

Rapport de

**L'ATELIER PILOTE SUR L'APPLICATION DE LA BIOTÉLÉMÉTRIE
À L'ÉTUDE DES POISSONS POUR LA GESTION DES PÊCHES
CONTINENTALES EN AFRIQUE DE L'OUEST**

Sélingué, Mali, 29 janvier – 10 février 2001



Institut de recherche pour le développement



Office pour le développement rural de Sélingué



Institut d'économie rurale du Mali



Organisation
des
Nations
Unies
pour
l'alimentation
et
l'agriculture

Les commandes de publications de la FAO peuvent être adressées au:
Groupe des ventes et de la commercialisation
Division de l'information
FAO
Viale delle Terme di Caracalla
00100 Rome, Italie
Mél.: publications-sales@fao.org
Télécopie: +39 06 570 53360

Rapport de

L'ATELIER PILOTE SUR L'APPLICATION DE LA BIOTÉLÉMÉTRIE À L'ÉTUDE DES POISSONS
POUR LA GESTION DES PÊCHES CONTINENTALES EN AFRIQUE DE L'OUEST

Sélingué, Mali, 29 janvier – 10 février 2001

organisé par

L'Institut de recherche pour le développement (IRD)

L'Institut d'économie rurale (IER) du Mali

L'Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS)

avec l'appui de l'Université de Liège et de la FAO

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

ISBN 92-5-204641-0

Tous droits réservés. Les informations ci-après peuvent être reproduites ou diffusées à des fins éducatives et non commerciales sans autorisation préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source des informations soit clairement indiquée. Ces informations ne peuvent toutefois pas être reproduites pour la revente ou d'autres fins commerciales sans l'autorisation écrite du détenteur des droits d'auteur. Les demandes d'autorisation devront être adressées au Chef du Service des publications et du multimédia, Division de l'information, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie ou, par courrier électronique, à copyright@fao.org

© FAO 2001

PRÉPARATION DE CE DOCUMENT

Ceci est le rapport de l'Atelier pilote sur l'application de la biotélémetrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest, qui s'est tenu à Sélingué, Mali, du 29 janvier au 10 février 2001. Etienne Baras, Chercheur qualifié du FNRS attaché à l'Université de Liège, Vincent Bénech, Chercheur ichtyologue de l'IRD à Bamako, et Gerd Marmulla, Spécialiste des ressources halieutiques du Département des pêches de la FAO, ont collaboré à la mise en forme de ce rapport.

Nous tenons à remercier l'Institut d'économie rurale malien (IER) et l'Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS) d'avoir co-organisé et abrité cet atelier. Nous remercions aussi les entreprises ATS Advanced Telemetry Systems Inc., AVM Instrument Company Ltd., et Star-Oddi pour leur appui très apprécié, comprenant également un don de matériel.

Distribution:

Tous les Membres et membres associés de la FAO
Participants à l'Atelier pilote
Autres pays et organisations nationales et internationales intéressés
Département des pêches de la FAO
Spécialistes des pêches des Bureaux régionaux de la FAO

FAO.

Rapport de l'Atelier pilote sur l'application de la biotélémétrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest. Sélingué, Mali, 29 janvier – 10 février 2001.

FAO Rapport sur les pêches. No. 654. Rome, FAO. 2001. 34p.

RÉSUMÉ

L'Atelier pilote sur l'application de la biotélémétrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest s'est tenu dans les locaux de l'Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS) à Sélingué, Mali, du 29 janvier au 10 février 2001. L'atelier a été organisé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD, France) et notamment par son centre de Bamako en coopération avec l'Institut d'économie rurale malien (IER) et l'Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS), ainsi qu'avec l'appui de l'Université de Liège (Belgique) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Les participants venaient du Bénin, du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, de la Guinée et du Mali. L'objectif de cet atelier était de faire mieux connaître et de diffuser la biotélémétrie, outil très utile à l'obtention d'informations plus précises et indispensables à une meilleure gestion durable des ressources aquatiques.

Les aspects abordés en théorie comprenaient le fonctionnement des récepteurs, des antennes et des marques physiques actives (émetteurs de biotélémétrie et marques archives), l'anesthésie des poissons, la fixation des marques télémétriques, les effets du marquage sur le comportement et la physiologie, la rétention des émetteurs, les principes de base de propagation des signaux radio et acoustiques, le positionnement de la source d'émission, ainsi que la cartographie, et les bases mathématiques y afférent.

Les travaux pratiques et les travaux dirigés ciblaient l'anesthésie et le marquage, le fonctionnement des stations réceptrices et la recherche d'émetteurs, l'utilisation d'émetteurs de biotélémétrie, une étude test destinée à familiariser les participants aux différentes méthodes de positionnement, de balisage et de cartographie, ainsi que l'utilisation de marques archives.

Un séminaire, préalable à la définition des projets par les participants, passait en revue les différentes méthodes applicables à l'étude du comportement des poissons en milieu naturel, en insistant sur leurs spécificités et complémentarités par rapport à l'outil biotélémétrie.

Tous les participants ont présenté, et puis affiné, leur proposition de projet qu'ils avaient préparée avant l'atelier et qui constituait un élément essentiel lors de la sélection des candidats.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	1
OUVERTURE DE L'ATELIER	1
STRUCTURE D'ACCUEIL À SÉLINGUÉ.....	3
ASPECTS THÉORIQUES DE LA BIOTÉLÉMÉTRIE.....	3
Marquage des poissons.....	4
Détection des signaux de biotélémétrie	5
Localisation des émetteurs, positionnement des poissons dans l'habitat.....	6
CHOIX DE MÉTHODES D'ÉTUDE ALTERNATIVES ET COMPLÉMENTAIRES,	
DÉFINITION DE PROJETS	7
TRAVAUX PRATIQUES ET TRAVAUX DIRIGÉS	7
Anesthésie et marquage	8
Fonctionnement des stations réceptrices et recherche d'émetteurs	8
Utilisation d'émetteurs de biotélémétrie.....	8
Étude test	9
Utilisation de marques archives (data storage tags : DST).....	10
ANNEXE 1: Liste des participants.....	11
ANNEXE 2: Prospectus	13
ANNEXE 3: Agenda	15
ANNEXE 4: Discours d'inauguration: Application de la biotélémétrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest (G. Marmulla, FAO).....	17
ANNEXE 5: Table des matières du Manuel de biotélémétrie aquatique.....	19
ANNEXE 6: Polygone de la mare de Sélinguéné	24
ANNEXE 7: Les moyens et le matériel mis en œuvre lors de l'atelier.....	25
SECTION PHOTOS.....	28

AVANT-PROPOS

1. La biotélémétrie – mesure à distance de variables biologiques – est un outil crucial pour l’obtention rapide d’informations sur la biologie des poissons en milieu naturel, ainsi que l’atteste le nombre croissant d’études et de monitoring utilisant ces techniques en Europe et en Amérique du Nord. Son application aux espèces de poissons dulçaquicoles tropicaux est nettement plus réduite, essentiellement en raison d’une méconnaissance des potentialités de cet outil et de l’absence de formation spécialisée en la matière. Dès les premières discussions en 1997 entre Vincent Bénech (IRD) et Gerd Marmulla (FAO) a germé l’idée d’une dissémination d’informations sur la biotélémétrie aquatique à l’intention des chercheurs ichtyologues et gestionnaires de pêcheries en régions tropicales. Cette idée a été relayée à la communauté des biotélémétristes européens lors d’une communication présentée pendant la troisième Fish Telemetry Conference à Norwich en juin 1999, et qui s’est prolongée par un mini-atelier auquel ont participé E. Baras (ULg, Belgique), V. Bénech (IRD, France), M. Gerlier (Association Saumon Rhin, France), T.G. Heggberget (NINA-Trondheim), G. Marmulla (FAO) et V. Thorsteinsson (HAFRO, Islande). Au cours de ce mini-atelier a été évoquée la nécessité de relayer l’information sur la biotélémétrie de façon plus détaillée et concrète, joignant la théorie à la pratique dans le cadre d’une formation plus structurée.

2. Ainsi naissait l’idée de cet atelier-pilote de biotélémétrie aquatique appliquée à la gestion des pêcheries en régions tropicales. L’importance des pêcheries continentales en Afrique de l’Ouest et l’expérience de l’IRD en matière d’ichtyologie tropicale et de radiopistage de poissons dans cette région, offraient les critères d’intérêt halieutique et de logistique indispensable à l’organisation de cet atelier-pilote. Le bassin du Fleuve Niger, et plus particulièrement la partie malienne du bassin, se présentait donc comme un hôte idéal. Les contacts IRD-ODRS-IER ont permis de concrétiser davantage cette idée en proposant le site de Sélingué, un des principaux lacs de retenue et sites halieutiques du Mali comme hôte de l’atelier, choix d’autant plus judicieux que le site offrait toutes les facilités pour l’organisation de conférences, la réalisation d’expériences sur des poissons de pisciculture et l’hébergement des participants.

3. À la suite de ces contacts et au cours de la visite de G. Marmulla au Mali en mars 2000, la structure prévisionnelle de l’atelier se précisait, et fut structurée, en termes scientifiques, logistiques et budgétaires lors de la réunion du 19 avril 2000 au siège de l’IRD à Paris, entre E. Baras, V. Bénech et G. Marmulla. Au cours des mois qui suivirent, des contacts informels étaient pris avec des participants potentiels à l’atelier, tandis que chaque organisateur œuvrait à la préparation des tâches lui incombant. La dernière réunion de coordination s’est tenue à la Station d’Aquaculture de l’Université de Liège à Tihange en novembre 2000, réunion au cours de laquelle a émergé l’utilité de rendre accessible aux participants, de façon plus structurée et surtout plus permanente, l’information dispensée au cours de l’atelier. Cette idée s’est concrétisée par un manuel de biotélémétrie aquatique, rédigé en langue française pour ce premier atelier. Trois ans de gestation et dix mois de préparation intensive pour cet atelier-pilote dont ce rapport se fait l’écho.

OUVERTURE DE L’ATELIER

4. L’atelier pilote sur l’application de la biotélémétrie à l’étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l’Ouest s’est tenu dans les locaux de l’Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS) à Sélingué, Mali, du 29 janvier au

10 février 2001. L'atelier a été organisé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD, France), et notamment par son centre de Bamako en coopération avec l'Institut d'économie rurale malien (IER) et l'Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS), ainsi qu'avec l'appui de l'Université de Liège (Belgique) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La liste des personnes ressources et des participants venus du Bénin, du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, de la Guinée et du Mali est donnée dans l'Annexe 1. Le prospectus et l'agenda de l'atelier sont donnés dans les Annexes 2 et 3.

5. La cérémonie d'ouverture de l'atelier pilote a eu lieu dans les locaux du centre IRD de Bamako le 29 janvier 2001 en présence des représentants de l'IER, de l'ODRS, de la DNAER¹, de l'Université de Liège et de la FAO. Le président de la session d'ouverture, Monsieur le professeur J. Brunet-Jailly, Représentant de l'IRD au Mali, a souhaité la bienvenue aux représentants des organisations partenaires ainsi qu'aux encadrants de l'IRD et aux participants venus de cinq pays de l'Afrique de l'Ouest. Monsieur Brunet-Jailly a mentionné dans son discours d'accueil la longue tradition de l'IRD au Mali et a passé en revue les aspects les plus importants de ce partenariat scientifique. Plus particulièrement, dans le cadre de cet atelier, il a souligné l'importance de la coopération avec les partenaires maliens, notamment l'IER et l'ODRS, ainsi qu'avec les organisations internationales comme la FAO avant de souhaiter le meilleur succès possible à l'atelier.

6. Par la suite, le représentant de l'IER, Monsieur N'Diaye, a souhaité à son tour la bienvenue aux participants et aux personnalités présentes. Après avoir parlé de la restructuration de son Institut, Monsieur N'Diaye a décrit les seize différents programmes de recherche de l'IER et a souligné la grande importance de l'atelier pour l'IER, qui est impliqué dans la gestion de la pêche par son Programme de ressources halieutiques (PRH).

7. Le Dr Vincent Bénech, Chercheur ichtyologue de l'IRD à Bamako, a présenté ensuite un résumé des études, en coopération avec l'IER, sur le comportement migrateur des poissons-chats *Clarias anguillaris* dans le Delta intérieur du fleuve Niger. Cette étude représentait la première application de l'outil radiotélémetrie au Mali, en l'occurrence pour obtenir une information bio-écologique non accessible par les moyens d'investigation classiques dans la vaste plaine d'inondation du fleuve Niger.

8. Monsieur Gerd Marmulla, Spécialiste des ressources halieutiques du Département des pêches du siège de la FAO de Rome, a remercié l'Institut d'économie rurale et l'ODRS d'avoir bien voulu abriter cet atelier (Annexe 4). Il remercia également l'Institut de recherche pour le développement pour l'organisation efficace de cet atelier et la mise à disposition de ressources humaines et matérielles considérables. M. Marmulla a mentionné que l'objectif de cet atelier était de faire mieux connaître et de diffuser la biotélémetrie, outil très utile à l'obtention d'informations plus précises, indispensables à une meilleure gestion durable des ressources aquatiques. Il se déclara très heureux que le Mali ait proposé d'accueillir cet atelier car la pêche continentale est d'une grande importance pour ce pays, où 80 – 130.000 t de poissons sont pêchées par an, et, par ailleurs, le Mali a déjà acquis une certaine expérience en matière de radiotélémetrie, comme cela a été présenté dans l'exposé du Dr Bénech.

9. L'importance générale de la biotélémetrie, ainsi que l'objectif et l'agenda de l'atelier, furent présentés par le Dr Etienne Baras, Chercheur qualifié du FNRS attaché à l'Université

¹ Direction nationale de l'aménagement et équipement rural

de Liège. L'utilisation efficace de l'outil biotélémétrie repose en effet sur la maîtrise de composantes de nature biologique, physique et mathématique, inhérentes au marquage des poissons, à leur comportement, à la propagation des ondes radio et acoustiques en milieu aquatique, et à l'analyse statistique des informations en vue de recommandations pour la gestion des pêcheries. Le Dr Baras mentionna que ces éléments clés, dont la maîtrise conditionne le succès de projets de recherche, allaient être analysés en détail au cours de l'atelier, dans le cadre de séminaires et de séances de travaux pratiques, permettant aux participants de structurer des projets d'études impliquant l'utilisation de l'outil biotélémétrie.

10. L'ouverture de l'atelier fut suivie d'une collation sous la paillote dans le jardin de l'IRD. La photo 1 montre les stagiaires, l'encadrement et les personnalités ayant assisté à la cérémonie d'ouverture de l'Atelier-pilote au centre IRD de Bamako. Le transfert à Sélingué s'est effectué en minibus dans l'après-midi. Le soir même, une première table ronde a permis aux participants et aux principales personnes-ressources (Messieurs Etienne Baras, Vincent Bénech, André Mahieux, Gerd Marmulla et Jean Raffray) d'expliquer brièvement leur parcours et leur motivation pour participer à l'atelier.

STRUCTURE D'ACCUEIL À SÉLINGUÉ

11. L'Office pour le développement rural de Sélingué a mis à disposition pour la durée de l'atelier sa salle de conférence située dans la cité administrative de Kangaré, ainsi que des locaux aménagés en laboratoire, des étangs et des bassins situés à la pisciculture au pied du barrage. La salle de conférence a été aménagée par l'équipe des encadrants pour organiser les séances sur les aspects théoriques et pour servir d'atelier informatique. L'atelier y disposait de quatre ordinateurs de bureau et de trois ordinateurs portables. Les discussions des aspects théoriques ainsi que les séances sur ordinateurs se déroulaient à la salle de conférence. Les travaux pratiques concernant le marquage des poissons, les contrôles de comportement post-opératoire et l'utilisation du matériel de biotélémétrie se déroulaient principalement sur le site de la pisciculture de l'ODRS. Le suivi des comportements de poissons équipés d'émetteurs en milieu naturel était réalisé dans le cadre d'une étude test de la mare de Sélinguéni, en rive gauche du fleuve Sankarani, en aval du barrage de Sélingué.

12. Le deuxième jour de l'atelier, M. Hinna Haïdara, Directeur général adjoint de l'ODRS basé à Sélingué, eut la gentillesse de présenter la structure de l'Office pour le développement rural de Sélingué et ses missions en termes de gestion du lac. Il mentionna l'importance multiple du Lac de Sélingué pour l'économie de la région, i.e. la production de l'électricité, l'irrigation, la pêche et l'amélioration de la navigabilité du fleuve Niger. Il fit remarquer qu'avec 4 000 t de poissons produites par an, le lac occupait la deuxième place après le Delta intérieur du Niger, dans la production de poissons au Mali. Les chiffres socio-économiques présentés soulignaient l'importance de la pêche pour les moyens d'existence durables de la population rurale de Sélingué.

ASPECTS THÉORIQUES DE LA BIOTÉLÉMÉTRIE

13. Les aspects abordés en théorie comprenaient le fonctionnement des récepteurs, des antennes et des marques physiques actives (émetteurs de biotélémétrie et marques archives), l'anesthésie des poissons, la fixation des marques télémétriques, les effets du marquage sur le comportement et la physiologie, la rétention des émetteurs, les principes de base de propagation des signaux radio et acoustiques, le positionnement de la source d'émission, ainsi que la cartographie, et les bases mathématiques y afférent. Dans le cadre de ce rapport, seules

sont reprises les grandes lignes de chacun de ces aspects. Une description plus exhaustive est disponible dans un manuel d'environ 160 pages, élaboré pendant la phase préparatoire de l'atelier (E. Baras, V. Bénech et G. Marmulla) et distribué à tous les participants au moment de l'accueil. La table des matières du syllabus se trouve dans l'Annexe 5 du présent rapport.

Marquage des poissons

14. Le premier séminaire ciblait plus particulièrement les techniques de marquage télémétrique, applicables pour la mise en place d'émetteurs de biotélémétrie ou de marques archives. Les émetteurs de biotélémétrie contiennent une source d'énergie et transmettent sur une longueur d'onde précise un signal pulsé susceptible de renseigner l'observateur sur la position de l'animal. L'adjonction d'un circuit couplé à un senseur permet de moduler le rythme de pulsation et informe l'observateur quant à la valeur de la variable mesurée (profondeur, température, activité). Les marques archives, quant à elles, ne transmettent pas de signal, mais enregistrent dans une mémoire interne les valeurs mesurées, qui ne pourront être obtenues et décodées qu'après la recapture de l'animal. La photo 2 montre des marques biotélémétriques.

15. La fixation des émetteurs de biotélémétrie ou des marques archives peut être réalisée par attachement externe, insertion intragastrique, insertion intrapéritonéale par intervention chirurgicale ou encore par insertion intrapéritonéale par le gonoducte. Chaque méthode de fixation présente des inconvénients et avantages intrinsèques, environnementaux ou spécifiques, qu'il convient de prendre en compte dans la définition d'une étude. L'insertion intragastrique est la méthode la moins perturbatrice, mais peut affecter le comportement d'alimentation. La fixation externe est généralement adéquate à court terme, mais problématique à long terme surtout dans les eaux courantes. L'insertion intrapéritonéale par intervention chirurgicale (photo 3) est nettement plus perturbatrice à court terme, puisqu'elle requiert une opération, mais une fois la cicatrisation de la paroi abdominale terminée, elle représente la méthode la plus sécurisante, tant pour le succès de l'étude que pour la santé du poisson. L'insertion dans la cavité péritonéale par la voie du gonoducte est seulement possible chez quelques espèces. En raison de l'augmentation de la durée de vie des émetteurs de télémétrie et des marques archives, l'insertion intrapéritonéale est devenue la méthode de fixation la plus fréquemment utilisée. Le succès ou l'échec de cette méthode est souvent intimement conditionné par l'adoption de mesures prophylactiques et thérapeutiques appropriées, de choix du site d'incision sur la base de critères histopathologiques et de modes de fermeture d'incision (suture, adhésifs cyanoacrylates, agrafes) tenant compte de la dynamique de cicatrisation chez les espèces concernées. Ces différents aspects ont été testés sur une vaste gamme d'espèces de poissons des régions tempérées et tropicales. Les photos 4 et 5 visualisent un tilapia marqué.

16. Le second séminaire a permis de passer en revue les biais liés au marquage, y compris les problèmes de rejet ou de perte des marques. Dans le cas des fixations externes, les principales raisons de cette perte précoce et involontaire sont la précarité des nœuds de fixation ou les coupures de la musculature dorsale occasionnées par les filaments de fixation, surtout en rivière à faciès lotique. Chez les poissons marqués à l'aide de marques intrastomacales, le rejet par péristaltisme ou par régurgitation peut se produire. L'apparition du rejet et le délai d'expulsion varient considérablement en fonction de l'espèce et de la taille relative de la marque. L'expulsion des marques peut aussi se produire chez les poissons où la marque a été implantée dans la cavité péritonéale, soit via l'incision ou une zone intacte de la

paroi abdominale, soit via l'intestin chez certaines espèces. Les différentes techniques et procédures permettant de minimiser la probabilité de rejet ont été analysées.

17. Au plan des effets des marques sur la physiologie et le comportement des poissons, il a été réitéré qu'il était indispensable de tenir compte des spécificités des espèces étudiées, notamment au plan des caractéristiques de la vessie natatoire (espèces physostomes et physoclistes). Les biais spécifiques aux méthodes de fixation externe, intrastomacale et intrapéritonéale ont également été discutés en soulignant le risque de transposition de conclusions d'une espèce à l'autre, et la nécessité de réalisation d'études de faisabilité chez des espèces pour lesquelles aucune information n'est disponible.

Détection des signaux de biotélémetrie

18. Deux séminaires ont été consacrés aux spécificités des ondes radio et acoustiques, en termes de propagation dans le milieu aquatique, avec pour objectif principal de donner aux participants les bases de calcul nécessaires à la définition de la faisabilité d'une étude et de la stratégie à adopter.

19. Les ondes radio (30-170 MHz) se propagent omnidirectionnellement dans le milieu aquatique, mais seuls les vecteurs d'onde formant un angle de moins de 6° avec la perpendiculaire à l'interface eau-air peuvent traverser cette interface, se propager dans l'air et être détectés par une antenne aérienne couplée à une station réceptrice. Le signal ne peut être perçu que si l'accumulation des atténuations au cours de la propagation du signal ne réduit pas le rapport signal/bruit en deçà du seuil de sensibilité du récepteur. Les différents facteurs d'atténuation (propagation dans l'eau, à l'interface eau-air, dans l'air, dans l'antenne réceptrice et dans le câblage) ont été passés en revue. Cette revue inclut les équations permettant de modéliser l'atténuation en fonction de caractéristiques environnementales (profondeur, conductivité, fréquence d'émission, ...). La principale limitation pour la propagation des ondes radio est la profondeur d'émission, l'atténuation du signal étant d'autant plus forte que la conductivité de l'eau est élevée. Grâce à ces bases mathématiques, il était désormais possible aux participants de calculer la puissance minimale des émetteurs requis pour réaliser une étude dans tel ou tel milieu, ou d'adapter la stratégie de pistage aux émetteurs et aux conditions environnementales. Une séance d'exercices a permis aux participants de mettre en pratique ces connaissances sur la propagation des ondes radio pour la définition de projets d'étude.

20. En ce qui concerne le choix des bandes de fréquences lors de la planification d'un projet comprenant une étude par radiotélémetrie, il est vivement recommandé d'étudier soigneusement les possibilités existantes de fréquences. Bien sûr, tout d'abord on doit s'informer des bandes attribuées par la législation du pays (ou des pays) dans lequel (lesquels) se déroulera le projet.

21. Le second séminaire sur la propagation était consacré aux ondes acoustiques (30-80 kHz). En télémetrie acoustique, la fréquence d'émission est inversement proportionnelle au diamètre du transducteur piézo-électrique, de telle sorte que le marquage de petits poissons ne peut se faire qu'avec des émetteurs opérant sur des fréquences élevées, lesquelles subissent davantage d'atténuations lors de leur propagation en milieu aquatique. La vitesse de propagation du son varie en fonction de la salinité et de la température. Toute interface entre milieux à vitesses de propagation différentes occasionne une réflexion et une réfraction des signaux, de telle sorte que thermocline, halocline et végétation représentent des barrières

quasi imperméables à la propagation des ondes acoustiques. C'est également pour cette raison que les signaux acoustiques doivent impérativement être détectés par un hydrophone immergé. Comme pour les ondes radio, les facteurs d'atténuation des ondes acoustiques ont été passés en revue et modélisés en fonction des conditions environnementales. Cette modélisation mathématique permettait aux participants au cours d'une séance d'exercices de déterminer la faisabilité d'études par biotélémetrie acoustique dans des environnements particuliers.

Localisation des émetteurs, positionnement des poissons dans l'habitat

22. Le séminaire suivant était consacré à la problématique du positionnement de la source d'émission du signal par un opérateur. À cet effet, les diagrammes de réception d'antennes et hydrophones directionnels et omnidirectionnels ont été passés en revue et comparés aux puissances de réception associées. Les performances intrinsèques des systèmes directionnels, en termes d'angle d'ouverture et de gain de réception, ont été analysées en fonction du contexte de l'étude par biotélémetrie, aussi bien dans le cadre de stations automatiques d'écoute passive que de pistage en bateau ou en véhicule. Une séance d'exercices pratiques a ensuite permis aux participants de déterminer objectivement plusieurs éléments clés de la stratégie d'étude, en l'occurrence : le type d'antenne (dipôle, boucle, H-Adcock, Yagi) le plus adapté en fonction de l'environnement, le nombre de fréquences pouvant être scannées par une station réceptrice et la vitesse de progression d'une équipe motorisée sans risque de non-détection du signal. Dans l'éventualité où les conditions environnementales sont trop contraignantes pour l'une des variables considérées, des alternatives techniques ont été envisagées, plus particulièrement les stations réceptrices couplées à des multiplexeurs d'antennes et l'utilisation d'émetteurs codés opérant sur une même fréquence porteuse.

23. La précision du positionnement par triangulation à partir d'antennes directionnelles a ensuite été considérée, dans l'optique d'obtenir des localisations aussi précises que possibles en optimisant les paramétrages de distances et d'angles relatifs des pointages des observateurs vis-à-vis de l'émetteur. En fonction du contexte de l'étude, le positionnement peut s'opérer à partir de repères dont les coordonnées sont connues (e.g. balises) ou de points précis dont les coordonnées sont déterminées *in situ* (e.g. GPS). Des logiciels utilitaires, développés spécifiquement pour des applications de radio-pistage, ont été illustrés, et leurs principes mathématiques détaillés, en vue de leur application dans les séances de travaux pratiques. Des alternatives ont été considérées pour le positionnement d'émetteurs mixtes (radio et acoustiques) et d'émetteurs acoustiques par des arènes d'hydrophones omnidirectionnels, permettant de localiser la position de l'émetteur en fonction des moments d'arrivée du signal aux différents hydrophones (principe inverse de la navigation hyperbolique). La combinaison des précisions angulaire, métrique et temporelle permet à l'opérateur de déterminer les dimensions du polygone d'erreur cernant la localisation réelle de l'émetteur, cet élément étant crucial pour la détermination de la stratégie de récoltes de données de cartographie et d'habitat.

24. Les données de position sont localisées sur carte d'habitat, en coordonnées cartésiennes. Le domaine vital ou l'aire d'activités journalières est ensuite calculé, par polygone convexe, par fonction normale bivariée (ellipse de confiance à N%) ou par grilles à mailles carrées. Le choix des méthodes est dicté par la précision des localisations et par la structure de la base de données (contrainte de binormalité pour les ellipses). Il est également crucial, dans le cadre de cette analyse, que chaque donnée de position ait la même représentativité dans le temps, et donc que les données soient récoltées à intervalle régulier.

Le choix de l'intervalle est fonction de la biologie de l'espèce étudiée et de la logistique de l'étude. En pratique, il est recommandé de se baser sur des localisations quotidiennes, complétées par des cycles de 24 heures, où l'activité du poisson est décrite aussi fréquemment que possible. Une fois cette base de données disponible, il est possible, par sous-échantillonnage, de déterminer l'ampleur de la perte d'information résultant de l'augmentation du laps de temps entre pointages successifs, de comparer celle-ci aux budgets nécessaires à la réalisation des études sur base de localisations plus ou moins fréquentes, et de définir ainsi un rationale pour un projet. Cette procédure peut également être appliquée à la récolte de données au cours d'un cycle journalier. Elle constitue également une base particulièrement utile pour la programmation de marques archives, d'émetteurs de biotélémetrie et de stations automatiques d'enregistrement, dans le sens où elle permet d'optimiser la durée de vie de la marque par rapport à la fréquence utile de collecte d'informations.

Les photos 6 et 7 montrent des équipes de stagiaires en action de détection de signaux.

CHOIX DE MÉTHODES D'ÉTUDE ALTERNATIVES ET COMPLÉMENTAIRES, DÉFINITION DE PROJETS

25. Au cours des séminaires précédents, les participants ont pu appréhender les avantages, degrés de performance et limitations des outils de biotélémetrie dans le cadre de la gestion des pêcheries continentales. Dans plusieurs cas de figures, essentiellement lorsque la taille des poissons est insuffisante, la biotélémetrie ne peut être appliquée. Dans d'autres cas, elle ne peut, à elle seule, apporter les réponses à l'ensemble des questions soulevées par un projet d'étude, mais permet de faciliter grandement l'application d'autres outils d'étude et de mesure. L'objectif de ce séminaire, préalable à la définition des projets par les participants, était de passer en revue les différentes méthodes applicables à l'étude du comportement des poissons en milieu naturel, en insistant sur leurs spécificités et complémentarités par rapport à l'outil biotélémetrie:

- hydroacoustique, compteurs à résistivité
- marques génétiques et chimiques intrinsèques (tissus squelettiques)
- marques passives externes
- marques passives internes
- transpondeurs

26. Cet inventaire était clôturé par une liste de questions types, devant permettre aux participants d'opérer des choix judicieux dans les méthodes d'étude devant être mises en œuvre au cours de différents types de projets, et illustré par des cas concrets de projets où la biotélémetrie avait été utilisée, comme méthode principale ou secondaire, pour l'étude de la biologie des poissons et de leurs relations avec l'environnement. Dans l'exposé de ces projets étaient également repris les démarches expérimentales et les critères de choix des méthodes de marquage et de suivi.

TRAVAUX PRATIQUES ET TRAVAUX DIRIGÉS

27. L'organisation des travaux pratiques et travaux dirigés au cours de l'atelier est décrite suivant un ordre logique. En pratique, plusieurs répétitions ont été organisées afin de permettre aux participants d'améliorer leur savoir-faire dans les domaines requérant davantage de pratique. La liste chronologique des différents travaux est reprise dans l'agenda (Annexe 3).

Anesthésie et marquage

28. La première séance de travaux pratiques a permis aux participants de réaliser des points de suture sur une plaque de polystyrène (photo 8) pour bien comprendre le processus de fermeture d'une incision. Ensuite les participants ont pratiqué l'anesthésie et la chirurgie abdominale chez des poissons cichlidés (tilapias) et clariidés (poisson-chat *Clarias gariepinus*) stockés à la station de pisciculture de l'ODRS. Les deux groupes d'espèces ont été choisis en fonction de leur représentativité dans les pêcheries en Afrique Occidentale. Cette opération a été répétée au cours de l'atelier, afin que les participants acquièrent la maîtrise nécessaire à la réalisation d'implantations d'émetteurs de biotélémetrie et puissent tester différentes tailles de poissons et matériels de marquage (fil de suture, aiguilles de différents types). Les poissons marqués ont été relâchés dans un étang alimenté en continu par l'eau du barrage de Sélingué.

29. Avaient été également relâchés dans cet étang des poissons (*Tilapia*, *Clarias* et *Auchenoglanis* sp.) préalablement marqués par le personnel d'encadrement et équipés de marques archives et d'émetteurs de biotélémetrie dont les signaux étaient enregistrés par une station d'écoute passive installée dans l'enceinte de la pisciculture. Pendant une semaine, la température de l'eau en surface et en profondeur, de même que la luminosité à la surface de l'eau furent enregistrées toutes les 5 minutes par des « data loggers ». L'objectif premier de cette opération était de permettre aux participants de comparer différentes méthodes de mesures biotéléométriques (émetteurs radio vs. marques archives) et de comparer informations biologiques et environnementales lors de travaux dirigés (cf. chapitre « Utilisation d'émetteurs de biotélémetrie »).

30. Au cours de la seconde semaine de l'atelier, l'étang a été vidangé, et les poissons marqués ont été contrôlés, permettant aux participants d'évaluer objectivement la qualité du marquage pratiqué et les progrès qu'ils devaient encore réaliser avant l'application de la méthode de marquage dans le cadre d'un projet d'étude.

Fonctionnement des stations réceptrices et recherche d'émetteurs

31. Le fonctionnement et l'utilisation des stations réceptrices ont été récapitulés et illustrés avec différents modèles de récepteurs et d'antennes (boucle, Yagi, M-Yagi) opérant sur des fréquences porteuses différentes (49 et 151 MHz). Afin de familiariser les participants avec la recherche d'émetteurs tant à longue distance qu'à très faible distance, deux séances de « chasse au renard » (i.e. recherche d'émetteurs disséminés ; photo 9) ont été organisées à la périphérie du lac de Sélingué et dans le domaine de la pisciculture de l'ODRS. Les participants ont ainsi pu apprécier leurs progrès d'une séance à l'autre et être confrontés en pratique à différentes situations susceptibles d'être rencontrées dans le cadre de projets d'étude, tant pour la localisation de poissons vivants que pour la récupération d'émetteurs de poissons capturés par les pêcheurs ou par des prédateurs.

Utilisation d'émetteurs de biotélémetrie

32. Les participants ont été amenés à utiliser trois types principaux d'émetteurs de biotélémetrie, mesurant la température, la profondeur et l'activité du poisson. Pour chaque type d'émetteur, ils ont réalisé une calibration, consistant en la détermination des variations de l'intervalle d'impulsion du signal en fonction de la variable mesurée. La calibration de la profondeur a été réalisée dans le lac de barrage de Sélingué (0-18m) et celle de la température

à partir de mélanges d'eaux de différentes températures (15-32°C). Pour les émetteurs à activité, une calibration a été réalisée à partir d'émetteurs statiques et actifs pour la détermination des rythmes minimum et maximum de pulsation, et des mesures complémentaires ont été réalisées sur des poissons opérés maintenus en captivité en aquarium, pour l'identification des mouvements minimum déclenchant le passage à un rythme de pulsation rapide. Les courbes de calibration ont ensuite été analysées sur ordinateur, pour la détermination des relations de régression linéaire devant servir à l'interprétation des résultats récoltés par une station automatique d'écoute passive.

33. Une station automatique d'enregistrement de signaux, consistant en un récepteur ATS Challenger 2100, un ordinateur DCC II et une antenne boucle (photo 10), a été programmée pour enregistrer les signaux des poissons stockés dans l'étang de l'ODRS pendant un cycle de 24h, à raison de 30 secondes d'enregistrement continu par poisson toutes les cinq minutes. Au terme de l'enregistrement, les participants ont eu l'opportunité de décharger la station, de tester l'adéquation des réglages initiaux au plan du gain de réception et du rejet de parasites, et d'analyser les informations collectées en comparaison avec celles qui sont recueillies par les marques archives et les « data loggers » mesurant la température en surface et en profondeur.

34. Ces différentes étapes ont permis aux participants de mieux se rendre compte du haut degré de performance des stations automatiques d'écoute passive, mais également de la nécessité d'une programmation minutieuse du gain de réception sous peine d'intégrer dans leurs bases de données des informations biaisées, susceptibles de modifier l'interprétation des données biologiques.

Étude test

35. Une étude test, impliquant l'ensemble du personnel d'encadrement et des participants, a été réalisée en grandeur nature dans la mare de Sélinguény. Destinée à familiariser les participants aux différentes méthodes de positionnement, de balisage et de cartographie, cette étude a consisté en :

- Le marquage de trois poissons d'espèces différentes (*Bagrus bajad*, *Clarias gariepinus* et *Tilapia zillii*) avec des émetteurs de biotélémetrie de type activité-inactivité, et leur lâcher dans la mare en début d'atelier.
- Le balisage de la mare et la détermination de la position relative des balises par trois méthodes alternatives (niveau de géomètre, GPS et coordonnées polaires successives par combinaison de boussole et de pentadécamètre; polygone de la mare de Sélinguény en Annexe 6).
- La réalisation de transects de bathymétrie.
- La comparaison, sur ordinateur, de la précision des trois méthodes de balisage.
- Le positionnement des poissons et la mesure de leur rythme d'activité au cours d'un cycle d'étude de 6 heures, à raison d'une localisation par poisson et d'une mesure d'activités pendant 30 secondes toutes les 10 minutes.
- La mesure en continu (i.e. 30 secondes d'enregistrement toutes les minutes) du rythme d'activité d'un des trois poissons (*Clarias*) par station automatique.
- La détermination, sur ordinateur, des positions des poissons pistés.
- La comparaison entre les informations recueillies par station automatique et par les opérateurs, permettant de déterminer la représentativité des échantillons récoltés toutes les 10 minutes par rapport aux mesures en continu.

36. La combinaison de ces différentes opérations a permis aux participants de mettre en pratique différents points essentiels de l'enseignement théorique, et de les intégrer dans une séquence logique, indispensable à la réalisation d'un programme structuré.

Utilisation de marques archives (data storage tags : DST)

37. Dès le début de l'atelier, des marques archives (DST 200 et DST 300, Star-Oddi) avaient été fixées dorsalement à trois poissons (*Tilapia*, *Clarias* et *Auchenoglanis* sp.) relâchés ensuite dans l'étang de l'ODRS. Toutes les marques mesuraient, à une minute d'intervalle, la profondeur d'immersion et la température ambiante dans l'habitat occupé par le poisson. La marque équipant le poisson-chat *Clarias gariepinus* mesurait en sus l'orientation du poisson par rapport à l'horizontale, la différence entre mesures successives permettant de dégager un indice d'activité.

38. Lors de la vidange de l'étang, les participants ont pu comparer les effets, sur la santé du poisson, de la méthode de fixation dorsale utilisée pour les marques archives (photo 11) à ceux de la méthode d'insertion intrapéritonéale utilisée pour l'implantation d'émetteurs de biotélémetrie (photo 12) sur les mêmes individus – marques archives et émetteurs étant de poids comparable. Les participants ont ensuite pu assister aux différentes étapes de la procédure de retrait des informations contenues dans les marques archives (découpage des marques [photo 13], extraction de la mémoire interne, décharge sur ordinateur [photo 14]) et commencer à analyser les informations biologiques, en comparaison avec les informations environnementales fournies par les « data loggers », et les données de biotélémetrie collectées par la station automatique.

39. Cette analyse des données récoltées par les différents systèmes télémétriques a permis aux participants de comparer le degré de performance des différents systèmes en termes de précision, de sécurité et de garantie de récupération, éléments indispensables à la structuration d'un projet d'étude.

ANNEXE 1

Liste des participants

BÉNIN

M. Antoine CHIKOU
Labo d'Hydrobiologie et d'Aquaculture
Université Nationale du Bénin à Cotonou
01 BP 526
Cotonou

BURKINA FASO

M. Sana BOUDA
BP 2937 Bobo Dioulasso
projet.peche@fasonet.bf
sanabouda@yahoo.fr

M. Aboubacar TOGUYENI
Institut du Développement Rural
Univ. Polytechnique de Bobo
01 BP 1091
Bobo Dioulasso 01
Tél. & Fax (226) 97 37 49
toguyeni@univ-ouaga.bf

CÔTE D'IVOIRE

M. Kouassi Sebastino DA COSTA
CNRA, Station de Pisciculture
01 B.P. 633
BOUAKE 01

M. Tidiani KONE
Université de Cocody,
Labo d'Hydrobiologie
22 B.P. 582
Abidjan 22
Tél. : (225) 05 70 19 62
hydrobio@ci.refer.org

GUINÉE

M. Moussa Elimane DIOP
OMS/OCP - Kankan
Tél. & Fax (224) 71 02 78

MALI

M. Soumana ALHOUSSEINI
Institut Supérieur de Formation et de
Recherche Appliquée
B.P. E475
Bamako
Tél. & Fax : (223) 21 04 66
soumana@ird.ml

M. Alassane TOURE
IER
B.P. 205
Mopti
Tél. : (223) 43 00 28/03 57/00 51
Moussa.Kane@ier.ml

M. Harouna TRAORE
ODRS
B.P. 03
Bamako
Tél. : (223) 65 02 57/22 54 03

IRD

M. Vincent BENECH
IRD
BP 2528
Bamako, Mali
benech@ird.ml

M. Harber DICKO
IRD
BP 2528
Bamako, Mali

M. André MAHIEUX
IRD
BP 2528
Bamako, Mali
mahieux@ird.ml

M. Jean RAFFRAY
IRD, Dakar, Sénégal
raffray@ird.sn

M. Moussa SACKO
IRD
Sélingué, Mali

M. Bekaye TOGOLA
IRD
BP 2528
Bamako, Mali

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

M. Etienne BARAS
Chercheur Qualifié du FNRS
CEFRA-ULg
10 Chemin de la Justice
B - 4500 Tihange
Tél. : + 32 85 27 41 56
Fax : + 32 85 23 05 92
E.Baras@ulg.ac.be

FAO

M. Gerd MARMULLA
Spécialiste des ressources halieutiques
Département des pêches
Viale delle Terme di Caracalla
00100 Rome, Italie
Tel. : + 39 06 5705 2944
Fax : + 39 06 5705 3020
Gerd.Marmulla@fao.org

ANNEXE 2

Prospectus

Application de la biotélémetrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest

Atelier pilote à Sélingué (Mali), 28 janvier -10 février 2001

Les ressources aquatiques marines et dulçaquicoles, et plus particulièrement les poissons, font l'objet depuis des centaines d'années d'exploitations par les pêcheries continentales, et plus particulièrement dans les régions intertropicales, où la consommation de poissons peut atteindre 500 g par habitant et par jour. L'accroissement spectaculaire de la population humaine dans les régions intertropicales s'est accompagné d'une intensification croissante de pêche, et de modifications de plus en plus marquées de l'environnement, en termes de pollution chimique ou organique, ou de modification de l'hydrologie suite à l'érection de barrages, essentiellement à vocation hydroélectrique. Ces modifications sont compréhensibles et utiles au développement économique des régions intertropicales, cependant elles ont interféré avec les processus écologiques, et plus particulièrement avec les exigences des poissons en termes d'habitat et de migrations. Celles-ci ont eu ou vont avoir un impact sur les pêcheries continentales et l'alimentation, sans compter les conséquences au plan de la biodiversité des espèces non exploitées. Ce constat objectif indique la nécessité et l'urgence de collecter des informations précises quant à l'écologie et au comportement des poissons, en environnement naturel comme en environnement modifié. Ces informations sont indispensables à une gestion intégrée des ressources naturelles combinant la préservation de la biodiversité, la gestion efficiente des pêcheries et le maintien durable des activités et de la condition de vie.

Parmi les techniques et méthodologies applicables, la biotélémetrie revêt un intérêt tout particulier grâce à la précision des informations récoltées et à la vitesse de récolte. Le terme de biotélémetrie regroupe un ensemble d'outils et de méthodologies (radio-pistage et pistage acoustique) permettant de collecter des informations sur la bio-écologie des poissons (domaine vital, utilisation de l'habitat, migrations saisonnières et journalières). Ces informations, qui sont cruciales pour la compréhension de la biologie des poissons, la préservation de leur biodiversité et la gestion des pêches continentales, sont plus difficilement accessibles par les techniques et méthodes conventionnelles d'observation et d'échantillonnage, dont l'efficacité varie en fonction des conditions environnementales.

Près de 1500 études reposant sur les techniques de biotélémetrie ont été réalisées en Europe, Amérique du Nord, Australie et Asie orientale. En comparaison, le nombre total d'études en milieu dulçaquicole tropical reste désespérément faible, en dépit de l'importance des pêcheries continentales et des conditions environnementales relativement favorables à la réalisation de telles études. La relative rareté de ces études, en dépit de l'intérêt évident qu'elles peuvent susciter, et des informations cruciales qu'elles peuvent apporter, provient de la méconnaissance de ces technologies, de leur réputation d'être onéreuses et surtout complexes, d'autant plus complexes que les formations scientifiques et techniques permettant de les démystifier sont rares ou inexistantes. Dans l'optique d'un développement durable, il est donc impératif de mettre à la disposition des chercheurs des régions tropicales et d'autres pays en

développement en exprimant le besoin, ces techniques et les connaissances théoriques et pratiques permettant d'en faire le meilleur usage.

Ces fonctions d'éducation, d'aide à la recherche, à la gestion et au développement sont celles visées par cet atelier pilote, qui sera organisé à Sélingué, Mali du 28 janvier au 10 février 2001. L'atelier est destiné à huit stagiaires, ressortissants des pays d'Afrique francophone et motivés dans la réalisation, à court ou moyen terme, de programmes de recherches visant à optimiser la gestion des ressources aquatiques continentales, et ne pouvant être menés à bien sans la maîtrise de "l'outil télémétrie".

Le Mali, pays d'accueil de ce stage pilote, est très concerné par l'exploitation des ressources piscicoles qui, avec plus de 100.000 tonnes par an, représentent un des principaux revenus du pays. La Direction de l'Institut d'économie rurale (IER) du Mali a accepté de prendre en charge la coordination de l'accueil du stage en collaboration avec l'Office du développement rural de Sélingué (ODRS). La Direction de l'ODRS a offert la mise à disposition de ses infrastructures locales à Sélingué. L'IRD, l'ULg et la FAO contribuent, en termes de ressources financières et humaines, à l'organisation de cet atelier-pilote. Celui-ci alternera aspects théoriques et pratiques, depuis la conception des projets jusqu'au traitement de l'information et à la formulation des recommandations en matière d'élaboration de programmes de recherches appliqués à la gestion des ressources (cf. Agenda).

Au terme de l'atelier, le suivi des projets des stagiaires par les organisateurs favorisera le rayonnement de ces activités et permettra de maintenir un contact fructueux entre partenaires. L'atelier et les activités qui en découleront directement ou indirectement, pourraient être prolongés par un atelier-débat lors du "4th Conference on Fish Telemetry in Europe" où seraient débattus les avantages de la formule et les problèmes éventuels rencontrés lors de l'atelier-pilote. A terme, il est envisageable de renouveler ce type d'atelier dans d'autres régions du monde elles aussi désireuses de bénéficier de ce type de formation (Asie, Amérique latine, Afrique anglophone, Europe de l'Est).

ANNEXE 3

Agenda

Dimanche 28 janvier 2001

Arrivée des participants à Bamako

Lundi 29 janvier 2001

Cérémonie d'ouverture et accueil des participants

Transfert à Sélingué

Table ronde : présentations et attentes des participants

Mardi 30 janvier 2001

Les marques télémétriques

L'anesthésie et le marquage des poissons

Travaux pratiques sur l'anesthésie et le marquage des poissons

Bilan de la journée

Mercredi 31 janvier

Effets du marquage sur la biologie des poissons

Principes de base de la localisation des émetteurs de télémétrie

Travaux pratiques: recherche d'émetteurs (« Chasse au renard »)

Bilan de la journée

Jeudi 1er février

Propagation des ondes radio en milieu aquatique

Calcul de distance de réception des émetteurs radio

Travaux pratiques: marquage de poissons et localisation d'émetteurs (suite)

Bilan de la journée

Vendredi 2 février

Propagation des ondes acoustiques en milieu aquatique

Calcul de distance de réception des émetteurs acoustiques

Travaux pratiques: cartographie du milieu et localisation de poissons équipés d'émetteurs

Samedi 3 février

Stratégie de radio-pistage : choix des ondes et des fréquences

Utilisation des stations automatiques

Cartographie et localisations : bases mathématiques et application

Dimanche 4 février

Li bre

Lundi 5 février

Utilisation de l'habitat par les poissons: bases de calcul
Précision des localisations: calcul et implications pour les cartes-habitat

Travaux pratiques: révisions
Bilan de la journée

Mardi 6 février

Méthodes alternatives d'étude du comportement des poissons en milieu naturel (hydroacoustique, marquage-recapture, types de marques, critères de sélection)
Présentation d'une proposition de projet utilisant l'outil radio-pistage par K. DA COSTA

Cycle de pistage de poissons marqués en milieu naturel

Mercredi 7 février

Définition de projets d'étude impliquant la biotélémétrie: critères, structure et réalisation
Présentation d'une proposition de projet utilisant l'outil radio-pistage par T. KONE

Récolte de poissons marqués, évaluation du marquage, retrait des informations à partir d'enregistreurs électroniques (marques archives et data loggers)
Présentation d'une proposition de projet utilisant l'outil radio-pistage par A. CHIKOU
Bilan de la journée

Jeudi 8 février

Retrait des informations biotéléométriques à partir des marques archives et d'une Station d'enregistrement automatique de biotélémétrie
Présentation d'une proposition de projet utilisant l'outil radio-pistage par A. TOURE

Exploitation des données de radio-pistage et de biotélémétrie
Présentation d'une proposition de projet utilisant l'outil radio-pistage par S. ALHOUSSEINI, M.E. DIOP et H. TRAORE
Bilan de la journée

Vendredi 9 février

Présentation d'une proposition de projet utilisant l'outil radio-pistage par A. TOGUYENI
Présentation d'une proposition de projet utilisant l'outil radio-pistage par S. BOUDA

Debriefing général de l'atelier
Cérémonie officielle de clôture de l'atelier

Samedi 10 février

Voyage de retour vers Bamako
Examen de sites Web de fabricants de matériel de biotélémétrie
Départ des participants de Bamako

ANNEXE 4

Discours d'inauguration: Application de la biotélémétrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest (G. Marmulla, FAO)

Honorable Représentant de l'Institut d'économie rurale,
 honorable Directeur de l'Office pour le développement rural de Sélingué,
 honorable Directeur de l'Institut de recherche pour le développement au Mali,
 chers collègues, Madame, Messieurs,

Au nom du Directeur-Général de la FAO, Dr Diouf, et du Représentant de la FAO au Mali, M. Ramos, c'est un grand plaisir et privilège pour moi de vous souhaiter la bienvenue à l'ouverture de cet atelier.

Permettez-moi d'exprimer notre sincère gratitude envers tous nos partenaires avec lesquels nous étions en étroit contact pendant plusieurs mois afin d'organiser cet atelier. Tout d'abord je tiens à remercier la direction de l'Institut d'économie rurale malien qui, en coopération avec l'Office pour le développement rural de Sélingué, a bien voulu accepter d'abriter cet atelier pour que le stage puisse se dérouler dans un pays Africain qui a déjà acquis une certaine expérience dans le domaine de la biotélémétrie. Ensuite, je voudrais également remercier la direction de l'Institut de recherche pour le développement au Mali pour avoir mis, et qui continue à mettre encore, à la disposition de cet atelier de considérables ressources humaines et matérielles. Je me permets d'adresser ici un grand merci particulièrement chaleureux à mes deux collègues, Dr Vincent Bénech de l'IRD et Dr Etienne Baras de l'Université de Liège - également partenaires dans cette activité - pour leur coopération efficace et infatigable durant plusieurs mois.

C'est un grand plaisir pour moi d'être ici présent aujourd'hui à l'ouverture de cet atelier sur l'application de la biotélémétrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest, atelier qui est d'ailleurs le premier de son genre. C'est un atelier pilote - et cela n'a rien à voir avec l'aviation, mais signifie que c'est la première fois qu'un atelier traitant des techniques et de l'usage du radiopistage en Afrique est organisé avec l'appui de la FAO. Cet atelier est organisé afin de faire mieux connaître et de diffuser l'outil de la biotélémétrie qui peut être utile pour générer des données de base plus précises indispensables pour une meilleure gestion durable des ressources aquatiques.

La pêche continentale est d'une importance non-négligeable et même croissante dans beaucoup de pays de l'Afrique de l'Ouest, et particulièrement au Mali qui produisait ces dernières années en moyenne entre 80 - 130.000 t de poissons par an. Ainsi, elle joue un rôle important dans l'approvisionnement en protéines de la population surtout rurale. Il est donc capital que les gestionnaires des ressources naturelles puissent être en mesure de sauvegarder les bases de la pêche, c'est-à-dire les poissons, nécessaires au renouvellement des stocks afin d'assurer une exploitation durable. En ce qui concerne l'aspect biologique de la pêche, l'absence de connaissances approfondies de la biologie ou du comportement de certaines espèces très appréciées par les pêcheurs risque dans certains cas d'être un obstacle à la durabilité. Pour garantir que la pêche puisse garder son rôle de source importante de protéines, une surexploitation des ressources doit être évitée, et ceci par une gestion améliorée et appropriée.

Surtout en Amérique du Nord et en Europe, l'utilité de la biotélémétrie n'est plus contestée, voire même prouvée. Nous sommes persuadés que la biotélémétrie peut aussi en Afrique fournir des données permettant de prendre des décisions en vue d'une meilleure gestion. C'est pour cette raison que nous nous trouvons ici aujourd'hui. En ce qui concerne cet atelier, nous nous sommes limités à inviter des participants originaires de pays francophones, notamment du Bénin, du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, de la Guinée et du Mali, car il s'agit bien d'un test. Néanmoins, s'il est jugé utile, ce type d'activité co-financé par la FAO pourrait peut-être être répété pour former d'autres experts africains - francophones, anglophones ou autres - en la matière.

Les objectifs étant ainsi posés, nous souhaitons aux participants que les travaux théoriques et pratiques des deux semaines à venir soient enrichissants et portent leurs fruits. C'est mon collègue, le Dr Baras qui va maintenant vous exposer en détail le déroulement des travaux des jours à venir.

ANNEXE 5

Table des matières du Manuel de biotélémétrie aquatique

INTRODUCTION	1
I. UTILISATION DU TEMPS ET DE L'ESPACE CHEZ LES POISSONS	2
1.1 Migration et « migration » : définition et relation	3
1.2 Fitness génétique : approche compréhensive	4
1.3 Fitness : implications pour la migration	6
1.4 Méthodes d'étude de la migration	7
Références	8
II. MÉTHODES D'ÉTUDE DU COMPORTEMENT DES POISSONS	10
2.1 Méthodes d'étude indépendantes de la capture	10
2.1.1 Observation visuelle	10
2.1.2 Compteur à résistivité de signaux électriques	10
2.1.3 Hydroacoustique	11
2.2 Méthodes d'étude indépendantes de la capture	15
2.2.1 Variations de la densité et des captures par unité d'effort de pêche	15
2.3 Marquage et type de marques	17
2.3.1 Introduction	17
2.3.2 Types de marques	18
2.4 Marques biotiques extrinsèques	19
2.4.1 Variables morphométriques, méristiques et truss network	19
2.4.2 Patrons de ponctuations	20
2.4.3 Marques génétiques	20
2.4.3.1 Polymorphisme enzymatique	20
2.4.3.2 ADN mitochondrial et nucléique	21
2.4.3.3 Empreintes génétiques	21
2.4.3.4. Principales techniques utilisées en marquage génétique	22
2.4.3.5. Choix des marques génétiques	26
2.5. Marques biologiques extrinsèques	27
2.5.1 Parasites	27
2.5.2 Chémométrie	28
2.5.2.1 Acides gras	28
2.5.2.2 Autres éléments intrinsèques	29
2.6 Marques extrinsèques	30
2.6.1 Marquage par mutilation	31
2.6.2 Marques chimiques extrinsèques	34
2.6.3 Marquage par colorants	35
2.6.4 Marquages par brûlure au froid (cold branding)	36

2.7	Marques physiques (« tags »)	37
2.7.1	Marques physiques externes	37
2.7.1.1	Marques à insertion intramusculaire	37
2.7.1.2	Marques transcorporelles et transstructurales	39
2.7.2	Marques physiques internes	40
2.7.2.1	EVI (Elastomer Visible Implant) Tag	40
2.7.2.2	V.I. tags	41
2.7.2.3	Micromarques magnétiques	42
2.7.2.4	Transpondeurs passifs intégrés ou PIT tags	46
2.8	Marques physiques actives	48
	Emetteurs de biotélémetrie, marque archives	48
2.9	Choix des méthodes d'étude	48
	Références bibliographiques	52

ANESTHÉSIE, MARQUAGE DES POISSONS, BIAIS LIÉS AU MARQUAGE

III.	ANESTHÉSIE	58
3.1	Types d'anesthésiques, aspects législatifs	58
3.1.1	Anesthésiques chimiques	58
3.1.2	Méthodes alternatives	60
3.2	Phases de l'anesthésie	62
3.3	Choix d'un anesthésique	62
3.4	Facteurs influençant l'anesthésie, le choix des concentrations et la durée d'application	64
3.5	Perturbations de la physiologie et du comportement des poissons par l'anesthésie	65
3.6	Suggestions pour l'amélioration des protocoles d'anesthésie et de récupération	68
3.7	Fiches d'utilisation des principaux anesthésiques	69
IV.	FIXATION DES MARQUES TÉLÉMÉTRIQUES	72
4.1	Introduction	72
4.2	Attachement externe	73
4.3	Insertion intrastomacale	74
4.4	Insertion intrapéritonéale	75
4.4.1	Incision	76
4.4.2	Positionnement de l'émetteur	77
4.4.3	Fermeture de l'incision : suture	78
	Réalisation d'un point de suture	78
	Type de point de suture	79
	Choix du matériel de suture	80
4.4.4	Méthodes alternatives de fermeture d'incision	81
4.4.5	Dynamique de cicatrisation	83
4.4.6	Prophylaxie, mesures post-opératoires	83

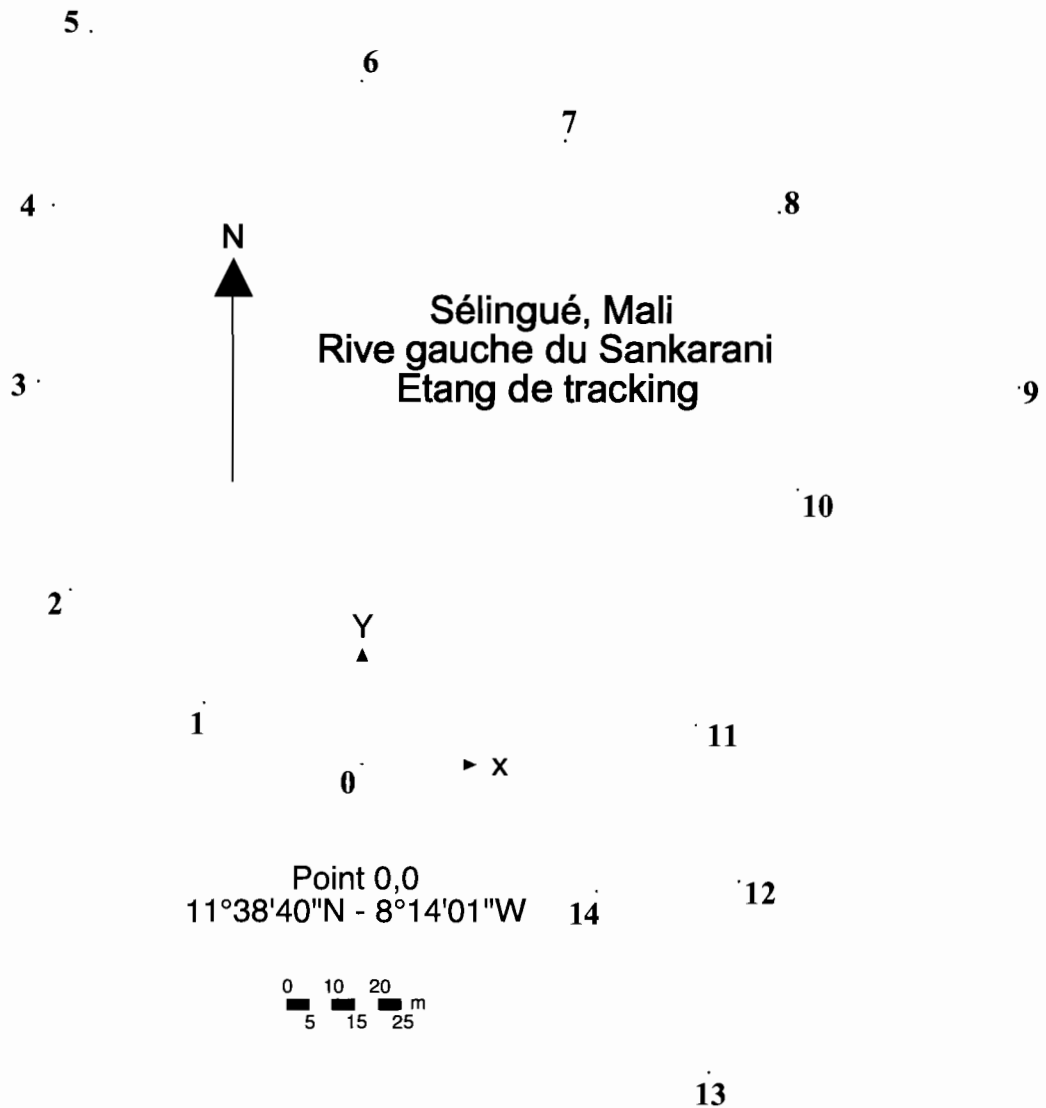
4.5	Poids, dimensions et formes des émetteurs : limitations fonctionnelles	85
V.	BIAIS LIÉS AU MARQUAGE	86
5.1	Survie	86
5.2	Infections et blessures	87
5.3	Effets sur la croissance et l'alimentation	88
5.4	Effets du marquage sur le comportement et la physiologie	90
5.4.1	Flottabilité et équilibre	90
5.4.2	Performances natatoire et dépenses énergétiques	90
5.4.3	Effet sur les interactions sociales	91
5.4.4	Activité et sélection de l'habitat	91
5.4.5	Autres perturbations du comportement	92
5.5	Rejet et perte des émetteurs	92
5.5.1	Perte des marques externes	92
5.5.2	Régurgitation des marques intrastomacales	93
5.5.3	Expulsion de marques implantées dans la cavité intrapéritonéale	93
	Mécanisme d'expulsion	93
	Facteurs influençant l'expulsion	95
	CONCLUSIONS	96
	Références	97
	Tracking et biotélémetrie	
	Propriétés des signaux, stratégies d'étude, utilisation des résultats	
VI.	PRINCIPES DE BASE, PROPAGATION DES SIGNAUX	102
6.1	Spécificités et points communs de la biotélémetrie radio et acoustique	103
6.2	Propagation des signaux acoustiques	104
6.2.1	Vitesse de propagation réflexion, réfraction	104
6.2.2	Pertes liées à la propagation	105
6.2.3	Bruit et diminution du rapport signal / bruit	106
6.2.4	Calcul de la distance maximale de détection d'un signal	107
6.3	Propagation des signaux radio	108
6.3.1	Atténuation des signaux radio dans l'eau	108
6.3.2	Atténuation dans l'air et à l'interface air-eau	109
6.3.3	Pertes liées à la station réceptrice	110
6.3.4	Pertes et gains liés aux antennes réceptrices et émettrices	110
6.3.5	Puissance des émetteurs, sensibilité des récepteurs	111
6.3.6	Calcul de la distance de détection d'un émetteur radio	112
6.4	Choix du type de signal et de fréquence d'émission en fonction de l'environnement	113

VII.	POSITIONNEMENT DE LA SOURCE D'ÉMISSION	115
7.1	Homing in	115
7.2	Positionnement à distance par triangulation	115
7.2.1	Principe de base	115
7.2.2	Calcul des coordonnées cartésiennes	116
7.2.3	Triangulation par stations réceptrices directionnelles	117
7.2.4	Précision du positionnement par triangulation	117
7.2.5	Diagrammes de réception et optimisation de l'utilisation des antennes directionnelles	118
	Utilisation d'une antenne boucle	119
	Utilisation d'une antenne Yagi	119
7.3	Positionnement d'émetteurs mixtes par un seul opérateur	120
7.4	Positionnement à distance par navigation hyperbolique	121
7.5	Logiciel de prétraitement des données de radiopistage « X-Y PGM track »	121
7.5.1	Principe de fonctionnement	121
	Remarques générales	122
7.5.2	Explications complémentaires	122
	Partie A.	122
	Partie B.	122
	Partie C.	123
	Partie D.	124
	Partie E.	124
7.5.3	Listing du programme	125
VIII.	STRATÉGIE D'ÉTUDE	129
8.1	Fréquence de récolte des données	129
8.1.1	Récolte continue	129
8.1.2	Récolte périodique (échelle journalière ou supra journalière)	129
8.1.3	Récolte périodique (échelle infra journalière)	131
	Suivi manuel	131
	Détection automatique	131
8.2	Limitation technique du nombre de poissons détectables	132
8.3	Amélioration des performances de détection	134
8.3.1	Stations multi-antennes	134
8.3.2	Émetteurs codés	136
8.4	Recherche d'émetteurs, vitesse de progression	136
IX.	CALCUL DU DOMAINE VITAL ET DE L'AIRE D'ACTIVITÉS	138
9.1	Méthode du polygone convexe	138
9.1.1	Principe	138
9.1.2	Limitations	138

9.2	Modèles statistiques normaux bivariés et normaux circulaires	138
9.2.1	Principe	138
9.2.2	Limitations	139
9.3	Méthode des grilles et probabilité d'utilisation de l'espèce	140
9.3.1	Principe	140
9.3.2	Limitations	140
9.4	Comparaison des différentes méthodes	142
9.5	Calcul de la surface d'un polygone convexe	142
X.	BIOTÉLÉMETRIE, MARQUES PROGRAMMABLES ET APPLICATIONS PARTICULIÈRES	144
10.1	Introduction	144
10.2	Mesures de signaux de biotélémetrie	144
10.3	Inconvénients spécifiques aux émetteurs de biotélémetrie	147
10.4	Émetteurs programmables	148
10.5	Exemples	150
10.5.1	Application de la télémetrie en aquaculture	150
10.5.2	Fidélité au site de reproduction chez <i>Barbus barbus</i>	152
10.5.3	Activité et choix de l'habitat chez l'anguille <i>Anguilla anguilla</i>	153
10.5.4	Utilisation du rythme cardiaque comme indicateur du métabolisme	155
XI.	SYNTHÈSE, CONCLUSION, ASPECTS PRATIQUES	157
11.1	Structurer une étude ou un projet	157
	Objectif de l'étude	157
	Poissons	157
	Environnement	157
	Calcul du coût total de l'étude, détermination de la faisabilité budgétaire	157
11.2	Information, récompense	158
11.3	Risques inhérents aux méthodes de biotélémetrie	158
	Références	159

ANNEXE 6

Polygone de la mare de Sélinguéli



Le balisage de la mare et la détermination de la position relative des balises ont été effectués par trois méthodes alternatives (niveau de géomètre, GPS et coordonnées polaires successives par combinaison de boussole et de pentadécamètre).

ANNEXE 7

Les moyens et le matériel mis en œuvre lors de l'atelier

Mallette

Dépliants informatifs	IRD, IER, ODRS, FAO
Porte-documents+ Badges	IRD
Manuel photocopié sur le radiopistage	ULG,IRD,FAO
Trousse à dissection	IRD
Carte de Sélingué au 1/50000 et au 1/2000000	IRD
Bloc-note, bic, crayon	IRD
Prospectus des fournisseurs de matériel de radiopistage	ATS, AVM, Star-Oddi
Liste des participants (adresse, tél., email...)	
IRD	
Invitation à la réception d'accueil à l'IRD	IRD

Matériel de radiopistage

2 Récepteurs AVM 151 MHz	IRD
2 Récepteurs AVM 49 MHz	FAO
2 Récepteurs ATS 48-49.9 MHz	IRD
1 Data Collection Computer (DCC) ATS	IRD
1 Récepteur ATS 48-49.9 MHz + 1 casque d'écoute	FAO
3 Antennes Diamant 48-49.9 MHz	IRD
2 Antennes M-Yagi 49 MHz	FAO
2 Antennes Yagi 151 MHz	IRD
4 casques audio	IRD
1 transmitter 48 MHz depth option	IRD
1 transmitter 151MHz active/inactive	IRD
1 transmitter 151MHz with temperature option	IRD
1 transmitter 49 MHz position based	IRD
1 transmitter 49MHz active/inactive	IRD
1 transmitter 49MHz real-time	IRD
1 transmitter 49MHz with temperature option	IRD
2 recharger AVM	IRD
2 Voltage and plug adapter AVM	IRD
1 adapter cigarette lighter AVM	IRD
Emetteurs muets (7 petits, 3 gros, antenne ext.)	IRD
3 DST300 (temp., Prof., angle)	IRD
2 DST300 (temp., Prof.)	IRD
20 Dummy DST	IRD
Logiciel DST pour PC-DOS	IRD
Cutter, Aiguilles, fil d'acier	IRD

Matériel pédagogique

Salle de conférence	ODRS
Tableau noir	ODRS
Craie blanche et de couleur	IRD
1 PC + imprimante	ISFRA
2 PC	IRD

1 Mac Performa 630	IRD
1 PC portable	IRD
1 PC portable	ULg
1 PowerBook 150	IRD
1 Imprimante couleur	IRD
ZIP Iomega pour MAC	IRD
3 x 10 disquettes PC 1,3Mo	IRD
Onduleur 1000 + cable	IRD
Rétroprojecteur pour transparents	IRD
Magnétoscope + TV	IRD
Cassettes VHS	IRD, ULg
Projecteur de diapos	FAO
2 boites de transparents	IRD
Diapos	ULg
Ecran	ODRS

Poissons stockés à la pisciculture de l'ODRS à SÉLINGUÉ

<i>Oreochromis niloticus</i> (250 g produits par ODRS)	IRD
<i>Clarias gariepinus</i> (500g à 2000g produits ODRS et pêche locale)	IRD
<i>Hemisyndontis membranaceus</i> (capturés dans le lac)	IRD, ODRS
<i>Tilapia</i> et <i>Sarotherodon</i> (capturés dans le lac)	IRD, ODRS
<i>Bagrus bajad</i> (capturés dans le lac)	IRD, ODRS
<i>Auchenoglanis occidentalis</i> (capturés dans le lac)	IRD, ODRS
<i>Gymnarchus niloticus</i> (capturé dans le lac)	IRD, ODRS

Bacs de stockage

3 bacs en ciment de 3 m ³	ODRS
1 étang vidangeable	ODRS
Aquarium 300 litres	IRD

Labo de terrain de la pisciculture de l'ODRS

Aquarium 300 litres + bureau support + accessoires	IRD
Tables pour dissection (2)	ODRS
Petit bureau métallique	IRD
Electricité : prises multiples et rallonges	IRD
Lampe de bureau	IRD
Eau : tuyau plastique de 10m	IRD
400 ml de Phenoxy-ethanol + seringue 10 ml	IRD
Biseptine (Désinfectant)	IRD
Colle rapide cyanoacrylate	ULg
Balance 1g à 6000g	IRD
2 Cuvettes, 1 épuisette pour anesthésie et réveil	IRD
Goulotte pour opération	IRD
1 Eponge, 2 torchons, 2 serviettes	IRD
Epuisettes	ODRS

Bateaux

Zodiac	IRD
Moteur HB 15CV	IRD
Gilets de sauvetage	IRD

Moyens de transport terrestre

1 Toyota Hi-Lux double cabine (5 places)	IRD
1 Toyota plateau (3 places)	IRD
1 Vélomoteur	IRD

Communication

Téléphone par satellite + batterie de voiture 12v	IRD
---	-----

Autres matériels

100 Petersen disc tags	IRD
100 Carlin Dangler tags	IRD
4 batteries portables +2 chargeurs	IRD
Piquets de repérage	IRD
Penta décamètre (2+1)	IRD, ODRS
Niveau + mire	IRD
2 GPS	IRD
2 Talkie-walkie + 1 chargeur double + 4 batteries de secours	IRD
Lampe torche + piles	IRD
Glacières (1+1)	IRD, ODRS

SECTION PHOTOS

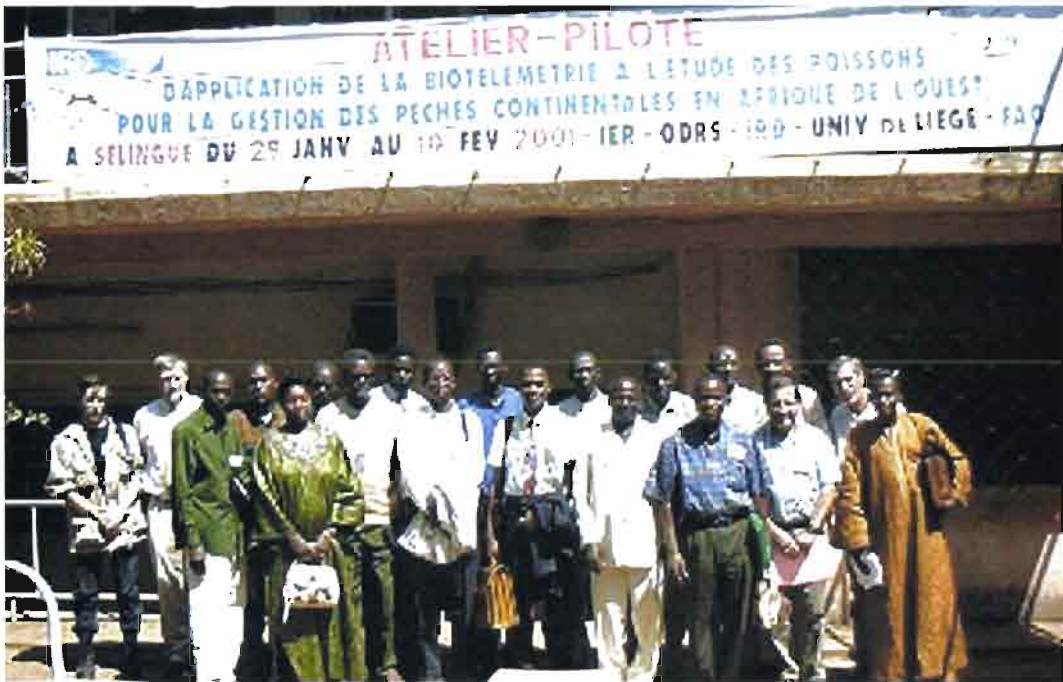


Photo 1 - Les stagiaires, l'encadrement et les personnalités ayant assisté à la cérémonie d'ouverture de l'Atelier-pilote au centre IRD de Bamako.



Photo 2 - Marques biotéléométriques. Au centre : Emetteur radio à antenne externe (poids : 5,5g) pour implantation intrapéritonéale. A droite : Marque archive (DST = data storage tag ; poids : 8g) pour fixation dorsale. A gauche : Disques Petersen pour fixation dorsale de la marque archive.



Photo 3 - Implantation d'un émetteur radio à antenne externe dans la cavité péritonéale d'un tilapia.



Photo 4 - Fixation d'une marque archive sur la partie dorsale du tilapia illustré en photo 3. Les fils de fixation sont passés dans la musculature dorsale et fixés sur le flanc opposé, l'apposition de disques Petersen réduisant les risques de coupure de la musculature.



Photo 5 - Illustration du tilapia équipé de la marque archive.

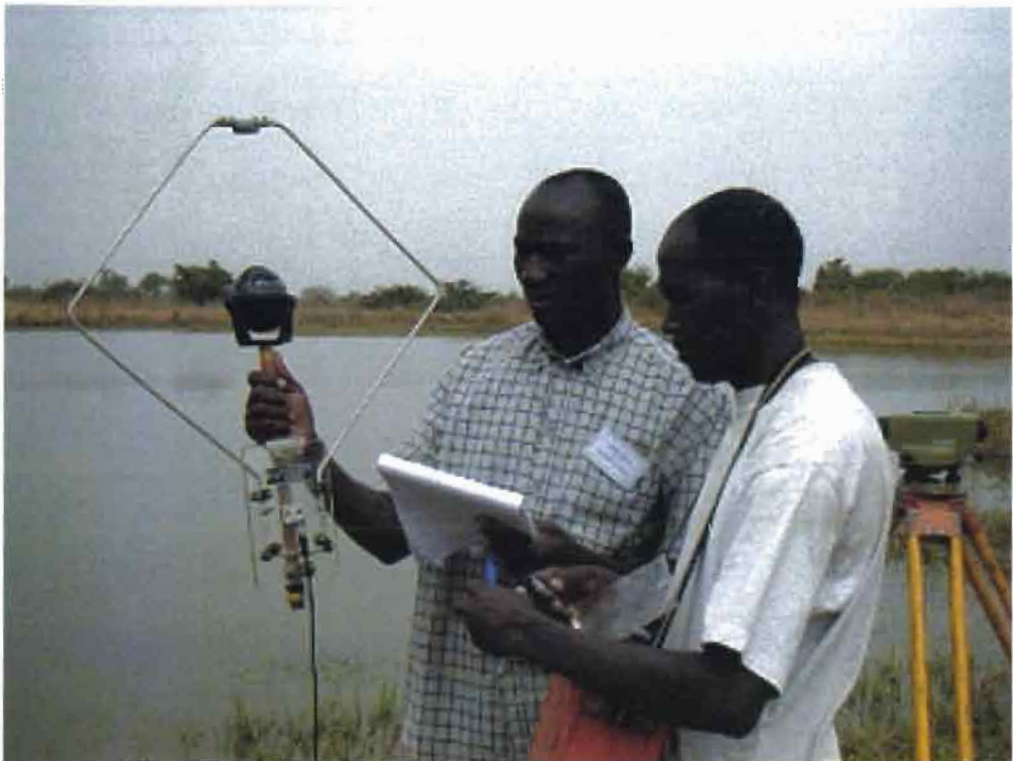


Photo 6 - Équipe de radio-pistage repérant précisément la direction du signal par "null-peaking" (i.e. recherche du signal le moins fort) à l'aide d'une antenne boucle munie d'une boussole à cadran tournant. En arrière plan, le niveau de géomètre utilisé pour la cartographie de la mare de Sélinguény.



Photo 7 - Équipe de radio-pistage sur les berges de la mare de Sélinguény, mesurant la direction du signal le plus fort à l'aide d'une antenne de type Yagi, à partir d'un des points de repère du balisage effectué préalablement (piquet en bois garni d'une banderole bicolore).



Photo 8 - Entraînement des participants à la pratique des points de suture et de la chirurgie.



Photo 9 - Concertation des participants avant une « chasse au renard », consistant à la recherche d'émetteurs radios disséminés dans le périmètre irrigué de Sélingué.



Photo 10 - Réglage d'une station automatique de biotélémetrie pour enregistrement en continu des activités des poissons relâchés dans la mare de Sélinguéni. La station se compose d'un ordinateur (à droite), d'un récepteur (au centre), d'une batterie (à gauche) et d'une antenne boucle sur pied (à l'extrême gauche).



Photo 11 - Marquage dorsal (marque archive) chez un poisson-chat : Récupération, au terme de l'atelier, des poissons marqués et examen des blessures éventuelles occasionnées par la procédure de marquage.



Photo 12 - Chirurgie abdominale chez un tilapia : Examen des blessures éventuelles occasionnées par la procédure de marquage.



Photo 13 - Récupération des informations enregistrées dans une marque archive : Ouverture de la marque archive par coupure de l'enveloppe plastique externe.



Photo 14 - Dépouillement des données dans la salle informatique aménagée dans la salle de conférences de l'ODRS à Sélingué.

L'Atelier pilote sur l'application de la biotélémétrie à l'étude des poissons pour la gestion des pêches continentales en Afrique de l'Ouest s'est tenu dans les locaux de l'Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS) à Sélingué, Mali, du 29 janvier au 10 février 2001.

L'atelier a été organisé par l'Institut de recherche pour le développement (IRD, France) et notamment par son centre de Bamako en coopération avec l'Institut d'économie rurale malien (IER) et l'Office pour le développement rural de Sélingué (ODRS), ainsi qu'avec l'appui de l'Université de Liège (Belgique) et de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Les participants venaient du Bénin, du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, de la Guinée et du Mali. L'objectif de cet atelier était de faire mieux connaître et de diffuser la biotélémétrie, outil très utile à l'obtention d'informations plus précises et indispensables à une meilleure gestion durable des ressources aquatiques.

