n'empêche que la pisciculture africaine n'échappe pas aux nouvelles modes telles que élevage en cages, en hapas, en bassins ou tanks artificiels (béton, polyester, etc...), en arènes et autres "raceways". Face à cette multiplicité des systèmes de pisciculture et à l'intensification croissante des élevages, la production d'alevins de *Tilapia nilotica* devient souvent un problème crucial pour la continuité de la production commerciale et, par conséquent, pour la rentabilité du système de production. C'est pourquoi il a semblé bon à la direction du Programme de Développement et de Coordination de la Pisciculture (ADCP) de la FAO de faire rédiger un document de synthèse sur les techniques de production d'alevins de *T. nilotica* qui elles aussi se diversifient et se multiplient. La rédaction d'un tel manuscrit a également été recommandé par le groupe de travail de Dakar (POWLES, 1987) qui a tenté de définir les priorités de recherche pour l'aquaculture africaine et qui constate qu'il est nécessaire d'améliorer pour l'avenir les systèmes de production d'alevins de *T. nilotica*.

L'objectif pratique de ce document nous a conduit à choisir, dans la multitude des informations bibliographiques relatives à *T. nilotica*, les principaux résultats significatifs qui présentent un intérêt pour la production commerciale d'alevins. Il faut donc considérer ce document comme une première et préliminaire mise au point des connaissances sur les systèmes de production d'alevins de *Tilapia nilotica*, ce qui devrait permettre de déboucher sur des techniques plus rentables et plus fiables à l'avenir. Notre tour d'horizon de la production d'alevins en étangs, en tanks, en "raceways" et en cages montrent en effet des résultats très hétérogènes pour une même technique selon les auteurs et les lieux de production. De plus la comparaison du coût des systèmes de production d'alevins en Afrique est quasi impossible vu l'absence de données adéquates et précises. Il y a donc lieu à l'avenir d'expérimenter pour comparer les systèmes de production d'alevins selon des normes standardisées avec quantification de tous les éléments de la production y compris les données économiques.

Nous espérons toutefois que ce document qui, après un rappel succinct des caractéristiques biologiques de *T. nilotica*, présente les systèmes d'alevinage en étangs, en tanks, en cages et en aquarium intéressera les pisciculteurs et les chercheurs ayant la charge et le devoir d'améliorer les niveaux de production de la pisciculture africaine. Celle-ci est encore loin d'occuper le créneau économique (emploi) et vital (alimentation des populations en protéines à bon marché) qui, à l'évidence (MICHA, 1981; 1989), devra se développer dans un proche avenir.

1. Biologie de *Tilapia nilotica*

1.1. Caractéristiques taxonomiques et morphologiques

Tilapia nilotica (L., 1758) fait partie, comme tous les autres tilapias de la famille des Cichlidae, ordre des Perciformes. Les espèces de cette famille se reconnaissent aisément par:

- tête portant une seule narine de chaque côté,
- os operculaire non épineux,
- corps comprimé latéralement, couvert essentiellement d'écaillés cycloïdes et parfois d'écaillés cténoïdes,
- longue nageoire dorsale à partie antérieure épineuse,
- nageoire anale avec au moins les 3 premiers rayons épineux.

Le genre *Tilapia*, SMITH, 1840, essentiellement africain, a d'abord été divisé sur base de différences morphologiques en 3 sous-genres: *Tilapia*, *Sarotherodon*, RUPPEL, 1852 et *Neotilapia* REGAN, 1920. Mais, depuis le début de ce siècle, le nombre d'espèces de *Tilapia* a fortement augmenté avec la découverte d'espèces nouvelles, ce qui a conduit les systématiciens à revoir régulièrement la taxinomie de ce genre rassemblant actuellement plus de 90 espèces. C'est ainsi que *Tilapia nilotica* dont seule la femelle pratique depuis toujours l'incubation buccale, s'est vu regroupé avec tous les tilapias incubateurs buccaux dans un

premier sous-genre *Sarotherodon* qui a été élevé ensuite, au même titre que *Tilapia* (incubateur sur substrat), au niveau générique (TREWAVAS, 1973). Ce nouveau genre s'est vu alors pulvérisé en 5 à 7 sous-genres parmi lesquels *Sarotherodon* regroupait les tilapias incubateurs biparentaux ou uniparentaux paternels et *Oreochromis* regroupait les tilapias incubateurs buccaux uniparentaux maternels. Dernièrement, certains taxonomistes s'accordaient à diviser la tribu des Tilapiinés en 4 genres en se basant non seulement sur les caractères anatomiques, mais aussi, originalité en taxonomie, sur le comportement reproducteur et la nutrition (TREWAVAS, 1980,1981,1983):

- incubation des oeufs sur substrat avec garde biparentale (couple), macrophytophages: *Tilapia*
- incubation buccale avec garde biparentale ou paternelle, planctonophages: *Sarotherodon*
- incubation buccale avec garde uniparentale maternelle, planctonophages: *Oreochromis*
- caractéristiques éco-morphologiques particulières: *Danakilia*

Comme il s'agit d'un domaine qui évolue régulièrement et que les points de vue divergent, nous utiliserons pour la pisciculture, comme le permet TREWAVAS (in FISHELSON et YARON, 1983), la dénomination la plus universellement répandue: *Tilapia nilotica*.

- les principaux synonymes de cette espèce, que l'on peut trouver dans la littérature récente, sont:

- *Oreochromis (Oreochromis) niloticus*
- *Tilapia (Sarotherodon) nilotica*
- *Sarotherodon niloticus*

La diagnose de cette espèce a fait l'objet d'études précises (TREWAVAS, 1983) recourant à des caractéristiques morphométriques plus ou moins difficiles à examiner sur organismes vivants. Généralement, sur le terrain, le pisciculteur reconnaît les adultes de cette espèce (figure 1.1) par:

- une coloration grisâtre avec poitrine et flancs rosâtres et une alternance de bandes verticales claires et noires nettement visibles notamment sur la nageoire caudale et la partie postérieure de la nageoire dorsale,
- un nombre élevé de branchiospines fines et longues (18 à 28 sur la partie inférieure du premier arc branchial, et 4 à 7 sur la partie supérieure),
- une nageoire dorsale longue à partie antérieure épineuse (17-18 épines) et à partie postérieure molle (12-14 rayons),
- un liséré noir en bordure de la nageoire dorsale et caudale chez les mâles.

Figure 1.1. Caractéristiques morphologiques spécifiques de *Tilapia nilotica* - A: *T. nilotica* adulte avec barres noires verticales typiques sur la nageoire caudale

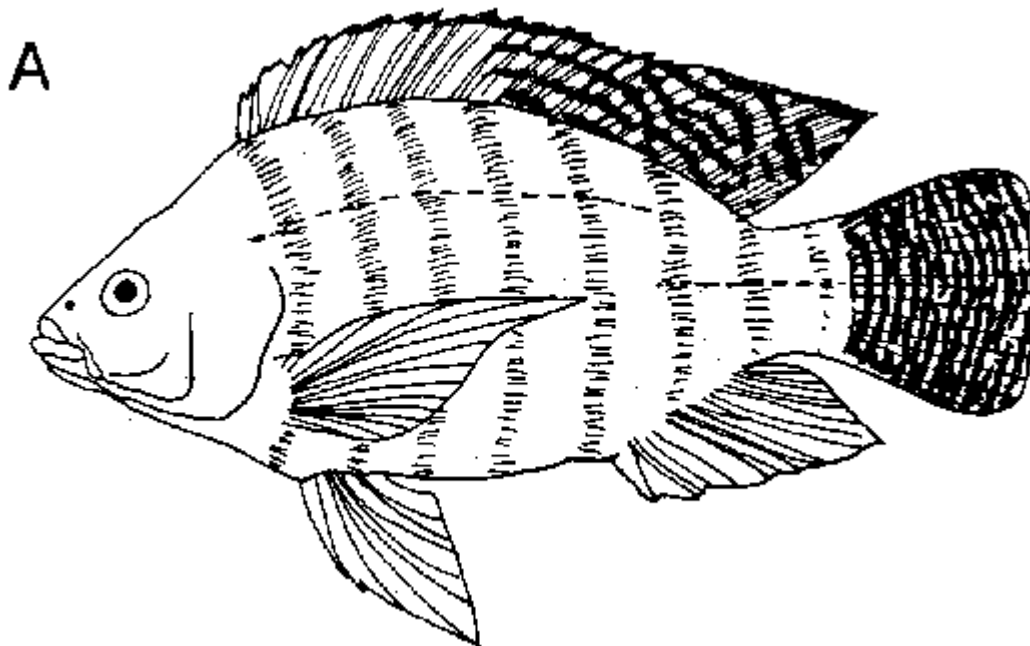


Figure 1.1. Caractéristiques morphologiques spécifiques de *Tilapia nilotica* - B: tête de *T. nilotica* avec premier arc branchial découvert (18 et 4 branchiospines respectivement sur partie inférieure et supérieure) (d'après PULLIN, 1988)

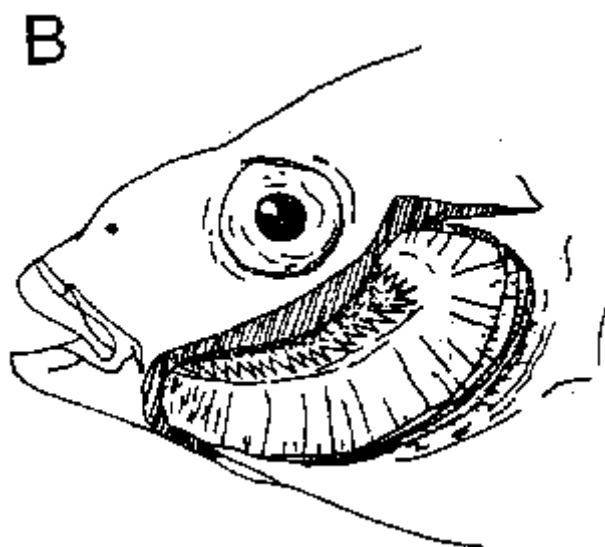
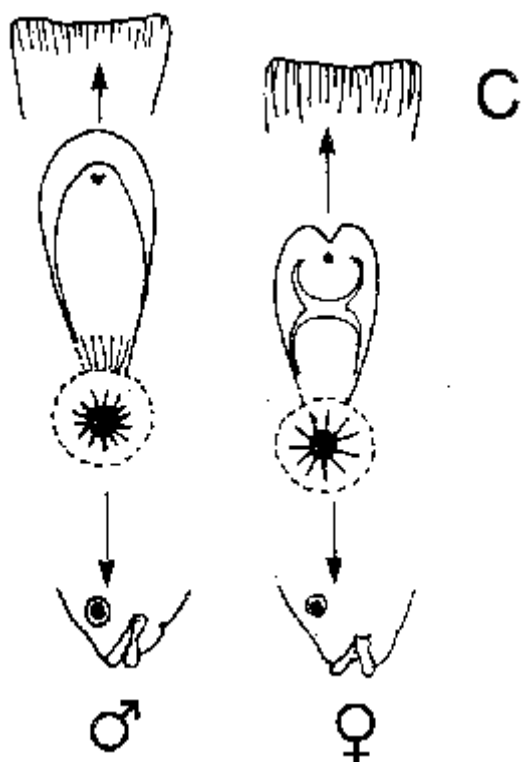


Figure 1.1. Caractéristiques morphologiques spécifiques de *Tilapia nilotica* - C: papilles génitales de *T. mossambica* mâle, fendue transversalement chez la femelle (d'après HUET, 1970)



Le pisciculteur averti distinguera également facilement *Tilapia nilotica* d'une espèce très proche *T. aurea* (Steindachner) qui a plus ou moins les mêmes caractéristiques citées ci-dessus mais qui, de plus, présente chez les mâles un liséré rouge tout au long de la bordure des nageoires dorsales et caudales.

Enfin le pisciculteur reconnaîtra le sexe des *Tilapia nilotica* (figure 1.1) en examinant la papille génitale qui chez le mâle est protubérante en forme de cône et porte un pore urogénital à l'extrémité, alors que chez la femelle, elle est petite, arrondie avec une fente transversale au milieu (pore génital) et un pore urinaire à l'extrémité.

1.2. Répartition géographique originelle et actuelle

T. nilotica présente une répartition originelle strictement africaine couvrant (figure 1.2) les bassins du Nil, du Tchad, du Niger, des Volta, du Sénégal et du Jourdain ainsi que les lacs du graben est-africain jusqu'au lac Tanganika (PHILIPPART et RUWET, 1982).

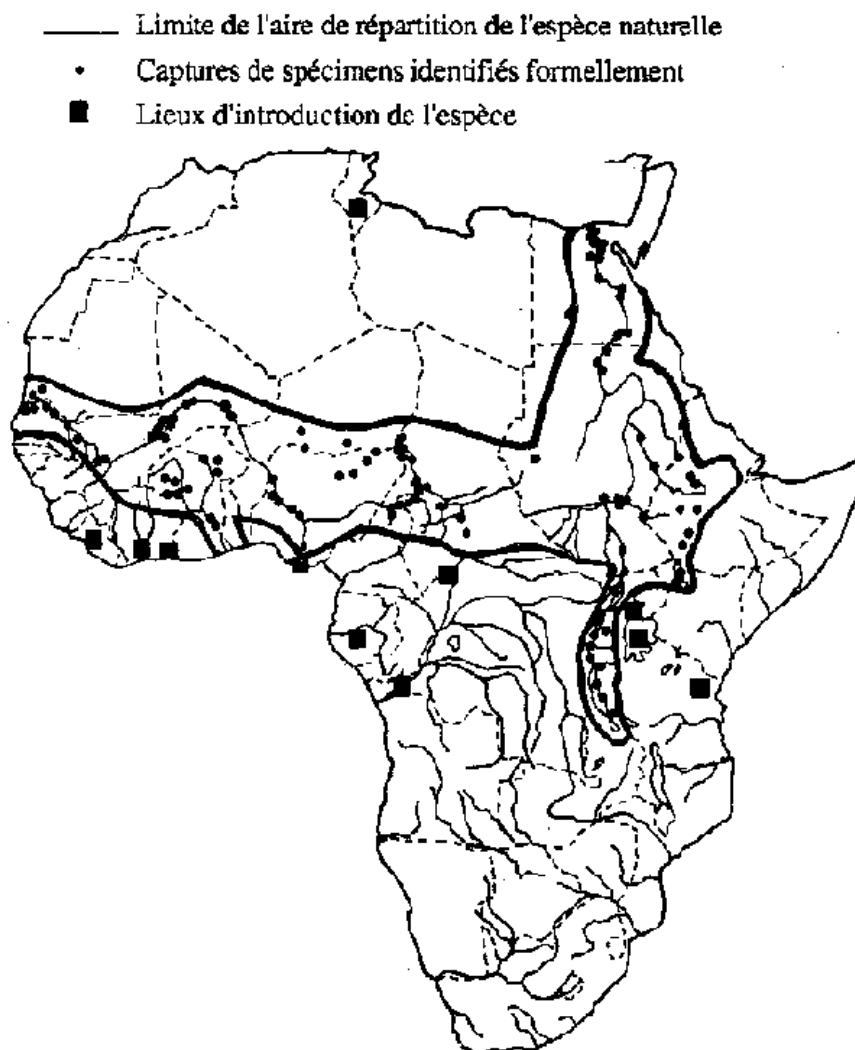
Signalons que l'espèce étudiée est divisée en sept sous-espèces à distribution naturelle bien déterminée (TREWAVAS, 1983). Cette espèce a été largement répandue en Afrique hors de sa zone d'origine pour compléter le peuplement des lacs naturels ou de barrages déficients ou pauvres en espèces planctonophages ainsi que pour développer la pisciculture. Ainsi WELCOMME (1988) signale son introduction (figure 1.2) au Burundi et au Rwanda en 1951, à Madagascar en 1956, en République Centrafricaine et en Côte d'Ivoire en 1957, au Cameroun en 1958, en Tunisie en 1966, en Afrique du Sud en 1976 et à des dates inconnues au Zaïre et en Tanzanie.

A cela on peut ajouter que cette espèce est également cultivée, hors de sa zone originelle dans de petits bassins versants, au Gabon (OYEM), au Ghana, au Kenya (Baobab farm près de Mombassa), au Nigeria (ARAC, PORT - HARCOURT), etc... Mais ces introductions ne se sont pas limitées à l'Afrique puisqu'on la trouve (WELCOMME, 1988) dans les lacs, les fleuves et les piscicultures aussi bien d'Amérique Centrale (Guatemala, Mexique, Nicaragua, Honduras, Costa Rica, Panama), d'Amérique du Sud (Brésil), d'Amérique du Nord (Auburn, etc...) et d'Asie (Sri Lanka, Thaïlande, Bangladesh, Vietnam, Chine, Hong Kong, Indonésie, Japon, Philippines), ce qui lui vaut une distribution actuelle pan-tropicale. Enfin cette espèce commence également à être cultivée dans les eaux chaudes industrielles en régions tempérées. C'est le cas en Europe (Allemagne, 1977 et Belgique, 1980).

1.3. Exigences écologiques

De nombreuses études de terrain et de laboratoire (PULLIN et LOWE-McCONNEL, 1982; FISHELSON et YARON, 1983; PLISNIER *et al*, 1988; etc...) montrent que *T. nilotica* est une espèce relativement euryèce et eurytope adaptée à de larges variations des facteurs écologiques du milieu aquatique et colonisant des milieux extrêmement variés.

Figure 1.2. Répartition géographique originelle et introductions de *T. nilotica* en Afrique (modifié d'après PHILIPPART et RUWET, 1982)



Ainsi *T. nilotica*, espèce thermophile, se rencontre en milieu naturel entre 13.5° et 33°C mais l'intervalle de tolérance thermique observé en laboratoire est plus large: 7 à 41°C pendant plusieurs heures (BALARIN et HATTON, 1979). Quant à la température optimale de reproduction elle se situe entre 26 et 28°C, le minimum requis étant 22°C.

L'euryhalinité de *T. nilotica* est également bien connue car, on le rencontre dans des eaux de salinité comprise entre 0.015 et 30‰. Toutefois au-delà de plus ou moins 20‰ l'espèce subit un stress important qui la rend sensible à une série de maladies, réduisant sa compétitivité par rapport à d'autres espèces (*T. melanotheron*). De plus, la reproduction serait inhibée en eau saumâtre à partir de 15 à 18‰. De même, la tolérance aux variations de pH est très grande puisque l'espèce se rencontre dans des eaux présentant des valeurs de pH de 5 à 11.

Au point de vue concentration en oxygène dissous, cette espèce tolère à la fois de nets déficits et des sursaturations importantes. Ainsi jusqu'à 3 ppm d'oxygène dissous *T. nilotica* présente pas de difficulté métabolique particulière mais en-deça de cette valeur, un stress respiratoire se manifeste bien que la mortalité ne survienne qu'après 6 h. d'exposition à des teneurs de 3.0 ppm. Il n'empêche que, grâce à son hémoglobine particulière à haute affinité pour l'oxygène dissous (0.12 ppm), cette espèce peut supporter, sur de courtes périodes, des concentrations aussi faibles que 0.1 ppm d'oxygène dissous.

1.4. Régime alimentaire

Etant donné que les arcs branchiaux de *T. nilotica* disposent de branchiospines fines, longues et nombreuses et de microbranchiospines, l'eau qui y transite est véritablement filtrée de son plancton. Cette espèce est donc, en milieu naturel, essentiellement phytoplanctonophage et consomme de multiples espèces de Chlorophycées, Cyanophycées, Euglenophycées, etc...; ce qui ne l'empêche pas également d'absorber du zooplancton et même des sédiments riches en bactéries et Diatomées.

Mais en milieu artificiel (systèmes de pisciculture) cette espèce est pratiquement omnivore (euryphage) valorisant divers déchets agricoles (tourteaux d'oléagineux, drèches de brasserie, etc...), tirant parti des excréments de porcs ou de volailles, de déchets ménagers, acceptant facilement des aliments composés sous forme de granulés, etc... Cette capacité d'adaptation à divers aliments et déchets est phénoménale et est à la base de sa haute potentialité pour la pisciculture.

1.5. Croissance

En général, *T. nilotica* est connu pour sa croissance rapide (LOWE-McCONNELL, 1982) et présente un indice de croissance plus performant que les autres espèces de tilapia (PAULY *et al*, 1988). Sa durée de vie est relativement courte (4 à 7 ans), sa vitesse de croissance est extrêmement variable selon les milieux. Ainsi d'après MOREAU (1979) *T. nilotica* (figure 1.3) grandit plus vite dans le lac Albert (34 cm à 4 ans) que dans le lac Tchad (26 cm à 4 ans) ou le lac Mariout (24 cm à 4 ans).. La croissance la plus lente et la durée de vie la plus courte sont observées dans le lac Alaotra (\pm 20 cm à 4 ans) où cette espèce a été introduite. La croissance la plus rapide et la longévité la plus longue (7 ans et 38 cm) sont observées dans le lac Albert. Toutefois le plus grand spécimen aurait été capturé dans le lac Turkana (= Rodolphe) et mesurait 64 cm de longueur totale (sous-espèce: *O. niloticus vulcani*, TREWAVAS, 1982).

Une autre grande caractéristique de *T. nilotica* concerne son dimorphisme sexuel de croissance. Dès que les individus atteignent l'âge de maturité (1 à 3 ans selon le sexe et le milieu), les individus mâles présentent une croissance nettement plus rapide que les femelles et atteignent une taille nettement supérieure. Ainsi dans le lac Itasy (figure 1.3), les mâles vivent plus vieux et atteignent une taille maximale de 38 cm soit 2000 g alors que les femelles ne dépassent pas 28 cm soit 950 g. Toutefois, d'après LOWE-McCONNEL (1982), dans les grands lacs où la croissance est bonne, mâles et femelles atteignent des tailles identiques.

1.6. Biologie de la reproduction

Tilapia nilotica fait partie du groupe des tilapias relativement évolués: les incubateurs buccaux uniparentaux maternels. Lorsque les conditions abiotiques deviennent favorables, les adultes migrent vers la zone littorale peu profonde et les mâles se rassemblent en arène de reproduction sur une zone en pente faible à substrat meuble, sablonneux ou argileux où ils délimitent chacun leur petit territoire et creusent un nid en forme d'assiette creuse. Les femelles vivent en groupe à l'écart des arènes de reproduction où elles effectuent de brefs passages. En allant d'un territoire à l'autre, elles sont sollicitées successivement par les mâles. En cas d'arrêt au-dessus d'un nid et après une parade nuptiale de synchronisation sexuelle, la femelle dépose un lot d'ovules que le mâle féconde immédiatement et que la femelle reprend en bouche pour les incuber. Cette opération peut être recommencée avec le même mâle ou un voisin (RUWET *et al*, 1976). Après cette reproduction successive, la femelle quitte l'arène et va incuber ses oeufs fécondés dans la zone peu profonde.

A cette époque, la femelle présente un abaissement du plancher de la bouche, des opercules légèrement écartés et la mâchoire inférieure devient légèrement proéminente (planche 1.1). L'éclosion des oeufs a lieu dans la bouche, 4 à 5 jours après fécondation. Une fois leur vésicule vitelline résorbée (± 10 jours après éclosion) les alevins capables de nager sont encore gardés par la femelle pendant plusieurs jours. Toutefois, ils restent à proximité de leur mère et, au moindre danger, se réfugient dans sa cavité buccale. A la taille d'environ 10 mm, les alevins, capables de rechercher leur nourriture, quittent définitivement leur mère et vivent en petits bancs dans les eaux littorales peu profondes.

Dans les milieux naturels, la taille de première maturité de *T. nilotica* varie généralement entre 14 et 20 cm (± 2 ans) mais peut atteindre 28 cm (lac Albert) et différer chez les mâles et les femelles. Ainsi la taille moyenne de première maturité examinée dans la population de cette espèce au lac Ihema est de 19 cm pour les femelles et 20 cm chez les mâles (PLISNIER *et al*, 1988). Toutefois cette taille de maturité peut se modifier au sein d'une même population en fonction des conditions fluctuantes du milieu. Ainsi dans le lac George, elle est passée, d'après GWAHABA (1973), de 28 cm en 1960 à 20 cm en 1972.

Selon LOWE-McCONNEL (1982), les facteurs qui font diminuer la taille de maturation sont:

- la mauvaise condition relative,
- les dimensions réduites du milieu (confinement),
- le déficit alimentaire qualitatif et quantitatif,
- la pêche trop intensive.

On constate, en effet, que les populations de tilapia, qui vivent en milieu lacustre stable, présentent une stratégie démographique de type K: faible fécondité par ponte, maturité tardive, forte compétition intraspécifique et croissance rapide. Lorsque le milieu devient

instable (plaines inondées) et qu'il présente des variations fréquentes (t° , niveau d'eau, nourriture, etc...) ces poissons adoptent une stratégie de type r: fécondité élevée, maturité précoce, croissance lente. Ce problème connu sous le terme de nanisme, est plutôt un phénomène de néoténie (FRYER et ILES, 1972; NOAKES et BALON, 1982) car il s'agit d'une réponse adaptative aux fluctuations d'environnement, par accélération de l'ontogenèse. C'est pourquoi en conditions optimales dans les lacs *T. nilotica* commence à se reproduire en général vers l'âge de 2 à 3 ans alors qu'en conditions stressantes de pisciculture rurale mal conduite, il peut déjà se reproduire vers l'âge de 3 mois.

La période de reproduction de *T. nilotica* est potentiellement continue pendant toute l'année, si la température de l'eau est supérieure à 22°C. Toutefois on constate des pics d'activité reproductrice induits par:

- une augmentation de la photopériode et de l'intensité lumineuse,
- une augmentation de la température de l'eau,
- une augmentation du niveau de l'eau.

Ces paramètres fluctuent plus ou moins intensément avec l'alternance des saisons et la situation en latitude et altitude. Ainsi au lac Manzalla (Egypte), *T. nilotica* présente une seule période de reproduction courte (mars-avril) pendant laquelle la température s'élève de 19 à 26°C. Dans le lac Ihema au Rwanda, PLISNIER *et al* (1988), observent la plus grande activité de reproduction pendant la grande saison des pluies (février à juin). En général, dans les eaux équatoriales, LOWE-McCONNELL (1982) signalent deux pics de reproduction coïncidant avec les deux saisons de pluie.

La fréquence des pontes varie également en fonction des conditions environnementales. En conditions optimales et à température de 25 à 28°C, une femelle de *T. nilotica* peut se reproduire tous les 30 à 40 jours (RUWET *et al*, 1975) mais toutes les femelles d'un lot sont loin de pouvoir se reproduire aussi fréquemment (MIRES, 1982).

La fécondité absolue (nombre d'ovules pondus en une fois) est aussi très variable puisqu'elle fluctue fortement comme le montre MOREAU (1979) en fonction:

- du poids (figure 1.4) dans un même lac (1200 ovules/femelle de 100 g à \pm 3800 ovules/femelle de 700 g),
- des lacs (par femelle de 200 g \pm 650 ovules dans le lac Itasy et \pm 1800 ovules dans le lac de Mantasoa) et,
- des saisons (printemps-été dans le lac Itasy).

Toutes ces caractéristiques de la reproduction de *T. nilotica* démontrent non seulement la plasticité de l'espèce à s'adapter à des conditions diverses mais expliquent aussi sa haute résilience à savoir sa capacité à revenir rapidement après perturbation à un seuil optimum de densité dans son milieu naturel.

Figure 1.3. Comparaison de la croissance sexes groupés de *T. nilotica* dans différents lacs africains (A) (modifié d'après MOREAU, 1979) (P: poids, Lst: longueur standard)

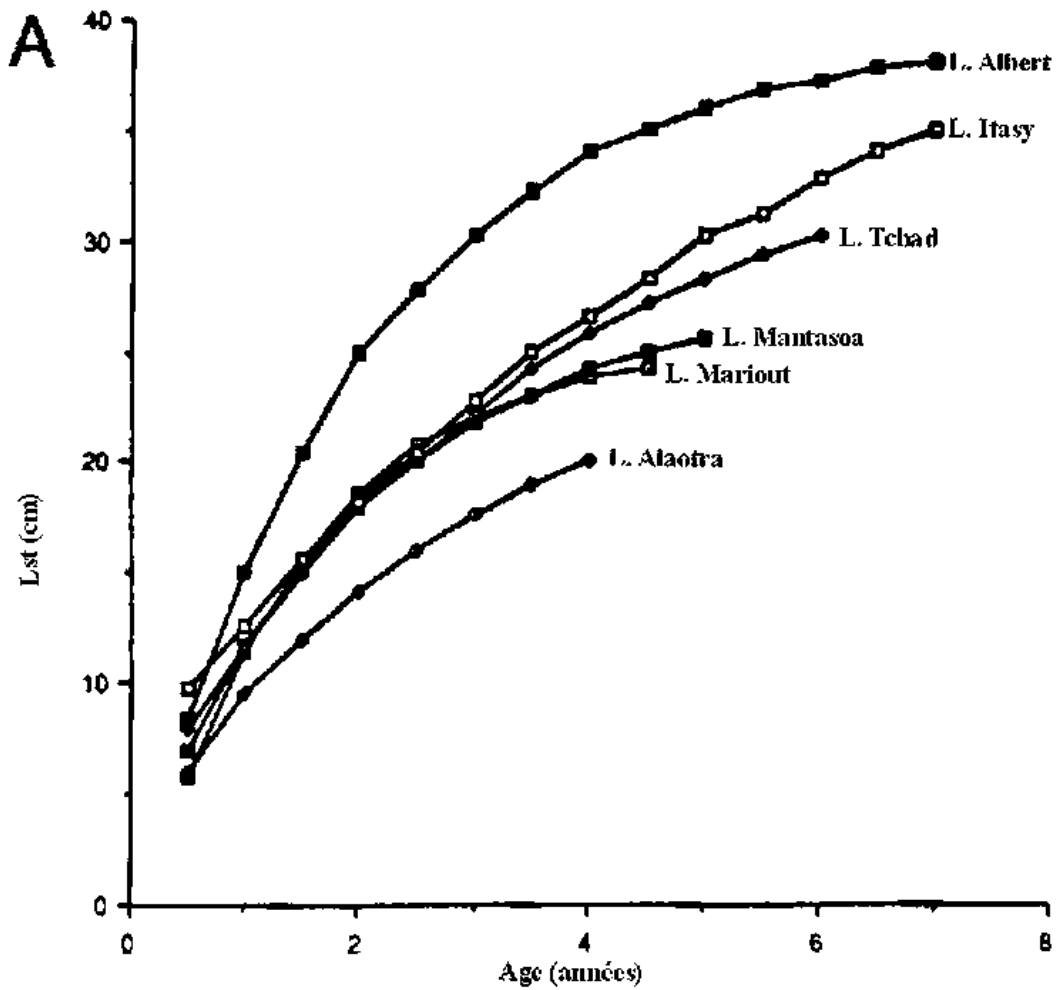


Figure 1.3. Comparaison de la croissance sexes séparés dans le lac Itasy (B) (modifié d'après MOREAU, 1979) (P: poids, Lst: longueur standard)

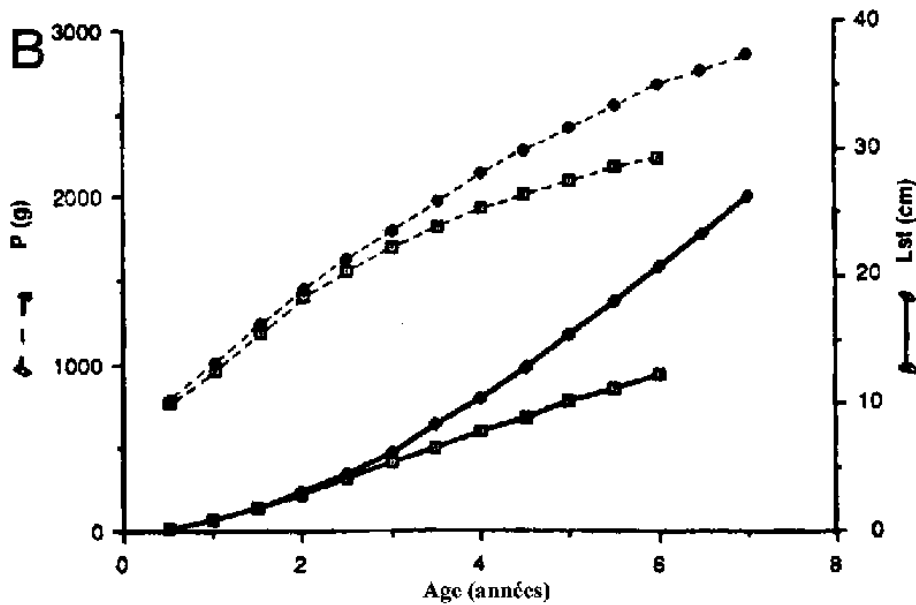


Figure 1.4. Comparaison des relations entre fécondité et poids frais chez *T. nilotica* dans deux lacs malgaches (modifié d'après MOREAU, 1979). - Lac Mantasoa

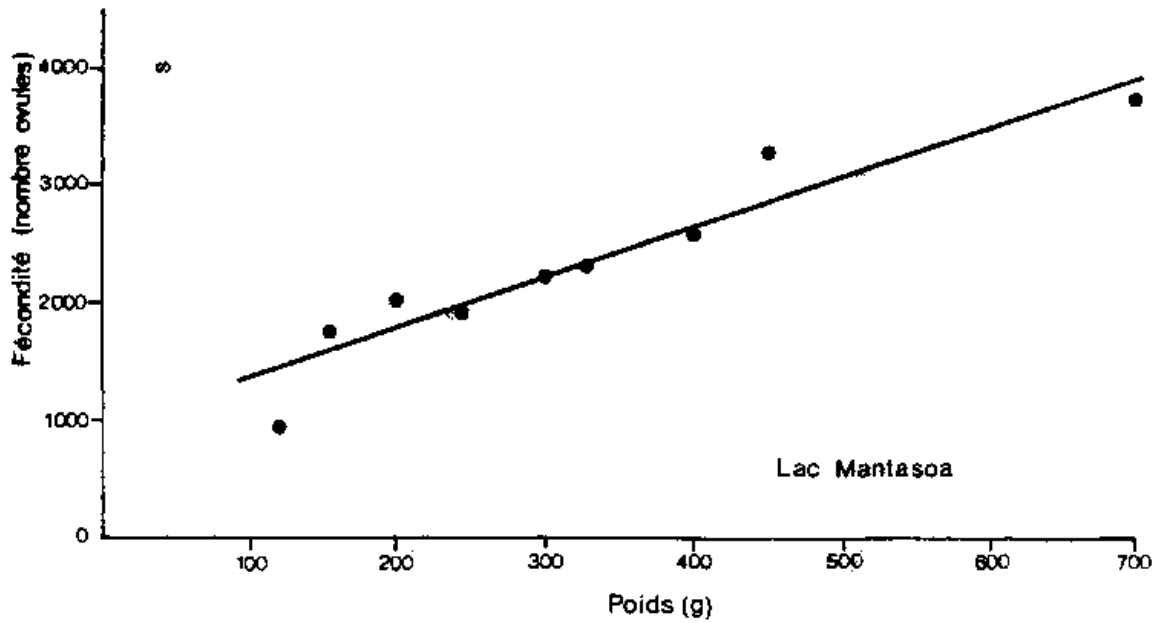
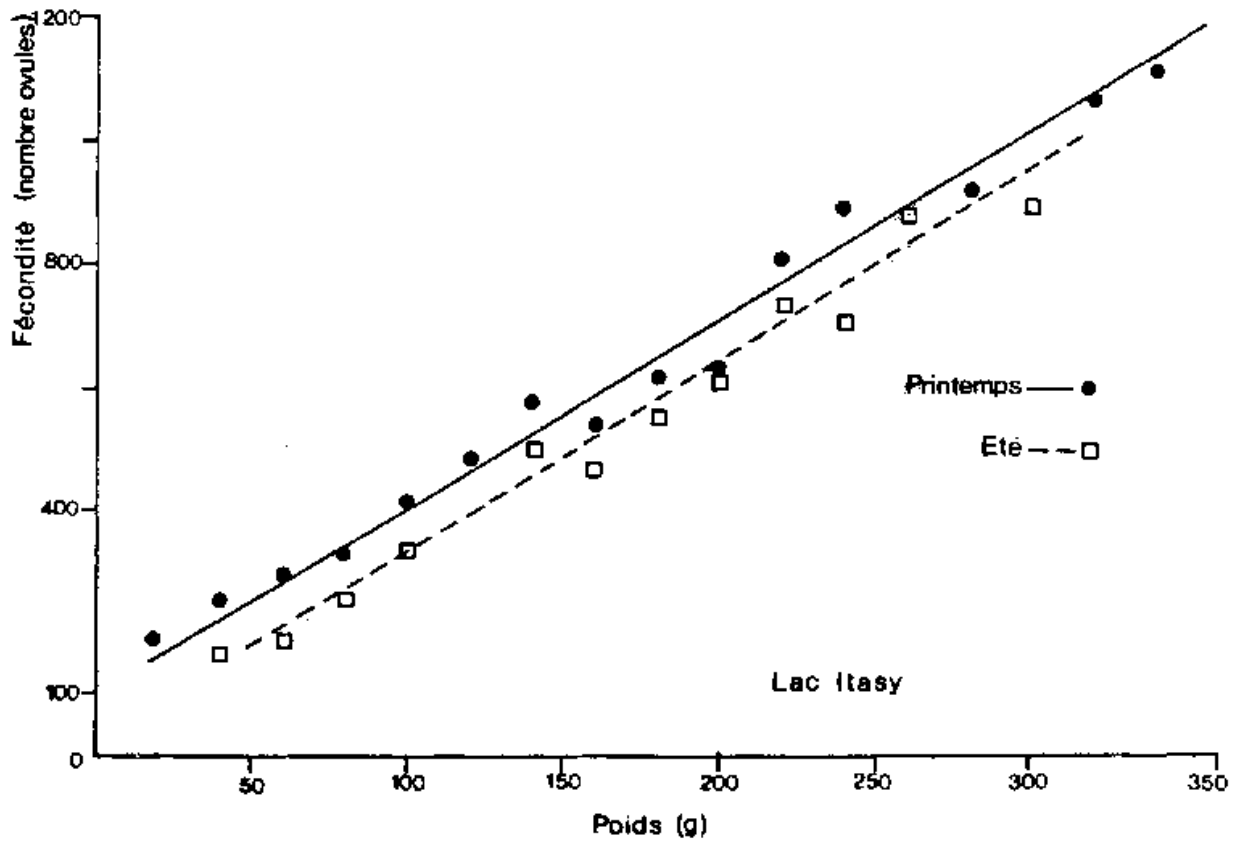


Figure 1.4. Comparaison des relations entre fécondité et poids frais chez *T. nilotica* dans deux lacs malgaches (modifié d'après MOREAU, 1979). - Lac Itasy



1.7. Dynamique de population

Il y a très peu d'études précises de la biomasse et de la production de *T. nilotica* en milieu naturel. Dans le lac George en Uganda, BURGIS et DUNN (1978) montrent que la biomasse moyenne de *T. nilotica* est de 38 kg/ha avec une production de 220 kg/ha/an soit un rapport P/B de 5.8, ce qui est très élevé et explique le dynamisme remarquable de cette espèce dans ce lac où ses captures sont de l'ordre de 111 kg/ha/an. Dans le lac Alaotra nettement moins productif, MOREAU (1979) signale une biomasse de 16.7 kg/ha avec une production de 17.7 kg/ha/an soit un rapport production sur biomasse P/B de 1.1 ce qui est nettement plus faible que dans le lac George.

2. Techniques actuelles de reproduction et d'alevinage

La reproduction et l'alevinage de *T. nilotica* sont actuellement réalisés dans des systèmes d'élevage et selon des niveaux d'intensification très variables, dépendant des conditions topographiques, physico-chimiques, et socio-économiques de la région. Les différentes techniques utilisées jusqu'à présent sont présentées selon le milieu dans lequel elles sont développées, à savoir:

- les étangs de pisciculture,
- les hapas et les cages,
- les tanks artificiels (bassins), raceways et arènes,
- les hapas en tanks,
- les aquariums d'expérimentation.

2.1. Reproduction et alevinage en étangs

2.1.1. Rappel général sur les étangs de pisciculture

L'étang de pisciculture est une pièce d'eau artificielle peu profonde, de dimension variable, qui dépend de l'homme qui l'assèche, la remplit et l'aménage selon sa volonté pour l'élevage contrôlé du poisson. Toutefois, toute pièce d'eau existante ne convient pas nécessairement pour la pisciculture, car celle-ci doit répondre à un certain nombre de critères.

2.1.1.1. Importance du choix du site

Trois critères fondamentaux sont à prendre en considération: la disponibilité en eau et sa qualité, la nature et la topographie du terrain ainsi que les facteurs socio-économiques de la région.

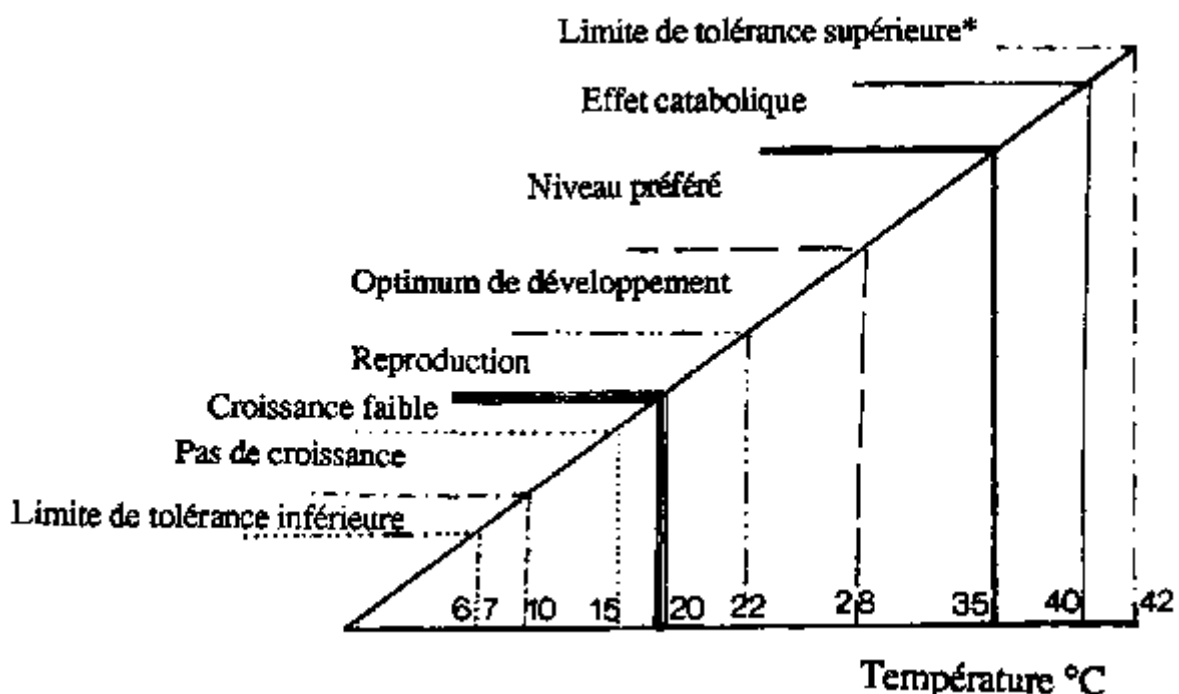
Disponibilité en eau

Il est en effet nécessaire de disposer toute l'année d'une quantité d'eau suffisante pour remplir les étangs et compenser les pertes par suintements, infiltration et évaporation. HUET (1970) signale qu'en régions tropicales, l'évaporation peut atteindre 2.5 cm par jour, ce qui nécessite un débit de 3 litres/seconde à l'hectare pour la seule compensation de l'évaporation. La quantité d'eau minimale requise pour un établissement piscicole est également fonction de l'intensification de l'élevage. En élevage extensif, on ne prendra en compte que la quantité d'eau nécessaire pour compenser les pertes. En élevage intensif, il faut avant tout se baser sur les exigences respiratoires du poisson. Ceci nous amène au problème de la qualité de l'eau qui ne doit pas être polluée (attention aux prises d'eau à l'aval des villes et villages).

Dans l'ensemble, la qualité de l'eau d'alimentation de la pisciculture de *T. nilotica* devra correspondre aux préférences physico-chimiques signalés au tableau 2.1.

Dans la plupart des cas, la tolérance de ce tilapia est très élevée, la survie des poissons étant observée aux valeurs extrêmes signalées. La reproduction et la croissance nécessitent par contre des conditions plus strictes (figure 2.1). D'autre part, certains paramètres tels que l'alcalinité ou la turbidité, s'ils n'ont pas de conséquence directe sur la survie des poissons, joueront toutefois un rôle important en agissant sur la productivité de l'étang. Ainsi, les eaux claires, de pH neutre ou légèrement alcalin peu chargées en azote ammoniacal, sont les plus aptes à la pisciculture.

Figure 2.1. Limites de tolérance et préférence thermiques pour la reproduction et la croissance des tilapias (d'après BALARIN et HALLER, 1982; * d'après DENZER, 1967).



Choix du terrain

La topographie originelle du terrain doit présenter une certaine pente (2-3%) pour équilibrer les déblais et remblais et permettre le remplissage et la mise à sec des étangs selon les besoins du pisciculteur. L'alimentation en eau et la vidange de l'étang par simple gravité est indispensable. Le remplissage de l'étang par pompage est fortement déconseillé et ne peut être envisagé que pour de petites superficies et de façon ponctuelle car il augmente les coûts de production et rend le pisciculteur dépendant d'un matériel sophistiqué et onéreux.

La nature du terrain sera de préférence argileuse pour limiter les infiltrations d'eau. A la limite, on construira des digues avec des noyaux d'argile selon les techniques classiques. En aucun cas, on ne construira des étangs dans des zones très caillouteuses et/ou très sablonneuses.

Facteurs socio-économiques

- Ces facteurs sont importants à considérer lors du choix de la zone d'implantation d'une pisciculture.

- Y-a-t-il un marché pour son produit et quelles sont la nature, la taille et la situation de ce marché?

- Y-a-t-il des industries agricoles à proximité et les sous-produits de ces industries peuvent-ils être utilisés comme fertilisants et/ou comme nourriture pour les poissons?

De même, la surface de la pisciculture et la quantité de production d'alevins à produire doivent être fonction de l'économie agricole locale.

Bien que ces considérations semblent évidentes, il est surprenant de voir à quel point les facteurs économiques ont souvent été et sont toujours peu ou non considérés lors de l'installation d'une ferme piscicole.

Tableau 2.1. Limites de tolérance et préférendum physico-chimique de *Tilapia nilotica*.

| Paramètres | Limites de tolérance | Remarques | Références |
|-------------------|-----------------------------|--|-----------------------------------|
| Température (°C) | 6.7 - 42 | Valeurs extrêmes lors d'acclimatation progressive | DENZER, 1967 LEE, 1979 |
| | 21 - 30 | Température requise pour le développement des caractères sexuels secondaires et la reproduction. | HUET, 1970 FRYER et ILES, 1972 |
| | | Température de croissance | LIETAR, 1984 |
| Oxygène (mg/l) | 0.1 | Survie quelques heures en respiromètre | MAGID et BABIKER, 1975 |
| | 2-4 | Survie des alevins | WELCOMME, 1967 |
| | < 25% de saturation | Réduction dans la vitesse de croissance | RAPPAPORT et al, 1976 |
| Salinité (‰) | < 29 | Reproduction possible en eaux | KIRK, 1972 |

| | | | |
|--------------------------------------|--|--|-------------------------|
| | | naturelles concentration létale | |
| | 12.5 | déterminée expérimentalement | PUKUSHO, 1969 |
| pH | 5 - 11 | Limites de tolérance | CHERVINSKI, 1982 |
| | 7 - 8 | Valeurs recommandées pour l'élevage. | HUET, 1970 |
| Alcalinité (mg/l CaCO ₃) | < 175 | Action indirecte via la productivité de l'étang | HUET, 1970 |
| Turbidité (mg/l) | Tolérance aux valeurs très élevées 13000 | Action indirecte via la productivité de l'étang | OKORIE, 1975 |
| | | Hyperplasie des branchies | MORGAN, 1972 |
| NH ₃ -N (mg/l) | < 2.3 | Valeurs létales | BALARIN et HALLER, 1979 |
| | < 0.5 | Au-delà, affections des branchies et mortalité si chute d'O ₂ ou manipulations fréquentes des poissons. | |
| NO ₂ -N (mg/l) | < 2.1 | Concentration létale (CL 50) au-delà de 2.1 mg/l. | BALARIN et HALLER, 1982 |

2.1.1.2. Caractéristiques requises pour les étangs

Les différentes étapes de la construction des étangs ont été largement décrites par HUET (1970), BARD *et al* (1971), USUI (1974), CHEN (1976) et SMITH *et al* (1985).

Pour rappel, la construction de digues, ou le creusement de l'assiette de l'étang sera effectué de telle sorte que la profondeur minimale soit toujours supérieure à 0.5 m afin d'éviter l'envahissement par la végétation. Des profondeurs maximales de 1.5 à 2 m au niveau du moine évitent l'apparition d'un hypolimnion et permettront aux poissons d'échapper aux effets nocifs des variations thermiques sans nécessiter pour autant la construction de digues trop importantes.

En ce qui concerne les étangs de dérivation, il est impératif que l'étang puisse se remplir et se vider en toutes saisons par simple gravité.

- Le niveau d'eau maximum dans l'étang doit se situer légèrement en-dessous de celui du fond du canal d'alimentation (0.30 m au minimum).

- Le point de vidange de l'étang doit se situer au-dessus du niveau des plus hautes eaux de la rivière pour permettre la pêche par vidange, quelle que soit la hauteur d'eau.

- Le canal d'alimentation doit être relié au cours d'eau par l'intermédiaire d'une prise d'eau (tuyau ou vanne noyée) disposée à contre courant afin d'éviter le transport des matériaux charriés par la rivière. Les prises d'eau individuelles des étangs sont alors branchées sur le canal d'alimentation et ne doivent répondre qu'à deux exigences, à savoir:

- assurer un débit régulier, à l'aide d'une vanne, d'une série de planchettes ou d'un tuyau inclinable,

- empêcher l'entrée de poissons dans l'étang. Un grillage ou un système de bac de protection permet également d'éviter l'arrivée de poissons prédateurs.

- Le fond ou assiette de l'étang doit être couvert d'un réseau de rigoles ou fossés de vidangé disposés en "arêtes de poisson", permettant une mise à sec complète. A chaque vidange, il est nécessaire d'entretenir ces fossés en les recreusant et en évacuant les vases accumulées.

- L'appareil de vidange: le meilleur dispositif de vidange est celui qui comporte un moine. Le moine, de préférence en béton, doit être construit à l'endroit le plus profond de l'étang et de préférence le plus loin possible de l'arrivée d'eau. Dans les petits étangs (< 4 ares), on peut supprimer le moine et se contenter d'une conduite d'évacuation reliée à un tuyau inclinable permettant de régler le niveau d'eau et la vidange de l'étang. Afin d'éviter le braconnage par vidange de l'étang, ce simple tuyau inclinable sera placé à l'intérieur de l'étang et non dans le canal de vidange. Quel que soit le système de vidange utilisé, une pêcherie, une caisse ou un filet de capture doit être installé à la sortie du tuyau d'évacuation du moine.

- La digue, réalisée à partir de matériaux imperméables (idéalement de l'argile) doit dépasser la ligne de flottaison de 30 cm et présenter une largeur d'au minimum un mètre à son sommet. Elle doit également être protégée contre l'érosion en la plantant de boutures de graminées rampantes telles que *Paspalum* spp ou *Cynodon* spp. Il faut cependant bien constater que la production aquacole en Asie (Chine, Inde, Thaïlande etc...) qui correspond probablement à la partie la plus dynamique et la plus rentable de la production mondiale s'obtient en étangs non conformes à ces critères.

2.1.2. Méthode de production d'alevins en étang

2.1.2.1. Elevage mixte ou par classes d'âges mélangées

La méthode mixte consiste en l'élevage simultané dans un seul étang d'un mélange de poissons de toutes tailles. Elle est généralement réalisée dans de grands étangs, d'un minimum de 10 ares, mais couvrant le plus souvent 50 ares à quelques hectares. Les étangs sont équipés des systèmes classiques d'adduction, de contrôle et d'évacuation des eaux.

Avant d'entamer la description de cette méthode, il est important de signaler qu'elle ne constitue pas en soi une technique de production d'alevins, mais bien de poissons de consommation, trouvant son intérêt en tant que méthode simple de pisciculture rurale. Elle est présentée dans le cadre de cet ouvrage, car elle constitue un mode de production de tilapias qui a largement été pratiquée jadis en Afrique, fournissant, au moment de la vidange, une part importante de petits poissons destinés à la mise en charge de nouveaux étangs. Cette méthode est toutefois actuellement abandonnée et l'on n'utilise plus que des alevins d'âge connu, produits en étangs de ponte et d'alevinage, pour la mise en charge d'étangs de production.

2.1.2.1.1. Mélange permanent des âges

Cette méthode, mise au point au Katanga (= Shaba) à la station de la Kipopo au Zaïre avec les espèces *T. macrochir* et *T. rendalli*, réalise en permanence l'alevinage et la production dans le même étang (DE BONT, 1950, HUET, 1957). La mise en charge est effectuée à partir de poissons de tous âges, depuis l'alevin jusqu'au reproducteur, et à une densité relativement élevée, de l'ordre de 100 à 500 kg/ha, ou même davantage jusqu'à 1000 kg/ha (DE BONT, 1950). Après trois à quatre mois, la charge de l'étang devient voisine de sa capacité biotique. On la maintient à ce niveau par des pêches intermédiaires. Après huit à douze mois, l'étang est vidé et on récolte tout le poisson. On prélève sur la récolte la quantité de poissons de toutes

tailles nécessaire à une nouvelle mise en charge, le reste étant livré à la consommation (HUET, 1970).

Le grand avantage de cette méthode est sa simplicité. Si les poissons sont bien alimentés artificiellement, elle permet des productions élevées pouvant atteindre plusieurs tonnes/ha/an, mais la reproduction précoce des tilapias amène rapidement une surpopulation en jeunes sujets.

Attendu que l'on recharge l'étang avec des poissons de toutes tailles, y compris ceux de mauvaise croissance, la méthode va à rencontre de l'amélioration génétique. Pour y remédier, il faut renouveler périodiquement la source des poissons de stockage.

2.1.2.1.2. Mélange temporaire des âges

Une variante de cette méthode consiste à mélanger temporairement les classes d'âges. La mise en charge est effectuée à une densité de 1000 à 30000 individus/ha, dont le poids moyen est voisin de 15 grammes. LIETAR (1984) rapporte des mises en charge de 2 alevins de 10g/m². De sept à dix mois plus tard, on récolte en séparant mécaniquement ou manuellement les poissons de poids supérieur et inférieur à 40 g. Cette méthode permet une production de 1.7 à 4.4t/ha/an (tableau 2.2) mais présente le même inconvénient que la précédente, à savoir l'absence de contrôle de la population qui peut quintupler en l'espace de 7 à 9 mois (MICHA, 1974). D'autre part, la quantité d'alevins produits représente presque toujours 50% du poids total des poissons récoltés à la vidange. Il semble que ces densités ne puissent guère augmenter, car, à ce stade, on constate un certain cannibalisme responsable de l'autolimitation de la population (FRYER et ILES, 1972, MICHA, 1974).

Cette technique ne peut toutefois pas être préconisée comme méthode de production d'alevins, le nombre d'alevins produits oscillant entre 0.46 et 1.23 individus/m²/mois, valeurs nettement inférieures à celles obtenues avec des méthodes plus élaborées utilisant des classes d'âge séparées. D'autre part, HEPHER et PRUGININ (1982) signalent judicieusement que l'âge des poissons est un facteur important à considérer et qu'il est primordial d'utiliser des alevins récemment éclos (et donc d'âge connu) plutôt que des poissons de petite taille, atteints de nanisme et se reproduisant de façon précoce.

Cependant, LIETAR (1984) indique que, dans l'optique d'une production de *Tilapia nilotica* par la méthode mixte, la quantité d'alevins produite durant la phase d'élevage précédente est généralement suffisante. Or, dans de nombreux cas, on observe un problème d'approvisionnement en alevins provenant du fait que le pisciculteur vend, pour la consommation, une part trop importante de ces poissons de petite taille et n'en garde pas suffisamment pour son propre réempoissonnement.

2.1.2.2. Elevage par classes d'âges séparées

La méthode de production d'alevins de *T. nilotica* par classes d'âge séparées consiste à réaliser l'alevinage et le grossissement dans plusieurs étangs. Deux techniques sont généralement utilisées: soit l'emploi d'un étang de reproduction servant à la fois d'étang-frayère et d'alevinage (jusqu'à l'obtention de poissons d'environ 30 g), soit l'emploi d'un étang de reproduction et de premier alevinage (jusqu'à l'obtention d'alevins de 0.5 à quelques g.) suivi de l'utilisation d'un étang de prégrossissement visant la production de "fingerlings" (gros alevins de 20 à 30 g), cette dernière pouvant être elle-même subdivisée, dans des étangs

séparés, en une production d'alevins prégressis de 4 à 5 g et une production de "fingerlings" à partir d'alevins prégressis.

Quelle que soit la technique utilisée, les étangs de reproduction et d'alevinage sont installés en dérivation, afin d'éviter l'introduction d'espèces étrangères indésirables (*T. zillii*) et particulièrement de prédateurs tels que *Hemichromis fasciatus*, *H. bimaculatus*, *Clarias spp*, etc...

Afin de maintenir une population standard de géniteurs de référence et éviter ainsi une dérive génétique avec les conséquences néfastes des croisements consanguins, un nombre minimum de géniteurs effectifs de 390 à 500 individus, soit 195 à 250 couples, a été établi par SMITHERMAN et TAVE (1987). Ce nombre peut toutefois être réduit à 100-150 individus dans le cas d'une pisciculture de taille modérée. La période la plus productive des géniteurs se maintient pendant les 18 premiers mois d'activité sexuelle (RANA, 1988) ce qui signifie qu'après environ 2 ans de reproduction il est préférable de renouveler le stock de géniteurs.

2.1.2.2.1. Etangs de reproduction

Surface des étangs et densité de mise en charge

Les étangs de reproduction sont de petite taille, la superficie oscillant entre 1 et 5 ares (HUET, 1970), avec une profondeur de 0.4 à 0.5 m; PLANQUETTE et PETEL (1977), ainsi que LAZARD (1984), recommandent des étangs de 4 ares, permettant une production supérieure, par unité de surface, à celle des étangs de 0.5 are. BROUSSARD *et al* (1983) signalent également l'utilisation avec succès d'étangs de superficie plus importante (0.45 ha). DE BONT (1950) préconise par contre l'emploi de petits étangs de 9 à 12 m² dans lesquels on ne déverse qu'un seul couple de géniteurs. La faible superficie de ces étangs facilite la pêche régulière des bancs d'alevins, à l'aide d'un carrelet ou d'une épuisette, dès la fin de la garde parentale. Ces petits étangs ne nécessitent ni moine, ni pêcherie puisqu'on ne les vide qu'une fois par an, éventuellement par siphonnage. Cette méthode, proposée pour *T. macrochir*, mais directement applicable à *T. nilotica* (DE BONT, com. pers.) permet une production de 200 à 300 alevins par couple de géniteurs et par mois. Il semble toutefois que la fréquence des pontes et la production d'alevins pourraient être sérieusement améliorées en installant dans ces petits étangs 4 à 6 femelles avec 2 à 3 mâles. Cela éviterait en tout cas l'absence de production par stérilité de l'un ou l'autre géniteur.

La tendance actuelle est à l'emploi d'étangs légèrement plus grands, de l'ordre de quelques arcs (planche 2.1). En étang de 4 ares, la mise en charge est effectuée à l'aide de 200 femelles (poids moyen = 150 à 300 g) et de 70 mâles (p.m = 50 à 200 g), soit une densité de 0.7 géniteurs/m² et un rapport des sexes femelle/mâle de 3:1 (LAZARD, 1986, PARREL *et al*, 1986).

Figure 2.2. Influence de la densité des géniteurs (A) sur la production d'alevins de *T. nilotica* (d'après MELARD, 1986).

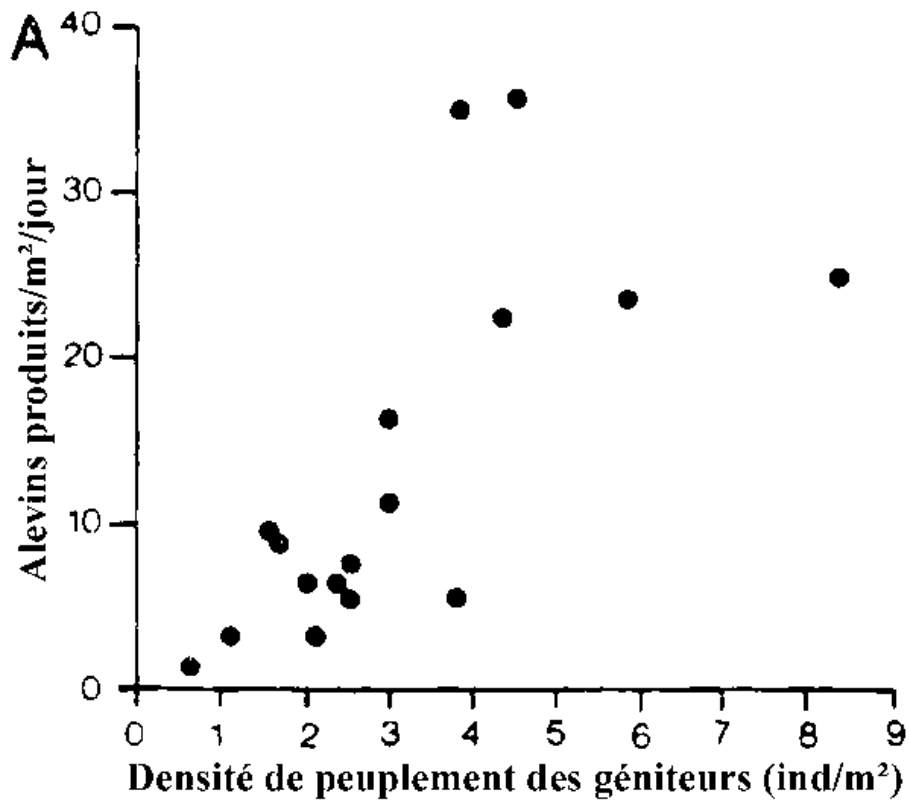


Figure 2.2. Influence du poids corporel des femelles (B) sur la production d'alevins de *T. nilotica* (d'après MELARD, 1986).

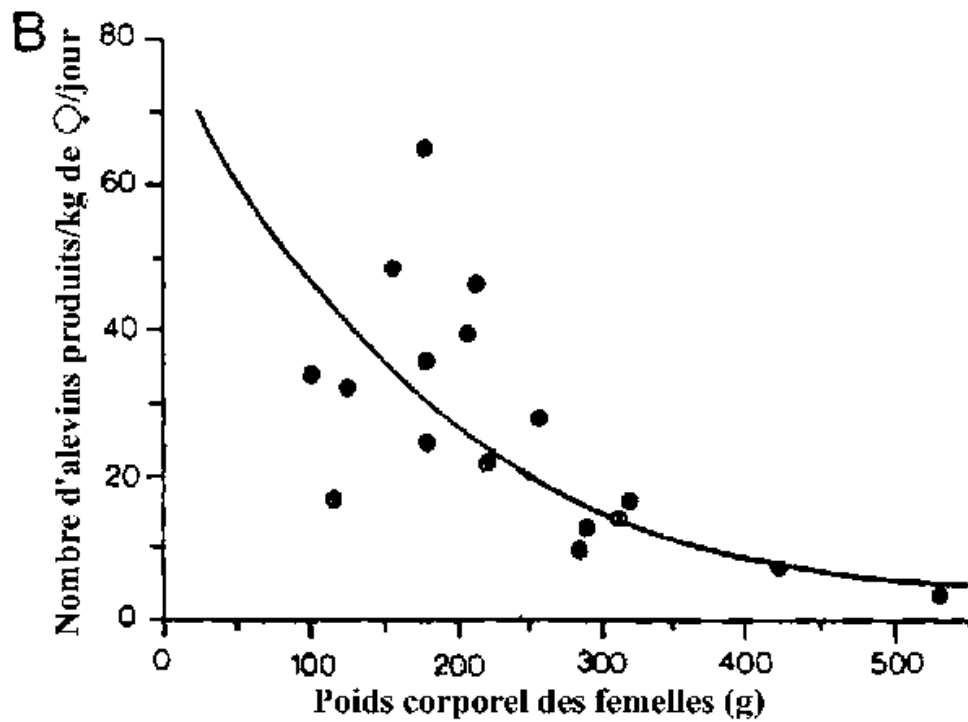


Tableau 2.2. Production de *Tilapia nilotica* nourris de drêche de brasserie, dans des étangs de 0.5 ha mis en charge avec des alevins de $\pm 15g$ (adapté d'après MICHA, 1974).

| Étang | Temps (mois) | Densité (N/ha) | | % Poids en alevins (< 40g) | Prod. totale (kg/ha/an) | Prod. alevins (ind/m ² /mois) |
|-------|--------------|----------------|---------|----------------------------|-------------------------|--|
| | | Mise en charge | Récolte | | | |
| 1 | 9.5 | 10000 | 69300 | 51.0 | 1705 | 0.46 |
| 2 | 7.0 | 20000 | 118600 | 47.8 | 2113 | 0.72 |
| 3 | 7.5 | 20000 | 122000 | 44.0 | 3999 | 1.17 |
| 4 | 8.0 | 20000 | 73900 | 53.8 | 2396 | 0.57 |
| 5 | 8.5 | 30000 | 168000 | 47.7 | 4391 | 1.23 |

La méthode traditionnelle, préconisant l'emploi de 60 femelles et 20 mâles pour un étang de 4 ares, soit une densité de 0.2 géniteur/m², ne permet pas l'obtention d'alevins en quantité suffisante (4 alevins/m²/mois). L'effet du nombre de géniteurs sur la production d'alevins (figure 2.2a et tableau 2.3) indique que la densité optimale de géniteurs est de l'ordre de 0.7 à 4 individus/m². GUERRERO (1985) signale également qu'aux Philippines, la densité des géniteurs peut être portée à 4 individus/m² (rapport femelles/mâles de 3:1) lorsqu'un apport journalier de nourriture de qualité est assuré (25% de farine de poisson et 75% de son de riz à raison de 2% de la biomasse par jour).

Tableau 2.3. Production de *T. nilotica* en fonction du nombre de géniteurs mis en charge en étang de 4 ares - 122 jours d'élevage (adapté d'après CAVAILLES, 1981).

| Densité de géniteurs (ind/m ²) | Rapport des sexes (♀/♂) | Production d'alevins | |
|--|-------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | | (ind/m ² /mois) | (g/m ² /mois) |
| 0.35 | 3 | 33.1 | 60 |
| 0.5 | 1 | 27.5 | 49 |
| 0.7 | 3 | 54.0 | 86 |
| 1.0 | 1 | 45.0 | 112 |

En étang de reproduction de plus grande taille (0.45 ha), la densité de géniteurs peut être réduite à 0.1 géniteur/m², aucune corrélation significative n'apparaissant entre le nombre d'alevins produits et le nombre ou le poids des géniteurs (BROUSSARD et al, 1983).

MELARD (1986) signale toutefois une diminution de la production d'alevins par kg de femelle, avec l'augmentation du poids moyen des femelles (figure 2.2b), cet effet négatif pouvant être attribué à 3 facteurs:

- diminution de la fécondité avec l'augmentation du poids (BABIKER et IBRAHIM, 1979)
- diminution de la fréquence des pontes avec l'augmentation du poids (LOWE MC CONNELL, 1955; MIRES, 1982).

- diminution de la fréquence de reproduction des mâles vis-à-vis des grosses femelles plus agressives (MELARD et PHILIPPART, 1981).

Généralement, l'alimentation en eau ne doit être assurée que pour compenser les pertes par infiltration et évaporation. Cependant, MIREs (1982) signale que le renouvellement d'eau a un effet favorable sur la reproduction des tilapias. De plus, il limite les importantes fluctuations thermiques journalières observées dans certaines régions (ex.: Katanga = Shaba) en saison sèche (DE BONT, 1950).

Méthodes et résultats de production

Afin d'obtenir des reproductions synchronisées, les étangs de ponte doivent être mis en charge avec des géniteurs *T. nilotica* femelles se trouvant à un stade de maturation avancée (cf état de la papille génitale; MIREs, 1982). La température de l'eau de l'étang doit être supérieure à 21°C. pour permettre le déroulement normal de la reproduction. Il est donc inutile de déverser des géniteurs en étang de ponte durant la saison froide.

Deux techniques de récolte sont généralement utilisées, soit la vidange régulière des étangs à intervalle de 60 jours, de façon à limiter la fréquence des pontes (MELARD, 1986; MELARD et al, 1989) et séparation des géniteurs et du jeune frai à l'aide de filets de mailles appropriées, soit la récolte par sennage de l'étang avec un filet non plombé à petites mailles (5-6 mm) permettant de récolter tous les alevins d'un poids moyen supérieur à 0.5 g. DE BONT (1962) signale toutefois que la pêche à la senne détruit de nombreux nids et alevins et préconise plutôt une pêche au carrelet ou à l'épervier. L'exploitation débute 30 à 60 jours après la mise en charge des géniteurs (CA VAILLES, 1981; BROUSSARD et al, 1983; LAZARD, 1984) et se poursuit à la fréquence d'une récolte tous les 15 jours.

Il convient de prélever à chaque pêche, par trois passages successifs de la senne, le maximum de la production d'alevins de la quinzaine, de façon à éviter une dérive de l'homogénéité des lots et la constitution d'une biomasse qui devient vite un facteur limitant la production d'alevins par cannibalisme et concurrence alimentaire (PARREL et al, 1986). La durée d'un cycle d'exploitation est de 120 jours soit six récoltes successives d'alevins de 0,7 g avec une baisse de l'ordre de 50% entre chaque récolte; l'étang est ensuite complètement vidangé et les géniteurs mâles (200 ind/are) et femelles (600 ind/are) séparés jusqu'à la saison suivante.

GUERRERO (1985) rapporte également des fréquences de récolte de l'ordre de 6 fois/jour, ce qui permet d'atteindre, dans des étangs de 200 m² et à une densité de 4 géniteurs/m², une production de 7-8 larves/m²/jour. Ces larves sont alors transférées en hapas (petites cages à fines mailles) durant 1 à 2 semaines, calibrées, puis déversées en étang d'alevinage (200m²).

Une technique intéressante, décrite par CAMPBELL (1985), consiste à disposer les étangs de ponte à un niveau légèrement supérieur aux étangs de premier alevinage (planche 2.1A), ce qui permet la vidange directe des premiers dans les seconds. Le stock de géniteurs est placé en étang de ponte durant 25 à 35 jours, puis récolté à l'aide d'un filet de senne à mailles de 25 mm. L'étang de ponte est alors vidangé, par gravité, dans l'étang de premier alevinage, via une conduite en PVC de 100 mm de diamètre et munie d'un grillage à mailles de 22 mm retenant les géniteurs restants tout en laissant le libre passage aux jeunes alevins.

Les résultats de production d'alevins selon les différentes techniques sont présentés aux tableaux 2.4 et 2.5. Bien que de nombreux facteurs varient simultanément (superficie, densité

et âge des géniteurs, technique de récolte), on peut toutefois remarquer un accroissement de la production d'alevins lorsque la densité en géniteurs, la qualité de l'aliment et la fréquence de récolte augmentent. En régions tropicales, une production de 20 à 200 alevins/m²/mois est ainsi obtenue selon les conditions d'élevage. Des valeurs très élevées, de l'ordre de 1000 alevins/m²/mois (tableau 2.4) ont également été rapportées par MELARD *et al* (1989) lors d'un apport de nourriture de haute qualité (46% protéines brutes).

Recommandation

Sur base de ces informations diverses, parfois contradictoires, et d'après les résultats de production de divers pisciculteurs, il semble recommandable de préférer l'utilisation d'étangs de 2 à 4 ares avec une densité de mise en charge de l'ordre de 1 à 4 géniteurs par m² de taille plus ou moins semblable (100 à 300 g) avec des mâles légèrement plus gros que les femelles, dans un rapport des sexes de 3 femelles pour 1 mâle et à condition de disposer d'un aliment complet adéquat distribué en quantité suffisante. Dans ces conditions, on peut s'attendre à une production d'alevins de l'ordre de 10 à 100 ind/m²/mois lors de vidange mensuelle de l'étang, voir de 20 à 200 ind/m²/mois par sennage bihebdomadaire.

Tableau 2.4. Production d'alevins de *T. nilotica* par classes d'âge séparées, selon la technique des étangs de ponte.

| Superf. Etang (m ²) | Durée* élevage (j) | Densité géniteurs (ind/m ²) | Rapport des sexes (♀/♂) | Type d'aliment | Production d'alevins (ind/m ² /mois) (g/m ² /mois) | | Références |
|---------------------------------|--------------------|---|-------------------------|----------------|--|-----|--------------------------|
| 100 | 30 | 0.02 | 1 | - | 6.7 | - | THEREZIEN, 1968 |
| 50 | 150 | 0.24 | 3 | S.R | - | 73 | PLANQUETTE et |
| 50 | 150 | 0.4 | 1 | S.R | - | 70 | PETEL, 1977 |
| 400 | 150 | 0.2 | 3 | S.R | - | 88 | |
| 400 | 150 | 1.5 | 1 | S.R | - | 56 | |
| 600 | - | 0.5 | 5 | Gr | 4.2 | - | CAMPBELL, 1978a |
| 400 | 126 | 0.2 | 3 | F.R | 12.5 | 55 | CAVAILLES, 1981 |
| 200 | 39 | 2.0-3.0 | 5 | Gr | 111 | 185 | CAMPBELL, 1985 |
| 10 | 60 | 3.0-4.3 | 2.8 - 4.4 | Gr | 501-1050 | - | MELARD <i>et al</i> 1989 |
| 150 | 60 | 0.6-2.5 | 2.1 - 4.6 | Gr | 54-285 | - | MELARD <i>et al</i> 1989 |

* durée d'élevage = intervalle de temps entre 2 vidanges.

S.R = son de riz, F.R = farine de riz brute, Gr = granulés (46% de protéines brutes)

Tableau 2.5 Production d'alevins de *T. nilotica* selon la technique des étangs de ponte, avec récoltes intermédiaires à la senne ou à l'épuisette.

| Superf. étang (m ²) | Durée élevage (j) | Intervalle * entre 2 réc. (j) | Densité s géniteur (ind/m ²) | Rapport des sexes (♀/♂) | Type d'aliments | Production d'alevins (ind/m ² /mois) | Production d'alevins (g/m ² /mois) | Références |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|--|-------------------------|-----------------|---|---|-----------------------|
| 400 | 98 | 14 | 0.2 | | FR | 25.6 | 82 | CAVAILLE S, 1981 |
| 400 | 74 | 21 | 0.2 | 3 | FR | 15.2 | 70 | |
| 400 | 88 | 28 | 0.2 | 3 | ER | 23.0 | 108 | |
| 400 | 122 | 15 | 0.7 | 3 | FR+TC | 54.0 | 86.4 | |
| | | | | | 50% 50% | | | |
| 4500 | 250 | 30 | 0.16 | 3 | -** | 8.0 | 34.5 | BROUSSARD et al, 1983 |
| 350 | 120 | 15 | 0.7 | 3 | SR+TA | 45.4 | 32 | LAZARD, 1984 |
| 200 | 45-60 | 0.16 | 4 | 3 | SR+FP | 200-250 | | GUERRERO, 1985 |
| | | (6fois/j) | | | 75% 25% | | | |
| 200 | 45 | 1 | 1 | 4 | SR | 80-100 | - | |
| 350 | 120 | 15 | 0.7 | 3 | SR+TA | 44.3 | 31 | PARREL et al, 1986 |
| 1000 | 180 | 7 | 0.8-1.0 | 3 | G | 52 | 46.8 | POPMA et al, 1986 |
| ±2000 | 180 | 60-90 | 0.4 | 3 | G | | | LOVSHIN et al, 1986 |
| 4000 | 180 et + | 30 | 0.1-1 | ±1 | - | 2.2 | - | MOEHL, Com. pers. |

* La première récolte par sennage débute 30 à 60 jours après la mise en charge des étangs.

** Uniquement fertilisation organique et minérale.

FR: farine brute de riz, SR: son de riz, TA: tourteau d'arachide, TC: tourteau de coton,

PP: farine de poisson.

2.1.2.2.2. Etangs de prégrossissement

Surface et densité de mise en charge

Ces étangs sont destinés soit à la production d'alevins prégrossis (4 à 5 g) à partir de larves (pm < 0.5 g), soit à la production de poissons de 20 à 30 g à partir d'alevins de 0.5 à 5g.

La surface des étangs de prégrossissement est généralement comprise entre 4 et 10 à 15 ares et la densité de mise en charge est fonction de la taille finale du poisson que l'on veut produire ainsi que des possibilités de fertilisation ou de nourrissage complémentaire. La qualité de

l'aliment distribué joue également un rôle essentiel sur la densité de mise en charge de l'étang. Plus l'aliment utilisé est élaboré, plus les densités peuvent être élevées et les rendements obtenus importants. VAN DER LINGEN (1959) signale que, pour une même période d'élevage et dans les mêmes conditions de nourrissage (alimentation naturelle, fertilisation, fertilisation et nourrissage complémentaire), le rendement par unité de surface dépendra de la biomasse initiale de mise en charge et non de la densité de poisson.

Il recommande donc de considérer, avant tout, la biomasse de mise en charge en fonction des capacités de production de l'étang. HEPHER et PRUGININ (1982) signalent toutefois qu'une mise en charge basée sur le poids peut conduire au nanisme de la population lorsque le poids moyen des alevins déversés est faible.

Le prégrossissement des alevins de 0.5 jusqu'à 5 g peut être effectué à une densité de 50 à 100 individus/m² (HOLL, 1983; PARREL et al, 1986) alors que la production d'alevins de 20 à 30 g sera réalisée à une densité de 15 à 60 individus/m² selon le renouvellement d'eau et le niveau d'alimentation.

Si une fertilisation et une alimentation complémentaire sont assurées, les densités de mise en charge en jeunes alevins peuvent atteindre 200 à 400 individus/m².

Méthodes et résultats de production

La production d'alevins (20-30 g) varie fortement selon le schéma de production adopté, la densité d'élevage, la qualité et le taux d'alimentation. Les tableaux 2.6 et 2.7 présentent les résultats de production sous différentes densités de mise en charge et sous différents régimes alimentaires. La survie des alevins est généralement très élevée, de l'ordre de 90% ou plus. PARREL *et al* (1986) rapportent toutefois des taux de survie plus faibles (=75%) qu'ils attribuent aux conditions d'oxygène dissous parfois limités durant la saison chaude. A hautes densités d'élevage (100 à 200 alevins de 1,7g/m²), le cannibalisme peut également être important et diminuer considérablement le taux de survie de la population (CAMPBELL, 1985). La survie des alevins est également plus faible lorsque les essais de prégrossissement concernent des poissons de petite taille (< 1g). Environ 30 jours d'élevage sont nécessaires pour l'obtention d'alevins prégrossis (4 à 5 g) à partir de jeunes alevins de 0.5 g. L'obtention d'alevins de 20 à 30 g à partir d'alevins prégrossis nécessite généralement deux à trois mois supplémentaires, la durée d'élevage pouvant être réduite à environ 1 mois lorsque celui-ci est réalisé à faible densité (3 alevins/m²) (tableau 2.7).

Tableau 2.6 Production d'alevins prégrossis ou de fingerlings de *T. nilotica* en étang de prégrossissement, à partir de jeunes alevins (pmi < 1g).

| Superf. Etang (m ²) | Durée élevage (j) | Densité (ind/m ²) | Pmi (g) | Pmf (g) | Type d'aliment | Rend. (g/m ² /j) | Survie (%) | Références |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|---------|---------|-------------------|-----------------------------|------------|--------------------|
| 350 | 150 | 26 | 0.50 | 22.0 | F1 | 3.3 | 86 | LAZARD, 1984 |
| 350 | 35 | 66 | 0.27 | 4.7 | F1 | 6.3 | 76 | PARREL et al, 1986 |
| 350 | 90 | 24 | 0.42 | 28.4 | F1 | 4.4 | 72 | |
| 150* | 30 | 50 | 0.005 | 4.2 | Algues + plancton | 7.0 | - | MELARD, 1986 |

| | | | | | | | | |
|-----------|----|----|-------|------|----------------------|-----|----|----------------------|
| 150* | 27 | 14 | 0.8 | 21.4 | Algues + plancton | 8.9 | 83 | |
| 1000-4000 | 63 | 18 | 0.8-1 | 27 | Granulés | 2.7 | - | POPMA et al, 1984 |

Pmi, f = poids moyen initial et final.

F1 = aliment composé pour alevins: 40% son de riz, 40% tourteau d'arachide, 20% farine de poisson (37% protéines brutes) (d'après LUQUET, 1985).

* important renouvellement d'eau (minimum 1 fois/jour).

Recommandation

Dans la mesure où on dispose de suffisamment d'étangs et de main d'oeuvre bon marché, il sera préférable de produire les fingerlings en deux étapes à savoir, en étangs de prégrossissement (± 2 ares) jusqu'à un poids moyen de l'ordre de 5 g, puis en étangs de grossissements (± 4 ares) jusqu'à un poids moyen de 20 à 25 g. Les densités de mise en charge seront adaptées en fonction des aliments distribués. En cas de disponibilité d'aliments composés, des mises en charge de 50 jeunes alevins/m² devraient conduire, après un mois, à une bonne récolte (80%) d'alevins prégrossis de l'ordre de 5 g. Une remise en charge avec des alevins prégrossis dans de plus grands étangs (± 4 ares) à une densité de 20 ind/m² devrait conduire, après 2 mois, à une récolte importante ($\pm 90\%$) d'alevins d'une bonne vingtaine de grammes tout à fait aptes à la mise en charge dans les grands étangs de production de poissons pour la consommation.

2.1.2.2.3. Production d'alevins monosexes mâles

La production de *Tilapia nilotica* de consommation est de plus en plus souvent réalisée à partir de population monosexes mâles, de façon à éviter les reproductions incontrôlées et indésirables et à obtenir de meilleurs rendements, étant donné que les mâles grandissent plus rapidement que les femelles (PRUGININ, 1967; SHELL, 1967; HICKLING, 1968; MICHA, 1974; MIRES, 1982). Trois techniques sont habituellement utilisées pour produire des populations monosexes mâles: la séparation des sexes, les hybridations interspécifiques et l'inversion hormonale du sexe.

La première consiste à élever les alevins jusqu'à un stade sexuellement différencié, ce qui permet de sexer les poissons par examen de la papille uro-génitale. Cette méthode est toutefois laborieuse et des erreurs de sexage sont régulièrement commises lorsqu'on travaille sur des quantités importantes de poissons. Elle représente également un gaspillage de surface, d'eau et d'aliment puisque les femelles ne sont éliminées que lorsqu'elles atteignent la maturité sexuelle (ROTHBARD et al, 1983).

L'hybridation de plusieurs espèces de tilapia (par exemple: *T. nilotica* ♀ × *T. aurea* ♂?) conduit à une progéniture caractérisée par une proportion élevée (90 à 100%) de mâles (HICKLING, 1960; PRUGININ et al, 1975; BALARIN et HALLER, 1982; MIRES, 1982). Le principal désavantage de cette méthode est la nécessité de maintenir une souche pure de géniteurs. Dans le cas contraire, ce qui est fréquent, la proportion de mâles dans la descendance s'écarte fortement des 100% attendus. Dans cet ouvrage limité nous n'aborderons pas le problème de la production d'hybrides.

La technique d'inversion hormonale du sexe, démontrée pour la première fois chez *Oryzias latipes* (YAMAMOTO, 1953, 1958, 1959), consiste à obtenir une population d'individus phénotypiquement identiques par administration de stéroïdes sexuels, à des doses et selon des moments, des modes et des temps d'administration propres à chaque espèce. Ainsi avec les androgènes, les alevins génotype femelle sont amenés à se développer comme des mâles fonctionnels, ce qui conduit à l'obtention d'une population à phénotype 100% mâle.

Ce traitement aux androgènes a conduit à des résultats très intéressants chez plusieurs espèces de tilapia et peut être considéré comme une technique fiable et économiquement rentable (SHELTON et al, 1978; ROTHBARD et al, 1983; GUERRERO et GUERRERO, 1988). La production d'alevins monosexes doit être réalisée en conditions intensives en hapas, en cages ou en tanks pour que les alevins ne puissent absorber d'autres nourritures que l'aliment artificiel dans lequel on a incorporé de la méthyltestostérone (60 mg/kg). Ce traitement doit être appliqué depuis l'éclosion jusqu'à l'âge de 3 à 4 semaines.

Tableau 2.7. Productions de fingerlings de *T. nilotica* à partir d'alevins prégressis (pmi: 2 à 5g).

| Superf. étang (m ²) | Durée | Densité (ind/m ²) | Pmi élevage | Pmf (g) | Type d'aliment | Rendem. (g/m ² /j) | Survie (%) | Références |
|---------------------------------|-------|-------------------------------|-------------|------------|-----------------------|-------------------------------|------------|---------------------------|
| 400 | 35 | 3.25 | 5.6 | 46.1 | farine poule | 3.4 | 90 | PLANQUETTE et PETEL, 1976 |
| 400 | 35 | 3.25 | 5.2 | 29 | SR | 2.0 | 91 | |
| 400 | 35 | 3.25 | 5.4 | 19 | TP | 1.1 | 89 | |
| 400 | 35 | 3.25 | 4.8 | 36.5 | DB | 1.9 | 70 | |
| 400 | 65 | 15 | 5 | 27 | SR+TC | 4.1 | 90 | LAZARD, 1984 |
| | | | | 50% 50% | | | | |
| 50 | 84 | 60 | 2.5 | 19.5 | F2 | 11.5 | 96 | |
| 350 | 67 | 24 | 2.2 | 20 | F2 | 4.8 | 79 | |
| 400 | 90 | 60 | 2.5-3 | 20 | F2 | 10.9 | 96 | VINCKE, 1985 |
| 1300 | 75 | 15 | 5.6 | 20.1 | -** | 2.7 | 95 | BROUSSARD et al, 1983 |
| 1300 | 75 | 23 | 2.4 | 9.4 | -** | 2.7 | 99 | |
| 600 | 90 | 30 | 1.6 | 18.5 | -** | 5.7 | - | |
| 150* | 35 | 34.5 | 2.2 | 13.6 | Al + Pl + far. Truite | 10.8 | 95.1 | MELARD, 1986 |
| 150* | 45 | 21 | 4.3 | 31.6 | Al + PI + far. Truite | 10.8 | 84.3 | |

* important renouvellement d'eau (minimum 1 fois/jour)

** uniquement fertilisation organique et minérale

SR: son de riz, TC: tourteau de coton, TP: tourteau de palmiste, DB: drêche de brasserie, Al + PI: algues + plancton.

F2: aliment composé: 20% farine basse de riz, 60% tourteau de coton et 20% farine de poisson.

Gestion des étangs de reproduction

ROTHBARD *et al* (1983) proposent une gestion de l'étang de reproduction en concordance avec le cycle de reproduction des tilapias en étangs (tableau 2.8). Des vidanges sont effectuées à intervalle de 17-19 jours. Les jeunes alevins (5 à 11 mm) sont récoltés à l'aide de filets à fines mailles (filets-moustiquaire) et séparés des géniteurs. Ils sont ensuite stockés en tanks afin d'être soumis aux traitements hormonaux. Chaque femelle est contrôlée individuellement et les oeufs en incubation buccale sont prélevés et placés en carafe jusqu'à la fin de l'incubation. Directement après la récolte, l'étang est empoisonné par pulvérisation de roténone pour éradiquer les poissons et remis sous eau le jour suivant en vue d'une nouvelle phase de reproduction.

Traitement hormonal des alevins

Les stéroïdes androgènes du type de la 17α -méthyltestostérone (MT) et de la 17α -éthynyltestostérone (ET) se sont montrés très efficaces dans la production d'individus tous mâles lorsqu'ils sont administrés par voie orale aux alevins de tilapia, avant que ceux-ci n'aient atteint la différenciation sexuelle. Celle-ci prend place avant le 60^{ème} jour chez *T. nilotica* (JALABERT *et al*, 1974). Le traitement doit être appliqué depuis l'éclosion et pendant 2 à 4 semaines ou débiter 3 à 7 jours après l'éclosion et s'étaler sur une période de 20 à 40 jours (BALARIN *et HALLER*, 1982).

La préparation et le mode de distribution de l'aliment ont été décrits par différents auteurs (GUERRERO, 1975, 1976; CLEMENS *et INSLEE*, 1968; ROTHBARD *et al*, 1983):

- dissolution de 60 mg de 17α -éthynyltestostérone ou 17α -méthyltestostérone dans 0.7 l d'éthanol à 95%.
- mélange de la solution dans 1 kg d'aliment (granulés)
- évaporation de l'éthanol par séchage du mélange au soleil durant quelques heures
- nourrissage des alevins à raison de 12% du poids/jour.

En Israël, ROTHBARD *et al* (1983) rapportent des densités d'élevage de 8000 à 17000 larves/m³ et une production d'environ 3 millions d'alevins monosexes mâles (98%-100% de mâles). Des résultats comparables ont également été rapportés par GUERRERO *et GUERRERO* (1988), à une densité de 500 à 750 alevins/m² et avec une survie de 78%.

Signalons enfin que les alevins de tilapia traités aux androgènes présentent généralement une croissance plus rapide que les individus non traités (GUERRERO, 1974; HANSON *et al*, 1983; ROTHBARD *et al*, 1983; JO *et al*, 1988) ce qui est d'ailleurs infirmé par McANDREW *et MAJUMDAR* (1989).

En Belgique, au C.E.R.E.R. et à Piscimeuse à Tihange (DUCARME *et MELARD*, com. pers.), la production d'alevins monosexes est réalisée en étangs de reproduction (\pm 2 ares) avec mise en charge des femelles sélectionnées à papilles génitales gonflées.

Tableau 2.8. Phases présumées du cycle de reproduction des tilapias, après mise en charge dans les étangs de ponte (d'après ROTHBARD et al, 1983)

| Phase du cycle de reproduction | Durée (en jours) |
|---|------------------|
| 1 - Mise en charge en géniteurs et acclimatation des géniteurs à leur nouvel environnement. Occupation par les mâles des nouveaux territoires de reproduction. | 3-4 |
| 2 - Parade nuptiale et ponte | 1-2 |
| 3 - Incubation buccale des oeufs | 4-5 |
| 4 - Garde parentale, résorption de la vésicule vitelline | 3-4 |
| 5 - Fin de la garde parentale | 2-3 |
| TOTAL | 13 - 18 |

Quinze jours après la mise en charge, les alevins sont nourris avec des aliments granulés incorporant de la méthyltestostérone. La récolte des alevins par sennage donne plus de 90% de mâles ce qui satisfait le système de production.

2.1.2.3. Fertilisation minérale et organique

Quel que soit le mode de production d'alevins, la fertilisation de l'étang se révèle de première importance, principalement chez les espèces planctonophages telles que *T. nilotica*.

Elevés à faible densité, les tilapias peuvent satisfaire leurs besoins nutritionnels à partir de nourriture naturelle. L'augmentation de production de cette nourriture naturelle, par fertilisation minérale ou organique, couplée à une augmentation de la densité d'élevage, s'accompagne généralement d'une élévation considérable des rendements (tableau 2.9). Une synthèse des différentes méthodes de fertilisation a été réalisée par MILLER (1976) et YAMADA (1986).

Tableau 2.9. Production de poissons selon différentes méthodes (d'après LITTLE et MUIR, 1987).

| Système de production | Production (kg/ha/an) |
|--|--------------------------------|
| Systèmes non fertilisés et peu gérés | 50 - 200 |
| Système fertilisés, avec gestion des stocks de poissons. | 5000 - 10000 |
| Etangs fertilisés et apport d'aliment complémentaire | 5000 - 15000 |
| Alimentation et renouvellement d'eau plus important aération supplémentaire | 8000 - 40000 |
| Elevage en cage ou système d'étang avec important renouvellement d'eau et alimentation complète. | 200 - 2000 (X10 ³) |

L'effet positif des fertilisants minéraux (superphosphate triple) et organiques (bouse de bovins et fumier de volaille) a été clairement démontré par GEORGE (1975), bien qu'aucune réplification des traitements n'ait été effectuée. Le superphosphate triple augmente la

production naturelle de 3 à 4 fois, la bouse de bovins de 1.7 fois et le fumier de volaille de 3.3 fois.

Plus récemment, LIN et DIANA (1987) ont testé l'efficacité de différents engrais (phosphate inorganique, phosphate + urée, fumier de volaille) sur la production de *T. nilotica* ainsi que sur la production de nourriture naturelle (plancton et benthos). Le fumier de volaille la dose de 500 kg/ha/semaine, s'est révélé le fertilisant le plus efficace, assurant une production en carbone organique de 100 kg/ha/jour et un rendement en poissons de 24 kg/ha/jour L'apport de chaux dans l'étang, bien qu'ayant conduit à des résultats divers selon les auteurs (VAN DER LINGEN, 1959) s'est toutefois révélé bénéfique dans le cas de sols et d'eaux acides où le calcium est généralement déficient. Le chaulage permet, entre autres avantages, d'augmenter le pH acide de l'eau vers la neutralité, établissant ainsi une réserve alcaline rendant l'eau plus productive. Il augmente également les effets de la fertilisation. MAAR *et al* (1966) notent que la quantité de chaux nécessaire dépend du degré d'acidité du sol. Bien qu'il soit difficile d'établir une règle générale de chaulage, ils proposent toutefois la procédure suivante:

- Etangs neufs:

- sols argileux, 1680 - 2240 kg de chaux/ha, répartis sur le fond de l'étang à sec et légèrement enfouis dans le sol.

- sols sablonneux: 1120-1680 kg/ha sur le fond.

- Vieux étangs: (une fois par an après la vidange)

- sols argileux: 1120 kg/ha

- sols sablonneux: 560 - 1120 kg/ha.

Ils recommandent ensuite une application mensuelle de 160 - 220 kg/ha dans les petits étangs où ont lieu une alimentation intensive et une fertilisation.

Tableau 2.10. Composition des principaux engrais minéraux (d'après BOYD, 1979)

| Type d'engrais | Composition (%) | | |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Nitrate d'ammoniaque | 33-35 | - | - |
| Sulfate d'ammoniaque | 20-21 | - | - |
| Métaphosphate de calcium | - | 62-64 | - |
| Nitrate de calcium | 15.5 | - | - |
| Phosphate d'ammoniaque | 11-16 | 20-48 | - |
| Muriate de potassium | - | - | 50-62 |
| Nitrate de potassium | 13 | - | 44 |
| Sulfate de potassium | - | - | 50 |
| Nitrate de sodium | 16 | - | - |
| Superphosphate (ordinaire) | - | 18-20 | - |
| Superphosphate (double ou triple) | - | 32-54 | - |

La composition des principaux engrais minéraux est présentée au tableau 2.10. Parmi ces engrais inorganiques, il est généralement admis que le phosphore constitue l'élément principal, sa faible concentration naturelle limitant la productivité (WASHY, 1974; YAMADA, 1986), alors que l'azote et le potassium sont souvent considérés comme des éléments de moindre importance (HICKLING, 1962; SEYMOUR, 1980). Toutefois, en conditions tropicales et subtropicales où la densité d'élevage peut être élevée, l'azote inorganique représente un composant important (YAMADA, 1986). BOYD (1976) a en effet montré qu'une fertilisation azotée en faible quantité, pouvait augmenter nettement la production de tilapias (tableau 2.11).

Tableau 2.11. Production de tilapias après apport de fertilisants en quantité égale mais avec différents rapports N-P-K (d'après BOYD, 1976).

Composition du fertilisant Production

| (N:P:K) | (kg/ha/an) |
|---------|------------|
| 0:20:0 | 651 |
| 5:20:5 | 947 |
| 20:20:5 | 930 |

Tableau 2.12. Composition moyenne (en pourcent) des engrais organiques utilisés en pisciculture en Afrique (d'après MILLER, 1976).

| Engrais organiques | N | P | K | Ca | Protéines | Hydrates de C |
|----------------------------|-------|------|------|------|-----------|---------------|
| herbes fauchées | 1.12 | 0.20 | 1.20 | - | - | - |
| tourteau d'arachides | 1.62 | 0.13 | 1.25 | - | 10.1 | 38.5 |
| feuille de manioc | 6.80 | 0.31 | - | - | - | 7.5 |
| tourteau de coton | 7.02 | 2.50 | 1.60 | 0.30 | 41.1 | 26.4 |
| farine d'arachide | 6.96 | 0.54 | 1.15 | - | 43.5 | 31.3 |
| tourteau de soja | 7.07 | 0.59 | 1.90 | - | 44.2 | 29.0 |
| tourteau de palmiste | 3.07 | 1.10 | 0.50 | 0.30 | 19.2 | 46.5 |
| déchets de viande | 8.21 | 5.14 | - | - | 51.0 | 3.5 |
| fumier de cheval | 0.49 | 0.26 | 0.48 | - | - | - |
| fiente de poulet | 1.31 | 0.40 | 0.54 | - | - | - |
| fumier de mouton | 0.77 | 0.39 | 0.59 | - | - | - |
| fumier de vache | 0.50 | 0.10 | 0.50 | - | 5.0 | 15.4 |
| fumier de porc | 0.50 | 0.20 | 0.40 | - | - | - |
| farine de sang séché | 12.90 | 0.22 | 0.31 | 0.05 | 81.0 | 1.5 |
| drêche de brasserie | 2.90 | 1.60 | 0.20 | 0.40 | 18.3 | 45.9 |
| contenu stomacal de vache | - | - | - | - | 11.8 | - |
| extrait de levure de bière | - | - | - | - | 50-75 | - |
| drêche de distillerie | - | - | - | - | 22.0 | 37.0 |

Vu le prix relativement élevé des engrais inorganiques et les approvisionnements souvent irréguliers, la fertilisation organique est plus fréquemment utilisée en régions tropicales. Les

principaux avantages et désavantages de l'utilisation des engrais organiques sont présentés au tableau 2.13.

Les fertilisants organiques agissent, soit comme source d'éléments nutritifs pour la photosynthèse, soit comme substrat pour le développement des micro-organismes, ou peuvent être directement assimilés par les poissons et les invertébrés (TANG, 1970; LITTLE et MUIR, 1987). Les engrais organiques proviennent généralement des déchets de végétaux, des excréments d'animaux ou des eaux usées. Les eaux d'égouts sont utilisées en Asie du sud-est pour fertiliser les étangs à tilapias et ont été suggérées comme engrais dans les régions semi-arides d'Afrique où les déchets végétaux et les excréments d'animaux sont rares et employés préférentiellement en agriculture. Cette suggestion n'a toutefois rencontré que peu d'enthousiasme, les Africains étant, à l'instar des Européens et des Américains très réticents quant à l'utilisation d'excréments humains (BARDACH et al, 1972).

Plusieurs auteurs ont également recommandé l'application combinée d'engrais organiques et inorganiques. Cette technique, bien que quelque peu coûteuse, présente de nombreux avantages dans les étangs de premier alevinage où les vidanges sont fréquentes et où le temps de développement du plancton est donc limité (MILLER, 1976).

Tableau 2.13. Principaux avantages et inconvénients de l'utilisation de fertilisants organiques (d'après MILLER, 1976).

| Avantages | Inconvénients |
|---|--|
| - cycle de production plus court que lors d'emploi d'engrais minéraux, spécialement pour la production de zooplancton dans les étangs de premier alevinage. | - travail d'épandage beaucoup plus important que dans le cas d'engrais minéraux. |
| - augmentation de la croissance du phytoplancton par la décomposition des matières organiques et libération de CO ₂ . | - peuvent stimuler le développement et la croissance d'algues filamenteuses indésirables. |
| - action favorable sur l'éclaircissement des eaux dans les étangs fortement envasés. | - risque de déficit en O ₂ dans l'eau. |
| - certains engrais organiques peuvent être utilisés comme aliment complémentaire pour les poissons | - lors d'applications excessives, risque de créer des conditions favorables au développement des parasites et des maladies |
| - action favorable sur le sol de l'étang. | |

Application des engrais

STICKNEY (1979) recommande la fertilisation des étangs lorsque la transparence de l'eau (évaluée au disque de SECCHI) est supérieure à 30 cm. En absence de disque de SECCHI, la solution est de plonger le bras jusqu'au coude et d'observer ou non la disparition de la main. Dans ce dernier cas, il est important de fertiliser, mais il est également primordial d'éviter une surfertilisation susceptible d'entraîner des blooms de phytoplancton associés à des effets toxiques et à des déficits marqués en O₂.

Dans le cas d'une fertilisation minérale, différentes techniques ont été proposées. HORA et PILLAY (1962) conseillent d'enfouir les engrais par ratissage dans un étang mis à sec. Une

dispersion manuelle peut ensuite être réalisée toutes les 2 à 4 semaines. Une méthode efficace pour éviter l'absorption du phosphore par les boues consiste à placer les engrais phosphatés sur une plateforme immergée à 30 cm de profondeur, les nutriments étant alors dispersés par les courants d'eau au fur et à mesure de leur dissolution (BOYD, 1979). A Madagascar, VINCKE (com. pers.) a toutefois comparé cette méthode à un apport traditionnel par épandage manuel à la surface de l'eau et a obtenu les meilleurs résultats par épandage. Par contre, VAN DER LINGEN (1959), ayant comparé l'efficacité de trois modes d'application de superphosphate double (par épandage, par application dans des paniers flottants ou en solution) a obtenu les productions les plus élevées dans les étangs ayant reçu le phosphore en solution et les plus médiocres par épandage du fertilisant.

La technique traditionnelle de fertilisation organique consistant à disperser ou entasser les déchets dans le fond des étangs mis à sec (HORA et PILLAY, 1962) présente le désavantage de provoquer, lors du remplissage de l'étang, une digestion anaérobie due à la faible concentration en O₂ dissous habituellement présente dans les boues. Ces conditions anaérobies sont susceptibles de produire 3 agents toxiques: le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac et le méthane (SCHROEDER, 1980). Il est donc conseillé de disperser les déchets autant que possible, éventuellement à partir d'une embarcation dans le cas de grands étangs et de ne pas dépasser un apport organique de 70 à 140 kg/ha/jour, ces valeurs étant considérées comme le maximum assimilable par un étang sans provoquer d'effet anaérobie indésirable (SCHROEDER, 1980).

Dans les étangs de ponte de *T. nilotica*, BROUSSARD *et al* (1983) effectuent une fertilisation de démarrage de 2000 kg/ha d'excréments sèches de poulet et de 100 kg/ha d'engrais inorganiques (N:P:K:16-20-0), suivie d'une fertilisation hebdomadaire de 3000 kg/ha/mois d'excréments de poulet et de 100 kg/ha/mois d'engrais inorganiques. En étang de pré-grossissement recevant entre 15 et 23 alevins/m², les doses d'engrais organiques et inorganiques sont portées respectivement à 2500 kg/ha/mois et 250 kg/ha/mois. VINCKE et PHILIPPART (1984) rapportent qu'au Bénin la fertilisation est effectuée à l'aide de fumier de porc, à raison de 4500 à 6000 kg de matière sèche/ha/mois en étangs de reproduction et de 4500 kg/ha/mois en étang de pré-grossissement à une densité de 40 alevins/m².

2.1.2.4. Alimentation artificielle et complémentaire des géniteurs et des alevins

Bien qu'étant parmi les poissons les plus largement cultivés dans le monde du moins en régions intertropicales, les tilapias ont reçu peu d'attention quant à leurs besoins nutritionnels. La prédominance de pratiques d'élevage utilisant préférentiellement la fertilisation comme moyen de compléter la nourriture naturelle est certainement à l'origine de ce désintérêt pour la mise au point d'aliments préparés, d'autant plus que, dans de nombreuses régions d'Afrique, les ingrédients de base sont rares ou inexistantes et la préparation difficilement réalisable. Cependant, l'intensification de l'élevage des tilapias, aussi bien en ce qui concerne la production d'alevins que le grossissement des "fingerlings", doit inévitablement passer par la pratique d'un nourrissage régulier et de qualité appropriée.

Des recherches expérimentales se sont récemment orientées vers la connaissance des besoins nutritionnels de *T. nilotica* (JAUNCEY et ROSS, 1982; TACON *et al*, 1983; WEE et TUAN, 1988; HUTABARAT et JAUNCEY, 1987). Les résultats de ces études seront présentés dans le cadre de la production d'alevins en tanks, raceways ou arènes dans lesquels l'aliment distribué constitue la source unique de nourriture.

Nous ne mentionnerons dans ce chapitre, que les résultats des essais effectués en étang, l'aliment distribué étant généralement utilisé comme complément à la nourriture naturelle provenant de l'étang, avec ou sans fertilisation.

2.1.2.4.1. Alimentation en élevage mixte

En étang, les tilapias tirent un excellent parti de la nourriture artificielle la plus variée qui peut leur être distribuée. En élevage mixte, l'aliment déversé sera destiné au nourrissage de toutes les classes de taille. Toutefois, durant leur premier stade de croissance, les alevins ne consomment pas de nourriture artificielle. Dès qu'ils atteignent la taille de 4 à 5 cm, ils commencent à en absorber facilement (LE ROUX, 1956; BISHAI, 1962; HUET, 1970).

Les farineux et les tourteaux sont les plus appropriés, car ils sont consommables aussi bien par les alevins que par les adultes. Parmi ceux-ci, on utilise les déchets de minoterie et plus spécialement le son de blé et la farine de manioc, les brisures de riz, la farine de maïs ainsi que les tourteaux de coton, d'arachide et de palmiste..

D'autres sous-produits agro-industriels (tels que déchets de ménage, drêche de brasserie, parches de café, pulpes de cacao, graines de coton, etc...) sont également utilisables.

L'efficacité d'un aliment est exprimée par la valeur du coefficient de conversion alimentaire, appelé également quotient nutritif (QN) et défini comme le rapport entre la quantité d'aliment distribué et le gain en poids vif des poissons. En élevage mixte, il est évidemment difficile d'évaluer la part de nourriture ingérée par les alevins et par les adultes. Certains auteurs (PLANQUETTE et PETEL, 1977) utilisent alors des expressions telles que l'indice pondéral de recrutement (IPR) et le quotient nutritif alevins (Q.N.Al.) pour estimer l'efficacité d'un aliment sur la production en alevins.

Poids des alevins (en kg)

$$\text{IPR} = \frac{\text{Poids des alevins (en kg)}}{\text{Poids des alevins} + \text{gain en poids des adultes (kg)}}$$

$$\text{Q.N.Al} = \frac{\text{Poids des aliments distribués (kg)}}{\text{Poids des alevins récoltés (kg)}}$$

Le quotient nutritif de différents aliments est présenté au tableau 2.14 où l'on constate une meilleure conversion avec les tourteaux et sons divers.

L'efficacité de l'aliment dépendra également de la fréquence de distribution et sera d'autant meilleure que celle-ci est élevée; *T. nilotica* étant une espèce planctonophage (possédant donc un petit estomac) aura tendance à se nourrir continuellement au long de la journée (JAUNCEY et ROSS, 1982). Il est toutefois préférable de distribuer une petite quantité de nourriture lors du premier nourrissage matinal et d'arrêter la distribution avant la fin de l'après-midi car selon MORIARTY (1973) la digestion se fait moins bien en période de faible intensité lumineuse (métabolisme ralenti). En étang, la fréquence de nourrissage peut toutefois être réduite à 1 ou 2 fois par jour, la nourriture non assimilée jouant alors le rôle de fumure organique.

Tableau 2.14. Taux de conversion alimentaire (= quotient nutritif) de différents aliments simples utilisés pour le nourrissage de *T. nilotica* en étangs.

| Type d'aliment | Taux de conversion | Références |
|--|--------------------|---|
| Herbes fauchées | 48 | BALARIN et HATTON, 1979 |
| Feuilles de manioc, bananier, papayer, colocasse,... | 13 à 25 | HUET, 1970; BALARIN et HATTON, 1979 |
| Graines de coton broyées | 18.9 | DE KIMPE, 1971; HASTINGS, 1972; PLANQUETTE et PETEL, 1976 |
| Drêche de brasserie | 10-12.6 | DE KIMPE, 1971 |
| Tourteau de palmiste | 8-9.5 | PLANQUETTE et PETEL, 1976 |
| Son de riz, balles de riz | 4.8-10 | BALARIN et HATTON, 1979; SCHMIDT, 1984 |
| Tourteau de coton | 4.8 | DE KIMPE, 1971 |
| Balayures de minoterie | 4 | GERKING, 1967; BALARIN et HATTON, 1979 |
| Tourteau d'arachide | 3-5 | BALARIN et HATTON, 1979 |

Dans les étangs de reproduction et d'alevinage de faible superficie (2 à 4 ares), la nourriture peut être distribuée à la volée ou mieux, déversée dans des cadres flottants ou fixes, ce qui permet d'évaluer la quantité d'aliment effectivement ingérée et la vitesse d'ingestion. L'emploi de ce système provoque toutefois une compétition intraspécifique avec des différences de croissance, car seule une partie des poissons peuvent venir s'y alimenter (LAZARD, 1984).

Enfin, on peut installer des distributeurs d'aliments à la demande et les approvisionner quotidiennement en granulés. Très rapidement les tilapias se conditionnent à ce type de distribution alimentaire.

2.1.2.4.2. Alimentation en étangs de ponte et de prégrossissement

En étangs de ponte, l'alimentation visera essentiellement à nourrir les géniteurs, la productivité naturelle en plancton étant normalement suffisante pour couvrir les besoins des larves et des jeunes alevins, et cela d'autant plus qu'une fertilisation régulière aura été réalisée. Toutefois, dès qu'apparaissent les premiers alevins, un supplément de nourriture peut être distribué plusieurs fois par jour.

Le taux d'alimentation des géniteurs sera calculé, soit en fonction de la biomasse de ceux-ci (2.5 à 6% selon les auteurs), soit selon la demande, la distribution manuelle de l'aliment étant stoppée lorsque s'arrête la phase d'alimentation active (CAMPBELL, 1985).

L'alimentation est habituellement constituée d'un mélange pulvérulent plus ou moins élaboré (tableaux 2.5 et 2.6) ou de granulés (4 mm de diamètre) (CAMPBELL, 1985). Dans ce second cas, le complément de nourriture pour les jeunes alevins sera évidemment distribué sous forme pulvérulente, généralement à la demande.

En étangs de prégrossissement, la nourriture sera également distribuée sous forme pulvérulente, en fonction de la biomasse et de la taille des alevins déversés. Le calcul des rations quotidiennes est basé sur le principe suivant, (C.T.F.T., 1981; VINCKE, 1985):

- 10% du poids vif si le poids moyen est inférieur à 5g (6 distrib./jour)
- 7,5% du poids vif si le poids moyen est compris entre 5 et 10g (4 distrib./jour)
- 5% du poids vif si le poids moyen est supérieur à 10g (4 distrib./jour)

Ces valeurs sont données en fonction d'un apport d'aliment relativement élaboré (60% de tourteau de coton, 20% de farine basse de riz et 20% de farine de poisson). Des rations similaires sont préconisées par MAREK (1975) dans le cas d'une monoculture de tilapias. Signalons cependant qu'en association avec d'autres espèces comme la carpe, les tilapias profitent mieux de la nourriture naturelle, ce qui permet de réduire de 20% la ration journalière. Ces constatations ont également été rapportées par LOVSHIN *et al* (1977).

Les résultats de prégrossissement des alevins en fonction des différents aliments ont été présentés aux tableaux 2.6 et 2.7. La composition de plusieurs aliments utilisés pour le prégrossissement de *T. nilotica*, ainsi que leur teneur en protéines brutes et leur taux de conversion (QN) sont rassemblés au tableau 2.15. Il faut toutefois remarquer que ces valeurs de QN sont sans doute légèrement sous-estimées car la production naturelle en plancton doit intervenir pour une part non négligeable dans l'alimentation des alevins.

2.1.3. Prédations, maladies, vols en étang

La production escomptée au moment de la vidange ou des récoltes intermédiaires peut être réduite par la présence, dans les étangs de reproduction et de prégrossissement, d'espèces indésirables jouant un rôle direct en tant que prédateurs ou indirect en tant que concurrents alimentaires. Des mortalités importantes peuvent également être observées en cas de pollution ou d'épidémies provoquées par certains agents pathogènes (bactéries, virus, parasites protozoaires et métazoaires).

Tableau 2.15. Composition (en %) et qualité nutritionnelle de différents aliments composés pour le prégrossissement des alevins de tilapias en étang. (F = farine, G = granulés).

| Ingrédients Présentation | Poids des alevins (g) | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------|-------------|-------------|-----------------|------------|------------|
| | 1er nourrissage à 14 g (F+G) | 1-7 (F) | 5-27 (F) | 3-32 (F) | 9.5-27.5 (F) | >15 (G) | >20 (G) |
| Farine de Poisson | 9 | 10 | | 20 | 40 | 5 | |
| Farine de viande/sang | | | | | | 7 | 2.5 |
| Farine d'os | | | | | | | |
| Farine basse de riz | | 70 | | | | | |
| Son de blé | 38 | | | | | 20 | |
| Son de riz | | | 50 | 20 | 20 | 20 | 10 |
| Tourteau de coton | 20 | 20 | 50 | 60 | 40 | 30 | 32.5 |
| Tourteau de germe de maïs | | | | | | | 2.5 |
| Tourteau de sésame | | | | | | 8 | |

| | | | | | | | |
|---------------------|-------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Tourteau d'arachide | 11 | | | | | | |
| Tourteau de copra | 17 | | | | | | |
| Pulpe de café | | | | | | 5 | |
| Drêche de brasserie | | | | | 15 | | |
| Déchets de poulet | | | | | | | 45 |
| Huile de poisson | 3 | | | | | | 2.5 |
| Poudre de lait | | | | | | | |
| Coquilles d'huitres | 2 | | | | | | |
| % Protéines | 28 | 23 | 30 | 41.5 | 45 | 30 | 23 |
| Taux de conversion | 1.75 | 2.2 | 2 | 2.1 | 1.8 | 1.2 | 1.4-1.7 |
| Références | Campbell, 1985 | Holl, 1983 | Lazard, 1984 | Lazard, 1984 | Lazard, 1984 | Hastings, 1972 | Hughes, 1977 |

2.1.3.1. Prédateurs naturels des alevins

Parmi les poissons prédateurs, on citera des voraces tels que *Lates niloticus* et *Clarias lazera*, mais également des espèces moins voraces telles que *Haplochromis spp*, *Hemichromis fasciatus* et *H. bimaculatus* qui peuvent effectuer des prélèvements importants parmi les jeunes alevins. Il ne faut pas non plus oublier le cannibalisme qui doit être important dans les élevages mixtes.

Les batraciens des genres *Xenopus* et *Dicroglossus* (MICHA, 1975) sont également responsables de pertes considérables dans les étangs d'alevinage et l'abondance des têtards rend le triage des alevins difficile (HUET, 1970). On s'en débarrasse en détruisant le frai, à l'aide d'une époussette ou à la chaux vive, et les adultes peuvent être piégés à l'aide de nasses ou pêchés à la ligne, du moins pour *Dicroglossus* apprécié des gourmets.

De nombreux oiseaux piscivores peuvent également entraîner de sérieux dégâts dans les élevages ou à l'occasion des vidanges, quand les poissons sont concentrés dans une eau peu profonde (HUET, 1970). Parmi les plus nuisibles, MAAR *et al* (1966) citent les cormorans, les martins-pêcheurs, les aigles pêcheurs et les hérons. CHIMITS (1955, 1957) signale qu'un pélican peut consommer entre 1 et 3 tonnes de poisson par an. La pose de filets ou de fils, pardessus les étangs, est recommandée pour limiter l'action de ces prédateurs (MAAR *et al*, 1966).

Certains insectes aquatiques peuvent également s'avérer indésirables. Parmi les plus dangereux pour les petits alevins, citons les Nèpes (*Nepas sp*), les Notonectes et les Dytiques (*Dytiscus*).

En Israël, les serpents d'eau (*Natrix natrix*) provoquent des ravages dans les étangs de ponte et d'alevinage. SARIG (1971, in BALARIN et HATTON, 1979) rapporte la capture de plus de 300 serpents en deux semaines dans un seul étang de 20 ares.

Remarquons enfin que la prédation exercée par les crocodiles et les loutres (*Lutra maculicollis* et *Aconyx capensis*) peut également être considérable et même supérieure à celle des oiseaux. Le meilleur moyen de lutte est le piégeage ou mieux de clôturer les étangs (HUET, 1970).

2.1.3.2. Maladies

De nombreux auteurs ont rassemblé les données concernant les maladies auxquelles peuvent être soumis les tilapias (SARIG, 1967, 1975; FRYER et ILES, 1972; BALARIN et HATTON, 1979; ROBERTS et SOMMERVILLE, 1982; KABATA, 1985). Il apparaît que les parasites n'ont provoqué que très rarement des dégâts sérieux dans les élevages de tilapias. SARIG (1967) signale toutefois que dans un intervalle de temps déterminé, à mesure que les conditions d'élevage se détériorent, le nombre des parasites augmente et peut passer d'un niveau pathogène potentiel à un niveau épidémique. Par contre, la croissance très rapide des tilapias permet de réduire fortement les périodes d'élevage pour un même lot de poissons et de laisser l'étang à sec entre deux phases d'élevage. La mise à sec complète de l'étang, éventuellement associée au chaulage du fond, permettra de détruire une part importante des parasites présents. Les principales espèces parasites susceptibles de provoquer des dommages dans les élevages sont énumérées ci-après, leur description ainsi que la prophylaxie appropriée à appliquer lors d'infection sont présentées en détail dans les ouvrages de synthèse de BALARIN et HATTON (1979), ROBERTS et SOMMERVILLE (1982), PAPERNA *ét al* (1983) et KABATA (1985).

- a. Ectoparasites: - Les protozoaires du genre *Ichthyophthirius*, *Costia*, *Trichodina*,
Chilodonella, *Tripartiella*, *Glossatella*.
- Les crustacés du genre *Argulus*, *Lernaea*, *Ergasilus*
- Les trématodes monogènes du genre *Cichlidogyrus*, *Enterogyrus*,
Gyrodactylus et *Dactylogyrus*.
- b. Endoparasites: - Les trématodes digènes du genre *Bolbophorus*, *Clinostomum*,
Euchlinostomum, *Haplionchis*, *Neochasmus*, *Pygidiopsis*, *Centrocestus*.
- Les nématodes du genre *Contracaecum*, *Eustrongylides*.
- Les cestodes du genre *Proteocephalus*, *Cytocestoides*
- Les acanthocephales du genre *Acanthosentis* et *Acanthogyrus*.
- c. Bactéries et virus: - Les infections bactériennes et virales sont généralement rares en Afrique, probablement due à la longue période de température optimale, à l'abondance de nourriture qui en résulte, ainsi qu'au mode d'élevage généralement peu intensif. Les poissons sont en bonne santé et leur système immunitaire n'est pas réduit par une longue période à basse température. Parmi les bactéries, ROBERTS et SOMMERVILLE (1982) signalent *Flexibacter columnaris*, *Aeromonas hydrophila* et *Mycobacterium fortuitum*.
- d. Champignons: *Saprolegnia* et *Branchiomyces* sont les seuls signalés.

2.1.3.3. Empoisonnements

Le pisciculteur veillera également à informer de sa présence les personnes utilisant l'eau du ruisseau en amont de sa pisciculture afin d'éviter les mortalités massives par des pesticides et notamment insecticides, par exemple lors du nettoyage des appareils de pulvérisation utilisés en agriculture.

Il faudra également veiller à écarter de la pisciculture les utilisateurs d'ichtyo-toxiques (roténone, extraits de légumineuses du type *Derris* et *Tephrosia vogelii*).

2.1.3.4. Vols

Le problème du vol de tilapias a déjà été signalé dans le cadre des aménagements à réaliser lors de la construction des étangs. Les adultes sont généralement les plus convoités, soit directement comme poisson de consommation, soit comme reproducteur. Parmi les différentes précautions à prendre, nous avons mentionné la mise en place d'un tuyau "pipe" à l'intérieur de l'étang. Les vols les plus fréquents sont toutefois réalisés par vidange nocturne, par pêche au filet épervier, à l'épuisette ou aux lignes de fond. La disposition de branchages dans l'étang, le long des berges, ou de piquets reliés par des barbelés, permet de limiter fortement ces captures indésirables. D'une façon générale, l'installation des étangs à proximité des habitations est recommandée. Dans le cas d'une pisciculture commerciale, l'éclairage nocturne et l'engagement d'un gardien peuvent également s'avérer rentables.

2.1.4. Bilan économique de la production d'alevins en étang

L'évaluation économique d'une exploitation piscicole visant la production d'alevins de *Tilapia nilotica* doit prendre en considération un nombre important de facteurs intervenant à titre de coûts fixes et variables. Les conditions d'exploitation et de rentabilité d'une pisciculture peuvent fortement varier d'une région à l'autre, en fonction de critères tels que les coûts d'installation, les coûts et la capacité du personnel, la disponibilité et le coût de l'aliment, le prix de vente du poisson produit et l'importance du marché, etc...

D'autre part, la mise en place d'une pisciculture destinée à la production à la fois des alevins et du poisson de consommation nécessite d'établir, au préalable, les superficies d'étang réservées à chaque phase de production. Celles-ci varieront évidemment en fonction du niveau d'intensification envisagé.

L'investissement initial d'une exploitation inclut la construction des étangs et l'acquisition d'un équipement de base constitué de filets, épuisettes, tanks de stockage et de transport, éventuellement de pompes, aérateurs, véhicules,... Selon la taille de l'exploitation, des constructions supplémentaires doivent être envisagées: hangar pour matériel, maison de gardiennage,...

Le tableau 2.16 présente de façon détaillée l'ensemble des coûts de production (fixes et variables) et des revenus (bruts et nets) de différentes tailles de fermes piscicoles aux Philippines (YATER et SMITH, 1985). Les exploitations ont été divisées en piscicultures familiales, nécessitant le travail d'une personne à temps partiel (< 1250 m²) ou à temps plein (1250 - 5000 m²) ou commerciales, avec emploi de personnel supplémentaire (5000 à 10000 m² ou plus).

Les coûts et revenus annuels de quatre types d'installation révèlent que toutes présentent un bénéfice net largement positif. En fait, les piscicultures récupèrent en moyenne leur investissement initial en une année de production. Seules les piscicultures de 1250 à 5000 m² ont obtenu des bénéfices moins élevés, probablement suite à une moindre utilisation de l'aliment ou de fertilisants par unité de surface (YATER et SMITH, 1985). Le coût de l'aliment représente d'ailleurs une part importante des coûts de production puisqu'il atteint généralement 35 à 45% du total.

Tableau 2.16. Bilan économique d'une année de production d'alevins de *T. nilotica* dans des piscicultures de différentes tailles aux Philippines, (calculé d'après YATER et

SMITH, 1985). Les valeurs sont exprimées en pourcentage des coûts totaux. Les valeurs entre parenthèses représentent les montants réels en Pesos philippins (en 1982, 1 US\$ = 11.0 Pesos).

| Taille de la pisciculture (m ²) | < 1250 (n = 24) | 1250 - 5000 (n = 13) | 5000 - 10000 (n = 2) | > 10000 (n = 4) |
|--|--------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| Caractéristiques de la pisciculture | | | | |
| - superficie moy. (m ²) | 658 | 2112 | 9300 | 26450 |
| - nbre moy. d'étangs | 4 | 9 | 20 | 10 |
| - invest. inst. étangs (%) | 38.7 | 51.5 | 42.2 | 35.9 |
| - invest. équipement (%) | 43.5 | 30.5 | 39.7 | 32.8 |
| - Total invest. initial (%) | 82.2 (4350) | 82.0 (10490) | 81.9 (56250) | 68.7 (157900) |
| Production de fingerlings (nbre) (x 1000) | 81.7 | 141.8 | 919.2 | 3841 |
| Coûts de production | | | | |
| Coûts fixes (%) | | | | |
| - amort. Installations | 7.1 | 5.9 | 4.3 | 6.8 |
| - location terrain | 1.6 | 2.5 | 2.1 | 1.7 |
| - licence d'exploitation | 0.3 | 0.1 | 0 | 0.1 |
| - intérêts de l'emprunt | 0.3 | 1.4 | 0 | 0.6 |
| Total des coûts fixes | 9.3 | 9.9 | 6.4 | 9.2 |
| Coûts variables (%) | | | | |
| - aliments | 45.9 | 28.4 | 41.6 | 34.2 |
| - personnel, gardien | 14.4 | 25.7 | 7.6 | 20.6 |
| - fertilisants | 5.9 | 4.4 | 23.6 | 1.6 |
| - eau, élect., fuel | 3.9 | 2.5 | 6.5 | 7.3 |
| - location matériel | 0.9 | 1.8 | 1.2 | 0 |
| - géniteurs | 8.2 | 6.7 | 0 | 11.0 |
| - maintenance/réparation | 0 | 1.4 | 0 | 7.3 |
| - frais administratifs | 11.5 | 19.2 | 16.7 | 8.8 |
| Total des coûts variables | 90.7 | 90.1 | 93.6 | 90.8 |
| Total des coûts | 100 (5292) | 100 (12785) | 100 (68727) | 100 (229775) |
| Revenus bruts (%) | | | | |
| - vente de fingerlings | 149 | 97 | 147.6 | 191.3 |
| - vente de géniteurs | 14 | 8 | 10.1 | 12.9 |
| - autres (commissions) | 21 | 9 | 0 | 35.8 |
| - Total des revenus | 184 (9729) | 114 (14592) | 157.7 (108374) | 240 (551359) |
| Bénéfice net annuel | | | | |
| (%) | 84 | 14 | 57.7 | 140 |

| | | | | |
|---|--------|--------|---------|----------|
| (Pesos) | (4437) | (1807) | (39647) | (321584) |
| Bénéfice net par 100 m² | | | | |
| (Pesos) | (501) | (31) | (426) | (905) |

Il est intéressant de noter que la petite exploitation permet aux Philippines un bénéfice d'environ 400 Pesos/mois (soit environ 36 \$ en 1983), ce qui n'est pas négligeable lorsque l'on sait que la plupart des pisciculteurs de cette catégorie n'exercent cette activité qu'en tant qu'activité secondaire et que le salaire courant dans cette région est d'environ 15-20 P/jour.

Des bilans économiques ont également été réalisés en Amérique Centrale (Jamaïque) par POPMA *et al* (1984) en analysant séparément les coûts de production de l'alevin (1g), du "fingerling" (~30g) et du poisson de consommation (~200g). Les coûts de production des deux premières étapes sont présentés au tableau 2.16a. Ils se basent sur une technique de production d'alevins de *Tilapia nilotica* en étangs de reproduction (10 à 40 ares) avec une récolte hebdomadaire au filet de senne (mailles de 6mm) de manière à obtenir des poissons de 0,6 à 1,1g. On remarque que les coûts de main d'oeuvre (récolte fréquente) et l'aliment interviennent pour une part prépondérante dans les coûts de production de l'alevin.

Ces alevins de 1g sont ensuite déversés en étangs de prégrossissement (10 à 40 ares également) à raison de 180.000 ind/ha. La récolte par sennage des fingerlings ($\pm 30g$) débute généralement 6 semaines après le déversement. Avant une nouvelle mise en charge, l'étang est laissé à sec durant quelques jours et éventuellement traité à la roténone. Seuls sont mis en grossissement les fingerlings mâles, les femelles étant vendues comme sous-produit. Similairement à ce qui est observé pour la production d'alevins, les coûts de production d'alevins, les coûts de main d'oeuvre (nourrissage, récolte et sexage) et d'aliment représentent également les principaux coûts de productions de fingerlings. Les coûts de pompage d'eau sont également importants.

Tableau 2.16a. Coûts annuels de production d'alevins (1g) et de fingerlings mâles ($\pm 30g$) dans des étangs de Jamaïque. (Compilé d'après POPMA *et al*, 1984) (en 1982: 315 J\$ = 1US\$)

| Coûts annuels de production | Coûts en J\$/0.4 ha | |
|--|---------------------|---------------------------|
| | Alevins (1g) | Fingerlings ($\pm 30g$) |
| Coûts fixes: | | |
| - amortissement construction d'étangs | 320 | 320 |
| - entretien de l'étang | 50 | 50 |
| - amortissement matériel (senne, véhicule, pompes) | 741 | 746 |
| - total des coûts fixes | 1111 | 1116 |
| Coûts variables: | | |
| - alevins | - | 1612 |
| - aliment | 1512 | 2302 |
| - pompage | 1200 | 1800 |
| - carburant et entretien véhicule | 520 | 520 |
| - main d'oeuvre (1/50 du budget total) | 3283 | 5472 |
| - service de garde (1/80 du total) | 1187 | 1187 |

| | | |
|-----------------------------------|---------|----------|
| - total des coûts variables | 7702 | 12893 |
| Total des coûts annuels | 8813 | 14009 |
| Prix unitaire (J\$/1000 poissons) | 4,87 | 217* |
| Production annuelle | 1810000 | 647000** |

* Coût de production du fingerling mâle. Le revenu dû à la vente des femelles couvre moins de 15% des coûts de production des fingerlings mâles

** Production des fingerlings mâles

Peu de données économiques concernant la production d'alevins de *T. nilotica* en Afrique sont malheureusement disponibles, car la distinction n'est généralement pas établie entre les coûts de production pour les alevins et pour les poissons de consommation. Le coût de construction des étangs varie fortement selon les auteurs et les années de réalisation (tableau 2.17).

Remarquons toutefois que l'installation d'étang de petite superficie (quelques ares) augmente fortement les coûts de construction, mais également les rendements de production. Rappelons également l'importance de la disposition des étangs, permettant leur alimentation et leur vidange par gravité, ce qui diminue les coûts d'installation d'environ 10%, les frais d'équipements (engins et petit matériel) de 40% et les frais de fonctionnement de 10% (LAZARD, 1980).

Le coût de l'aliment intervient également pour une large part dans les coûts de production, mais il est habituellement admis qu'un aliment composé, constitué de sous-produits locaux et enrichi avec des protéines animales (20% de farine de poisson par ex.) est plus performant qu'un aliment simple et justifie son prix plus élevé, par le fait qu'il augmente fortement les rendements par unité de surface.

Tableau 2.17. Coûts de construction d'étangs de pisciculture en Afrique selon les pays et la dimension des étangs.

| Pays | Superficie totale (ha) | Dimension étangs (are) | Coûts de constr. (prix/are) | Remarques | Références |
|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|--|-------------------------|
| Côte d'Ivoire 1980 | 4.7 | 4-10 | 78000 FCFA | 2 ha alimentés par pompage, coût global (étangs + ouvr. + pompe) | LAZARD, |
| Côte d'Ivoire 1985 | - | 4.5-90 | 10000 FCFA | Travail important des pisciculteurs | VINCKE, |
| Zambie | 5-10 | 15-50 | 185-250 \$US | Augmentation des coûts pour des étangs de petite taille | L'HEUREUX, 1985 |
| Zimbabwe | 10 | 50 | 44-60 \$US | Etang + pompe + ouvrage | WRIGHT et KENMUIR, 1981 |
| Niger | 1.2 | 3.5 | 387500 FCFA | Alimentation par pompage | PARREL et al, 1986 |

De même, une fertilisation organique (compost de végétaux, lisier et fumier de volailles, bovins et porcins) constitue une technique relativement peu coûteuse et très efficace pour augmenter la productivité des étangs. WRIGHT et KENMUIR (1981) rapportent des applications de fumier de volailles à raison de 80 kg/ha/semaine et 60 kg/ha/jour de fumier de bovin, soit pour un prix de 165 \$ par saison de production (44 semaines).

L'application d'engrais minéraux est par contre moins recommandée, du fait des difficultés d'approvisionnement et du prix nettement plus élevé. Ainsi, l'apport de 10 m³ de lisier de poulet (± 50 \$) équivaut à l'apport de 2,6 tonnes d'engrais inorganiques à raison de 34% d'ammonitrate, 61% de superphosphate et 4% de chlorure de potassium, soit un coût de ± 300 \$ (WRIGHT et KENMUIR, 1981; MARTIN, 1987).

Surface pour la production d'alevins dans une pisciculture commerciale

L'HEUREUX (1985) a défini les surfaces respectives à réserver aux étangs de reproduction, de prégrossissement (jusqu'à 30g) et de production de poisson marchand (*Tilapia andersonii*) pour des piscicultures de 5 et 10 ha. Les paramètres qu'ils considèrent sont les suivants

- étang de reproduction: - 25 femelles et 5 mâles/are
 - reproduction de mi-septembre à fin mai (Zambie)
 - 14 sennages à 15 jours d'intervalles
 - 300 alevins/femelle/saison, soit 21.4 alevins/femelle/sennage
- étang de prégrossissement: - 25 alevins de 0.5 à 4g/m²
 - récolte après 13 semaines, poids final: 20g
 - 2 mises en charge/étang/an, d'où la nécessité de disposer de 7 étangs de prégrossissement.
 - Mortalité = 10%
- étang de production: - 2.5 poissons/m², 2 cycles de production par an.

$$\frac{2.5 \times 2 \times 100}{0.9 \times 300 \times 0.25} = 741\%$$

- soit l'aire destinée à la reproduction: 0.9x300x0.25 de l'aire

réservée à la production de façon à obtenir le nombre d'alevins nécessaire aux deux cycles de production.

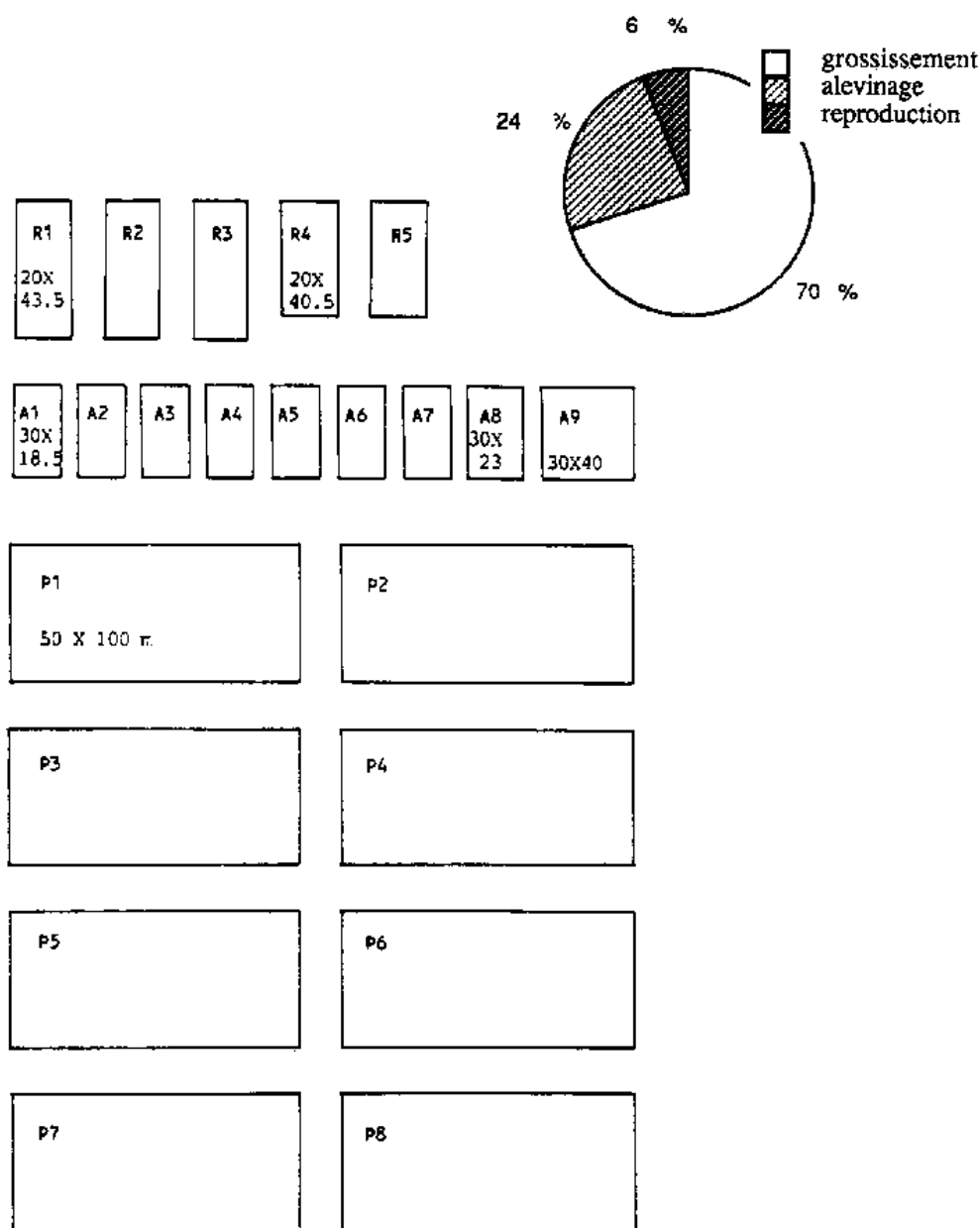
Si la densité des géniteurs est portée à 75 femelles et 25 mâles par are, la surface de reproduction ne représentera plus que 2.5% de la surface de production.

$$\frac{2,5 \times 100}{25 \times 0.9} = 11.1\%$$

- soit l'aire destinée au prégrossissement: 25x0.9 de la surface de production.

Avec un aliment de meilleure qualité et une mise en charge de 40 alevins/m², la surface n'est plus que de 6.9%. Soit au total une surface de 9.4 à 18.5% de la surface de production destinée aux étangs de service. Un programme de production, ainsi qu'un module de répartition des surfaces sont présentés au tableau 2.18 et à la figure 2.3. Chaque opération de sennage des étangs de reproduction correspond à une opération de déversement en étang de prégrossissement et, de même, chaque vidange des étangs de prégrossissement est associée à la mise en charge des étangs de production.

Figure 2.3. Nombre et dimensions relatives des différents types d'étangs (reproduction, alevinage, production) pour une ferme piscicole de 5 ha (d'après L'HEUREUX, 1985) et schéma de proportions relatives des différents types d'étangs en Jamaïque (d'après POPMA et al, 1984)



Etangs de reproduction (R1-3): $20 \times 43.5 \text{ m} = 8.70 \text{ a}$
 (R4-5): $20 \times 40.5 \text{ m} = 8.10 \text{ a}$
 Etangs d'alevinage (A1-7): $30 \times 18.5 \text{ m} = 5.55 \text{ a}$
 (A8): $30 \times 23 \text{ m} = 6.90 \text{ a}$
 Etangs de production (P1-8): $50 \times 100 = 50.00 \text{ a}$
 (A9): $30 \times 40 = 12.00 \text{ a}$

En Jamaïque, POPMA *et al* (1984) mentionnent que 30% de la surface des étangs sont réservés aux étangs de service, avec respectivement 6% pour les étangs de reproduction et 24% pour les étangs d'alevinage (figure 2.3).

LAZARD (1984) effectue également le calcul des rapports de surfaces destinées respectivement aux phases de reproduction et de prégrossissement, et à la phase de production, selon que la production d'alevins et de "fingerlings" est réalisée de façon extensive ou intensive. Les différents schémas sont présentés au tableau 2.19. Ils mettent en évidence l'intérêt d'intensifier les deux premières phases de l'élevage afin de réduire au minimum les surfaces d'étang non directement productives.

2.1.5. Avantages et inconvénients de la production d'alevins en étang

D'un point de vue biologique, un des principaux avantages de l'obtention et du prégrossissement des alevins de *T. nilotica* en étang est l'utilisation optimale des ressources de l'étang, comparé au mode d'élevage en milieu plus fermé (tank, cage, etc...). D'un point de vue pratique, l'élevage en étang est également d'une technologie plus simple, exigeant un contrôle moins régulier qu'un élevage en conditions artificielles. Cependant, à hautes densités, les conditions de stockage deviennent plus ou moins similaires à celles observées en cage ou en tank et il est alors nécessaire d'effectuer un suivi plus précis des différentes phases de production:

- contrôle de la reproduction des géniteurs et récolte fréquente des alevins,
- amélioration de la productivité de l'étang par fertilisation,
- alimentation régulière de poissons,
- contrôle de la qualité de l'eau et renouvellement d'eau si nécessaire.

Les principaux avantages et inconvénients de la production d'alevins en étang sont présentés au tableau 2.20.

2.1.6. Recommandations pour une stratégie d'élevage en étang

La production d'alevins de *T. nilotica* en étang doit être réalisée en deux à trois étapes, dans des étangs différents et en séparant complètement les phases de reproduction et d'alevinage. L'obtention d'alevins dans des étangs mixtes n'est en effet envisageable que dans le cadre d'une petite pisciculture familiale assurant l'apport d'une source complémentaire de protéines animales.

Les différents paramètres caractéristiques pour la production d'alevins de *T. nilotica* seront:

- pour la reproduction:
 - superficie de l'étang: 2 à 4 ares.
 - densité des géniteurs: 1 à 4 ind./m² selon l'alimentation disponible
 - rapport des sexes (♀/♂) = 3:1
 - poids moyen des géniteurs (femelles < 200 g et mâles légèrement plus gros)

- nourrissage des géniteurs avec un aliment composé à base de sous-produits locaux
- récolte des larves: à l'épuisette ou au filet carrelet (tous les jours ou même plusieurs fois par jour), par sennage bi-hebdomadaire, ou par vidange bi-mensuelle de l'étang. Si la topographie du terrain le permet, installation des étangs avec possibilité de déversement d'un étang dans l'autre, réduisant les manipulations de poissons durant les premiers stades.

- pour l'alevinage:

- phase de prégrossissement des jeunes alevins:

- superficie des étangs ± 2 ares

- densité des jeunes alevins (± 0.1 g): ± 50 ind/m²; possibilité d'augmentation de cette densité si fertilisation importante combinée à un apport d'aliments artificiels équilibrés.

- récolte après un mois: alevins de ± 5 g, $\pm 80\%$ de la mise en charge.

- phase de grossissement des fingerlings

- superficie des étangs: 4 ares

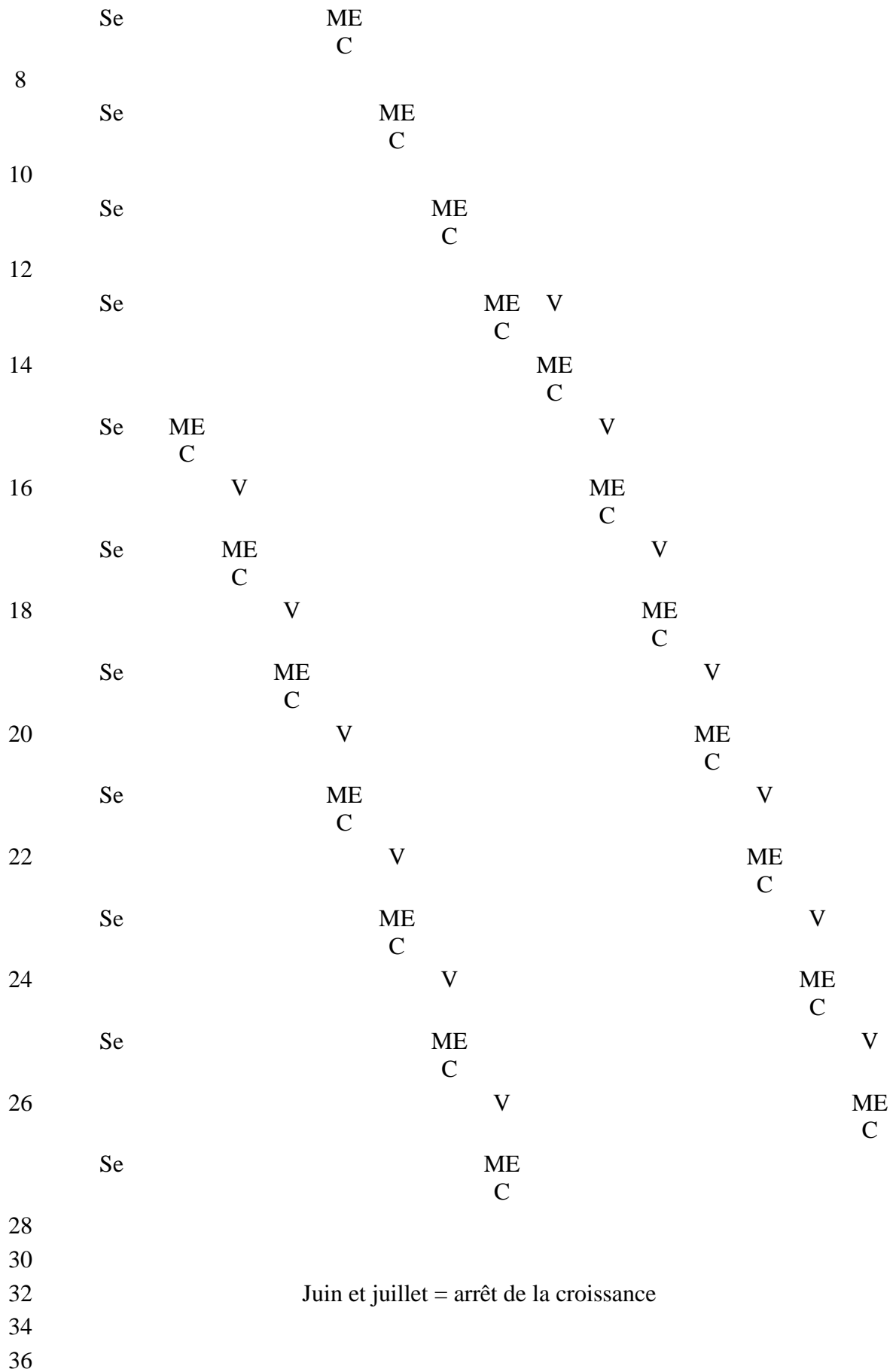
- densité des alevins (± 5 g): ± 20 ind/m², possibilité d'augmentation de cette densité avec des granulés

- récolte après 2 mois: fingerlings de ± 20 g, $\pm 90\%$ de la mise en charge

Ces résultats optimum prévus varieront principalement en fonction de la température de l'eau (latitude et altitude) et de l'alimentation (qualité et quantité) fournie régulièrement aux poissons.

Tableau 2.18. Programme de mise en charge et de récolte de *T. andersonii* dans les étangs de reproduction, d'alevinage et de production (d'après L'HEUREUX, 1985). Se: sennage V: vidange MEC: mise en charge

| Semaine | Étangs de ponte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|-----------------|---------|---------|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---------|---------|---------|
| | Se | ME C | | | | V | | | | | | | ME C | | |
| 2 | Se | | ME C | | | | V | | | | | | | ME C | |
| 4 | Se | | | ME C | | | | V | | | | | | | ME C |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | |



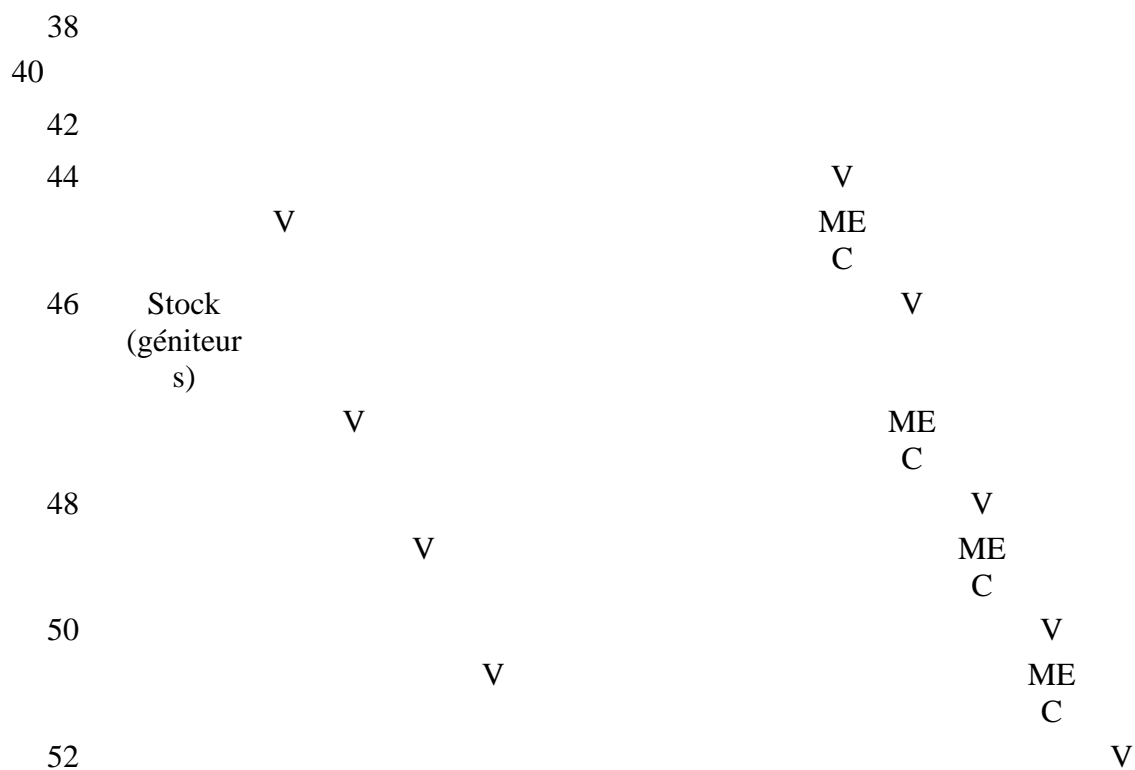


Tableau 2.19. Organisation d'une exploitation piscicole selon différentes méthodes (extensive ou intensive) de production d'alevins et de poissons marchands en étang (d'après LAZARD, 1984).

1°) Production intensive de poisson de consommation:

durée d'élevage:

- 150 jours

- densité: 3.2 ♂/m² de 30g (pmi)

Quantité d'alevins nécessaires pour 1 ha de production

$$3,2 \times 2(*) \times 10000 \times \frac{365}{150} = 160000 \text{ alevins.}$$

- rendement: 16 t/ha/an

1a Production intensive d'alevins:

- durée d'élevage: 90 jours

- densité: 50/m²

- survie: ≈ 90%

- aliment composé: 26% riz,

54% tourteau de coton,

20% farine de poisson

Surface nécessaire:

$$\frac{160000}{45} \times \frac{90}{360} \approx 0.09 \text{ ha}$$

1b Production extensive d'alevins

- durée d'élevage: 35 jours

-densité: 3.25/m²

- survie: ≈ 90%

- aliment: 100% son de riz

Surface nécessaire:

$$\frac{160000}{2.9} \times \frac{35}{360} \approx 0.53 \text{ ha}$$

1 ha de production exige donc:

1 ha de production exige donc:

$0.09 \times 10/9^{(a)} + 0.04^{(b)} = 0.14$ ha d'étangs de service $0.53 \times 10/9^{(a)} + 0.04^{(b)} = 0.62$ ha d'étangs de service

2°) Production extensive de poisson de consommation:

- durée d'élevage: 145 jours Quantité d'alevins nécessaire pour 1 ha de production

- densité: 1.2 (♀/♂)/m² de 30g (pmi) $1.2 \times 10000 \times \frac{365}{145} = 30000$ alevins

- rendement: 5.2 t/ha/an

2a production intensive d'alevins

Surface nécessaire:

$$\frac{30000}{45} \times \frac{90}{60} \approx 0.017 \text{ ha}$$

2b Production extensive d'alevins

Surface nécessaire:

$$\frac{30000}{2.9} \times \frac{35}{360} \approx 0.10 \text{ ha}$$

1 ha de production exige donc:

$$0.017 \times 10/9^{(a)} + 0.01^{(c)} \approx 0.03 \text{ ha}$$

d'étangs de service

1 ha de production exige donc:

$$0.10 \times 10/9^{(a)} + 0.01^{(c)} \approx 0.12 \text{ ha}$$

d'étangs de service

(*): Seuls les mâles sont destinés au grossissement, d'où la nécessité de produire 2 fois plus d'alevins (♀ + ♂)

(a) 10% de mortalité lors du transfert vers les étangs de production

(b) 4 ares destinés à la production d'environ 200000 alevins.

(c) 1 are destiné à la production d'environ 40000 alevins.

Tableau 2.20. Evaluation des avantages et inconvénients de la production d'alevins de *T. nilotica* en étang.

| Avantages | Inconvénients |
|---|---|
| Méthode de production relativement simple, surtout à faible densité. Utilisation des ressources naturelles de l'étang. | Technologie plus complexe lorsque la densité d'élevage augmente avec nécessité d'un nourrissage artificiel. |
| Faible renouvellement d'eau, uniquement pour compenser l'évaporation et l'infiltration. | Nécessité d'un renouvellement d'eau plus important. |
| Valorisation de zones humides peu utilisables pour l'agriculture. | Besoin d'une superficie importante, une topographie appropriée. Difficulté de combiner différentes étapes de production dans une même étendue d'eau, avec traitement et récoltes indépendants. |
| Production simple et facile d'alevins | Problèmes de surpopulation en jeunes individus et hétérogénéité dans la taille des alevins. |
| Possibilités d'augmenter la production naturelle par fertilisation de l'étang et distribution de sous-produits agricoles. | Mauvais contrôle de la consommation d'aliments artificiels. |

| | |
|--|--|
| Ne nécessite pas un contrôle régulier des poissons en élevage lorsque la densité est faible. | Contrôle difficile de la reproduction et de la croissance des alevins (peu de recalibrage). |
| Biotope très proche du milieu naturel, favorable à la reproduction et aux premiers stades de croissance. | Perte d'oeufs et de larves lors des vidanges ou des pêches à la senne. |
| Maladies rares et mortalité faible. | Difficulté de contrôler l'infection par les parasites et les maladies lorsqu'elles apparaissent. |
| Vols plus difficiles que dans les élevages en cage. | Vols partiels facilités. |
| Coût de maintenance faible et amortissement de l'investissement relativement long. | Coût en personnel lors des vidanges. Investissement élevé |

2.2. Reproduction et alevinage en hapas et en cages

Chez les tilapias, ce mode d'élevage présente le grand avantage de pouvoir contrôler, de façon relativement efficace, la reproduction anarchique des adultes, et de résoudre ainsi le grave problème de la surpopulation caractéristique des élevages traditionnels pour la consommation humaine (PAGAN, 1969; IBRAHIM et al, 1974; COCHE, 1975). D'après RIFAI (1980), la ponte des femelles peut éventuellement avoir lieu, mais la fertilisation des oeufs et la production de larves ne sont pas observées, soit par inhibition du comportement reproducteur, soit par chute des oeufs à travers les mailles de la cage.

Sous certaines conditions dépendant principalement de la taille des mailles et de la densité des géniteurs, la reproduction des tilapias en cage est toutefois réalisable et a déjà conduit à des productions très élevées en alevins (GUERRERO, 1979; HUGHES et BEHREND, 1983).

Bien que le concept d'élever des poissons en hapas et en cages soit loin d'être nouveau (COCHE, 1975; BEVERIDGE, 1987), l'élevage des tilapias selon cette technique est par contre relativement récente, puisque les premiers essais expérimentaux furent réalisés à l'Université d'Auburn à la fin des années soixantes (SCHMITTOU, 1969; PAGAN, 1969; 1970). En Afrique, le premier élevage expérimental de *Tilapia nilotica* en cage débuta en 1974 en Tanzanie dans le lac Victoria (IBRAHIM et al, 1974) puis dans le lac artificiel de Kossou, en Côte d'Ivoire (COCHE, 1975).

2.2.1. Définitions et caractéristiques générales

2.2.1.1. Les hapas

Les hapas sont des poches fixes de petites tailles (de 1.5×1×1 m à 3×3×1 m) fabriquées à l'aide de filet moustiquaire (mailles de 1-3 mm) en nylon et attachés à des montants en bambous, pieux ou piquets en bois enfoncés dans le fond d'un étang de faible profondeur. Le hapa est placé à 10-20 cm du fond de l'étang et la profondeur du hapa est d'environ 0.6 m. Il peut être également disposé dans un bassin ou tank (planche 2.2).

Les recherches effectuées par le SEAFDEC (Centre de Développement des pêches du Sud-Est asiatique) et différentes universités ont permis de développer, particulièrement aux Philippines, la production d'alevins de *Tilapia nilotica* en hapas au niveau commercial (SMITH et al, 1985; BEVERIDGE, 1984).

Ainsi, à la figure 2.5b, les géniteurs sont confinés dans une chambre interne délimitée par des filets à mailles de 30 mm, de telle sorte que les alevins puissent aisément se maintenir dans la chambre externe (à mailles de 1-3 mm) au fur et à mesure qu'ils sont produits. Ce dispositif présente l'inconvénient de limiter les flux d'eau au travers du hapa, car les géniteurs n'ont pas accès aux parois de la chambre externe. Or, on sait que le mouvement des poissons, ainsi que leur action de broutage des algues périphtiques et des détritiques facilitent le renouvellement d'eau au sein du hapa. Une alternative, présentée à la figure 2.5c permet d'assurer aux géniteurs de bonnes conditions de circulation d'eau.

Figure 2.4. Différents systèmes de reproduction de tilapia en hapas et en cages: a: hapas simple, b: double cage avec cage centrale à géniteur, c: géniteurs maintenus dans une moitié de l'enceinte (d'après BEVERIDGE, 1987).

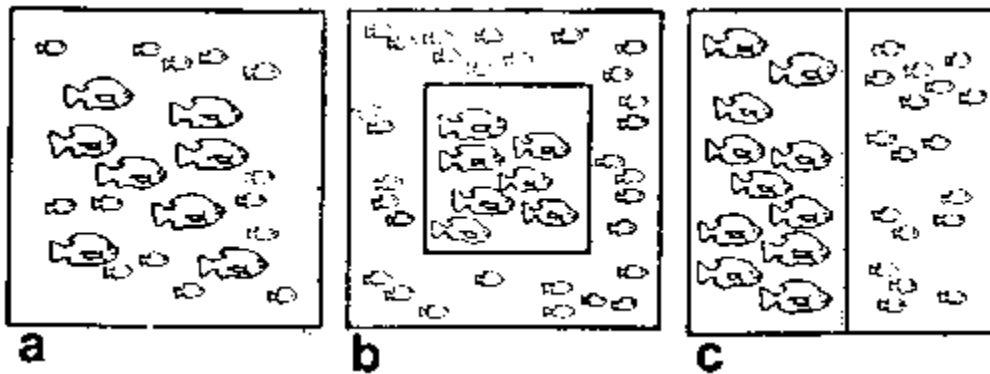
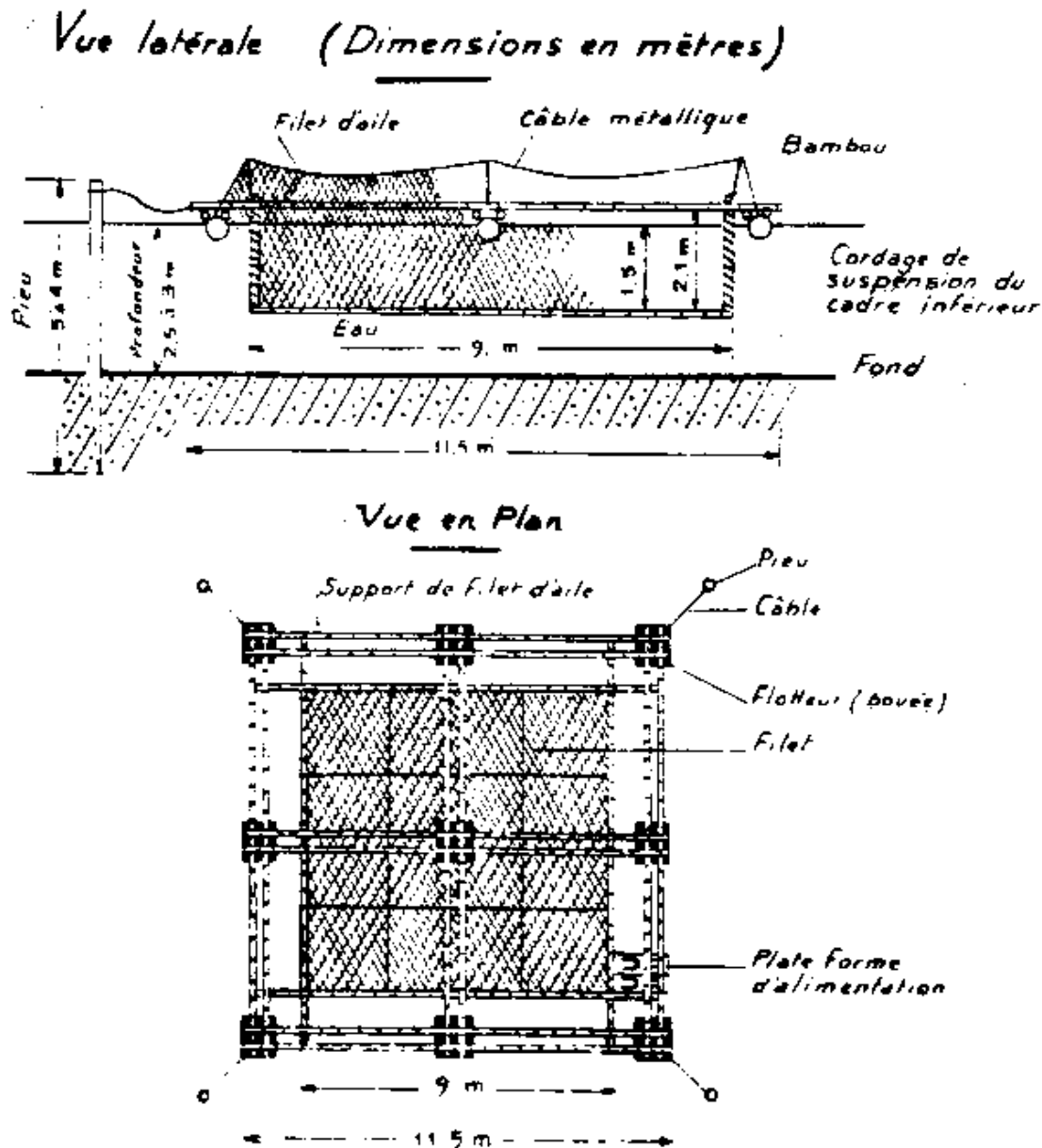


Figure 2.5. Schéma de cage flottante en filet (d'après BARD et al, 1971)



2.2.1.2. Les cages

Les cages sont généralement constituées d'un cadre de soutien rigide fait de bois ou de métal équipé d'un filet synthétique délimitant un volume d'eau et équipé d'un système de flottaison attaché au niveau du cadre de surface ou supporté par des montants enfoncés dans les lacs ou cours d'eau à faible profondeur (planche 2.2'). Ces cages se distinguent nettement des "enclos" qui correspondent à une surface d'eau délimitée par les berges d'une baie naturelle et formée d'un seul côté par un filet ou un grillage rigide ainsi que des "parcs" qui sont délimités de tous côtés par des filets ou grillages mais dont le fond correspond au lit naturel du lac.

La sélection des sites pour l'établissement d'un élevage en cage est primordial. Des facteurs tels que qualité et circulation de l'eau, protection adéquate contre les débris flottants et les vagues, accessibilité du site, sécurité et distance par rapport aux marchés sont importants à considérer. L'arrivée brutale des premières eaux de crue, extrêmement turbides, doit également être prise en considération, car elle entraîne une dégradation des conditions d'élevage et un arrêt de l'alimentation des poissons. Dans les régions régulièrement perturbées par des tempêtes ou des cyclones, les cages doivent être placées en zones protégées afin d'éviter leur endommagement et la perte des poissons. Un couvercle ou un filet de protection installé sur la cage permet de la submerger si nécessaire. Enfin, il faudra être attentif à la présence ou à l'absence de courants d'eau au sein de la cage, à la diminution de la concentration en O₂ dissous suite aux phénomènes de remontée des gaz toxiques (H₂S, CH₄,..., ESCOVER et CLAVERIA, 1985), et aux variations thermiques importantes durant les périodes de transition, (PARREL et al, 1986).

Quel que soit le modèle utilisé, le fond de la cage doit se situer au moins à une distance de 0.3 à 2 m du fond où les déchets s'accumulent et provoquent une diminution de la concentration en O₂ (COCHE. 1982; BALARIN et HALLER, 1982).

Les cages destinées à la reproduction et à la production de fingerlings sont généralement de plus petite taille que celles destinées à la production de poissons de consommation. Selon le niveau de production (de subsistance, artisanal ou industriel), on utilisera des cages de tailles adaptées: de quelques m³ à quelques 10m³.

La profondeur de la cage peut également affecter la croissance et la reproduction des tilapias. Une profondeur de 0.5 à 1 m est généralement observée (figure 2.5) dans la plupart des élevages (BALARIN et HALLER, 1982). CAMPBELL (1978b) préconise l'utilisation simultanée de plusieurs tailles de cages flottantes selon la croissance de *Tilapia nilotica*, la production de fingerlings étant réalisée successivement dans des cages de 0.5 et 1 m³ et la production de poisson de consommation dans des cages de 20 m³.

La reproduction des tilapias en cage est généralement limitée par la taille des mailles (tableau 2.21) et par la densité des poissons. Des mailles de 3 mm semblent une dimension maximale pour observer la ponte des géniteurs de *T. nilotica* car la taille moyenne des oeufs de *T. nilotica* est de 2,5 à 3 mm de diamètre. COCHE (1982) mentionne la présence de femelles de *T. nilotica* en incubation buccale dans des cages à mailles de 25 mm, mais uniquement quelques femelles sur une grande population de poissons. De plus, les larves ont rapidement disparu à travers les mailles de la cage. Des reproductions ont également été observées chez *T. aurea*, à une densité de 500 poissons/m², dans des cages équipées d'un fond à fines mailles (SUWANASART, 1972).

Le système de cages à géniteurs avec seaux à reproduction proposé par SIPE (1981) semble résoudre le problème (planche 2.2).

2.2.2. Méthodologie de la production de larves en hapas

De nombreux facteurs peuvent intervenir de façon significative sur la production des alevins de *Tilapia nilotica* en hapas, à savoir: l'âge et la taille des géniteurs, la densité de stockage, le rapport des sexes des géniteurs, la fréquence de récolte des larves et de remplacement des adultes, la forme et la taille des hapas et enfin l'alimentation des adultes et des alevins

(SILVERA, 1978; COCHE, 1982; GUERRERO et GARCIA, 1983; HUGHES et BEHREND, 1983; PARREL et al, 1986; LOVSHIN et IBRAHIM, 1987).

2.2.2.1. Age et taille des géniteurs

HUGHES et BEHREND (1983) ont étudié l'influence de l'âge des femelles de *Tilapia nilotica* sur la production de larves dans des hapas simples en nylon (mailles de 1.6 mm) de 3.34 m² et 0.5 m de profondeur placés dans des bassins en béton de 20 m².

Deux classes d'âge de femelles ont été utilisées (1 et 2 ans), correspondant à un poids moyen de 46g et 185g respectivement. Les femelles ont été placées en compagnie de mâles de 1 an (poids moyen = 58g), ce qui n'est pas favorable à la reproduction des femelles de 2 ans car celles-ci ne se reproduisent pas facilement avec des mâles plus petits qu'elles. Les résultats de production sont exprimés sous trois formes, à savoir la progéniture/m² de hapa/jour, le nombre de jeunes/femelle/jour, et la progéniture/poids des femelles/jour (progéniture = nombre total d'oeufs + larves vésiculées + alevins) (Tableau 2.22).

Tableau 2.21. Taille des mailles recommandée pour l'élevage des tilapias en cage (d'après BEVERIDGE, 1987).

| Taille du poisson | Objectif de production | Taille des mailles (mm) |
|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| Larves et alevins (<12g) | alevinage | 1-3 |
| Fingerlings (12-30g) | grossissement | 4-8 |
| 30-200 g | grossissement | 10-20 |
| 200g+ | grossissement | 20-25 |
| Reproduction (150 g +) | reproduction | 1-3 |

D'autres facteurs tels que le rapport des sexes et la densité de stockage des géniteurs ont également été examinés et seront discutés plus loin.

Les résultats de HUGHES et BEHREND (1983), confirmant les observations de SIRAJ *et al* (1983), indiquent que la fécondité des femelles de 1 an (I) (en terme de progéniture/g de femelles/jour) est supérieure à celle des femelles de 2 ans (II). Toutefois, étant donné le faible poids des femelles de la première classe d'âge, la production (exprimée en progéniture/m²/jour) du traitement 1 (100% de femelles de 1 an) est moins élevée que celle des traitements 2 et 5 (respectivement 50% - I et 50% - II ou 100% - II) (Tableau 2.22).

Sur base d'expériences utilisant des hapas à double filet, GUERRERO et GARCIA (1983) recommandent également l'emploi de femelles de 50 à 100 g plutôt que des femelles de 200 g, la production d'alevins à partir de ces dernières ayant chuté de plus de 60% par rapport à celle obtenue avec les femelles plus jeunes.

Après 15 à 21 mois de reproduction active, il est préférable de renouveler le stock de géniteurs (RANA, 1988).

2.2.2.2. Densité de stockage

La production d'alevins de tilapias en hapas nécessite généralement de faibles densités de stockage en géniteurs, bien que des reproductions aient déjà été observées à des densités de 200 poissons/m³ (GUERRERO, 1985).

Les essais réalisés par différents chercheurs (RADAN, 1979; SEAFDEC, 1981, 1983; GUERRERO et GARCIA, 1983) indiquent que les meilleurs résultats sont obtenus avec des densités de 2.5 à 5.0 géniteurs/m². SILVERA (1978) observe également des résultats similaires, signalant qu'une densité de 8 géniteurs/m², équivalant à un poids de femelles de 1 an de 526 g/m², conduit à des réductions notables de la production de larves. HUGHES et BEHREND (1983) recommandent également une densité de 5 géniteurs/m². BAUTISTA (1987), ayant testé 3 densités de stockage de géniteurs (4, 7 et 10 ind/m²), signalent que les meilleures productions d'alevins sont obtenues avec une densité de 4 géniteurs/m². Un pic de production d'alevins par femelle est atteint 60 à 80 jours après la mise en charge, suivi d'une diminution drastique durant les semaines suivantes (figure 2.6). Un second pic est également observé en saison des pluies.

2.2.2.3. Rapport des sexes

Les premiers essais réalisés par SEAFDEC (1981, 1983) indiquent que les productions de larves les plus élevées étaient obtenues à partir d'un rapport des sexes ♀/♂ de 5/1 à 7/1. Toutefois, des expériences plus récentes ont démontré que le rapport des sexes le plus avantageux était de 2/1 à 3/1, aussi bien en reproduction intraspécifique que interspécifique (Tableaux 2.22 et 2.23).

2.2.2.4. Fréquence de récolte des larves et de remplacement des adultes

Un des avantages de l'utilisation du système hapa pour l'obtention d'alevins de *Tilapia nilotica* est la facilité de contrôle des pontes et de récupération des alevins, chaque unité étant aisément manipulable par une ou deux personnes maximum (planche 2.2).

Ainsi, GUERRERO et GARCIA (1983) rapportent des récoltes journalières, à l'aide d'une épumette. D'après les expériences de HUGHES et BEHREND (1983), il semble toutefois que l'intervalle optimal entre deux récoltes soit de 10 à 14 jours, permettant d'obtenir une progéniture (oeufs, larves vésiculées et alevins) maximale à partir de femelles de 1 et 2 ans. SIRAJ *et al* (1983) ont également montré qu'en hapas, les femelles de ces deux classes d'âge pondaient à intervalle de 7 à 12 jours. Une récolte régulière est donc recommandée pour limiter le cannibalisme exercé par les géniteurs sur les jeunes alevins. Signalons cependant que, dans des conditions d'élevage similaires (rapport des sexes, densité de géniteurs,...), les larves récoltées à chaque prélèvement successif peuvent varier fortement d'un hapa à l'autre. Ces variations individuelles sont probablement la conséquence de la combinaison de plusieurs facteurs tels que la variation dans la fécondité individuelle (MIRE, 1982), les différences dans la fréquence de ponte de chaque femelle (LEE, 1979) et le développement relativement asynchrone des cycles de reproduction des femelles (JALABERT et ZOHAR, 1982).

Si les oeufs et les larves sont généralement récoltés lors de chaque cycle de ponte (ou même plus fréquemment), les mêmes géniteurs sont par contre maintenus pour plusieurs cycles. Or, LOVSHIN et IBRAHIM (1987) ont récemment démontré que le fait de renouveler les mâles et les femelles après chaque cycle de 21 jours permettait d'augmenter significativement le

nombre d'oeufs et de larves, comparé aux productions obtenues sans changement de géniteurs ou lors du remplacement des femelles uniquement

En conséquence, en pisciculture de production, il semble recommandable d'installer dans les hapas des géniteurs à la densité de 4 ind/m², âgés de 1.5 à 2 ans avec des mâles légèrement plus gros que les femelles avec un rapport des sexes ♀/♂ de 3/1 et de récolter les alevins tous les jours.

Tableau 2.22. Productions de *Tilapia nilotica* (oeufs, larves vésiculées et alevins) en hapas simples (3.3 m² - 1.7 m³) selon différentes conditions de densité de géniteurs, rapport des sexes et âge des géniteurs. (Compilé d'après HUCHES et BEHREND, 1983).

| Traitement | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------------------|-------|----------------|----------------|----------------|--------|----------------|
| Durée d'élevage (j) | 70 | 69 | 69 | 70 | 70 | 71 |
| Répétition | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Nbre de géniteurs/m ² | 5.0 | 5.0 | 10.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Rapport ♀/♂ | 2/1 | 2/1 | 3/1 | 3/1 | 2/1 | 2/1 |
| % - Classe d'âge | 100-1 | 50-I+ 50-II | 50-I+ 50-II | 50-I+ 50-II | 100-11 | 50-I+ 50-II |
| Poids total initial ♀(g)/hapa | 527 | 1443 | 2360 | 1587 | 2280 | 2610 |
| Poids total final ♀(g)/hapa | 1390 | 1839 | 4556 | 2555 | 3071 | 3407 |
| Progéniture totale (1) | 10442 | 16915 | 11220 | 4641 | 16682 | 7768 |
| Progéniture/m ² hapa/j | 44.7 | 73.4 | 48.7 | 19.8 | 71.4 | 32.8 |
| Progéniture/♀/j | 12.4 | 20.4 | 5.8 | 4.8 | 19.9 | 4.6 |
| Progéniture/g♀/j (2) | 0.16 | 0.15 | 0.04 | 0.03 | 0.09 | 0.04 |

(1) Progéniture = somme des oeufs, larves vésiculées et alevins.

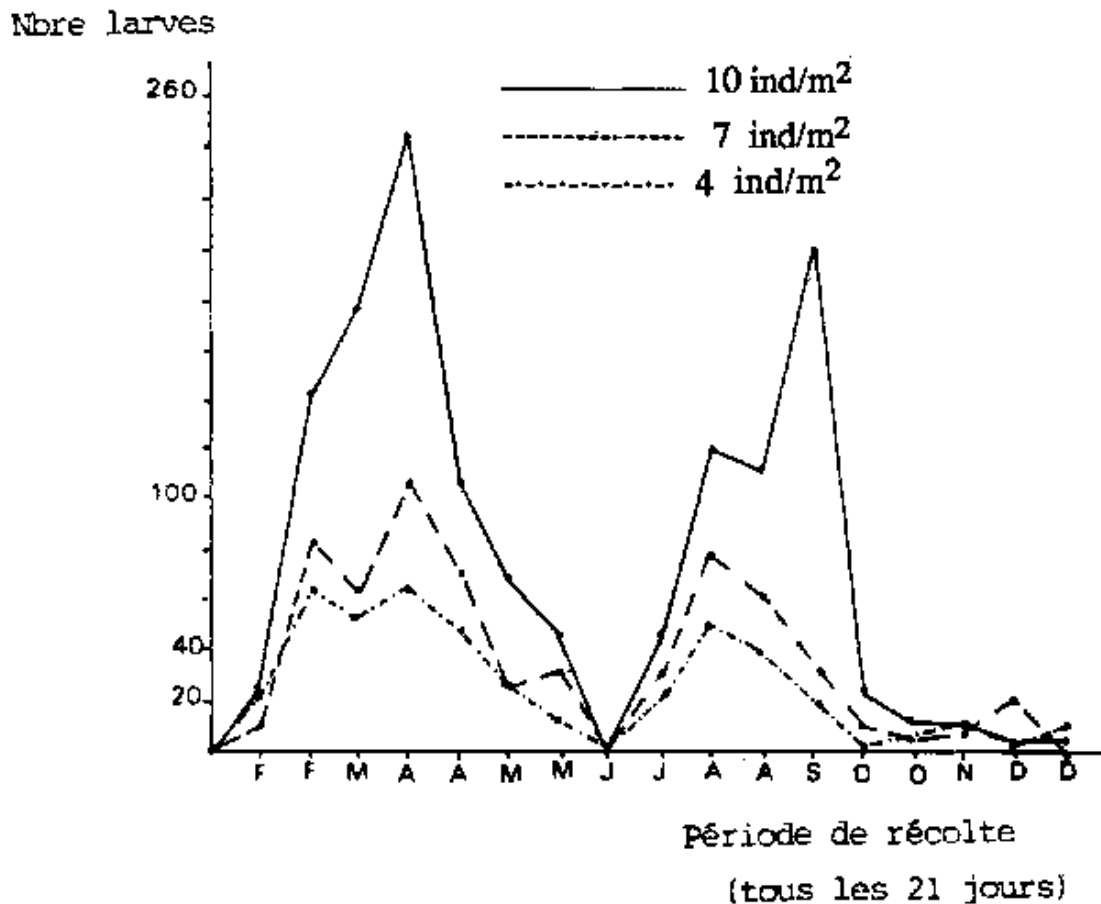
(2) Basé sur la moyenne des poids initial et final des femelles.

2.2.2.5. Modèles de hapas

Différents modèles de hapas ont été élaborés afin d'augmenter le recrutement en alevins. GUERRERO et GARCIA (1983) ont ainsi testé l'efficacité de hapas simples (filet unique de 12×4×1.5 m à fines mailles et de doubles, les géniteurs étant stockés dans un filet intérieur de 10×2×1.5 m à mailles de 30 mm entourés d'un filet extérieur de 12×4×2.5 à fines mailles). La densité des géniteurs a été fixée à 4 ind/m², avec un rapport des sexes ♀/♂ de 3/1, soit 80 géniteurs pour les cages doubles et 192 géniteurs pour les cages simples.

Leurs résultats (Tableau 2.24) ne montrent aucune différence significative dans la production de larves, quel que soit le type de cage utilisée, en dépit du fait que le nombre de géniteurs dans les hapas simples était nettement plus élevé que dans les modèles doubles. L'utilisation de hapas doubles permet en effet de réduire la prédation par les adultes et de faciliter les opérations de récolte séparée des géniteurs et des alevins. BEVERIDGE (1987) note toutefois que le coût supérieur du hapa double réduit sensiblement cet avantage.

Figure 2.6. Effet de la densité de géniteurs (4, 7, 10 ind/m²) sur la production moyenne d'alevins (nombre/♀) de *Tilapia nilotica* (d'après BAUTISTA, 1987)



2.2.3. Méthodologie de la production de larves en cages

Il existe très peu de données publiées sur la reproduction et la production de larves de *T. nilotica* en cages *sensu stricto*. De plus, dans certaines publications, il est parfois très difficile de discerner la production obtenue en hapas ou en cages, les auteurs confondant ces deux systèmes ou les considérant comme équivalents.

Un système qui semble se répandre, du moins en Amérique centrale, est celui proposé par SIPE (1981). Il consiste à disposer dans une cage flottante (4×4×2 m) à mailles fines, 4 petites cages rectangulaires (2.2×0.6×0.5 m) à grandes mailles contenant 5 seaux pour la reproduction (planche 2.2) avec chacune 10 femelles et 5 mâles (10 géniteurs/m² avec rapport des sexes ♀/♂ = 2/1). Ces géniteurs sont alimentés intensivement avec des granulés et les alevins avec une farine composée. Quelques 20000 alevins (± 6 cm) sont récupérés tous les 3 mois (com. pers. M. CHAVEZ) dans la cage à mailles fines soit 417 alevins/m²/mois.

Un autre système de double cage (externe 48m² et interne 20 m²) a été expérimenté par GUERRERO et GARCIA (1983) à une densité de 4 géniteurs/m² et un rapport des sexes ♀/♂ de 5/1 et 3/1 (tableau 2.25). Le meilleur taux de production d'alevins (53 ind/m²/mois) est

obtenu, comme pour les hapas, avec un rapport des sexes de 3/1. Ces résultats sont obtenus sans alimentation artificielle intensive.

2.2.4. Alimentation des géniteurs et des larves en hapas et en cages

Le niveau d'alimentation des géniteurs de *T. nilotica* stockés en cage est évidemment influencé par divers facteurs tels que la densité de stockage, la productivité naturelle de l'étang ou du lac dans lesquels sont placées les cages et le type d'aliment utilisé.

En phase de grossissement, la densité de stockage des poissons est telle que l'apport de nourriture naturelle directement accessible est relativement insignifiante. La qualité de l'alimentation artificielle complémentaire est alors d'importance primordiale. Par contre, dans les hapas et les cages destinés à la production des larves, la densité de poissons est généralement faible, ce qui permet de réduire la qualité du complément alimentaire, du moins durant les périodes de productivité naturelle élevée. Ainsi, GUERRERO et GARCIA (1983) montrent que, durant les mois de faible productivité, un aliment à teneur en protéines relativement élevée (granulés de commerce à 20% de protéines brutes à raison de 1.5% de la biomasse/jour) conduit à de meilleures productions d'alevins alors que l'utilisation d'une nourriture à teneurs en protéines plus basses (son de riz à 12% de protéines brutes à raison de 2.5% de la biomasse/jour) s'est révélée économiquement intéressante durant les mois les plus productifs (Tableau 2.26).

Au niveau expérimental, le nombre maximal d'alevins a été obtenu par HUGHES et BEHREND (1983), avec une production de 29 alevins/m²/jour (progéniture = 73/m²/jour), lors de l'emploi d'un aliment artificiel à hautes teneurs en protéines (35% protéines brutes) à raison de 3% de la biomasse/jour. De même, SANTIAGO (1981) signale que la fréquence de ponte la plus élevée est obtenue avec des femelles nourries avec un régime contenant 50% de protéines brutes. Au niveau commercial, on peut toutefois admettre qu'une alimentation composée de 25% de farine de poisson et 75% de son de riz apparaît de qualité suffisante pour assurer une production d'alevins satisfaisante.

Tableau 2.23. Effet du rapport des sexes sur la production d'alevins de *Tilapia nilotica* dans des hapas de 0.9 m³ à partir de géniteurs de 90 à 135 g stockés à une densité de 8 à 12 poissons par hapa, soit 5.3 à 8.0 poissons/m² (d'après GUERRERO, 1979, in COCHE, 1982).

| Croisement | | Rapport des sexes (♀/♂) | Nbre d'alevins produits par hapa | Nbre d'alevins produits par ♀ | % femelles ayant pondus |
|---|---------|-------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Mâle | Femelle | | | | |
| <i>T. nilotica</i> × <i>T. nilotica</i> | | 5/1 | 1660 | 309 | 53 |
| | | 3/1 | 1647 | 407 | 67 |
| <i>T. nilotica</i> × <i>T. mossambica</i> | | 5/1 | 509 | 280 | 18 |
| | | 3/1 | 527 | 458 | 19 |

Tableau 2.24. Nombre d'alevins de *T. nilotica* produits durant 5 semaines de stockage des géniteurs en hapas munis d'un filet simple (12×4×1.5m) ou double (filet intérieur 10×2×1.5m) avec ajout d'aliment complémentaire. (3 réplifications par traitements). Rapport des sexes ♀/♂ : 3/1. (D'après GUERRERO et GARCIA, 1983).

| Traitement | Ia | Iib |
|--|-------------|-------------|
| Hapas avec filet double (80 géniteurs/hapa) | | |
| - son de riz (12% Protéines brutes) | 8540 | 9034 |
| - granulés (20% Protéines brutes) | 8546 | 6552 |
| | 8543 | 7793 |
| Hapas avec filet simple (192 géniteurs/hapa) | | |
| - son de riz (12% Protéines brutes) | 4894 | 8122 |
| - granulés (20% Protéines brutes) | 12695 | 7263 |
| | 8784 | 7693 |

a) Février - mars

b) Avril - mai

Tableau 2.25. Production moyenne en alevins de *T. nilotica* selon deux rapports de sexes de géniteurs durant 5 semaines d'élevage en cages à filets doubles, (cage interne de 20 m² et cage externe de 48m²). (Calculé d'après GUERRERO et GARCIA, 1983).

| Rapport des sexes (♀/♂) | 5/1 | 3/1 |
|---|-------|-------|
| Durée d'élevage (j) | 35 | 35 |
| Répétitions 3 | 3 | |
| Nbre de géniteurs/m ² | 4 | 4 |
| Poids total des ♀(g/hapa) (1) | 13800 | 13428 |
| Production d'alevins (ind/m ² /mois) (1) | 44.1 | 53.2 |
| Nbre d'alevins/g ♀/j (1) | 0.005 | 0.007 |

(1) Moyenne de trois essais réalisés entre juillet et septembre.

Peu d'informations sont disponibles concernant la croissance des jeunes larves fraîchement écloses dans les hapas de reproduction, d'autant plus que les récoltes sont généralement réalisées tous les quinze jours afin de les déverser dans les cages de prégrossissement. BAUTISTA (1987) propose le schéma de nourrissage suivant: les jeunes larves sont nourries 1 fois/jour à raison d'un jaune d'oeuf cuit dur par 20000 larves durant 3 jours. Elles reçoivent ensuite des déchets de crevettes finement broyées ou mixées à raison de 25g/1000 larves/jour. Après une semaine, elles sont capables d'ingérer un aliment composé de démarrage, distribué 2 fois/jour à raison de 50 g/1000 alevins/jour. Cette alimentation est toutefois interrompue dès que la productivité primaire atteint au moins 3 g/m²/jour.

2.2.5. Grossissement des larves et des alevins

Le grossissement des larves et des alevins est généralement effectué en deux phases:

- phase 1: prégrossissement des larves de moins de 1 g (larves de 1 jour, de plusieurs jours ou de 3 à 4 semaines, selon la fréquence de récolte adoptée) jusqu'à la taille de 3 à 4 cm ou 2 g et plus.

- phase 2: premier grossissement d'alevins de 3-4 cm jusqu'à la taille de fingerlings (12g et plus).

2.2.5.1. Prégrossissement des larves et des alevins. - Phase 1

Le prégrossissement des alevins de *T. nilotica* peut être effectué en cages pourvues de filets de mailles adéquates, à partir de larves produites soit en hapas, soit en tanks ou en étangs de reproduction. Les pays du Sud-Est asiatique utilisent largement le système des hapas, alors que les élevages réalisés en Afrique se sont orientés préférentiellement vers la production de larves en petits étangs (2-4 ares) suivie d'un prégrossissement en cage (COCHE, 1975, 1982; CAMPBELL, 1978b, 1985; VINCKE, 1985; PARREL et al, 1986).

CAMPBELL (1978a) a suggéré l'emploi de petites cages de 0.5 m³ équipées de filets à mailles de 4 mm, destinées au stockage des larves 10 à 15 jours après éclosion (long.= 1.5 cm). Cela permet de récupérer les alevins plus tôt et d'augmenter ainsi l'efficacité des étangs. Ce type de filets à fines mailles limite évidemment les échanges d'eau au sein de la cage, et le taux de mise en charge doit donc être réduit en conséquence. L'aliment est distribué sous forme pulvérulente, à raison de 18 à 30% de la biomasse par jour selon la qualité de l'aliment (tableau 2.27) et avec une fréquence de distribution de 4 fois/jour. L'aliment peut également être distribué sous forme d'une pâte ou de boules placées au milieu du filet de protection de la cage (COCHE, 1982). En s'enfonçant légèrement dans l'eau, celui-ci met l'aliment à portée des alevins. Par temps agité, la majeure partie de l'aliment peut disparaître en quelques minutes et il est conseillé de différer ou de supprimer la distribution pendant ces périodes.

2.2.5.2. Premier grossissement des alevins. - Phase 2

Lorsque les alevins atteignent 3 à 4 cm, ils sont transférés dans des cages de 1 à 5 m³ munies de filets à mailles de 8 mm. Après 4 à 6 semaines supplémentaires, les alevins sont recalibrés, à l'aide d'un filet à mailles de 22 mm retenant les poissons de 12 g et plus. Ceux-ci sont alors déversés dans les cages de grossissement alors que les poissons de poids inférieur à 12 g sont replacés en cage de prégrossissement et recalibrés tous les 15 à 30 jours. (CAMPBELL, 1985). La facilité de contrôle et de calibrage des fingerlings en cage permet un apport régulier de poissons de taille uniforme dans les cages de production de poissons marchands.

Tableau 2.26. Productions de fingerlings de *T. nilotica* en cages, à partir de différents aliments et selon différentes densités de mise en charge.

| Durée d'élevage (j) | Aliments | Mise en charge | | Croissance | | | Vidange | | | Références |
|---------------------------|----------------------|----------------|--|----------------------------|------------|-----|------------|----------------------------|----------------------------|-------------|
| | | Pmi (g) | N/m ³ (kg/m ³) | Bi (kg/m ³) | G (g/j) | TC | Pmf (g) | Bf (kg/m ³) | PM (kg/m ³) | |
| 30 | granulés (25% PB) | 9.0 | 230 | 2.07 | 0.43 | 2.2 | 21.8 | 4.79 | 2.7 | COCHE. 1975 |
| 30 | | 21.8 | 218 | 4.77 | 0.68 | 9.7 | 42.1 | 9.18 | 4.4 | |
| 26 | | 16.1 | 26.8 | 4.31 | 0.54 | 2.0 | 30.1 | 7.54 | 3.7 | |
| 32 | | 30.1 | 260 | 7.82 | 0.41 | 2.9 | 43.2 | 11.43 | 3.0 | |
| 15 | granulés (46% PB) | 25 | 200 | 5.1 | 1.4 | 1.1 | 46 | 9.2 | 8.3 | PHILIPPART |

| | | | | | | | | | | |
|----|------------------------------|-----|------|-------|------|------|------|-------|------|-----------------------|
| 15 | | 32 | 200 | 6.2 | 0.93 | 1.4 | 46 | 9.2 | 6.0 | et al, 1979 |
| 56 | 25% FP - 75% SR | 2.7 | 100 | 0.27 | 0.32 | 1.7 | 20.5 | 1.62 | 0.73 | GUERRERO, 1980 |
| 56 | 30% FP - 70% SR | 2.5 | 100 | 0.25 | 0.30 | 1.9 | 19.1 | 1.58 | 0.71 | |
| 56 | 35% FP - 65% SR | 2.6 | 100 | 0.26 | 0.23 | 1.8 | 15.4 | 1.26 | 0.54 | |
| 55 | 20% FP - 40% SR 40% TA | 4.3 | 820 | 3.53 | 0.30 | 3.4 | 20.5 | 13.43 | 5.4 | PARREL et al, 1986 |
| 21 | granulés (28% PB) | 6.0 | 1707 | 10.24 | 0.19 | 1.77 | 9.9 | 15.82 | 8.0 | CAMPBELL, 1985 |

Pmi, f = poids moyen initial et final des alevins

PB = protéines brutes

TA = tourteau d'arachide

Bi, f = biomasse initiale et finale dans la cage

FP = farine de poisson

PM = Production mensuelle

SR = son de riz

Tableau 2.27. Taux et fréquence d'alimentation pour la production de fingerlings de *Tilapia nilotica* en cages. Aliment à base de 20% de farine de poisson, 40% de son de riz et 40% de tourteau d'arachide. (D'après PARREL et al, 1986). (*D'après PHILIPPART et al, 1979, aliments granulés 46% PB).

| Poids moyen des alevins (g) | Ration journalière (% de la biomasse) | Fréquence de distribution |
|--------------------------------|--|------------------------------|
| 0-5 | 30 à 15* | 4 |
| 5-10 | 12 | 4 |
| 10-15 | 10 | 4 |
| 15-20 | 8 | 4 |
| 20-30 | 6 | 4 |

Densité de stockage et alimentation des alevins

En élevage extensif en cage, aucun apport complémentaire n'est effectué et les tilapias se nourrissent uniquement du plancton disponible, éventuellement après fertilisation du milieu. La densité de stockage est généralement très faible, de l'ordre de 25 à 75 poissons/m³. Ce type d'élevage vise généralement la production de tilapias de consommation (100 à 200 g) à partir d'alevins de 2 à 10 g. Ainsi, AQUINO et NIELSEN (1987) indiquent qu'aux Philippines, la croissance des tilapias de 2 g (50 poissons/m³) est étroitement corrélée au taux de production primaire et qu'elle est stoppée lorsque celle-ci est inférieure à 0.5 g C/m³/j. (figure 2.7a).

D'après AQUINO et NIELSEN (1983), dans un lac relativement profond (ex. lac Sampaloc aux Philippines), ce niveau de production primaire correspond à une transparence (mesurée au disque de SECCHI) d'environ 3.2 m ± 0.68 (figure 2.7b), valeur qui semble toutefois importante.

En élevage semi-intensif, l'aliment complémentaire est pauvre en protéines (< 10%) et est constitué de végétaux et/ou de sous-produits de l'agriculture. Toutefois, de nombreux végétaux utilisés comme aliment exclusif ne sont recommandés que pour la phase de grossissement (> 40 g) et se révèlent inefficaces chez des alevins de 10 g (POPMA, 1978). De plus les mises en charge restent en général assez faibles, ne dépassant que rarement 3 kg/m³.

En élevage intensif, la qualité de l'aliment devient un facteur primordial et son coût intervient pour plus de 50% dans les coûts de production (COCHE, 1978, 1979). Une densité de mise en charge élevée devient alors non seulement possible, mais même nécessaire afin de minimiser les coûts de production et d'augmenter les profits nets (COCHE, 1982).

GUERRERO (1980), bien que travaillant à faible densité (mise en charge de 0.26 kg/m³) a testé trois régimes différant par leur proportion en farine de poisson et son de riz et obtient le meilleur taux de conversion (1.7) avec le régime à 25% de farine de poisson (Tableau 2.26). Aucune attention n'a toutefois été portée sur la productivité naturelle de l'étang.

CAMPBELL (1985) effectue des mises en charge de 1300 à 3000 alevins/m³, les poissons étant nourris avec un aliment composé (28% PB) sur base d'une ration journalière de 4 à 8% du poids total, et obtient un taux de conversion de 1.77, soit une production de 8 kg/m³/mois. Des densités de 820 alevins/m³ ont également été rapportées par PARREL et al (1986) avec un régime à base de son de riz (40%), tourteau d'arachide (40%) et farine de poisson (20%). Le taux de conversion observé est toutefois plus élevé (3.4) (Tableau 2.26). PHILIPPART *et al* (1979) rapportent l'emploi d'un aliment commercial, riche en protéines (40% PB) réduisant le taux de conversion à 1.1 (Tableau 2.26).

Ration et fréquence du nourrissage

La ration journalière est fortement influencée par la qualité des eaux pour l'alimentation naturelle et la qualité de l'aliment, et plus particulièrement par son quotient nutritif, ainsi que par le poids des alevins. Un contrôle régulier, effectué tous les 15 jours sur un échantillon de la population, permet de réajuster la ration en fonction d'un tableau d'alimentation préétabli (Tableau 2.27). ESCOVER et CLAVERIA (1985) indiquent toutefois qu'aux Philippines la fréquence de nourrissage peut fortement varier d'un pisciculteur à l'autre, allant de 3 à 4 fois/jour jusqu'à 1 à 2 fois/mois. CAMPBELL (1985) préconise un nourrissage 3 fois/jour, à 4 h d'intervalle. De plus, il paraît souhaitable selon MORIARTY et MORIARTY (1973) de tenir compte d'une digestion moins efficace en début de matinée et en fin de journée, ce qui implique de réduire les quantités d'aliments distribués à ces deux moments de la journée.

Selon les auteurs, différents modes de présentation de l'aliment ont été recommandés, sous forme de farine, de pâte ou de granulés.

CAMPBELL (1985) utilise des granulés de 3.2 mm de diamètre pour les poissons de poids inférieur à 45 g alors que PARREL *et al* (1986) distribuent la nourriture sous forme pulvérulente jusqu'à ce que les poissons atteignent un poids individuel de 30 g. Aux Philippines, l'aliment est habituellement distribué sous forme de pâtes ou de boules, afin d'éviter les pertes d'aliments provoquées par les courants d'eau (ESCOVER et CLAVERIA, 1985). Dans le cas d'un aliment granulé, l'emploi de distributeurs automatiques est préférable aux nourrisseurs à demande, spécialement lorsque la densité est élevée. Le choix d'un nourrissage manuel ou automatique est évidemment guidé par des considérations économiques. Si les coûts en personnel sont élevés, l'utilisation de nourrisseurs peut les

réduire, tout en augmentant la fréquence de distribution. Dans les entreprises artisanales, un nourrissage manuel peut, par contre, se révéler plus avantageux, d'autant plus qu'il permet un contrôle régulier des stocks de poissons (COCHE, 1982).

2.2.6. Evaluation économique de la production d'alevins en cage

GUERRERO (com. pers.) signale que sur le plan économique, la production d'alevins et de fingerlings de *T. nilotica* en hapas/cages est une activité très lucrative qui procure des rendements en alevins 5 à 10 fois plus élevés que les autres méthodes de production (étang ou tank) et est de ce fait nettement plus rentable que ces dernières. La production d'alevins en cage présente également l'avantage de nécessiter un investissement de départ nettement plus faible que la production en étang (Tableau 2.28). ARAGON *et al* (1985) signalent qu'aux Philippines, la plus grande part de l'investissement consiste en l'achat des hapas et des filets destinés à la construction des cages et représente entre 30 et 70% du capital investi. Le coût des cages de reproduction et de prégrossissement représente généralement 20% du total des coûts d'investissement en matériel, le prix des petites cages équipées de filets à fines mailles étant évidemment plus élevé, proportionnellement, que celui des cages de grossissement au volume plus important. Ainsi, VINCKE (1985) rapporte qu'en Côte d'Ivoire, le coût d'une cage varie de 3000f CFA/m³ pour une cage de 20 m³ à 6500f CFA pour une cage d'un m³. De même, PARREL *et al* (1986) signalent qu'au Niger, le m³ de cage revient à 12400f CFA pour une cage de 5 m³ (mailles de 7 mm) et à 9800f CFA pour une cage de 20 m³ (mailles de 14 mm).

Si la production de larves est effectuée en étang de ponte, le prégrossissement en cages permet de réduire considérablement les surfaces en étangs (une cage de 1 m³ peut remplacer un étang de 50 à 100 m² suivant les conditions d'alimentation en eau) et par conséquent, réduire les investissements nécessaires à la construction de ces étangs (VINCKE, 1985).

Figure 2.7. A: Relation entre le taux de croissance spécifique (X_1), le poids moyen initial des alevins (X_2) et la production primaire brute (X_3) dans le lac Sampaloc (Philippines) (modifié d'après AQUINO et NIELSEN, 1983).

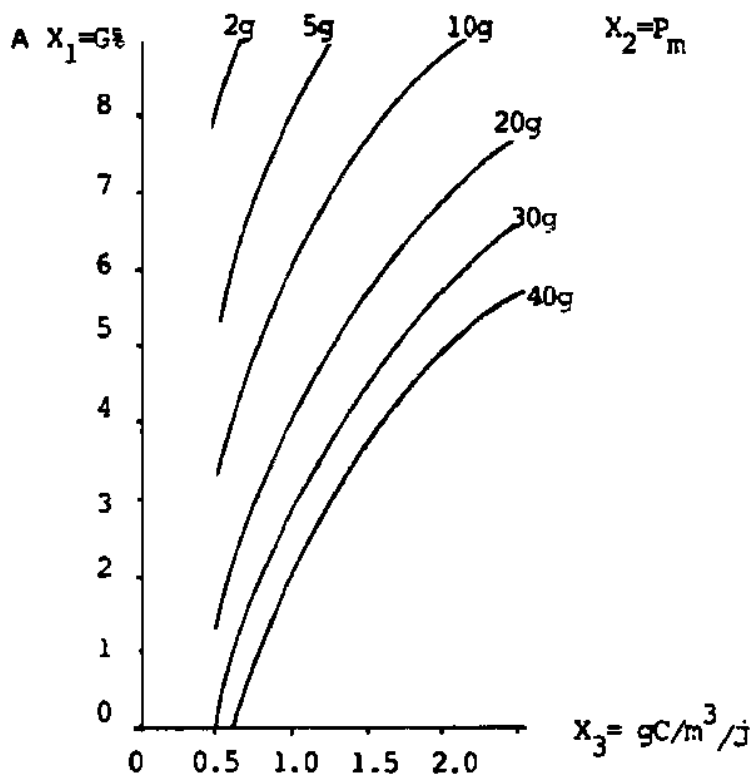


Figure 2.7. B: Relation entre la production primaire brute (GPP) et la transparence (V_m) exprimée au disque de Secchi (d'après AQUINO et NIELSEN, 1983).

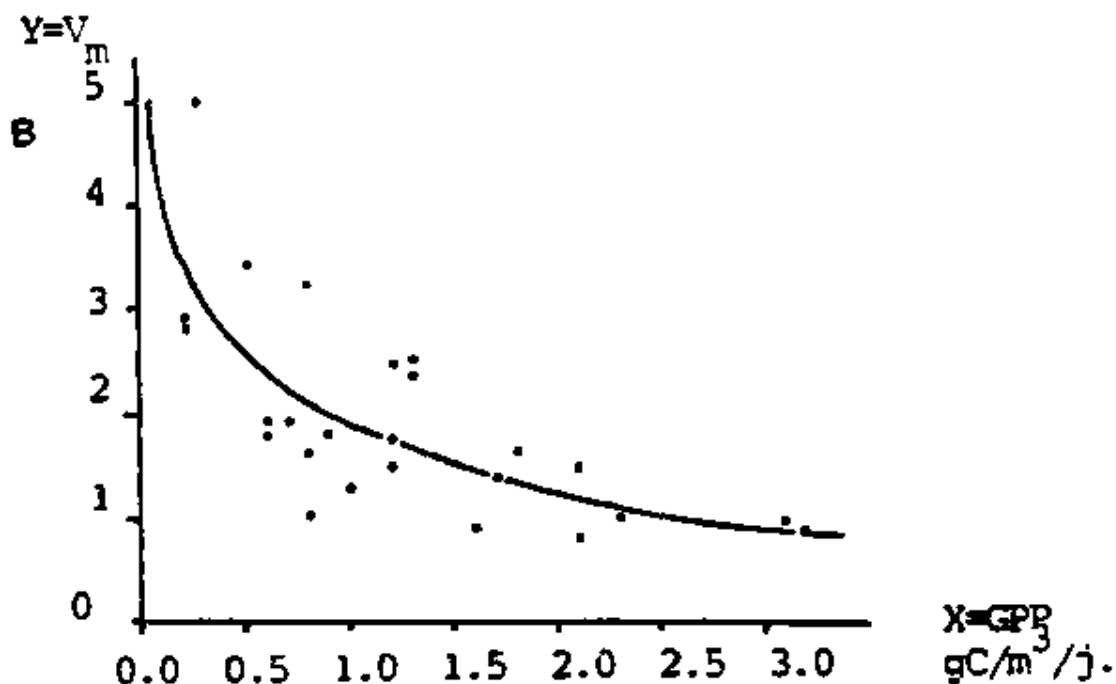


Tableau 2.28 Caractéristiques de piscicultures produisant des fingerlings de *T. nilotica* en étangs (avec ou sans hapas) ou en lacs (cages et hapas) aux Philippines. Bilan des coûts et des revenus annuels en 1983, exprimés en Pesos philippins (14 P= 1 US \$) et en % du total des coûts variables (*). (d'après ESCOVER et al, 1987).

n = nombre de piscicultures examinées.

| | Ecloserie en étang (avec ou sans hapas) n=26 | Ecloserie en lacs (cages et hapas) n=31 |
|-------------------------------------|---|--|
| <u>Caractéristiques</u> | | |
| - surf. moy. (m ²) | 6707 | 486 |
| - investissement moy. | 28872 | 10300 |
| - production de fingerlings: | 477.2 | 375 |
| total (x 1000) n/100 m ² | 71.1 | 771.7 |
| <u>Coûts de production</u> | | |
| - Coûts fixes: | | |
| Amortissement | 3058 | 3480 |
| Location | 198 | 0 |
| Licence/taxe | 0 | 15 |
| Total | 3256 | 3496 |
| - Coûts variables | | |
| Aliments | 6248 (17)* | 2904 (19)* |
| Personnel | 7177 (19) | 4446 (29) |
| Fertilisant | 2913 (8) | 0 |
| Eau/électricité/fuel | 2145 (5.5) | 1087 (7) |
| Location équipement | 30 | 0 |
| Géniteurs | 11715 (32) | 1466 (10) |
| Réparation | 396 (1) | 208 (1) |
| Frais administratifs | 7046 (19) | 4935 (33) |
| Total | 36482 | 15046 |
| Total des coûts de production | 39738 | 18541 |
| Coûts de production du fingerling | 0.08 | 0.05 |
| <u>Revenus</u> | | |
| Vente de géniteurs | 6268 | 1548 |
| Vente de fingerlings | 56161 | 32609 |
| Total | 62429 | 34157 |
| Bénéfice net annuel | 22961 | 15614 |
| Bénéfice net/100 m ² | 338 | 3213 |

Un second élément occupant une part importante des coûts de production du fingerling de *T. nilotica* en cage est l'aliment. Son coût atteint généralement 20 à 50% des coûts totaux de production, amortissement des installations compris (Tableau 2.28 et 2.29) (COCHE, 1982; VINCKE, 1985; ARAGON et al, 1985; PARREL et al, 1986; ESCOVER et al, 1987).

ARAGON *et al* (1985) mentionnent également qu'aux Philippines, une station d'alevinage (15 cages) nécessite le travail d'environ 30 hommes/jour par cycle de production, dont 22% sont requis pour le nourrissage des poissons.

Si l'on compare le travail nécessaire dans une pisciculture produisant le fingerling en étang ou en cage, on remarque que la récolte et le nourrissage des alevins représentent à euxseuls le tiers du temps employé en étang (Tableau 2.30) alors qu'en cage, l'activité principale est constituée par le gardiennage (ESCOVER *et al*, 1987). Les frais de surveillance, de l'ordre de 30% dans les grandes piscicultures, peuvent en effet dépasser 60% des frais de personnel dans les petites exploitations. Cette surveillance est généralement effectuée par le pisciculteur lui-même. Les opérations de triage, comptage et vente représentent également une activité importante.

Tableau 2.29. Coûts de production du fingerling (20-30 g) de *T. nilotica* en cage flottante de 5 m³, à partir d'alevins prégressis (4 g). (Modifié d'après PARREL *et al*, 1986). * Coûts des alevins prégressis.

| Caractéristiques | en CFA en % | |
|--|-------------|------|
| Production de fingerling par cage (n) | 2400 | |
| Mortalité (%) | 20 | |
| Coûts fixes (en CFA) | | |
| - amortissement cage (7 ans) | 2814 | 4.9 |
| - amortissement petit matériel | 550 | 1.0 |
| - entretien de la cage | 4250 | 2.2 |
| - total | 4614 | 8.1 |
| Coûts variables (en CFA) | | |
| - achat alevins (3000 x 7.5*) | 22500 | 39.4 |
| - transport + oxygène | 8250 | 14.5 |
| - alimentation | 21409 | 37.5 |
| - total | 52429 | 91.9 |
| Total des coûts de production (en CFA) | 57045 | 100 |
| Coût de revient du fingerling (en CFA) | 23.8 | |

2.2.7. Avantages et inconvénients de la production d'alevins en cages

Les avantages et inconvénients de l'élevage des tilapias en cage ont déjà été revus à plusieurs reprises (COCHE, 1975, 1978, 1979, 1982; BALARIN *et* HATTON, 1979; BEVERIDGE, 1987), en comparant généralement ce mode d'élevage aux méthodes traditionnelles en étang. Nous présentons ci-après les éléments se référant principalement à la production d'alevins.

Tableau 2.30. Quantité de travail (en homme - jour) nécessaire à la production de fingerlings de *T. nilotica* dans des piscicultures en étangs (avec ou sans hapas) et en lacs (cages et hapas) aux Philippines. (D'après ESCOVER et al, 1987).

| Caractéristiques: | Ecloserie en étang | Ecloserie en cage |
|---|--------------------|-------------------|
| | n=26 | n=31 |
| Surface moyenne (m ²) | 6707 | 486 |
| Production de fingerlings (x 1000) | 477.2 | 375 |
| (n/100 m ²) | 71.1 | 771.7 |
| Préparation des étangs | 111.36 | - |
| Achat de matériel | 0.98 | 1.28 |
| Préparation et installation des filets | 3.39 | 25.79 |
| Achats/sélection/stockage des géniteurs | 5.57 | 4.83 |
| Alimentation | 40.24 | 36.98 |
| Fertilisation | 14.03 | - |
| Nettoyage des filets/hapas | 5.67 | 29.02 |
| Nettoyage et réparation des digues/drainage | 24.57 | - |
| Sennage | 4.72 | - |
| Récolte des alevins | 66.13 | 19.71 |
| Triage/comptage/vente | 27.39 | 71.0 |
| Surveillance | - | 114.71 |
| Total hommes/jours | 303.95 | 303.32 |
| Hommes-jour/100 m ² | 4.53 | 62.20 |

2.2.7.1. Avantages

En ce qui concerne la production d'alevins, la technique d'élevage en hapas permet d'augmenter très sensiblement la quantité de larves produites grâce à la récolte fréquente des larves au fur et à mesure de leur production. Ces récoltes, répétées et complètes, sont d'autant plus efficaces qu'elles ne nécessitent pas de vidange de l'étang, ni de pêche au filet de senne, et donc limitent les pertes de progéniture régulièrement observées lors de ces opérations. De plus, le système de cages à double filet réduit le cannibalisme exercé par les adultes, augmentant ainsi le nombre de larves produites par femelle.

La facilité de contrôle et de calibrage des alevins permet une utilisation optimale de la nourriture distribuée, d'autant plus que le taux de croissance spécifique est maximal durant les premières phases de l'élevage et que les rations doivent être adaptées à chaque classe de taille de la population. Le contrôle de l'état sanitaire des poissons est également grandement facilité.

2.2.7.2. Inconvénients et remèdes

L'importance relative des inconvénients de l'élevage en cage varie d'un endroit à l'autre. Les principaux problèmes sont liés au site d'implantation de la pisciculture, à la qualité de l'eau, à l'alimentation des alevins, à la prédation et aux maladies, aux coûts de production et enfin au vol et au vandalisme.

Qualité d'eau

Un des paramètres primordiaux concernant la qualité de l'eau est certainement la concentration en O₂ dissous. L'élevage en cage nécessite des filets à mailles fines, réduisant fortement les échanges d'eau au sein de la cage. La surveillance de la concentration en O₂ dissous est donc de première importance. COCHE (1982) signale qu'à une température de 26 à 30°C, des mesures spéciales doivent être envisagées si la concentration en O₂ à la surface de l'eau descend en-dessous de 3 mg/l durant plusieurs jours. Il conseille une réduction ou même un arrêt complet du nourrissage ainsi qu'une diminution de la densité de stockage et un espacement maximal des cages (à plusieurs mètres l'une de l'autre). Un entretien régulier des hapas et des cages, avec nettoyage des filets, évitera une obstruction trop importante des mailles et assurera une meilleure circulation de l'eau au sein de la cage.

Un système d'aération électrique peut éventuellement être envisagé dans les piscicultures commerciales. Dans ce cas, un système submergé semble plus efficace qu'un agitateur de surface (BEVERIDGE, 1987).

Alimentation

En ce qui concerne plus spécifiquement les poissons, mentionnons tout d'abord la haute dépendance vis-à-vis de la nourriture artificielle, surtout lorsque les densités d'élevage en alevins sont fortes. L'aliment doit être de qualité et bien équilibré d'autant plus que la croissance est très rapide durant les premiers stades et que les malformations engendrées par une carence en certains éléments (acides aminés essentiels, vitamines, ...) se manifestent de façon accélérée.

Signalons également les pertes de nourriture, soit directement à travers les mailles de la cage, soit par l'introduction d'espèces sauvages qui peuvent entrer en compétition avec les poissons en élevage. Un contrôle régulier des cages permet toutefois d'éliminer systématiquement les espèces indésirables.

Prédation et maladies

La prédation est exercée, soit par les oiseaux piscivores attirés par une densité de poissons importante, soit par les poissons voraces tels que *Lates niloticus*. COCHE (1982) signale également des dégâts importants provoqués par des iguanes, des tortues, des varans, des crocodiles ou des crabes. A cela, il faut ajouter les loutres capables de déchirer les filets et même les grillages de protection. Cette protection des cages est généralement réalisée à l'aide d'un filet de couverture et d'un filet submergé entourant un groupe de cages. Ces filets doivent être régulièrement contrôlés pour repérer les déchirures éventuelles.

Les conditions d'élevage en cage sont souvent considérées comme plus stressantes pour les poissons que l'élevage en étang, les rendant de la sorte moins résistants aux agents pathogènes. Peu de cas de maladies ont toutefois été recensées dans les élevages de tilapias en cage. Les quelques cas répertoriés proviennent de stress induit par des biomasses ou des salinités trop élevées (COCHE, 1982), des manipulations maladroites ou une suralimentation (PARREL et al, 1986). COCHE (1977) mentionne une diminution de la production suite aux infections mycosiques.

Coûts de production

La pisciculture en cage nécessite une série d'intrants (alimentation, matériel) qui ne peuvent être couverts que par un prix de vente du tilapia relativement élevé. Pour avoir sous-estimé ce problème la culture en cage sur le barrage de Lobi au Burkina Faso a été rapidement fermée vu le déficit accumulé. L'expérience d'élevage en cage sur le fleuve Niger ne pourra se développer que si les prix du tilapia se maintiennent au niveau actuel très élevé (1.200 CFA/kg au détail).

Vol et vandalisme

Le vol constitue un problème majeur en élevage en cage. De nombreux auteurs (STREET, 1978; IDRC/SEAFDEC, 1979; COCHE, 1982; ESCOVER et CLAVERIA, 1985; BEVERIDGE, 1987) mentionnent la nécessité d'employer un gardien à temps plein et d'installer une habitation à proximité ou au milieu de l'aire de production. Ainsi, ESCOVER et CLAVERIA (1985) signalent que dans certains élevages en cage des Philippines, le vol constitue le problème principal 25% de l'ensemble des problèmes rencontrés et que la surveillance représente l'activité prépondérante (environ 50% du travail total).

2.2.8. Recommandations pour la production d'alevins en hapas et en cages

Différentes stratégies de production d'alevins de *T. nilotica* en hapas et en cages peuvent être recommandées, selon le niveau d'intensification envisagé et la qualification technique du pisciculteur.

L'utilisation de hapas, poches fixes de petites tailles en filets moustiquaires, permet de bien contrôler et d'intensifier la reproduction et l'alevinage de *T. nilotica* aussi bien en étangs qu'en tanks. A une densité de 5 géniteurs/m² avec rapport des sexes ♀/♂ de 3/1, on obtient des taux de recrutement très élevés, de l'ordre de 40 à 70 alevins/m²/jour, mais elle nécessite un contrôle très fréquent des hapas et un nourrissage régulier des géniteurs avec une alimentation équilibrée. Les modalités de production complète d'alevins de *T. nilotica* en hapas et en cages de prégrossissement sont présentées au tableau 2.31. Remarquons cependant que le niveau d'intensification préconisé nécessite un suivi continu des poissons en croissance (ration et fréquence d'alimentation élevées, état de santé, etc.).

Une autre méthode relativement simple et procurant des résultats satisfaisants consiste à réaliser la production des larves en étang et à les y maintenir jusqu'à ce qu'elles atteignent un poids d'environ 1g. Cette étape peut elle-même être subdivisée en 2 phases, la reproduction s'effectuant dans des petits étangs de ponte reliés via une buse de transfert à des étangs de premier alevinage (CAMPBELL, 1985). Les alevins sont ensuite déversés en cages de prégrossissement phase 1 jusqu'à 10 g, puis en cages de prégrossissement phase 2 jusqu'à 30g. La récolte des alevins de 4g, par sennage de l'étang, permet de réduire le prégrossissement en cage à une seule phase, jusqu'à ce que les poissons atteignent un poids de 20-30g, mais les taux de production en alevins sont généralement moins élevés.

Enfin un autre système de production d'alevins qui s'effectue complètement en cages flottantes de 16m² avec filets à mailles fines consiste à y disposer quatre petites cages à géniteurs (10 ind/m² avec rapport des sexes ♀/♂ = 2) avec 5 seaux à reproduction ce qui donne avec une alimentation intensive des productions de l'ordre de 400 alevins/m²/mois.

Tableau 2.31. Modalité de production d'alevins de *T. nilotica* en hapas et en cages de prégrossissement.

| Caractéristiques de l'élevage | Phases de production | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| | Reproduction | Prégrossissement 1 | Prégrossissement 2 |
| Cages: | | | |
| - dimension (m ³) | 1.5-9 | 0.5-1 | 1-5 |
| - mailles filet (mm) | 1-3 | 4 | 4-8 |
| Mise en charge | | | |
| - densité (ind/m ³) | 5 | 3000 | 800-1300 |
| - rapport des sexes (♀/♂) | 3/1 | - | - |
| - poids moyen géniteurs (g) | 100-200 | - | - |
| Récolte: | | | |
| - fréquence de récolte (j) | 10-14 | - | - |
| - durée d'élevage (j) | - | 20-50 | 30-40 |
| - poids moyen alevins (g) | <0.5 | 1-4 | 10-30 |
| Alimentation: | | | |
| - qualité (% Protéines brutes) | 20-30 | 35 | 25-30 |
| - ration (% biomasse) | 1.5-3 | 15-30 | 6-10 |
| - fréquence (n/j) | 1 | 4-6 | 3-4 |

Tableau 2.32. Caractéristiques d'une unité d'élevage intensif idéale. (D'après BALARIN et HALLER, 1982).

1. Intérieur lisse: prévention contre les dommages causés aux poissons (aspérités) et facilité de nettoyage, réduction de l'incrustation d'algues, bactéries,...
2. Système auto-nettoyant: vitesse du courant d'eau élevée et efficacité de nettoyage si flux d'eau uniforme.
3. Qualité d'eau élevée, assurant des conditions d'élevage optimales.
4. Matériel durable, non toxique et non corrosif, de préférence suffisamment solide pour permettre son déplacement.
5. Facilement nettoyable et désinfectable, avec un système de vidange autonome utilisable lors d'infections graves.
6. Faible coût de construction et période d'amortissement longue.
7. Distribution satisfaisante des poissons et de l'aliment.
8. Courant d'eau obligeant le poisson à se déplacer et conduisant à une meilleure survie par amélioration du volume musculaire et de la résistance du poisson.
9. Adaptable aux différentes phases de l'élevage: élevage larvaire, alevinage, grossissement et stabulation.

2.3. Reproduction et alevinage en tanks, "raceways" et arènes

Le développement de l'élevage intensif de *T. nilotica* en tanks (= bassins) n'a réellement pris son essor qu'à la fin des années 1970. BALARIN et HATTON (1979) signalent d'ailleurs qu'à l'exception des rapports de UCHIDA et KING (1962) et de HIDA et al (1962) sur l'utilisation respectivement d'auges et de "raceways" destinés à l'élevage de *T. mossambica* comme poisson-appât à Hawaï, peu d'essais avaient jusque là utilisé les tanks comme système d'élevage des tilapias. Depuis, les élevages en tanks se sont multipliés, tant au niveau expérimental que commercial (BALARIN et HALLER, 1982; MELARD, 1986). Ces structures d'élevage ne sont toutefois utilisables qu'en pisciculture commerciale ou industrielle, à grande échelle et donc généralement hors de portée des villageois.

Ce mode d'élevage présente l'avantage de ne nécessiter que peu d'espace, comparé à l'élevage en étang. Il permet un contrôle efficace des conditions environnementales et une gestion très précise de la production. La possibilité de produire une quantité maximale d'individus dans un volume d'eau minimal est toutefois étroitement dépendante de paramètres tels que l'alimentation (qualitative et quantitative), l'oxygénation (par aération ou renouvellement rapide du volume d'eau) et la formation du personnel employé.

BALARIN et HALLER (1982) classifient les tanks et raceways de la façon suivante:

- tanks: en béton ou en polyester de forme variable (circulaire, ovale, carrée,...), utilisés pour la production d'alevins, pour le traitement d'inversion du sexe aux androgènes (BALARIN et HATTON, 1979; GUERRERO, 1976), mais principalement destinés au grossissement et à la production de poissons de taille marchande. (BALARIN et HATTON, 1979; LAUENSTEIN, 1978; NASH et MAYO, 1979; MELARD, 1986).

- raceways: en béton de forme généralement rectangulaire, principalement utilisés pour l'élevage des alevins, soit jusqu'à une taille commercialisable comme poissons-appâts (UCHIDA et KING, 1962), soit comme stabulation avant le déversement en étangs (RAY, 1978), en tanks de grossissement (LAUENSTEIN, 1978; BALARIN et HALLER, 1979) ou en cages (KONIKOFF, 1975).

- les arènes, développées par HALLER et PARKER (1981): plateformes circulaires servant d'aire de reproduction et occupées en continu par les mâles qui y construisent des nids et ponctuellement par les femelles qui viennent y pondre.

2.3.1. Caractéristiques et construction des tanks, "raceways" et arènes

Comparés aux étangs et éventuellement aux raceways, les tanks sont généralement de petite taille et construits en béton, bois, fibre de verre ou métal. Quel que soit le matériau utilisé, leur surface intérieure doit être aussi lisse que possible, facilitant de la sorte les opérations de nettoyage tout en empêchant les poissons de se blesser aux aspérités des parois. Les autres caractéristiques d'un tank d'élevage idéal sont présentées au tableau 2.32. En général, l'alimentation en eau des tanks, raceways et arènes est effectuée par pompage, ce qui implique, à la différence des étangs alimentés en eau par gravité, un coût énergétique récurrent qu'il faut bien évaluer. Pour la vidange, tanks, raceways et arènes doivent être

positionnés pour permettre l'évacuation facile de l'eau par inclinaison ou abaissement du tuyau d'évacuation.

2.3.1.1. Modèles de tanks et raceways.

Les différents modèles de tanks existant sur le marché ont été inventoriés par BALARIN et HALLER (1982). Le tableau 2.33 donne les caractéristiques des modèles (planche 2.3) pouvant être recommandés pour la production et le grossissement d'alevins de tilapias.

Tableau 2.33. Caractéristiques de quelques modèles de tanks adaptés à l'élevage des larves et des alevins et du système de vidange fréquemment utilisé (Modifié d'après BALARIN et HALLER, 1982).





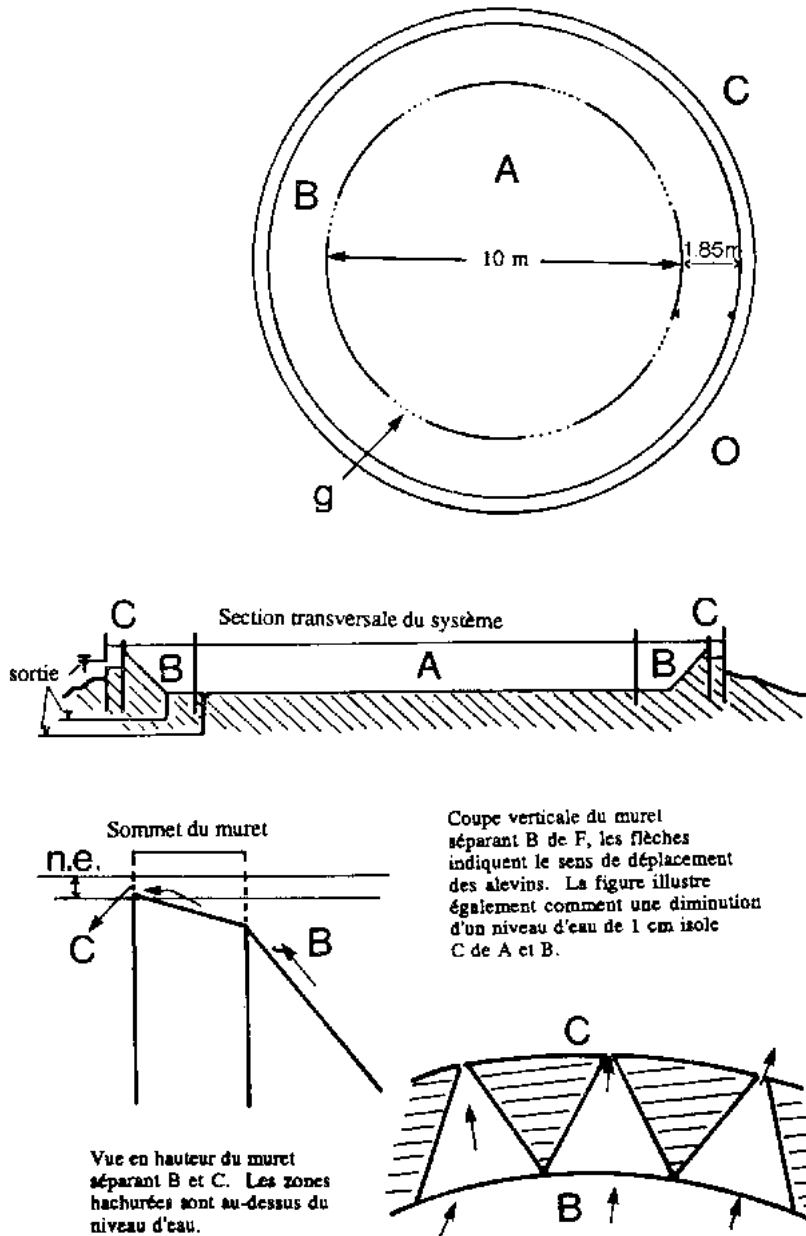
| Caractéristiques | Modèles de structure | | | Système de vidange |
|---------------------------|---|---|--|---|
| | 1. circulaire ou carré | 2. rectangulaire | 3. raceways | |
| Représentation |  |  |  |  |
| Efficacité de nettoyage | Très bonne, système autonettoyant | Faible, création de "zones mortes" | Faible à bonne, nécessite un courant uniforme | Faible à modérée; bonne quand le système est baissé manuellement |
| Distribution de l'aliment | très bonne | moyenne | bonne, mais inférieure à 1 | - |
| Perte d'aliment | moyenne à élevée | faible | faible | variable |
| Distribution des poissons | très bonne | faible, effet d'entassement dans les coins chez les poissons de plus grande taille. | bonne, mais souvent même réaction qu'en 2 | - |
| Récolte des alevins | moyenne | simple | très simple | très bonne |
| Coût de construction | modéré, fonction du matériel | faible, 12% en moins que 1. | faible, construction simple. | - |

Figure 2.8. Arène de reproduction de HALLER et PARKER. - A: aire de ponte (arène), B: aire d'incubation et de gardiennage, C: aire d'alevinage, g: grille, n.e.: niveau d'eau, t.v.: tuyau de vidange. Les flèches indiquent le sens du déplacement des alevins (d'après HALLER et PARKER, 1981)



Les avantages du tank circulaire par rapport au tank rectangulaire ont été largement décrits par BALARIN et HALLER (1982). Rappelons que les principaux inconvénients du tank rectangulaire sont:

- présence de zones mortes,

- réduction de la vitesse du flux d'eau par rapport au tank circulaire, conduisant à des déficits localisés en oxygène ainsi qu'à l'accumulation de déchets et de nourriture non ingérés, source d'agents infectieux, de stress et finalement de mort du poisson.

Ces auteurs signalent toutefois que le tank rectangulaire peut être utilisé pour l'élevage des alevins, car ceux-ci ne présentent généralement pas le comportement perturbé des poissons sauvages lorsqu'ils sont placés dans ce type de tank (entassement dans les coins du tank).

BURROWS et CHENOWETH (1955), comparant les modes d'écoulement dans les tanks circulaires, rectangulaires et ovales, ont montré que la circulation de l'eau dans les raceways était fort différente et dépendante des dispositifs d'amenée et d'évacuation d'eau. Ceux-ci doivent en effet couvrir l'entièreté de la largeur du raceway. Un rapport longueur-largeur-profondeur du raceway de 30: 3: 1 est requis pour l'évacuation efficace des déchets (WESTERS et PRATT, 1977).

2.3.1.2. Arènes de reproduction

HALLER et PARKER (1981) ont conçu et testé, dans une ferme piscicole du Kenya (Baobab Farm), un système de tank spécialement mis au point pour la reproduction des tilapias. Ce système se base sur la particularité des comportements de reproduction et d'incubation des tilapias incubateurs buccaux, tels qu'ils ont pu être observés en milieu naturel et décrit à plusieurs reprises (FRYER et ILES, 1972; RUWET et al, 1975). Il est constitué:

- d'une aire de reproduction appelée "arène", où les mâles délimitent chacun un territoire sur lequel ils creusent leur nid en forme de dépression et où ils invitent à la reproduction les femelles de passage,
- d'une aire d'incubation et de gardiennage, en dehors de l'aire de reproduction, où la femelle peut incuber ses oeufs et veiller à sa progéniture durant les jours qui suivent l'éclosion, et
- d'une aire d'alevinage, de faible profondeur vers laquelle les alevins se dirigent spontanément à la fin de leur phase de gardiennage.

Ce système permet de la sorte d'éviter ou de réduire l'agressivité et les attaques observées entre adultes ainsi que le cannibalisme effectué à l'égard des alevins. La figure 2.8 présente de façon détaillée le dispositif de HALLER et PARKER. La zone A constitue l'arène de reproduction (d = 10 m) et est séparée de l'aire de gardiennage B (largeur = 3.7 m) par une série de portes grillagées conçues de manière à laisser le libre passage aux femelles et à retenir les mâles choisis de taille supérieure aux femelles. La séparation entre la zone B et la zone C (largeur = 0.3 m) vers où se dirigent les alevins est constituée d'un ensemble de créneaux en forme de V pointés vers C (système de passe à poissons unidirectionnelle). Les passages ont une ouverture maximale de 0.5 cm et ne peuvent donc être utilisés que par les jeunes alevins. De plus, la profondeur de l'eau n'y excède pas 1 cm. Un abaissement du niveau d'eau de 1 cm isole les alevins se trouvant dans la zone C du reste du système et facilite leur récupération. Cette installation est mise en charge avec 280 femelles et 40 mâles (rapport des sexes ♀/♂: 7/1). La vidange bi-hebdomadaire de l'aire d'alevinage (C) permet la récolte de jeunes alevins de même âge et de taille uniforme. La production d'une arène de ce type est de 200 alevins/m²/an (BALARIN et HALLER, 1983) soit 100 alevins/femelle/an ce qui est faible. Il est vrai qu'un certain nombre d'alevins ne se dirigent pas vers l'aire d'alevinage et deviennent alors progressivement cannibales vis-à-vis des alevins fraîchement éclos. Leur

nombre peut être réduit en plaçant des nasses dont l'entrée est trop faible pour les adultes. Des copies réduites de ces systèmes sont parfois construites avec des moyens financiers limités. Si l'arène de reproduction n'a qu'un diamètre de 1 à 2 m, la production d'alevins ne peut justifier le coût d'une telle installation. De toute façon, malgré son intérêt pratique, ce système ne semble pas se généraliser en Afrique vu le coût des infrastructures en béton et des installations de pompage.

2.3.1.3. Dispositif et taux d'écoulement

L'évacuation des déchets et les besoins en O₂ sont considérés comme les paramètres principaux fixant le taux d'écoulement dans les tanks. Il est évidemment nécessaire d'établir un équilibre entre le niveau de nettoyage du tank et les effets du courant sur la croissance et la consommation d'O₂. Ainsi, dans un circuit ouvert, un débit de 0.5 à 1 l/kg de poisson/min maintient un niveau d'O₂ et une efficacité de nettoyage satisfaisants. BALARIN et HALLER (1982) ont établi les limites du flux d'eau pour le tilapia de la façon suivante:

- vitesse minimale du courant: 7.5-10 cm/sec, correspondant à une vitesse permettant la sédimentation des particules faecales les plus grosses.

- vitesse maximale du courant: 20-30 cm/sec, correspondant à une vitesse au-dessus de laquelle les poissons sont forcés de nager.

Dans un tank circulaire, la vitesse du courant est fortement influencée par l'angle du flux d'entrée et par la profondeur du tank (LARMOYEUX et al, 1973, in BALARIN et HALLER, 1982). L'évacuation des déchets sera donc d'autant plus efficace que l'arrivée d'eau se fait de façon tangentielle.

En raceways, une pratique courante dans l'élevage des tilapias est d'ajuster la profondeur de manière à permettre un renouvellement d'eau minimum 4 fois/h, selon l'équation suivante (BALARIN et HALLER, 1982):

$$d = F / (A \times R)$$

où d = profondeur utile (en m),

F = débit (m³/h),

A = surface du raceway (m²)

R = taux de renouvellement (n/h) minimum = 4.

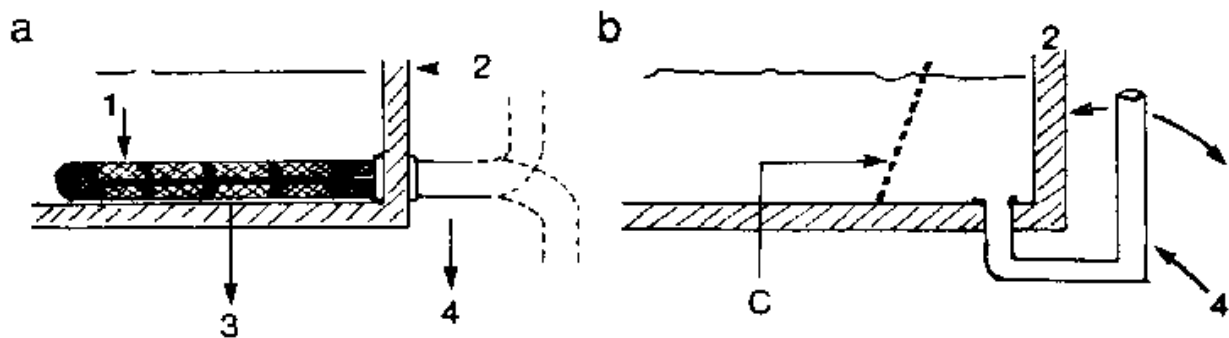
Les grands volumes d'eau généralement utilisés en circuit ouvert nécessitent un dispositif d'évacuation adéquat, le débit de sortie devant impérativement égaler le débit d'entrée afin d'éviter le débordement du bassin et la fuite des poissons. Le diamètre de la canalisation doit donc être suffisamment large pour faciliter l'écoulement du flux maximal requis lors des charges optimales du tank. Lors de l'élevage des jeunes larves, le tuyau d'évacuation doit être muni d'un filet à fines mailles empêchant le passage des poissons.

Des systèmes tels que ceux décrits à la figure 2.9 évitent une obstruction trop rapide du tuyau de vidange. Un trop-plein de sécurité doit également être prévu légèrement au-dessus du niveau normal de l'eau du tank. La taille des mailles selon l'âge, la taille et le poids des alevins de *T. nilotica* est mentionnée au tableau 2.34.

Tableau 2.34. Dimensions des mailles du filtre entourant le système de vidange, selon l'âge et la taille de *Tilapia nilotica* (D'après GUERRERO, 1985).

| Taille de la maille (mm) | Long. totale (cm) | Caractéristiques des poissons | |
|--------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------|
| | | Poids (g) | Age (semaines) |
| 3 | 1.6 | 0.06-0.1 | 2 |
| 4 | 2.1 | 0.2-0.4 | 3 |
| 6 | 2.6 | 0.5-1.0 | 4 |
| 9 | 4.7 | 1.1-1.5 | 5 |
| 11 | 5.7 | 2.0-3.5 | 6 |

Figure 2.9 Adaptation d'un filtre muni de mailles adéquates sur le Système de vidange des bassins destinés à l'élevage des larves et des alevins (a: d'après NEW et SINGHOLKA, 1985)



2.3.2. Gestion des stocks de géniteurs et d'alevins

La production d'alevins en tank est influencée par de nombreux paramètres, tels que densité et rapport des sexes des géniteurs, conditions physico-chimiques de stockage, techniques de gestion des tanks et des poissons, qualité de la nourriture,... Toutefois, comparativement à d'autres systèmes d'élevage (étangs, cages), l'élevage en tank permet un contrôle plus précis de ces différents paramètres.

2.3.2.1. Densité de stockage et rapport des sexes

Comparant des densités de stockage de 4, 7 et 10 géniteurs/m². BAUTISTA (1987) signale que la production de larves par géniteurs est la plus élevée avec une densité de 4 ind/m² (figure 2.10). Par unité de surface, le recrutement en alevins est toutefois supérieur avec une densité de 10 ind/m². Une mise en charge trop élevée augmente l'agressivité entre mâles territoriaux, réduisant de la sorte le temps consacré à la parade nuptiale (BALARIN et HALLER, 1982). A hautes densités, certains mâles ne peuvent prendre part à la reproduction par manque de territoire et donc d'aire de ponte. Le pourcentage de femelles en reproduction augmente également lorsque leur nombre par aire de ponte diminue (LOVSHIN, 1982). Des expériences menées à hautes densités de stockage en géniteurs (MELARD, 1986) indiquent que des reproductions sont observées jusqu'à 125 ind/m² mais que la quantité d'alevins

produits est faible (200 à 250 alevins par tanks de 4 m² pendant une période de 30 jours, soit 2 alevins/m²/jour). A partir de 250 ind/m², plus aucune reproduction n'est observée (tableau 2.35) D'après MELARD (1986), ce faible recrutement en alevins observé à haute densité ne peut être attribué uniquement au cannibalisme, mais également à un phénomène d'inhibition de la reproduction (atrésie folliculaire) avec détournement de l'énergie normalement utilisée pour la formation des oeufs vers la croissance somatique.

Lorsque le rapport des sexes augmente au-delà de 3/1, un nombre croissant de femelles ne participent pas à la reproduction et, soit exercent une prédation sur les jeunes alevins, soit perturbent la ponte des autres femelles en tentant d'ingérer les oeufs à mesure qu'ils sont pondus.

MELARD et PHILIPPART (1981) rapportent par contre que le meilleur rapport femelle/mâle est de 5/1, aussi bien en tank qu'en étang ou en cage. D'autre part, HALLER et PARKER (1981) utilisant le système des arènes préconisent un rapport femelle *T. nilotica*/mâle *T. aurea* de 7/1, sans observer pour autant les problèmes décrits précédemment. BALARIN et HALLER (1982) signalent qu'avec un rapport ♀/♂ inférieur à 3/1, le nombre de femelles est insuffisant pour permettre une reproduction continue à partir des mâles disponibles, alors que GUERRERO et GUERRERO (1984) recommandent une densité de 3 géniteurs/m² avec un rapport ♀/♂ de 2/1 (tableau 2.36).

La taille des femelles utilisées est généralement faible, inférieure à 200 g (BALARIN et HALLER, 1982; GUERRERO et GUERRERO, 1985). MELARD et PHILIPPART (1981), de même que COCHE (1982), recommandent par contre des femelles de 150 à 400 g. De ces informations parfois contradictoires il est difficile de recommander une pratique plutôt qu'une autre. Toutefois, des informations recueillies auprès de pisciculteurs producteurs (non chercheurs), il apparaît qu'une densité de l'ordre de 4 ind/m² avec un rapport des sexes ♀/♂ de 3/1 et en utilisant de préférence des femelles de poids supérieur à 200 g (à condition d'avoir des mâles un peu plus gros) donne de bons résultats.

Tableau 2.35. Effet de la densité de population sur la territorialité, la production d'alevins et la croissance de *Tilapia nilotica* (T° = 23°C, tank de 4 m²/l m³) (d'après MELARD, 1986).

| | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Densité (ind/m ²) | 50 | 75 | 125 | 250 | 500 | 750 |
| Pmi(g) | 9.9 | 9.6 | 9.1 | 9.6 | 9.2 | 9.4 |
| Pmf ♂(g) | 83.2 | 83.8 | 83.2 | 80.2 | 68.3 | 62.7 |
| Pmf ♀(g) | 44.1 | 44.6 | 46.4 | 49.3 | 44.5 | 41.3 |
| Rapport des sexes (♀/♂) | 1.04 | 1.03 | 1.12 | 1.02 | 1.10 | 1.11 |
| % mâles territoriaux | 7.8 | 3.2 | 3.4 | 0.3 | 0.1 | 0.0 |
| Production d'alevins (n/m ² /jour) | 4.0 | 3.4 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Figure 2.10. Effet de la densité de géniteurs stockés en bassins sur le recrutement d'alevins (nombre/♀) de *Tilapia nilotica* (d'après BAUTISTA, 1987). \bar{x} = nombre moyen d'alevins produits par femelle durant une période de 21 jours

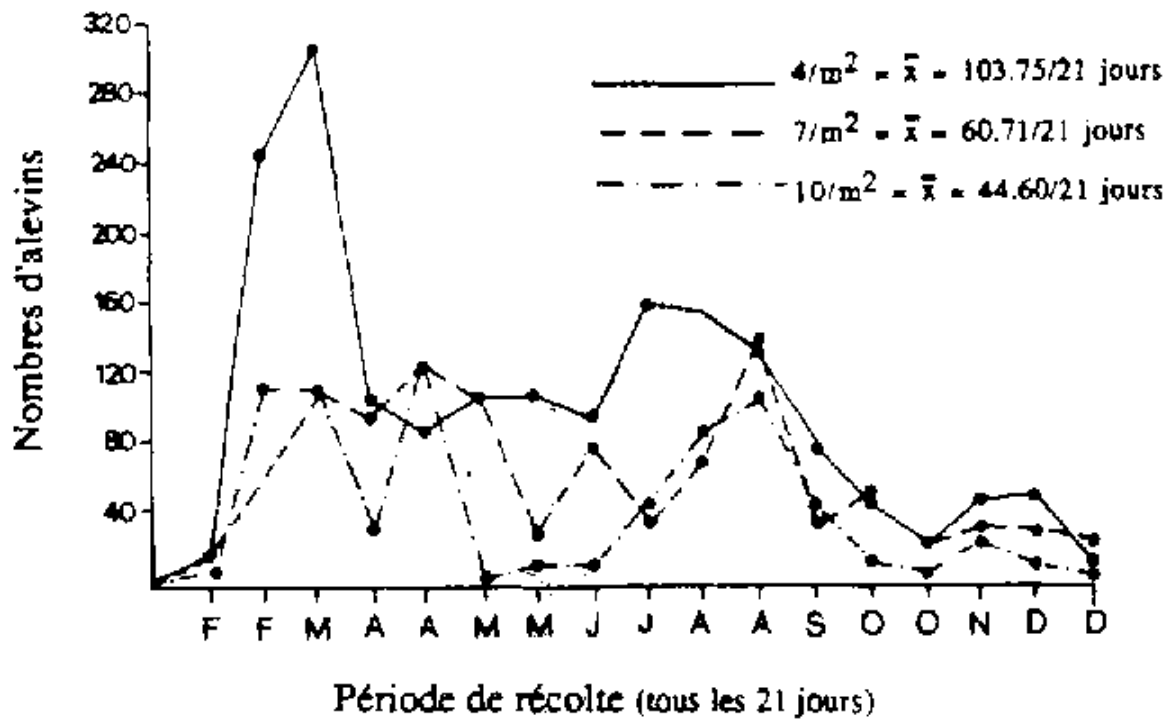
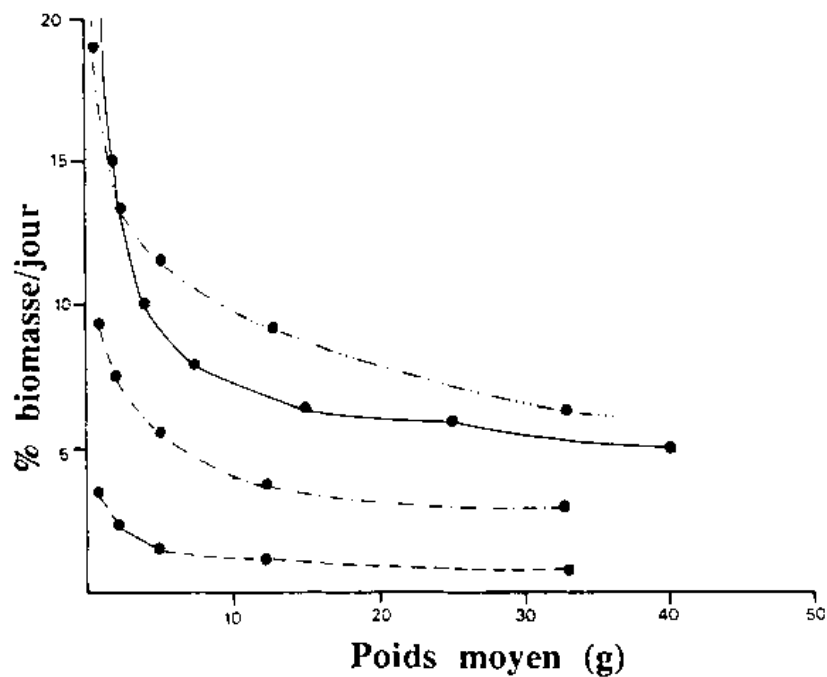


Figure 2.11. Variation de la ration journalière (% biomasse/j) en fonction du poids des alevins de tilapias.



- calculé d'après SARIG et MAREK, 1974 - aliment: 25% protéines, t° 20-28°C
- ration maximale d'après MELARD, 1986 - aliment: 46-50% PB, t° 25-27°C
- ration de maintenance d'après MELARD, 1986 - aliment: 46-50% PB, t° 25-27°C
- ration optimale d'après MELARD, 1986 - aliment: 46-50% PB, t° 25-27°C

Tableau 2.36. Production de larves de *Tilapia nilotica* (ou d'espèces proches) en tanks en fonction de la densité des géniteurs, du rapport des sexes et de la fréquence de récolte.

| Espèces | Densité de géniteurs (n/m ³) | Rapport ♀/♂ | Pm ♀ (g) | Période de production (jours) | Fréq. de récolte | Production (n/m ² /j) | Production (n/kg ♀/j) | Commentaires | Références |
|--|--|-------------|----------|-------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---|--|
| <i>T. nilotica</i> | 4.5 | 5:1 | 208 | 50 | 1/j | 36 | 46.5 | Bassin de 4m ² /1m ³ circuit fermé, eaux réchauffées par centrale nucléaire | MELARD et PHILIPPAR T 1981 |
| | 8.3 | 10:1 | 98 | 57 | 1/J | 25 | 34 | | |
| | 3 | 2:1 | 95-120 | 20.7 | 4-6/j | 16.2 | 62 | Bassin de 120m ² pic de reprod. | GUERRER O & GUERRER O 1985 |
| | 3 | 2:1 | 95-120 | 60.7 | 4-6/j | 9 | 34.9 | Cycle de reprod. Complet | |
| | 8.4 | 3.75:1 | 300 | - | 1/15j | 67-90 | 38.5-44 | Bassin de 2.25m ² /1.35m ³ eaux réchauffées | McANDRE W (pers. com., in BALARIN et HALLER, 1982) |
| | 4.4-6.5 | 5:1 | 200-400 | - | 1/1j | 23-46 | 17-34 | Bassin de 55m ² eau légèrement saumâtre (4 à 8‰) | CAMPBELL (pers. com., in COCHE 1982) |
| <i>T. aurea</i> × <i>T. nilotica</i> ♀ | 20 | 8-10:1 | 50-80 | - | 1/1 | - | 42.7-85.4 | Bassin de 5001 avec graviers. Incubation artif. des oeufs. | MIRES 1977 |
| | 2 | 7:1 | 80 | - | 1/3.5j | 6-7 | 43-50 | Bassin de 154m ² avec | HALLER et PARKER. |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|-----|-----|-----------------|----|--------------|------|------------|--|-----------------------------|
| <i>T. aurea</i> | 1.6 | 3:1 | 127 - 284 | 90 | 1/7j | 23 | 67- 150 | arènes de reproduction. Bassin de 7.3m ² | 1981 SNOW et al, 1983 |
| | 1.6 | 3:1 | 127 - 284 | 90 | 1/7j | 17.6 | 52- 117 | Capture à l'épuis. et à la senne (A) idem que A," + vidange ttes les 3 semaines | |
| | 1.6 | 3:1 | 127 - 284 | 90 | 1/10- 12j | 24 | 71- 159 | Sennage tous les 10-12 jours et récolte des oeufs dans la bouche des femelles. | |
| | 1.6 | 3:1 | 127 - 284 | 90 | 1/90j | 0.7 | 2-4.4 | Aucune récolte intermédiaire | |
| | 10 | 3:1 | 13- 18 cm | - | 1/1j | 7 | - | Bassin de 18 m ² Sennage tous les jours. | SHELTON et al, 1978 |

2.3.2.2. Récolte du frai

Différentes méthodes de gestion des tanks de reproduction ont été expérimentées afin d'augmenter la production des larves par femelle et par unité de surface.

La récolte régulière des larves est habituellement effectuée à l'aide d'épuisettes à fines mailles. La capture des géniteurs peut éventuellement être réalisée par sennage des tanks, lorsque ceux-ci sont de grandes dimensions. Cette capture permet d'examiner l'état des géniteurs et de prélever les oeufs en incubation dans la bouche des femelles.

Une vidange régulière du tank (à intervalle de 3 semaines à 1 mois) peut également être envisagée afin de maintenir une qualité d'eau satisfaisante, du moins lorsqu'aucun système de renouvellement d'eau n'est prévu (SNOW et al, 1983; GUERRERO et GUERRERO, 1985).

La première récolte des larves, après mise en charge des tanks avec des géniteurs à maturité, est généralement effectuée entre le 11ème et le 34ème jour (MELARD et PHILIPPART, 1981; GUERRERO et GUERRERO, 1985). La fréquence de récolte des larves peut varier fortement selon les auteurs. Ainsi, CAMPBELL (com. pers. in COCHE, 1982) et GUERRERO et GUERRERO (1985) recommandent une récolte journalière des larves de tilapias, ou même plusieurs fois par jour, alors que SNOW *et al* (1983) n'effectuent la récolte que tous les 10 à 12 jours ou même toutes les trois semaines (Tableau 2.36). La récolte journalière, facilement réalisable en tank, présente plusieurs avantages:

- les jeunes alevins au stade de la nage libre se déplacent en "nuage",
- la prédation des jeunes par les adultes est réduite au minimum,
- les soins à apporter aux oeufs et aux larves vésiculées sont supprimés.

Le principal inconvénient est le coût en personnel, quoique cela ne représente pas réellement un facteur limitant dans les pays en voie de développement. Notons que la récolte des jeunes en tanks ne présente pas le problème des pertes importantes en alevins (30%) signalées par ROTHBARD *et al* (1983) lors de la vidange régulière des étangs de reproduction. La récolte des oeufs, directement dans la bouche des femelles de *T. nilotica* et leur incubation artificielle a déjà été rapportée par NUSSBAUM et CHERVINSKY (1968). SNOW *et al* (1983), travaillant avec *T. aurea*, considèrent que le temps investi à cette opération n'est pas justifié par une augmentation significative du nombre d'alevins produits (Tableau 2.36). HOERTGEN-SCHWARK *et al* (1987) ont toutefois montré que l'intervalle de temps entre 2 pontes successives pouvait être réduit de 7 jours lors d'une incubation artificielle des oeufs.

Le remplacement régulier des géniteurs peut également améliorer les résultats de production. LOVSHIN (1980) a en effet montré que la production de larves diminuait considérablement après le troisième cycle de ponte, chaque cycle durant environ 2.5 mois. Parallèlement, GUERRERO et GUERRERO (1985) ont démontré que, pour une période de reproduction s'étalant sur 50 à 72 jours, un pic de pontes était observé après environ 21 jours (16.2 alevins/m²/jour) alors que la production moyenne calculée sur l'ensemble de la période de reproduction ne dépassait pas 9 alevins/m²/jour (Tableau 2.36). D'après leurs résultats, il semble donc plus intéressant de séparer les couples de *T. nilotica* après le pic de production d'alevins plutôt que de les maintenir durant des temps plus longs. Les tanks peuvent à nouveau être mis en charge avec de nouveaux géniteurs.

Les productions d'alevins les plus élevées (McANDREW, 1988) sont probablement obtenues dans le système combiné de grands tanks divisés en différents compartiments par des hapas. Ce système permet un contrôle facile des géniteurs qui sont suivis au niveau individuel. Cette méthode permet une récupération manuelle totale des alevins de chaque femelle qui est alors reconditionnée dans un tank monosexte femelle par alimentation intensive. Un marquage individuel des femelles permet de sélectionner les plus fertiles et d'éliminer les individus stériles. La production d'alevins selon cette technique varie entre 2.200 et 3.000 ind/m²/mois (McANDREW, 1988).

2.3.2.3. Croissance des alevins en tanks

Les larves, régulièrement prélevées à partir des tanks de reproduction, sont déversées en tanks de prégrossissement (planche 2.3) jusqu'à une taille d'environ 30 g. Cette phase de prégrossissement est souvent réalisée dans une série de tanks successifs, avec recalibrage régulier des alevins et diminution progressive de la densité de stockage. Lorsqu'ils atteignent un poids de quelques g, les jeunes alevins peuvent également être déversés en cage de grossissement (COCHE, 1982).

BALARIN et HALLER (1979) recommandent le processus de mise en charge suivant: les alevins de 1 à 5 g sont stockés à une densité de 1600 ind/m³, densité progressivement réduite par triage sélectif pour atteindre 1000 poissons de 10 à 20 g/m³ après 30 à 40 jours. Une seconde étape de croissance de 30 jours permet l'obtention de "fingerlings" de 25 à 50 g, avec une biomasse d'environ 35 kg/m³. Par la technique du triage sélectif, seulement 50% de la population initiale, à savoir les poissons à croissance rapide, sont placés en grossissement.

Parmi ceux-ci, on retrouve généralement 70 à 80% d'individus mâles. Les autres peuvent être vendus comme poissons-amorces, pour la mise en charge d'étang ou comme source de protéines animales dans l'alimentation pour animaux (poissons, porcs) et humains (fretin) (BALARIN et HALLER, 1982; 1983).

Le triage sélectif peut être réalisé dans des raceways rectangulaires, le système de triage étant constitué d'un grillage en forme de sac dont l'entrée est de dimension égale à la largeur du raceway et qui peut ainsi être déplacé tout au long du tank en ne retenant que les individus de grande taille. D'autres systèmes ont également été décrits par BALARIN et HALLER (1982) et ARMITAGE *et al* (1987). L'espacement des grilles est imposé par l'épaisseur du poisson (Tableau 2.37).

Tableau 2.37. Epaisseur du corps de *T. nilotica* élevé en tank et dimensions recommandées pour l'écartement des grilles de triage

| | Poids moyen (g) | | Espace des grilles (cm) |
|----|-----------------|------|-------------------------|
| | a) | b) | |
| >5 | 0.99 | 0.97 | 1.00 |
| 10 | 1.23 | 1.19 | 1.25 |
| 25 | 1.65 | 1.40 | 1.70 |

a) d'après BALARIN et HALLER, 1982;

b) d'après PRUGININ et SHELL, 1962.

Des densités de démarrage de 2000 à 4000 larves/m² ont été rapportées par CAMPBELL (com. pers., in COCHE, 1982), la hauteur d'eau dans les tanks étant progressivement élevée au fur et à mesure de la croissance des alevins. Plus de 30000 alevins de 2 à 3 g peuvent ainsi être produits dans un tank de 4x4 m, avec un renouvellement d'eau important. La capacité de charge optimale d'un tank d'élevage est en effet fortement influencée par le taux de renouvellement d'eau dans le tank. Ainsi, MELARD et PHILIPPART (1981) proposent différentes charges optimales pour la croissance de *T. nilotica*, en fonction du poids moyen des alevins et du taux de renouvellement d'eau (Tableau 2.38).

Tableau 2.38. Biomasse en kg et nombre par m³ et charges optimales calculées pour différentes catégories de *T. nilotica* élevés en tank de 1 m³. à une température de 30-32 °C (d'après MELARD et PHILIPPART, 1981) (): n/m³

| Poids moyen (g) | Charge (kg/l/min) | Biomasse (kg/m ³) pour un renouvellement de l'eau de: | | | |
|-----------------|-------------------|---|-------|-------|-------|
| | | 1x/h | 2x/h | 3x/h | 4x/h |
| 1 | 0.07 | 1.17(1170) | 2.34 | 3.51 | 4.68 |
| 10 | 0.29 | 4.83 (483) | 9.66 | 14.49 | 19.32 |
| 50 | 0.77 | 12.83 (257) | 25.66 | 38.49 | 51.32 |

Les taux de production moyen d'alevins de *T. nilotica* obtenus par différents auteurs travaillant en élevage intensif en tank sont présentés au tableau 2.39. Nous pouvons ainsi observer des mises en charge particulièrement élevées (12350 alevins de 1-5 g/m³) lors de

l'apport d'une alimentation artificielle riche en protéines (45%) et avec un taux de renouvellement d'eau important (2.5 fois/h). Toutefois, au fur et à mesure de l'accroissement en poids les mises en charge diminuent nettement (1000 à 2240 alevins de 10-20 g/m³).

Tableau 2.39. Prégrossissement des alevins de *T. nilotica* en élevage intensif en tank.

| Mise en charge | | Durée d'élevage | | Vidange | | Production | Aliment | Système de production | Références |
|----------------|------------------|-----------------|-------|---------|---------|---------------------------|--------------------------|---|----------------------------|
| Pmi (g) | n/m ³ | Bi (kg) | (j) | Pmf (m) | Bf (kg) | (kg/m ³ /mois) | type-ration | | |
| 1-5 | 1650 | 5.0 | 40-50 | 10-20 | 22 | 9.5 | granulés 22% PB ad lib. | Raceway 15m ² /6m ³ renouvel. 3-4/h | BALARIN et HALLER, 1979 |
| 10-20 | 1000 | 14.0 | 40-50 | 25-50 | 35.6 | 11.7 | granulés 22% PB ad lib. | | |
| 1-5 | 12350 | 30.9 | 82 | 5-10 | 92.6 | 22.5 | granulés 45% PB 15-12%/j | Bassin 4m ² /1m ³ renouvel. 2.5/h | MELARD et PHILIPPART, 1981 |
| 3.1 | 1000 | 3.1 | 31 | 17.7 | 17.6 | 14.0 | granulés 45% PB 15-12%/j | renouvel. 0.9/h | |
| 9.1 | 500 | 4.6 | 45 | 63.9 | 31.9 | 39.5 | gr. 45% PB 13-5.5%/j | renouv. 1.3/h | MELARD, 1986 |
| 10-20 | 2240 | - | - | 20-50 | - | 10.5 | gr. 45% PB 7 %/j | Bassin 4m ² /1m ³ renouvel. 2.3/h | |

Pmi, f = Poids moyen initial et final

Bi, f = Biomasse initiale et finale

2.3.3. Alimentation des géniteurs et des alevins

L'élevage des tilapias en tanks et raceways requiert une alimentation artificielle de qualité, apte à subvenir aux exigences nutritionnelles des poissons en croissance. De nombreux paramètres doivent être pris en considération, tels que la qualité nutritionnelle de l'aliment, en relation avec le type d'alimentation des poissons en milieu naturel (taux de protéines et de lipides, contenu énergétique, proportions de protéines animales et végétales). La granulation et l'appétence, la ration et la fréquence de nourrissage, ainsi que le mode de distribution (manuelle, automatique ou à la demande) sont également très importants.

2.3.3.1. Composition de l'aliment

2.3.3.1.1. Les protéines

Le taux et la nature des protéines

La plupart des travaux concernant la nutrition des tilapias ont tenté de déterminer les besoins en protéines selon les différentes classes de taille. La proportion de protéines dans le régime est en effet de première importance, d'autant plus que les besoins protéiques des poissons sont généralement plus élevés que ceux des animaux terrestres. L'apport en protéines animales dans l'aliment représente souvent plus de la moitié des coûts de l'alimentation (JAUNCEY et ROSS, 1982).

Le niveau de protéines permettant une croissance maximale diminue à mesure que la taille des poissons augmente. Nous présentons, au tableau 2.40, les recommandations de JAUNCEY et ROSS (1982) concernant le taux de protéines nécessaires selon les différentes catégories de tilapias. Pour les larves et les jeunes alevins (<1.0 g), la plupart des auteurs préconisent un régime avec une teneur en protéines avoisinant 50%. HUTABARAT et JAUNCEY (1987) signalent toutefois que le meilleur coefficient de conversion (poids d'aliment distribué gain de poids) est obtenu avec un régime 30% de protéines et un rapport protéines-énergie de 66.69 mg de protéines par kilocalorie d'énergie brute. Des concentrations en protéines inférieures à celles mentionnées, au tableau 2.40 procurent également une croissance satisfaisante. JAUNCEY et ROSS (1982) ont ainsi montré que chez des alevins de *T. mossambica* de 0.5 à 10 g, le taux optimal de protéines avoisinait 35 à 40%, mais qu'une croissance égale à 80% ou 64% de la croissance maximale était obtenue avec un aliment respectivement à 24 et 16% de protéines. Ceci démontre la possibilité d'utiliser des taux de protéines sub-optimaux pour la croissance, mais éventuellement très intéressants sur le plan économique, en réduisant le coût de l'alimentation.

Chez les géniteurs, il semblerait qu'un régime de 27.5 à 35% de protéines soit optimal pour la croissance. En ce qui concerne la capacité reproductrice (fréquence de ponte, taille des oeufs, fécondité et taux d'éclosion), les résultats de WEE et TUAN (1988) tendent à démontrer que les régimes à teneur faible ou moyenne en protéines (20,27.5,35%) favorisent une fécondité élevée, des pontes tardives et fréquentes et des oeufs de petite taille, alors qu'un régime riche en protéines (42.5 et 50%) permet des pontes plus précoces, mais moins fréquentes.

Digestibilité des protéines et composition en acides aminés

Les teneurs préconisées au tableau 2.40 sont basées sur une digestibilité optimale des protéines, c'est-à-dire supérieure à 90%. Or, les protéines d'origine végétale (P.V.) sont moins assimilables que les protéines animales (P.A.). C'est pourquoi elles devront être incluses à des concentrations plus élevées lorsqu'une fraction importante de celles-ci est d'origine végétale, permettant ainsi une assimilation similaire à celles d'origine animale dont la digestibilité est supérieure à 95%. Les coefficients de digestibilité des protéines, lipides et glucides, ainsi que la valeur énergétique de différents ingrédients pour *T. nilotica* sont présentés en annexe 2.1.

Chez les tilapias, l'importance du rapport protéines animales/protéines végétales (PA/PV) varie selon les auteurs. Ainsi, chez *T. nilotica*, HASTINGS (1973) suggère que dans un régime à 30% en protéines, les P.A. ne sont pas essentielles en élevage intensif en étang, alors que SITASIT et SITASIT (1977) obtiennent les résultats inverses. MELARD et

PHILIPPART (1981) signalent également qu'avec des aliments à faible teneur en protéines (23-26%), les taux de conversion de l'aliment sont d'autant plus bas que la proportion de P.A. par rapport aux P.V. est plus élevée. Chez d'autres espèces de tilapias tels que *T. aurea*, *T. rendalli* et *T. mossambica*, l'incorporation des protéines animales augmente fortement la digestion et les performances de croissance (GOLDSTEIN, 1970; MILLER, 1976; MATHAVAN et PAUDIAN, 1976; DAVIS et STICKNEY, 1978). En général, le remplacement des P.A. par des P.V. à concurrence de 25% apparaît acceptable (STICKNEY, 1986). APPLER et JAUNCEY (1983) ont toutefois montré qu'un remplacement des protéines animales par des algues (*Cladophora glomerata*) entraînait une diminution de croissance et d'utilisation des protéines lorsqu'il dépassait 5%.

Tableau 2.40. Proportions des composés alimentaires (en % de la matière sèche) pour différentes catégories de tilapias (d'après JAUNCEY et ROSS, 1982).

| Composés (% mat. sèche) | <0.5g | 0.5-10 g | 10-35 g | 35g | Géniteurs |
|---------------------------|-------|----------|---------|-------|-----------|
| Protéines brutes | 50 | 35-40 | 30-35 | 25-30 | 30 |
| Lipides bruts | 10 | 10 | 6-10 | 6 | 8 |
| Hydrates de C digestibles | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 |
| Fibres | 8 | 8 | 8-10 | 8-10 | 8-10 |
| Vitamines | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Minéraux | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Les besoins quantitatifs en acides aminés essentiels de *T. nilotica* sont présentés en annexe 2.1. Ces 10 acides aminés essentiels, communs à toutes les espèces chez qui les besoins ont été déterminés, ne peuvent être synthétisés par le poisson et doivent donc se trouver intégralement dans l'aliment.

Les besoins en acides aminés soufrés (méthionine et cystine) peuvent probablement être couverts soit par la méthionine seule, soit par une combinaison de méthionine et cystine (LIM, 1989).

Sources de protéines

Un inventaire des différentes sources de protéines végétales et animales destinées à l'élevage des tilapias a été réalisé par JAUNCEY et ROSS (1982). Nous présentons ici les données essentielles se référant au nourrissage des alevins, principalement de *T. nilotica*.

Parmi les protéines d'origine végétale, les plus prometteuses, en tant qu'alternatives aux farines de poisson, sont celles issues de tourteaux d'oléagineux. La plupart sont d'origine tropicale et la concentration en protéines est relativement élevée, de l'ordre de 20 à 50%. Ce sont les tourteaux de soja, coton, arachide, colza, tournesol, sésame, noix de coco et palmier.

PANTHA (1982, in JAUNCEY et ROSS, 1982) a montré que chez les alevins de *T. nilotica*, aucune différence de performance de croissance et d'utilisation de l'aliment n'était observée entre un régime à 40% de protéines uniquement d'origine animale (farine de hareng) et un régime isoprotéique où 75% de la farine de hareng étaient remplacés par du soja enrichi avec de la méthionine. La méthionine ne doit toutefois pas être additionnée sous sa forme cristalline, mais liée au préalable à la pâte de soja (TESHIMA et KANAZAWA, 1988). De

même, OLUKUNDE (1982, in JAUNCEY et ROSS) signale que la croissance des alevins de *T. nilotica* n'est pas affectée, dans un régime à 45% de protéines, par le remplacement de 11% de la farine de poisson en farine d'arachide et 11% en farine de tournesol. Avec un régime moins riche en protéines (30%), le remplacement des 2/3 de la farine de poisson par du tourteau d'arachide ne permet que 60% des performances de croissance des "fingerlings" de *T. nilotica*.

L'ensemble des informations disponibles sur l'emploi des tourteaux d'oléagineux indique que ces aliments de substitution ne peuvent remplacer complètement l'apport de protéines animales, mais qu'ils peuvent cependant se révéler efficace en tant que substituants partiels permettant une diminution sensible du coût de l'aliment

En effet, l'utilisation des protéines animales est considérée comme très onéreuse du point de vue économique, principalement dans les pays tropicaux où il existe une carence en protéines animales et où le prix de vente du poisson ne permet pas l'apport d'un aliment coûteux. Idéalement, elles ne devraient contribuer à l'apport en protéines qu'en tant que composant évitant une déficience en certains acides aminés.

Les protéines animales incluent les farines de poisson, de crustacés, de viande ainsi que des sous-produits tels que farine d'os, de sang, de poudre de lait, etc.

2.3.3.1.2. Lipides et glucides

JAUNCEY et ROSS (1982) signalent qu'en terme de kilocalories, les protéines constituent la source d'énergie la plus onéreuse. Le but d'un aliment pour poissons est donc de maximiser l'utilisation des protéines pour la croissance en fournissant une quantité adéquate d'énergie sous forme de lipides et d'hydrates de carbone (action d'épargne des protéines).

Toutefois, à des niveaux modérés de protéines, la quantité d'énergie ne peut dépasser un certain seuil sans provoquer des dépôts de graisse et des changements indésirables dans la composition de la chair du poisson.

Les lipides constituent la première source d'énergie, le contenu énergétique d'un g de lipides (9.1 kcal d'énergie brute) étant deux fois plus élevé que celui d'un g de protéines (5.5 kcal) ou d'un g d'hydrate de C. (4.1 kcal) (JAUNCEY et ROSS, 1982; NEW, 1987). Il semblerait toutefois que les tilapias n'utilisent pas les taux élevés de lipides aussi efficacement que le font les salmonidés ou les cyprins (JAUNCEY, 1979; STICKNEY, 1986), mais peu d'études se sont intéressées à l'utilisation des lipides par ce groupe.

Les lipides servent également de source en certains acides gras essentiels. Afin de satisfaire avec certitude les besoins en acides gras essentiels des tilapias, JAUNCEY et ROSS (1982) recommandent d'inclure dans le régime, 1% de chacune des séries d'acides gras ω -3 et ω -6. Les besoins semblent toutefois importants pour la famille des acides linoléiques (ω -6). Des additions d'huiles végétales (soja ou maïs) riches en 18: 2 ω -6 procurent des meilleurs taux de croissance que des additions d'huiles de poisson riche en acides gras 20: 5 ω -3 (TAKENCHI et al, 1983a). Le niveau alimentaire optimal en acides gras ω -6 a été estimé à 0.5% chez *T. nilotica* (TAKENCHI et al, 1983b). Comme l'indique le tableau 2.40, la quantité de lipides à incorporer dans le régime reste relativement constante durant la croissance du poisson jusqu'au stade de juvénile. Un enrichissement en lipides peut éventuellement être effectué dans l'aliment destiné aux géniteurs.

Les quelques études ayant évalué les besoins des tilapias en hydrate de carbone ont montré qu'il existait des possibilités importantes d'épargne des protéines par utilisation d'hydrates de carbone (ANDERSON et al, 1983). Toutefois, les fibres (polysaccharides complexes constitués principalement de cellulose chez les végétaux) ne sont pas utilisables par les tilapias qui, comme les autres poissons, ne disposent pas de cellulase (STICKNEY, 1976). En étang, ces ingrédients non digestibles peuvent être utilisés comme fertilisants (HUET, 1970), mais en tanks, ils entraînent une augmentation de l'encrassement et de la détérioration de la qualité de l'eau (HAUSER, 1975; BALARIN et HALLER, 1982).

En règle générale, on peut admettre que le rapport protéine alimentaire/énergie diminue à mesure que le tilapia grandit. Ainsi, WINFREE et STICKNEY (1981) ont montré que *T. aurea* (2.5g) présentait la meilleure croissance avec un régime à 56% de protéines et un rapport énergie digestible/protéine (ED.P) de 8.2 kcal/g de protéine. Par contre, chez les poissons de plus grande taille (7.5g), la croissance était maximale avec un régime contenant 9.4 kcal ED/g de protéine. Chez *T. nilotica* (1.7 - 7g), la croissance optimale est obtenue avec un rapport ED/P de 8.3 kcal/g pour un régime à 36% de protéine (KUBARYK, 1980).

2.3.3.1.3. Vitamines et minéraux

Certains aliments composés contiennent un supplément vitaminé et minéral appelé prémix. Ces prémix, mis au point pour d'autres espèces ont également donné satisfaction chez les tilapias, bien que certains symptômes de déficience (scoliose par ex.) puissent être observés, principalement suite à une carence en vitamine C. La composition des prémix vitaminé et minéral est présentée en annexe 2.2, d'après les informations de JAUNCEY et ROSS (1982).

Signalons toutefois que la vitamine B12 peut être synthétisée dans l'intestin de *T. nilotica* et qu'il n'est donc pas nécessaire de l'inclure dans le régime (LOVELL et LIMSUWAN, 1982). Même en cas d'une alimentation artificielle, les prémix vitaminé et minéral doivent être additionnés respectivement à raison de 2 et 4% du poids sec de l'aliment (Tableau 2.40). Ces suppléments ne sont, par contre, pas requis dans les élevages de tilapias en étangs, car, dans ce milieu, ils trouvent ce qui leur faut en vitamines et oligo-éléments (NEW, 1987).

2.3.3.2. Formulation et taille de l'aliment

La formulation de différents aliments pour alevins de tilapias est présentée en annexe 2.3, d'après les informations récoltées chez plusieurs auteurs (HASTINGS, 1973; HALLER, 1974; CRUZ et LAUDENCIA, 1978; DAVIS et STICKNEY, 1978; BALARIN et HALLER, 1982; JAUNCEY et ROSS, 1982; NEW, 1987). De façon encore plus marquée que chez les autres espèces, il n'y a pas de formulation standard universellement acceptée, puisque l'intérêt d'un ingrédient particulier sera fonction de son abondance et de sa disponibilité selon les différentes régions. Les différents modes de formulation, de préparation (farine, granulés, pâtes,...), et de conservation de l'aliment ont été revus par JAUNCEY et ROSS (1982) et NEW (1987).

La taille de l'aliment doit être en relation avec l'âge du poisson (Tableau 2.41). Il est souhaitable que le granulé soit compact et ne se désagrège pas de suite au contact de l'eau mais les granulés trop durs sont déconseillés.

Tableau 2.41. Tailles des granulés recommandées pour les différentes classes de taille de *Tilapia nilotica*

| Age/poids du poisson | Taille de la particule (ϕ) | Références |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|
| Larve: premières 24 h | En solution | MACINTOSH et DE SILVA, 1984 |
| Larve: 2 ^{ème} jour - 10 ^{ème} jour | 500 μ m | |
| Larve: 10 ^{ème} jour - 30 ^{ème} jour | 500-1000 μ m | |
| Alevin: 30 ^{ème} jour - juvénile de 0.5 à 10g. | 500-1500 μ m | |
| Alevin: de 1 à 30g. | 1-2 mm | JAUNCEY et ROSS, 1982 |
| >30g. | 2-4 mm | |

2.3.3.3. Ration et fréquence de nourrissage

La ration journalière peut varier en fonction de plusieurs facteurs tels que la taille du poisson, ses besoins en protéines et sa capacité de digestion, la qualité de l'aliment, les conditions physico-chimiques du milieu (t° , O_2 , lumière,...),...

En conditions d'élevage intensif (tank et raceway à densité élevée de stockage), on favorisera l'apport d'un aliment aussi riche que possible, - en considérant toutefois le rapport qualité-prix de l'aliment et sa rentabilité financière - ce qui permettra de réduire au maximum la quantité à distribuer et la fraction non digestible (et donc la dégradation du milieu d'élevage). A titre de référence, nous présentons, à la figure 2.11, les rations journalières recommandées, selon la taille des alevins, par SARIG et MAREK (1974) et MELARD (1986). D'autres valeurs ont également été proposées par MELARD et PHILIPPART (1981), BALARIN et HALLER (1982) et NEW (1987). La ration est dite "de maintenance" lorsque la vitesse de croissance est nulle, et "maximale" lorsque la croissance est également maximale. La ration optimale est celle permettant une croissance maximale par unité de ration (figure 2.11).

La tendance naturelle des tilapias à se nourrir de façon relativement continue durant la journée indique que leur système digestif est plutôt adapté à recevoir un apport régulier et fréquent de petites quantités d'aliments. Bien que la fréquence de nourrissage soit également affectée par la taille du poisson et par la température de stockage (agissant sur la vitesse d'évacuation de l'estomac), les auteurs s'accordent à penser que le tilapia doit être nourri peu et souvent.

La fréquence de nourrissage des larves et des jeunes alevins de *T. nilotica* doit être au minimum de 4 fois par jour et idéalement de 8 fois/jour chez les "fingerlings" (JAUNCEY et ROSS, 1982; NEW, 1987). PIPER (1982) recommande une fréquence de nourrissage telle que 1% de la biomasse soit distribuée à chaque repas et que 90% de la quantité distribuée soit consommée dans les 15 minutes qui suivent sa distribution. Un nourrissage fréquent favorisera également l'obtention d'alevins de taille uniforme. L'utilisation de nourrisseurs automatiques (fréquence de nourrissage élevée) limite considérablement le gaspillage, mais la compétition inter-individuelle pour arriver au point de nourrissage et la dépense d'énergie qui en découle entraîne une diminution de la croissance quand la densité augmente (PETIT 1980, in MELARD et PHILIPPART, 1981).

En conclusion, dans les conditions de production intensive en tanks, raceways ou arènes, la ration alimentaire optimale quotidienne sera élevée pour les petits alevins (11% de la biomasse pour poissons de 2 g), plus faible pour les "fingerlings" (8% pour des poissons de 15 g et 7% pour des poissons de 30 g) et nettement plus faible pour les adultes (3% pour poisson

de 150 g). La fréquence de nourrissage manuel compte tenu de l'ensemble des facteurs de production (notamment le coût de la main d'oeuvre) sera optimisée à 4 distributions bien réparties sur la journée et la dernière distribution sera effectuée au moins deux heures avant la tombée de la nuit. En cas de possibilité, on construira des distributeurs d'aliments automatiques à la demande (cf planche 2.3 et "self-feeding" de HASTINGS, 1973) ou on utilisera les distributeurs programmés d'aliments (type mécanique à ressort ou type solaire). Mais dans ce dernier cas, le niveau de ressources énergétiques et de technicité du pisciculteur devra être nettement plus élevé. Ces données en conditions de croissance optimale ($t^{\circ} = 28^{\circ}\text{C}$) sont évidemment à moduler selon la température de l'eau et donc doivent varier selon l'altitude, la latitude et la saison.

2.3.4. Bilan économique de la production d'alevins en tanks

Peu d'informations sont disponibles quant à la rentabilité de la production d'alevins de *Tilapia nilotica* en tanks, car d'une part, ce mode de production intensive est peu développé dans les pays en voie de développement et d'autre part, les bilans économiques considèrent généralement l'ensemble de la production jusqu'au poisson de consommation, et non la production d'alevins seule.

D'après BALARIN et HALLER (1983), l'aliment constitue la part prépondérante (50-60%) des coûts de production en élevage intensif. Les coûts de main d'oeuvre représentent 20%, ceux de pompage 10 à 15% et ceux de transport et d'entretien, 10 à 15% également. Ces indications concernent toutefois l'ensemble des coûts de production jusqu'au poisson de consommation.

WRIGHT et KENMUIR (1981) ont établi un inventaire des coûts d'installation et de production d'une pisciculture de *Tilapia mossambica* au Zimbabwe. A titre indicatif, nous présentons, en annexe 2.5, les points principaux de cette étude se référant aux coûts de reproduction et d'alevinage, jusqu'à un poids moyen de 2 g, pour une pisciculture de 10 ha ayant comme objectif la production de 5 tonnes/ha/an de poissons de consommation.

Le grossissement s'effectue en étang, à une densité de mise en charge de 13250 poissons de 2 g par ha atteignant, à la vidange, un poids moyen de 400 g.

Le coût de l'aliment représente 24% des coûts de production et le coût du personnel 12%. Le coût de production de l'alevin de 2 g, soit 0.012\$, équivaut à 4% du prix de vente du poisson de consommation (400g), soit 0.75 \$/kg.

Indépendamment des critères purement économiques, d'autres paramètres doivent être pris en considération lors de l'installation d'une pisciculture de *T. nilotica* en conditions intensives:

les facteurs socio-économiques: l'élevage des tilapias est une activité récente, surtout dans les pays tropicaux. Un transfert de technologie est donc indispensable. Le manque de qualification de la main d'oeuvre représente sans doute un handicap majeur au développement de l'élevage intensif des tilapias en Afrique. Les résultats peuvent s'avérer désastreux si une formation et un encadrement du personnel n'est pas assuré. De même, la disponibilité et le coût des matériaux de construction et de l'aliment déterminent la rentabilité économique d'une installation.

le site et les infrastructures existantes: l'élevage intensif nécessite de l'eau en quantité et de qualité élevée, d'autant plus que les densités de stockage sont généralement importantes. Le site doit donc être sélectionné en conséquence. La présence d'une infrastructure de travail (électricité, moyens de communication, machines,...) facilite les opérations de construction et de production (BALARIN et HALLER, 1983).

2.3.5. Avantages et inconvénients de l'élevage en tanks, raceways et arènes

2.3.5.1. Avantages

Comparé à l'alevinage en étangs, l'élevage des tilapias en tanks "raceways" et arènes, par l'aspect généralement intensif qu'il sous-entend, présente un certain nombre d'avantages similaires à ceux relatifs à l'élevage d'autres espèces de poissons tels que salmonidés, cyprinides, à savoir:

1. Production élevée par unité de surface et de volume.
2. Possibilité de réaliser la production de différentes phases d'élevage de façon concomittante.
3. Contrôle aisé et permanent des différentes phases de l'élevage et possibilité d'intervention dès le moindre problème.
4. Facilité de traitement thérapeutique lors de l'apparition de maladies.
5. Récolte aisée et fréquente de la production.
6. Calibrage régulier, favorisant la production de poissons de taille uniforme.

Ces arguments, valables quelle que soit la phase de grossissement, sont également applicables à la production de larves et d'alevins. Nous avons en effet montré que *T. nilotica* se reproduisait spontanément et fréquemment en tank, la production pouvant atteindre jusqu'à 2700 larves/m²/mois (tableau 2.36). Les problèmes inhérents au comportement territorial des mâles et à l'agressivité des poissons ne participant pas à l'acte sexuel peuvent également être fortement réduits par des installations du type des "arènes" de HALLER et PARKER (1981), bien que les tanks de conception plus simple et de construction moins coûteuse aient donné satisfaction quant à la production de larves.

Le contrôle permanent des géniteurs stockés en tank facilite la récolte régulière des larves à mesure qu'elles sont produites.

La production de *T. nilotica* depuis le stade de larve de quelques jours (0,02g) jusqu'au stade d'alevin de 30 g, est généralement obtenue avec un taux de mortalité très faible, de l'ordre de 3% (MELARD et PHILIPPART, 1981). Enfin, la croissance de *T. nilotica* en tank est très rapide, surtout si les alevins sont placés dans des conditions optimales d'alimentation (nourriture riche en protéines) et de qualité d'eau (renouvellement important) ce qui conduit à une production pouvant atteindre 22.5 kg/m²/mois (Tableau 2.39).

2.3.5.2. Inconvénients

Les principaux inconvénients de la production d'alevins de *T. nilotica* en tanks, raceways ou arènes sont liés à la dépendance totale vis-à-vis de l'aliment artificiel, à l'emploi d'un personnel qualifié et aux coûts des infrastructures et de leur maintenance, pour maintenir une bonne qualité du milieu lors d'élevage à hautes densités.

Comme nous l'avons déjà signalé précédemment, une croissance satisfaisante ne peut être obtenue qu'au prix d'un apport d'aliment composé de qualité souvent importé, rarement produit localement, mais toujours très onéreux. Bien que des ingrédients de substitution riches en protéines végétales (ex: farine de soja) puissent être incorporés, la proportion de protéines d'origine animale, sous forme de farine de poisson, de viande ou de sang, contribue, pour une large part, au coût élevé de l'aliment. C'est pourquoi l'élevage intensif de *T. nilotica* en tank ne peut s'avérer rentable que dans les pays où le prix de vente du poisson est suffisamment élevé. Dans beaucoup de pays tropicaux, le prix de vente de *T. nilotica* est relativement faible, ce qui compromet sensiblement la production intensive de ce poisson en tank, raceways et arènes avec un coût d'aliment trop élevé, du moins en ce qui concerne la production de poisson de consommation. BALARIN et HALLER (1979) signalent toutefois qu'au Kenya, la vente d'alevins produits en tank permet un rapport de plus de 400% des coûts de production. Il n'empêche qu'en 1989, Baobab farm semblait connaître de très sérieuses difficultés financières.

Indépendamment du coût de l'aliment, son approvisionnement régulier peut également s'avérer problématique, surtout dans certaines régions intertropicales, et entraîner de la sorte des arrêts ou des ralentissements de la production. A cela, il faut ajouter les difficultés de conservation de cet aliment en régions équatoriales à humidité relative et température toujours élevées.

La production intensive d'alevins de *T. nilotica* en tanks ou raceways nécessite de plus la présence en permanence d'un personnel qualifié ayant acquis une bonne connaissance des différentes phases de l'élevage et de la gestion de la pisciculture (gestion du stock de géniteurs, contrôle des pontes et récolte des larves, nourrissage régulier et entretien des tanks, etc).

Bien qu'il s'agisse d'un poisson résistant parfaitement aux conditions artificielles d'élevage, le stockage en tank à hautes densités favorise le déclenchement et la propagation de maladies risquant de contaminer tout le stock de poisson en élevage et d'entraîner des mortalités massives, voir totales, si des mesures thérapeutiques ne sont pas mises en oeuvre dès l'apparition des premiers symptômes.

Enfin la production intensive implique des infrastructures coûteuses (tanks en béton ou en polyester, raceways, arènes en béton) qui ne peuvent se justifier que par une production industrielle avec apports importants de capitaux (souvent étrangers). De plus, ces systèmes de production intensive nécessitent un système de pompage et d'aération complémentaire ce qui exige une source d'énergie, l'achat d'un matériel coûteux (pompes électriques, filtres, tuyaux, vannes, etc...) qui est souvent importé et pour lequel se pose le problème d'achat en devises étrangères ainsi que la fourniture de pièces de rechange. Ces élevages industriels (Baobab farm à Mombasa, Avaria au Niger, pisciculture industrielle à Brazzaville, pisciculture en raceways de Ban fora au Burkina Faso) ont connu deux problèmes majeurs: irrégularité de l'approvisionnement en aliments de qualité, et prix de revient trop élevés pour le marché local.

En conclusion, c'est sans doute l'ensemble de ces inconvénients qui a, jusqu'à présent, empêché un développement durable de la pisciculture intensive en Afrique. Mais le problème fondamental réside dans les coûts de production trop importants ce qui conduit à des prix de vente du tilapia trop élevés par rapport au faible pouvoir d'achat de la masse des consommateurs africains.

2.3.6. Recommandations pour la production d'alevins en tanks, "raceways" et arènes

La reproduction et l'alevinage en tanks, raceways et arènes correspond à un niveau d'intensification qui ne se justifie qu'en pisciculture industrielle et est donc hors de portée de l'activité rurale traditionnelle. Les coûts de ce type d'élevage ne peuvent se justifier que si le prix de vente du tilapia est très élevé.

La reproduction sera effectuée de préférence dans le système le plus simple: les tanks circulaires d'un diamètre de 3 à 5 m avec en périphérie des moellons installés tous les 70 cm pour délimiter le territoire des mâles. Une densité de géniteurs de 5 ind/m² avec un rapport des sexes ♀/♂ de 3/1 devrait donner de bons résultats.

La croissance des larves récupérées régulièrement par vidanges partielles des tanks de reproduction sera effectuée en tanks successifs de grossissement avec recalibrage régulier des alevins et diminution progressive de la densité de stockage de 4000 larves/m² dans des bacs peu profonds (20 à 30 cm d'eau) à 1600 ind de 1g/m³ puis 1000 individus de 10g/m³ jusqu'au stade fingerlings (20 à 30g).

2.4. Reproduction et alevinage en aquarium

Depuis quelques années, le développement des Facultés des Sciences et des Sciences Agronomiques dans les universités africaines a amené un certain nombre d'étudiants et de chercheurs à s'intéresser à l'élevage des tilapias. Toutefois, ces jeunes universités ne disposent pas toujours d'infrastructures adéquates pour effectuer des recherches fondamentales et appliquées sur ces poissons. Il n'empêche qu'un certain nombre d'hypothèses peuvent être préalablement testées à petite échelle dans des aquariums bien conditionnés. Pour ce faire, il est souvent nécessaire d'assurer sa propre production d'alevins. C'est pourquoi, il nous a semblé intéressant de faire part de notre expérience de production d'alevins de *T. nilotica* au Centre de Biologie du Comportement et Laboratoire de Pisciculture M. Huet de l'Université Catholique de Louvain (U.C.L.) à Louvain-la-Neuve (Belgique).

Comparé aux autres systèmes d'alevinage de *Tilapia nilotica*, la production d'alevins en aquarium pose un certain nombre de problèmes. Ceux-ci sont tous, directement ou indirectement, provoqués par le volume réduit qui caractérise ce type particulier de milieu de vie et sont principalement de deux types. D'une part, les conditions de vie en aquarium (entièrement dépendantes de l'homme) doivent couvrir les exigences physiologiques de l'espèce à reproduire, d'autre part, elles doivent également rencontrer les exigences comportementales qui modulent les interactions entre géniteurs chez cette espèce hautement Sociale. Ces deux aspects, installation générale et gestion des stocks de géniteurs, sont traités séparément et successivement.

2.4.1. Installation générale

2.4.1.1. Types d'aquarium

Dans le centre de Louvain-la-Neuve, la salle d'élevage des poissons tropicaux (planche 2.4) est équipée de plusieurs types d'aquariums (d'une contenance de 400 l, de 200 l ou de 70 l) remplissant chacun des fonctions particulières. Ainsi, les aquariums de 400 l (longueur: 200 cm; hauteur: 50 cm; profondeur: 40 cm) servent avant tout au stockage des géniteurs (poissons de 50 à 200 g) mais sont, dans certaines circonstances, également utilisés pour la reproduction. Les aquariums de 200 l (longueur: 100 cm; hauteur: 50 cm; profondeur: 40 cm) peuvent également servir au stockage, mais ils se prêtent particulièrement bien à la reproduction de *Tilapia nilotica*. car ils garantissent aux femelles incubantes ou prodiguant les soins maternels des conditions de vie satisfaisantes, sur un espace minimal.

Par ailleurs, ces aquariums servent au grossissement d'alevins "fingerling" de plus de 5 g. Quant aux aquariums de 70 l (longueur: 60 cm; hauteur: 40 cm; profondeur: 30 cm), ils servent principalement au grossissement des alevins de 0.05 g à 5 g. Ils permettent également le stockage individuel des géniteurs ou l'isolement de poissons blessés.

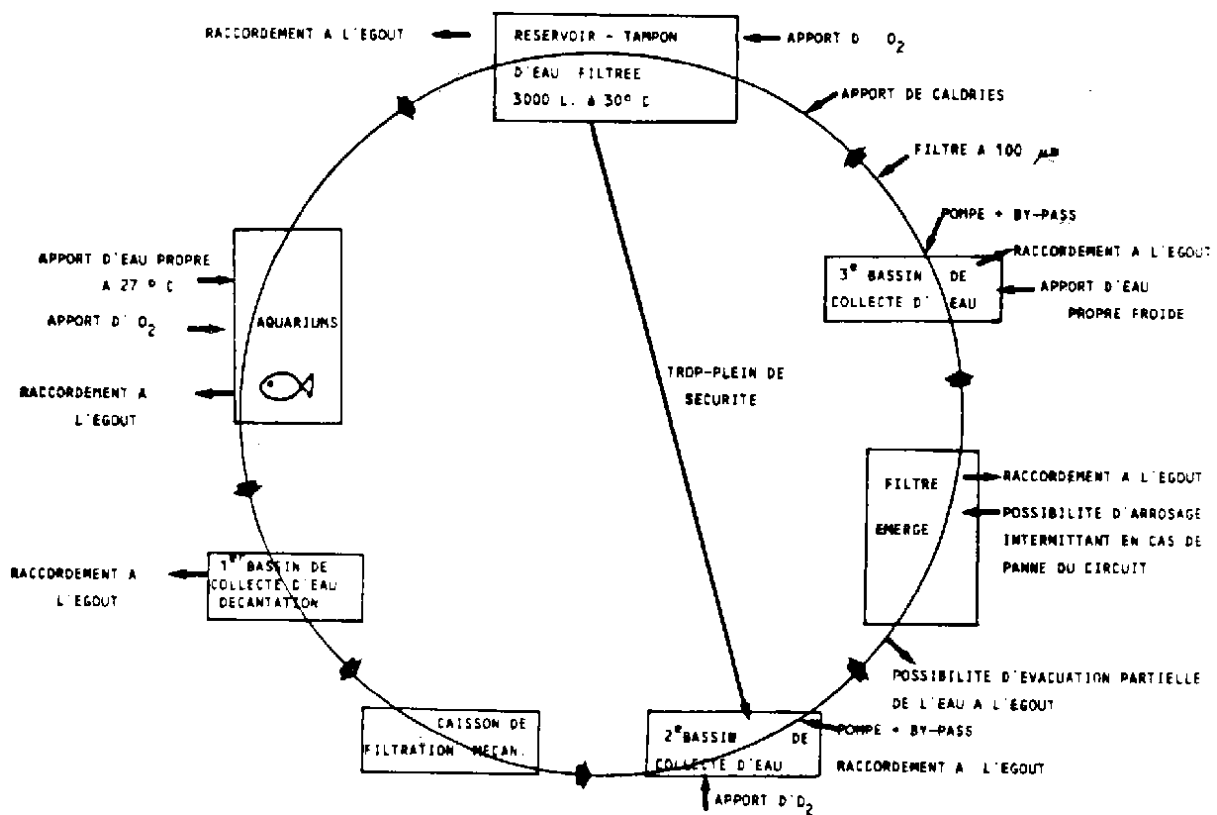
Chacun de ces aquariums peut être alimenté, soit en eau propre, soit en eau recyclée, à bonne température. L'évacuation des eaux usées s'effectue par un trop plein constitué d'un tuyau en PVC (d'un diamètre de 25 mm et d'une hauteur légèrement inférieure à celle de l'aquarium, percé à 4 cm de son bord supérieur d'une rangée de trous, permettant le réglage du niveau de l'eau). L'eau est ensuite envoyée par un tuyau de décharge (diamètre: 32 mm) vers une gouttière (diamètre: 100 mm) qui l'achemine vers le filtre. En cas de maladie, chaque aquarium peut être déconnecté du circuit général et être filtré individuellement.

2.4.1.2. Distribution et épuration des eaux

Dans cette installation (figure 2.12), chaque aquarium est alimenté en dérivation avec de l'eau à bonne température ($\pm 27^{\circ}\text{C}$). Ce type de distribution permet de déconnecter un aquarium déterminé en cas de maladie. L'eau des aquariums est renouvelée en permanence à faible débit (0.1 l/min). Selon les cas, elle provient soit de la réserve d'eau propre, soit de la réserve d'eau recyclée, soit encore des deux réseaux de distribution à la fois. Ces réserves sont placées en hauteur et l'eau s'écoule donc par gravité. L'eau excédentaire est évacuée des aquariums par le trop-plein et acheminée par une gouttière vers le filtre.

Celui-ci est constitué de quatre entités bétonnées, chacune étant munie d'un trop-plein et pouvant, si nécessaire, être mise à l'égoût. Le premier compartiment en forme de cône renversé, sert de bassin collecteur et permet une première décantation. En fonction de la quantité d'eau qui afflue vers le filtre, une fine couche d'eau passe ensuite au-dessus du muret qui sépare le premier compartiment du second. L'eau, y traverse d'abord un caisson, rempli de billes d'argex (filtration mécanique) avant d'être pompée vers le filtre biologique du troisième compartiment.

Figure 2.12. Plan schématique des installations d'élevage et d'expérimentation pour *T. nilotica* au Centre de Biologie du Comportement et de Pisciculture M. Huet de l'U.C.L. à Louvain-la-Neuve



Cette filtration permet la dégradation des produits toxiques contenus dans l'eau (tels l'ammoniaque et les nitrites). Elle s'opère sur des éléments plastiques, appelés garnissage, qui présentent une surface maximale pour le volume occupé. Ces éléments sont empilés les uns sur les autres dans un énorme caisson, placé au-dessus du troisième compartiment. L'eau, en ruisselant sur ces éléments, entre en contact prolongé avec les colonies de bactéries, qui dégradent efficacement les matières organiques. Une filtration biologique maximale est assurée lorsque le filtre biologique a été dimensionné en fonction de la quantité d'eau à filtrer et de sa charge en matière organique et en produits toxiques. Ce rapport entre volume d'eau à filtrer et volume du filtre varie entre 2 (charge en poisson élevée) et 4 (charge en poisson plus faible). Vu le nombre limité de poissons adultes nécessaire à la production d'alevins, le volume du filtre est généralement quatre fois inférieur à celui de l'eau à filtrer. L'eau filtrée est ensuite recueillie dans le bassin du troisième compartiment, d'où elle s'écoule vers le dernier compartiment par un tuyau de connexion.

Dans ce compartiment, une seconde pompe envoie enfin l'eau vers le réservoir (passage obligé par un filtre de 100 microns), situé à l'étage supérieur. Ce dernier joue un rôle tampon. En effet, il assure un apport régulier d'eau vers les aquariums et ce malgré les fluctuations de débit dues à des vidanges d'aquarium, de mise à l'égoût d'un compartiment, etc. Généralement, ce réservoir est rempli à ras-bord et il convient donc d'y installer un trop-plein. Celui-ci peut être raccordé au second compartiment du filtre, évitant ainsi une perte inutile d'eau du circuit.

Dans notre installation, les vitesses d'écoulement vers les aquariums et de repompage vers le réservoir ont été réglées de manière telle que l'eau est brassée 3-4 fois par jour. Néanmoins, vu la faible mise en charge du système, l'eau recyclée n'est remplacée qu'au bout de 4 jours.

2.4.1.3. Circuit d'air

En aquarium, l'apport permanent d'oxygène est essentiel à la santé et au bien-être des poissons. Même si *Tilapia nilotica* résiste relativement bien à une faible saturation en oxygène (< 1 ppm à 25°C), une insuffisance chronique en oxygène réduit sensiblement les fréquences de pontes. Dans notre laboratoire, l'approvisionnement en oxygène est assuré par une turbine (2800 tours/min; 220 volts; 2.3 ampères en triphasé). L'air ainsi produit (débit: 100 m³/h; vitesse: 30 m/sec) est distribué par une conduite en PVC (diamètre: 40 mm; débit: 900 l/h) sur laquelle des prises d'air ont été placées à des intervalles réguliers. Le réglage du débit d'air s'effectue, au niveau des aquariums, par des robinets individuels, l'air étant distribuée par des diffuseurs d'air. L'excédant d'air s'échappe du circuit par un vase d'expansion d'une hauteur d'eau d'1.10 m (niveau supérieur à la hauteur maximale d'eau dans les aquariums), assurant une pression constante dans le circuit. Sauf exception, ce type de circuit fournit aux poissons une eau saturée en oxygène à 70% (5.5-6 ppm d'O₂ à 25°C).

2.4.1.4. Eclairage

Une double rangée de tube néon (lumière blanche, 36 watts), protégée par des caches étanches, et placée à environ 50 cm de la surface de l'eau, fournit la lumière nécessaire (1500 -3000 lux à la surface). L'éclairage étant commandé par une minuterie, un cycle d'éclairément de 12 h de lumière et de 12 h d'obscurité est imposé aux poissons. En effet, *Tilapia nilotica* est relativement sensible à l'éclairément et recherche activement des zones plus claires. Une intensité de lumière trop faible ou un cycle trop court peuvent donc également affecter le comportement reproducteur de cette espèce. Un cycle d'éclairément allongé (13 à 14 h de lumière) favorisera la gamétogenèse et améliorera les performances de reproduction.

2.4.1.5. Autres aménagements

Outre les aménagements qui permettent de rencontrer les exigences biologiques de *Tilapia nilotica* (température, oxygène, éclairage, qualité de l'eau, espace disponible), d'autres aménagements visent à optimiser les conditions de travail dans la salle. Ainsi, il est indispensable de prévoir, à même le sol, une évacuation vers l'égout. Celle-ci est facilitée par un sol en légère pente et peut encore l'être davantage par une gouttière enfoncée dans le sol et recouverte d'un grillage qui traverse partiellement ou entièrement la pièce.

L'eau et l'humidité permanente de ces salles impliquent que le revêtement du sol, les plinthes, les murs et les portes y résistent. Par ailleurs, la sécurité de la pièce peut être sensiblement augmentée en suspendant les installations électriques (éclairage, prises électriques) à des rampes disposées au-dessus des aquariums, le danger d'électrocution étant écarté par des prises de terre et des disjoncteurs différentiels. Souvent, un système de ventilation s'avère également nécessaire pour réduire le taux d'humidité de la pièce et pour empêcher la formation de moisissures. En régions tempérées, un double vitrage s'indique pour réduire les pertes de calories et pour éviter la condensation sur les vitres dans le cas où la salle est équipée de fenêtres. Pour l'élevage des poissons, l'absence de lumière naturelle ne pose néanmoins aucun problème. Au contraire, elle permet d'éviter la prolifération des algues vertes.

2.4.1.6. Entretien des installations

L'entretien des installations est fort aisé et demande relativement peu de temps. Ainsi, les aquariums nécessitent un entretien toutes les 1-2 semaines. Celui-ci consiste en un nettoyage des parois et une vidange aux trots-quarts, permettant l'évacuation des déchets, sans que les poissons ne soient manipulés, le nouveau remplissage se faisant automatiquement.

Quant au filtre, l'entretien régulier se limite à la vidange hebdomadaire du tank de décantation (5 min) et au nettoyage mensuel du caisson à billes d'argex, des préfiltres et crépines (3 heures). Par précaution, nous contrôlons également toutes les semaines la qualité de l'eau du circuit de recirculation (température, pH, taux d'oxygène, taux de nitrites avant et après filtration, durée 1 h).

Tous les 2-3 mois, le filtre (100 microns) est rincé et les tuyaux de distribution d'eau (diamètre: 10 mm) au-dessus des aquariums débouchés. Enfin, les tanks en béton qui récoltent l'eau du filtre sont brossés et purgés au bout de 6 mois, le nettoyage des réservoirs d'eau ne s'avérant nécessaire qu'après 3-4 ans. Selon d'autres chercheurs qui utilisent le même type de filtre émergé, l'entretien de ce dernier ne s'impose qu'au bout de 10-12 ans et s'annonce par une augmentation notable de sa consommation en oxygène. Sa durée d'activité est donc particulièrement longue.

Néanmoins, un certain nombre de précautions doivent être prises pour lui assurer des conditions de fonctionnement optimales. Etant donné que la filtration se fait de manière biologique, toute action qui risque de détruire la colonie bactérienne doit absolument être évitée. Ainsi, il faut à tout prix s'abstenir d'utiliser dans le circuit (aquariums, gouttière, tuyauterie) des produits toxiques (eau de Javel, permanganate de potassium, antibiotiques etc.), étant donné qu'ils seront directement acheminés vers le filtre. En outre, il faut également s'assurer que le filtre émergé garde, à tout moment, un taux d'humidité élevé, qui est indispensable au bon fonctionnement et à la survie des bactéries. Il arrive parfois que des problèmes surviennent dans l'acheminement de l'eau vers le filtre (pompe en panne, coupure du circuit d'eau pour raison d'entretien etc.). Dans ce cas, il est impératif d'arroser le filtre avec de l'eau propre (qui peut même être plus froide) le temps nécessaire à la remise en état du circuit. De cette manière, il est possible de sauvegarder le pouvoir filtrant du filtre, même si le circuit a été arrêté pendant plusieurs semaines. A l'occasion d'une telle interruption prolongée, nous avons, en effet, constaté que, grâce à cet arrosage compensatoire, le pouvoir filtrant avait entièrement été rétabli après 4-5 jours, alors qu'il aurait fallu plus de 4 semaines pour relancer le filtre après un dessèchement total. Dans le cas où le filtre ne travaille que partiellement, il est conseillé de le charger le moins possible en matière organique, ce qui revient à nourrir moins abondamment les poissons.

2.4.2. Gestion des poissons

Le contrôle complet du cycle de vie de *Tilapia nilotica* est relativement aisé en laboratoire, à condition d'éviter un certain nombre de difficultés qui sont essentiellement d'ordre pathologique (Annexe 2.6) et comportemental. Celles-ci sont liées, chez les géniteurs, au comportement de défense territoriale (qui se traduit par une agressivité excessive) et, chez les alevins, au comportement cannibale. Ces problèmes trouvent leur origine dans le bouleversement profond que subit l'organisation sociale de cette espèce adaptée aux grandes surfaces aquatiques, lors du confinement spatial en aquarium.

2.4.2.1. Maintenance des géniteurs

En laboratoire, il est utile de disposer, pendant toute l'année, d'un stock réduit de géniteurs qui permet de relancer la production de poissons en cas de besoin. Idéalement, un stock minimal doit être constitué de 5-6 mâles et de 10-12 femelles (poids des géniteurs entre 100 et 200 g) et peut être gardé dans un seul aquarium de 400 l. Un tel stock, dont les potentialités reproductives dépassent largement les besoins moyens de tests en laboratoire (une femelle de 150 g produit sans problème 300 alevins par ponte), se justifie par le souci de garantir une production d'un millier d'alevins en un mois et ce malgré une baisse momentanée de la fécondité du stock, due à des blessures chez une partie des mâles et/ou à un allongement imprévu du cycle de ponte chez une partie des femelles.

L'évitement des conséquences néfastes de l'agressivité est aisé en dehors de la reproduction. Pour ce faire, il suffit de regrouper les adultes à une densité relativement élevée. En effet, dans ces conditions, les perturbations mutuelles entre congénères rendent difficile la défense territoriale, qui motive pour une part importante l'agressivité des mâles. Il a été démontré qu'en période de conditions défavorables, l'espèce abandonne son investissement dans la reproduction et adopte une vie grégaire, pacifique (FALTER, 1984; FALTER et DE BACKER, 1988). En dessous de 20°C, l'activité sexuelle est totalement arrêtée, mais l'appétit des poissons (et donc leur croissance) diminue également. Enfin, un dernier moyen pour contrôler l'agressivité des mâles consiste à installer un courant d'eau sur le fond de l'aquarium. En tous cas, la pratique courante qui consiste à retirer de l'aquarium l'animal le plus agressif est à proscrire, car elle favorise chez les poissons restants l'apparition de comportements territoriaux. Ces conditions légèrement défavorables à l'espèce (même pratiquée sur plusieurs semaines ou mois) n'handicapent en aucune manière son pouvoir reproductif, à condition que les animaux reçoivent une nourriture en quantité et qualité suffisante et qu'ils ne soient pas trop vieux (âge optimum: 6-18 mois). Dans ces conditions de stockage, la reproduction n'est pas inhibée, mais sa fréquence simplement ralentie. Si les reproductions spontanées doivent être totalement supprimées, il est indispensable de séparer les sexes. Mais même dans ces conditions, certaines femelles continuent à pondre. Elles n'incuberont cependant que pendant 2-3 jours, le temps nécessaire aux oeufs non fécondés de se dégrader dans leur cavité buccale (ROTHBARD, 1979).

2.4.2.2. Gestion des géniteurs pour la production d'alevins

Avant de procéder à la description concrète des techniques de reproduction, il faut souligner que le taux de consanguinité croît rapidement avec chaque nouvelle génération vu la fréquence élevée des reproductions d'un petit nombre de géniteurs. En laboratoire, les croisements répétés entre individus apparentés sont toutefois pratique courante et ne semblent pas affecter la viabilité des poissons, à condition que la souche de départ soit de bonne qualité (pas de déformations dans la descendance, bonne croissance et résistance aux maladies, rythme soutenu de reproduction). Dans notre propre souche, nous avons pu constater qu'après quinze générations de reproduction entre individus apparentés, la part de la variance génétique dans la variabilité générale est devenue nulle pour les caractères "agressivité" des mâles (FALTER et DE JAEGERE, 1989) et "rythme de ponte" des femelles (DUFAYT, 1988).

Selon le but recherché et la disponibilité des chercheurs, trois techniques de reproduction peuvent être envisagées: reproduction et incubation naturelles de couples ou de groupes de géniteurs et reproduction artificielle.

2.4.2.2.1. Reproduction et incubation naturelles par couples

Cette technique, qui permet d'obtenir par voie naturelle une progéniture dont le père et la mère sont connus, repose sur le choix sélectif des poissons et leur réunion juste avant la reproduction. Elle nécessite une surveillance soutenue de l'état physiologique du stock des géniteurs, le repérage des individus prêts à se reproduire se faisant sur base de critères parfaitement visibles. Ainsi, les mâles qui défendent un territoire de reproduction, arborent des livrées de colorations typiques (couleur claire et brillante du corps, absence de stries bordant la nageoire dorsale, papille génitale proéminente) (FALTER, 1987) et présentent des comportements caractéristiques (défense d'une aire sur le fond, attaque des congénères, creusement) (HEINRICH, 1968). Les femelles prêtes à pondre deviennent, elles aussi, claires et brillantes, plus agressives et ont une papille génitale protubérante. Lors de l'approche de l'oviposition, elles recherchent activement la présence d'un mâle territorial (alors qu'elles se tiennent d'habitude à l'écart) et se mettent également à creuser (ROTHBARD, 1979).

Chez les tilapias, la vision d'un congénère favorise la maturation gonadique dans les deux sexes. C'est la raison pour laquelle les poissons sont généralement gardés en groupe (sauf en cas de blessure où il vaut mieux les isoler). La première étape dans la préparation des géniteurs consiste à placer deux mâles matures, séparés l'un de l'autre par une cloison solide, transparente et amovible (ex.: moustiquaire sur cadre rigide, retenue par des glissières) dans un aquarium de 200 l. Les poissons y établissent leur territoire en quelques heures. Généralement, ces préparatifs se font le matin, étant donné que *Tilapia nilotica* se reproduit principalement l'après-midi et le soir (FALTER, 1986). Dès qu'une femelle est prête à pondre, l'un des deux mâles est enlevé et la femelle introduite dans le compartiment libre. Celle-ci peut ensuite s'habituer à son nouvel environnement pendant quelques temps (déterminé par la durée nécessaire à la réapparition de comportements et patrons de coloration sexuels). Pendant cette période d'attente, le mâle et la femelle communiquent visuellement et olfactivement, et se stimulent mutuellement (ARONSON, 1945; SILVERMAN, 1978 a, b, c; FALTER et DOLISY, 1989; FALTER et CHARLIER, 1989). Dès la réapparition des comportements sexuels chez la femelle, la cloison est enlevée et les géniteurs se réunissent spontanément.

En général, le mâle commence directement sa parade devant la femelle et l'invite à le suivre vers son territoire. La femelle ne l'accompagne cependant pas nécessairement dès le début. Dans cette situation, les géniteurs échangent normalement peu de comportements agressifs. Toutefois, si l'un des deux poissons se met à agresser son partenaire (au point que ce dernier perde ses colorations typiques et commence systématiquement à fuir), il est préférable de séparer à nouveau les géniteurs et de présenter un autre mâle (plus pacifique ou plus dominant selon le cas) à la femelle. A cet égard, il est important de donner à la femelle, un mâle d'un poids légèrement supérieur au sien.

Une fois la ponte et la fécondation achevée, il est souhaitable de séparer à nouveau les poissons. C'est à ce stade que le mâle est généralement retiré de l'aquarium et qu'une autre femelle y est introduite pour tenir compagnie à la femelle incubante. Pendant l'incubation (qui dure environ 11 jours à 27°C), la femelle réagit, en effet, plus violemment aux perturbations extérieures et risque de détruire sa progéniture. Il est donc impossible de l'isoler, de la manipuler ou de la pêcher dans cet état. Le transport est néanmoins possible, à condition de ne pas la sortir de l'eau (ex.: transport dans un petit aquarium plongé dans son aquarium de séjour). En outre, il faut savoir qu'une femelle qui a recraché ses oeufs, ne les reprendra plus en bouche.

En général, la femelle garde ses jeunes encore pendant plusieurs jours (2-7 jours) après la phase d'incubation. Au début de cette période, elle les rappelle régulièrement en adoptant une posture particulière (corps incliné à 30%, tête vers le bas) et en battant énergiquement de ses nageoires pectorales. A ce signal, les jeunes refluent vers la tête de leur mère et cherchent, par toutes les voies (y compris les fentes branchiales) un accès à sa bouche. Par la suite, elle ne les rappelle plus qu'en cas de danger. Dans la nature, les jeunes se séparent de leur mère après quelques jours. En aquarium, la mère se désintéresse de ses jeunes au bout d'une semaine. C'est à ce moment qu'il est le plus indiqué de séparer la mère de ses jeunes. Elle pourrait tout au plus encore rester une semaine avec ses jeunes. En effet, la séparation doit absolument survenir avant que la femelle ne se prépare à une nouvelle ponte, étant donné qu'après cette oviposition, elle reprend en bouche tout ce qu'elle trouve sur son chemin. C'est ainsi que nous avons un jour inspecté la bouche d'une femelle qui contenait, outre les oeufs fraîchement pondus, une partie du gravier et une cinquantaine d'alevins de la ponte précédente. Depuis cet incident, tous nos aquariums sont dépourvus de gravier (ou de sable). Cette absence de substrat permet également d'assurer une meilleure hygiène de l'aquarium et n'est nullement indispensable au bon déroulement de la reproduction.

2.4.2.2.2. Reproduction et incubation naturelles par groupes

Cette seconde technique s'inspire du système d'élevage développé par HALLER et PARKER (1981). Elle consiste à introduire simultanément un mâle et trois à quatre femelles (poissons matures mais pas nécessairement prêts à se reproduire) dans un aquarium de 200 l (ou un mâle et six à dix femelles dans un aquarium de 400 l). Une cloison, solidement fixée à l'aquarium et percée de quelques ouvertures (suffisamment grandes pour permettre le passage aux femelles) retient le mâle territorial et agressif dans son compartiment, alors qu'elle permet aux femelles, plus petites, de circuler à leur gré dans tout l'aquarium. Ce système offre deux grands avantages. D'une part il ne nécessite pas une trop grande surveillance, et d'autre part, il minimise le risque qu'une femelle prête à pondre ne soit fécondée. Le seul inconvénient réside dans le fait que les poissons, une fois prêts, se reproduisent rapidement et que l'observateur humain n'y assiste que rarement.

Dans ce système, le mâle doit être retiré au plus tard la veille du jour où la première femelle fécondée libère ses alevins. La femelle incubante annonce ce moment en arborant un patron de coloration typique, caractérisé par l'apparition de 7-8 stries noires verticales sur le corps et de stries noires horizontales entre les yeux, bordés d'un anneau noir. Il est également impératif de retirer toutes les femelles non incubantes, étant donné qu'elles dévorent les alevins fraîchement libérés. Pendant la garde des alevins (qui peut durer 2 à 10 jours), la femelle défend un territoire et est excessivement agressive (plus agressive qu'un mâle territorial). Il faut donc éviter de la rapprocher trop de tout autre poisson. En effet, une telle présence est ressentie comme une menace et la femelle s'épuise à attaquer l'intrus. Tant que ce danger n'est pas écarté, elle ne lâchera pas ses alevins, qui risquent de mourir dans sa bouche. Lorsque l'on dispose d'un nombre suffisant d'aquarium, il est donc préférable de réserver un aquarium par femelle incubante. Enfin, ce système donne même de bons résultats dans des aquariums de 100 l.

Une variante de cette technique a été proposée par ROTHBARD (1979). Pour éviter les conséquences néfastes des comportements agressifs, ce chercheur suggère de constituer, avant la maturité sexuelle, des "familles" de *Tilapia nilotica*. A cet effet, il place une cinquantaine de poissons de 20 g dans un aquarium de 400 l (200 × 50 × 40 cm). Dès qu'un mâle devient mature et territorial, ROTHBARD enlève une partie importante de la population et ne laisse

plus qu'une dizaine de femelles auprès de ce mâle. Selon notre propre expérience, il n'est cependant pas nécessaire de prendre autant de précautions. Même s'il est vrai qu'il est dangereux d'introduire un mâle dans un groupe dont la structure sociale est établie (ce qui se fait endéans quelques heures), il est possible de former à tout moment un groupe de géniteurs, à condition que tous les individus soient introduits simultanément dans un nouvel environnement. Par contre, l'intégration d'une femelle dans un groupe existant ne pose jamais de sérieuses difficultés, à condition qu'elle soit d'une taille comparable aux autres femelles.

2.4.2.2.3. Reproduction artificielle

Comparée à l'importance des recherches menées pour maîtriser les différents aspects de l'élevage de *Tilapia nilotica*, l'effort fourni pour développer une technique satisfaisante de reproduction et/ou d'incubation artificielle a été négligeable. Le manque d'intérêt pour cette dernière dimension de la biologie de ces espèces est essentiellement dû à la facilité avec laquelle ces dernières se reproduisent spontanément. Néanmoins, la maîtrise de la reproduction artificielle s'avère utile pour des études de sélection génétique et d'hybridation.

Préparation des géniteurs

L'achèvement, en temps voulu, de la maturation gonadique constitue la difficulté principale lors de la préparation des géniteurs. Chez les poissons matures, celle-ci est permanente, bien qu'elle soit cyclique chez les femelles. Chez les mâles, la spermatogenèse est continue, à condition que les poissons soient suffisamment nourris (ration journalière de 2% avec un aliment contenant 25 à 30% de protéines animales) et maintenus dans un environnement physique et social, propice à la reproduction.

Néanmoins, un contrôle de motilité et de concentration des spermatozoïdes s'impose dans le cas où l'on ne travaille qu'avec un ou deux mâles. A cet effet, quelques gouttelettes de laitance (liquide blanchâtre) sont prélevées à sec par pression sur l'abdomen d'un mâle territorial. Placées sous le microscope (agrandissement 400 x), leur motilité est ensuite contrôlée en ajoutant quelques gouttes d'eau. En fait, un tel contrôle s'impose chaque fois que la réussite des reproductions dépend d'un nombre très limité de mâles.

Chez les femelles, l'intervalle entre deux pontes est théoriquement de 28 jours. Cette durée peut néanmoins être diminuée de moitié dans le cas où les femelles sont empêchées d'incuber. Etant donné la difficulté avec laquelle l'état d'avancement de l'ovogenèse entre deux pontes est estimé, DADZIE (1970) propose, pour *Tilapia aurea*, soit une triple injection, par voie intrapéritonéale, de l'hormone gonadotrope chorionique humaine, dont la dose totale équivaut à 25 U.I./100 g de poids vif, soit une triple injection combinant l'extrait hypophysaire de carpe et l'HCG (dose totale: 0.25 mg/100 g et 25 U.I./100 g). Malgré les résultats encourageants de DADZIE (6 femelles/6 ont pondu dans les 24 heures), la plupart des auteurs, désireux de reproduire *Tilapia nilotica* de manière artificielle, préfèrent recourir à la méthode VALENTI (1975) qui consiste à utiliser une femelle qui vient de déposer spontanément son premier lot d'oeufs dans l'aquarium.

Reproduction artificielle

Pour réussir une reproduction artificielle, il est indispensable de respecter un certain nombre de règles et il est avant tout conseillé de travailler en équipe. Etant donné que toute la séquence des manipulations doit se dérouler dans un minimum de temps, l'expérience doit être

entièrement programmée à l'avance. Comme matériel, on utilise généralement un rouleau de papier fin, un récipient sec à fond arrondi, une plume souple, une pipette Pasteur, un chronomètre et un peu d'eau non chlorée (ou de liquide fertilisant à température de la pièce). Dès la sortie de l'eau, le géniteur est séché (l'eau diminue considérablement la durée de vie des produits sexuels) et partiellement enveloppé dans du papier fin, préalablement mouillé, seule, la région arrière étant dégagée. Cette dernière mesure permet non seulement de protéger les écailles du poisson pendant la manipulation mais assure également une meilleure manutention de l'animal.

Les ovules étant plus résistants que la laitance, on procède d'abord au "stripping" de la femelle. A cet effet, un premier expérimentateur maintient la papille génitale de la femelle à quelques centimètres seulement du fond du récipient. Avec le pouce et l'index, il exerce ensuite une légère pression sur l'abdomen de la femelle en direction de l'oviducte. Un second expérimentateur surveille l'opération et arrête avec un morceau de papier sec toutes les éjections parasites (urines, fèces, écailles). Si la femelle est réellement prête à pondre, l'extraction des oeufs se fait sans aucune résistance et le premier lot d'oeufs (plusieurs dizaines d'oeufs) est expulsé après trois ou quatre tentatives. A chaque nouvelle pression, un autre lot d'oeufs est expulsé. Lorsque la réserve d'oeufs commence à s'épuiser, leur apparition se fait plus rare et il est alors indiqué d'exercer la pression plus en avant, les ovaires de *Tilapia nilotica* occupant une large partie du bas de la cavité abdominale. Lorsque les oeufs n'apparaissent pas spontanément après quelques pressions, il vaut mieux interrompre la manipulation. En aucun cas, il ne faut augmenter la pression sur le ventre de la femelle ou insister jusqu'à l'apparition de sang.

Une fois les ovules récoltés, on passe immédiatement à la collecte de la laitance. Le premier expérimentateur, après avoir retourné le mâle sur le dos, exerce à nouveau une légère pression sur le haut de l'abdomen du poisson, les testicules étant moins volumineux que les ovaires et localisés plus près de la colonne vertébrale. Comme précédemment, le second expérimentateur recueille séparément les éjections parasites, et aspire par ailleurs, au moyen de la pipette, la laitance qui coule le long du flanc du mâle. Les mâles de *Tilapia nilotica* étant généralement fort généreux, il arrive fréquemment qu'un mâle donne plus de 0.5 ml de laitance. Afin de disposer d'une quantité suffisante de laitance, plusieurs mâles (2-3) sont cependant strippés par femelle utilisée.

La fécondation se fait alors en plusieurs étapes. CHOURROUT et ITSKOVITCH (1983) conseillent d'apporter initialement 0.05-0.2 ce de laitance par 100 ovules. Ce mélange est ensuite remué en douceur au moyen d'une plume durant 2 minutes environ. Après cette première phase d'homogénéisation, 10 ce de solution physiologique sont ajoutés et l'ensemble mélangé à nouveau pendant 2 minutes. Alors que ROTHBARD et PRUGININ (1975) rincent les oeufs dès ce stade, CHOURROUT et ITSKOVITCH transvasent les oeufs avec leur liquide dans un récipient plus grand, contenant 100 ce d'eau. Ce n'est qu'après une demie-heure, que les oeufs sont rincés et introduits dans un incubateur (planche 2.4). Nos propres essais sur la durée de vie de la laitance de *Tilapia nilotica* ont montré, qu'en présence exclusive d'une solution physiologique ou d'une simple solution de NaCl (0.9%), la motilité des spermatozoïdes est nulle, que l'apport supplémentaire d'une petite quantité d'eau douée permet de la déclencher et qu'enfin, l'utilisation de différentes solutions fertilisantes augmente sensiblement leur durée d'activité.

Incubation artificielle

L'incubation artificielle d'oeufs de diverses espèces de *Tilapia* a été pendant longtemps problématique. Les difficultés provenaient essentiellement des particularités qui caractérisent les oeufs d'incubateurs buccaux. Déjà SHAW et ARONSON (1954), dans leur étude sur le développement embryonnaire de *Tilapia macrocephala*, avaient découvert que les oeufs devaient être brassés en permanence vu l'abondance des réserves vitellines qui risquent d'étouffer le pôle animal. Ces auteurs avaient également remarqué que les oeufs de *Tilapia* étaient particulièrement sujets à l'envahissement par des champignons et des bactéries. RANA (1986) vient de confirmer ces données. Il a, en effet, réussi à augmenter le taux de survie d'embryons incubés artificiellement en irradiant l'eau de circulation aux rayons ultra-violet.

Par ailleurs, il a également constaté la fragilité relative du chorion qui se déchire prématurément à la suite de chocs mécaniques trop importants. Actuellement, les incubateurs qui donnent des résultats satisfaisants (60-70% d'alevins à vésicule résorbée), tiennent compte de ces différentes caractéristiques.

A ce jour, différentes techniques ont été développées (SHAW et ARONSON, 1954; BAUER, 1968; NUSSBAUM et CHERVINSKY, 1968; MIREs, 1973; ROTHBARD et PRUGININ, 1975; VALENTI, 1975; LEE, 1979; ROTHBARD et HULATA, 1980; RANA, 1986. DON *et al*, 1987). Leurs résultats sont néanmoins fort variables, comme le montre le tableau 2.42.

Tableau 2.42. Fonctionnement et rendement de différents types d'incubateurs.

| Espèce | Reprod. | T° | Forme incub. | Mouvement d'eau | Traitement Eau | % éclosions | Remarques | Auteurs |
|---------------------------------------|--------------|------------|--------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|---------------------------------------|
| <i>T. nilotica</i> | naturelle | 27° 37° | bouteille Erlenmeyer | diffuseur d'air | - | - | - | Nussbaum et Chervinsky, 1968 |
| <i>T. aurea</i> | artificielle | 32° | cône renversé | diffuseur d'air dans goulot | 50 U.I./ml pénicilline G et 0.05 mg/mide streptomycine (sulfate) | 56% (35%-90%) | traitement supplém. (choc au froid) pH = 6.5 | Valenti, 1975 |
| <i>T. nilotica</i> | artificielle | 26° | bouteille de Zoug (5l) | arrivée d'eau par le goulot | - | 80% (74%-97%) | - | Chourrou et Itskovitch, 1983 |
| <i>T. nilotica</i> <i>T. aurea</i> | artificielle | | bouteille de Zoug | - | avec U.V. sans U.V. | 60% (±10.6%) 13.5 (±12%) | filtration sur charbon actif | Don <i>et al</i> , 1987 |
| <i>T. nilotica</i> | naturelle | 26° | bouteille de 35ml (/300 oeufs) | - | - | 71% (53%-83%) | - | Hoerstgen-Schwark <i>et al</i> , 1987 |

Malgré les importantes différences qui existent entre les techniques et qui rendent difficile la comparaison des résultats, les travaux récents semblent néanmoins privilégier:

- l'utilisation d'oeufs fécondés, obtenus après reproduction naturelle,
- la mise en route de l'incubation artificielle avec des oeufs âgés de deux jours (stade de pigmentation),
- une stérilisation de l'eau par irradiation aux U.V.,
- un brassage lent des oeufs (bouteille à fond arrondi).

Lors de nos propres essais, nous avons remarqué que le séjour des embryons dans l'incubateur pouvait être limité à la période précédant l'éclosion. Celle-ci survient, à 27°C, entre 96-120 heures après la fécondation. Dès l'éclosion, les alevins ont été transférés dans des récipients peu profonds (2 cm de hauteur d'eau), qui ont été alimentés en permanence par un faible débit d'eau. Dès ce stade, les cas de mortalité ont été extrêmement rares (< 1%).

2.4.2.3. Elevage de la descendance

Etant donné que les conditions de vie en aquarium influencent non seulement le comportement des géniteurs mais également tout le développement de leur descendance, il est utile de commencer par préciser certains termes. En aquarium, la maturité sexuelle apparaît nettement plus tôt que dans les autres systèmes d'élevage. Ainsi, il n'est pas rare de voir qu'un mâle, à peine âgé de trois mois et pesant moins de 10 g, défende déjà un territoire de reproduction. Vers 5-6 mois, la majorité des femelles commencent à pondre, alors qu'elles ne pèsent que 25 à 40 g. Il va donc de soi que les termes "alevins", "fingerlings" et "adultes" ont une signification différente selon le milieu de croissance. En aquarium, nous entendons par "alevins" des jeunes poissons dont le poids se situe entre 0.01 g (1^{er} jour de la nage libre) et 5g. Le terme "fingerling" désigne ensuite des poissons juvéniles entre 5-20 g. Vers 20 g, les poissons commencent à devenir sexuellement matures et accèdent donc au stade "adulte".

2.4.2.3.1. Alevinage

Selon que les alevins ont été obtenus par incubation naturelle ou incubation artificielle, la première semaine de croissance se déroule soit en présence de leur mère (dans un aquarium de 200 l) soit dans le récipient peu profond (2 l pour une ponte). En général, les alevins sont exclusivement nourris avec des nauplii d'artémias (éclos dans un récipient profond contenant 21 d'eau, bien oxygénée à 27°C, à laquelle ont été ajoutés une cuillère d'oeufs d'artémias et 66 g de sel de cuisine). Cependant, d'autres nourritures, riches en protéines (50% de protéines) peuvent également convenir.

Après cette première semaine de croissance (tableau 2.43), les alevins (d'un poids moyen de 0.16 g) sont transférés, par groupe de 50, vers des aquariums de 70l. Ils y sont nourris *ad libitum* 5-6 fois par jour pendant un mois. Ayant atteint à ce moment un poids moyen de 2 g, les groupes sont répartis chacun en deux aquariums, ce qui permet aux poissons de poursuivre leur croissance rapide pendant un autre mois.

Tableau 2.43. Schéma d'élevage d'alevins de *Tilapia nilotica* en aquarium.

| Jours Aquarium (l) | Densité (ind.) | | Nourriture | Poids final (g) |
|--------------------|----------------|---------|--|-----------------|
| 0-7 | 200 | 300-400 | Artémia | 0.16g |
| 8-35 | 70 | 50 | Granulés réduits en poudre (50% prot.) | 2.0g |
| 36-64 | 70 | 25 | Granulés réduits (30% prot.) | 6.0g |

C'est au cours de la période d'élevage des alevins que le cannibalisme est le plus à craindre (PANTASTICO *et al*, 1988). BERRIOS-HERNANDEZ et SNOW (1983) ont chiffré l'étendue de ces pertes dans leur étude comparative sur les taux de survie d'alevins, élevés dans différents systèmes d'élevage. La perte de loin la plus importante (97%) survient dans le système d'élevage dans lequel les alevins sont maintenus en présence des géniteurs. Les pertes les plus faibles ont été signalées pour les systèmes dans lesquels les géniteurs ont été séparés précocement, soit de leurs oeufs, soit de leurs alevins.

Il serait néanmoins erroné de croire que seuls les géniteurs dévorent les alevins. A plusieurs reprises, nous avons en effet observé en aquarium qu'une partie importante d'une ponte disparaissait, alors que la mère défendait âprement et efficacement ses jeunes contre tous les adultes. Dans ces cas, la perte importante était due au cannibalisme des alevins plus âgés ou des "fingerlings" qui étaient bien tolérés par la mère au milieu du nuage de ses jeunes. Il arrive également que le cannibalisme apparaisse parmi les alevins d'une même ponte. Dans ce cas, ce comportement n'apparaît que lorsque la taille des frères et soeurs diverge sensiblement (rapport 3 à 1). Dans le système d'élevage décrit ci-dessus, les pertes d'alevins sont quasi inexistantes, étant donné que tous les individus grandissent de manière plus ou moins comparable.

D'autres facteurs peuvent également être responsables de la perte plus ou moins importante d'alevins. Ainsi, la qualité de l'eau joue un rôle essentiel. Les alevins sont nettement plus sensibles aux nitrates que les adultes. Une eau de mauvaise qualité, non seulement freine gravement et durablement la croissance, mais encore peut causer une mortalité massive par intoxication. En outre, elle favorise l'explosion bactérienne (ex.: *Aeromonas* spp). Le seul remède à ce fléau consiste à renouveler l'eau très fréquemment. Par ailleurs, HENDERSON-ARZAPALO et STICKNEY (1980) ont mis en évidence l'existence d'une diminution importante des défenses immunitaires chez les jeunes *T. mossambica* (âgés de 3 mois environ) qui avaient été élevés en aquarium à forte densité (60 poissons/60 l). Dans ces conditions, la mortalité journalière était de 1 à 2%.

Par contre, des pertes de nature plus accidentelle, dues par exemple à une aspiration par la pompe (ou par le trop-plein) ou à des fluctuations excessives de température, pourraient aisément être évitées. Enfin, contrairement aux attentes, le facteur "aliment" ne semble jouer qu'un rôle secondaire dans la mortalité des alevins. Même sous un régime alimentaire totalement inadéquat, subi pendant deux mois, le taux de survie chez les alevins de *T. nilotica* (dont le poids n'avait varié que de 0.013 g à 0.1-0.2 g) avoisinait toujours les 50% (PANTASTICO *et al*, 1981). Néanmoins, une telle malnutrition ou sous-alimentation induit inévitablement l'apparition d'une plus grande hétérogénéité dans la taille des alevins et favorise, de ce fait, le développement du cannibalisme.

2.4.2.3.2. Elevage des fingerlings

Dès que les alevins ont atteint 5-6 g, il est nécessaire de leur offrir un volume d'eau plus important, c'est-à-dire de les transférer vers des aquariums de grossissement. Généralement, nous plaçons 25 poissons par aquarium de 200 l. Ils sont ensuite nourris quotidiennement avec une ration alimentaire qui correspond à 3% de leur biomasse. Deux mois plus tard, les premiers signes de maturité sexuelle apparaissent chez les mâles, alors qu'ils ne le feront qu'un mois plus tard chez les femelles.

3. Conclusions et recommandations

A l'évidence, *Tilapia nilotica* est une des meilleurs, si pas la meilleure espèce de Cichlidae pour l'élevage en pisciculture. Sa large valence écologique et son taux de croissance élevé lui ont permis de bien tirer parti de la production primaire d'une multitude d'écosystèmes lacustres africains non seulement dans sa zone biogéographique originelle mais bien au-delà, à la suite d'introduction diverses. Il n'est donc pas étonnant que cette espèce s'adapte bien à l'étang de pisciculture dans lequel sa croissance sera très bonne si les conditions environnementales (qualité d'eau et alimentation) sont adéquates. Cependant, en conditions défavorables (sous-alimentation, mauvaise qualité d'eau, etc.), *T. nilotica* s'adaptera grâce à un phénomène de néoténie qui se traduit par une reproduction précoce et le nanisme. Le résultat de cette adaptation biologique remarquable ne fera pas l'affaire du mauvais pisciculteur qui récoltera une très grande quantité de petits poissons à faible valeur marchande.

Il est donc fondamental de maîtriser la reproduction de *T. nilotica* et de produire des quantités adéquates d'alevins d'âge connu, à bonne potentialité de croissance, pour la mise en charge d'étangs de production de poissons marchands. Le pisciculteur devra donc choisir une stratégie adéquate selon ses infrastructures, son niveau de technicité et la rentabilité économique de sa production. Trois choix concrets sont possible: reproduction en étangs, en hapas et en cages, ou en tanks, raceways et arènes.

A l'évidence, dans les conditions rurales rustiques à niveau monétaire faible, sans disponibilité d'aliments complets équilibrés (granulés), et où le niveau de technicité des pisciculteurs potentiels est rudimentaire, il sera préférable de s'orienter vers la pisciculture semi-intensive en étangs en vue de valoriser une série de sous-produits agricoles produits localement. Parmi les différentes méthodes de production d'alevins en étangs, la technique d'élevage par classes d'âge séparées conduira toujours aux meilleurs résultats. Ceci implique de disposer d'une série d'étangs de reproduction de 2 à 4 ares dont la surface totale devrait représenter environ 10% de la surface de l'ensemble des étangs de la pisciculture. Ces étangs seront mis en charge avec des femelles de poids compris entre 100 et 200 g accompagnées de mâles légèrement plus gros à une densité de 1 à 4 géniteurs/m² (selon l'alimentation disponible) dans un rapport des sexes ♀/♂ égal à 3/1. Un sennage bi-hebdomadaire devrait conduire à une récolte de 20 à 200 alevins de $\pm 1\text{g}/\text{m}^2/\text{mois}$ selon la qualité et l'intensité de l'alimentation. Par contre, une vidange complète bi-mensuelle de l'étang devrait permettre une récolte de 10 à 100 alevins de $10\text{ à }20\text{ g}/\text{m}^2/\text{mois}$ selon l'alimentation distribuée. Ces résultats ne seront atteints qu'en condition de température continuellement favorable (température journalière moyenne de l'eau > 25°C.). Au fur et à mesure que l'on s'écarte de ces conditions, il faut s'attendre à des réductions plus ou moins importantes et saisonnières de la production d'alevins. Dans le cas de sennages bi-hebdomadaires, il faut disposer d'étangs de prégrossissement ($\pm 20\%$ de la superficie des étangs) pour amener les petits alevins récoltés ($\pm 1\text{ g}$) à un poids de l'ordre de 20 g, poids

souhaitable pour la mise en charge des étangs de production. Cela peut se faire en une ou deux étapes successives dans des étangs de 2 à 4 ares avec des mises en charge de 50 à 20 alevins/m² (selon l'âge et l'alimentation disponible). Après deux à trois mois, la récolte de fingerlings de ± 20 g devrait être de l'ordre de 80% de la mise en charge.

La reproduction en hapas, poches fixes de petites tailles en filet moustiquaire, permet un contrôle aisé et une identification de la reproduction et de l'alevinage aussi bien en étangs, qu'en tanks ou en grandes cages. A une densité de 5 géniteurs/m² avec un rapport des sexes femelles/mâles de 3/1, on obtient des productions de l'ordre de 40 à 70 larves/m²/jour soit en extrapolant 1200 à 2100 larves/m²/mois mais cela nécessite un nourrissage régulier complet et équilibré ainsi qu'une récolte très fréquente.

La reproduction et l'alevinage peuvent également s'effectuer complètement en grandes cages flottantes de 16 m² avec filets à mailles fines en y disposant 4 petites cages à géniteurs de ± 1 m² avec chacune 10 géniteurs (♀/♂ = 2/1) ce qui donne (avec une alimentation équilibrée et intensive) une production de l'ordre de 400 alevins/m²/mois. Sans alimentation artificielle, il est possible de profiter d'un lac eutrophe en y disposant des doubles cages (48 et 20 m²). A une densité de 4 géniteurs/m² (♀/♂ = 3/1) la production d'alevins peut être de l'ordre de 50 ind/m²/mois.

La reproduction et l'alevinage en tanks, raceways et arènes correspond à un niveau d'intensification qui ne se justifie qu'en pisciculture industrielle et est donc hors de portée de l'activité rurale traditionnelle. Les coûts de ce type d'élevage, qui présente l'avantage d'occuper peu d'espace et de permettre un contrôle et une gestion efficace des conditions environnementales et du stock de poissons, sont toutefois élevés (infrastructures, énergie et alimentation). Cette activité ne peut se justifier que si le prix de vente du tilapia est très élevé ce qui est rarement le cas en Afrique intertropicale vu le faible pouvoir d'achat des populations.

La reproduction sera effectuée de préférence dans le système le plus simple: les tanks circulaires d'un diamètre de 3 à 5 m avec en périphérie des moellons installés tous les 70 cm ce qui délimitera le territoire des mâles, les femelles circulant au centre. Une densité de géniteurs de 5 ind/m² avec un rapport des sexes ♀/♂ de 3/1 devrait donner de bons résultats. Le système des arènes de HALLER et PARKER, intéressant d'un point de vue éthologique mais plus coûteux et plus difficilement réalisable d'un point de vue technique, ne semble pas donner une aussi bonne production de larves que les tanks.

La croissance des larves récupérées régulièrement lors des vidanges partielles et rapides des tanks de reproduction sera effectuée en tanks de prégressissement avec recalibrage régulier des alevins et diminution progressive de la densité de stockage: de 4000 larves/m² dans des bacs peu profonds (20 à 30 cm d'eau) à 1600 ind de 1g/m³ puis 1000 ind de 10g/m³ jusqu'au stade de fingerlings (20 à 30 g).

A des fins d'expérimentation précise, il est parfois utile de pouvoir assurer la production de *T. nilotica* en aquarium. Une production régulière d'alevins de *T. nilotica* peut être assurée à partir d'un stock minimal de géniteurs de 5 à 6 mâles et 10 à 12 femelles maintenues dans un seul aquarium de 400 l. La reproduction s'effectue dans un aquarium de 200 l avec un mâle territorial auprès duquel on introduit une femelle prête à pondre. Une semaine après l'éclosion on sépare, de la mère, les larves qui sont nourries de nauplii d'artémias. Les alevins de 0,2 g

sont alors transférés par groupe de 50 dans des aquariums de 70l et sont nourris ad libitum 5 à 6 fois par jour avec des aliments riches en protéines.

En conclusion, la diversité des résultats de production d'alevins de *T. nilotica* en étangs, en hapas et cages ou en tanks, raceways et arènes montrent clairement qu'il serait nécessaire, à l'avenir, d'expérimenter de façon comparative et rigoureuse pour préciser selon ces différents systèmes les meilleures densités, le rapport optimal des sexes, ou la taille la plus adéquate des géniteurs. Cela devrait se faire, au cours d'un cycle annuel complet sous diverses conditions climatiques, et selon des protocoles précis qui ne feraient varier qu'un seul facteur à la fois. En plus des paramètres précédents, il faudrait examiner les effets de différents types d'alimentation sur la reproduction et l'alevinage sans oublier de mesurer l'ensemble des coûts de production. Ce n'est qu'à ce prix que l'on pourra vraiment recommander les techniques les plus adéquates selon les conditions du milieu.

Annexes

Annexe 2.1. Coefficients de digestibilité des protéines, lipides et glucides et valeur énergétique de différents ingrédients pour *Tilapia nilotica* (d'après POPMA, 1982).

| Ingrédients | Pourcentage de digestibilité | | | |
|--------------------------|------------------------------|--------|---------|---------------|
| | Protéine | Lipide | Glucide | Energie brute |
| Farine de poisson | 84.8 | 97.8 | - | 87.4 |
| Farine de poisson + maïs | 84.9 | - | - | - |
| Farine de viande et d'os | 77.7 | - | - | 68.7 |
| Farine de soja | 94.4 | - | 53.5 | 72.5 |
| Maïs (cru) | 83.8 | 89.9 | 45.4 | 55.5 |
| Blé | 89.6 | 84.9 | 60.8 | 65.3 |
| Son de blé | 70.7 | - | - | - |
| Pulpe de café | 29.2 | - | - | 11.4 |

Annexe 2.2. Besoins quantitatifs en acides aminés essentiels de *Tilapia nilotica* (d'après SANITAGO, 1985).

| Acides aminés essentiels | Besoin minimum (% des protéines) |
|----------------------------|----------------------------------|
| Arginine | 4.2 |
| Histidine | 1.7 |
| Isoleucine | 3.1 |
| Leucine | 3.4 |
| Lysine | 5.1 |
| Méthionine (+ cystine) | 3.2 |
| Phénylalanine (+ tyrosine) | 5.7 |
| Threonine | 3.6 |
| Tryptophane | 1.0 |

Annexe 2.3. Composition du prémix vitaminé et du prémix minéral à incorporer dans l'aliment, respectivement à 2 et 4% de la matière sèche (JAUNCEY et ROSS, 1982).

| Prémix vitaminé | | Prémix minéral | |
|------------------------------------|----------------|--|----------------|
| Vitamines | g/kg de prémix | Minéraux | g/kg de prémix |
| Thiamine (B ₁) | 2.5 | CaHPO ₄ . 2H ₂ O | 727.7775 |
| Riboflavine (B ₂) | 2.5 | MgSO ₄ . 7H ₂ O | 127.5000 |
| Pyridoxine (B ₆) | 2.0 | NaCl | 60.000 |
| Acide pantothénique | 5.0 | KCl | 50.000 |
| Inositol | 100.0 | FeSO ₄ . 7H ₂ O | 25.000 |
| Biotine | 0.3 | ZnSO ₄ . 7H ₂ O | 5.5000 |
| Acide folique | 0.75 | MnSO ₄ . 4H ₂ O | 2.5375 |
| Acide para-amino-benzoïque | 2.5 | CuSO ₄ . 5H ₂ O | 0.7850 |
| Choline | 200.0 | CoSO ₄ . 7H ₂ O | 0.4775 |
| Niacine (B ₃) | 10.0 | CaIO ₃ 6H ₂ O | 0.2950 |
| Cyanocobalamine (B ₁₂) | 0.005 | CrCl ₃ 6H ₂ O | 0.1275 |
| Retinol palmitate (A) | 100000 U.I. | | |
| - tocophérol acétate (E) | 20.1 | | |
| Acide ascorbique (C) | 50.0 | | |
| Menadione (K) | 2.0 | | |
| Cholecalciferol (D ₃) | 500000 U.I. | | |

Annexe 2.4. Composition (en %) et qualité nutritionnelle de différents aliments proposés par différents auteurs pour les alevins de tilapias en tanks.

| Ingrédients | Poids des alevins (g) | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|--------|------|------|--------|--------|-----|-----|
| | 1 ^{er} nourris. à 0.5 g | 0.3-12 | 2-6 | 7-40 | 0.5-35 | <20-30 | >20 | >25 |
| Farine de poisson | 30 | 17.9 | 36.6 | 15 | 10 | | | 10 |
| Farine de viande/sang | 5 | | | | 5 | | | 10 |
| Farine d'os | | | | | | 3 | | 1 |
| Farine de plume hydrol. | 15 | | | | 5 | | | |
| Tourteau de soja | 5 | 49.3 | | 15 | | | | 15 |
| Son de blé | | | | | | | 15 | 10 |
| Son de riz | 10 | | 63.4 | | 20 | 43 | 15 | |
| Tourteau de coton | 5 | | | | 20 | 53 | 45 | |
| Tourteau de germe de maïs | | 10.7 | | 70 | | | | 10 |
| Maïs concassé | | | | | | | | 13 |
| Drêche de brasserie | 10 | | | | 10 | | 15 | |
| Pulpe de café | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|------|------|-------------|-------|-----|------|-------------|
| Farine de luzerne | | | | | | 5 | | |
| Tourteau de sésame | | | | | | | 7.75 | |
| Tourteau d'arachide | 10 | | | | 12 | | | |
| Mélasse | | | | | | 5 | | |
| Farine de copra | | | | | | | | |
| Huile de maïs | | 5.0 | | | | | | |
| Cellulose | | | | | | | | |
| Déchets de poudre de lait | | 4.1 | | | | | | |
| Déchets de poulet | | | | | | | | |
| Prémix vitaminé | 2 | 6.0 | 0.5 | 2.0 | 2 | 0.8 | 0.25 | 1 |
| Prémix minéral | 4 | 7.1 | | | 4 | 0.2 | | |
| Supplément lipides | 4 | | | | | | | |
| % protéines | 49.25 | 36 | 34 | 22 | 35.55 | - | 30 | 22 |
| % lipides | 11.06 | - | 3 | 1.4 | 8.58 | - | - | 5.5 |
| Taux de conversion | - | 1.43 | 1.24 | 1.5- 2.0 | - | - | 1.2 | 2.3- 2.6 |

Références

JAUCE DAVIS et CRUZ et ROSS JAUNCE CHOW HASTINGS HALLER
 Y et STICKNEY LAUDENCIA197 et Y ROSS, , , 1973 , 1974
 ROSS, . 1978 8 MUIR 1982 1982**
 1982 * 1982

* in BALARIN et HALLER, 1982

** in NEW, 1987

Annexe 2.5. Coûts d'installation et de production d'une pisciculture intensive d'alevins de *T. mossambica* au Zimbabwe (Z). Objectif de production: 132500 alevins de 2 g (établi d'après WRIGHT et KENMUIR, 1981) (en 1981: 1\$US = 0,78\$Z).

+ Coûts de construction:

- Unité de reproduction:

• caractéristiques:

5 cycles de reproduction de 30 j/an, soit 5 groupes de larves
 26500 larves par groupe, en considérant une mortalité de 5.7 %
 300 larves//cycle, soit 1500 larves/an.

• Nombre de tanks requis: 12

• Marge de sécurité pour imprévus, expansions et élevage des futurs géniteurs: 12 tanks, soit 24 tanks au total.

• Coûts de construction des tanks: 2974 \$Z

• Coûts d'aménagements: conduite, grille, pompe: 1051 \$Z
 1051\$ Z

• Total: 4025 \$Z

- Unité d'alevinage:

- **Caractéristiques:**

durée d'élevage (jusqu'à 2g): 40j. (~ 1.5 × la durée d'un cycle de reproduction).

densité de stockage: 3300 larves/tank de 0.93 m³ (1.85 × 1.23 × 0.41m)

$$\frac{26500 \times 1.5}{3300} = 12 \text{ tanks}$$

- Nombre de tanks requis:

- Imprévus, expansions,...: 8 tanks

- Soit un total de 20 tanks

- Coûts de construction des tanks:

908 \$Z

- Coûts d'aménagements:

sol, conduite, drainage,...:

2800 \$Z

filtre, matériel, pompe, ozoneur:

2400 \$Z

- Total:

6108 \$Z

TOTAL des coûts de construction (unités de reproduction et d'alevinage)

10133 \$Z

+ Coût de fonctionnement

- **Caractéristiques:**

- 24 tanks de reproduction + 20 tanks d'alevinage

Période de reproduction: 170 j/an

Période d'alevinage: 160 j/an

- équivalent 1 personne 7 mois/an à 37.5 \$/mois

- Personnel:

262.5 \$Z

- Alimentation:

généiteurs:

200.9 \$Z

alevins:

190.8 \$Z

total:

391.7 \$Z

- Entretien et réparation:

546 \$Z

- Pompage (électricité):

94.9 \$Z

- Traitement (formol):

212.5 \$Z

- Autres:

150 \$Z

- Total des coûts de fonctionnement:

1648.4
\$Z

- Productions de juvéniles (2g):

132500
\$Z

- Coûts de production du juvénile (hors amortissement):

0.012 \$Z

Annexe 2.6. Traitements curatifs des tilapias (L. DE BACKER, com. pers.) Les doses indiquées relèvent uniquement aux substances actives présentes dans les produits commercialisés.

Médicaments antibactériens (contre *Aeromonas*, *Pseudomonas*)

Thérapeutiques d'attente:

Oxytétracycline à 80 mg/kg de poids vif par jour dans la nourriture

Sulfaméthazine à 200 mg/kg de poids vif par jour dans la nourriture

Autres thérapeutiques:

Néomycine (sulfate) à 100 mg/l d'eau. Bain pendant au moins 2×24 h

Chloramphénicol à 80 mg/kg de poids vif par jour dans la nourriture

ou

sous forme injectable (Chloromycétine) injection intrapéritonéale: 10 mg/kg de poids vif.

La durée du traitement antibiotique se prolonge jusqu'à disparition complète des symptômes c'est-à-dire pendant environ 6 à 8 jours.

Thérapeutiques anti-ectoparasitaires

- Contre protozoaires ciliés (*Trichodina, Ichtyophthirius, Chillodonella*):

Formaline 25 ppm. Bain de 1 heure - répéter après 2 à 3 jours

Vert de malachite (sous forme d'oxalate et exempt de Zn)

3.68 g dans 1 litre de formoline (= formol à 40%);

de ce mélange mettre 1 ml/40 l d'eau pour un bain de 1 à 2 h - répéter après 2 à 3 jours

ou ± 0.5 à 0.7 ml/100 l d'eau pour un traitement prolongé de 2 à 3 jours.

Chlorure de sodium (sel de cuisine) 1 à 3% dans l'eau pendant 30 minutes à 1 h, ou 0.2% pendant 3 jours.

- Contre protozoaires flagellés (*Costia*):

Acriflavine HCL 5 ppm, bain de 48h.

- Contre trématodes et crustacés (*Dactylogyrus, Gyrodactylus, Argulus*, larves de *Lernea*):

Néguvon 0.1 à 0.25 ppm, bain plusieurs jours

Bromex 0.1 à 0.25 ppm, bain plusieurs jours

Thérapeutiques anti-endoparasitaires

- Contre cestodes intestinaux:

Niclosamide: 50 à 100 mg/kg de poids vif pendant 1 à 3 jours - compléter l'aliment à 1% avec ce produit et nourrir les poissons à 1% de leur poids vif.

- Contre nématodes intestinaux:

Pyrantel tartrate: 30 à 40 mg/kg de poids vif dans la nourriture pendant quelques jours.

Thérapie contre mycoses externes (*Saprolegnia*):

Vert de malachite

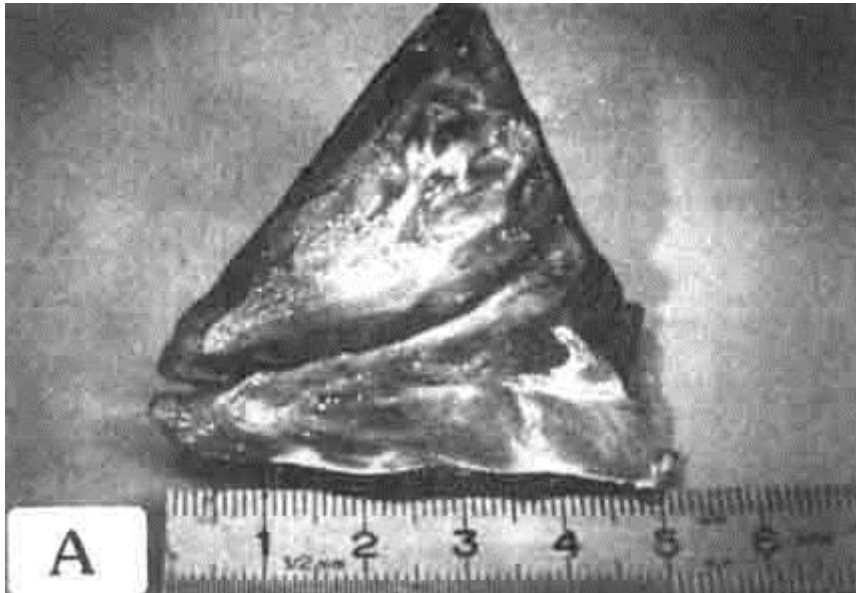
1 ppm, bain de 1 h.

2 ppm, bain de 1 h. pour traitement préventif des oeufs.

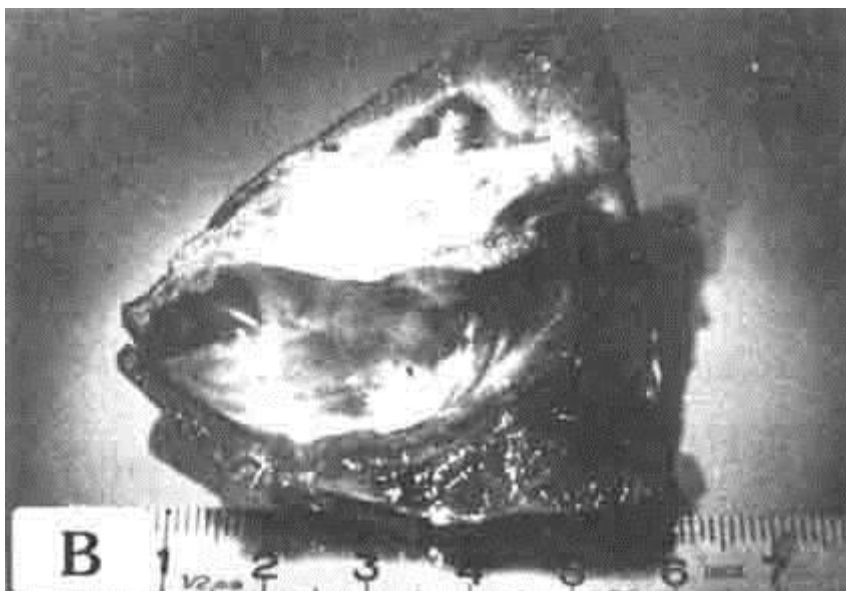
Planches photographiques

Planche 1.1. Femelle de *T. nilotica* en période de reproduction (photos SMITS-VAN OYEN)

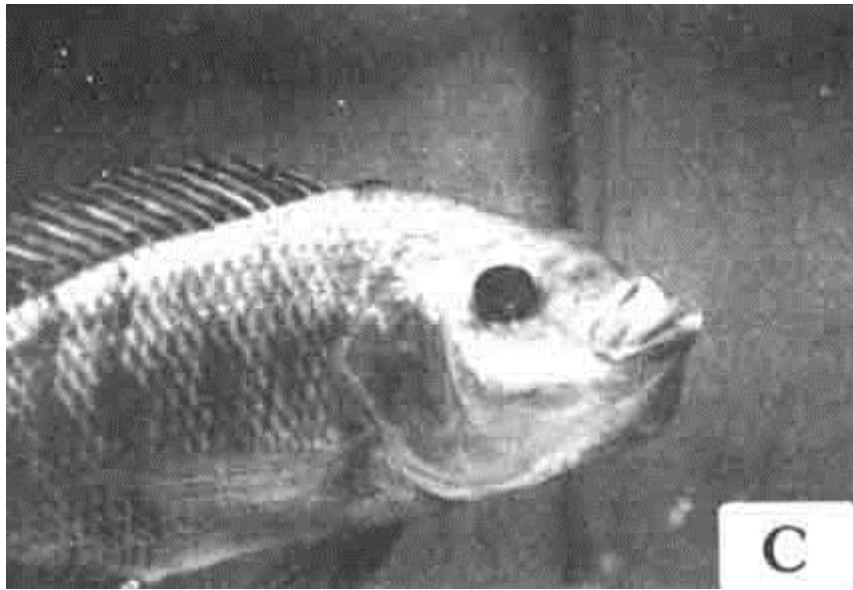
A: Coupe longitudinale de la tête d'une femelle de *T. nilotica* avec alevins en bouche



B: Coupe longitudinale de la tête d'une femelle de *T. nilotica* sans alevins en bouche



C: Femelle de *T. nilotica* avec alevins en bouche et présentant le gonflement typique de la cavité buccale



D: Alevins de *T. nilotica* présentant un comportement de contact avec leur mère.

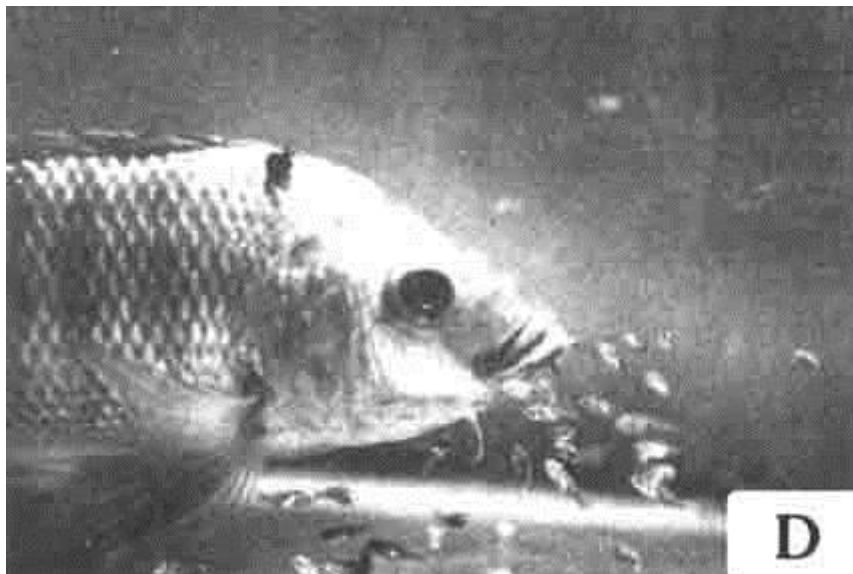


Planche 2.1

A: Etangs de reproduction (à gauche) et d'alevinage (à droite) disposés en cascade en Côte d'Ivoire (photo CAMPBELL)



B: Récolte d'alevins dans la pêcherie à Bangui, Landja (photo MICHA)



C: Triage des alevins dans des bacs avec cage à mailles définies à Bangui, Landja (photo MICHA)



D: Nids de *T. nilotica* sur les berges et l'assiette de l'étang à Bangui, Landja (photo MICHA)



E: Sennage pour la récolte d'alevins à Kakamega (photo VINCKE)



F: Femelle de *T. nilotica* avec oeufs en bouche, Kakamega (photo VINCKE)

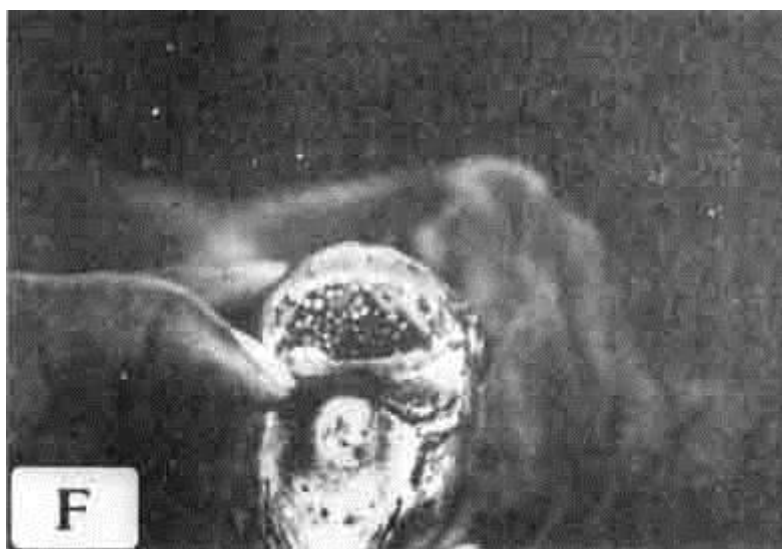


Planche 2.2.

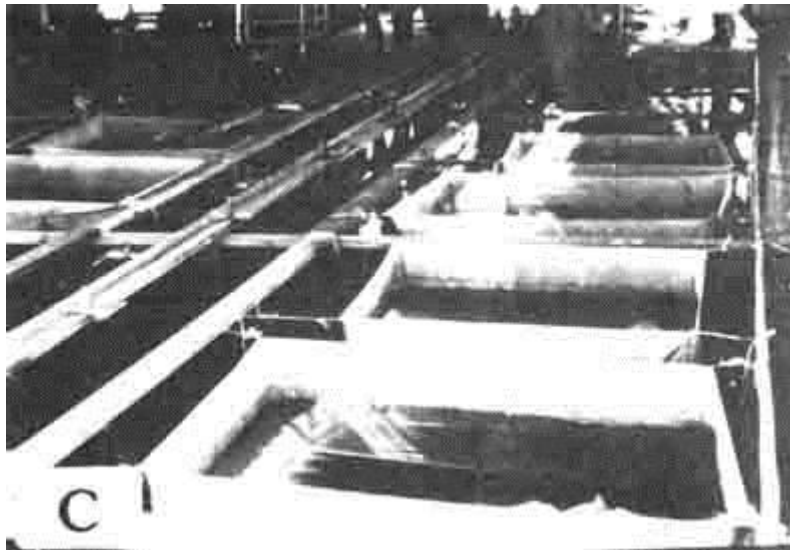
A: Série de hapas en étangs en Thaïlande (photo MICHA)



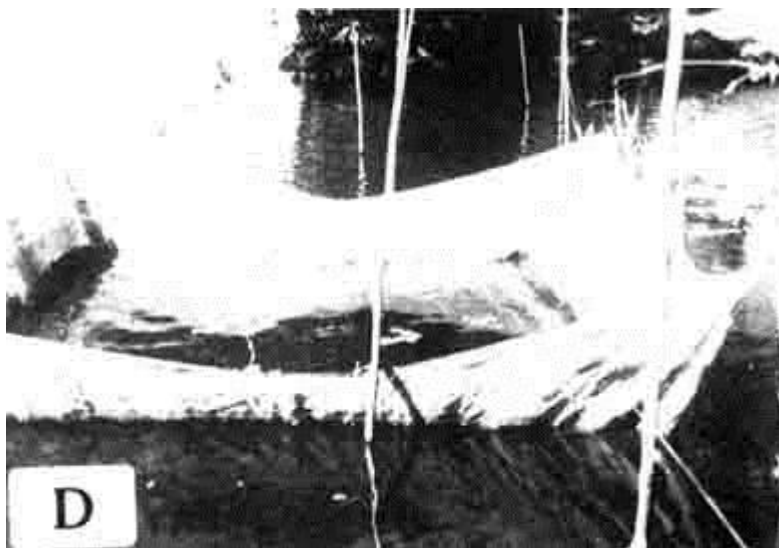
B: Récupération des alevins et géniteurs dans les hapas en Thaïlande (photo MICHA)



C: Série de hapas en tanks en Thaïlande (photo MICHA)



D: Cage flottante avec 4 cages à géniteurs à Tucta, au Mexique (photo MICHA)



E: Cage à géniteurs de *T. nilotica* avec seaux de reproduction à Tucta, au Mexique (photo MICHA)



F: Seaux de reproduction pour *T. nilotica* à Tucta, au Mexique (photo MICHA)

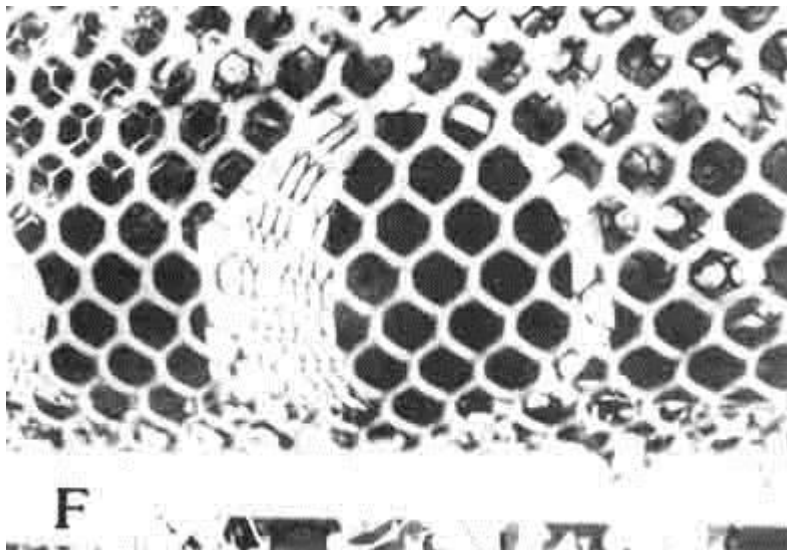
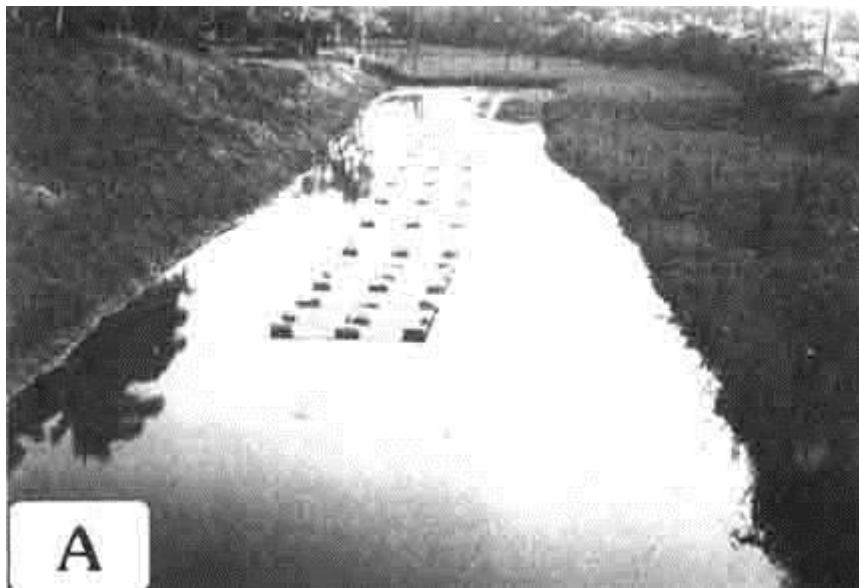


Planche 2.2. Système de production de *T. nilotica* en cages (photos MICHA).

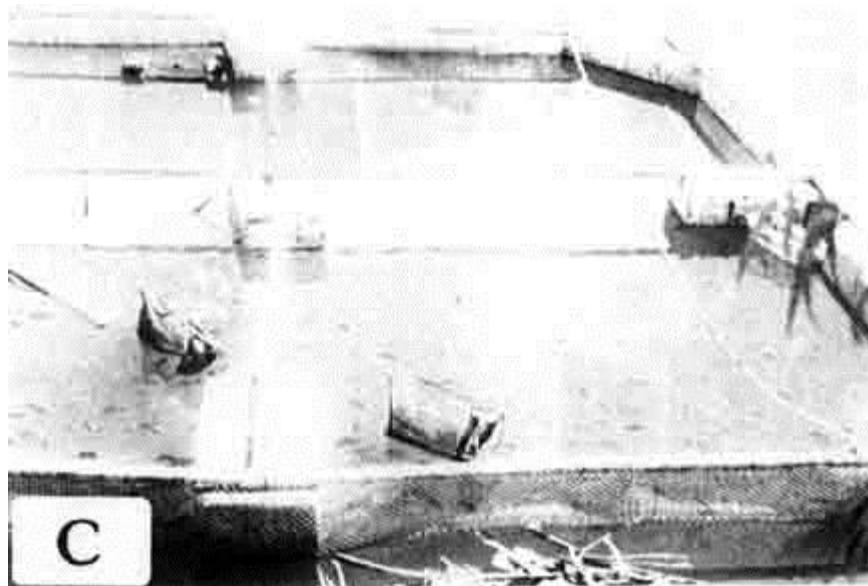
A: Cages flottantes dans un canal à Tucta, au Mexique



B: Construction d'une cage flottante simple à San Pedro, au Mexique



C: Paniers d'alimentation (farine) pour alevins à Tucta, au Mexique



D: Paniers d'alimentation en cages à Tucta, au Mexique

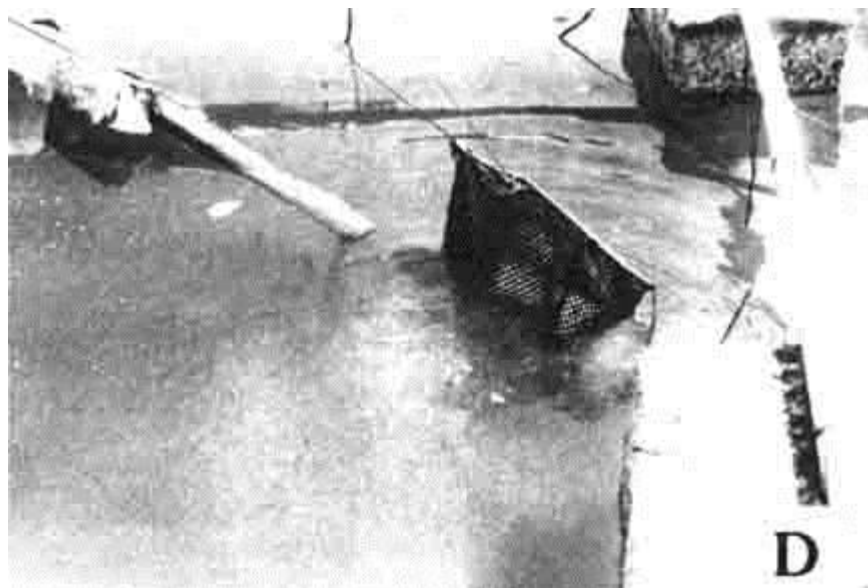
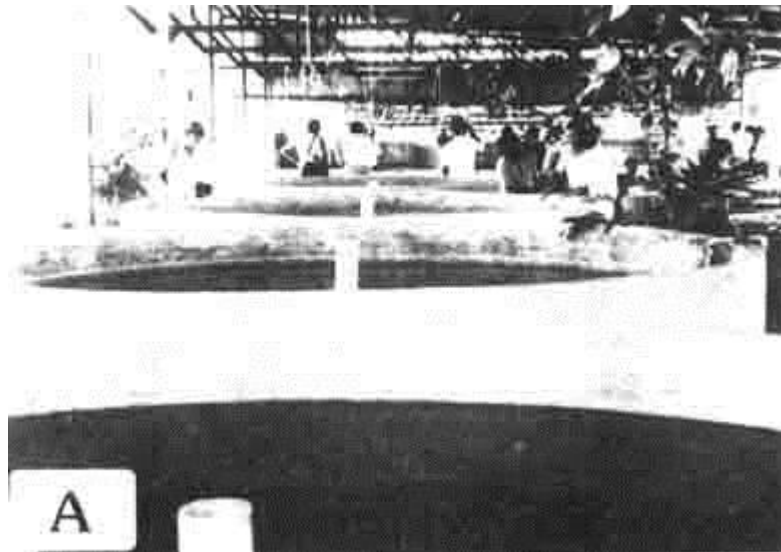


Planche 2.3. Système de reproduction et d'alevinage de tilapias en tanks, raceways et arènes (photos MICHA).

A: Tank circulaire de reproduction en Thaïlande



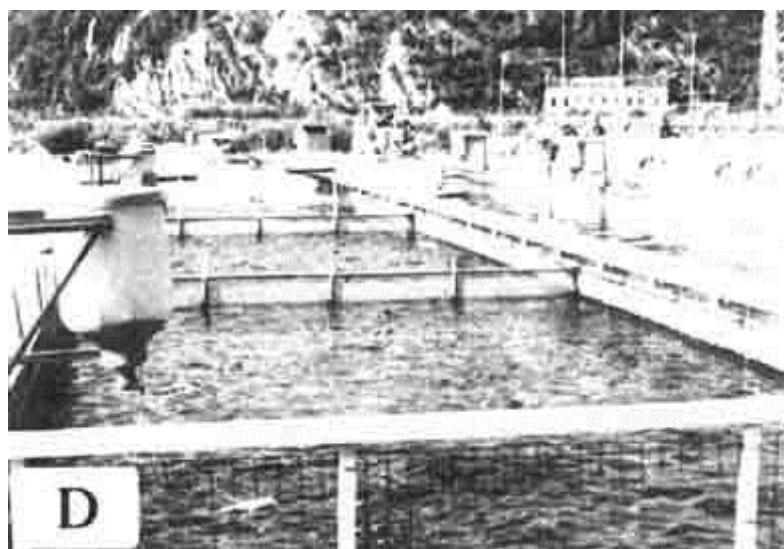
B: Tanks circulaires d'alevinage en Thaïlande



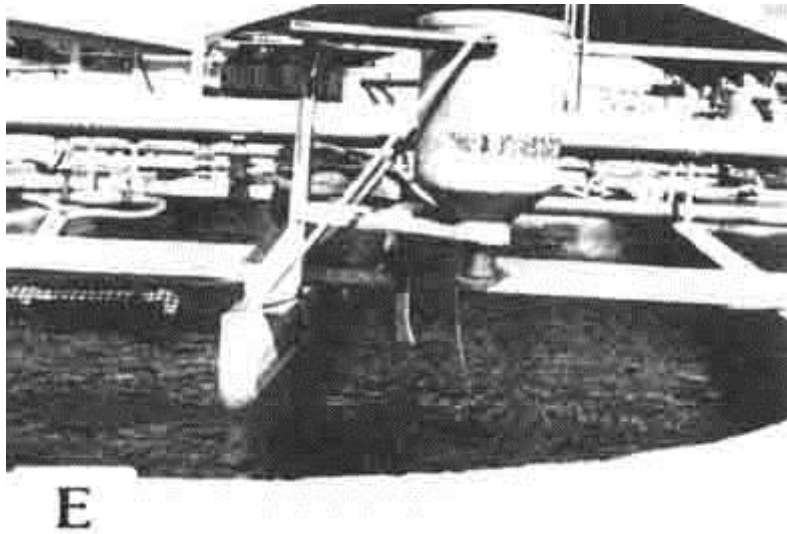
C: Tanks circulaires d'alevinage en Thaïlande



D: Raceways pour alevinage et production à Piscimeuse, en Belgique



E: Raceways pour alevinage et production à Piscimeuse, en Belgique

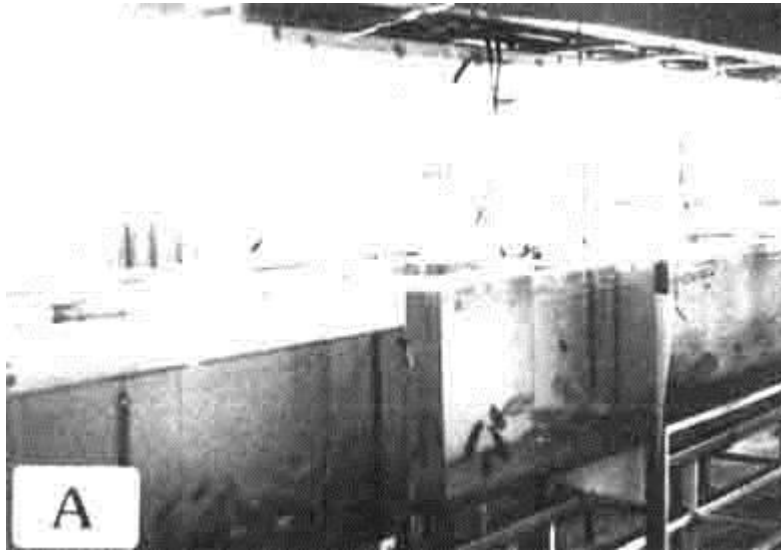


F: Arène "miniature" de reproduction et d'alevinage en Equateur (photo DEHOUSSE)

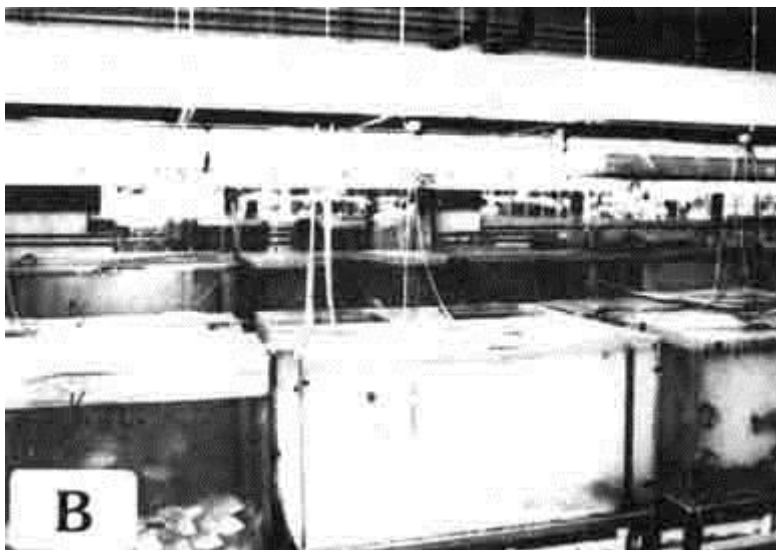


Planche 2.4. Installations d'élevage et d'expérimentation pour *T. nilotica* au Centre de Pisciculture M. Huet de l'U.C.L. à Louvain-la-Neuve (photos MICHA)

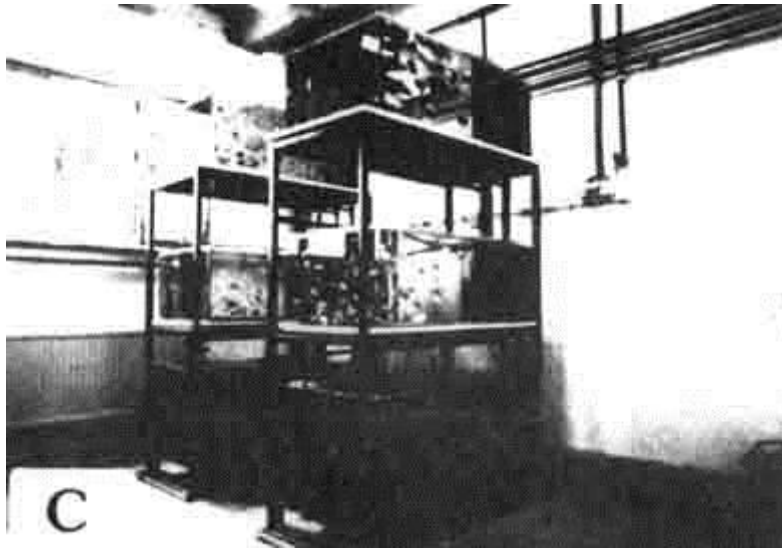
A: Vue générale de la salle des aquariums



B: Aquarium de reproduction avec géniteurs et alevins



C: Batterie indépendante d'aquariums avec filtre biologique (aquarium inférieur)



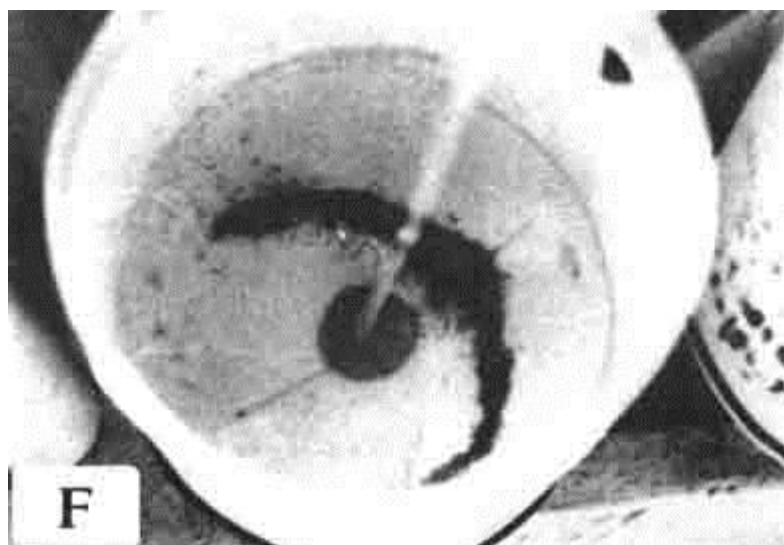
D: Système d'épuration des eaux par filtration bactérienne



E: Incubateurs pour oeufs de tilapias en Thaïlande



F: Incubateurs pour oeufs de tilapias en Thaïlande



Glossaire

| | |
|----------------------|--|
| Alevin | nom donné au jeune poisson depuis la larve jusqu'à un poids de quelques grammes. |
| Androgène | qualifie une glande ou une sécrétion endocrine ou une substance chimique qui détermine l'apparition des caractères mâles. |
| Atrésie folliculaire | phénomène de dégénérescence des cellules folliculaires c'est-à-dire des membranes entourant l'ovocyte durant sa croissance et sa maturation. |
| Biotope | faciès, milieu défini, où vit une espèce. |
| Cycloïde (écaille) | écaille circulaire. |
| Cténoïde (écaille) | écaille pourvue d'aspérités dans sa partie postérieure. |
| Euryèce | se dit des espèces ayant une grande amplitude écologique. |
| Euryhalin | se dit des espèces capables de résister à des changements importants de salinité. |
| Eurytope | se dit des espèces vivant dans des biotopes très différents. |
| Fingerling | alevin ayant atteint la taille d'un doigt (7-10 cm) et un poids de 20 à 30g. |
| Gamétogénèse | procédure de formation des gamètes dans les gonades |
| Génotype | nom donné à la totalité du stock chromosomique caractéristique de l'organisme. La constitution génotypique d'un organisme est l'ensemble de son patrimoine héréditaire. |
| Hybridation | s'emploie actuellement indifféremment pour désigner le croisement entre deux variétés, entre deux races ou entre deux espèces différentes (hybridation proprement dite). |
| Hypolimnion | partie inférieure d'un milieu lentique (lac, étang,...). |
| Isoprotéique | qui contient le même taux de protéines. |
| Larve | nom donné au jeune poisson depuis l'éclosion jusqu'à sa métamorphose (formation des nageoires) |
| Nanisme | phénomène de croissance réduite, empêchant les poissons d'atteindre une taille adulte normale. |
| Néoténie; | mode de reproduction sexuée qui se manifeste chez des organismes n'ayant pas encore atteint leur forme adulte normale. |
| Ontogénèse | développement de l'individu, c'est-à-dire façon dont l'individu se constitue à partir du germe initial. |
| Ovogénèse | formation de l'ovule haploïde mûr et fécondable à partir d'un ovocyte de premier ordre, diploïde, par le processus de la méiose. |
| Phénotype | nom donné à l'ensemble des caractères apparents d'un individu résultant de l'interaction des conditions du milieu et des facteurs génétiques. Deux individus phénotypiquement semblables peuvent ne pas avoir le même génotype et inversement. |
| Somatique | qui concerne le corps. |
| Spermatogénèse | formation des spermatozoïdes à partir des spermatogonies. |
| Stéroïde | se dit de substances dérivées d'un stérol. De nombreuses hormones sexuelles |

(progesterone, testosterone, oestrogènes,...) sont des stéroïdes.
Thermophile se dit de tout organisme qui recherche la chaleur.

ABRÉVIATIONS

F.A.O.: Food and Agriculture Organisation
P.N.U.D.: Programme des Nations Unies pour le Développement
A.D.C.P.: Aquaculture Development Coordination Programme
C.E.R.E.R.: Centre d'Etude et de Recherche des Eaux Résiduelles

Remerciements

Sans les multiples appréciations critiques et pertinentes de Messieurs M. Vincke, J.P. Gosse et A. Coche qui ont passé beaucoup de temps à relire le manuscrit, ce document n'aurait pas atteint le niveau d'application souhaitable. Qu'ils en soient vivement remerciés.

Ce travail, collaboration de différents auteurs, soumis à des avis divers et judicieux, n'a toutefois pas facilité la dactylographie, ni la réalisation des figures. Pour cet accouchement douloureux mais réussi, nous tenons à remercier très sincèrement Madame F. Martens.

Que les multiples personnes qui nous ont fourni documents et informations sur la reproduction et l'alevinage de *Tilapia nilotica* ou qui ont relu notre manuscrit soient assurées de notre reconnaissance. Nous ne pouvons toutes les citer mais nous pensons particulièrement à Madame L. De Backer, Messieurs G. Ducarme, M. Chavez, R.D. Guerrero, Ch. Mélard, P. Vincke, etc.

Bibliographie

ANDERSON J., JACKSON A.J. et MATTY J.A., 1983. Effects of purified carbohydrates and fibre on the growth of the *Oreochromis (Tilapia) niloticus* (Abstr.). In: Fishelson L. et Yaron Z. Eds., The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel, May 8-13, 1983 - Tel Aviv University, 624p.

APPLER H.N. et JAUNCEY K., 1983. The utilisation of a filamentous green alga (*Cladophora glomerata* (L) Kutzin) as a protein source in pelleted feeds for *Sarotherodon (Tilapia) niloticus* fingerlings. *Aquaculture*, 30, 21.

AQUINO L.V. et NIELSEN B.H., 1983. Primary production and growth rate of *Tilapia nilotica* in cages in Sampaloc Lake, Philippines. 453-463. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, The International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel May 8-13, 1983, Tel Aviv University, 624p.

ARAGON, C.T., DE LIM, M.M. et TIOSECO, G.L., 1985. Economies of Tilapia cage culture in Laguna Province, Philippines. In: Smith, Torres et Tan, Eds, Philippines Tilapia economies, ICLARM Conference Proceedings, 12, Manila, Philippines, 66-82.

ARMITAGE A.T.C., BALARIN J.D. et HALLER R.D.; 1987. The design of Tilapia grader for intensive tank Systems. In: "Abstract of paper presented at The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture", 16-20 march 1987, Dept. Fish. Bangkok, Thailand and I.C.L.A.R.M., Manila, Philippines, p 18.

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.

BABIKER M.M. et IBRAHIM H., 1979. Studies on the biology of reproduction in the cichlid *Tilapia nilotica* (L.): gonadal maturation and fecundity. *J. Fish Biol.* 14: 437-448.

BALARIN J.D. et HALLER R.D., 1979. Africa tilapia form shows the profit potential. *Fish Farming Int.*, 6 (2), 16-18.

BALARIN J.D. et HALLER R.D., 1982. The intensive culture of tilapia in tanks, raceways and cages. In: J.F. Muir and Roberts RJ. (Eds), *Récent Advances in Aquaculture*, vol. 1. Croom Helm, London.

BALARIN J.D. et HALLER R.D., 1983. Commercial tank culture of tilapia, 473-483. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, *The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Nazareth, Israel May 8-13, 1983.

BALARIN J.D. et HATTON J.D., 1979. *Tilapia: A guide to their biology and culture in Africa*. Unit of Aquatic Pathobiology, Stirling University, 174 p.

BARD J., LEMASSON J. et LESSENT P., 1971. *Manuel de pisciculture pour l'Afrique tropicale*. Centre Technique Forestier Tropical, Nogent-sur-Marne, France, 143 p.

BARDACH J.E., RYTHER J.H. et McLARNEY W.D., 1972. *Aquaculture: The farming and husbandry of freshwater and marine organisms*. Wiley-Interscience, New York and London, 868 p.

BAUER J., 1968. Vergleichende Untersuchungen zum Kontaktverhalten verschiedener Arten der Gattung *Tilapia* (Cichlidae, Pisces) und ihrer Bastarde. *Zeitschr. f. Tierpsychol.*, 25: 22-70.

BAUTISTA A., 1987. Tilapia hatchery and nursery Systems: Operation and management. In: *Tilapia farming*, Guerrero R.D. III, Guzman D.L., Lantican C.M. (Eds). Proc. First National Symposium and Workshop on Tilapia Farming. PCARRD, BFAR and SEAFDEC Aquaculture Department, Los Banos, Laguna. PCARRD Book Series n° 48, 8-13.

BERRIOS-HERNANDEZ J.M. et SNOW J.R., 1983. Comparison of methods for reducing fry losses to cannibalism in *Tilapia* production. *Prog. Fish Cult.*, 45, 2: 116-118.

BEVERIDGE M.C.M., 1984. Lake-based or land-based tilapia hatcheries. *ICLARM Newsl.*, 7, 1, 10-11.

BEVERIDGE M.C.M., 1987. Cage aquaculture. Fishing News Ltd, Farnham Surrey England, 352 p.

BISHAI, H.M., 1962. Experiments on the suitability of broad beans (*Vicia faba*, L.) as a diet for fish. *Hydrobiologia*, 20, 1, 31-39.

BOYD C.E., 1976. Nitrogen fertilizer effects on production of *Tilapia* in ponds fertilized with phosphorus and potassium. *Aquaculture* 7: 385-390.

BOYD C.E., 1979. Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Auburn University Agricultural Experiment Station, Alabama: 359 p.

BROUSSARD M.C.Jr., REYES R. et RAGUINDIN F., 1983. Evaluation of hatchery management schemes for large scale production of *Oreochromis niloticus* fingerlings in Central Luzon, Philippines: 414-424. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, The First International symposium on *Tilapia* in aquaculture, Nazareth, Israel, May 8 - 13, 1983, Tel Aviv University, 624p.

BURROWS R.E. et CHENOWETH H.H., 1955. Evaluation of three types of fish rearing ponds. USDI Fish and Wildlife Service Research Dept.

CAMPBELL D., 1978a. Formulation des aliments destinés à l'élevage de *Tilapia nilotica* (L.) en cages dans le Lac de Kossou. Côte d'Ivoire, Autorité Aménagement Vallée du Bandama, Centre Dével. Pêches Lac Kosou, Rapp. Techn. 46: 26 p.

CAMPBELL D., 1978b. La technologie de construction des cages d'élevage de *Tilapia nilotica* (L.) dans le Lac de Kossou. Côte d'Ivoire, Autorité Aménagement Vallée du Bandama, Centre Dével. Pêches Lac Kosou, Rapp. Techn. 45: 31 p.

CAMPBELL D., 1985. Large scale cage farming of *Sarotherodon niloticus*. *Aquaculture*, 48, 57-69.

CAVAELLES M., 1981. Production intensive d'alevins de *Sarotherodon niloticus*. C.T.F.T., Div. Rech. Pisc., Bouaké (Côte-d'Ivoire), 18 p.

CHEN, T.P., 1976. Aquaculture practices in Taiwan. Fishing News Books, Farnham, 162p.

CHERVINSKI J., 1982. Environmental physiology of *Tilapia*. In: The biology and culture of *Tilapia*, ICLARM Conf. Proceed., 7, 119-128.

CHIMITS P., 1955. *Tilapia* and its culture: a preliminary bibliography. *FAO Fish. Bull.* 8: 1-33.

CHIMITS P., 1957. The tilapias and their culture. A second review and bibliography. *FAO Fish. Bull.* 10(1): 1-24.

CHOURROUT D. et ITSKOVITCH J., 1983. Three manipulations permitted by artificial insemination in *Tilapia*: induced diploid gynogenesis, production of a triploid population and intergeneric hybridization. *Proceedings of the 1st International Symposium of Tilapia in Aquaculture, Tiberias*: 246-255.

- CLEMENS H.P. et INSLEE T., 1968. The production of unisexual broods by *Tilapia mossambica* sex-reversed with methyltestosterone. Trans. Amer. Fish. Soc. 97: 18-21.
- COCHE, A.G., 1975. L'élevage de poissons en cages et en particulier de *Tilapia nilotica* (L.) dans le lac de Kossou, Côte d'Ivoire. Symposium FAO/CPCA sur l'aquaculture en Afrique, CIFA, 75, SE 13,46p.
- COCHE A.G., 1978. Revue des pratiques d'élevage des poissons en cages dans les eaux continentales. Aquaculture 13: 157-189.
- COCHE A.G., 1979. A review of cage fish culture and its application in Africa. In T.V.R. Pillay and W.A. Dill (Eds) Advances in aquaculture. Fishing News Books Ltd., Farnham, Surrey, England: 428-441.
- COCHE A.G., 1982. Cage culture of tilapias. In: Biology and culture of tilapias. Pullin R.S.V. and Lowe-McConnell R.H. (Eds). ICLARM, Philippines, 205-246.
- CRUZ, E.M. et LAUDENCIA, I.L., 1978. Screening of feedstuffs as ingredients in the rations of Nile tilapia, Kalikasan, Philippines, J. Fish Biol., 7, 159.
- C.T.F.T., 1981. Rapport annuel 1980 de la Division des Recherches Piscicoles. C.T.F.T., Div. Rech. Piscicoles, Bouaké, 9-12.
- DADZIE S., 1970. Preliminary report on induced spawning of *Tilapia aurea*. Bamidgeh, 22, 1: 9-13.
- DAVIS, A.T. et STICKNEY, R.R., 1978. Growth responses of *Tilapia aurea* to dietary protein quality and quantity. Trans. Am. Fish. Soc., 107, 479.
- DE BONT A.F., 1950a. Rapport annuel 1947-1948 de la Station de Recherches Piscicoles. Min. des Colonies, Publ. de la Direction de l'Agriculture et de l'Elevage. Extrait du "Bulletin Agricole du Congo belge", vol XLI, n°2,473-538.
- DE BONT A.F., 1950b. La culture des Tilapias. 321-336, Comptes Rendus de la Conférence Piscicole Anglo-Belge, Elisabethville (Congo belge) 13-18 juin 1949. Publications des Directions de l'Agriculture du Ministère des Colonies et du Gouvernement Général du Congo belge, 355 p.
- DE BONT A.F., 1962. Leçons de pisciculture. Serv. Univ. d'Education Populaire, Léopoldville, 26 p.
- DE KIMPE, P., 1971. Feeds for tilapia and catfish. FAO Aquacult. Bull., 3, 4, 4.
- DENZER H.W., 1967. Studies on the physiology of young *Tilapia*. FAO Fish. Rep., 44 (4), 358-66.
- DON J., KOILLER M., YEHESEKEL O. et AVTALION R.R., 1987. Increased tilapia embryo viability using ultraviolet irradiation in a closed recirculating zuger-bottle System. Aquacultural Engineering, 6, 1: 69-74.

- DUFAYT O., 1988. L'hybridation chez les tilapias du genre *Oreochromis*. 4. Parades et accouplements intra- et interspécifiques. Mémoire de Zoologie, Université Catholique de Louvain: 102 p.
- ESCOVER E.M. et CLAVERIA R.L., 1985. Economies of cage culture in Bicol freshwater lakes. In: Proc. PCARRD/ICLARM Tilapia Economies Workshop, U.P. Los Banos, Laguna, Philippines. August 10-13, 1983. Smith I.R., Torres E.B., Tan E.O.(Eds). ICLARM, Philippines.
- ESCOVER E.M., SALON O.T. et SMITH I.R., 1987. The economies of tilapia fingerling production and marketing in the Philippines. International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Makati, Métro Manila, The Philippines, Aquaculture and Fisheries Management, 18, 1-13.
- FALTER U., 1984. Les modulations du comportement agressif chez *Sarotherodon niloticus* L. (Pisces: Cichlidae). Analyse expérimentale de la variable densité. Thèse de doctorat. Université Catholique de Louvain: 350 p.
- FALTER U., 1986. Fluctuations journalières dans le comportement territorial chez *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cichlidae). Anns. Soc. R. Zool. Belg., 117, 2: 201-219.
- FALTER U., 1987. Description des patrons de coloration chez *Oreochromis niloticus* L. (Teleostei: Cichlidae). Anns. Soc. R. Zool. Belg., 117, 2: 201-219.
- FALTER U. et DE BACKER L., 1988. Density dependent behavioral shift in *Oreochromis niloticus* L. (Pisces: Cichlidae). Proceedings of the Second International Symposium on Tilapia in aquaculture, Bangkok, 599.
- FALTER U. et CHARLIER M., 1989. Mate choice in pure-bred and hybrid females of *Oreochromis niloticus* and *O. mossambicus* based upon visual stimuli (Pisces: Cichlidae). Biology of Behaviour 14, 218-228.
- FALTER U. et DE JAEGER S., 1989. Maternal effect on the territorial aggression of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae). Proceedings of the 4th European Workshop on Cichlid Biology. Ann. Mus. Roy. Afr. Centr. Sc. Zool., 257, 39-42.
- FALTER U. et DOLISY D., 1989. The effect of female sexual pheromones on the behaviour of *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus* and hybrid males (Pisces: Cichlidae). Proceedings of the 4th European Workshop on Cichlid Biology. Ann. Mus. Roy. Afr. Centr. Se. Zool., 257, 35-38.
- FAO, 1989. Aquaculture production (1984-1986). FAO Fisheries Circular, 815, FIDI/C815, 106p.
- FISHELSON, L., 1966. Cichlid fish of the genus *Tilapia* in Israel. Bamidgeh, 18, 67-80.
- FISHELSON, L. et YARON, Z., 1983. The First International Symposium on tilapia in aquaculture, Nazareth, Israel, 8-13 May 1983. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel, 624p.

- FRYER G. et ILES TD., 1972. The cichlid fishes of the great lakes of Africa: Their biology and evolution. Oliver and Boyd, Edinburg, 641 p.
- FUKUSHO, K., 1969. The specific difference of salinity tolerance among cichid fishes, genus *Tilapia* and histological comparaison of their kidneys. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 35, 2, 148-155.
- GEORGE T.T., 1975. Observations on the growth of *Tilapia nilotica* (L) in tropical fish ponds treated with different fertilizers. Proc. FAO/CIFA Symp. on Aquaculture in Africa, Accra, Ghana. CIFA/75/SE.11: 16p.
- GERKING, S.D., 1967. The biological basis of freshwater fish production. Blackwell Scientific Publishers, Oxford et Edingburgh, 495p.
- GOLDSTEIN RJ., 1970. Cichlids. TFH Publications (H-939), 254 p.
- GUERRERO R.D., 1974. The use of synthetic androgens for the production of monosex male *Tilapia aurea* (Steindachner). Auburn University, Alabama: 112p.
- GUERRERO R.D., 1975. Cage culture of male and female *Tilapia mossambica* with and without supplementary feeding in a fertilized pond. CLSU (Cent. Luzon State Univ., Philipp.) Sci J. 9(2): 18-20.
- GUERRERO R.D., 1976. Culture of male *Tilapia mossambica* produced through artificial sex reversal. Proc. FAO Tech. Conf. on Aquaculture, Kyoto, Japan. FAO: AQ./Conf./76/E.15: 3p.
- GUERRERO R.D. III, 1979. Cage culture of tilapia in the Philippines. Asian Aquacult., 2 (11), 6.
- GUERRERO R.D. III, 1980. Studies on the feeding of *Tilapia nilotica* in floating cages. Aquaculture, 20, 169-175.
- GUERRERO, R.D. III, 1985. Tilapia farming in the Philippines. Practices, Problems and Prospects, in: Philippines Tilapia economies (Smith, Torres et Tan, Eds). ICLARM Conferences Proceedings, 12, Manila, Philippines, 3-140
- GUERRERO R.D. III et GARCIA A.M., 1983. Studies on the fry production of *Sarotherodon niloticus* in a lake-based hatchery, 388-393. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel May 8-13,1983, Tel Aviv University, 624p.
- GUERRERO R.D. et GUERRERO L.A., 1984. Commercial fry production of *Tilapia nilotica* using concrete tanks in the Philippines. Paper presented at the Auburn University Aquaculture Symposium, AL, U.S.A., 7 p.
- GUERRERO R.D. et GUERRERO L.A., 1985. Further observations on the fry production of *Oreochromis niloticus* in concrete tanks. Aquaculture, 47, 257-261.
- GUERRERO R.D. et GUERRERO L.A., 1988. Feasibility of commercial production of sex-reversal Nile tilapia fingerlings in the Philippines, 183-186. In: R.S.V. Pullin et al: The

Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.

HALAIN C.F., 1950. Réalisations de la Mission Piscicole au Congo belge, 337-353, in Comptes Rendus de la Conférence Piscicole Anglo-Belge, Elisabethville (Congo belge) 13-18 juin 1949. Publications des Directions de l'Agriculture du Ministère des Colonies et du Gouvernement Général du Congo belge, 355p.

HALLER R.D., 1974. Rehabilitation of a limestone quarry. Report of an environmental experiment. Publication by Bamburi Portland Cement Co. Ltd, Mombasa, Kenya, 32 p.

HALLER R.D. et PARKER I.S.C., 1981. A new tilapia breeding System tested on Kenya farm. Fish. Farm. Int., 8 (1), 14-18.

HANSON, T.R., SMITHERMAN, R.O., SHELTON, W.L. et DUNHAM, R.A., 1983. Growth comparisons of monosex tilapia produced by separation of sexes, hybridization and sex reversal, 570-579. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds. The First International Symposium on tilapia in aquaculture, Nazareth, Israel, May 8-13, Tel Aviv University, 624p.

HASTINGS W.H., 1973. Regional project on research and fisheries development (Cameroon-Central Africa Republic - Gabon - Congo Peoples Rep.). Experience related to die preparation of fish feed and their feeding. Report prepared for the regional project. FAO Project Rep. FAO-FI-DP/RAF-66/054/10: 24p.

HAUSER WJ., 1975. Influence on diet on growth of juvenile *Tilapia zillii*. Progr. Fish Cuit., 37 (1), 33-35.

HEINRICH W., 1968. Untersuchungen zum Sexualverhalten in der Gattung *Tilapia* (Cichlidae, Teleostei) bei Artbastarden. Zeitschr. Tierpsychol. 24: 684-754.

HENDERSON-ARZAPALO A. et STICKNEY R.R., 1980. Immune hypersensitivity in intensively cultured *Tilapia* species. Trans. Amer. Fish. Soc., 109: 244-247.

HEPHER B. et PRUGININ Y., 1982. *Tilapia* Culture in Ponds under Controlled Conditions. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (Eds) The biology and culture of tilapias, ICLARM Conference Proceedings 7, 432p. Int. Center for Living Aquatic Res. Management, Manila, Philippines: 185-203.

HICKLING C.F., 1960. The Malacca *Tilapia* hybrids, J. Genet 57: 1-10.

HICKLING C.F., 1962. Fish culture. Faber and Faber, London.

HICKLING, C.F., 1968. Fish hybridization. FAO Fish. Rep., 44, 1-11.

HIDA T.S., HARADA J.R. et KIND J.E., 1962. Rearing *Tilapia mossambica* for tuna bait. Fish Bull. U.S., 62 (198), 20.

HOERSTGEN-SCHWARK G. et HABITZKY-BIESTER H. - LANGHOLZ H.J., 1987. Artificial versus natural hatching in tilapia. In: "Abstract of paper presented at The Second

- International Symposium on Tilapia in Aquaculture", 16-20 march 1987, Dept. Fish. Bangkok, Thailand and I.C.L.A.R.M., Manila, Philippines, p51.
- HOLL M., 1983. Production d'alevins de *Tilapia nilotica* en station domaniale. Projet PNUD/FAO/IVC/77/003, Développement de la pisciculture en eaux continentales en Côte d'Ivoire. Doc. Tech. n°10, 11 p. (Miméo).
- HORA S.L. et PILLAY T.V.R., 1962. Handbook of fish culture in the Indo-Pacific region. FAO Fish. Biol. Techn. Pap. 14: 204 p.
- HUET M., 1956. Aperçu de la pisciculture en Indonésie. Bull. Agric. Congo Belge, 47, 901-957.
- HUET M., 1957. Dix années de pisciculture au Congo Belge. Ed. Station de Rech. Eaux et Forêts, Série D, n°22, Groenendaal, Bruxelles, 110 p.
- HUET M., 1970. Traité de pisciculture. Ed. Ch. de Wyngaert, Bruxelles, 718 p.
- HUGHES D.G. et BEHREND S.L., 1983. Mass production of *Tilapia nilotica* seed in suspended net enclosure, 394-401. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel May 8-13, 1983, Tel Aviv University, 624p.
- HUGHES, D.G., 1977. Progress report on fisheries development in El Salvador. Int. Cent. Aquacult, Auburn Univ., Auburn, Alabama, Res. and Dev., 15, 16p.
- HUSSENOT J. et LECLERCQ D., 1987. La sursaturation des gaz dissous, un phénomène souvent mal connu en aquaculture. Aqua Revue, n°11: 27-31.
- HUTABARAT J. et JAUNCEY K., 1987. The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of first feeding fry of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). In: "Abstract of paper presented at The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture", 16-20 march 1987, Dept. Fish. Bangkok, Thailand and I.C.L.A.R.M., Manila, Philippines, 68p.
- IBRAHIM, K.H., NOZAWA, T. et LEMA, R., 1974.. Preliminary observations on cage culture of *Tilapia esculenta* (Graham) and *Tilapia zillii* (Gervais) in Lake Victoria waters, at Freshwater Fisheries Institute, Nyegezi, Tanzania. Proc. Symp. on Aquatic Ressources in Eastern and Central Africa, Kampala.
- IDRC/SEAFDEC, 1979. International workshop in pen and cage culture of fish. Seafdec aquaculture department, Tigbauan, Philippines, 164p.
- JACKSON AJ. et CAPPER B.S., 1982. Investigations into the requirements of the tilapia *Sarotherodon mossambicus* for dietary methionine, lysine and arginine in semi-synthetic diets. Aquaculture, 29,289.
- JALABERT B. et ZOHAR Y., 1982. Reproductive physiology in cichlid fishes, with particular reference to *Tilapia* and *Sarotherodon*. In: Pullin R.S.V. and Lowe-McConnell

(Eds), The biology and culture of tilapias. Conference Proceedings 7, International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines, 129-140.

JALABERT, B., MOREAU, J., PLANQUETTE, P. et BILLARD, R., 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. Biochim. Biophys., 14, 729-739.

JAUNCEY, K., 1979. Growth and nutrition of carp in heated effluents. Ph. D. Thesis, University of Aston, Birmingham.

JAUNCEY K. et ROSS B., 1982. A guide to tilapia feeds and feeding. Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland. 111 p.

JAUNCEY K., TACON A.G.J. et JACKSON AJ., 1983. The quantitative essential amino acid requirements of *Oreochromis* (= *Sarotherodon*) *mossambicus*, 328-337. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel 8-13 May 1983,.

JO, J.Y., SMITHERMAN, R.O. et Behrends, L.L., 1988. Effects of dietary 17 α - methyltestosterone on sex reversal and growth of *Oreochromis aureus*. 203-207. In: R.S.V. Pullin et al: The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.

KABATA Z., 1985. Parasites and diseases of fish cultured in the tropics. Taylor and Francis, London and Philadelphia, 318 p.

KIRK, R.G., 1972. A review of recent developments in *Tilapia* culture with special reference to fish farming in the heated effluents of power stations. Aquaculture, 1,1,45-60.

KONIKOFF M., 1975. Nigeria - feasibility of cage culture and other aquaculture schemes at Kainji lake. FAO Publ. FINIR/66/524/18, 10 p.

KUBARYK, J.M., 1980. Effect of diet, feeding schedule and sex on food consumption, growth and retention of protein and energy by tilapia. Ph.D. thesis, Auburn Univ., Auburn, AL.

L'HEUREUX R., 1985. Economic feasibility of fish-culture in Zambia. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, July 1985, 1-65.

LARMOYEUX J.D. et PIPER R.G., 1973. Effects of water reuse on rainbow trout in hatcheries. Prog. Fish Cult., 35 (1), 2-8.

LAUENSTEIN P.C., 1978 a. Intensive culture of tilapia with geothermally heated water. In: Smitherman R.O., Shelton W.L. and Grover J.H. (Eds), Culture of Exotic Fishes, Symp. Proc. Fish Culture Section, American Fisheries Soc., Auburn, Alabama, 82-85.

LAZARD J., 1980. Le développement de la pisciculture intensive en Côte-d'Ivoire: exemple de la ferme piscicole pilote de Natio-Kobadara (Korhogo). Notes et Documents sur la Pêche et la Pisciculture, 21, 1-44.

- LAZARD J., 1984. L'élevage du Tilapia en Afrique. Données techniques sur sa pisciculture en étang. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 206, 1984, 33-50.
- LAZARD J., 1986. La pisciculture: une composante des systèmes de production agricole. Communication présentée au Séminaire "Relations Agriculture Elevage" DSA-CIRAD - Montpellier, 10-13 septembre 1985, Les cahiers de la Recherche - Développement, n° 9-10 Janvier - Avril 1986, 27-34.
- 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. Ph. D. Dissertation, Auburn Univ., Al, USA. 84 p.
- LE ROUX, P.J., 1956. Feeding habits of young of four species of Tilapia. *S. Afr. I. Sci.*, 53 (2), 33-37.
- LIM, C., 1989. Practical feeding - tilapias. In T. Lovell, Ed.; Nutrition and feeding of fish, AVI book, Van Nostrand Reinhold, N-Y, 163-183.
- LIN C.K. et DIANA V.S.; 1987. Fertilisation effects on pond carrying capacity in extensive culture of tilapia (*Oreochromis niloticus*). In: "Abstract of paper presented at The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture", Bangkok, 16-20 march 1987, Dept. Fish. Bangkok, Thailand and I.C.L.A.R.M., Manila, Philippines, p 10.
- LITTLE D. et MUIR J., 1987. A guide to integrated warm water aquaculture. Institute of Aquaculture Publications, University of Stirling, 238 p.
- LOVSHIN L.L., 1977. Survey of the fish culture potential in San Julian and Alto Beni colonization projects of Bolivia. *Int. Centre for Aquacult*, Auburn Univ., Auburn, Alabama, (CSD-2730211d), 27 p., ASFA, 9, 3408.
- LOVSHIN, L.L., 1980. Progress report on fisheries development in northeast Brazil, Res. Dev. Ser. n°26; *Int. Cent. Aquaculture*, Auburn Univ., Auburn, Alabama, USA, 15p.
- LOVSHIN, L.L., 1982. Tilapia hybridization. In: The biology and culture of tilapias. (Pullin et Lowe Me Connell, Eds.). ICLARM Conference proceedings, 7. Manila, Philippines, 279-308.
- LOVSHIN L.L. et IBRAHIM H. H.; 1987. Effects of broodstock exchange on *Tilapia nilotica* egg and fry production in net enclosures, 231-236. In: R.S.V. Pullin et al: The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.
- LOVSHIN L.L., DA SILVA, A.B. et FERNANDES, J.A., 1977. The intensive culture of ail male hybrids of *Tilapia hornorum* (male) and *T. nilotica* (female) in northeast Brazil, *FAO Fish. Rep.* 159, 162.
- LOVSHIN, L.L., SCHWARTZ, N.B., DE CASTILLO, V.G., ENGLE, C.R. et HATCH, U.L., 1986. Cooperatively Managed Rural Panamanian Fish Ponds. The Integrated Approach. Research and Development Series 33, International Center for Aquaculture, Auburn University, Alabama, USA, 47p.

- LOVELL, R.T. et LIMSUWAN, T., 1982. Intestinal synthesis and dietary nonessentiality of vitamin B₁₂ in *Tilapia nilotica*. Trans. Am. Fish. Soc., 111, 485.
- LOWE-McCONNELL, R.H., 1955. The fecundity of *Tilapia* species. East Afr. Agric. J. 21: 45-52.
- LOWE-McCONNELL, R.H., 1982. Tilapia in fish communities. In: Pullin R.S.V. and Lowe-McConnell R.H. Eds: The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings, 7, Manila, Philippines, 83-114.
- LUQUET P., 1985. Projet de développement de l'aquaculture au Niger. Rapport de mission d'appui (alimentation). C.T.F.T., Nogent-sur-Marne, 16p.
- MAAR A., MORTIMER M.A.E. et VAN DER LINGEN I., 1966. Fish culture in Central East Africa. FAO Publ. 53608-66/E, 158 p.
- MACINTOSH, D.J. et DA SILVA, S.S., 1984. The influence of stocking density and food ration on fry survival and growth in *Oreochromis mossambicus* and *O. niloticus* female × *O. aureus* male hybrids reared in a closed circulated System. Aquaculture, 41, 345-354.
- MAGID, A. et BABIKER, M.M., 1975. Oxygen consumption and respiratory behaviour in three Nile fishes. Hydrobiologia, 46, 359-67.
- MAREK, M., 1975. Revision of supplementary feeding tables for pond fish. Bamidgeh, 27 (3), 57-64.
- MARTIN, J.F., 1987. La fertilisation des étangs. 1ère partie. Aquarevue, 11, 35-39.
- MATHAVAN, S.V. et PAUDIAN, T.J., 1976. Food utilization in the fish *Tilapia mossambica* fed on plant and animal foods. Holgolander wiss. Meereswits, 28 (1), 66-70.
- McANDREW, B. J., 1988. Tilapia hatchery Systems, in King H.R. and Ibrahim K.H., (Eds). Village Level Aquaculture Development in Africa. Proceedings of the Commonwealth Consultative Workshop on Village Level Aquaculture Development in Africa. Freetown. Sierra Leone. 14-20 February, 1985. The Commonwealth Secretariat, London, 170p.
- McANDREW, B.J. et MAJUMDAR, K.C., 1989. Growth studies on juvenile tilapia using pure species, hormone-treated and nine interspecific hybrids. Aquaculture and Fisheries Management, 20,35-47.
- MELARD, Ch., 1986. Les bases biologiques de l'élevage intensif du tilapia du Nil. Cahiers d'Ethologie appliquée, Fasc. 3, Vol. 6, 224p.
- MELARD, Ch. et PHILIPPART, J.C., 1981. La production de tilapia de consommation dans les rejets industriels d'eau chaude en Belgique. Cahiers d'Ethologie appliquée, collection Enquêtes et dossiers: 2, vol. 1, suppl. 2, Institut de Zoologie de l'Univ. de Liège, 122 p.
- MELARD, Ch., DUCARME, C., PHILIPPART, J.C. et LASSERRE, 1989. The commercial intensive culture of Tilapia in Belgium. In: Aquaculture: A biotechnology in progress (De Pauw, Ackefors, Jaspers and Wilkins, Eds.), EAS, Bredene, Belgium (sous presse).

- MICHA J.C., 1974. La pisciculture africaine. Espèces actuelles et espèces nouvelles. In: Ruwet: Zoologie et Assistance technique, Ed. FULREAC, Liège, 163-195.
- MICHA J.C., 1975. Quelques données écologiques sur la grenouille africaine *Dicroglossus occipitalis* (Gunther). La Terre et la Vie, Revue d'Ecologie Appliquée, vol. 29, 307-327.
- MICHA J.C., 1981. Aquaculture. Potentialités actuelles et futures en eaux douées. Bull. Fr. Piscic., 284, 178-188.
- MICHA J.C., 1989. Intégration de la pisciculture dans le développement rural. Colloque C.I.U.F. Le petit paysannat dans les pays en voie de développement, 15 octobre 1987 à Bruxelles. Ed. C.I.U.F., (sous-presse).
- MILLER J.W., 1976. Fertilization and feeding practices in warm-water pond fish culture in Africa. CIFA Tech. Paper, 4 (Suppl. 1), 512-541.
- MIRES D., 1973. A hatchery for breeding and forced spawning at Kibbutz Ein-Hamifratz. Bamidgeh, 25: 72-84.
- MIRES D., 1977. Theoretical and practical aspects of the production of all-male *Tilapia* hybrids. Bamidgeh, 29 (3), 94-101.
- MIRES D., 1982. A Study of the Problems of the Mass Production of Hybrid *Tilapia* Fry. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (Eds) The biology and culture of tilapias, ICLARM Conference Proceedings 7, 432p. Int. Center for Living Aquatic Res. Management, Manila, Philippines: 317-329.
- MOREAU J., 1979. Biologie et évolution des peuplements de Cichlides (Pisces) introduits dans les lacs malgaches d'altitude. Thèse de Doctorat d'Etat n°38, Institut Polytechnique de Toulouse, 301 p + annexes.
- MOREAU J., BAMBINO C. et PAULY D., 1986. Indices of overall growth performance of 100 *tilapia* (Cichlidae) populations, 201-206, in J.L. Maclean, L.B. Dizon and L.V. Hosillos (Eds) The First Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines.
- MORGAN P.R., 1972. Causes of mortality in the endemic *Tilapia* of Lake Chilwa (Malawi). Hydrobiologia, 40, 101-119.
- MORIARTY C.D., 1973. The physiology of digestion of blue-green algae in the cichlid fish *Tilapia nilotica*. J. Zool. 171: 25-40.
- MORIARTY C.D. et MORIARTY D.J.W., 1973. Quantitative estimation of the daily ingestion of phytoplankton by *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nripinnis* in Lake George, Uganda. J. Zool. Lond., 171 (1), 15-23.
- NASH C. et MAYO R., 1979. Double-doughnut tanks for carp-rearing. Fish Farming Int., 6 (3), 31.
- NEW, M.B., 1987. Feed and feeding of fish and shrimp. A manual on the preparation and presentation of compound feeds for shrimp and fish in aquaculture. ADCP/REP, 87, 26, 275p.

- NEW, M.B. et SINGHOLKA, S., 1985. Freshwater prawn farming: a manual for the culture of *Macrobrachium rosenbergii*. FAO. Fish. Tech. Pap., 225, Rev. 1, 118p.
- NUSSBAUM M. et CHERVINSKY J., 1968. Artificial incubation of *Tilapia nilotica*. Bamidgeh, 20,4: 120-124.
- OKORIE, O.O., 1975. Environmental constraints to aquaculture development in Africa. FAO/CIFA Symposium on Aquaculture in Africa, Accra, Ghana CIFA/75/SE1.
- OLUKUNDE, C.A., 1982. Partial plant substitution in diets of first feeding stage fry of tilapia, *Oreochromis mossambicus*. MSc. thesis, Univ. of Stirling.
- PAGAN F.A., 1969. Cage culture of Tilapia. FAO Fish Cult. Bull., 2 (1), 6.
- PAGAN F.A., 1970. Cage culture of Tilapia. FAO Fish Cult. Bull., 3 (1), 6.
- PANTASTICO J.B., DANGILAN M.M.A. et EGUIA R.V., 1988. Cannibalism among different sizes of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry/fingerlings and the effect of natural feeding. 465-468. In: R.S.V. Pullin et al: The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.
- PANTASTICO J.B., ESPEGADERA C. et REYES D., 1981. Fry to fingerling production of *Tilapia nilotica* in aquaria using phytoplankton as natural feed. Quaterly Research Report, 5,1: 15-21.
- PANTHA, M.B., 1982. The use of soybean in practical feeds for tilapia (*Oreochromis niloticus*, L.) MSc. thesis, Univ. of Stirling.
- PAPERNA I., VAN AS J.G. et BASSON L., 1983. Review of diseases affecting cultured cichlids. In: Proceeding of the International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Nazareth, Israel 8-13 May 1983 (Fishelson, L. et Yaron, S. Eds), 174-184.
- PARREL P., AU Î. et LAZARD L, 1986. Le développement de l'aquaculture au Niger: Un exemple d'élevage de *Tilapia* en zone sahélienne. Revue Bois et Forêts des Tropiques, 212, 1986,71-94.
- PAULY D., MOREAU J. et PREIN M., 1988. A comparaison of overall growth performance of *Tilapia* in open waters and aquaculture. 469-479. In: R.S.V. Pullin et al: The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.
- PETIT, J., 1980. Considérations biotechniques régissant la culture en étang, en cages ou en bassins des principaux organismes aquatiques. EIFAC Symposium on new developments in utilization of heated effluents and of recirculation Systems for intensive aquaculture. Stavanger, Norway, DOC. R 12.
- PHILIPPART, J.C1. et RUWET, J.C., 1982. Ecology and distribution of tilapias. In: The biology and culture of tilapias (Pullin et Lowe Mc Connell, Eds.). ICLARM Conférence Proceedings, 7, Manila, Philippines, 15-59.

PHILIPPART, J.CL, MELARD, Ch. et RUWET, J.C., 1979. La pisciculture dans les effluents thermiques industriels. Bilan et perspectives d'une année de recherche à la centrale nucléaire de Tihange sur la Meuse. In: L. Calembert (Ed.) Problématique et gestion des eaux intérieures. Ed. Derovaux, Liège, 779-791.

PIPIR, R.G., 1982. Fish hatchery management Washington D.C., US Dept. Int., Fish and Wildlife Service, 517p.

PLANQUETTE, P. et PETEL, C., 1977. Données sur la production en masse d'alevins de *Tilapia nilotica*. Notes et Documents sur la Pêche et la Pisciculture, 14, 1-6.

PLISNIER, P.D., MICHA, J.C1. et FRANK, V., 1988. Biologie et exploitation des poissons du lac Ihema (Bassin de l'Akagera, Rwanda). Presses Universitaires de Namur, Namur, Belgique, 212p.

POPMA, T.J., 1978. Ensayo sobre el crecimiento de *Tilapia rendalli* Boulenger, enjaulada y alimentada con follaje de bore (*Alocasia macrorrhiza*). Cent Piscic. Exp. Inf. Tec. 2: 43-50.

POPMA, T.J., 1982. Digestibility of selected feedstuffs and naturally occurring algae by tilapia. Ph. D. Diss. Auburn Univ., Auburn, A.L.

POPMA, T.J., ROSS, F.E., NERRIE, B.L. et BOWMAN, J.R., 1984. The development of commercial fanning of Tilapia in Jamaica 1979-1983. Research and Development Series 31. International Center for Aquaculture. AID/LA-C-1166. Auburn University, Alabama, USA, 18p.

POWLES H., 1987. Research priorities for african aquaculture. Report of a workshop held in Dakar, Senegal, October 13-16, 1986. I.D.R.C. 1492, Canada, 172 p.

PRUGININ Y. et SHELL E.W., 1962. Separation of the sexes of *Tilapia nilotica* with a mechanical grader. Progr Fish Cult, 24 (1), 37-40.

PRUGININ Y., 1967. Report to the Government of Uganda on the experimental fish culture project in Uganda, 1965-66. FAO/UNDP (Technical Assistance). Reports on Fisheries. FAO, Rome, TA Reports 2446: 19p.

PRUGININ, Y., ROTHBARD, S., WQHLFARTH, G., HALEVY, A., MOAV, R. et HULATA, G., 1975. All-male broods of *Tilapia nilotica* × *T. aurea* hybrids. Aquacultura, 6, 11-21.

PULLIN R.S.V., 1988. Tilapia genetic resources for aquaculture. Proceedings of the Workshop on Tilapia genetic resources for aquaculture 23-24 March 1987. Bangkok, Thailand ICLARM, Manila, Philippines, 108p.

PULLIN, R.S.V. et LOWE Me CONNELL, R.H., 1982. The biology and culture of tilapias. ICLARM Conference Proceedings, 7 Manila, Philippines, 432p.

PULLIN, R.S.V., BHUKASWAN, T., TONGUTHAI, K. et MACLEAN, J.L., Eds., 1988. The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture, ICLARM Conference

- Proceedings 15. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and ICLARM, Manila, Philippines 1976, 623p.
- RADAN R.R., 1979. *Tilapia*: from *nilotica* and *mossambica* to a mutant called flamingo. Greenfields (Philippines) 9(10): 24-40.
- RANA K.J., 1986. An evaluation of two types of containers for artificial incubation of *Oreochromis* eggs. Aquaculture and Fisheries Management 17, 2: 139-145.
- RANA, K.J., 1988. Reproductive biology and the hatchery rearing of *Tilapia* eggs and fry, 343-406. In: J. Muir and R.S. Roberts, Recent Advances in Aquaculture, Vol. 3, Croom Helm, London, 420p.
- RAPPAPORT, A., SARIG, S. et MAREK, M., 1976. Results of tests of various aeration Systems on the oxygen regime in the Genosar experimental ponds and growth of fish there in 1975. Bamidgeh, 28, 3, 35-49.
- RAY L.E. 1978. Production of *Tilapia* in catfish raceways using geothermal water. In: Smitherman R.O., Shelton W.L. and Grover J.H. (Eds), Culture of Exotic Fishes, Symp. Proc. Fish Culture Section, American Fisheries Soc., Auburn, Alabama, 86-89.
- RIFAI S.A., 1980. Control of reproduction of *Tilapia nilotica* using cage culture. Aquaculture, 20, 177-185.
- ROBERTS R.J. et SOMMERVILLE C., 1982. Diseases of tilapias. In: Biology and culture of tilapias. R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (Eds). ICLARM Conf. Proc., vol. 7, International Center for Living Aquatic Resource Management, Manila, Philippines. 247-264.
- ROBERTS R.J., 1978. Fish Pathology. Ed. Baillière Tindall, London: 318 p.
- ROTHBARD S., 1979. Observations on the reproductive behavior of *Tilapia zillii* and several *Sarotherodon* spp. under aquarium conditions. Bamidgeh, 31, 2: 35-43.
- ROTHBARD S. et HULATA, 1980. Closed System incubator for Cichlid eggs. Progr. Fish Cult. 42: 203-204.
- ROTHBARD S. et PRUGUNIN Y., 1975. Induced spawning and artificial incubation of *Tilapia*. Aquaculture, 5: 315-321.
- ROTHBARD S., SOLNIK E., SHABBATH S., AMADO R. et GRABIE I., 1983. The technology of mass production of hormonally sex-inversed ail-male tilapias, 425-434. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, The First International Symposium on *Tilapia* in Aquaculture, Nazareth, Israel May 8-13, 1983, Tel Aviv University, 624p.
- RUWET J.C., VOSS J., HANON L. et MICHA J.C., 1975. Biologie et élevage des Tilapias. Symposium FAO/CPCA sur l'aquaculture en Afrique, Accra, Ghana, 30 septembre au 6 octobre 1975, 27 p.

- SANTIAGO C.S., 1981. Effects of varying dietary crude protein levels on growth and spawning frequency of *T. nilotica* breeders. AOD. SEAFDEC. Ann. Rep., 30 p.
- SARIG S., 1967. A review of diseases and parasites of fishes in warm water ponds in the Near East and Africa. FAO Fish Cult. Bull., 44 (5),278-89 (II/R-2).
- SARIG S., 1969. Winter storage of Tilapia. FAO Fish Cult. Bull., 2 (2), 8-9.
- SARIG S.et MAREK M., 1974. Result of intensive and semi-intensive fish breeding techniques in Israel in 1971-1973. Bamidgeh, 26 (2), 28-48, ASFA, 5, 3218.
- SCHMIDT, G., 1984. L'élevage du tilapia. T.F.A.O. 50p.
- SCHMITTOU H.R., 1969. Cage culture of channel catfish. Proc. Fish Farming Conf. Annu. Conv. Catfish Farmers, Tex., 72-75.
- SCHROEDER G.L., 1980. Fish farming in manure-loaded ponds. In Integrated Agriculture-Aquaculture Farming Systems. International Center for Living Aquatic Resources Management (ICLARM), Proceeding 4, Manila, Philippines: 73-86.
- SEAFDEC 1981. Tilapia fry rearing in cages. Asian Aquaculture, 4 (3), 3, 6-7.
- SEAFDEC 1983. Tilapia cage farming: A new enterprise for small fishermen. Asian Aquacult., 5 (3), 1, 3.
- SEYMOUR E.A., 1980. The effects and control of algal blooms in fish ponds. Aquaculture 19: 55-74.
- SHAW E.S. et ARONSON L.R., 1954. Oral incubation of *Tilapia macrocephala*. Bull. Am. Mus. Nat. Hist., 103,5.: 378-415.
- SHELL E.W., 1967. 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.
- SHELTON W.L. HOPKINS K.D. et JENSEN G.L., 1978. Use of hormones to produce monosex Tilapia for aquaculture. In: Smithennan R.O., Shelton W.L. and Grover J.H. (Eds), Culture of Exotic Fishes. Symp. Proc. Fish Culture Section, American Fisheries Soc., Auburn, Alabama, 10-33.
- SILVERA, P.A.W., 1978. Factors affecting fry production in *Sarotherodon niloticus* (L.), M. Se. thesis, Auburn University, Auburn, Alabama, 1.
- SILVERMAN H., 1978a. The effects of visual social stimulation upon age at first spawning in the mouth- breeding Cichlid fish *Sarotherodon* (*Tilapia*) *mossambicus* (Peters) (Pisces: Cichlidae). Anim. Behav., 26: 1120-1125.
- SILVERMAN H., 1978b. 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., 1978e. Changes in male courting frequency in pairs of the Cichlid fish, *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* with unlimited or with only visual contact. *Behav. Biol.*, 23: 189-196.

SIPE, 1981. Contrôle de reproduction de Tilapia: Palmetto, Florida, 48p.

SIRAJ S.S., SMITHERMAN R.O., CASTILLO-GALLUSER S. et DUNHAM R.A., 1983. Reproductive traits for three year classes of *Tilapia nilotica* and maternal effects on their progeny. *Abstr. Proc. Intl. Symp. Tilapia. Tiberias, Israel.*

SITASIT D. et SITASIT V., 1977. Comparaison of the production of *Tilapia nilotica* (Linn.) fed with protein from different sources. In: Indo-Pacific Fisheries Council, Proc. 17th session, Colombo, Sri Lanka 27 Oct.-5 Nov. 1976: Section 3-Symp. on Dev. and Util. of Inld. Fish. Res. FAO Regional Office for Asia and the Far East, Bangkok, Thailand: 400-3, ASFA, 9, 1594.

SMITH, I.R., TORRES, E.B. et TAN, E.O., 1985. Philippine tilapia economies. *ICLARM Conference Proceedings*, 12, Manila, Philippines, 261p.

SMITHERMAN R.O. et TAVE D., 1987. Maintenance of genetic quality in cultured tilapia. *Asian Fisheries Science*, 1, 75-82.

SNOW J.R., BERRIOS-HERNANDEZ J.M. et YE H.Y., 1983. A modular System for producing tilapia seed using simple facilities, 402-413. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, *The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Nazareth, Israel May 8-13, 1983, Tel Aviv University, 624p.

STICKNEY R.R., 1976. Cellulase activity in the stomachs of freshwater fishes from Texas. *Proc. S.E. Assoc. Game and Fish Comm.*, 26, 282.

STICKNEY R.R., 1979. *Principles of Warmwater Aquaculture*. John Wiley and Sons, New York: 375 p.

STICKNEY R.R., 1986. *Culture of Nonsalmonid Freshwater Fishes*. R.R. Stickney (ed.), CRC Press, Boca Raton, Florida, 201 p.

STREET D.R., 1978. The socio-economic impact of fisheries programs in El Salvador. *Int. Cent. Aquaculture, Auburn Univ., Alabama, Res. Dev. Ser. No. 17: 14 p.*

SUWANASART P., 1972. Effects of feeding, mesh size and stocking size on the growth of *Tilapia aurea* in cages. *Annu. Rep. Int. Conf. Aquaculture, Auburn University, Auburn, Alabama. 71-79.*

TACON A.G.J., JAUNCEY K., FALAYE A., PANTHA M., MCGOWAN I. et STAFFORD E.A., 1983. The use of meat and bone meal, hydroysed feathermeal in practical fry and fingerling diets for *Oreochromis niloticus*, 356-365. In: Fishelson, L. et Yaron, S. Eds, *The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Nazareth, Israel May 8-13, 1983, Tel Aviv University, 624p.

- TAKECHI, T., SATOH, S. et WATANABE, W., 1983a. Dietary lipids suitable for practical feed of *Tilapia nilotica*. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 49, 9, 1361-1365.
- TAKECHI, T., SATOH, S. et WATANABE, W., 1983b. Requirements of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 49, 7, 1127-1134.
- TANG Y.A., 1970. Evaluation of balance between fishes and available fish foods in multispecies fish culture ponds in Taiwan. Trans. Am. Fish. Soc. 99: 708-718.
- TESHIMA S. et KANAZAWA A.; 1988. Nutritive value of methionine-enriched soybean plasteins for *Tilapia nilotica* fingerlings, 393-399. In: R.S.V. Pullin et al: The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.
- THEREZIEN Y., 1968. Etude sur la reproduction à Madagascar de couples de différentes espèces de *Tilapia*. Centre Tech. Forestier Tropical, Tananarive, Madagascar, 140-147.
- THYS VAN DEN AUDENAERDE, D.F.E., 1964. Révision systématique des espèces congolaises du genre *Tilapia*, (Pisces: Cichlidae). Ann. Mus. Rép. Afr. Centr. Ser. 8. Sci. Zool. 124: 1-155.
- TILKIN, C., 1988. Introgression dans le sous-genre *Oreochromis* (Pisces, Cichlidae). Croissance des descendances des hybrides de première génération croisés avec les espèces parentales *O. niloticus* (L.) et *O. macrochir* (Bigr.). Mémoire d'Agronomie, Université Catholique de Louvain.
- TREWAVAS E., 1965. *Tilapia aurea* (Steindachner) and the status of *Tilapia nilotica exul*, *T. monodi* and *T. lemassoni* (Pisces, Cichlidae). 1st. I. Zool., 14: 258-276.
- TREWAVAS, E., 1980. *Tilapia* and *Sarotherodon*? Buntbarsche Bull. 81, 1-6.
- TREWAVAS, E., 1981. Addendum to "*Tilapia* ma *Sarotherodon* T. Buntbarsche Bull. 87, 12p.
- TREWAVAS, E., 1981. Nomenclature of *Tilapia* of Southern Africa. J. Limnol. Soc. Sth. Afr. 7(1), 42p.
- TREWAVAS, E., 1983. Tilapiine Fishes of the Genera *Sarotherodon* *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum Nat. Hist., 583p.
- UCHIDA R.N. et KING J.E., 1962. Tank culture of *Tilapia*. US Fish Wildl. Serv., Fish. Bull., 62,21-52.
- USUI, A., 1974. Eel culture. Fishing News, London, 186p.
- VALENTI R.J., 1975. Induced polyploidy in *Tilapia aurea* (Steindachner) by means of temperature shock treatment. J. Fish Biol., 7: 519-528.

- VAN DER LINGEN, M.L., 1959. Some preliminary remarks on stocking rate and production of tilapia species at the Fisheries Research Centre. In: Proc. 1st Fisheries Day in Southern Rhodesia, August 1957. Government Printer, Salisbury: 54-62.
- VINCKE P. et PHILIPPART J.C., 1984. Mission d'évaluation de la pisciculture en République Populaire du Bénin. Université de Liège, Centre de Coopération au Développement (CECOBEL), 132 p annexes.
- VINCKE P., 1985. La pisciculture de *Tilapia nilotica* (= *Sarotherodon niloticus*) dans les eaux continentales de Côte d'Ivoire. *Tropicultura*, 1985, 3, 3, 93-103.
- VINCKE, M.M.J., 1987. Productive System to village aquaculture in Africa, 114-124. In: Research priorities for african aquaculture, H. Powles Ed., I.D.R.C. - M.D.R. 1492, Canada, 172p.
- WAHSBY S.D., 1974. Fertilizing fish ponds. I. Chemistry of the waters. *Aquaculture* 3: 245-259.
- WEE K.L. et TUAN N.A.; 1988. The effect of dietary protein levels on growth and reproduction of nile tilapia, 401-410. In: R.S.V. Pullin et al: The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.
- WELCOMME R.L., 1967. Observations on the biology of the introduced species of Tilapia in Lake Victoria. *Rev. Zool. Bot. Afr.*, 76, 249-79.
- WELCOMME R.L. (comp.), 1988. International introductions of inland aquatic species. FAO Fish Techn. Rep. (294): 318 p.
- WESTERS H. et PRATT K.M., 1977. Rational design of hatcheries for intensive Salmonid culture, based on metabolic characteristics. *Prog. Fish Cult.*, 36 (2), 86-9.
- WINFREE, R.A. et STICKNEY, R.R., 1981. Effect of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. I. *Nutr.* 111, 6, 1001-1012.
- WRIGHT N.A. et KENMUIR D.H.S., 1981. The economies of fish culture: A survey of costs associated with Tilapia (*Sarotheron mossambicus*) production. *Zimbabwe agric. J.*, vol 78 (4), 151-165.
- YAMADA R., 1986. Pond Production Systems: Feeds and Feeding Practices in Warmwater Fish Ponds. In: Principles and Practices of Pond Aquaculture, Lannan J.E., Smitherman R.O. and Tchobanoglous G. (Eds), Oregon State University Press, Corvallis, Oregon: 111-139.
- YAMAMOTO, T., 1953. Artificial induction of functional sex-reversal in *Sarotherodon niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture* 14: 349-354.
- YAMAMOTO, T., 1958. Artificial induction of sex-reversal in genotypic females of the medaka (*Oryzias latipes*) *J. Exp. Zool.* 137: 227-260.
- YAMAMOTO, T., 1959. Sex-differentiation. In W.S. Hoar and D.J. Randall (Eds) *Fish Physiology*, Vol. III, Academic Press, New York: 117-175.

YATER, L.R. et SMITH, I.R., 1985. Economies of private hatcheries in Laguna and Rizal Provinces, Philippines. In: Philippine Tilapia Economies, Smith. Torres et Tan, Eds.. ICLARM Conference Proceedings, 12, Manila, Philippines, 261p.