

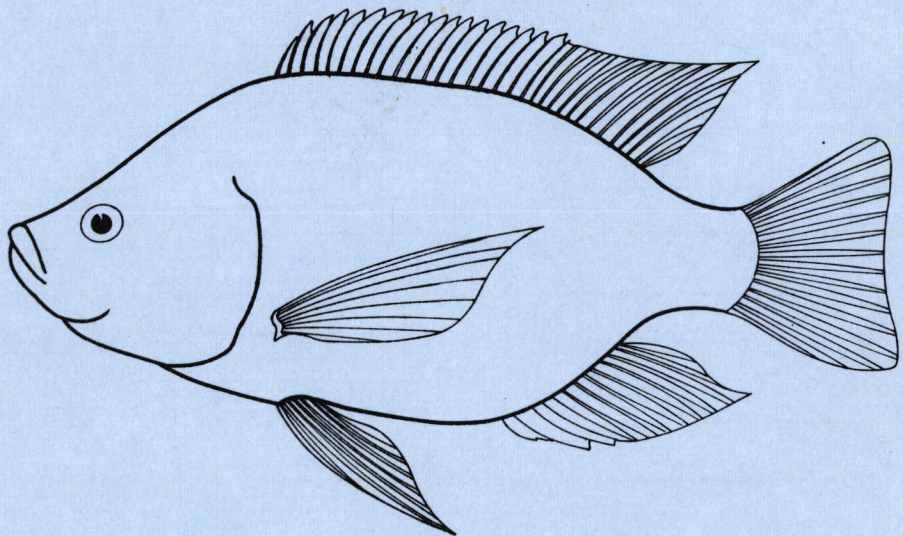
ANNEE 1981

Volume 1, supplément 2

CAHIERS d'ETHOLOGIE APPLIQUEE

à la Protection et à la conservation de la Vie sauvage, à la gestion
et au contrôle des ressources et productions animales

Collection Enquêtes et dossiers : 2

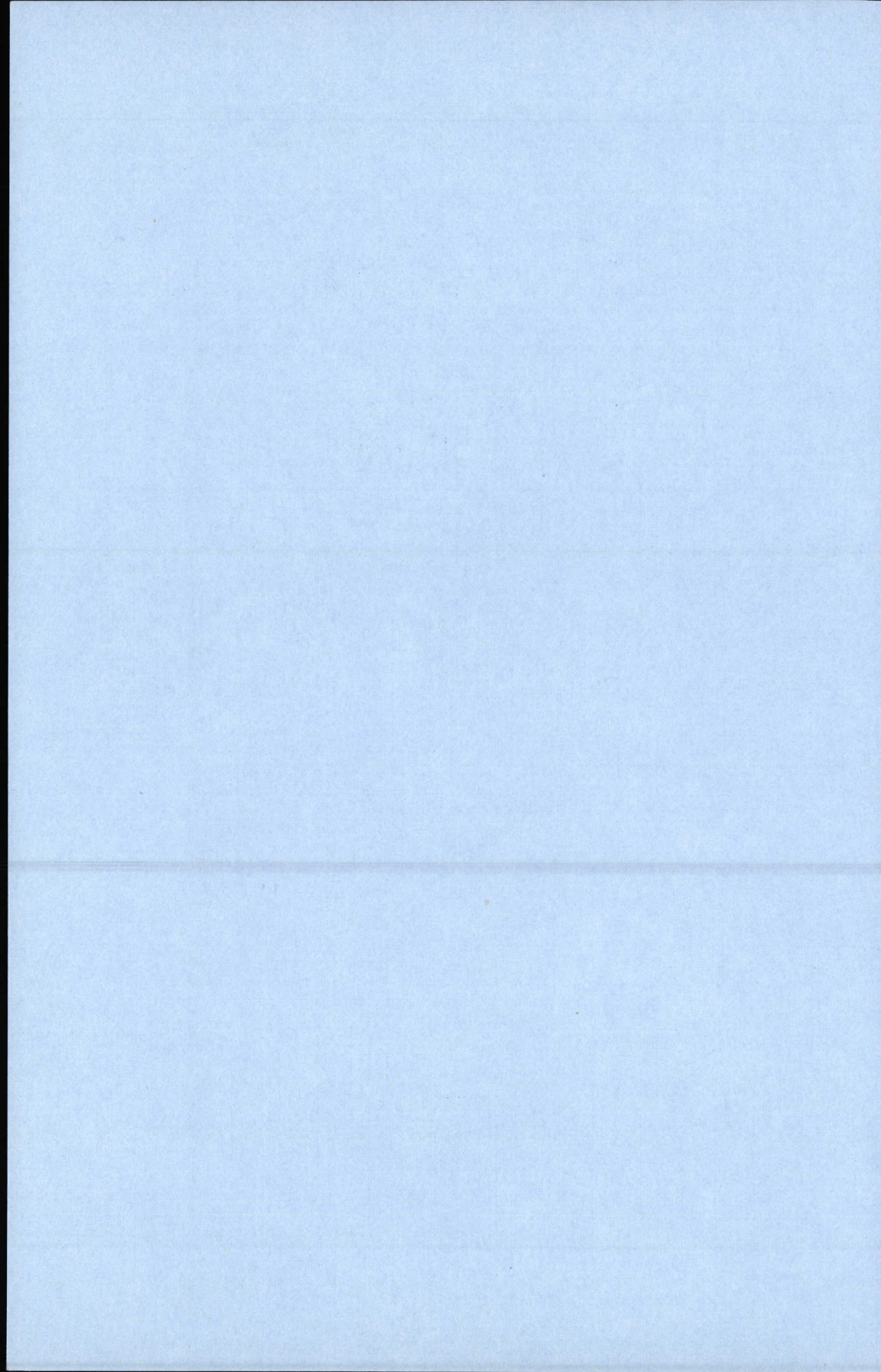


LA PRODUCTION DE TILAPIA DE CONSOMMATION
DANS LES REJETS INDUSTRIELS D'EAU CHAUDE
EN BELGIQUE

par

Charles MELARD et Jean-Claude PHILIPPART

Préface : Prof. J.C. RUWET



Le service d'Ethologie et Psychologie animale de l'Institut de Zoologie de l'Université de Liège a commencé l'édition à partir de cette année 1981, une nouvelle revue trimestrielle consacrée à la Protection et à la Conservation de la Vie sauvage, à la Gestion et au Contrôle des Ressources et Productions animales. Elle s'intitule :

LES CAHIERS D'ETHOLOGIE APPLIQUEE

Le service, organisé autour de la chaire d'Ethologie, est composé essentiellement de zoologistes naturalistes se consacrant par priorité à l'étude du comportement, des structures sociales et de la dynamique des populations des vertébrés sauvages. Il pratique donc la recherche de terrain, en milieu rural et forestier, comme dans les sites privilégiés que sont les réserves naturelles et parc nationaux, en Europe et en Afrique. Il se voue à la conservation des milieux naturels et à la protection des espèces.

Le service a de lourdes charges d'enseignement et s'adresse à un large éventail d'étudiants susceptibles d'utiliser l'éthologie dans leur métier (zoologues, psychologues, sociologues, zootechniciens, vétérinaires). Il est l'émanation des milieux académiques et a d'étroits contacts avec des associations d'amateurs (ornithologiques, aquariophiles, pêcheurs). Il côtoie des fundamentalistes, théoriciens et expérimentateurs, comme praticiens, producteurs, gestionnaires, décideurs. De ce fait, le service a le souci de prolonger ses recherches fondamentales et réflexions théoriques par un engagement dans la pratique et l'action. Il aborde ainsi les problèmes liés à l'étude des animaux domestiques et du gibier, au contrôle et à la gestion des populations animales, à l'aménagement du milieu rural, à la valorisation des ressources et productions animales.

Dans sa composition, le service est d'ailleurs le point de rencontre d'individualités et d'unités de recherche qui traduisent différentes attitudes vis-à-vis de l'animal sauvage ou domestique, libre ou captif, protégé ou contrôlé, menacé ou produit. Il est ainsi un creuset où s'affrontent et se fécondent opinions et travaux au carrefour de l'Ecologie et de l'Ethologie, de la Zoologie et de la Zootechnie, de la Protection et de la Production, des Sciences naturelles, économiques ou humaines, des Sciences douces, fondamentales ou appliquées.

C'est pour faire connaître cette part de notre activité qui prolonge nos recherches à caractère plus fondamental par des engagements dans le concret, et pour dégager les problèmes déontologiques et d'éthique du chercheur et du praticien que ces engagements supposent que sont créés les CAHIERS D'ETHOLOGIE APPLIQUEE. Ils s'adressent à tous ceux - naturalistes, zoologues, zootechniciens, vétérinaires, agronomes, forestiers, aquariophiles, ornithologues, pêcheurs, pisciculteurs, producteurs, éleveurs, amateurs ou professionnels - qui recherchent un contact constructif avec les animaux sauvages ou domestiques, qu'intéressent la conservation et la protection des espèces sauvages et de leur habitat, la gestion des parcs et réserves, l'aménagement du milieu rural, l'utilisation rationnelle des ressources animales, la promotion raisonnable des productions animales, le bien-être des animaux domestiques.

Les Cahiers d'Ethologie appliquée paraissent en 4 livraisons annuellement : deux fascicules d'articles et chroniques, deux suppléments d'une collection "Enquêtes et dossiers".

Toute la correspondance relative aux Cahiers (Administration, Abonnements, Echanges, Recensions d'ouvrages, etc.) doit être adressée à :

Cahiers d'Ethologie appliquée - Service d'Ethologie - Institut de Zoologie de l'Université - Quai Van Beneden, 22, B-4020 Liège, Belgique

Abonnements

Institutions, Associations	1.000 F.B.
Particuliers	750 F.B.
Etudiants et diplômés depuis moins de deux ans (signaler la date de proclamation du diplôme)	500 F.B.

Pour l'étranger, le prix de l'abonnement est majoré du montant des frais bancaires, soit :

Institutions	1.250 F.B.
Particuliers	1.000 F.B.
Etudiants	750 F.B.

<u>Prix de vente au numéro</u>	Belgique	250 F.B.
	Etranger	350 F.B.

Paiement exclusivement par virement au compte 240-000044-82 du Patrimoine de l'Université de Liège, avec la mention "Abonnement Cahiers d'Ethologie, 6114/P07".

Pour l'Etranger, en cas de paiement par chèque bancaire ou mandat international, l'établir impersonnellement au nom de : Patrimoine de l'Univ. de Liège, Place du 20 Août 7, B-4020 Liège, Belgique, avec indication de la même mention que ci-dessus.

Editeur responsable

Université de Liège - Institut de Zoologie
Service d'Ethologie (Prof. J.C1. RUWET)
Quai Van Beneden, 22, B-4020 Liège, Belgique.

Dépôt légal : D/1981/0480/13

ANNEE 1981

Volume 1, supplément 2

CAHIERS d'ETHOLOGIE APPLIQUEE

à la Protection et à la conservation de la Vie sauvage, à la gestion
et au contrôle des ressources et productions animales

Collection Enquêtes et dossiers : 2

LA PRODUCTION DE TILAPIA DE CONSOMMATION DANS LES REJETS INDUSTRIELS D'EAU CHAUDE EN BELGIQUE

par

Charles MELARD et Jean-Claude PHILIPPART

Préface : Prof. J.C. RUWET

Travaux du service d'Ethologie et Psychologie animale

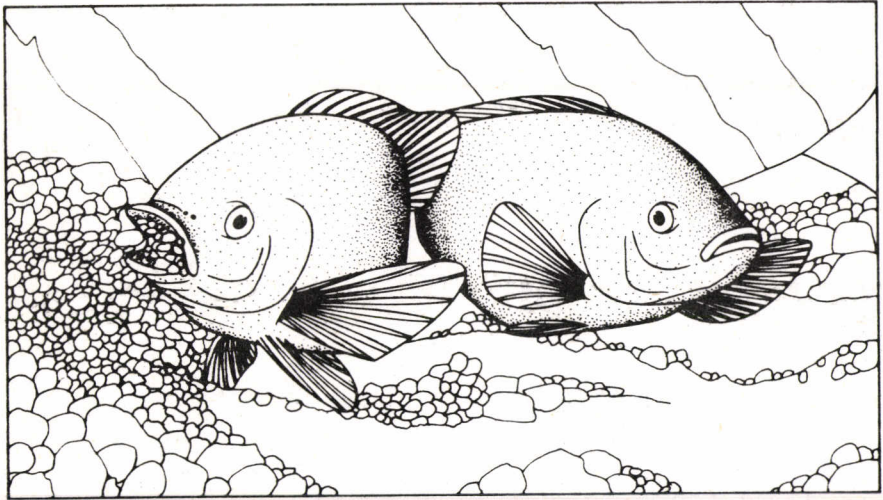
Musée de Zoologie - Aquarium

Institut de Zoologie de l'Université

quai Van Beneden, 22

B - 4020 LIEGE

BELGIQUE



PRÉFACE

ETUDE ET CULTURE DES TILAPIAS,

OU LES LEÇONS DE L'HISTOIRE EXEMPLAIRE D'UNE DOMESTICATION.

Les Cahiers d'Ethologie publient dans ce volume les résultats de quatre années de recherches appliquées à la production intensive de tilapias de consommation dans les eaux chaudes résiduelles industrielles, conduite par une équipe de zoologistes et techniciens de l'Université de Liège à la section de pisciculture du Centre d'Etude pour la Récupération des Energies Résiduelles CERER mis en place sur le site de Tihange I par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture IRSIA et la Société Intercommunale belge d'Electricité INTERCOM.

En quatre années, cette équipe a imaginé, adapté et maîtrisé des techniques d'élevage et de production dont les rendements sont parmi les plus élevés qu'il soit possible d'imaginer en aquiculture. Les résultats probants ont rapidement attiré une multinationale de l'agro-alimentaire qui, profitant du savoir-faire disponible sur place, a installé un projet-pilote chargé de tester la rentabilité d'un projet à orientation commerciale. De nombreux développements à caractère économique se dessinent pour 1982, associant cette firme, des pisciculteurs privés, des organismes publics de développement régional. Il est donc évident que les chercheurs ont rempli leur contrat et répondu aux espoirs : ils ont fait preuve d'efficacité, de créativité, d'innovation; ils ont maîtrisé et développé une ressource nouvelle, ont réuni les conditions de lancement d'un produit nouveau, ont fait oeuvre utile.

Au moment où les chercheurs rendent compte de leurs travaux et où leurs résultats scientifiques et techniques, base de toute action à caractère commercial et économique, tombent dans le domaine public, à l'instant où les utilisateurs potentiels s'en saisissent, il me paraît essentiel de rappeler la chaîne d'évènements qui a permis qu'en quatre années de recherche appliquée seulement, cet exploit soit possible : domestiquer et produire massivement au bord de la Meuse un poisson de consommation d'origine tropicale ! Et il me paraît important aussi de dégager les perspectives, du point de vue de la recherche et des chercheurs ...

Exploration et premiers essais sur le terrain en Afrique :

La pisciculture du tilapia, aujourd'hui répandue dans le monde, est une initiative belge. Si le *Tilapia* (espèce niloticus) était déjà conservé en étang par les Egyptiens il y a 4.000 ans, mais dans un but purement récréatif et ornemental semble-t-il, si la Bible porte déjà témoignage du caractère "miraculeux" de ce poisson au lac de Tibériade,

si les Britanniques se sont efforcés d'en développer les pêcheries lacustres dans leurs territoires africains, c'est à l'initiative d'administrateurs territoriaux, agronomes, biologistes et colons belges au Congo qu'ont débuté à partir de 1943 au Katanga les premiers essais systématiques de production de tilapia de consommation. Une mission piscicole belgo-congolaise au Katanga a récolté les premières souches de Tilapia macrochir et T. (melanopleura) rendalli pour l'élevage au Luapula-Moëro en 1946, et une station de recherches et d'essais a été créée à Kipopo près d'Elisabethville. Le succès des privés et chercheurs a été immédiat : les premiers rendements obtenus par les colons ou en station se sont élevés à 4 à 5 t/ha/an. Dès 1949, une conférence piscicole anglo-belge organisée à Elisabethville a permis de dresser un premier bilan de l'expérience belgo-congolaise dans le domaine de la culture du tilapia qui, à partir de ce moment, a été imitée ailleurs. Pour promouvoir le développement rural, l'Administration coloniale a fourni un gros effort pour diffuser et vulgariser les techniques d'élevage : des stations de démonstration ont été créées pour former les cadres piscicoles et fournir les alevins aux paysans, et la construction d'étangs a été encouragée dans les villages de brousse; en 1957, il y en avait 4000 ha (travaux de DE BONT, HALAIN, HUET, HULOT).

Dès le début, l'Institut de Zoologie de Liège s'est intéressé et a été mêlé à cette aventure de l'étude et de la culture du tilapia. En 1935, à l'occasion de sa mission aux lacs Edouard et Kivu au parc national Albert au Congo, puis en 1952 à l'occasion de sa mission d'Hydrobiologie dans les lacs du Rwanda, Hubert DAMAS a rassemblé les premières notes sur l'écologie des tilapias. De 1956 à 1960, les chercheurs placés sous sa direction à la "mission des lacs" de la Fondation de l'Université de Liège pour les Recherches Scientifiques en Afrique Centrale FULREAC ont pris contact avec les chercheurs de la station de Kipopo, et ont étudié systématiquement les pêcheries traditionnelles, l'écologie et l'éthologie des tilapias dans les lacs et marais, notamment dans les lacs des barrages hydroélectriques du Lualaba et de la Lufira, milieu intermédiaires entre le lac naturel et l'étang d'élevage. Ils ont établi notamment qu'au lac de Mwadingusha sur la Lufira, le rendement des pêches traditionnelles est de 100 kg/ha/an de poisson frais (travaux de DAMAS, MAGIS, GOORTS, WILMET et RUWET).

Recherches exploratoires sur le terrain et premiers essais en étang ont donc progressé de pair. Mais après un essor foudroyant, la pisciculture du tilapia a connu une désaffection rapide. Les excellents rendements obtenus en station d'essai ont rarement été reproduits en milieu rural. La multiplication des étangs de production en brousse a été trop rapide en regard des progrès de la vulgarisation, ce qui a conduit à des vices de conception dans l'aménagement des étangs, et à une perception insuffisante de la nécessité d'un nourrissage intensif pour obtenir des rendements satisfaisants. De plus, fort des excellents résultats obtenus à Kipopo, on a trop misé sur les seules souches katan-gaises de T. macrochir et rendalli qu'on a cherché à acclimater partout, négligeant d'utiliser des espèces et variétés mieux adaptées aux climats régionaux et conditions locales. Il est vrai qu'on ne pouvait à l'époque ni choisir ni distinguer sur le vivant les différentes espèces tant étaient encore insuffisamment connues la zoogéographie et la systématique du groupe.

L'exploration et les recherches initiales ont donc fourni la première impulsion à la culture du tilapia, mais l'insuffisance des recherches fondamentales n'a pas permis de soutenir le rythme des succès...

Recherches fondamentales en Institution Scientifique :

Pour sortir la pisciculture de l'ornière, on s'est dès lors orienté vers l'intensification des recherches fondamentales en laboratoire, recommandée par plusieurs conférences internationales, et la Belgique y a pris une large part.

L'analyse comparée des collections et récoltes des poissons morts provenant des différents bassins fluviaux d'Afrique centrale a permis de dresser un tableau bien plus satisfaisant de la distribution, de l'identification et du classement des nombreuses espèces du genre Tilapia (travaux de THYS VAN DEN AUDENAERDE à Tervuren). L'acclimatation de souches en aquarium, et spécialement à l'Aquarium de l'Université de Liège à partir de 1960, a permis d'étudier minutieusement sur des poissons vivants le comportement de reproduction, le développement et la croissance des alevins, les exigences particulières des différentes espèces quand aux qualités physico-chimiques de l'eau; l'inventaire des patrons de coloration a permis de clarifier des points d'identification et de classification demeurés obscurs sur base des critères classiques de mensuration (travaux de RUWET, VOSS, HANON). Les premières souches acclimatées à Liège en 1961, constituées de lots de T. macrochir et rendalli, cédés par le Prof. HUET étaient les descendants directs des premiers poissons récoltés pour la recherche et l'élevage au Luapula-Moëro en 1946; s'y sont ajoutés en 1964 des lots de T. tholloni et guineensis récoltés par J. FRANSSSEN et expédiés via l'Université de Kinshasa; puis de nombreuses espèces (T. niloticus saka, galilaea, mariae, mossambica, zillii, sparmanii) obtenues par échange.

La connaissance des espèces et variétés, du cycle de reproduction, du comportement social et parental, des exigences alimentaires, des préférences quant au milieu était telle que dès 1966, l'Aquarium de Liège pouvait réaliser l'élevage d'une dizaine d'espèces dans les jardins de l'Institut Van Beneden, dans des étangs extérieurs aux bâtiments. Ces étangs étaient alimentés par les eaux des circuits de refroidissement des différents groupes frigorifiques des laboratoires !

C'est cette réalisation ponctuelle, résultat d'une connaissance approfondie du poisson, qui devait conduire aux développements considérables et à caractère pratique évident que détaillent MELARD et PHILIPPART dans leur rapport final.

Recherche appliquée en station d'essai :

MELARD et PHILIPPART ont eu le mérite, rare chez les zoologistes, de ne pas mépriser la recherche appliquée, et de se lancer dans l'action, entourés et secondés par une équipe dynamique qu'ils ont su motiver. Issus du laboratoire d'Ethologie et de l'Aquarium, ils ont su profiter des connaissances fondamentales disponibles. Partant des méthodes d'élevage éprouvées au Congo, choisissant judicieusement les souches les mieux adaptées aux caractéristiques des lieux et des eaux fournies, jouant sur le comportement grégaire, reproducteur et parental des espèces, ils ont visé la rapidité, l'efficacité, la productivité, passant de l'élevage en étangs au grossissement en cages, et de celles-ci à la production en bassins sous serre, maîtrisant et contrôlant les conditions optimales d'oxygénation, température, débit de l'eau; nature, quantité et rythme de distribution de nourriture; densité de mise en

charge des bassins etc. La recherche appliquée a été proprement et rondement menée, et les résultats sont édifiants. Qu'on juge des progrès accomplis sur le plan de la rentabilité et de la productivité, depuis l'époque de la récolte des souches sur les lieux de pêche traditionnels :

- au lac de la Lufira en 1960, 2.000 pêcheurs katangais récoltaient 4.000 t de poissons frais par an dans 400 km², soit un rendement de 100 kg/ha/an;
- lors des premiers essais d'élevage en étang au Congo dans les années quarante et cinquante, les colons et chercheurs obtiennent des productions de 4 à 5 t/ha/an;
- dans les eaux chaudes résiduelles industrielles à Tihange, les chercheurs du CERER obtiennent en cages ou en bassins sous serre des productions équivalant à 200 et 300 t/ha/mois respectivement !

Les progrès sont tellement évidents, les rendements tellement élevés, que les milieux économiques et d'affaires se déclarent intéressés. Une première conclusion s'impose : des zoologistes peuvent donc être les moteurs et les acteurs d'une action novatrice à caractère pratique et à prolongement commercial.

Leçons du passé pour l'avenir :

Une autre évidence, éclatante à mes yeux, doit être soulignée. Cet incontestable succès de la culture intensive du tilapia en bassin n'eut pas été possible en quatre ans sans des dizaines d'années d'exploration sur le terrain et de recherches fondamentales en laboratoire. Sans exploration et recherche fondamentale, la recherche appliquée ne peut rien; elle est condamnée à la routine. La recherche appliquée centrée sur un objet précis met au point les méthodes et techniques permettant d'exploiter au mieux une connaissance. Mais elle ne crée pas cette connaissance. Celle-ci n'est créée que par l'exploration et la recherche fondamentale non dirigée.

L'innovation, dans le domaine de la culture du tilapia, a été créée par les travaux de systématique de Max POLL cherchant à décrire des nouvelles espèces, par les recherches hydrobiologiques de Hubert DAMAS dans les parcs nationaux africains, par leurs émules et élèves cherchant à délimiter les aires géographiques sur le terrain ou à observer le comportement en aquarium.

L'histoire de la domestication des tilapias est ainsi exemplaire de la continuité existant entre l'exploration sur le terrain, la recherche fondamentale en laboratoire, et la recherche appliquée en station d'essai; de la complémentarité entre la recherche pure de la connaissance, et les actions concrètes à prolongement économique.

En période de difficulté économique, les pouvoirs ont tendance à privilégier la recherche appliquée. Au moment où des associations d'intérêts se constituent pour exploiter le savoir-faire des chercheurs tombé dans le domaine public, et faire fructifier le créneau qu'ils ont découvert, il importe de dire clairement que la nouvelle entreprise ne pourra se développer et prospérer que si elle maintient un département recherche. A défaut d'être vivifiée et renouvelée par la recherche, elle est condamnée à la sclérose, puis à la mort, sous la pression d'une concurrence très vive. Un consortium exploitant des fermes d'élevage du tilapia doit, pour demeurer compétitive, entretenir une station de

recherche et d'essai, qui doit elle même s'appuyer sur un laboratoire riche de la diversité de ses souches, de sa documentation, de ses contacts scientifiques sur le terrain et dans les autres laboratoires, de sa liberté d'idées et d'initiative. C'est la filiation organique et l'association journalière du laboratoire d'Ethologie, de l'Aquarium Universitaire, et de la station de Tihange, qui expliquent le plein succès de la section pisciculture du CERER. L'ignorer serait refermer la porte à peine entrouverte sur l'avenir. CAR L'HISTOIRE DE LA DOMESTICATION DU TILAPIA EST-ELLE TERMINEE ?

Certe non ! On comprend bien entendu le souci des mandants qui, ayant la charge de financer une recherche, prennent la sage précaution de fixer des délais et des termes. Trop souvent en effet, des centres de recherches, novateurs au début, se sont installés dans le fonctionnariat, se sont abîmés dans la routine... Mais en quatre ans, le CERER-Pisciculture a obtenu des résultats probants. S'appuyant sur l'expérience belge et liégeoise en matière de tilapia, il a pris une sérieuse avance, et a acquis au service, dans le domaine appliqué, une réputation d'excellence qu'on nous faisait déjà l'honneur de nous accorder dans le domaine fondamental (cf contribution de PHILIPPART et RUWET à la conférence de Bellagio, 1981). Cette avance ne doit pas être perdue au moment où des organismes internationaux assurant les contacts entre scientifiques cherchent à susciter davantage de recherches fondamentales et appliquées. Pour leur part, sans attendre, et dès que les résultats exposés ci-après ont été dégagés et ont donné lieu à des prolongements à caractère économique, les chercheurs ont remis sur le métier leur ouvrage, explorant les voies prometteuses de l'hybridation des espèces (travaux de N'GOKAKA), des traitements hormonaux pour le contrôle des cycles de reproduction, de la sélection d'aliments plus appropriés.

Avec le Tilapia, poisson de la pêche miraculeuse à Tiberiade, "poisson miracle" des pionniers de la pisciculture au Katanga, le miracle peut et doit devenir quotidien. Mais il ne s'agit pas que de lui. Dans le fleuve Congo au Zaïre, il y a 1.000 espèces différentes de poissons dont on ignore presque tout; il y en a autant dans l'Amazonie. Dans le domaine de la culture des poissons, les possibilités sont illimitées.

Transfert Nord-Sud de technologie :

Pour la moralité de la recherche, il reste un mot à dire. La mise au point de techniques de production intensive de tilapia, poisson détritivore-herbivore capable de valoriser des déchets et des sous-produits, permet de combler une lacune de nos possibilités piscicoles indigènes.

Sur base de ces techniques, 8 ha aménagés à Tihange permettraient de supprimer nos importations de poisson d'eau douce de consommation, soit annuellement 8.000 t ou 1 milliard de francs 1981. Un effort supplémentaire permettrait de conquérir des marchés extérieurs et de contribuer à équilibrer notre balance des paiements. Tout cela est bien. Mais certains songent à réexporter du tilapia de consommation de serre européen ou américain vers ses pays d'origine en Afrique. Ce serait le comble de l'immoralité, le summum du pillage du tiers-monde. Les souches récoltées en Afrique, étudiées et valorisées ici, doivent être utilisées au bénéfice commun. C'est la raison pour laquelle nos services se sont

largement ouverts aux chercheurs, doctorants et stagiaires africains. Le service d'Ethologie, l'Aquarium, la station de Tihange ont fonctionné comme une école pratique de formation de techniciens et scientifiques belges et étrangers. C'est pourquoi il me semble que tant les organismes de développement régional que ceux qui ont pour vocation les transferts de technologie doivent être sensibles à nos conceptions de cette chaîne indissociable entre recherche fondamentale, recherche appliquée, formation et vulgarisation, transfert des connaissances. Si le transfert des connaissances pouvait s'accomplir à la satisfaction de tous, il me semble que la recherche aurait trouvé et sa justification économique, et sa justification morale.

Prof. J.CI. RUWET

24 février 1982

LA PRODUCTION DE TILAPIA
DE CONSOMMATION DANS LES
REJETS INDUSTRIELS D'EAU
CHAUDE EN BELGIQUE

Bilan 1977-1981 des recherches de la section pisciculture du
C.E.R.E.R.
(Centre d'Etudes pour la Récupération des Energies Résiduelles)
Convention IRSIA N° 3520 a

par

CH. MELARD, Lic. Sc. Zoologiques ULg,
Attaché de Recherche IRSIA.

et

J.-C. PHILIPPART, Dr. Sc. Zoologiques ULg,
Chercheur qualifié FNRS.

On également participé à la réalisation de ce projet :

- Didier BISSCHOPS, technicien IRSIA du CERER-pisciculture de 1977 à ce jour;
- Gilles RIMBAUD, ingénieur industriel ISIL-Waremme, attaché de recherches IRSIA du 1/12/1980 au 30/9/81;
- Stéphane LEFEVRE, technicien IRSIA du CERER horticulture de 1977 à ce jour;

Les membres du C.S.T. n° 11.401 du 1 mars 1981 :

- Gilles RIMBAUD, précédemment cité, du 1/10/81 au 31/03/82;
- Christian DUCARME, Lic. Sc. Zoologiques UCL, du 1/04/81 au 31/03/82;
- Antonio SOLAGNA, Ingénieur-ind. ISIL-SERAING, du 1/04/81 au 31/03/82;
- Chinh DANG VU, Lic. Sc. Administration des Affaires, du 1/04/81 au 30/09/81.

De nombreuses personnes (étudiants thésiens ou stagiaires, membres du Service d'Ethologie-Aquarium, et d'autres collègues scientifiques) ainsi que des sociétés privées ont participé d'une manière ou de l'autre aux recherches du CERER. En voici la liste.

A. Stages et travaux de fin d'étude

Zoologistes Université de Liège

- C. VERTHE : mémoire de licence (1978-1979)
- N. DALIMIER : mémoire de licence (1980-1981)
- J.C. HAVAUX : stage de spécialisation en pisciculture (1979)
- V. KREIT-BERNARD : stage de spécialisation en pisciculture (1979)
- C. N'GOKAKA : stage de spécialisation en pisciculture (1979)
- M. VRANKEN : stage de spécialisation en pisciculture (1979)

Ingénieurs agronomes FSA Gembloux

- J.P. MARQUET : mémoire de fin d'étude (1978)
- C. RUSHAYGII : stage de spécialisation en pisciculture (1981-1982)

Ingénieur commercial HEC Liège

- Y. PIRLET : mémoire de fin d'étude (1979)

Ingénieurs industriels-techniciens IPETA Ath

- B. JAVAUX : stage et travail de fin d'étude (1981-1982)
- A. MASSART : stage et travail de fin d'étude (1980)

Institut Supérieur Industriel de l'Etat à Huy

- P. KOOLE : stage et travail de fin d'étude (1977-1978)
- S. HACIA : stage et travail de fin d'étude (1981-1982)
- M. LIBOIS : stage et travail de fin d'étude (1981-1982)
- E. BAUCHAU : stage (1980)
- J.P. THIERRY : stage (1981)

ISIL Waremme

- P. DESTINEZ : travail de fin d'étude (1980-1981)
- L. MOSTAERT : stage et travail de fin d'étude (1981-1982)
- A. KEMPENEERS : stage et travail de fin d'étude (1981-1982)
- E. NYOKA : stage en pisciculture (1981)

Techniciens en pisciculture

- P. ROTY : école de pisciculture de Annecy, France (1981)
- V. HOLLEVOUT : école de pisciculture de Guerande, France (1982)

B. Analyses et prêt de matériel d'analyse

Mr BEUKEN, de la Centrale de Tihange I
Mr KIRCHMANN, du Centre d'Etude Nucléaire à Mol
Mme BONIJN, du Centre d'Etude Nucléaire à Mol
Mr BOUQUEGNEAU, du Laboratoire d'Océanologie de l'U.Lg.
Mr DE JONCKHEERE, de l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie à Bxl
Mr VAN BENEDEN, de l'Institut Malvoz à Liège

C. Aide technique et administrative

Le Personnel technique et administratif du Service Ethologie animale-
Aquarium de l'U.Lg.

Mme KERSCHIETTER M.

Mr VAN BRABANT A.

Mr HOUBART S.

Mr HENROTTE J.

Mr HUMPERTS Ph.

Le Personnel technique de la Centrale de Tihange I et II.

D. Filmographie

MM. DAVENNE J.M. & HANON L. Dr Sc. Zool., du Service d'Ethologie
animale de l'U.Lg

E. Aide scientifique

MM. VOSS J., Conservateur de l'Aquarium de l'U.Lg et FRANSSSEN J.,
Dr. Sc. Zool., Professeur à l'Université de Kinshasa, Zaïre.

F. Aide de la part d'entreprises privées

S.P.R.L. GABRIEL, Ligneuville (prêt de bassin et fourniture de pois-
sons)

S.A. AIR LIQUIDE, Liège (prêt d'un système d'oxygénation)

Ets. SAGNIER, Gerpinnes (prêt d'un système d'aération)

Ets. JOURDAN, Limal (fourniture de poissons tropicaux)

S.A.R.L. TATE & LYLE-AQUACULTURE.



Ce projet de recherche a été subsidié conjointement par l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (IRSIA) et par la Société Intercommunale Belge d'Electricité (INTERCOM) représentée notamment par M. ORBAN, Directeur commercial à Liège et par M. GODEFROID.

Ce rapport présente les résultats de quatre années (1977-1981) de recherches sur l'élevage intensif d'un poisson tropical, le tilapia du Nil (Sarotherodon niloticus) en utilisant des rejets thermiques industriels, en l'occurrence les eaux de refroidissement de la centrale électronucléaire (870 MW) de Tihange I sur la Meuse.

L'espèce de tilapia sélectionnée pour l'expérience s'est remarquablement bien adaptée à ce type d'eau chaude industrielle, caractérisé par une bonne qualité chimique et biologique initiale (pollution moyenne du fleuve) et par des températures supérieures à 21°C (seuil de croissance et de reproduction) pendant 9 mois par an (de mars à novembre). Le problème critique de l'hivernage (moins de 15°C, notamment pendant l'arrêt hivernal programmé de la centrale) a été résolu par l'utilisation d'un système de stockage en circuit fermé avec chauffage conventionnel.

Au plan de la biotechnologie de l'élevage, des résultats significatifs ont été obtenus dans le domaine de la production massive d'alevins et dans celui de la maximalisation de la croissance- production. En élevage monosexé (mâles) et dans les conditions optimales de température (25-30°C), d'oxygénation, de densité et charge en poissons et d'alimentation artificielle, un tilapia de 300-350 g est produit à partir de l'oeuf en 8-9 mois. Les rendements obtenus sont en moyenne 0,5 kg/m³ de bassin et par jour et 11 g/m³ par heure de débit d'eau; sur cette base, un volume total de 90-100 m³ d'eau à 27-31°C est nécessaire pour produire 1 kg de tilapia.

Après que les analyses n'eurent révélé aucune teneur anormale en métaux lourds et en radionucléides, les tilapias produits expérimentalement à Tihange furent, dès 1978, commercialisés avec succès dans divers restaurants locaux. Mais la concrétisation commerciale des recherches s'est surtout traduite par l'installation (en 1980) d'une ferme piscicole pilote qui a produit en 1981 douze tonnes de tilapias, en majorité exportés vers des pays voisins. Un grand projet commercial en cours de réalisation vise de porter la production annuelle à 50 tonnes et même plus si le marché se confirme.

La recherche-développement relative au projet tilapia se poursuit actuellement dans trois directions :

- i) l'amélioration de certaines phases de l'élevage dans les conditions existant à Tihange;
- ii) l'extension de la biotechnologie "tilapia" à d'autres types d'eaux chaudes en Belgique (autres rejets industriels, eaux géothermales, chauffage solaire) et,
- iii) le transfert des connaissances en matière d'élevage des tilapias vers les pays disposant d'eaux chaudes naturelles.

SUMMARY

This report presents the results of a four years (1977-1981) research project dealing with the intensive breeding of the Nile tilapia (*Sarotherodon niloticus*) in the heated effluent from a belgian nuclear power plant (Tihange I, 870 MW; on the River Meuse).

The tilapia species selected for this experiment showed a remarkable adaptation to this type of warm industrial water, the main characteristics of which are a good chemical and biological quality and, secondly, temperatures higher than 21°C (lower limit for growth and reproduction) for nine months a year (from March to November in average). The critical problem of overwintering tilapia fry and brood stock (temperature less than 15°C sometimes during the winter and early spring) could be solved by using a semi-closed recirculating system with conventional heating.

As far as the biotechnology of intensive breeding tilapia in tank is concerned, significant results were obtained in the mass production of fry and the maximalization of growth and production rates. When employed under optimal conditions with regard to temperature (25-30°C), oxygen supply, density and loading of fish and artificial feeding, the monosex (male) culture allows a market size 300-350 g tilapia to be produced from egg in 8-9 months. The average productions are 0,5 kg/m³ of tank per day and 11 g per cubic meter per hour of water flow; taking this figure as a basis for an extrapolation, a total volume of 90-100 m³ of warm water (27-31°C) is needed to produce 1 kg of tilapia.

Analysis showed that the heavy metal and radionuclides content of the tilapia produced is below the level permitted by law. Since 1978, the research production of tilapia (\pm 1 ton/year) is successfully offered to local restaurants. But a real commercial development of the belgian tilapia project commenced in 1980 when a pilot tilapia farm was builded at Tihange by a private company; the 12 tons of tilapias produced in 1981 were principally exported to neighbouring countries (France, Switzerland).

A larger project combining tilapia and carp breeding (400-500 tons/year) will probably start running by late 1982 in connection with the availability of warm water from a second nuclear unit on the site.

The research and development programme relating to the belgian tilapia project is now being continued with three objectives

- i) to improve certain aspect of tilapia breeding on the Tihange site itself,
- ii) to develop the tilapia culture in other kinds of warm water in Belgium (geothermal water, solar heating),
- iii) to transfer the know-how in tilapia culture to tropical countries.

SOMMAIRE

1. <u>INTRODUCTION</u>	15
2. <u>MATERIEL ET METHODES</u>	21
2.1. Infrastructure	21
2.2. Origine des <u>S. niloticus</u> utilisés à Tihange	25
2.3. Méthodes de mesure et de calcul	26
3. <u>CARACTERISTIQUES THERMIQUES ET CHIMIQUES DE L'EAU UTILISEE</u>	28
3.1. Température	28
3.1.1. Température moyenne de l'eau de refroidissement de la centrale (période 1977-1980)	28
3.1.2. Températures moyennes hebdomadaires de l'eau alimentant la pisciculture	29
3.1.3. Dissipation de calories par la pisciculture	29
3.1.4. Interruption de la fourniture d'eau chaude	30
3.1.5. Condition d'utilisation de l'eau réchauffée selon les espèces	30
3.2. Oxygène dissous	34
3.2.1. Cycle annuel d'oxygène dissous	34
3.2.2. Disponibilité en oxygène dissous pour différentes espèces	34
3.3. Valeur piscicole de l'eau	37
3.3.1. Caractéristiques naturelles, pollution organique et eutrophisation	37
3.3.2. Pollution minérale et par toxiques chimiques	40
3.3.3. Chloration par la centrale	41
3.3.4. Bioaccumulation	42
3.4. Caractéristiques biologiques de l'eau à Tihange	44
3.4.1. Analyses microbiologiques	44
3.4.2. Phytoplancton	44
3.4.3. Zooplancton	46
3.4.4. Poissons	46
4. <u>ANALYSE DES PRINCIPALES PHASES DE L'ELEVAGE INTENSIF DE S. NILOTICUS</u>	47
4.1. Mortalité	47
4.2. Reproduction et production d'alevins	49
4.2.1. Biologie de la reproduction	49
4.2.2. Alevinage en étang et triage manuel des mâles	50

4.2.3.	Production massive d'alevins en circuit semi-fermé	51
4.2.4.	Comparaison des rendements de reproduction obtenus avec différents systèmes	52
4.2.5.	Production d'alevins 100% mâles par inversion hormonale du sexe	53
4.2.6.	L'hybridation	54
4.2.7.	Essais d'incubation et de reproduction artificielles	54
4.3.	Alimentation	55
4.3.1.	Aliments utilisés	55
4.3.2.	Mode de distribution des aliments	56
4.3.3.	Calcul de la ration journalière de nourriture	56
4.4.	Croissance	57
4.4.1.	Dimorphisme sexuel de la croissance	57
4.4.2.	Taux de croissance	59
4.5.	Capacité de charge des bassins	69
4.5.1.	Cycle journalier de l'oxygène dissous et de l'ammoniaque dans les bassins	70
4.5.2.	Consommation d'oxygène en fonction de la taille	70
4.5.3.	Courbes de charge en fonction du poids moyen	70
4.5.4.	Autres facteurs conditionnant la charge optimale pour la croissance	75
4.6.	Production	75
4.7.	Taux de conversion de la nourriture	77
4.7.1.	Influence de la ration journalière de nourriture	77
4.7.2.	Influence du type de nourriture	80
4.7.3.	Influence du mode de distribution et de la fréquence de nourrissage.	80
4.7.4.	Influence de la densité et de la biomasse	82
4.7.5.	Influence du débit et du taux d'oxygénation de l'eau	82
4.7.6.	Taux de conversion moyen	82
4.8.	Stockage hivernal en circuit semi-fermé	83
4.9.	Qualité organoleptique des tilapias	87
4.10.	Commercialisation	87
4.10.1.	Production de recherche du CERER-Pisciculture	87
4.10.2.	Installation d'une exploitation pilote piscicole privée à Tihange	90
4.11.	Optimisation globale du système de production	90
4.11.1.	Contrôle du régime thermique	92
4.11.2.	Amélioration des performances intrinsèques de croissance	93
4.11.3.	Oxygénation d'appoint	102
4.11.4.	Amélioration de l'alimentation	103
4.11.5.	Amélioration des types de bassin d'élevage	103

5. <u>CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES</u>	104
5.1. Les potentialités des tilapias	104
5.2. Les contraintes	105
5.2.1. Les contraintes écologiques et sanitaires	105
5.2.2. Les contraintes culturelles	106
5.2.3. La rentabilité économique	107
5.3. Les perspectives	108
6. <u>FILMOGRAPHIE</u>	109
7. <u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	110

ANNEXE I : Bibliographie du Tilapia; les publications du service
Ethologie-Aquarium de l'Université de Liège (1961-1982)117

1. INTRODUCTION

L'AQUICULTURE, c'est-à-dire la culture des plantes et l'élevage d'animaux (spécialement de poissons : PISCICULTURE) aquatiques, connaît actuellement un essor considérable sous l'impulsion de divers facteurs :

- Une stagnation dans l'exploitation des ressources biologiques de la mer et des eaux douces : les pêches mondiales plafonnent aux environs de 70 millions de tonnes depuis 1979 (10% des protéines consommées par l'homme)
- L'irrégularité de la fourniture des produits de la pêche et leur renchérissement (augmentation du coût du carburant pour les bateaux, raréfaction des espèces surexploitées).
- La prise de conscience de la nécessité de passer de la simple cueillette des produits aquatiques à leur élevage rationnel.
- La connaissance, via les apports de la recherche écologique, du fait que certains organismes aquatiques sont plus efficaces que beaucoup d'organismes terrestres pour convertir l'énergie (solaire ou alimentaire) et produire des protéines de valeur.

Un des avantages biologiques majeurs des poissons est qu'ils constituent un système de production de protéines animales d'une remarquable efficacité : en conditions intensives d'élevage similaires, les poissons présentent une conversion alimentaire de loin supérieure à celles des animaux domestiques terrestres (Tableau 1).

Tableau 1 : Efficacité de quelques productions animales en g de protéines produites par unité d'énergie digestible consommée (en mégacalories) (d'après RUMSEY, 1978 in BILLARD, 1979).

Systeme de production	g. de protéines produites par unité d'énergie consommée (Mcal)
Boeuf	2,3
Porc	6,4
Oeufs	10,1
Poulet	15,9
Poisson	40,0

Cette supériorité des poissons tient à plusieurs facteurs :

- Comme poecilothermes ou animaux à température variable, les poissons ne doivent pas couvrir des besoins de régulation thermique aussi élevés que les homéothermes (oiseaux, mammifères).
- Les besoins et les dépenses de locomotion sont plus réduits chez les poissons que chez les animaux terrestres.
- Les poissons éliminent (surtout par les branchies) les déchets azotés

PHOTO 1 : *S. niloticus* de 600 g produit à la station de pisciculture de Tihange.

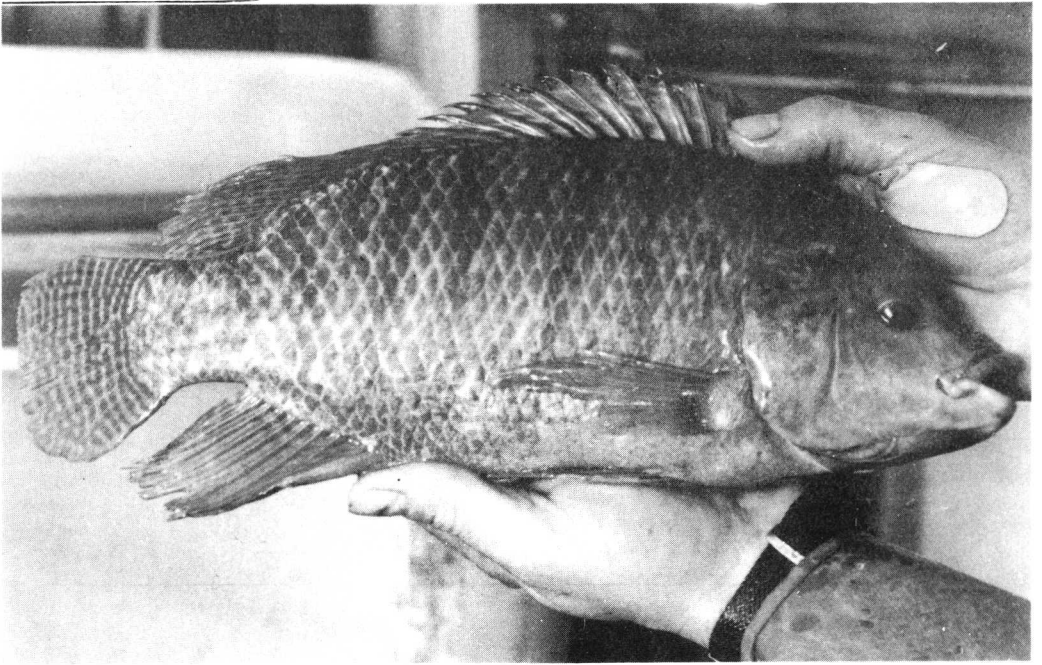


PHOTO 2 : Vidange d'un bassin d'élevage intensif de *S. niloticus*.

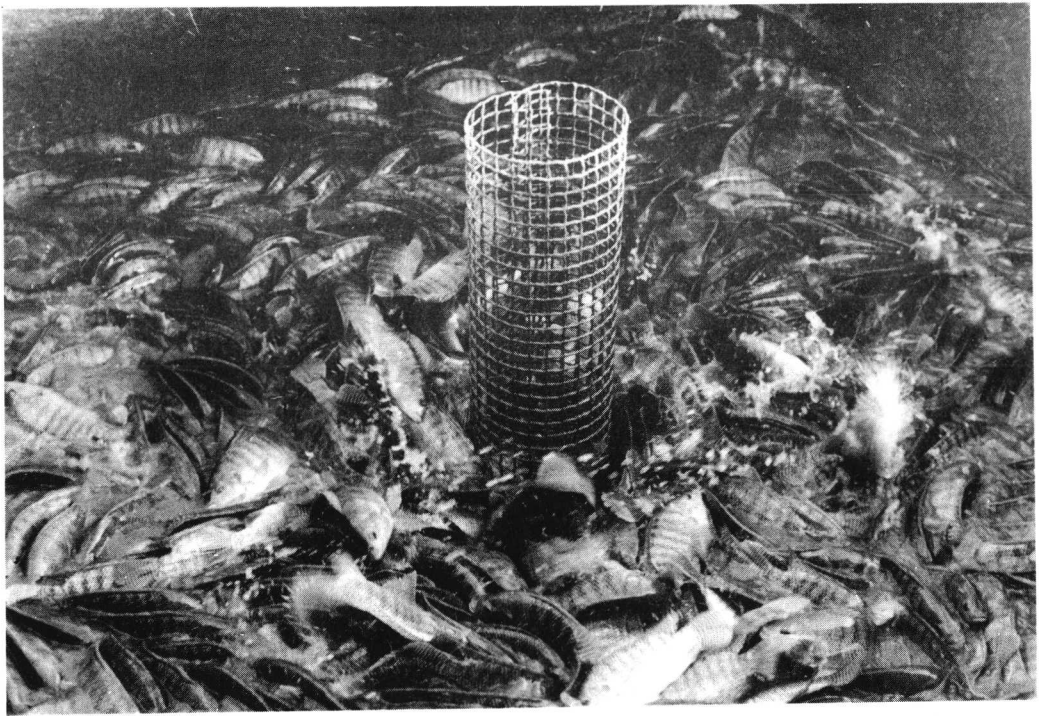


Tableau 2 : Bilan des observations effectuées sur les espèces de poissons étudiées à la station de pisciculture en eau chaude de Iihange (1977-1981).

ESPECES	NOMS COMMUNS	OBSERVATIONS
A. POISSONS TROPICAUX		
<u>Sarotherodon niloticus</u>	Tilapia du Nil	Très intéressant pour la production intensive; a été sélectionné pour tester le système d'élevage intensif en eau chaude. Il fait l'objet du présent rapport.
<u>Sarotherodon aureus</u>	Tilapia doré	Très intéressant pour la production intensive et pour l'hybridation avec <u>S. niloticus</u>
<u>Sarotherodon mossambicus</u>	Tilapia du Mozambique	Peu intéressant pour la production (croissance lente); abandonné.
<u>Sarotherodon galileus</u>	Tilapia de Galilée	Peu intéressant pour la production (croissance lente); abandonné.
<u>Tilapia guineensis</u>	Tilapia de Guinée	Pas intéressant pour la production (croissance lente, petite taille, très agressif); abandonné.
<u>Tilapia zillii</u>	-	
<u>Tilapia rendalli</u>	-	
<u>Clarias lazera</u>	Poisson chat africain	Très intéressant pour la production intensive (croissance rapide, régime alimentaire très nettement herbivore).
<u>Lebistes</u>	Guppy	Très intéressant au point de vue de la rapidité de croissance mais problème d'adaptation en élevage intensif et reproduction difficile.
<u>Xiphophorus spp</u>	Xipho	Intéressant comme poisson ornemental, très facile à reproduire.
<u>Hybride</u>	Carpe koï	Intéressant comme poisson ornemental, très facile à reproduire.
B. POISSONS INDIGENES		
<u>Cyprinus carpio</u>	Carpe commune, cuir, miroir	Très intéressante pour la production intensive et la production d'alevins (rempoissonnement).
<u>Anguilla anguilla</u>	Anguille	Intéressante pour la production intensive en eau chaude mais gros problèmes biologiques (maladies, croissance lente, carnivore).
<u>Salmo gairdneri</u>	Truite arc-en-ciel	Uniquement intéressante pour la production intensive en hiver (poursuite de croissance)
<u>Salmo trutta fario</u>	Truite fario	Trop sensible à la température et à la qualité de l'eau de Meuse; abandonnée.
<u>Silurus glanis</u>	Silure glane	Potentiellement intéressant; étude en cours depuis novembre 1981.
<u>Rutilus rutilus</u>	Gardon	Intéressant pour la production d'alevins (rempoissonnement), mais ceux-ci sont très fragiles et supportent peu les manipulations.
<u>Gobio gobio</u>	Goujon	Intéressant pour la production de poisson amorce; reproduction aisée et croissance rapide en eau chaude.
<u>Tinca tinca</u>	Tanche	Potentiellement intéressante pour la production d'alevins (rempoissonnement) et la croissance - production. Etude prévue en 1982.

sous la forme d'amoniaque, ce qui est biochimiquement plus économique que chez les animaux terrestres (excrétion d'urée et d'acide urique par les reins).

La révolution bleue de l'aquiculture revêt de multiples aspects selon les régions du globe considérées (BARDACH et al., 1973; BILLARD 1979; PILLAY, 1977). Pour les pays industrialisés à climat froid ou tempéré, une voie particulièrement prometteuse est l'exploitation des quantités formidables d'eaux résiduelles à basse température (15-50°C) produites en tant que déchets physiques (généralement source de pollution thermique des milieux aquatiques récepteurs) par diverses industries (sidérurgie, chimie, verreries, industries du bois, industries alimentaires) et surtout par les centrales électriques classiques et nucléaires (BACKIEL, 1981). Il est bon de rappeler, par exemple, qu'une centrale nucléaire de 870 MW comme Tihange I rejette (en vertu du principe de Carnot) chaque jour, plus de deux millions de m³ d'eau (33 m³/sec) réchauffée de 12°C par rapport à la Meuse. Ce rejet thermique équivaut à la quantité d'eau chaude à même température qui pourrait être produit en brûlant 3.400 tonnes de fuel par jour !

C'est en mars 1977 qu'à l'initiative de la Société d'électricité INTERCOM et avec l'appui de l'IRSIA, notre laboratoire a entrepris les premières recherches belges dans ce domaine (MELARD & PHILIPPART, 1981; PHILIPPART & MELARD, 1980a, 1980b; PHILIPPART, 1980).

Les recherches du CERER portent ou ont porté sur plusieurs espèces européennes conventionnelles et sur des espèces tropicales (Tableau 2) mais, par souci d'innovation, l'essentiel du projet a d'emblée été centré sur le tilapia (et plus exactement sur le Tilapia du Nil (cf. page 10) en vue de la production d'un poisson de table. Ce choix qui fait que ce projet de recherche débouche sur la première exploitation commerciale du tilapia en Europe fut dicté par plusieurs facteurs :

1. L'existence dans les pays voisins (France, Pays-Bas, Allemagne, Grande-Bretagne) de projets de recherche et de projets commerciaux bien avancés concernant des espèces conventionnelles telles que la truite, la carpe et l'anguille (ASTON & BROWN, 1978; FOULQUIER & DESCAMPS, 1979; HUISMAN & GORTER, 1974; KUHLMANN, 1976).
2. Les avantages écologiques et bioénergétiques fondamentaux des tilapias (herbivores) leurs qualités alimentaires et nutritives (excellente chair, pauvre en sodium et en graisse) et leurs avantages majeurs au point de vue de la technologie de l'élevage.
3. Les connaissances de notre laboratoire dans le domaine de la biologie du tilapia (recherches fondamentales en Afrique et à Liège depuis 1960) et l'infrastructure immédiatement disponible à l'Aquarium de l'Institut de Zoologie ainsi que les souches de poissons qui y étaient conservées (RUWET & VOSS, 1974; RUWET & al., 1976) (cf.annexe I).
4. La perspective de valoriser les résultats de la recherche à trois niveaux :
 - a) commercialisation en Belgique où ce poisson était connu dans le milieu des personnes ayant vécu au Zaïre, ex Congo belge (les Belges furent d'ailleurs parmi les premiers à promouvoir l'élevage du tilapia en Afrique dès les années 40 : DE BONDT, 1948, 1950; HUET, 1957; HALLAIN 1972, THYS VAN DEN AUDENAERDE 1963, 1968).

- b) contribution à l'accroissement de la production nationale (Tableaux 3 & 4) destinée même à l'exportation vu la nouveauté du produit et l'existence de marchés dans les pays voisins,
- c) mise au point de techniques d'élevage transférables dans les pays naturellement chauds du globe où le tilapia connaît un succès croissant, tant pour la pisciculture rurale (problème de la carence en protéines dans les pays en développement) que pour la pisciculture industrielle.

Tableau 3 : Consommation (Home Market = Importations - Exportations + Production) des poissons d'eau douce en Belgique. Situation 1980. Source : I.N.S.

Espèces	1000 t	%	1000 Fr	%	Prix au* kg (Fr)
Truites	4.669	45,60	457.562	37,18	98
Saumons	2.122	20,70	412.273	33,51	194
Autres salmonidés	75	0,73	9.652	0,78	129
Anguilles	1.562	15,30	232.451	18,89	149
Poissons d'ornement et d'aquarium	72	0,70	52.664	4,28	731
Autres poissons (bro- chets, carpes, perches gardons etc...)	1.730	16,90	65.740	5,34	38
TOTAL	10.230	99,93	1.230.342	99,98	120

* ordre de grandeur

Le présent dossier qui se rapporte à la période mars 1977-novembre 1981, dresse un bilan complet des recherches sur le tilapia effectuées par notre service au CERER-Pisciculture à Tihange; il vise surtout à mettre en évidence les problèmes liés à toute forme d'élevage intensif d'un poisson (qu'il s'agisse de tilapia, de carpe ou de truite) et ceux qui sont plus spécifiquement associés au développement d'une biotechnologie tout à fait nouvelle au plan national (l'élevage des poissons en eau chaude) et européen (l'élevage du tilapia).

Tableau 4 : Détail des importations, exportations et productions de poissons d'eau douce en Belgique en 1980
(y compris le marché luxembourgeois qui représente 5% du total). Source : I.N.S.

Espèces	Importations		Exportations		Différence		Production 1000 kg
	1000 kg	1000 Fr	1000 kg	1000 Fr	1000 kg	1000 Fr	
Truites	5.261	491.518	942	99.032	4.319	392.486	(350)
Saumons	2.286	456.417	165	44.144	2.122	412.273	néant
Autres salmonidés	82	10.486	7	834	75	9.652	insignifiant
Anguilles	1.626	244.903	64	12.452	1.562	232.451	insignifiant
Carpes	643	36.466	458	29.474	185	6.992	(1)
Poissons d'aquarium	114	83.514	42	30.850	72	52.664	?
Autres poissons	1.101	45.984	56	5.541	1.045	40.443	(2)
Total	11.113	1.369.288	1.734	222.327	9.380	1.146.961	(850)

(1) + (2) = environ 500 tonnes par an sur 2.000 ha d'étangs exploités en extensif.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Infrastructure

La station de recherche du CERER (Fig. 1) est située à côté de la centrale nucléaire de Tihange I (type PWR de 870 MW circuit de refroidissement ouvert) qui, en activité maximale, rejette 33 m³/sec d'eau réchauffée de 12°C par rapport à la température naturelle de la Meuse.

Lorsque le débit du fleuve est inférieur à 100 m³/sec, la centrale fonctionne en circuit semi-fermé (réfrigérants atmosphériques à tirage forcé) et la température de l'eau à la sortie des condenseurs peut être supérieure de 20°C à celle de la Meuse.

L'eau de refroidissement est pompée, à raison de \pm 400 m³/h (capacité maximale : 800 - 1.000 m³/h), à la sortie des condenseurs de la centrale avant les rejets autorisés d'eau tritiée et d'autres produits radioactifs et envoyée sans filtration préalable, vers le centre de recherche qui utilise effectivement 100 - 150 m³/h et depuis 1980 vers une ferme pilote de production commerciale.

Un système de régulation thermique automatique composé d'un chauffage d'appoint au fuel (300.000 Kcal), de deux sources froides (100 m³/h d'eau de Meuse et 50 m³/h d'eau de puits à 13-15°C), de vannes mélangeuses automatiques permet de maintenir la température dans des limites de sécurité fixées à 17°C et 31°C.

Pour étudier les problèmes posés par l'arrêt de la fourniture d'eau chaude pendant l'hiver, on dispose en outre d'un système de pisciculture en circuit fermé comprenant un bassin de préfiltration-décantation (1,5 m³), un filtre biologique sur gravier-argex (4 m³) et un appoint d'eau chaude (chaudière) ou froide (eau de nappe) pour maintenir la température (25-26°C) et le niveau d'eau dans le filtre (Fig. 2 & 3).

L'infrastructure nécessaire pour certaines expériences (reproduction, inversion du sexe, hybridation) et pour la maintenance des souches est fournie par un circuit fermé autonome d'une capacité totale de 4 m³ de bassins installé à l'Institut de Zoologie de l'Université de Liège.

L'infrastructure d'élevage au CERER-Tihange comprend :

- * une serre-abri (7,5 m X 33 m) contenant (photos 3 et 4),
18 bassins de production et de stockage de 2 m³/4 m²,
4 bassins d'alevinage de 1 m³/5 m²,
4 bassins d'alevinage de 0,5 m³, soit un volume total de 42 m³.
- * 2 grands bassins circulaires de 10 m³ et trois bassins longitudinaux de 2 m³/4 m² installés à l'extérieur (voir Fig. 1).
- * 3 étangs en terre de 150 m² (reproduction, alevinage, élevage en cage) et 2 étangs peu profonds de 100 m² (reproduction, alevinage).

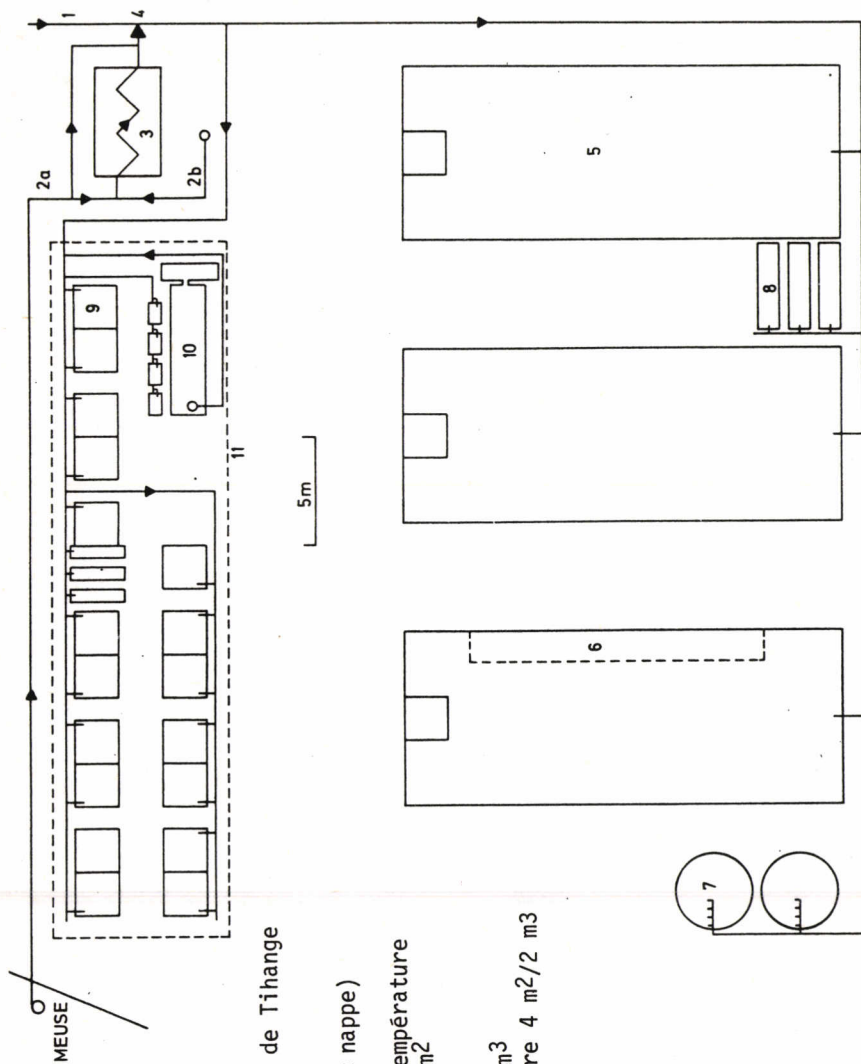
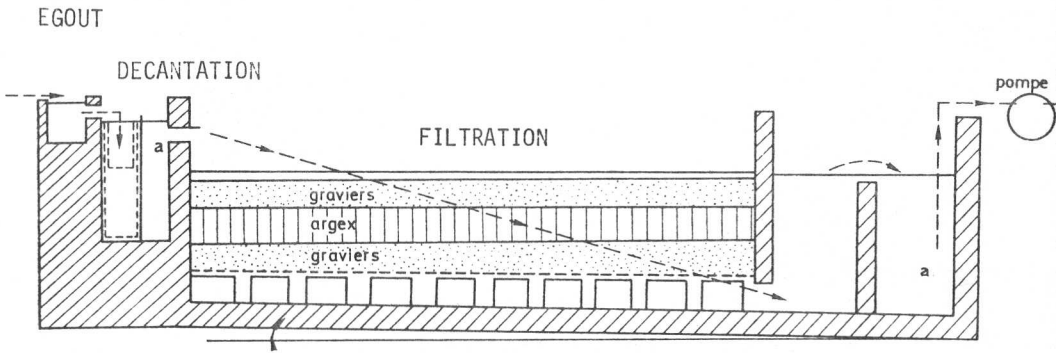


Fig. 1 : Station piscicole de Tihange

1. Eau de centrale
2. Eau froide (a: Meuse; b: nappe)
3. Chaudières d'appoint
4. Vanne régulatrice de température
5. Etang en terre de 150 m²
6. Enclos de reproduction
7. Bassin circulaire 7 m³
8. Bassin longitudinal 2 m³
9. Bassin en fibre de verre 4 m²/2 m³
10. Filtre biologique
11. Serre piscicole.

Fig. 2 : Vue en coupe du système de filtration



a : aération

Fig. 3 : Schéma général du circuit semi-fermé

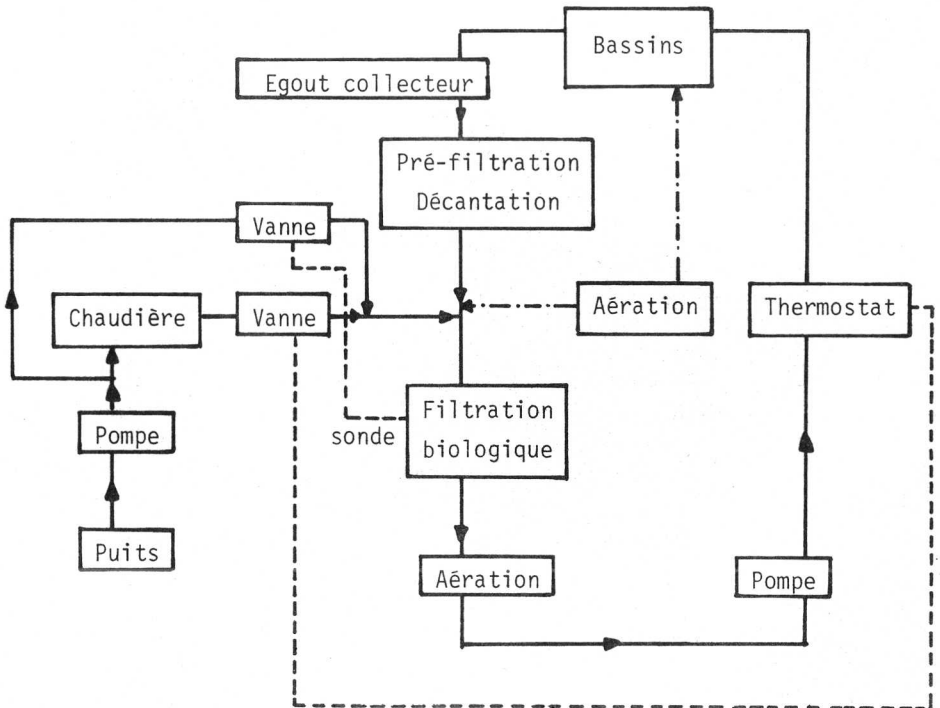


PHOTO 3 : Vue générale de la "Serre piscicole".



PHOTO 4 : Vue sur un bassin d'élevage 4 m² ; 1 m³.

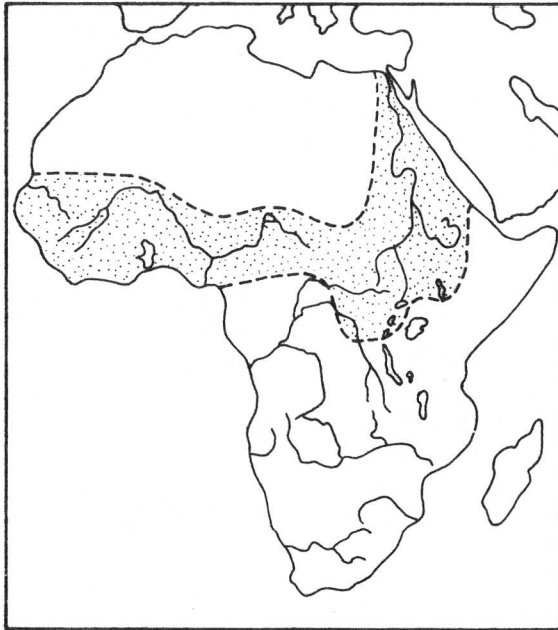


2.2. Origine des *S. niloticus* utilisés à Tihange

Les *S. niloticus* utilisés dans les essais proviennent en partie du stock qui existait à l'Aquarium de l'Institut de Zoologie (origine : station piscicole de Bangui, République Centrafricaine) et en partie d'une récolte effectuée en mars 1977 dans une pisciculture de Kinshasa au Zaïre; les points de récolte des poissons sont situés dans le bassin du Zaïre, le premier à l'intérieur de l'aire de répartition originelle de l'espèce (cf. Carte 1), le second en dehors (transfert).

La première introduction de *S. niloticus* dans les eaux réchauffées de la Meuse a eu lieu le 23 avril 1977; le lot initial comprenait environ 200 poissons.

Jusqu'à présent, la nécessité ne s'est pas manifestée de vérifier si les *S. niloticus* élevés à Tihange correspondaient bien à l'espèce pure; les bonnes croissances obtenues et les résultats de l'hybridation avec des *S. aureus* "purs" venant d'Israël (cf. page 86), permettent de penser qu'il s'agit d'une souche de très bonne qualité génétique. Le recours plus systématique à l'hybridation va exiger néanmoins une caractérisation génétique précise des souches de Tihange par la mise en oeuvre de techniques d'identification électrophorétiques (AVTALION et al. 1976).



Carte 1 : Aire de répartition originelle de *S. niloticus* (d'après BALLARIN 1979).

2.3. Méthodes de mesure et de calcul

La température dans les différentes installations est contrôlée grâce à des enregistrements continus au moyen de thermographes mécaniques ou de sondes thermiques (Data logger 1000 Digitec). La teneur en O_2 est mesurée en continu à l'entrée et à la sortie d'un bassin (Beckman 8720 Dissolved Oxygen Recorder); des mesures ponctuelles d'oxygène (Lovibond; Oxyport QMI 10T) et de pH (pH mètre Cole-Parmer) sont effectuées dans tous les bassins une ou plusieurs fois par jour. Les autres contrôles chimiques de routine (ammoniacque, nitrite, nitrate, conductivité électrique, matière en suspension) sont effectués au moyen de la trousse Hach modèle DR-EL/2 avec spectrophotomètre.

Les méthodes analytiques classiques ont été utilisées lors des études portant sur le fonctionnement du circuit fermé en 1981 (DESTINEZ, 1981) et sur la pollution organique résultant de l'élevage intensif en circuit ouvert (KEMPENEERS, étude en cours).

Le contrôle des poissons est effectué à intervalles de 7, 15 ou 30 jours selon les expériences. En bassin et en cage, les poissons sont pesés globalement, mais un échantillon de 60 individus sont mesurés et pesés individuellement.

La croissance en poids est exprimée en g/j/individu (g/j/ind.) ou par le coefficient instantané de croissance rapporté à un jour

$$(G = \frac{\ln \text{ poids moyen final (g)} - \ln \text{ poids moyen initial (g)}}{\text{temps en jours}} \times 100)$$

ou par le taux spécifique de croissance

$$(T.S.C. = \frac{\text{poids moyen final (g)} - \text{poids moyen initial (g)}}{\text{poids moyen initial} \times \text{temps en jours}} \times 100).$$

La densité et la biomasse représentent respectivement le nombre (N) de poissons et leur poids total (B) par unité de surface ou de volume d'étang ou de bassin. La charge (loading) est la biomasse rapportée à une unité de débit; elle est exprimée en kg/litre par minute ($kg/l \text{ m}^{-1}$).

La production pendant une période donnée est mesurée par la différence entre les biomasses finale et initiale; elle est exprimée par rapport à une surface ou un volume de bassin, un débit d'eau ($g/m^3 \text{ h}^{-1}$), un apport d'oxygène ($kg/kg \text{ O}_2$).

Le taux de conversion (T_c) est le rapport de la quantité de nourriture (kg) distribuée à la quantité de poisson produite (kg en poids humide) pendant une période donnée. La ration journalière (R_j) est la quantité de nourriture distribuée en un jour, en % du poids humide du poisson.

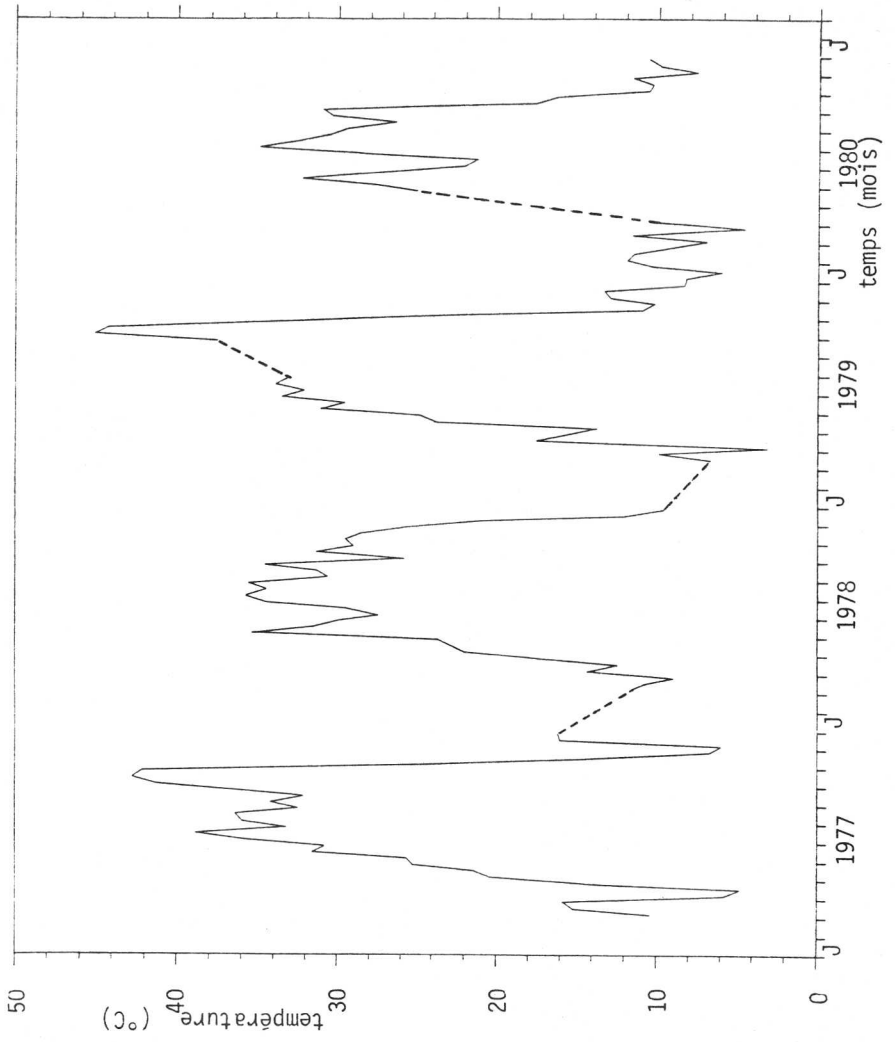


Fig. 4 : Cycle saisonnier de la température de l'eau (moyennes décadaires) à la sortie du condenseur de la centrale en 1977, 1978, 1979 et 1980.
 -----arrêt de la centrale

3. CARACTERISTIQUES THERMIQUES ET CHIMIQUES DE L'EAU UTILISEE

3.1. Température

3.1.1. Température moyenne de l'eau de refroidissement de la centrale (période 1977-1980)

L'eau ayant servi au refroidissement des condenseurs de Tihange I est normalement réchauffée de 12°C par rapport à la température de la Meuse (Tableau 5 et Fig. 4); compte tenu du régime thermique naturel de celle-ci, on dispose d'eau à plus de 20°C pendant une période de 9-10 mois (mars-décembre), soit trois fois plus que naturellement. En hiver (décembre-février), la température ne descend pratiquement jamais en dessous de 15-16°C (moyenne de janvier 1979 : 17°C, en janvier 1980 : 19,1°C), sauf pendant les arrêts programmés pour le rechargement en combustible. A la fin de l'été et au début de l'automne, la température à la sortie des condenseurs peut atteindre 35-40°C lorsque la température naturellement élevée de la Meuse (moyenne mensuelle de 20,5°C en août 1979 avec des moyennes journalières extrêmes de 22°C) le faible débit (moins de 100 m³/sec) ou la turbidité excessive de l'eau exigent le fonctionnement d'un circuit de refroidissement semi-fermé avec utilisation des réfrigérants atmosphériques à tirage forcé (ex: octobre 1977 et 1979).

Tableau 5 : Température moyenne mensuelle (°C) de l'eau de refroidissement de la centrale nucléaire de Tihange I.

Mois	Meuse	Sortie condenseur				Valeur théorique (circuit ouvert) *	Valeur théorique (circuit fermé) **
		1977	1978	1979	1980		
Janvier	4,6	-	-	-	19,1	17,4	25,4
Février	5,9	-	-	-	20,9	15,2	23,2
Mars	8,8	21,9	20,2	24,5	19,6	21,5	29,5
Avril	8,7	19,2	22,4	21,1	19,6	22,8	30,8
Mai	13,0	26,2	26,4	25,4	27,5	26,4	34,4
Juin	17,4	29,7	31,2	30,7	29,3	29,6	37,6
Juillet	18,9	33,0	30,2	31,6	26,9	30,7	38,7
Août	19,3	32,5	32,6	19,8***	31,4	31,2	39,2
Septembre	17,3	32,2	31,1	33,8	29,4	31,6	39,6
Octobre	9,1	36,1	29,4	35,6	25,7	30,8	38,8
Novembre	9,8	22,5	29,0	22,7	20,4	27,2	35,2
Décembre	5,7	21,4	22,1	20,7	19,7	20,9	28,9

* situation Tihange I en circuit ouvert

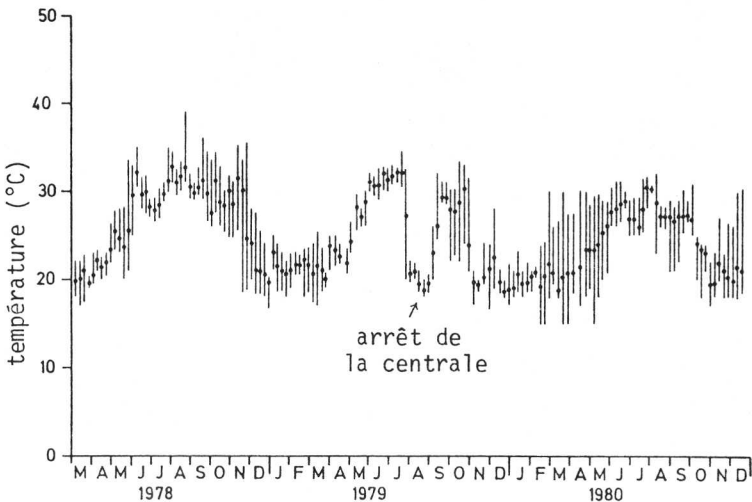
** situation Tihange I en circuit fermé ou Tihange II

*** arrêt de la centrale

En condition normale de fonctionnement de la centrale, les fluctuations de la température au cours d'une journée sont très faibles ($\leq 1^{\circ}\text{C}$) mais des fluctuations rapides et beaucoup plus importantes (8-12 $^{\circ}\text{C}$ en quelques dizaines de minutes) se produisent sporadiquement (panne de réacteur, essais, changement du système de refroidissement).

3.1.2. Températures moyennes hebdomadaires de l'eau alimentant la pisciculture (Fig. 5)

Fig. 5 : Températures ($^{\circ}\text{C}$) de l'eau alimentant la pisciculture en 1978-1979-1980. (traits verticaux minima et maxima)



Le système de régulation thermique de l'eau mis en place fin 1978 a résolu les problèmes posés par les variations brusques de la température de l'eau alimentant la pisciculture et par l'existence de températures trop élevées ou trop basses ($< 17^{\circ}\text{C}$) pendant certaines périodes de l'année. Ce système de régulation s'imposait davantage pour l'élevage en bassin (renouvellement rapide de l'eau) que pour l'élevage en étang (inertie thermique de la masse d'eau).

3.1.3. Dissipation de calories par la pisciculture

En étang de 200 m³ - 150 m² (débit 10 m³/h) et pendant la période juillet-octobre (période critique au point de vue des hautes températures), la dissipation de calories est en moyenne de 32 Kcal/heure.

En bassin de $1\text{ m}^3 - 4\text{ m}^2$ (débit $1\text{ m}^3/\text{h}$), la dissipation de calories n'est que de $1,1\text{ Kcal/heure}$ à cause du taux de renouvellement de l'eau trop rapide.

3.1.4. Interruption de la fourniture d'eau chaude

Pendant les interruptions de la fourniture d'eau chaude dues au rechargement de la centrale en combustible (janvier-février 1977, 1978, 1979, avril-mai 1980), la pisciculture a fonctionné en circuit fermé (arrêt de production) ou en circuit ouvert avec réchauffement de l'eau de Meuse (production poursuivie). La mise en fonction de plusieurs centrales sur le site permettra une alimentation continue en eau chaude.

3.1.5. Condition d'utilisation de l'eau réchauffée selon les espèces

a) Exigences thermiques des espèces testées

Parmi les 4 principales espèces étudiées (Tableau 6), seul le Tilapia (espèce typiquement d'eau chaude; optimum $25-30^\circ\text{C}$) ne supporte pas des températures inférieures à 10°C , mais il survit à des températures élevées (jusqu'à 42°C). Bien que moins résistantes que le Tilapia aux hautes températures ($>30^\circ\text{C}$) la carpe et l'anguille peuvent aussi être considérées comme des espèces d'eau chaude (optimum $26-30^\circ\text{C}$ et $22-26^\circ\text{C}$). La truite, en revanche, se révèle être une espèce d'eau (optimum $16-18^\circ\text{C}$) ne tolérant guère des températures supérieures à 25°C .

Tableau 6 : Exigences thermiques des principales espèces de poissons étudiées par le CERER Pisciculture à Tihange (données d'après différents auteurs).

Exigences thermiques	Espèces			
	Truite arc-en-ciel	Anguille	Carpe	Tilapia
Température létale inférieure	0	0	0	10 - 12
létale supérieure	26	32 - 34	32 - 40	42
préférée	18 - 22	-	28 - 32	30 - 34
de reproduction	10	-	18 - 20	22
optimale de croissance	16 - 20	22 - 26	26 - 29	25 - 31

b) Distribution des fréquences annuelles de températures moyennes journalières de l'eau à la sortie des condenseurs

Au cours de chacune des 4 années la répartition des fréquences des températures (Fig. 6) est bimodale, les températures moyennes les

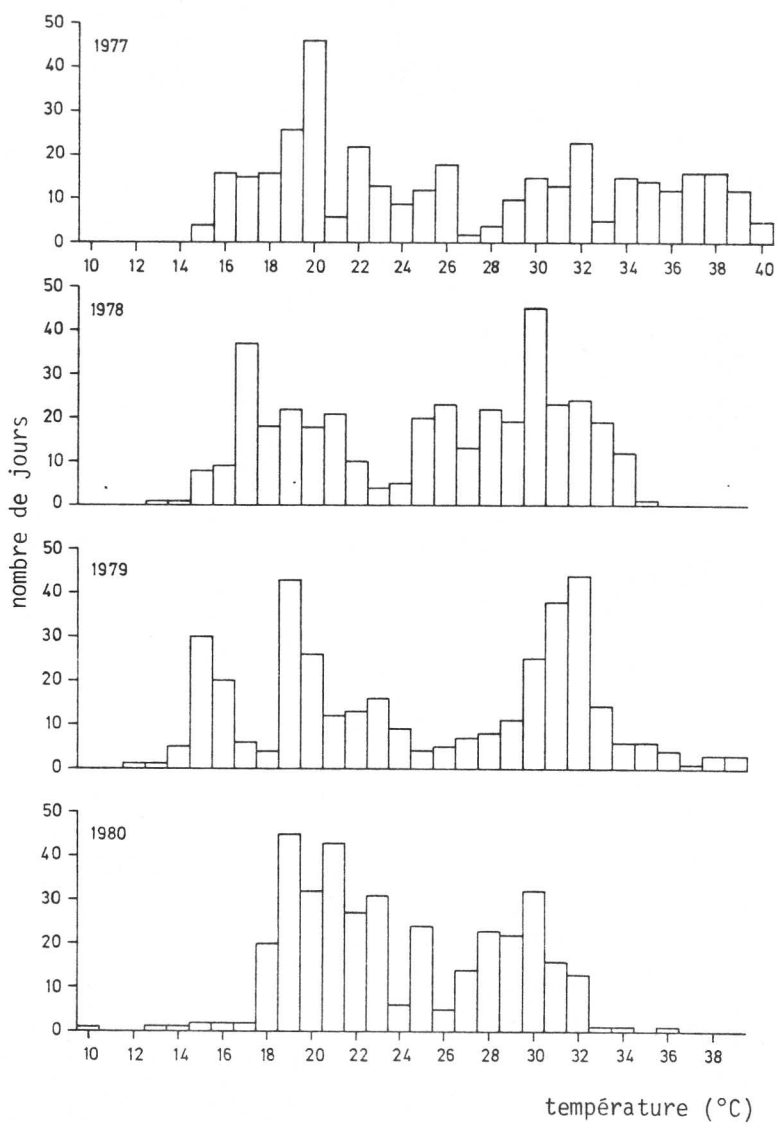


Fig. 6 : Distribution annuelle des fréquences des températures moyennes journalières de l'eau à la sortie du condenseur de la centrale.

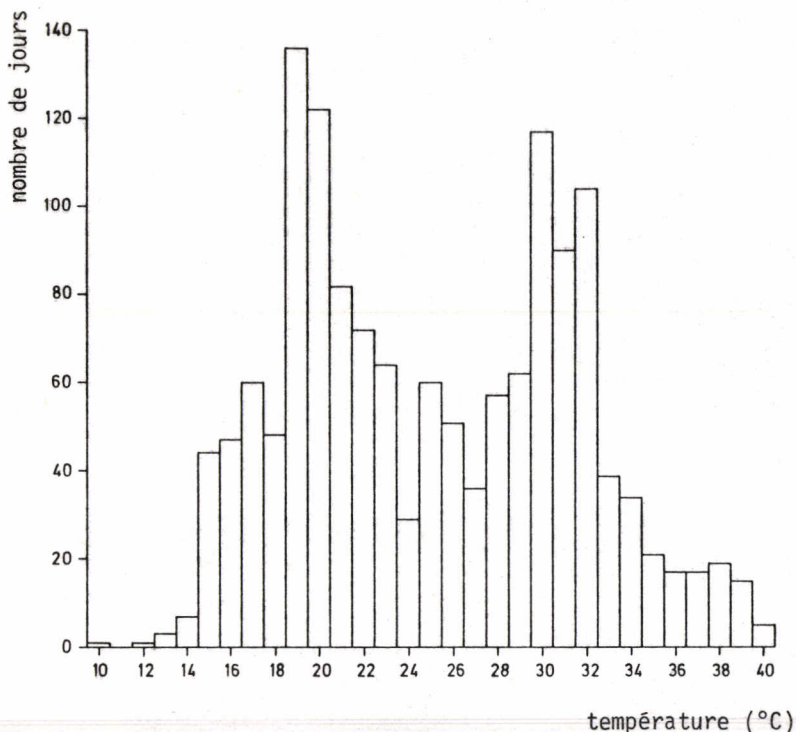
plus fréquentes sont (Fig. 7) :

Période hivernale : 19-21°C: 85 jours/an (moyennes pour 4 années),

Période estivale : 30-32°C: 78 jours/an (moyennes pour 4 années).

Quelques exceptions apparaissent par exemple en 1980 où l'on enregistre 24 jours "frais" (<25°C) pendant un mois de juillet très pluvieux et froid.

Fig. 7 : Distribution des fréquences des températures moyennes journalières de l'eau à la sortie du condenseur de la centrale en 1977, 1978, 1979 et 1980.



c) Conditions d'utilisation du rejet d'eau chaude pour l'élevage de 4 espèces de poissons

Sur la base des exigences thermiques des espèces étudiées (Tableau 6) et connaissant les fréquences de distribution des températures moyennes journalières de l'eau, nous avons déterminé (Tableau 7) le nombre des jours pendant lesquels on peut envisager l'élevage de différentes espèces dans les trois situations suivantes (cf Fig. 8) :

- i) utilisation de l'eau telle quelle,
- ii) refroidissement souhaitable par addition d'eau de Meuse ou eau de Meuse seule,
- iii) réchauffement obligatoire.



- 1 réchauffement
- 2 mélange eau de Meuse refroidissement de 5°C max.
- 3 mélange eau de Meuse, refroidissement de 5 à 10°C
- 4 mélange eau de Meuse, refroidissement de 5 à 10°C
- 5 utilisation eau de Meuse
- 6 eau de centrale "nature"

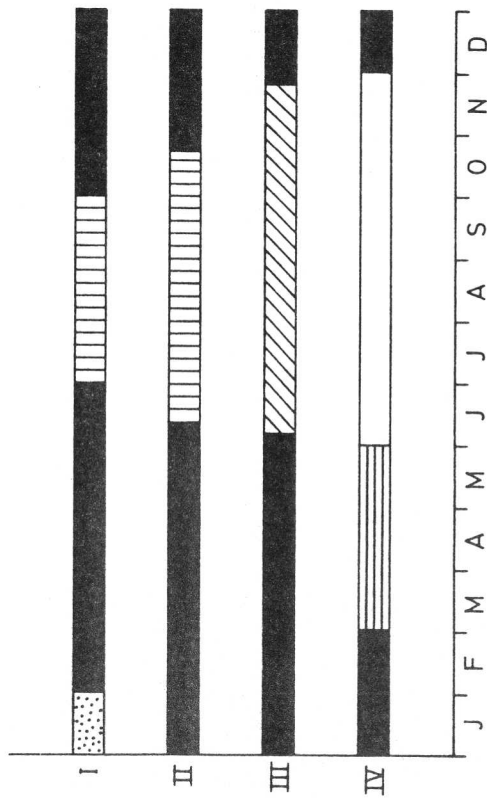


Fig. 8 : Conditions d'utilisation du rejet d'eau chaude pour l'élevage de 4 espèces de poissons :
 I Tilapia II Carpe III Anguille IV Truite arc-en-ciel.

Tableau 7 : Conditions d'utilisation des rejets de Tihange I pour l'élevage de 4 espèces de poissons.

Espèce	Utilisation du rejet tel quel	Refroidissement par eau de Meuse ou eau de Meuse seule	Chauffage d'appoint (hivernage des géniteurs et alevins de tilapias)
Truite arc-en-ciel	3 mois (89 j)	9 mois (276 j)	-
Anguille	6,4 mois (193 j) (01,02,03,04,05,12)	5,6 mois (172 j)	-
Carpe	7,6 mois (229 j) (01,02,03,04,05,11,12)	4,4 mois (136 j)	-
Tilapia	8,2 mois (246 j) (03,04,05,06,07,08,09,10,11)	3 mois (91 j)	0,8 mois (28 j)

La truite exige un refroidissement plus important et plus long (9 mois) que les autres espèces (3 mois pour le Tilapia). Seul le Tilapia exige un chauffage d'appoint en hiver, toutefois limité à un mois. L'élevage complémentaire de la carpe et du Tilapia permet, avec un minimum de régulation, l'exploitation maximale du rejet.

3.2. Oxygène dissous

3.2.1. Cycle annuel d'oxygène dissous

La teneur en oxygène dissous dans l'eau alimentant la pisciculture varie au cours des saisons et essentiellement en fonction inverse de la température (Fig. 9). La variation décadaire maximale est de 5,1 mg/l; même pendant les mois les plus chauds, la concentration en oxygène ne tombe pas en dessous de 6 mg/l.

La saturation en oxygène dissous dépasse presque toujours 100%, atteignant des maxima de près de 150% en janvier. Cette sursaturation s'explique par le réchauffement sous pression de l'eau de Meuse dans les condenseurs (PETERSEN, 1980). Le léger déficit de saturation qui se marque de mai à septembre traduit l'existence d'une assez forte eutrophisation de la Meuse à cette époque (faible débit).

3.2.2. Disponibilité en oxygène dissous pour différentes espèces

La teneur en oxygène dissous dans l'eau arrivant à la pisciculture conditionne :

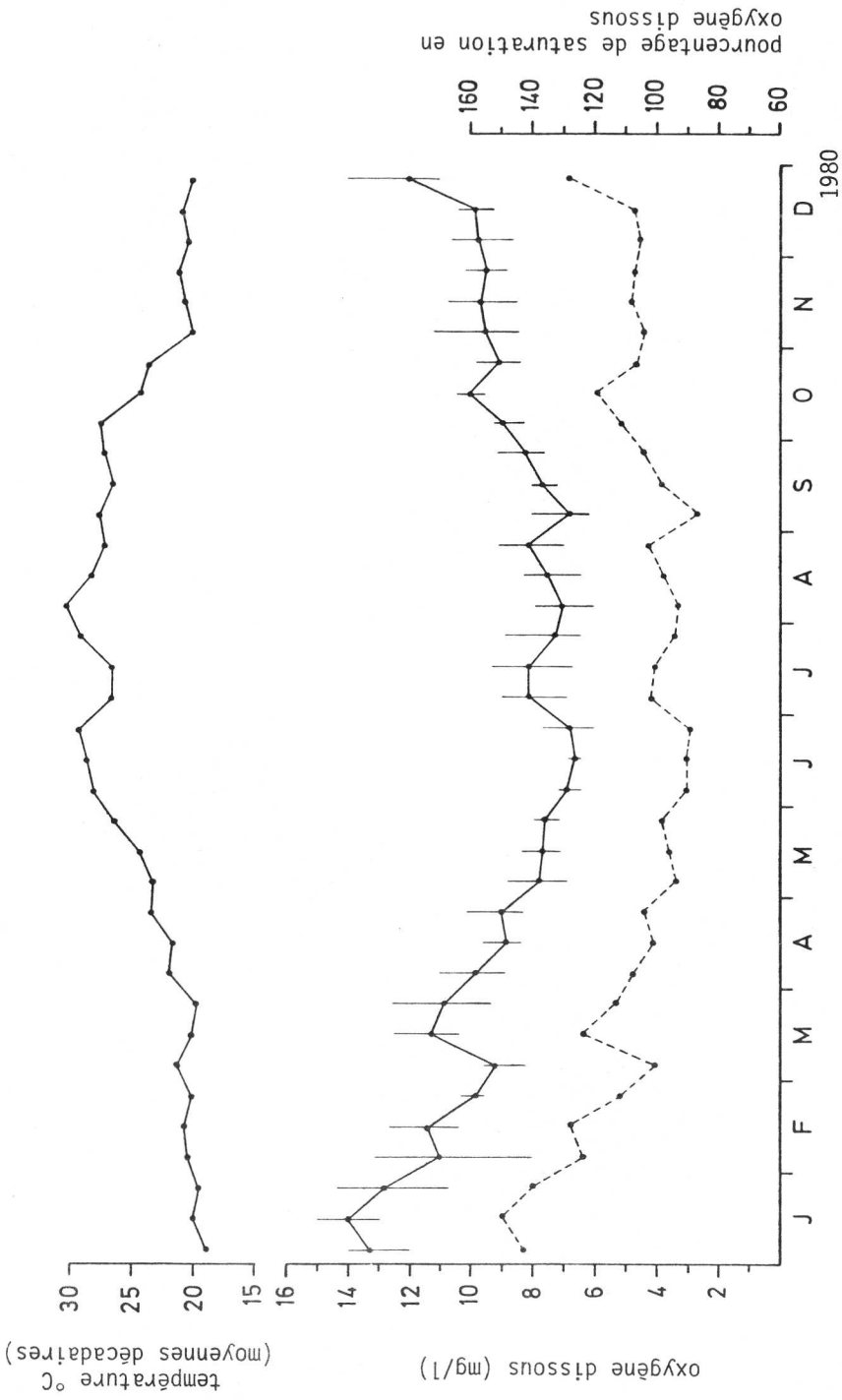


Fig. 9 : Cycle annuel d'oxygène dissous de l'eau alimentant la pisciculture (moyennes décadaires; traits verticaux : minima - maxima).

- i) les possibilités de survie des espèces en fonction de leurs exigences particulières et,
- ii) les potentialités de production du volume d'eau disponible.

Pour maintenir une bonne croissance, la teneur en oxygène dans les bassins ne doit pas descendre en dessous des valeurs suivantes : truite arc-en-ciel : 5 mg/l, anguille : 4 mg/l, carpe et tilapia : 3 mg/l. Dans les conditions de Tihange 1, la quantité utile d'oxygène dissous dans chaque litre d'eau disponible est donnée mois par mois dans le tableau 8.

Tableau 8 : Disponibilité en oxygène dissous dans les rejets thermiques de Tihange I.
(situation 1980)

Mois	mg O ₂ /l (entrée pisciculture)	mg O ₂ /l utiles pour		
		truite	anguille	carpe et tilapia
Janvier	13,5	8,5	9,5	10,5
Février	11,0	6,0	7,0	8,0
Mars	10,4	5,4	6,4	7,4
Avril	9,2	4,2	5,2	6,2
Mai	7,7	2,7	3,7	4,7
Juin	6,8	1,8	2,8	3,8
Juillet	7,8	2,8	3,8	4,8
Août	7,6	2,6	3,6	4,6
Septembre	7,6	2,6	3,6	4,6
Octobre	9,2	4,2	5,2	6,2
Novembre	9,6	4,6	5,6	6,6
Décembre	10,5	5,5	6,5	7,5

Minimum acceptable dans les bassins pour :

- * la truite arc-en-ciel ; 5 mg O₂/l
- * l'anguille ; 4 mg O₂/l
- * la carpe et le tilapia ; 3 mg O₂/l

Connaissant la consommation en oxygène des poissons, nous avons déterminé la charge maximale en individus de différentes tailles pouvant être constituée sans problème et en ne recourant à aucune aération

ou oxygénation supplémentaire. Pour simplement maintenir en vie (stockage) ou pour faire grandir normalement une charge d'une tonne de poissons adultes en fin de cycle de production, il faut en moyenne :

	mai - septembre		octobre - avril	
	maintenance	croissance	maintenance	croissance
	m3/h	m3/h	m3/h	m3/h
Truite (200 g)	-	220	-	100
Anguille (200 g)	-	70	-	40
Carpe (1,0-1,5 kg)	13	27	8	16
Tilapia (350-400 g)	13	27	8	16

3.3. Valeur piscicole de l'eau

3.3.1. Caractéristiques naturelles, pollution organique et eutrophisation

Les tableaux 9 et 10 indiquent respectivement la composition chimique de l'eau de la Meuse à Tihange et de l'eau alimentant la pisciculture. La figure 10 décrit l'évolution au cours de l'année 1977 de quelques paramètres chimiques à la prise d'eau de la centrale.

Pour la détermination des niveaux de pollution et de la qualité piscicole de l'eau, nous nous référons aux normes de NISBET et VERNEAUX (1970) appliquées aux valeurs moyennes du troisième trimestre (juillet-août-septembre) qui correspondent en général aux conditions les plus défavorables de l'étiage (Fig. 10).

D'après les valeurs du pH, de la dureté et de l'alcalinité totales, la Meuse de Tihange est biologiquement très productive. La teneur en phosphates et en ammoniac, la conductivité, l'oxydabilité et la BOD 5 traduisent néanmoins un certain degré de pollution organique et une eutrophisation importante.

La pollution organique la plus critique apparaît en octobre-novembre et coïncide avec l'activité sucrière de Wanze à l'amont de Huy.

Une étude (1977-1979) sur la qualité globale de l'eau de la Meuse (DESCY et EMPAIN, 1981; DESCY, EMPAIN et LAMBINON, 1981) d'après les caractéristiques chimiques, les indices diatomiques et brophytiques confirme l'existence d'une pollution moyenne et d'une eutrophisation accentuée à Tihange, et le fait que ce tronçon est le moins pollué organiquement de toute la partie du fleuve en aval de Namur.

Tableau 9 : Composition chimique de l'eau de la Meuse dans la région de Tihange en 1978, 1979 et 1980 (résultats d'analyses effectuées par l'I.H.E. à Ombret-Rawsa, aval de Tihange). (I.H.E., 1979, 1980, 1981).

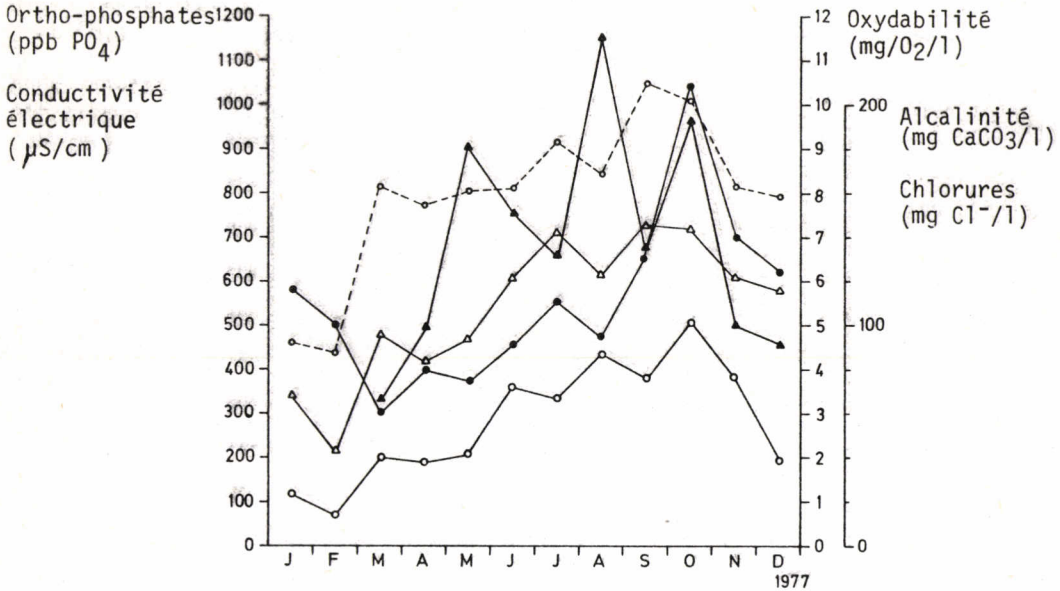
Paramètres	1978		1979		1980	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Nombre d'analyses	4		5		6	
Température °C	5,0 - 22,0		5,0 - 21,0		6,0 - 22,0	
pH	7,4 - 7,8		7,3 - 7,7		7,1 - 8,2	
Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	320,0 - 490,0		320,0 - 620,0		306,0 - 605,0	
Oxygène mg/l	8,9 - 12,3		8,6 - 12,4		8,1 - 13,4	
% saturation	99,4 - 104,6		99,1 - 113,1		92,1 - 113,6	
BOD 5 mgO_2/l	2,0 - 4,0		4,0 - 5,0		3,0 - 6,0	
COD mgO_2/l	7,0 - 4,4		LD - 40,0		8,0 - 34,0	
Dureté totale °F	18,0 - 23,0		14,0 - 27,0		14,0 - 28,0	
Chlorure Cl^- mg/l	20,0 - 50,0		16,0 - 96,0		19,0 - 70,0	
Fluorures F^- mg/l	0,10 - 0,20		0,10 - 0,30		0,13 - 0,22	
Ammoniaque NH_4^+ $\text{mg}^{\text{N}}/\text{l}$	0,11 - 0,64		0,20 - 0,94		0,22 - 1,00	
Nitrite NO_2^- $\text{mg}^{\text{N}}/\text{l}$	0,02 - 0,06		0,03 - 0,10		0,02 - 0,07	
Nitrate NO_3^- $\text{mg}^{\text{N}}/\text{l}$	2,00 - 3,40		1,00 - 2,70		2,00 - 3,30	
Ortho-phosphates $\text{mg}^{\text{P}}/\text{l}$	-		0,13 - 0,33		0,09 - 0,24	
Phénols mg/l	LD - 0,025		LD		LD	
Cyanures CN^- mg/l	LD - 0,012		LD		LD - 0,005	
Chrome Cr^- $\mu\text{g}/\text{l}$	2,0 - 6,0		Max 8,0		LD - 3,5	
Cadmium Cd $\mu\text{g}/\text{l}$	0,0 - 1,0		Max 3,3		LD - 0,6	
Mercure Hg $\mu\text{g}/\text{l}$	LD - 1,80		Max 0,19		LD - 0,36	
Plomb Pb $\mu\text{g}/\text{l}$	LD - 20,0		Max 55,0		5,0 - 38,0	
Détergeants anioniques mg/l	0,035 - 0,075		-		-	

LD = Limite de Détection

Tableau 10 : Caractéristiques chimiques fondamentales de l'eau alimentant la pisciculture du CERER.

Paramètres	Moyenne annuelle (min - max) 1977	Moyenne juillet - septembre				Commentaire (normes de NISBET et VERNEAUX, 1970)
		1977	1978	1979	1980	
Oxygène mg/l O ₂	-	-	7,5	7,9	7,7	
pH	7,8 (7,2-8,3)	7,9	7,8	7,7	7,7	Eau productive
Conductivité umho/cm à 25°C	542 (220-840)	685	567	586	489	Pollution minérale (CaSO ₄ , NaCl par la Sambre)
Dureté totale mg CaCO ₃ /l	220 (125-134)	256	-	-	-	Eau très productive
Alcalinité totale mg CaCO ₃ /l	159 (86-229)	187	156	-	-	Eau très productive
Chlorures mg Cl ⁻ /l	56 (14-145)	77	51	-	-	Pollution minérale (NaCl) et eutrophication
Orthophosphates µg PO ₄ ⁻⁻⁻ /l	558 (152-1165)	570	-	-	-	Eutrophication
Oxydabilité mg O ₂ /l	6,9 (1,7-12,8)	8,2	-	-	-	Etat de pollution organique
Ammoniaque mg NH ₄ ⁺ /l	-	-	-	0,46	0,54	

Fig. 10 : Cycles de la conductivité électrique
 des ortho-phosphates
 de l'oxydabilité
 des chlorures
 de l'alcalinité
 dans la Meuse à Tihange (situation 1977)



3.3.2. Pollution minérale et par toxiques chimiques

La pollution par excès de sels minéraux est assez importante (DESCY, EMPAIN et LAMBINON, 1981) et est principalement due à la teneur très élevée en chlorures (14-145 mg/l); ces formes de pollution ne sont pas dangereuses pour des poissons pollueurésistants comme la carpe, l'anguille et le tilapia qui est même capable de vivre et de grandir en eau de mer. La concentration en métaux lourds (Tableau 10) n'a rien d'exceptionnellement anormal, excepté pour le plomb (max. 55 mg/l); mais même pour ce paramètre, Tihange constitue toutefois le meilleur point en aval de Namur (DESCY, EMPAIN et LAMBINON, 1981). Le danger des métaux lourds et spécialement du mercure et du cadmium est lié à leur faculté de bioconcentration dans les muscles des poissons.

Pour ce qui concerne la pollution par des toxiques chimiques, des analyses (Tableau 10) réalisées par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (I.H.E., 1979, 1980, 1981) mettent en évidence une très faible concentration en cyanures (0 à 0,012 mg/l), une faible concen-

tration en détergents anioniques (0,035 à 0,075 mg/l) et en phénols (0 à 0,025 mg/l). Depuis 1977, aucune pollution chimique accidentelle grave n'a été enregistrée à l'amont de Tihange. Le seul cas critique enregistré fut un risque de pollution par hydrocarbure dû à un déversement accidentel par la sucrerie de Wanze en 1981; des mesures rapides ont été prises pour empêcher la nappe de mazout de pénétrer dans le canal d'aménée d'eau de la centrale et d'atteindre les installations piscicoles.

3.3.3. Chlorations par la centrale

Afin d'éliminer les couvertures biologiques (algues, bryozoaires Plumatella sp., mollusques bivalves du genre Dreissena) susceptibles d'obstruer les tuyauteries du circuit de refroidissement tertiaire (eau de Meuse), la centrale procède régulièrement (en général une fois par semaine et parfois davantage en période critique), à des injections d'hypochlorite de sodium; ces injections entraînent pendant quelques minutes des concentrations en chlore Cl₂ qui peuvent atteindre 0,5 ppm (Fig. 11). Le chlore libre et les chloramines (substances produites par la combinaison du chlore avec des matières organiques et notamment avec l'ammoniaque présent dans l'eau du fait de la pollution initiale ou du métabolisme des poissons) sont très toxiques pour les poissons comme le montre le tableau 11.

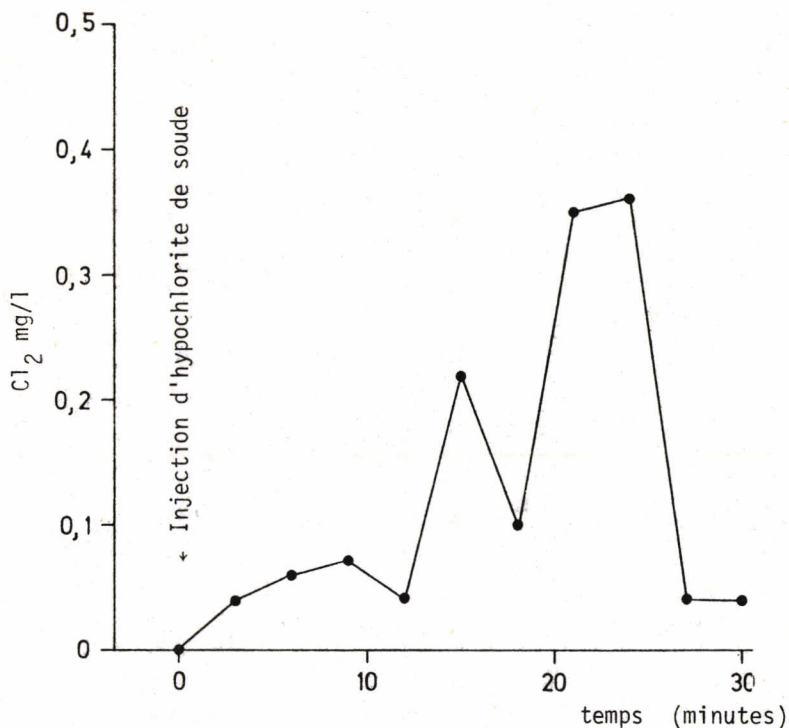
Tableau 11 : Toxicité du chlore pour différentes espèces de poissons

Espèces	Concentration ppm	Temps d'exposition (minutes)	Mortalité %	
Truite arc-en-ciel	0,50	50	50	MERLENS (1958), (1)
Anguille	0,70	6.000	Seuil de mortalité	EBELING (1931), (1)
Carpe	0,41	1.440	50	HEATH (1977), in (1)
Tilapia	0,85	60	0	

(1) ASTON et BROWN, 1978.

Grâce à une bonne coordination entre les responsables de la centrale et la pisciculture, il est possible, en pratique, d'arrêter momentanément (1-2 h), l'alimentation en eau des bassins d'élevage quand une chloration a lieu. A plusieurs reprises toutefois, cette opération a été omise, ce qui n'a pas entraîné de problèmes particuliers pour les poissons.

Fig. 11 : Concentrations en Cl_2 dans l'eau du canal de rejet au cours de l'injection d'hypochlorite de soude (5 juillet 1978) (d'après I.H.E., 1978, 1979).



3.3.4. Bioaccumulation

a) Métaux lourds

Dans les mousses aquatiques, la concentration en cuivre et en cadmium est normale mais on constate une légère anomalie pour ce qui concerne le chrome (DESCY, EMPAIN et LAMBINON, 1981).

Il n'existe aucune donnée sur la bioaccumulation des métaux lourds dans les poissons de la Meuse. Les analyses effectuées sur des muscles de Tilapia mettent en évidence des concentrations très faibles en mercure mais un peu plus élevée en cadmium surtout chez les poissons âgés et de grande taille (0,37 ppm); ces teneurs sont néanmoins inférieures aux normes légales (0,50 ppm) admises pour la consommation humaine.

Les problèmes de bioconcentration des pesticides et des PCB (Polychlorobiphényles) n'ont, à notre connaissance, jamais été étudiés, dans la partie de la Meuse concernée.

b) Radionucléides

Depuis 1975, le site de Tihange I fait l'objet d'une surveillance radiologique par le Ministère de la Santé publique (CEN Mol) et d'une étude plus globale de l'impact écologique des rejets thermiques et radioactifs (1978, 1980 : contrat CEE).

L'eau alimentant la pisciculture est pompée à la sortie des condenseurs et ne contient donc pas les produits radioactifs normalement rejetés par Tihange I; la pisciculture reçoit de l'eau correspondant à la situation existant à l'amont de Tihange où la contamination radioactive provient essentiellement des rejets de la centrale de Chooz (310 MW).

L'activité volumique décelée dans l'eau de la Meuse est toujours très faible (quelques PCi) à cause de la dilution énorme des effluents.

Il se produit une bio-accumulation (de 200 à 500 X) de plusieurs radionucléides (^3H , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{60}Co , ^{54}Mn , ^{226}Ra , ^{232}Th) dans les organismes vivants, notamment dans certains mollusques bivalves fil-trants (Tableau 12) et dans les poissons, lesquels se situent à un niveau trophique supérieur (Tableau 13). Ces deux types d'organismes peuvent être considérés comme de bons indicateurs de la présence de radionucléides dans l'eau (GENIN-MEURICE et MICHA, 1980).

Chez un poisson omnivore comme le gardon Rutilus rutilus (Tableau 14), la concentration en radionucléides est très faible (< 100 PCi) et l'on n'observe pas de différence significative entre l'amont et l'aval de Tihange I. La présence de radionucléides dans les tilapias est traitée au chapitre 4.

Tableau 12 : Teneur en radionucléides dans un mollusque bivalve (Dreissena polymorpha) de la Meuse en aval et en amont de la centrale nucléaire de Tihange (d'après I.H.E., 1978, 1979).

	Année 1978	
	Amont	Aval
^{137}Cs pCi/kg matière fraîche	13 - 39	13 - 23
^{60}Co pCi/kg matière fraîche	40 - 167	55 - 289
^{54}Mn pCi/kg matière fraîche	40 - 214	32 - 254
^{226}Ra pCi/kg matière fraîche	52 - 75	66 - 120
^{232}Th pCi/kg matière fraîche	15 - 30	23 - 68

Tableau 13 : Teneur en radionucléides dans les gardons (*Rutilus rutilus*) de la Meuse en aval et en amont de la centrale nucléaire de Tihange (d'après GENIN-MEURICE et MICHA, 1980).

	1976		1977		1978		1979	
	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
^3H pCi/g mat. fr.	0,72 -7,79	0,77 -4,81	0,52 -1,56	0,73 -1,52	2,75 -	- -	- -	- -
^{137}Cs pCi/kg mat. fr.	71,0 -101,0	46,2 -227,0	- -	103,0 -123,0	- -	27,0 -51,0	16,0 -52,0	20,0 -42,0
^{60}Co pCi/kg mat. fr.	-	-	-	26-78	30-36	25-28	-	-
^{54}Mn pCi/kg mat. fr.	-	-	-	75-88	17-18	11-17	-	-

3.4. Caractéristiques biologiques de l'eau à Tihange

3.4.1. Analyses microbiologiques

Le tableau 14 présente le résultat d'analyses microbiologiques réalisées, à notre demande, par l'Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie du Ministère de la Santé Publique.

Les caractéristiques bactériologiques de l'eau ne posent à première vue aucun problème; le réchauffement de l'eau de la Meuse après passage dans les condenseurs de la centrale ne s'accompagne pas systématiquement d'une augmentation de la contamination bactériologique.

En revanche, les amibes thermophiles du genre *Naegleria* sont nettement plus fréquentes dans l'eau réchauffée (4 fois/5) que dans l'eau de Meuse (1 fois/5); toutefois, la souche pathogène *Naegleria fowleri*, identifiée antérieurement dans plusieurs effluents thermiques belges (DE JONCKHEERE et VAN DE VOORDE, 1977) n'a jamais été décelée ni dans l'eau de Meuse ni dans l'eau réchauffée.

3.4.2. Phytoplancton (I.H.E., 1978, 1979)

L'eau de la Meuse étant eutrophe, les densités de phytoplancton sont parfois très élevées : jusqu'à 6.400 individus/ml en juillet 1979. Les variations saisonnières se caractérisent, d'une part, par des périodes successives de croissance de Bacillariophycées, Chlorophytes + Pyrrophytes et dans une beaucoup moindre mesure (2%) de Cyanophytes et Bacteriophytes (indicateurs de forte pollution organique) et, d'autre part, par une forte diminution de la densité des populations en hiver (364 individus/ml contre 6.400 individus/ml en été). L'index de saprobité (calculé en fonction de la densité et du type de phytoplancton) indique que l'eau est β -mésosaprobe à Tihange (donc moyennement polluée en matières organiques). La biomasse du phytoplancton (exprimée en mg de chlorophylle a/m³) varie entre 3,5 mg/m³ en hiver et 40,5 mg/m³ en été.

Tableau 14 : Analyses microbiologiques de l'eau de la Meuse à Tihange et du rejet thermique de Tihange I.
 Analyses effectuées par le Dr. J.F. DE JONCKHEERE, Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie, Ministère de la
 Santé Publique.

	21/08/80		21/10/80		27/01/81		09/06/81		06/10/81	
	MEUSE	CENTRALE	MEUSE	CENTRALE	MEUSE	CENTRALE	MEUSE	CENTRALE	MEUSE	CENTRALE
Germes totaux /ml	7.100	500	26.500	29.000	11.000	4.000	15.000	12.100	38.800	86.000
Coliformes totaux/100 ml	43.300	28.300	12.000	5.000	90.000	80.000	100.000	26.000	48.000	70.000
Coliformes fécaux/100 ml	5.000	4.000	3.000	3.000	17.000	10.000	51.000	6.000	18.000	15.000
Streptocoques fécaux/100 ml	900	6.000	800	600	4.000	5.700	3.800	400	1.700	1.230
Pseudomonas aeruginosa/50 ml	0	6	96	60	> 400	> 300	1.100	200	60	40
Naegleria/50ml	0	1	1	1	0	0	0	3	0	2
Acanthamoeba/50 ml	1	10	1	0	1	1	1	1	0	1

3.4.3. Zooplancton (I.H.E., 1978, 1979)

Dans l'ensemble, le zooplancton (composé surtout de Rotifères nettement dominants par rapport aux crustacés Copépodes et Cladocères) se développe bien dans la Meuse à Tihange. Les densités des populations sont très variables selon les saisons : par exemple 0 ind./10 l en début mai 1979 et 1.444 ind./10 l en fin septembre 1979.

3.4.4. Poissons

D'après les données provenant de différentes sources d'information (pêches scientifiques effectuées depuis 1974 par le laboratoire du Prof. MICHA, FUNDP, Namur; capture de poissons au CERER-Tihange; enquête auprès des pêcheurs), la faune ichthyologique de la Meuse dans la zone Andenne-Ombret Rawsa comprend au minimum 26 espèces citées ci-dessous :

<u>Salmonidés</u>	* Truite fario	<u>Salmo trutta fario</u>
	* Truite arc-en-ciel	<u>Salmo gairdneri</u>
<u>Cyprinidés</u>	Ablette commune	<u>Alburnus alburnus</u>
	Barbeau fluviatile	<u>Barbus barbus</u>
	Brème commune	<u>Abramis brama</u>
	Brème bordelière	<u>Blicca bjoerkna</u>
	Carpe	<u>Cyprinus carpio</u>
	Carassin doré	<u>Carassius auratus</u>
	Chevaine	<u>Leuciscus cephalus</u>
	Gardon	<u>Rutilus rutilus</u>
	Goujon	<u>Gobio gobio</u>
	Hotu	<u>Chondrostoma nasus</u>
	Rotengle	<u>Scardinius erythrophthalmus</u>
	Tanche	<u>Tinca tinca</u>
	Vandoise	<u>Leuciscus leuciscus</u>
	* Vairon	<u>Phoxinus phoxinus</u>
<u>Esocidés</u>	Brochet	<u>Esox lucius</u>
<u>Percidés</u>	Perche	<u>Perca fluviatilis</u>
	Grémille	<u>Gymnocephalus cernua</u>
	Sandre	<u>Stizostedion lucioperca</u>
<u>Anguillidés</u>	Anguille	<u>Anguilla anguilla</u>
<u>Gastérostéidés</u>	Epinoche	<u>Gasterosteus aculeatus</u>
<u>Cottidés</u>	* Chabot	<u>Cottus gobio</u>
<u>Centrarchidés</u>	Perche-soleil	<u>Lepomis gibbosus</u>
<u>Ictaluridés</u>	Poisson-chat	<u>Ictalurus melas</u>
<u>Pleuronectidés</u>	* Flet	<u>Platichthys flesus</u>

* espèces rares très localisées (aval de barrages, affluents).

Bien qu'étant encore assez diversifiée, cette faune ichthyologique présente des signes évident d'altération qui se traduisent par la régression des espèces les plus exigeantes en oxygène (truite, chabot, hotu, barbeau, vairon) au profit des espèces très polluo-résistantes (gardon, goujon, ablette commune, chevaine) (Cf. PHILIPPART et VRANKEN, 1981, Les Poissons menacés de Wallonie, Synthèse, 225 p., Unité de Recherches Piscicoles, U. Lg.).

4. ANALYSE DES PRINCIPALES PHASES DE L'ELEVAGE INTENSIF DE S. Niloticus

4.1. Mortalité

En l'absence de mortalités accidentelles (erreurs de manipulation, pannes dans l'alimentation en électricité, mauvais fonctionnement du système de régulation, etc...), la mortalité naturelle normale (Tableau 15) est très faible dans les expériences d'élevage en cage ou en bassin (maximum 1,8% avec des alevins de 0,2 à 2 g) mais plus élevée dans les essais en étangs (maximum 16% pour les alevins de 1 à 30 g), apparemment à cause d'une prédation accrue (cannibalisme) et de conditions de vie (déficit d'oxygène, envasement) plus défavorables en étang.

Tableau 15: Taux de mortalité de *S. niloticus* à différentes tailles et dans différents systèmes d'élevage. (d'après MELARD et PHILIPPART, 1980).

Système d'élevage	Poids moyen (g)	Taux de mortalité (%)
Etang en terre (200 m3)	1 - 30	16,00
	30 - 200	4,00
	200 - 300	0,70
Cage flottante (0,5 m3)	15 - 60	1,00
	60 - 140	0,60
	140 - 290	0
Bassins (2 m3)	0,02 - 2	1,80
	2 - 30	1,10
	30 - 80	0,35
	80 - 140	0,38
	140 - 180	0,30
	180 - 300	0,90
	300 - 400	1,20

Depuis le début des essais (5 ans), aucune épizootie n'a été enregistrée; il y a eu quelques cas de saprolégiose (à basse température) et d'exophtalmie (sursaturation en gaz dissous, oxygène et surtout azote, cf p.32). On a observé sporadiquement un syndrome caractérisé par une obstruction intestinale; un gonflement de l'abdomen suivi d'un déséquilibre et de mort. Ce trouble pourrait provenir d'une alimentation trop riche en protéines et trop pauvre en fibres; il est décrit par ROBERTS et SOMMERVILLE (1981) sous le nom de "syndrome d'hyperprotéinose".

Tableau 16: Effet des conditions extrêmes du milieu sur la survie de S. niloticus.

Température	<ul style="list-style-type: none"> - 6 h à 36°C (acclimatation à 31°C) - 16 h à 8°C (acclimatation pendant 30 jours à 18°C) - après acclimatation à 15°C pendant 10 jours, début de mortalité après 10 jours à 10°C et mortalité de 86% quand on atteint 9,4°C. <p>N.B.: température létale supérieure de 42°C (DENZER, 1968 in ASTON et BROWN 1978) et inférieure de 11°C (BARDACH et al., 1972).</p>	<p>aucun problème</p> <p>1,2% de mortalité</p>
Oxygène dissous (O ₂)	<ul style="list-style-type: none"> - 0,5 mg/l à 28°C pendant plusieurs heures, en bassin - 0,1 mg/l à 24°C pendant 12 h en cage <p>N.B.: supporte une oxydabilité (charge en matière organique) de 17,3 mg O₂/l (KIRK, 1972).</p>	<p>aucune mortalité mais stress important</p> <p>60% de mortalité</p>
Ammoniaque (NH ₄)	- 11 mg/l à 20°C et pH 7,5	aucun problème
Nitrites (NO ₂ ⁻)	- 1,2 mg/l à 20°C	aucun problème
Matières en suspension	- jusqu'à 200 mg/l en période de crue	aucun problème sauf ralentissement de la croissance
Chlore libre (Cl ₂)	- 0,85 mg/l pendant 1 h	aucun mortalité

Les résultats sur la résistance de S. niloticus aux conditions de milieu les plus extrêmes réalisées ou observées au cours des expériences (Tableau 16) confirment les données de la littérature sur la résistance remarquable de cette espèce. En pratique, des difficultés sérieuses apparaissent dans deux cas :

- température de l'eau constamment inférieure à 15°C; il faut toutefois signaler une adaptation progressive, de génération en génération, car en début de projet (poissons acclimatés à plus de 20°C), des mortalités massives se produisaient dès que la température tombait à moins de 18°C pendant quelques heures;
- sursaturation excessive en oxygène et en azote; ce phénomène se produit lors des hausses brusques de la température dues aux variations

de charge de la centrale ou en hiver, quand l'eau de la rivière est naturellement sursaturée en O_2 (lors d'une crue de la Meuse en janvier 1980 : 160% de saturation à l'entrée des bassins). La sursaturation en gaz entraîne des embolies gazeuses, parfois mortelles, qui se marquent extérieurement par des exophthalmies (PETERSEN, 1980). En élevage ultra-intensif en bassin, la sursaturation en O_2 se révèle très favorable puisqu'elle équivaut à une oxygénation d'appoint; les problèmes proviennent surtout de la sursaturation en azote, mais cet inconvénient est limité en permettant une certaine désaturation de l'eau avant son arrivée dans les bassins (cf. LAUENSTEIN, 1978).

4.2. Reproduction et production d'alevins

4.2.1. Biologie de la reproduction

S. niloticus appartient au groupe des tilapia incubateurs buccaux (voir RUWET et al., 1976; VOSS, 1976; PHILIPPART et RUWET, 1981). La reproduction a lieu quand la température dépasse 22°C. Les mâles se réunissent sur une zone de nidification à faible profondeur et sur un substrat meuble (gravier, sable, vase propre). Chaque mâle, porteur d'une coloration caractéristique (voir VOSS, 1980), délimite et défend un territoire et aménage un nid où il tentera d'accueillir et de retenir une femelle; il s'agit d'une organisation sociale en arène de reproduction. Les femelles qui vivent en banc à proximité de l'aire de reproduction n'effectuent que de très brefs séjours sur les arènes. Allant d'un territoire à l'autre, elles sont courtisées par des mâles successifs jusqu'au moment où, s'arrêtant au-dessus de la cuvette d'un nid, elles forment chacune un couple éphémère. Après une parade de synchronisation sexuelle, la femelle dépose un lot d'ovules, le mâle les féconde immédiatement puis la femelle les reprend en bouche pour les incuber. L'opération est très brève, 50 à 60 secondes, et peut être éventuellement recommencée soit avec le même mâle (dans ce cas, la ponte dure environ 1/2 heure au total), soit avec un autre mâle dans un territoire voisin (phénomène de polygynie et de polyandrie successives: RUWET, 1963). Finalement, la femelle s'éloigne de l'arène où les mâles demeurent cantonnés et emporte en bouche quelques centaines d'oeufs qu'elle va incuber dans des zones abritées (végétation, blocs rocheux, abris artificiels).

Le nombre d'oeufs émis ainsi que leur taille sont proportionnels à la taille de la femelle (Fig. 13). Une femelle de 15 à 20 cm pond de 400 à 1000 oeufs; en rapport avec l'avantage de survie associé à l'incubation buccale des oeufs et à la garde parentale assurée aux larves et alevins, la fécondité est relativement faible.

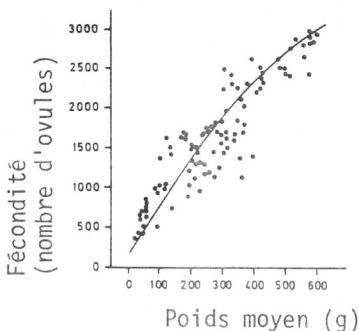


Fig. 13 : Variation de la fécondité en fonction du poids du poisson (d'après BABIKER et IBRAHIM, 1979).

L'éclosion a lieu dans la bouche de la femelle 4-5 jours après la fécondation et la vésicule vitelline est entièrement résorbée à l'âge de 11-12 jours; la durée de cette phase du développement dépend directement de la température et d'autres facteurs comme l'oxygène dissous et la concentration en certains ions (Cl⁻, Ca⁺⁺,...). La taille des alevins à vésicule résorbée est proportionnelle à la taille des oeufs. Dès que la vésicule vitelline est résorbée et que les alevins sont capables de prendre de la nourriture exogène, la femelle laisse s'échapper de sa bouche un nuage d'alevins qui s'oriente par rapport à la mère, suit ses déplacements lents et se réfugie dans sa bouche au moindre danger et à l'appel de ses mouvements (cf. VOSS et RUWET, 1966). Quand les alevins atteignent une taille de 9-10 mm, ils s'affranchissent définitivement de leur mère; celle-ci les libère en eau peu profonde (sur les bords) où ils s'organisent en banc et continuent leur croissance.

Une femelle en bonne condition peut se reproduire avec une périodicité de 30-40 jours (RUWET et al., 1976) quand la température est satisfaisante; une même femelle peut produire 7-8 pontes par an mais toutes les femelles d'un lot sont loin de se reproduire aussi fréquemment (cf. MIRES, 1981).

Tableau 17 : Observations de la reproduction chez un couple de *Sarotherodon niloticus* en aquarium à l'Institut de Zoologie de l'U.Lg. (d'après RUWET et al., 1976).

Dates	Observations	Taille (cm)
4/01/74	Arrivée d'un mâle et d'une femelle	mâle ± 10
8/02/74	1ère ponte : oeufs fécondés	
15/3/74	2ème ponte : 270 oeufs fécondés	± 15
7/05/74	3ème ponte : oeufs fécondés	
25/06/74	4ème ponte : oeufs fécondés	
13/08/74	5ème ponte : oeufs non fécondés	
20/09/74	6ème ponte : oeufs fécondés	
5/10/74	Mort de la femelle	mâle ± 25 femelle ± 23

4.2.2. Alevinage en étang et triage manuel des mâles

La première technique de production massive d'alevins utilisée au CERER Tihangé est la reproduction naturelle en étang avec triage des sexes et séparation des mâles. Quand la température de l'eau atteint 22°C, des géniteurs sont placés dans un chenal (longueur 10 m, largeur 1 m, profondeur 0,4 m) isolé de l'étang principal (150 m² - 200 m³) par un grillage à fines mailles; après la reproduction, les alevins passent

dans l'étang de croissance où ils sont récoltés à 20-25 g par pêche au filet ou vidange de l'étang (Tableau 18). Une proportion de 30 femelles pour 8 mâles donne les meilleurs résultats (470 alevins/femelle); l'augmentation du nombre de femelles semble accroître l'agressivité entre celles-ci et fait baisser le rendement. Ce système de reproduction naturelle produit une grande quantité d'alevins (110.000 produits en juin-octobre 1981 dans un étang de 150 m²) assure une croissance initiale rapide grâce au plancton naturel et exige peu de soins et de surveillance. Parmi les désavantages du système, il faut retenir : la dépendance totale à l'égard des conditions climatiques (température), la mortalité non négligeable (jusqu'à 16%), la production d'alevins non calibrés (pontes non simultanées) et la constitution de populations à sexes mêlés (ce qui impose une sélection des mâles à un poids d'au moins 50-80g , d'où la perte de la production des femelles).

4.2.3. Production massive d'alevins en circuit semi-fermé

L'utilisation d'un circuit semi-fermé pendant l'hiver 1979-1980 a permis de pratiquer la reproduction hivernale intensive de *S. niloticus* grâce à une température (25-26°C) et à une photo-période (16 heures) idéales maintenues artificiellement (chauffage d'appoint en circuit fermé; éclairage artificiel). Les reproductions sont réalisées en bassin de 1 m³/4 m². La récolte des alevins se fait dès l'éclosion. On voit (Tableau 19) que le meilleur rendement est obtenu avec des femelles de 208 g (2.325 alevins produits en 50 jours/kg de femelles) bien qu'elles se reproduisent sans doute moins rapidement et moins fréquemment. En extrapolant ces résultats, il faudrait 360 femelles de 200 g (soit 72 kg) pour produire 100.000 alevins/mois (soit 30 tonnes potentielles de poissons de 300 g) sur une surface de 100 m².

Tableau 18 : Reproduction de *S. niloticus* en étang de 150 m²/200 m³ en 1978 et 1979.

Reproduction	1	2	3
Période	02/06/78 →31/06/78	02/10/78 →10/11/78	22/05/79 →30/06/79
Température moyenne (°C)	27,3	25,2	26,4
Nombre de ♀ ♀	22	30	35
Poids moyen des ♀ ♀	155	180	180
Nombre de ♂ ♂	8 (1:2,8)	8 (1:3,8)	8 (1:4,4)
Période de production d'alevins (j)	60	40	40
Nombre d'alevins produits	± 10.000	± 14.000	± 9.000
Nombre d'alevins produits/j/m ²	17	35	22,5
Nombre d'alevins produits /femelle	455 (7,6/j)	467 (11,7/j)	257 (6,4/j)
Nombre d'alevins produits/kg /femelle	2.935 (48,9/j)	2.594 (64,9/j)	1.428 (35,7/j)

Tableau 19: Reproduction de *S. niloticus* en bassin de $1 \text{ m}^3/4 \text{ m}^2$ en circuit semi-fermé (du 20/02/80 au 15/05/80)

Température moyenne : 25,6°C

Photopériode : 16 heures d'éclairement.

	Expérience N° 1	Expérience N° 2
Nombre de ♀ ♀	15	30
Pmi des ♀ ♀ (g)	208	98
Nombre de ♂ ♂	3	3
Temps (j) avant la lère reproduction	34	28
Période de production d'alevins (j)	50	57
Nombre d'alevins produits	7.250	5.700
Nombre d'alevins produits /j/m ² de bassin	36	25
Nombre d'alevins produits /femelle	485 (9,7/jour)	190 (3,3/jour)
Nombre d'alevins produits /kg de femelles	2.325 (46,5/jour)	1.940 (34,0/jour)

4.2.4. Comparaison des rendements de reproduction obtenus avec différents systèmes

Le tableau 20 ci-dessous reprend les résultats du CERER-Tihange et quelques données récentes de la littérature, concernant le rendement de la production d'alevins de *S. niloticus*.

Tableau 20 : Production d'alevins de *Tilapia* selon différentes méthodes

Système d'alevinage	Surface (m ²)	Densité des géniteurs ind/m ²	Poids moyens des femelles	Proportion ♂ / ♀	Nombre d'alevins produits/m ² /mois	Auteurs
Etang en terre	600	0,5	700	1:5	4,2	CAMPBELL, 1978 b
Etang en terre CERER avec chenal de ponté	150 10	3,0 - 4,3	155 - 180	1:2,8 - 1:4,4	510 - 1.050	MELARD & PHILIPPART, 1980
Etang en béton	55	4,4 - 6,5	200 - 400	1:5	690 - 1.380	CAMPBELL, 1978 et
Bassin polyester CERER	4	4,5 - 8,3	100 - 210	1:5 - 1:10	750 - 1.080	MELARD & PHILIPPART, 1980
Cage	1,5	5,3 - 8,0	90 - 135	1:3 - 1:5	940 - 950	GUERRERO, in COCHE, 1981

Cette comparaison démontre que les meilleurs rendements de reproduction sont obtenus avec un sex-ratio de 1 : 5, des densités de 4 à 5 individus/m² et des femelles de 150 à 400 g, qu'il s'agisse d'étangs en terre, d'étangs en béton, de bassins en polyester ou de cages flottantes. Le choix de l'un ou l'autre système dépendra donc surtout de la facilité de récolte des alevins.

4.2.5. Production d'alevins 100% mâles par inversion hormonale du sexe

Pour résoudre le problème posé par le triage manuel des sexes, nous avons expérimenté (Tableau 21) la production de populations 100% mâles en procédant à une inversion hormonale du sexe selon les méthodes classiques (JALABERT et al., 1974; TAYMAEN et SHELTON, 1978).

Tableau 21 : Inversion du sexe chez *S. niloticus* en circuit fermé (aquarium de 120 l) et en circuit ouvert (bassin de 160 l).
Alimentation : farine "Trouvit" (d'après VERTHE, 1979).

	Circuit fermé	Circuit ouvert
Durée (jours)	28	28
Température moyenne (°C)	28,0	31,0
Poids moyen initial (g)	0,04	0,17
Poids moyen final (g)	0,34	1,39
Nombre d'alevins/m ³	583	1474
Ration journalière (%)	12	30
Taux de conversion	1,66	1,50
Taux de mortalité (%)	4,4	1,8
Proportion des mâles (%)	89 -100	100

Sur la base de ces essais préliminaires à petite échelle, nous avons entrepris la production massive d'alevins en bassin (rendement 40 alevins/m²/jour) suivie d'un traitement hormonal. Dans des conditions de forte densité (25.000 alevins/m³), le rendement de l'inversion s'est révélé très mauvais (60% de mâles seulement) et l'on a enregistré des mortalités excessives (45-57%). En outre, le prix de la nourriture traitée à l'hormone (méthyl-testostérone) étant fort élevé (300 frs/kg) et la croissance des mâles inversés sensiblement inférieures à celle des mâles normaux (ANDERSON et al., 1978), nous avons décidé de tester une autre technique de production d'alevins mâles : l'hybridation.

4.2.6. L'hybridation

Plusieurs croisements interspécifiques de *Sarotherodon* produisent une grande proportion de mâles hybrides (BÄRDACH, 1972; MOAV et al., 1977; CHEN, 1977) :

♂ <u><i>S. macrochir</i></u>	X	♀ <u><i>S. niloticus</i></u>	=	100 %	mâles
♂ <u><i>S. aureus</i></u>	X	♀ <u><i>S. niloticus</i></u>	=	80-100 %	mâles
♂ <u><i>S. hornorum</i></u>	X	♀ <u><i>S. mossambicus</i></u>	=	100 %	mâles
♂ <u><i>S. aureus</i></u>	X	♀ <u><i>S. vulcani</i></u>	=	90-100 %	mâles

Au CERER-Tihange, nous avons plus spécialement étudié le croisement ♂ *S. aureus* X ♀ *S. niloticus*. Les résultats des expériences de l'été 1981 montrent qu'il est possible d'obtenir jusqu'à 90 à 95 % de mâles, présentant par ailleurs un très bon taux de croissance (cf. chapitre 4.11.2).

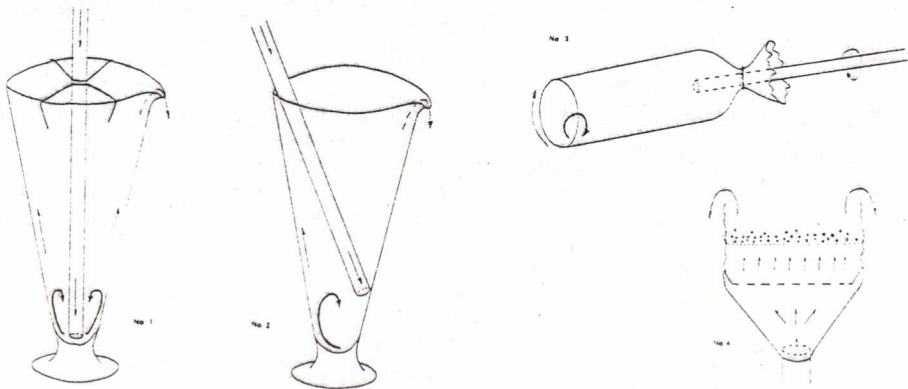
4.2.7. Essais d'incubation et de reproduction artificielles

Dans tout élevage de poissons, le contrôle complet de la reproduction est un objectif très important, qu'il s'agisse d'augmenter le rendement de la production d'alevins ou de réaliser des hybridations entre des espèces naturellement séparées par des barrières éthologiques. Chez *S. niloticus*, nos observations sur cet aspect du problème concernent, d'une part, l'incubation artificielle d'oeufs naturellement fécondés et, d'autre part, la reproduction artificielle proprement dite impliquant la fécondation et l'incubation in vitro.

Fig. 14 : Schéma des différents incubateurs utilisés.

Flèches épaisses : mouvement des oeufs,

Flèches fines : direction du courant d'eau (en 1, 2 et 4) et sens de rotation de la tige, en 3.



a) Incubation artificielle

Les oeufs sont récoltés dans la bouche des femelles et mis en incubation dans des jarres en verre (Fig. 14) où ils sont constamment remués par un courant d'eau ou d'air. Avec ce système, fort semblable aux conditions d'incubation dans la bouche de la femelle, le pourcentage d'éclosion a atteint 73% (VERTHE, 1979).

b) Reproduction artificielle

Pour réaliser la reproduction artificielle, on récolte les oeufs produits par des femelles naturellement mûres ou bien l'on induit la ponte de celles-ci par injection intrapéritonéale de pituitaire de carpe. Lorsque l'ovogénèse est déclenchée par injection hormonale, le cycle "ovarien" ne semble pas se poursuivre, ce qui nécessite des injections supplémentaires (VERTHE, 1979). Les ovules obtenus par "presage" des femelles sont placés dans un récipient et mélangés pendant 10 minutes à la laitance des mâles légèrement diluée (méthode mouillée, VALENTI, 1974). Les oeufs fécondés sont nettoyés et ensuite placés dans les incubateurs. Le pourcentage de réussite n'a jamais dépassé 10% d'alevins à vésicule résorbée (VERTHE, 1979). Ce faible succès de l'opération est dû à l'insuffisance du système d'incubation lui-même ou à la non-fécondation de tous les ovules. En effet, l'inconvénient majeur de cette méthode de reproduction artificielle du Tilapia tient au fait qu'elle exige la sélection d'individus tout à fait sexuellement mûrs, sur la base de critères morphologiques (protubérance de la papille génitale, patron de coloration) et comportementaux (agressivité), ce qui nécessite des contrôles fréquents des géniteurs.

Les succès obtenus avec la production massives d'alevins en bassin et en étang ainsi que les perspectives de réaliser des hybridations dans les mêmes conditions, nous ont amenés à abandonner, en tout cas momentanément, les recherches sur la reproduction artificielle.

4.3. Alimentation

4.3.1. Aliments utilisés

Dans la plupart des expériences, les tilapias ont été nourris avec des aliments (farines et granulés) pour truite (45 à 49% de protéines brutes totales) (Tableau 22). L'aliment pour carpe et quelques autres aliments à base de protéines végétales (soja, riz, maïs, lin, algues) furent également testés, notamment un aliment spécial pour tilapia.

Tableau 22 : Composition des aliments utilisés pour S. niloticus

	Aliment Alevins	Aliment granulé Adultes	Aliment Tilapia	Aliment Carpe
Protéines brutes totales	49 %	45 %	30 %	30 %
Cellulose	3 %	3 %	4 %	4 %
Sucres + amidon	-	14 %	20 %	28 %
Graisses	6 %	7 %	10 %	6,5 %
Matières minérales	12 %	10 %	9 %	9 %
Humidité	11 %	10 %	11 %	12 %

4.3.2. Mode de distribution des aliments

Manuellement, la ration alimentaire journalière est distribuée en 5 X entre 8h30 et 17h00. Avec les distributeurs à pendule ("demand feeder"), les poissons sont conditionnés à se nourrir eux-mêmes, l'aliment tombant dans l'eau dès qu'un individu heurte la tige ou pendule de l'appareil. Les distributeurs automatiques électriques (EWOS 505) permettent de régler la fréquence journalière et la durée de chaque nourrissage ainsi que la quantité d'aliment distribuée; l'équipement disponible au CERER depuis 1979 donne trois possibilités de fréquence-durée, ce qui est suffisant pour répondre aux exigences des différentes classes d'âge et de taille.

4.3.3. Calcul de la ration journalière de nourriture

En recoupant les résultats de toutes les expériences d'élevage en cage et en bassin, nous avons établi le schéma de nourrissage suivant, valable pour une température de 27-31°C.

Poids moyen des poissons (g)	Ration journalière en pour 100 du poids corporel
0 - 5	30 - 20
5 - 20	14 - 12
20 - 40	7 - 6,5
40 - 100	6 - 4,5
100 - 200	4 - 2
200 - 300	1,8- 1,5
300 - 400	1,3- 1,1

4.4. Croissance

4.4.1. Dimorphisme sexuel de la croissance

Le tableau 23 met en évidence une importante différence de croissance entre les tilapias mâles et femelles. Les mâles pèsent en moyenne \pm 50 g de plus que les femelles après 120 jours de croissance. Le taux de croissance maximum est de 2,25 g/j/ind. ($G = 1,9$) pour les mâles et de 1,91 g/j/ind ($G = 1,61$) pour les femelles (température moyenne : 28°C).

Tableau 23 : Taux de croissance de *S. niloticus* ♂ et femelle ♀.
 Aquarium de 150 l; débit \pm 150 l/h
 Nourriture : granulé A 7-5 %/j
 t° moyenne : 28,6°C (21,4°C-35,8°C)
 Période : 12 mai 1978 - 8 septembre 1978.

t (j)	Nombre d'individus		Longueur moyenne (mm)		Poids moyen (g)		g/j/ind.		G	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
0	15		97		18,3					
15	8	7	115	104	29,5	21,9	0,75	0,24	3,2	1,2
30	8	7	133	118	46,4	31,6	1,13	1,65	3,0	2,4
45	8	7	150	131	67,4	44,2	1,40	0,84	2,5	2,2
60	8	7	163	143	88,7	57,1	1,42	0,86	1,8	1,7
75	8	7	178	155	118,4	78,6	1,98	1,43	1,9	2,1
90	8	7	192	168	140,6	93,3	1,48	0,98	1,1	1,1
105	8	7	201	172	151,8	98,7	0,75	0,36	0,5	0,4
120	8	7	210	185	185,6	127,4	2,25	1,91	1,3	1,7

Dans les expériences d'élevage intensif en bassin (Fig. 14), le dimorphisme sexuel de la croissance, se traduit, après 23 jours, par un poids moyen de 347 g chez les mâles et de 237 g chez les femelles.

Ce phénomène provient non seulement de l'existence d'un patron de croissance différent entre mâles et femelles mais aussi du fait que les femelles incubant (à partir de 100-150 g) ne s'alimentent pas (RUWET et al., 1976).

Une des conséquences est que la structure par taille d'une population homogène (provenant d'une seule ponte ou de plusieurs pontes rapprochées) de tilapias se caractérise par une bimodalité très marquée (Fig. 16) qui peut être exploitée pour trier mécaniquement les deux sexes.

Fig. 15 : Croissance comparée de *S. niloticus* ♂♂ et ♀♀ en élevage intensif en bassin.

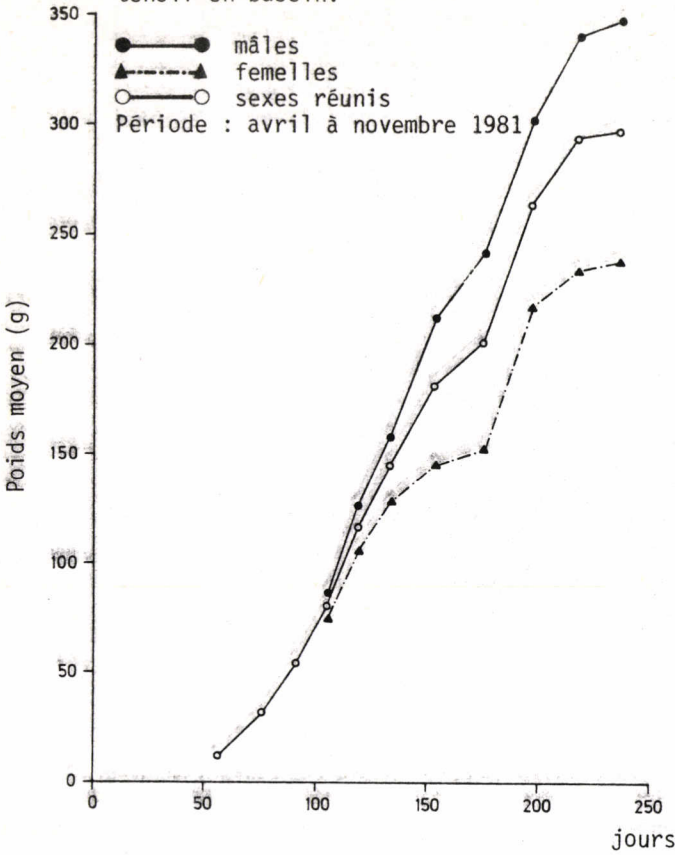
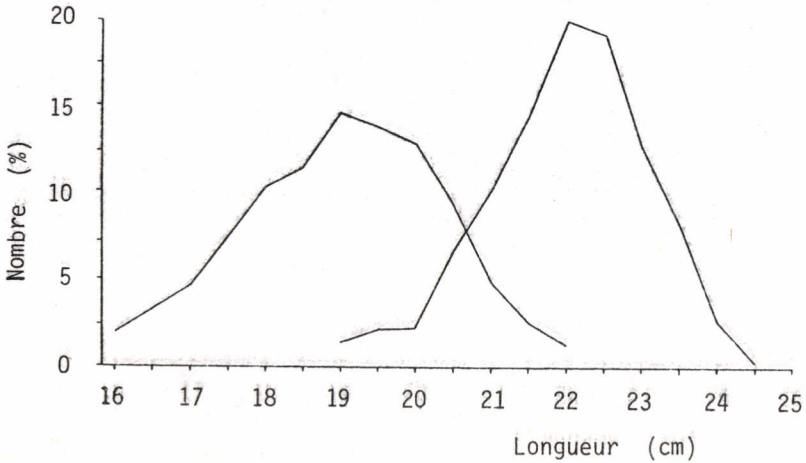


Fig. 16 : Structure par tailles des populations ♂♂ et ♀♀ d'un même lot initial de *S. niloticus*, âgés de 175 jours. (le 9/09/1981)
 Femelles : $\bar{n} = 298$; poids moyen = 153 g
 Mâles : $n = 345$; poids moyen = 243 g



4.4.2. Taux de croissance

Les expériences de croissance en étang portant sur des alevins des deux sexes (jusqu'à 50 g) et des mâles juvéniles et adultes mettent en évidence (Tableau 24) :

- * une croissance initiale très rapide ($G = 22,4$) des alevins grâce à la nourriture naturelle abondante;
- * les potentialités de croissance (Exp. n°5 : 4,0 g/jour) des *S. niloticus* mâles en condition optimale (faible densité, nourriture naturelle abondante);
- * la possibilité d'obtenir des croissances intéressantes (Exp. n°7 : 2,9 - 3 g/jour) en pratiquant un élevage semi-intensif (5,6 mâles/m² ou ± 1 kg/m³) avec distribution de nourriture.

Les expériences d'élevage intensif en bassin révèlent des taux de croissance très variables selon la taille des poissons et des paramètres tels que la densité et la biomasse par bassin, la disponibilité en oxygène (débit d'alimentation, renouvellement de l'eau) et la température de l'eau. Le tableau 25 présente les meilleurs résultats de croissance obtenus dans ces diverses conditions d'élevage. Comme en étang, la croissance initiale des alevins est rapide ($G = 5,62$ pour un poids moyen de 10 g); elle diminue ensuite régulièrement en fonction de la taille ($G = 0,76$ pour un poids moyen de 350 g). La croissance individuelle maximale observée est de 2,63 g/j pour un poids moyen de 350 g.

i) Effet de la température (Fig. 17)

Les meilleures croissances s'observent à 27-31°C. Les basses températures (19-22°C) affectent fortement la croissance des alevins mais les poissons de 200-300 g grandissent pratiquement de la même manière à 22°C qu'à 31°C. Des températures inférieures à 19°C ralentissent considérablement toute croissance (poissons de 80 g : $G = 0,61$ à 18°C et 1,76 à 27-31°C). La température optimale de croissance dépend donc essentiellement de la taille du poisson.

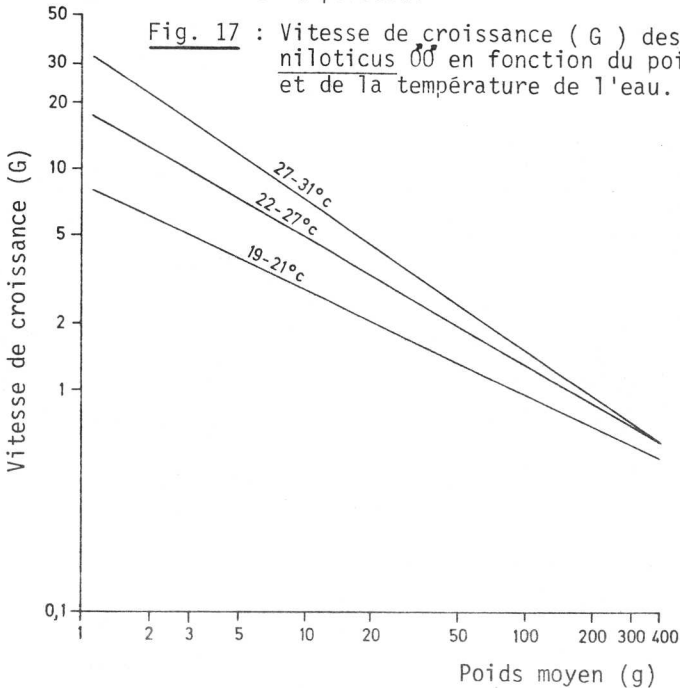


Tableau 24 : Croissance pondérale et production de S. niloticus en étang (surface : 150 m²; volume : 200 m³ ; débit : 10 m³/h).

Expérience n°	1	2	3	4	5	6	7
Température moyenne (°C)	25,9	27,2	24,3	27,8	28,1	25,1	21,9
Durée (jours)	30	27	35	45	40	43	26
Nourriture	algues + plancton	algues + plancton	algues + plancton + farine	algues + plancton + farine	algues + plancton	algues + plancton + farine	granulé A (3,34%)
Sexe	♂ ♀	♂ ♀	♂ ♀	♂ ♀	♂ ♀	♂ ♀	♂ ♀ (*)
Densité initiale (N/m ²)	50,0	14,0	34,5	21,3	0,4	2,4	5,6
Poids moyen initial (g)	0,005	0,8	2,2	4,3	52,7	67,1	218,0
Poids moyen final (g)	4,2	21,4	13,6	31,6	210,7	136,9	294,3
Biomasse initiale (kg)	0,038	1,68	11,34	13,79	3,43	24,15	182,70
Biomasse finale (kg)	31,5	37,75	67,11	85,06	13,69	45,87	244,30
Croissance (g/j/ind.)	0,14	0,76	0,33	0,61	3,95	1,60	2,94
G	22,44	12,17	5,22	4,43	3,46	1,66	1,15
Taux de conversion	-	-	-	-	-	-	2,57
Mortalité (%)	-	17,0	4,9	15,7	0	6,9	1,0
Production (kg)	31,46	36,06	55,77	71,27	10,27	21,72	61,60
Kg/ha/jour	69,9	89,1	106,2	105,6	17,1	33,7	158,0
g/m ³ /h	4,37	5,57	6,64	6,60	1,07	2,10	9,87

* triage manuel

Tableau 25 : Croissance pondérale et production de *S. niloticus* en bassin (surface 4 m² ; volume 1 m³).

Expérience N°	1	2	3	4	5	6
Température moyenne (°C)	26,4	29,2	27,7	25,5	23,6	23,6
Débit m ³ /h	0,88	1,00	2,00	0,50	1,79	2,67
Oxygène dissous mg O ₂ /l	5,4	4,8	4,7	4,9	6,9	7,7
Dates	21/06/80 31/07/80	05/08/78 24/09/78	12/09/79 20/10/79	20/06/79 17/08/79	12/10/80 26/10/80	12/10/80 26/10/80
Durée (jours)	31	51	39	59	15	15
Nourriture Ration Type de nourrissage Sexes	granulés A 15% - 12% automatique ♂/♀	granulés A 7% - 7% manuel 5X/j ♂/♀	granulés A 4% - 5% - 5% manuel 5X/j ♂/♀	granulés A 2%-2% - 2%-2% manuel 5X/j ♂/♀	granulés A 1,8% automatique ♂/♀	granulés A 1,34% automatique ♂/♀
Densité initiale (N/m ³)	1000	430	260	100	250	243
Poids moyen initial (g)	3,1	15,2	71,7	138,2	236,1	329,1
Biomasse initiale (g)	3,076	6,533	18,650	13,818	59,033	79,960
Charge initiale (kg/lpm)	0,243	0,392	0,560	1,658	1,979	1,797
Poids moyen final (g)	17,7	75,9	132,1	236,2	267,1	368,6
Biomasse finale (g)	17,570	31,932	34,351	23,150	66,768	88,830
Charge finale (kg/lpm)	1,044	1,916	1,031	2,778	2,238	1,996
Croissance g/j/ind.	0,47	1,19	1,55	1,66	2,06	2,63
Taux de conversion	5,62	3,15	1,57	0,91	0,82	0,76
Mortalité (%)	1,69	1,55	2,70	2,71	2,06	1,81
	0,5	2,1	0	2,0	0	0,8
Production g/m ³ g/m ³ /h	14,494 22,11	25,399 20,75	15,701 8,39	9,332 13,18	7,735 12,00	8,870 9,23

ii) Effet de la densité

En cage flottante de 0,5 m³ avec nourrissage manuel 5 fois/jour, on observe (Tableau 26) une influence déterminante de la densité (biomasse de mise en charge) qui agit négativement sur la croissance ($G = 1,49$ et $1,98$ pour des densités de 300 et 50 poissons de 80 g/0,5 m³). Le ralentissement de la croissance avec l'augmentation de la densité (biomasse) est en grande partie due à la diminution du taux d'oxygène dissous dans la cage et au gaspillage accru de la nourriture (perte à travers le grillage).

Tableau 26 : Influence de la densité sur la croissance de S. niloticus (mâles) élevés en cages de 0,5 m³.

Nourriture "granulé A" : ration de 7%/j,
Température moyenne : 27,9°C (Min : 25,7°C; Max : 32,0°C)

Durée (jours)	30	30	30	30
Nombre initial	300	200	100	50
Poids moyen initial (g)	55	54	61	59
Biomasse initiale (g)	16.595	10.867	6.075	2.952
Nombre final	298	198	100	50
Poids moyen final (g)	86	91	106	107
Biomasse finale (g)	27.737	17.986	10.595	5.339
Taux spécifique de croissance (% Pmi)	56,1	67,1	74,4	82,5
G	1,5	1,7	1,8	2,0
g/jour/individu	1,0	1,2	1,5	1,6
Production (g)	9.142	7.119	4.520	2.417
Taux de conversion	3,3	2,8	2,5	2,2
Taux de mortalité (%)	0,7	1,0	0,0	0,0

Age final des poissons : 162 jours.

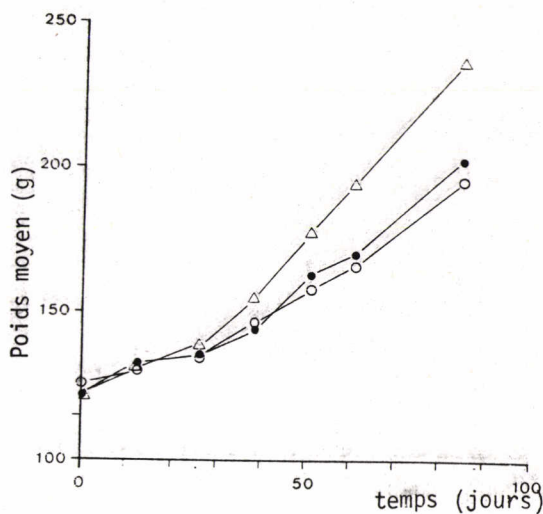
En bassin, l'effet "pur" de la densité sur la croissance a été étudié en réalisant des densités d'élevage différentes et en ajustant les débits d'eau (apport d'oxygène) pour que chaque poisson reçoive la même quantité d'oxygène et soit en contact avec la même quantité de métabolites.

Dans les expériences avec nourrissage manuel (5 fois/jour), on constate un effet négatif de la densité relativement peu marqué chez les poissons de 40 g ($G = 2,83$ et $3,38$ pour des densités de 500 et 300 poissons/m³) mais plus important chez des poissons de taille supérieure ($G = 0,55$ et $0,78$ pour des densités de 500 et 100 poissons de 160 g/m³) (Fig. 18). La diminution du taux de croissance quand la densité augmente s'explique surtout par un accroissement du gaspillage de la nour-

riture (augmentation du taux de conversion) provoqué par l'accélération du renouvellement de l'eau nécessaire au maintien d'un taux d'oxygénation suffisant.

Fig. 18 : Croissance de *S. niloticus* avec nourrissage manuel à différentes densités en bassins

- △ — △ 100 /m³
- — ● 300 /m³
- — ○ 500 /m³



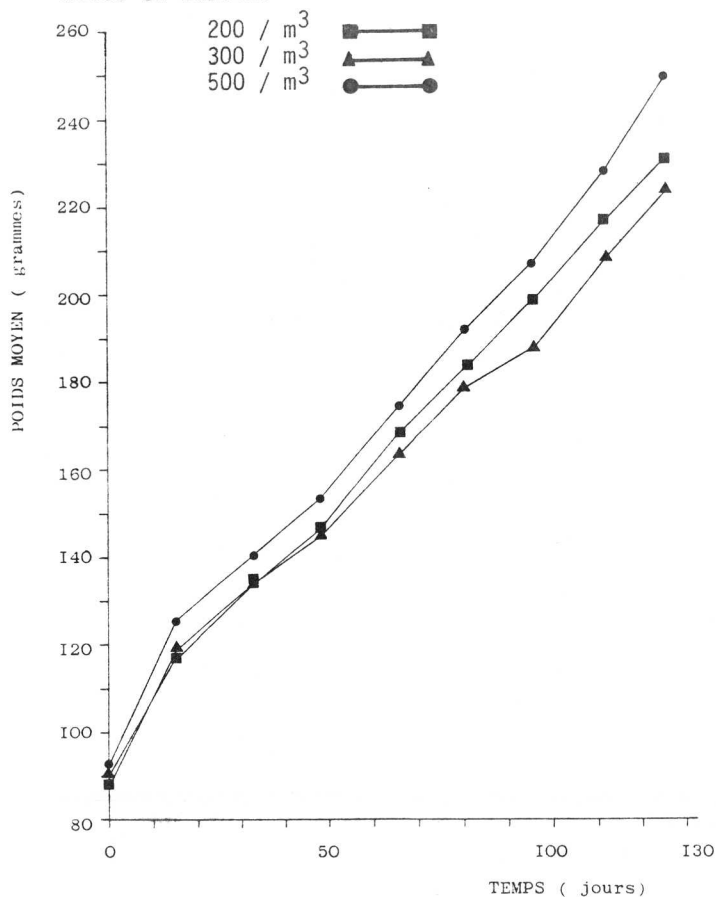
Dans les expériences avec nourrissage programmé automatique, la meilleure croissance pour des poissons de 170 g ($G = 0,795$) s'observe à densité moyenne : 300 ind/m³; à faible (200 ind/m³) et à forte densité (500 ind/m³), les vitesses de croissance sont inférieures ($G = 0,765$ et $0,735$ respectivement) (Fig. 19).

L'utilisation de nourrisseurs automatiques (fréquence de nourrissage élevée) limite considérablement le gaspillage de nourriture (pollution et désoxygénation de l'eau) inhérent au nourrissage manuel à forte densité; ainsi apparaît clairement l'influence des facteurs biologiques (comportementaux) sur le taux de croissance à différentes densités. La compétition inter-individuelle pour arriver au point de nourrissage et le gaspillage d'énergie qui en découle entraînent une diminution de la croissance quand la densité augmente (cf PETIT, 1980); mais des effets dus au stress, à l'agressivité intraspécifique ou à la production de substances chimiques inhibitrices (HENDERSON-ARZAPALO et al., 1980) doivent également être envisagées.

La diminution du taux de croissance à faible densité est due au développement de la territorialité (grand nombre de mâles territoriaux) et donc à l'agressivité (peu d'espace disponible) et au gaspillage d'énergie et de nourriture qui en résulte. A forte densité, le manque d'espace disponible et, sans doute, l'état de stress, limitent au maximum la territorialité et inhibent l'agressivité. L'effet négatif de la densité d'élevage sur le taux de croissance est d'autant moins

marqué que la densité est plus importante; au-delà d'un certain seuil, il est donc possible d'envisager des densités très élevées (jusqu'à 850 poissons de 100 g par m³ de bassin) sans affecter davantage la croissance par l'effet strict de la densité, indépendamment de l'effet éventuel d'un manque d'oxygène.

Fig. 19 : Effet de la densité d'élevage avec nourrissage automatique (nombre de poissons / m³) sur la croissance de S. niloticus mâles en bassin.



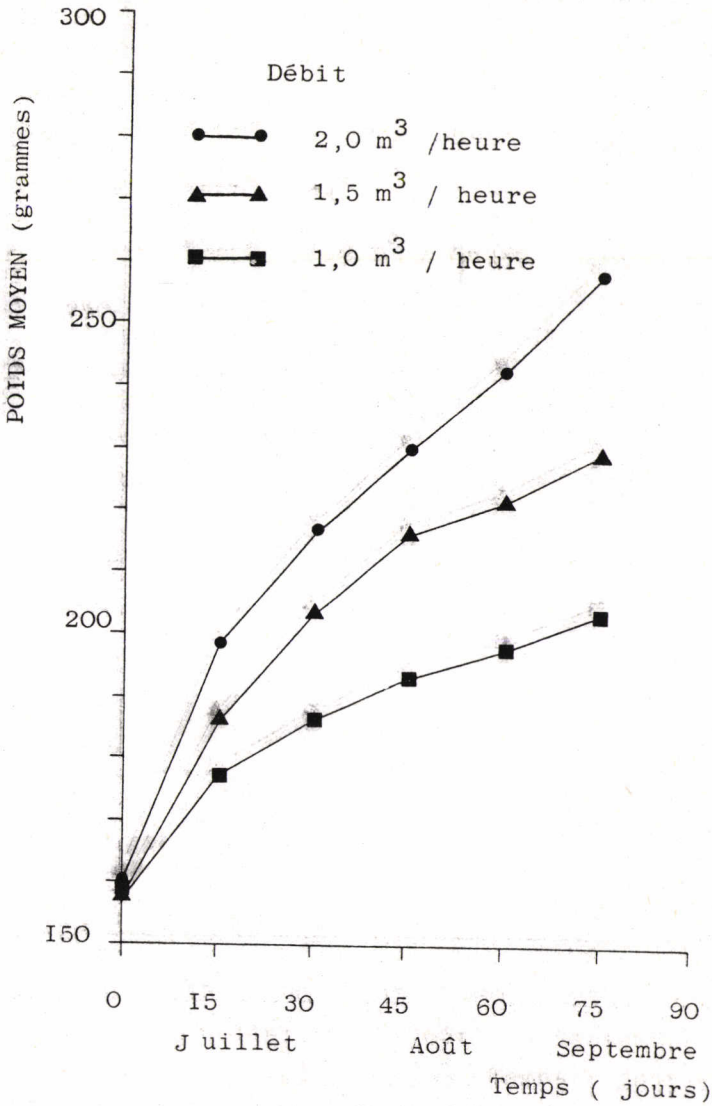
iii) Effet du débit et de l'apport d'oxygène

Tout autre facteur égal, l'augmentation du débit d'eau (et donc de la concentration en oxygène dissous) dans les bassins a une influence nettement positive sur la vitesse de croissance, en particulier quand la charge maximale est atteinte (Fig. 20).

Ainsi pour une densité de 300 poissons de 160 à 260 g par m³, les relations taux de croissance/débit sont :

2,5 m ³ /h	G = 0,63
1,5 m ³ /h	G = 0,50
1,0 m ³ /h	G = 0,33

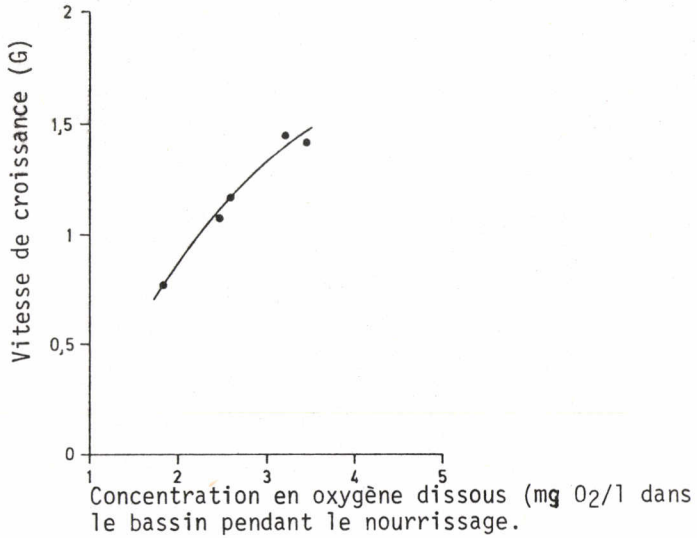
Fig. 20 : Effet du débit sur la croissance de *S. niloticus* mâles en bassin (densité : 300 poissons/m³).



Les écarts de croissance sont dus aux différents taux d'oxygénation régnant dans les bassins pendant le nourrissage : 3,4 (2,5-5,0) mg O₂/l avec 2 m³/h et 2,2 (1,4 - 3,4) mg O₂/l avec 1 m³/h. Ces observations confirment que le taux de croissance devient mauvais quand la concentration en oxygène dissous tombe à moins de 3 mg O₂/l dans les bassins (Fig. 21). En cage, COCHE (1976) signale un effet comparable avec 2,3 mg O₂/l.

Fig. 21 : Effet de la concentration en oxygène dissous pendant le nourrissage sur la croissance de S. niloticus.

Poids moyen : 179 g
n : 300 ind/m³
Température : 27°C.



iii) Durée de la croissance de 0 à 300 g

Les résultats obtenus de 1977 à 1980 ont démontré la possibilité de produire un tilapia de 220 g à partir d'alevins de 2-3 g selon trois schémas (Fig. 22) de durée variable en fonction de la vitesse de croissance,

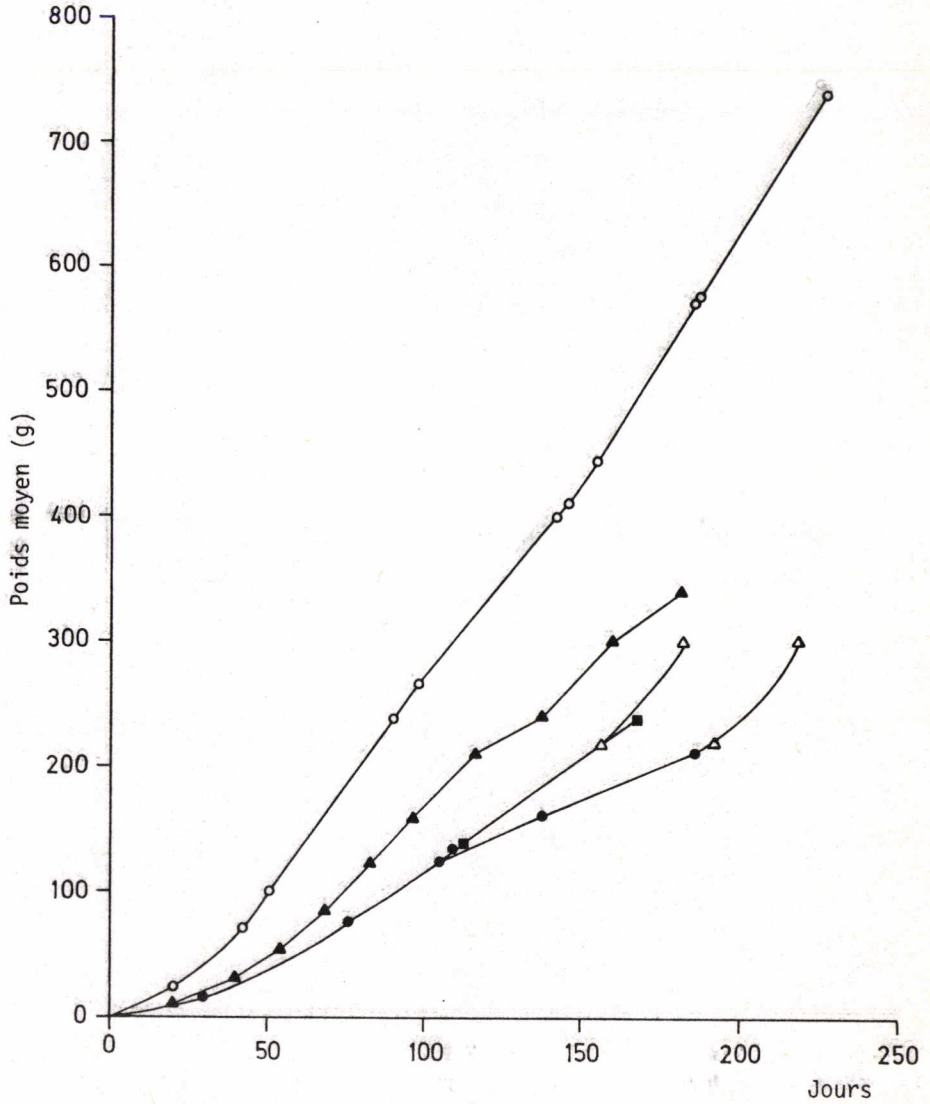
- élevage extensif en étang ($\pm 0,16$ ind/m³) : 84 jours (G = 5,11),
- élevage intensif en bassin à densité moyenne (± 200 ind/m³) : 156 jours (G = 2,75),
- élevage intensif en bassin à densité forte (± 400 ind/m³) : 192 jours (G = 2,24).

A partir des individus de ± 220 g, la production finale d'un tilapia commercialisable exige un mois; elle peut se réaliser à une température relativement basse (octobre-novembre), en étang (± 5 individus/m³ en 1979) ou en bassin de 4 m² (300/m³ en 1981).

Donc, selon la densité d'élevage, 190 à 220 jours sont nécessaires pour produire un tilapia de 300 g à partir d'un alevin mâle de 3 g, la production de celui-ci à partir du stade oeuf prenant environ 40 jours. D'après les études de COCHE (1976) sur l'élevage intensif en cage de S. niloticus, il faut environ 150 jours pour produire, à partir d'alevins de 20 g, un mâle de 270 g (densité : 220-200 ind/m³; biomasse 2,1 - 76 kg/m³), ce qui est tout à fait comparable à nos observations en bassin (200 - 400 ind/m³).

Fig. 22 : Croissance de *S. niloticus* ♂ dans différents systèmes d'élevages.

- ——— étang de 200 m³, densité très faible
- △ ——— étang de 200 m³, densité moyenne + nourrissage
- ——— bassin de 1 m³, densité moyenne + nourrissage
- ——— bassin de 1 m³, densité forte + nourrissage
- ▲ ——— bassin de 1 m³, densité forte + nourrissage (individus sélectionnés à croissance rapide)

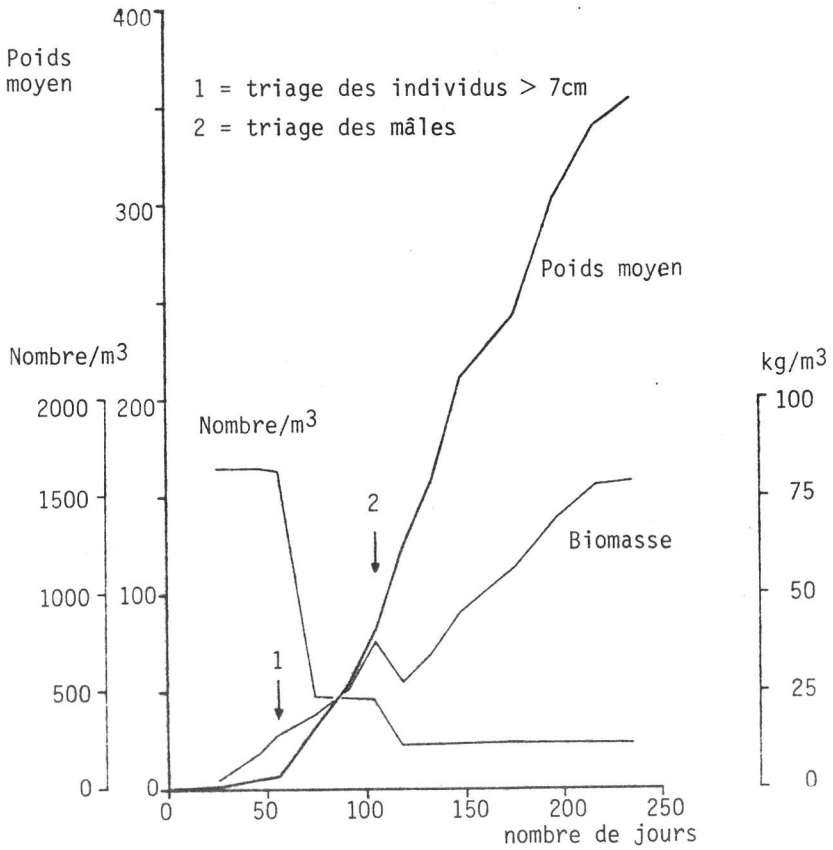


iiii) Cycle annuel de la croissance

Le cycle annuel des température de l'eau alimentant la pisciculture impose qu'en pratique (exploitation commerciale), la phase principale de croissance d'un tilapia (de 10 g à 300-400 g) puisse être concentrée au cours d'une saison, c'est-à-dire pendant une période de croissance active ($> 22^{\circ}\text{C}$) allant d'avril à fin novembre-début décembre. La démonstration de cette possibilité a été faite en 1981, lors d'une expérience (Fig. 23) au cours de laquelle un même lot de tilapias a été suivi en continu de mi mars (naissance) au début novembre (poids moyen = 347 g pour les mâles à croissance rapide).

Fig. 23 : Courbe de croissance d'un lot de *S. niloticus* nés le 18 mars 81 et élevés en bassin de 4 m², 1,5 m³ jusqu'au 10 novembre 1981.

densité	2.445 ind/m ³ (début d'exp.)	228 (fin d'exp.)
biomasse	2,0 kg/m ³	79
charge	0,360 kg/l minute ⁻¹	2,08



Les deux seules solutions pour éliminer ou pour rendre moins impérieuse la contrainte de croissance estivale obligatoire sont, d'une part, la disponibilité d'une source d'eau chaude continue et, d'autre part, l'utilisation d'un circuit fermé avec chauffage d'appoint hivernal; cette dernière solution a été adoptée dans l'exploitation commerciale pilote de la société Tate & Lyle.

4.5. Capacité de charge des bassins

Pour maximaliser la production d'une surface ou d'un volume donné de bassin d'élevage, il est indispensable de déterminer les charges optimales en poissons de différentes tailles qui peuvent y être maintenues, compte tenu :

1. du débit d'eau physiquement utilisable (taux maximum de renouvellement de l'eau dans les bassins d'une certaine conception);
2. de la disponibilité absolue (flux) de l'oxygène dissous;
3. de la consommation d'oxygène et de la production de métabolites (NH_3) par les poissons;
4. des contraintes de croissance d'ordre biologique (effet de la température, de la concentration en oxygène dissous, de la densité, de la vitesse du courant etc...) et bio-économique (taille minimum de commercialisation).

Ce chapitre aborde l'analyse des points 3 et 4.

Fig. 24 : Cycle d'oxygène dissous et d'ammoniaque dans un bassin d'élevage de *S. niloticus* (14 août 1979).

Température : 21,5°C

Débit : 1,5 m³/h

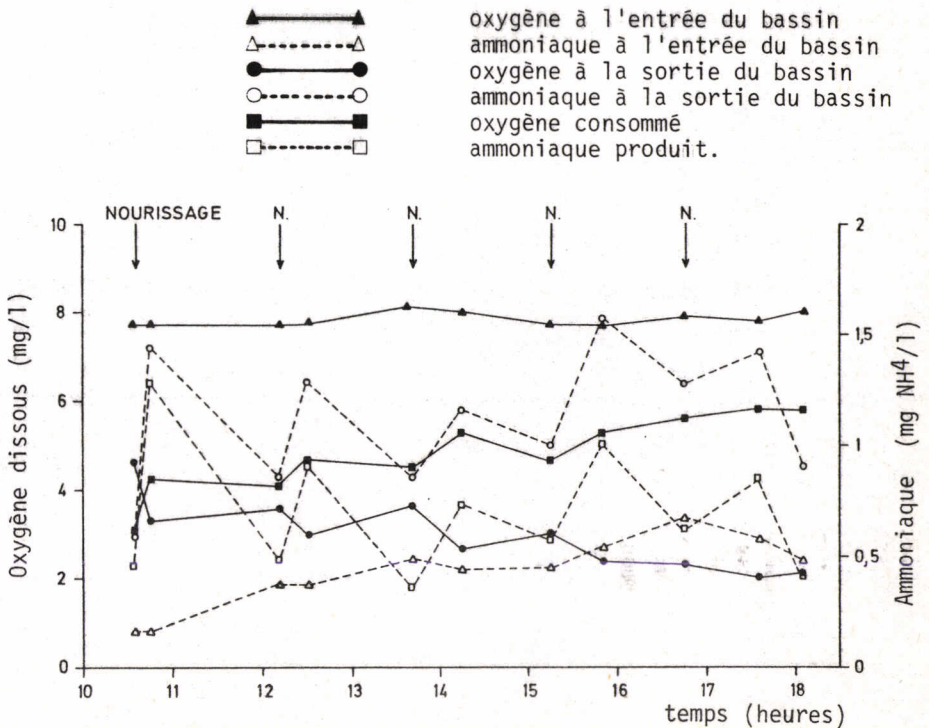
Ration alimentaire : 202 g X 5

Nombre : 298

Biomasse : 54.951 g

Poids moyen : 184,4 g

Taux de conversion : 2,54



4.5.1. Cycle journalier de l'oxygène dissous et de l'ammoniaque dans les bassins

La fig. 24 montre une augmentation rapide de la consommation d'oxygène juste après le premier nourrissage manuel; ce phénomène qui se répète après chaque nourrissage ultérieur est dû à l'activité de nutrition des poissons et à la digestion (action dynamique spécifique qui augmente de 30 à 50 % la consommation d'oxygène : ROBERTS, 1979). D'autre part, la consommation d'oxygène s'accroît régulièrement au cours de la journée pour atteindre un maximum vers 18h00, moment où l'activité digestive est aussi maximale (cf temps de transit de la nourriture dans les différentes parties du système digestif : ROSS et JANCEY, 1981).

La production d'ammoniaque augmente rapidement après chaque nourrissage; ce phénomène est également dû à l'activité de nutrition des poissons et à la digestion. (voir aussi fig. 25 et tabl. 27).

4.5.2. Consommation d'oxygène en fonction de la taille

La fig. 26 montre une première courbe théorique de consommation d'O₂ en fonction du poids; les données de base sont des mesures ponctuelles d'O₂ dissous (le matin, avant nourrissage) dans de nombreuses expériences effectuées en condition de température optimale pour la croissance.

Les consommations d'oxygène observées à 30-32°C sont, par exemple 520 mg/O₂/kg/h avec des poissons de 10 g et 65 mg O₂/kg/h avec des poissons de 300 g. L'influence de la température sur la consommation d'oxygène est importante : 174 mg/O₂/kg/h à 30-32°C et 71 mg O₂/kg/h à 19-21°C pour des poissons de 60 g.

Des tilapias normalement nourris consomment environ 30 à 50 % d'oxygène en plus que les tilapias à jeun (Fig. 25).

4.5.3. Courbes de charge en fonction du poids moyen

Pour maintenir une croissance optimale des tilapias dans les conditions du rejet thermique de Tihange I, il faut compter sur une disponibilité moyenne en oxygène dissous de 2,5 mg/l à 30-32°C (entrée des bassins = 7,5 mg O₂/l; sortie des bassins = concentration minimale de 3,5 mg/l pendant le nourrissage soit 5,0 mg/l avant le nourrissage). compte-tenu de la relation entre la consommation d'oxygène et le poids moyen, la charge optimale en tilapia de différentes tailles qui peut être maintenue (sans oxygénation ou aération complémentaire) sans effet négatif sur la croissance dû au manque d'O₂ (mais indépendamment de l'effet de la densité) est donnée par la courbe A de la figure 26. La courbe B indique la charge maximale qu'il est possible de tenir tout en gardant un taux de croissance moyen ou faible; cette courbe est calculée sur la base d'une concentration minimale en oxygène dissous de 3,5 mg/l avant le nourrissage (2,0 mg/l pendant le nourrissage) et d'une disponibilité totale de 4,0 mg/l.

Tableau 27 : Consommation d'oxygène dissous à la sortie des bassins d'élevage l'avant-midi et l'après midi (circuit ouvert et circuit semi-fermé).

Bassin		Oxygène dissous mg O ₂ /l					
		Avant midi (8-9h)			Après midi (16h30)		
		Entrée	Sortie	Consom- mation	Entrée	Sortie	Consom- mation
C.F.	B 1	6,5	1,8	4,7	6,1	1,5	4,6
	B 2	11,5	5,9	5,6	12,1	4,2	7,9
	B 3	12,5	3,5	9,0	11,5	1,4	10,1
	B 4	6,0	1,2	4,8	5,8	1,1	4,7
C.O.	B 7	7,5	4,8	2,7	7,3	3,5	3,8
	B 8	7,5	4,3	3,2	7,3	1,9	5,4
	B 9	7,5	4,4	3,1	7,3	3,8	3,5
	B 10	-	-	-	7,3	4,1	3,2
	B 11	7,5	2,8	4,7	7,3	1,6	5,7
	B 17	7,5	0,9	6,6	7,3	0,8	6,5
	B 18	7,5	4,1	3,4	7,3	1,4	5,9
	B 19	7,5	1,6	5,9	7,3	1,7	5,6
	B 20	7,5	1,7	5,8	7,3	1,3	6,0
	B 22	7,5	1,9	5,6	7,3	1,6	5,7
	B 23	7,5	3,2	4,3	7,3	3,0	3,9

Fig. 25 : Evolution des paramètres physico-chimiques du circuit fermé en fonction du nourrissage (25 mars 1981, d'après DESTINEZ, 1981).

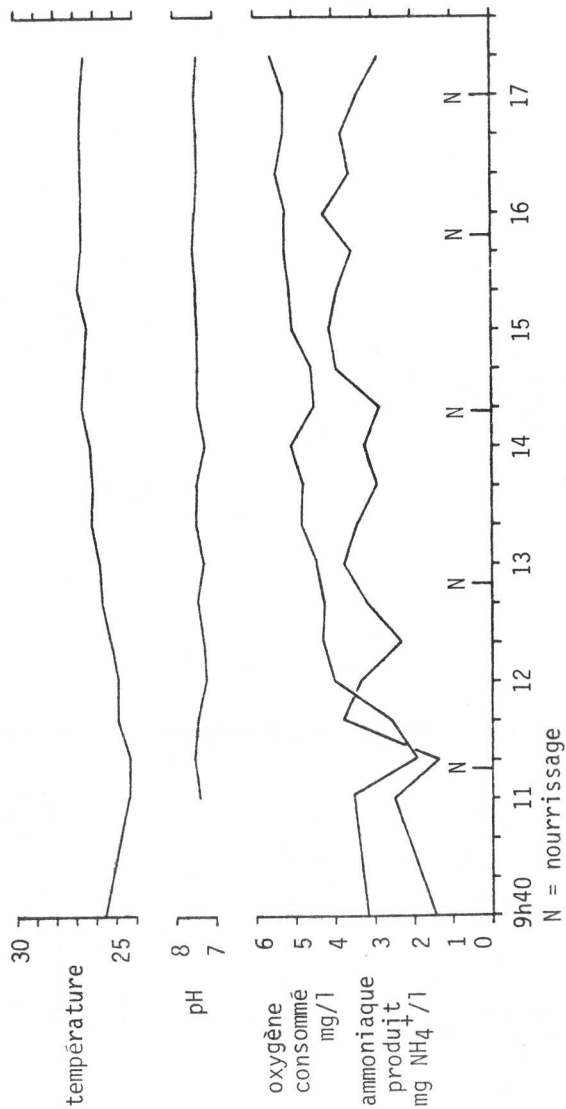
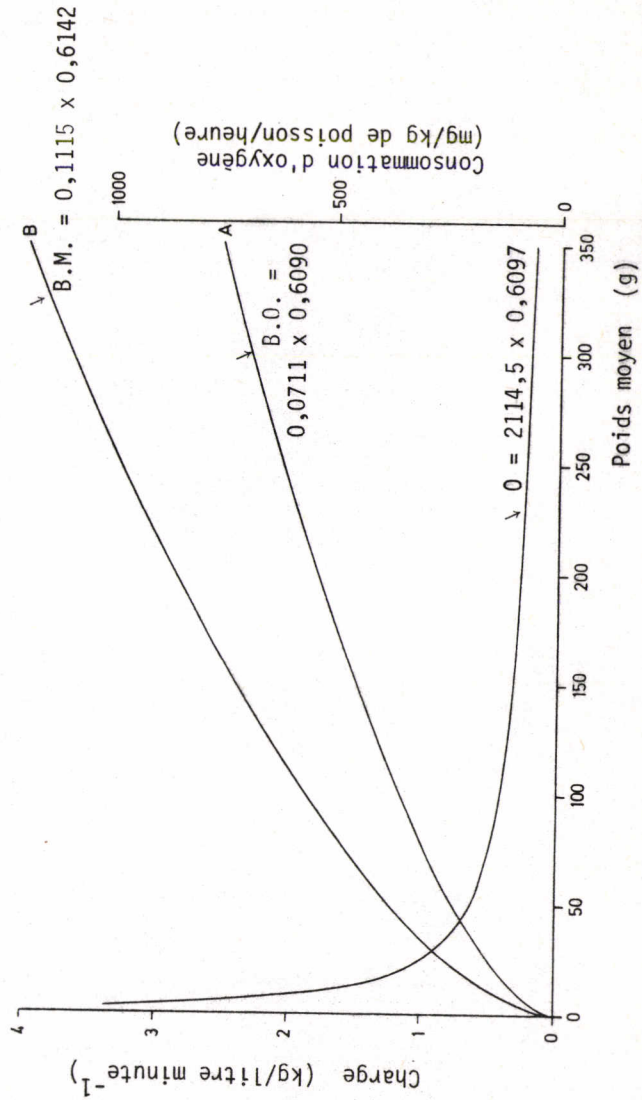


Fig. 26 : Courbe montrant la relation entre le poids moyen, la consommation d'oxygène (0. mg Oxygène/kg de poisson/heure) et la charge maximale (B.M. kg/l/minute) et optimale (B.O. kg/l/minute) pour des *S. niloticus* mâles élevés à forte densité en bassin (Volume : 1 m³, renouvellement de l'eau 1 X/heure) (Température : 30-32°C).



Le tableau 28 indique les biomasses de charge optimales pour la croissance calculée pour quelques tailles représentatives (température 30-32°C).

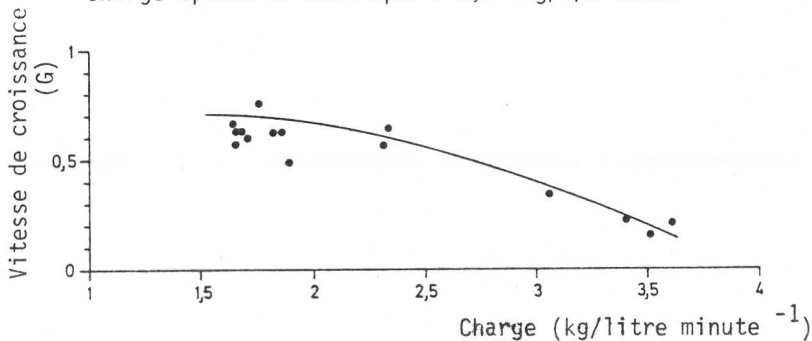
Tableau 28 :

Poids moyen (g)	kg/l par minute	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)	5,66	38,49	51,32
100	1,17	19,50 (195)	39,00	58,50	78,00
200	1,79	29,83 (149)	59,66	89,49	119,32
300	2,29	38,17 (127)	76,34	114,51	152,68

* nombre/m³

Pratiquement, une biomasse maximale de 120 kg (individus de 150 g) a pu être maintenue en bassin de 1 m³ avec un renouvellement de l'eau de 3,5 fois par heure; cette valeur étant supérieure à la capacité de charge optimale théorique de 90 kg (1,5 kg/l/minute), cette expérience a normalement donné lieu à une croissance assez faible (G = 0,45).

Fig. 27 : Influence de la charge sur la vitesse de croissance de *S. niloticus* en bassin (180-200 g).
Charge optimale théorique : 1,74 kg/l/minute.



La figure 27 met plus clairement en évidence la diminution du taux de croissance quand la charge réelle en Tilapia dépasse les valeurs optimales pour une température de 30-32°C et une concentration en oxygène dissous (7,5 mg/l) données dans l'eau alimentant les bassins (voir 4.4.2. iii).

Dans une monoculture intensive de *S. aureus* en eau géothermale (24-26°C) au Colorado, LAUENSTEIN (1978) signale des charges de 1,2 à 3,6 kg/l/minute et des biomasses de 16 à 64 kg/m³.

4.5.4. Autres facteurs conditionnant la charge optimale pour la croissance

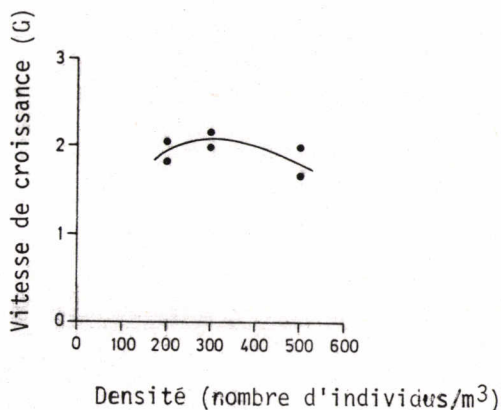
Nous avons vu plus haut que la charge optimale pour une température et une disponibilité en oxygène dissous données dépend, en premier lieu, du poids du poisson. Le paramètre densité (nombre ind./m³) peut aussi être limitant (voir 4.4.2. ii). Ainsi la figure 28 suggère que pour une même charge, la croissance est maximale à la densité de 300 ind/m³ (soit une biomasse de 32 kg/m³); à plus faible et à plus forte densité, le gaspillage de nourriture et le stress provoquent un ralentissement de la croissance.

Fig. 28 : Influence de la densité sur la vitesse de croissance de S. niloticus.

Charges identiques (1,48-1,66 kg/l/minute)

Poids moyen : 106 g

Température : 27,1°C.



4.6. Production

Le tableau 29 synthétise les principaux résultats de production de *Tilapia* acquis au cours des expériences de 1977 à 1979.

Les productions maximales par unité de volume et de débit sont obtenues avec des poissons de petite taille (1 - 20 g), ce qui est normal quand on sait que leur taux de croissance est beaucoup plus élevé que celui des poissons de taille supérieure.

En bassin, les productions maximales absolues par unité de débit et par unité de volume s'élèvent respectivement à 23,2 g/m³ h⁻¹ (poissons de 13,6 g; densité : 1000/m³; renouvellement de l'eau: 1,2 x /h) et à 41,7 kg/m³/mois (poissons de 19 g; densité : 2900 ind/m³; renouvellement de l'eau : 3,2 x /h). Mais sur la base d'une production moyenne par unité de débit de 11 g/m³/h, il faut environ 90m³ d'eau à 27-31°C pour produire 1 kg de S. niloticus de 300 g à partir des alevins mâles de 1 g.

Tableau 29: Taux de production moyen de *S. niloticus* en élevage intensif en bassin de $1 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}^2$ à différentes tailles.

Température 25-31°C

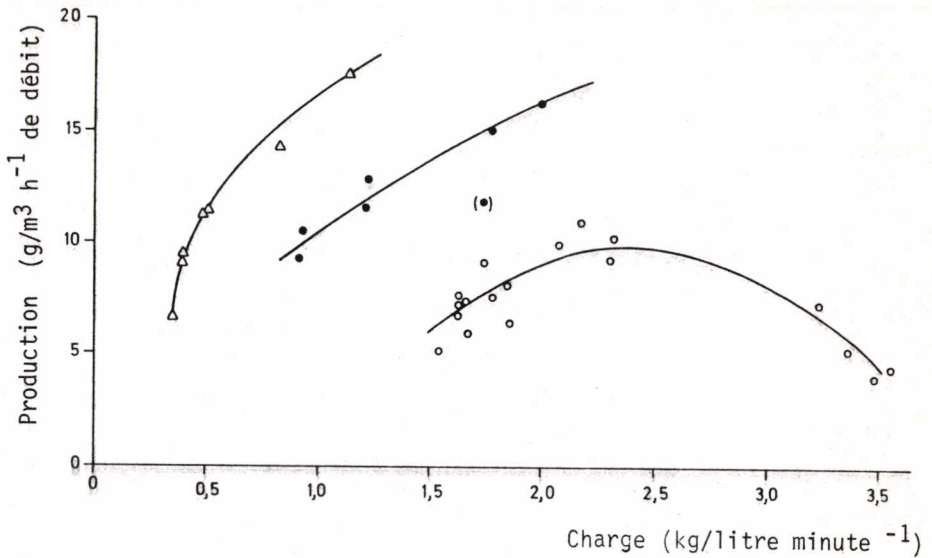
Conditions de densités et de débit (charge) variables.

Poids moyen (g)	Densité Nombre ind/m ³ (Min-Max)	Production par unité de volume g/m ³ /jour (Min-Max)	Production par unité de débit g/m ³ /heure (Min-Max)
1- 5	12.350 (9.540-15.500)	750 (615- 940)	12,4 (10,7-15,7)
5- 10	1.940 (1.000- 2.870)	750 (401-1.095)	21,4 (20,8-22,0)
10- 20	2.240 (998- 2.860)	1.060 (539-1.390)	19,1 (17,2-22,2)
20- 50	340 (100- 993)	350 (114- 544)	11,4 (6,9-17,3)
50-100	340 (260- 838)	400 (243- 737)	9,5 (5,1-12,7)
100-150	340 (100- 822)	440 (137- 859)	10,7 (6,1-15,1)
150-200	270 (100- 500)	340 (172- 573)	10,0 (6,7-14,4)
200-250	280 (99- 500)	350 (155- 756)	8,1 (4,5-12,9)
250-300	230 (132- 300)	410 (233- 527)	9,8 (7,7-10,8)
300-350	240	590	9,2

La figure 29 montre la relation entre la production par unité de débit et la charge pour 3 catégories de tailles : 40-50 g, 100-200 g et 180-200 g.

On constate une augmentation (d'autant moins rapide que les poissons sont plus grands) de la production quand la charge augmente. A partir d'une certaine charge, la production se stabilise ou diminue (ralentissement important de la croissance par manque d'oxygène). Pour des poissons de 100-120 g, cette limite correspond à une charge approximative de 2,3 kg/l/minute (soit une biomasse d'environ 38 kg/m³ avec un renouvellement d'eau de 1 x /h). Pour des poissons de 180-200 g, la limite correspond à une charge de ± 2,5 kg/l/minute (biomasse de 42 kg/m³ avec un renouvellement d'eau 1 x /h). Au delà de cette limite, la production décroît fortement (4 g/m³/h pour une charge de 3,5 kg/l/m).

Fig. 29 : Relation entre la production ($\text{g/m}^3/\text{h}$) et la charge (kg/l/minute) pour des *S. niloticus* mâles de 40 - 50 g (Δ — Δ), de 100 - 120 g (\bullet — \bullet) et de 180 - 200 g (\circ — \circ) en bassin (température 27-31°C).



4.7. Taux de conversion de la nourriture

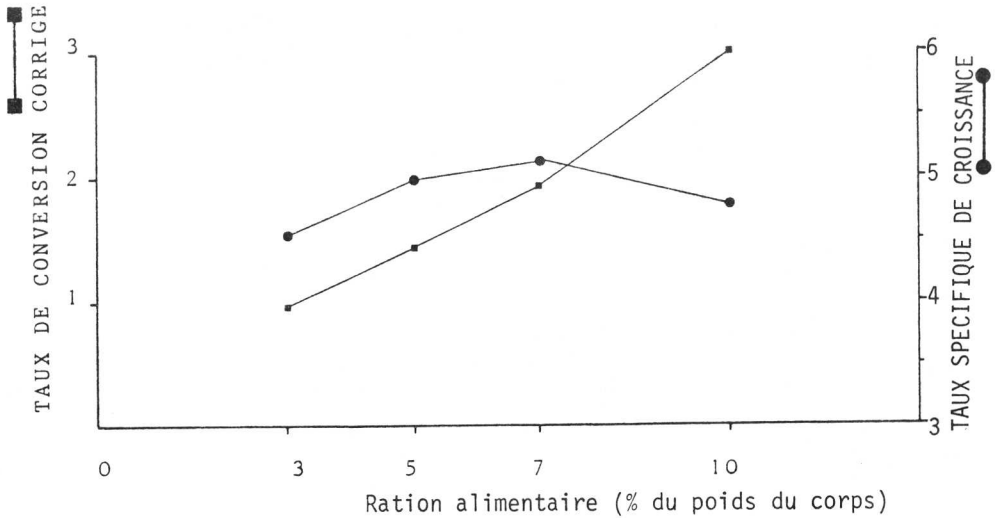
4.7.1. Influence de la ration journalière de nourriture

La figure 30 montre un exemple de relation existant entre la ration alimentaire (exprimée en % du poids corporel), le taux de conversion et le taux de croissance de tilapias élevés en cages flottantes de $0,5 \text{ m}^3$.

Ces expériences étant réalisées en cages flottantes, nous avons tenu compte de l'apport de nourriture naturelle de l'étang (plancton passant dans les cages, ce qui explique certains taux de conversion < 1 !). La correction de la production par cage "avec nourrissage" s'est faite en soustrayant la production "naturelle" obtenue dans des cages contenant des lots de poissons non nourris mais placés dans les mêmes

conditions de biomasse et de densité. On obtient ainsi la production réellement due à la nourriture artificielle et on peut corriger approximativement le taux de conversion.

Fig. 30 : Influence de la ration journalière de nourriture sur le taux de croissance et de conversion de S. niloticus (Poids moyen : 25 g; densité : 100 ind/0,5 m³).



D'une manière générale, quand la ration de nourriture devient excessive (surnourrissage), le taux spécifique de croissance diminue (baisse du taux d'oxygène dû à la non-consommation de toute la nourriture) et l'augmentation de la BOD et du taux de conversion devient très importante (gaspillage de nourriture).

Les expériences réalisées en bassin ont permis de mieux caractériser la relation entre la ration alimentaire et le taux de conversion. Ainsi pour des poissons de 40-60 g (Fig. 31), la ration alimentaire journalière optimale est de 6%. Avec moins de 6%, la ration, trop faible, couvre essentiellement les besoins de maintenance; au delà de 6 %, la nourriture est gaspillée et le taux de conversion s'accroît excessivement.

Fig. 31 : Influence de la ration sur le taux de conversion.
Poids moyen (40-60 g)
Température 27-31°C.

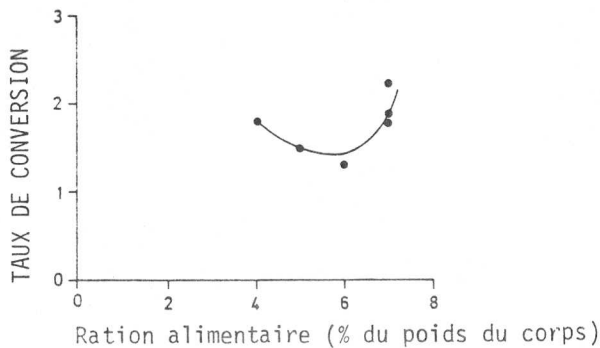


Tableau 30 : Comparaison des taux de conversion obtenus chez *S. niloticus* mâle nourri avec des granulés de composition différente.

Type de granulé	Protéines totales (%)	Constituants d'origine végétale (%)					Constituants d'origine animale (%)		Vitamine	Amidon	Taux de conversion (3)		
		Maïs	Soja	Riz	Algue		Farine de poisson	sang			1	2	Moyenne
					<i>Hydrodictyon</i> sp.	<i>Senedesmus</i> sp.							
A ⁽¹⁾	46	-	x	-	-	x	x	x	x	1,48	1,79	1,63	
B	23	68	15	-	-	-	15	-	1	2,29	2,11	2,20	
C	24	-	17	51	14 ⁽²⁾	17	-	-	1	2,39	2,36	2,37	
D	26	-	-	30	45	-	15	9	1	1,83	1,97	1,90	

(1) granulés pour truite (Trouvit^C, S.A.Produits Trouw, Gand - Belgique) utilisés dans toutes les expériences de production

(2) algue filamenteuse séchée et contenant une certaine quantité de protéines animales (Mollusques, Insectes, Crustacés)

(3) conditions de l'expérience : durée: 44 jours ; température moyenne: 29°C ; poids moyen initial et final des poissons: 30→88 g ; ration journalière: 5→3%

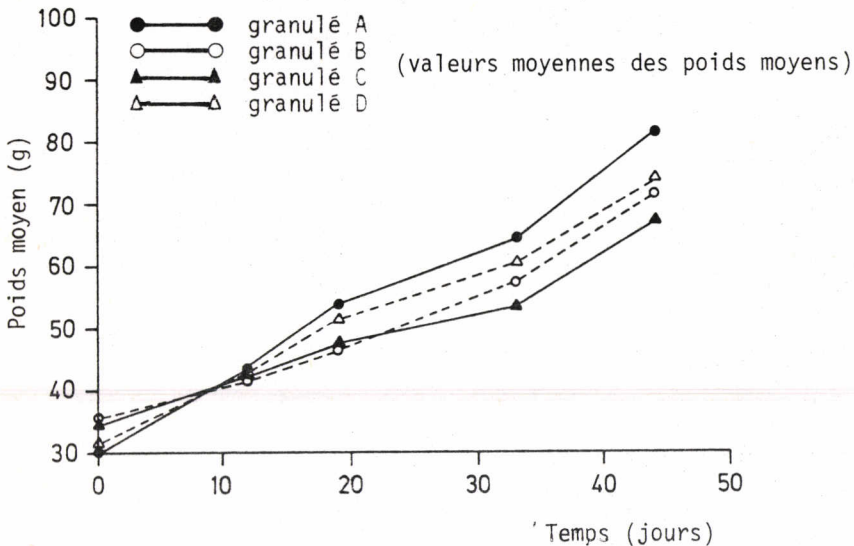
4.7.2. Influence du type de nourriture

Les tests réalisés avec différents aliments montrent les meilleurs taux de croissance et de conversion ($T_c = 1,6$ pour des poissons de 30-90 g) avec le granulé pour truite contenant 46% de protéines; avec les aliments à faible teneur en protéines (23-26%), les taux de conversion sont d'autant plus bas que la proportion de protéines animales par rapport aux protéines végétales est plus élevée (Tableau 30 et Figure 32).

Le choix définitif d'un aliment devra tenir compte des taux de croissance et de conversion mais également de la qualité du poisson produit, du taux de mortalité et surtout du prix du granulé. Le granulé donnant actuellement les meilleurs résultats au point de vue taux de croissance et de conversion est aussi le plus coûteux (environ 25 FB/kg au prix de mi gros).

Fig. 32 : Effet de la nourriture sur la croissance de S. niloticus ♂♂.

Durée 44 jours,
Température moyenne : 29°C,
Rations journalières : 5%, 4%, 4%, 3%,
Granulés A, B, C, D (cf tableau 30).



4.7.3. Influence du mode de distribution et de la fréquence de nourriture

Le distributeur à la demande est théoriquement le meilleur système de nourrissage mais en élevage à très forte densité (500 à 600 ind/m³), les poissons heurtent continuellement la tige sans pour autant manger et le taux de conversion tend à augmenter (COCHE, 1981). En pratique, le meilleur système d'alimentation se révèle être le distributeur automatique électrique parce qu'il permet, à la fois, d'augmenter la fréquence des repas (COCHE, 1976) et de régler plus exactement la quantité de nourriture distribuée. Quand la fréquence de nourrissage

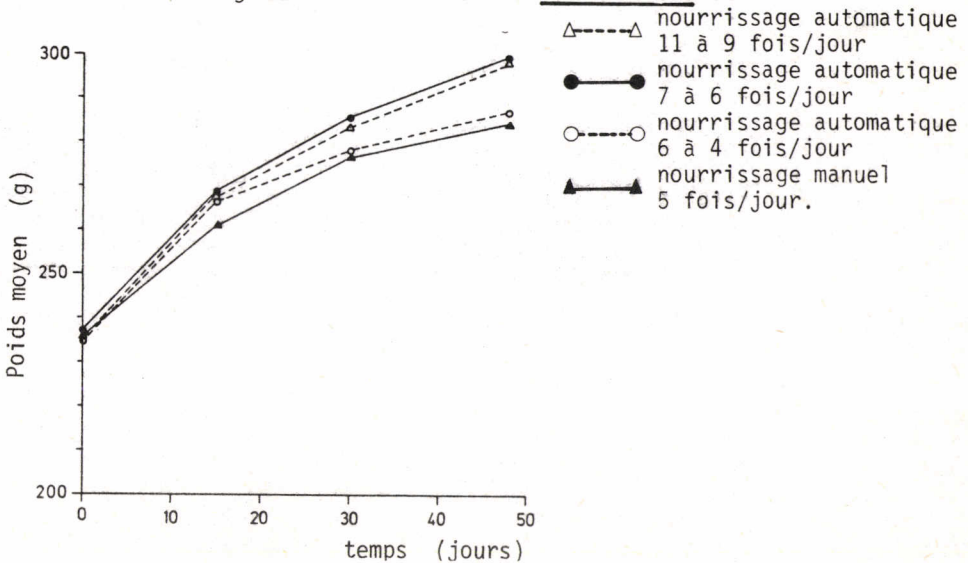
(nourrisseurs automatiques) tombe en dessous de 6 x/jour (Exp. n°4 du tableau 31), le taux de conversion augmente (T.C. = 4,0) et devient proche de celui obtenu avec le nourrissage manuel (Exp. n°1 : T.C. = 4,14). Avec une fréquence de nourrissage de 11 x/jour (Exp. n° 2&3), le taux de conversion est nettement meilleur (T.C. = 3,3), sans toutefois être satisfaisant, à cause de la température (21,4°C) beaucoup trop inférieure aux valeurs optimales de croissance-conversion (25-31°C). Des expériences complémentaires à ces températures devraient fournir de meilleurs résultats.

Tableau 31 : Effet du mode de distribution de la nourriture sur le taux de conversion et de croissance de S. niloticus.

Température : 21,4°C
Densité : 230 ind/m³

Expérience :	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4
Mode de distribution de la nourriture :	A la main 5 fois /j	Automatique 9/11 fois/j	Automatique 6-7 fois /j	Automatique 4-6 fois /j
Temps (j)	48	48	48	48
Ration alimentaire (%)	1,8-1,6-1,5	1,8-1,6-1,5	1,8-1,6-1,5	1,8-1,6-1,5
Pmi (g)	235,7	236,1	237,2	235,2
Pmf (g)	284,3	298,2	299,2	285,7
Taux de conversion g/j/individu	4,14	3,29	3,32	4,01
G	0,39	0,49	0,48	0,41

Fig. 33 : Influence du type de nourrissage et de la fréquence de nourrissages sur la croissance de S. niloticus 0.



4.7.4. Influence de la densité et de la biomasse

Dans les expériences de densité, le taux de conversion minimum (T.C. 1,88) est obtenu à une densité moyenne (300 ind/m³) (Tableau 32).

Tableau 32 : Influence de la densité sur le taux de conversion de S. niloticus ♂.

Poids moyen : 106 g
Température : 27,1 g
Ration : 4,5 %.

Densité (N/m ³)	200	300	500
Taux de conversion	2,02	1,88	2,16

A faible et à forte densité, le gaspillage d'énergie et de nourriture accroissent le taux de conversion (cf 4.4.2. ii).

4.7.5. Influence du débit et du taux d'oxygénation de l'eau

La diminution du taux d'oxygénation exerce une influence négative sur le taux de conversion de la nourriture, le stress respiratoire entraînant une mauvaise utilisation de la nourriture (Tableau 33).

Tableau 33 : Influence du taux d'oxygénation de l'eau sur le taux de conversion de S. niloticus ♂.

Poids moyen : 178 g
Température : 27,0°C
Densité : 300 ind/m³
Ration : 3,0 %

Oxygène dissous pendant le nourrissage (mg O ₂ /l)	1,8	2,5	3,3
Taux de conversion	3,68	2,45	1,88

Les taux de conversion optima sont obtenus avec des teneurs en oxygène dissous pendant le nourrissage égales ou supérieures à 3,0 - 3,5 mg O₂/l.

4.7.6. Taux de conversion moyen

Pour l'ensemble des expériences de croissance-production réalisées de 1977 à 1980 en bassins, les taux de conversion moyens sont de l'ordre de 1,5, 2,2 et 2,5 respectivement avec des poids de 0-100 g, 100-200 g et 200-300 g. Le taux de conversion général est de 2,1.

Les taux de conversion ont été nettement améliorés lors de l'expérience de croissance complète en avril-novembre 1981 (nourrissage à la demande).

4.8. Stockage hivernal en circuit semi-fermé

La baisse hivernale de la température du rejet pendant un à deux mois (cf 3.1.) ou l'arrêt de la centrale, nécessitent le réchauffement de l'eau de manière à assurer la maintenance des tilapias. Pour limiter au maximum les pertes de calories (2.1.), cette opération s'est réalisée dans une installation (Fig. 2 & 3) de recyclage partiel de l'eau (circuit semi-fermé).

De décembre 1979 à avril 1980, le système a permis (tableau 34) le stockage hivernal de 550 kg de *S. niloticus* (4.450 poissons) ainsi que la production de 13.000 alevins. Grâce à la bonne capacité d'épuration du filtre biologique (possibilité d'accroître la quantité de nourriture distribuée), une légère croissance de la biomasse a eu lieu (60 kg de production en 83 jours) mais on a enregistré des valeurs faibles pour le taux de croissance ($\pm 0,2$ g/jour/ind) et très moyennes pour le taux de conversion (T.C. = 3,32, valeur élevée due à la faible ration alimentaire journalière : 0,4 à 0,7 %). Le taux de mortalité a atteint 0,4 %. Le tabl. 35 et la fig. 34 montrent respectivement les caractéristiques moyennes et l'évolution temporelle des paramètres chimiques principaux à l'entrée et à la sortie du filtre biologique. L'épuration est efficace, puisque la quantité de NH_4^+ et de NO_2^- (ions à éliminer) diminue nettement après passage dans le filtre (respectivement 44,9 % et 21,6 % en moins); l'augmentation de la concentration en NO_3^- (non toxique) est due à la transformation des nitrites en nitrates. Les concentrations en NH_4^+ et NO_2^- à la sortie du filtre sont nettement en-dessous des valeurs létales pour les tilapias. Le fonctionnement du système exige 24 m³ d'eau chaude par jour ce qui correspond à un apport moyen de 422.000 Kcal/jour (consommation journalière de fuel = 47kg).

Tableau 34 : Croissance et production de *S. niloticus* pendant la phase hivernale de stockage en circuit semi-fermé (hiver 1979-1980).

Nombre de Jours	Poissons	Poids moyen (g)	Biomasse totale (kg)	Production (kg)	Nourriture distribuée (kg)	Taux de conversion
0	4458	110	490,1			
27	4441	114	507,5	17,4	57,1	3,28
45	4441	117	520,3	12,8	39,9	3,11
64	4440	122	543,1	22,8	45,3	1,99
83	4440	124	550,1	7,0	56,9	8,13
				60,0	199,2	3,32

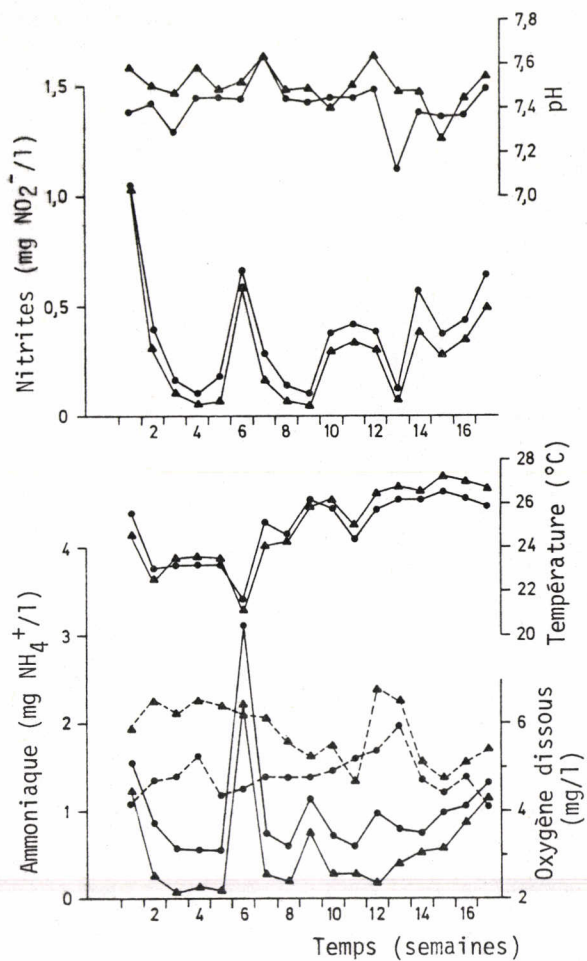


Fig. 34 : Evolution des principaux paramètres physico-chimiques à l'entrée et à la sortie du filtre en 1980.

- entrée du filtre
- ▲—▲ sortie du filtre
- - -● oxygène à l'entrée et
- ▲- - -▲ à la sortie (après aération) du filtre

Tableau 35: Valeurs des différents paramètres de l'eau du circuit semi-fermé à l'entrée et à la sortie de la filtration (hiver 1979-1980).

Paramètres	Entrée	Sortie
pH	7,5	7,4
mg O_2 /l	4,6	5,6
conductivité $\mu S/cm$	476	476
mg $CaCO_3/l$	175	173
mg CO_2/l	30,0	26,8
mg PO_4/l	0,81	0,79
mg SO_4/l	47	47
ml Cl^-/l	0,01	0,01
mg NH_4^+/l	0,98 min. 0,50 max. 3,17	0,54 min. 0,07 max. 2,24
mg NO_2^-/l	0,37 min. 0,07 max. 1,05	0,29 min. 0,05 max. 1,09
mg NO_3^-/l	12,19 min. 9,06 max. 20,46	13,40 min. 7,75 max. 21,56

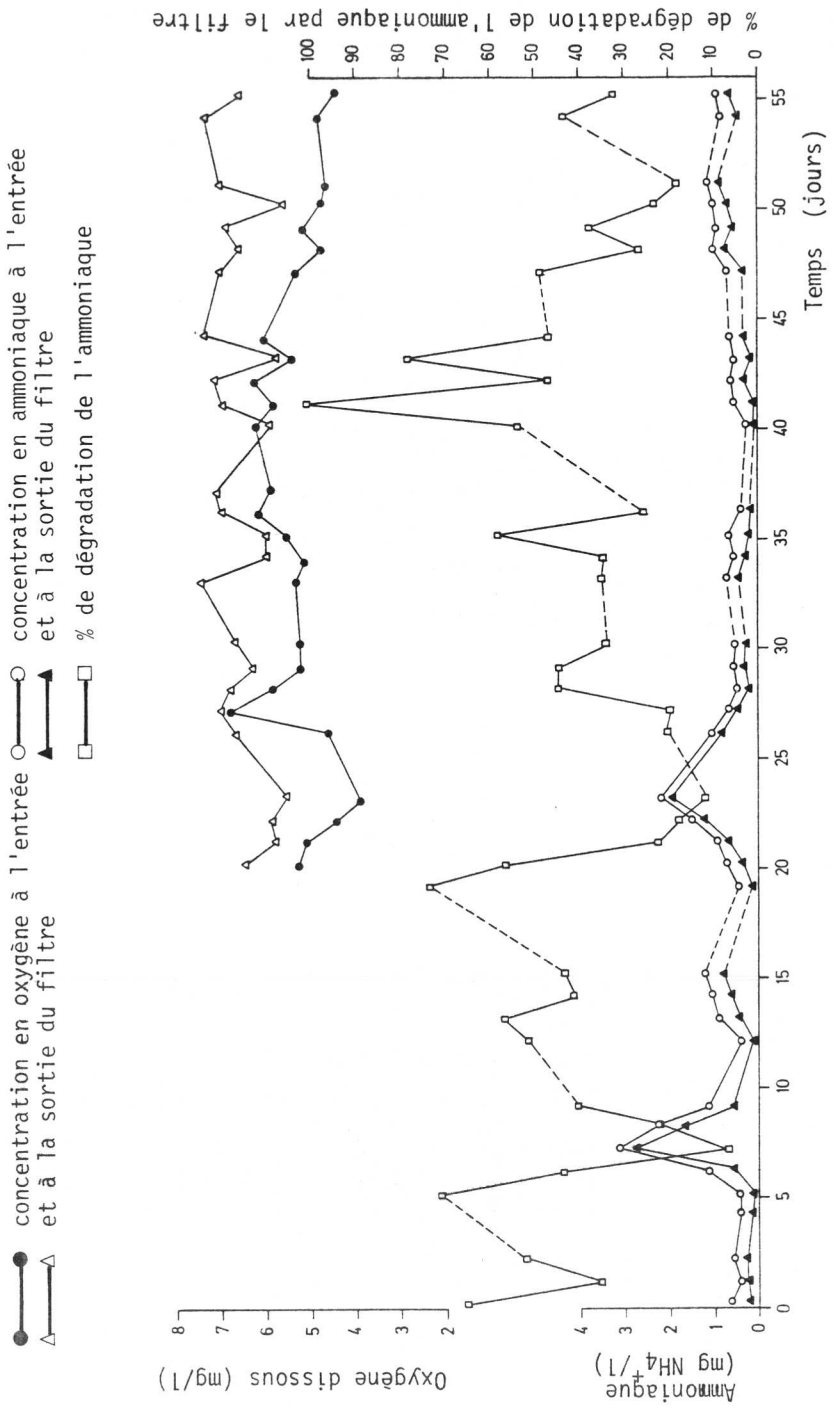
Moyenne des mesures prises journallement à 09 heures.

En début 1981, la circuit semi-fermé a été mis en charge avec 3117 poissons représentant une biomasse totale de 537,1 kg.

La figure 35 montre l'évolution des principaux paramètres. Les limites du système sont apparues quand on a tenté de nourrir intensivement plusieurs bassins : l'accroissement des matières en suspension a entraîné le colmatage du filtre à gravier tandis que la concentration insuffisante en oxygène dissous à l'entrée du filtre ne permettait plus une nitrification satisfaisante de l'ammoniaque (lui aussi accru du fait d'un nourrissage important). L'utilisation du circuit semi-fermé pour la croissance et la production de tilapias nécessite donc

- i) une amélioration de la décantation des matières solides ;
- ii) une oxygénation supplémentaire à l'entrée du filtre biologique.

Fig. 35 : Evolution des principaux paramètres physico-chimiques à l'entrée et à la sortie du filtre en 1981 (mi-janvier à mi-mars).



4.9. Qualité organoleptique des tilapias

La qualité sanitaire des poissons produits est l'aspect le plus important de la pisciculture en eau chaude industrielle.

Les dosages de radioactivité (tableau 36) ont révélé des concentrations en radionucléides inférieures à celles trouvées dans les poissons indigènes de la Meuse en amont et en aval de la centrale (MICHA et GENIN, 1977). On notera l'absence de différences significatives entre les teneurs en radionucléides des *S. niloticus* ayant consommé de la nourriture naturelle en étang (risque d'accumulation via la chaîne trophique et notamment via le plancton et les algues) ou de la nourriture artificielle en bassin. De plus, la teneur en radionucléides n'augmente pas avec l'âge du poisson de façon significative. Quoiqu'il en soit, le niveau de radioactivité peut être considéré comme très faible (GENIN et MICHA, 1980).

Pour ce qui concerne la présence de métaux lourds dans les muscles, les analyses (tableau 37) mettent en évidence des concentrations très faibles en mercure mais sensiblement plus élevées en cadmium, surtout chez les poissons âgés et de grande taille (0,37 ppm : poissons de 290 g et 16 mois); de telles teneurs en cadmium, néanmoins inférieures aux normes légales (0,50 ppm) pourraient provenir de la contamination de l'aliment pour truite utilisé.

Le développement de la production commerciale des Tilapias de Tihange⁴ a amené, en juin 1981, le Service d'Inspection Vétérinaire du Ministère de la Santé Publique, à faire procéder à diverses analyses sur les poissons destinés à la consommation; les résultats satisfaisants obtenus lèvent désormais officiellement toute incertitude quant à la qualité sanitaire des tilapias.

Signalons enfin que des recherches sont actuellement entreprises pour préciser les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des Tilapias de Tihange⁴, par comparaison à des espèces traditionnelles. Cette étude devrait confirmer quelques uns des avantages alimentaires majeurs des Tilapias : faible teneur en sel, forte proportion d'acides gras polyinsaturés.

4.10. Commercialisation

4.10.1. Production de recherche du CERER - Pisciculture

En 1978, quelques essais limités de commercialisation eurent lieu dans un restaurant de la région hutoise (100 kg de Tilapias écoulés au prix moyen de 300 FB/kg). En 1979, sur un total d'environ 1.000 kg de *S. niloticus* produits, 600 kg ont été conservés comme matériel de recherche pour 1980 tandis que 200 kg furent auto-consommés par les chercheurs et 200 kg commercialisés sous forme de vente à des restaurants ou des particuliers au prix de 250-300 FB/kg. Dès ce moment, le tilapia est apparu comme très bien accepté par les consommateurs, bien que l'on craignait au départ une certaine aversion psychologique résultant d'une association de ce poisson aux rejets thermiques d'une centrale nucléaire. Ces essais ont aussi révélé que les tilapias avaient

Tableau 36 : Teneur en radionucléides dans 4 lots de S. niloticus mâles élevés dans les rejets thermiques de la centrale nucléaire de Tihange 1.

(Dosages effectués par Dr KIRCHMAN du C.E.N. Mol - Belgique)

	Lot 1 (déc 1979) Elevage en bassin Nourrit. artificielle Nombre = 54 Poids moyen = 56 g Age : 4 mois	Lot 2 (sept.1978) Elevage en bassin Nourrit. artificielle Nombre = 40 Poids moyen = 125 g Age : 6,5 mois	Lot 3 (déc 1979) Elevage en bassin Nourrit. artificielle Nombre = 17 Poids moyen = 306 g Age : 12 mois (Poissons de taille commercialisable)	Lot 4 (sept.1979) Elevage en étang Nourrit. naturelle Nombre = 40 Poids moyen = 142 g Age : 6 mois
^3H (pCi/g matière sèche)	-	0,79 0,01	-	0,76 0,15
pCi/ml eau combinée	-	1,26 0,03	-	1,17 0,23
^{90}Sr (pCi/kg matière fraîche)	20,4 3,8	27,40	13,2 2,1	29,20 1,50
^{60}Co (pCi/kg matière fraîche)	-	-	14,0 2,0	-
^{134}Cs (pCi/kg matière fraîche)	-	-	5,0 1,0	-
^{137}Cs (pCi/kg matière fraîche)	28,0 3,0	-	44,0 1,0	-

Gardon Rutilus rutilus de la Meuse en aval de Tihange en 1978 (d'après GENIN et MICHA, 1980)

^{60}Co : 25-350 pCi/kg matière fraîche

^{137}Cs : 27- 51 pCi/kg matière fraîche

Tableau 37: Teneur en métaux lourds dans les muscles de 3 lots de *S. niloticus* mâles élevés dans les rejets thermiques de la centrale nucléaire de Tihange I.

(Dosages effectués par J.M. BOUQUEGNEAU et C. VERTHE du Laboratoire d'Océanologie de l'Université de Liège; Professeur A. DISTECHE).

Nombre de poissons	Poids moyen (g)	Age (mois)	Mercurure Hg	Cadmium Cd	Zinc Zn	Cuivre Cu
7	94	7	0,031 (0,003)	0,030 (0,003)	7,17 ± 0,43	0,63 (0,12)
6	140	9	0,038 (0,003)	0,128 (0,037)	5,16 (0,25)	0,42
16	290	16	0,040 (0,005)	0,370 (0,050)	10,35 (1,10)	1,44

Résultats (moyenne et erreur standar) exprimés en ppm par kg de poids frais.

Normes légales en Belgique : Maximum 0,5 ppm Hg et Cd dans les muscles.

avantage à être commercialisés à 400 grammes plutôt qu'à 300 grammes et que les prix devraient être baissés). Les ventes du CERER continuent et ont été d'environ 400 kg en 1980 et 800 kg en 1981.

4.10.2. Installation d'une exploitation pilote piscicole privée à Tihange

A la faveur de nos recherches, une firme privée agro-alimentaire (Tate & Lyle) a installé en février 1980 et sur le site de Tihange I une ferme piscicole pilote ayant pour objectif la production annuelle d'une dizaine de tonnes de tilapias. En août 1980, 10 bassins auto-nettoyants de 10 m³ et munis d'aérateurs sont mis en charge avec 30.000 alevins de tilapias hybrides israéliens. La commercialisation de la production commence dès mai-juin 1981 à la taille de 300-350 g et sous plusieurs formes : dans divers restaurants de Liège, Huy, Bruxelles etc... et à des particuliers. Enfin, à partir d'octobre 1981, 300 à 400 kg de Tilapias sont exportés chaque semaine vers la France (Marché de Rungis). Au début décembre 1981, l'objectif de production du système, soit 10 tonnes/an, est atteint. Au même moment, un nouveau cycle de production est lancé au départ d'alevins fournis exclusivement par le CERER - Pisciculture. Des extensions de la ferme piscicole sont prévues pour fin 1982.

4.11. Optimalisation globale du système de production

Dans les conditions existant à Tihange, l'optimalisation globale du système de production des tilapias implique trois types d'actions :

- i) maximaliser les performances biologiques (essentiellement le taux de croissance mais également la production d'alevins), compte tenu notamment des contraintes thermiques (nombre de jours de croissance active) et commerciales (taille minimum 350-400 g),
- ii) minimiser le taux de conversion de la nourriture car le poste alimentation représente une part importante du coût de production,
- iii) maximaliser le taux d'utilisation des infrastructures, ce qui implique de produire un maximum de poissons par unité de volume de bassin (kg/m³/j-1) en réalisant les densités-biomasses (kg/m³) et les charges les plus élevées possible .

Mais comme l'illustrent très bien les figures 36 et 37, la difficulté majeure du problème tient à l'existence d'interactions entre la densité et la charge d'élevage, le taux de croissance, le taux de conversion et la production. D'une manière générale, une augmentation de densité ou de charge permet (dans des limites examinées au 4.5.3.) d'accroître la production par unité de surface ou de volume de bassin mais le gain réalisé à ce niveau se paie par une diminution du taux de croissance (donc un allongement de la période de production) et une augmentation du taux de conversion. En pratique, le choix de telle ou telle condition d'élevage est conditionné par le coût de production dans lequel interviennent différentes composantes.

- le coût de la nourriture,
- les frais de pompage et d'aération-oxygénation,
- l'amortissement des bassins.

Dans ce contexte, plusieurs voies se présentent pour optimaliser le système de production du tilapia à Tihange. Nous allons brièvement les passer en revue.

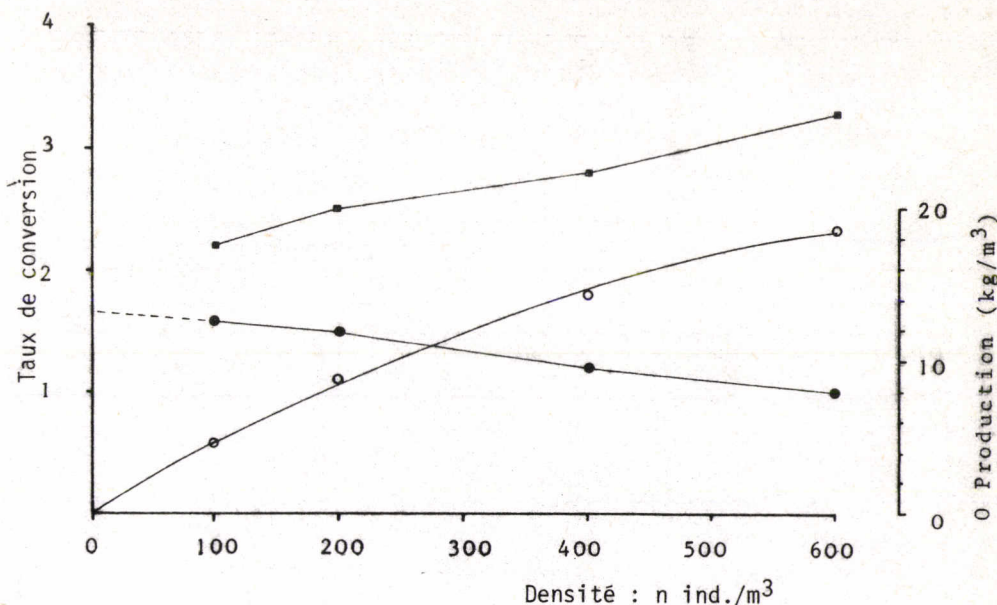
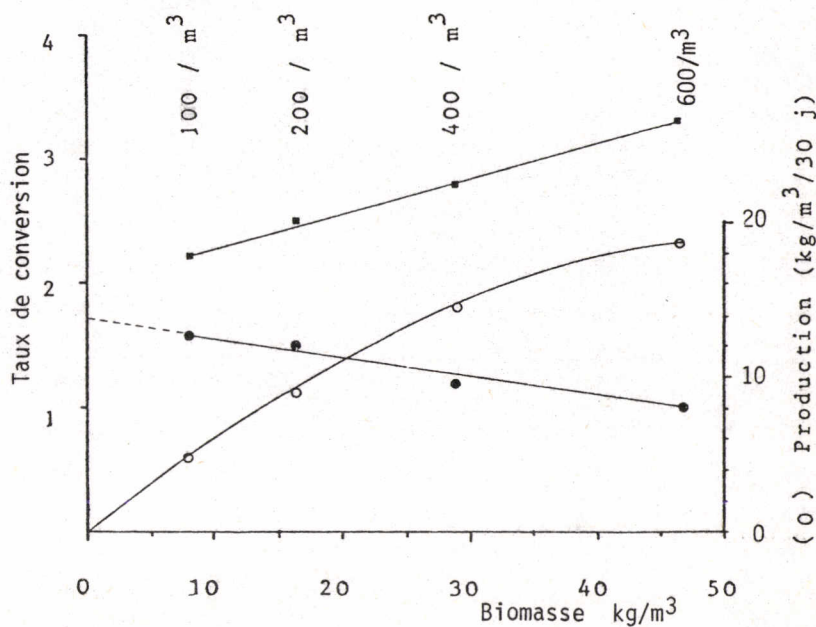


Fig. 36 et 37 : Exemple de relation entre la densité (Fig. 36) et la biomasse (Fig. 37) sur la croissance (● g/j/individu), la production (○ kg/m³ 30/jours) et le taux de conversion (■) chez des *Sarotherodon niloticus* mâles élevés en cage (Pmi : 55 g ; R.J. : 7% Trouvit ; Température moyenne : 27,9°C).



4.11.1. Contrôle du régime thermique

Le tableau 38 montre qu'on peut compter, en moyenne, sur 185 jours par an de bonne croissance sans régulation de température et sur 276 jours (9 mois) de bonne croissance avec régulation haute température (refroidissement par addition d'eau froide).

Tableau 38 : Répartition des fréquences des températures moyennes de l'eau (moyennes 1977, 1978, 1979, 1980) en fonction des exigences thermiques du Tilapia.

Exigences thermiques		nombre de jours
< 17°C	dangereux	28
17-20°C	croissance nulle ou faible : limite d'hivernage	61
20-25°C	croissance moyenne	92
25-31°C	croissance optimale	93
31-33°C	ralentissement de la croissance	49
> 33°C	dangereux : diminution du taux d'oxygénation (suboptimal)	42

Le volume d'eau froide nécessaire au maintien d'une température maximale de 31°C (température maximale optimale pour le tilapia) varie (pour un débit global de 100 m³/h) entre un maximum de 99.600 m³ en 1977 et un minimum de 10.300 m³ en 1980 et cela en relation directe avec les conditions climatiques (débit de la Meuse, température) des mois "chauds" : juillet, août, septembre, octobre (tableau 39).

Tableau 39 : Volume d'eau froide nécessaire pour maintenir la température de l'eau alimentant la pisciculture à 31°C maximum (1977, 1978, 1979, 1980). Débit : 100 m³/h.

Année	Eau de centrale	Eau froide de Meuse	
	Nombre de jours à température moyenne égale ou supérieure à 31°C	Température moyenne des jours avec température ≥ 31°C	Volume d'eau nécessaire m ³ /année
1977	131	35,1	99.602
1978	79	32,3	32.782
1979	119	32,6	54.606
1980	32	31,7	10.284

Dans un système en circuit ouvert, il est évidemment inconcevable, pour des raisons de coût, de réchauffer l'eau pendant les périodes (61 jours/an avec température = 17-20°C) de croissance faible ou nulle; l'élevage doit donc être programmé de manière à récolter les poissons commercialisables en octobre-novembre, à partir d'alevins mis en charge en avril-mai, ces alevins pouvant être produits l'automne précédent et "hivernés" en circuit fermé ou encore produits pendant l'hiver dans ce circuit fermé.

Avec une alimentation continue en eau chaude (interconnection de plusieurs centrales) ou en exploitant d'autres types d'eaux chaudes (eaux industrielles, eaux géothermales, chauffage solaire) sur d'autres sites, on pourrait réaliser les différentes phases de production en dépendant beaucoup moins de la saison et en éliminant ainsi le problème crucial de l'hivernage de grandes quantités de poissons.

Même si l'approvisionnement en eau chaude est continu, le développement d'une exploitation commerciale viable exige néanmoins la mise en place d'un circuit fermé avec chauffage et oxygénation d'appoint pour assurer la maintenance des tilapias en cas d'interruption accidentelle de la fourniture d'eau chaude ou en cas de pollution grave du fleuve ainsi que lors des chlorations. Pendant l'hiver 1980-1981, la ferme piscicole pilote Tate & Lyle a fonctionné grâce à un tel circuit fermé (chauffage électrique - épuration par le procédé du lit bactérien) : 30.000 Tilapias (3.000 kg) ont été maintenu sans difficulté et plusieurs lots ont enregistré des croissances intéressantes.

Dans la perspective du fonctionnement de la centrale de Tihange II (qui utilisera pendant la majeure partie de l'année un système de refroidissement au moyen d'une tour à tirage naturel) il faut tenir compte que l'eau disponible (équivalente à 1 m³/sec) aura une température plus élevée (température de la Meuse + 20°C) qu'aujourd'hui avec Tihange I; il y aura donc moins de problème de réchauffement obligatoire en hiver, mais l'addition d'eau de Meuse froide s'imposera d'avantage pendant une grande partie de l'année.

4.11.2. Amélioration des performances intrinsèques de croissance

a) Sélection des individus à croissance rapide

La sélection des individus à croissance rapide se fait par tri des tailles chez des poissons de même âge (possibilité de triage mécanique) et permet d'obtenir des taux de croissance nettement plus importants qu'en moyenne (Fig. 38).

b) Amélioration génétique et utilisation de souches étrangères

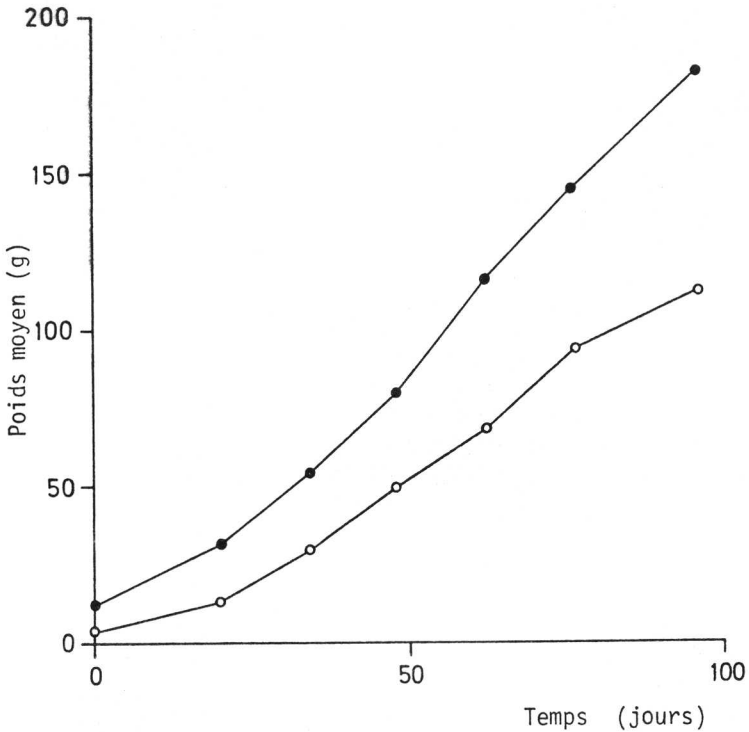
La sélection d'individus à croissance rapide et le croisement de ceux-ci entre-eux devrait fournir des souches à croissance rapide et donc une amélioration génétique. On peut également envisager la reconstitution des souches pures.

c) Utilisation d'autres espèces de Tilapia

À côté de *S. niloticus*, six autres espèces de tilapias ont également été testées en cours de projet : trois tilapias incubateurs buccaux et microphages (*S. aureus*, *S. galilleus* et *S. mossambicus*) et

Fig. 38 : Croissance comparée de *S. niloticus* ♂♀ de même âge, sélectionné en fonction de la taille.

- lot à croissance rapide,
- lot à croissance lente.



trois tilapias pondéurs sur substrat et herbivores macrophages (*T. guineensis*, *T. zillii* et *T. rendalli*). Nous allons brièvement commenter les résultats obtenus avec ces espèces.

* *S. mossambicus* (origine : Aquarium U.Lg et magasins d'aquariophilie)

La croissance de *S. mossambicus* est en général moins rapide que celle de *S. niloticus*. La vitesse de croissance des mâles ($G = 2,5 \text{ J}^{-1}$) est deux fois plus rapide que celle des femelles ($G = 1,2 \text{ J}^{-1}$) (tableau 40).

Cette espèce est surtout intéressante pour l'hybridation avec *S. niloticus* en vue de la production d'hybrides à forte proportion de mâles. Il convient beaucoup moins pour la production intensive.

D'autre part, *S. mossambicus* se caractérise par un goût (de vase) nettement inférieur à celui des autres tilapias.

Tableau 40 : Taux de croissance de Sarotherodon mossambicus mâle et femelle

Bassin de 160 l.

Débit : ± 160 l/h.

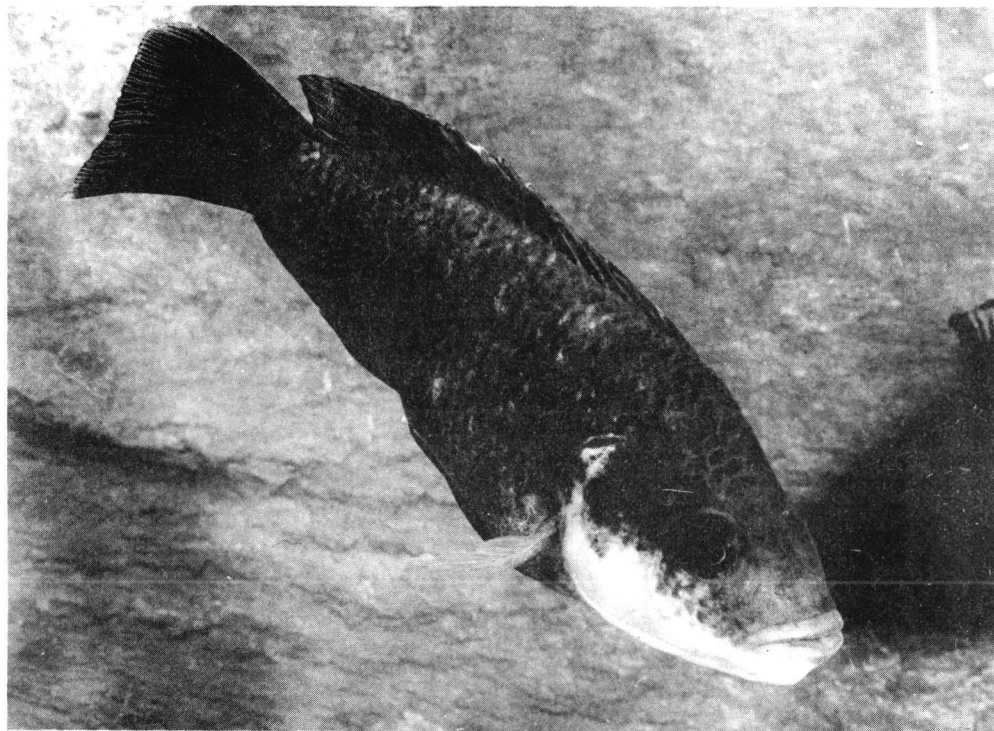
Nourriture : Granulé A (7 - 5 %/j)

Températures : 29,2°C (23,0°C-36,0°C)

Période : 27/07/1978 - 8/09/1978.

Temps (j)	Nombre		Longueur moyenne (mm)		Poids moyen (g)		g/j/ind		G	
	0	♀	0	♀	0	♀	0	♀	0	♀
0	44				13,2					
15	28	16	116	91	13,6	15,6	0,83	0,16	4,4	1,1
30	28	16	129	99	34,7	18,4	0,60	0,19	2,0	1,1
45	28	16	138	107	40,8	22,2	0,41	0,25	1,1	1,3

PHOTO 5 : Sarotherodon mossambicus ♂.



* S. galilaeus (origine : station piscicole de Dor en Israël, 1979).

Ce tilapia, original car il est le seul incubateur buccal à former une famille biparentale (ILES et HOLDEN, 1969) grandit moins vite que S. niloticus et n'atteint jamais des tailles importantes.

* S. aureus (origine : station piscicole de Dor en Israël, 1979).

Le tableau 41 montre la très nette différence de vitesse de croissance entre mâles (G = 1,37) et femelles (G = 1,02) et l'intérêt, tout comme pour S. niloticus, d'élever les mâles plutôt que les femelles.

Tableau 41 : Taux de croissance de Sarotherodon aureus mâle (♂) et femelle (♀) en 1980.

Cage de 0,5 m³

Nourriture : granulé A (5% - 2%)

Température moyenne : 27°C

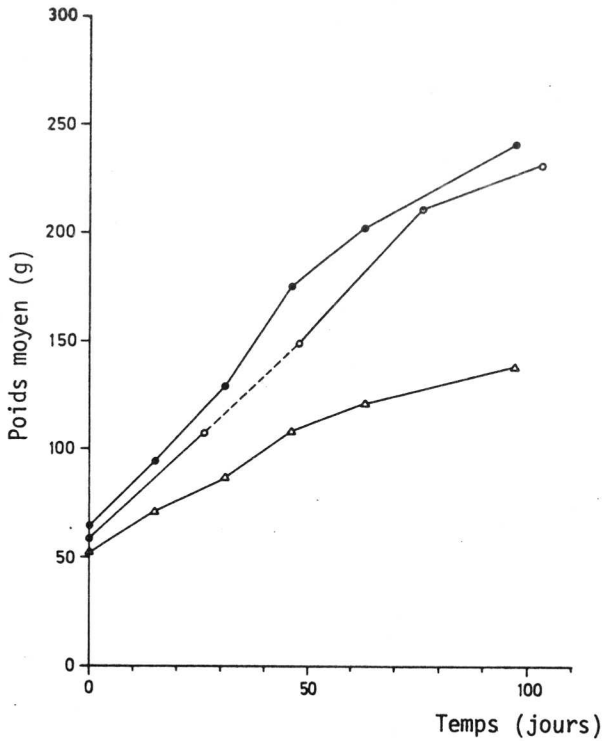
Période : 26/06/1980 - 2/10/1980 soit 97 jours.

Nombre de poissons		Poids moyen (g)		Biomasse (g)		Production (g)		Taux de conversion		g/j/ind		G	
		♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
39	45	63,9	51,3	2490	2310								
38	42	240,8	138,3	9150	5810	6660	3500	3,2	4,1	1,82	0,90	1,37	1,02

Le taux de croissance des mâles S. aureus est comparable à celui des S. niloticus mâles élevés dans des mêmes conditions (cage de 0,5 m³ ; 50 ind/cage) (Fig. 39).

Les expériences de croissance en bassin ont également donné des résultats comparables à ceux obtenus avec S. niloticus.

Fig. 39 : Croissance pondérale comparée de S. aureus ♂
S. aureus ♀
S. niloticus ♂



* Tilapia guineensis (origine : stock de l'Aquarium de l'U.Lg).

Dans une expérience où l'on compare la croissance de trois lots de poissons alimentés avec des nourritures différentes, la vitesse de croissance est nettement meilleure ($G = 1,2$) dans le lot alimenté avec les granulés A que dans les deux autres lots ($G : 0,8$). Le taux de conversion obtenu avec les algues (T.C. : 4,5) est néanmoins très bon mais les taux de croissance obtenus avec Tilapia guineensis sont nettement moins importants que ceux observés avec S. niloticus comme le montre le tableau 42 relatif à une expérience réalisée en étang en 1978.

D'autre part, T. guineensis s'est révélé être relativement sensible aux hautes températures (mortalités en juillet-août 1977 à une température de 32-33°C) et aux chocs thermiques brusques (mortalité de 25% en bassin et de 50% en étang, après une chute rapide de la température de 18 à 8°C, un maintien de 8°C pendant 3 heures puis un retour à 20°C) : cela tient probablement au fait que T. guineensis est une espèce (euryhaline) vivant dans les milieux côtiers et lagunaires thermiquement plus stables que l'eau douce.

Tableau 42 : Croissance comparée de 3 lots de Tilapia guineensis mâles élevés en cages de 0,5 m³.

Lot 1 alimenté avec une ration journalière de 4,8 % de granulés A (46% de protéines brutes)

Lot 2 alimenté avec une ration journalière de 4,8 % de granulés soya (30% protéines végétales brutes)

Lot 3 alimenté avec une ration journalière de 4,8 % (poids sec) d'algues essorées : Hydrodictyon et Cladophora (\pm 26% de protéines végétales brutes).

Température moyenne : 25,8°C (23,9°C-28,8°C)

Période : 20/06/1978 - 19/07/1978 (30 jours).

LOTS	1	2	3
	46 % protéines anim. brutes totales	30 % protéines végét. brutes totales	<u>Hydrodictyon</u> (90%) & <u>Cladophora</u> (10%)
Nombre initial d'individus	43	43	43
Poids moyen initial (g)	42,0	42,0	42,0
Biomasse initiale (g)	1.800	1.800	1.800
Nombre final d'individus	43	43	43
Poids moyen final (g)	60,0	53,0	53,1
Biomasse finale (g)	2.580	2.280	2.284
Production (g)	780	480	484
g/j/ind.	0,6	0,4	0,4
G	1,2	0,8	0,8
Taux de conversion (poids humide)	2,9	5,0	46,0
Taux de conversion (poids sec)	2,6	4,5	4,5

PHOTO 6 : *Tilapia guineensis*

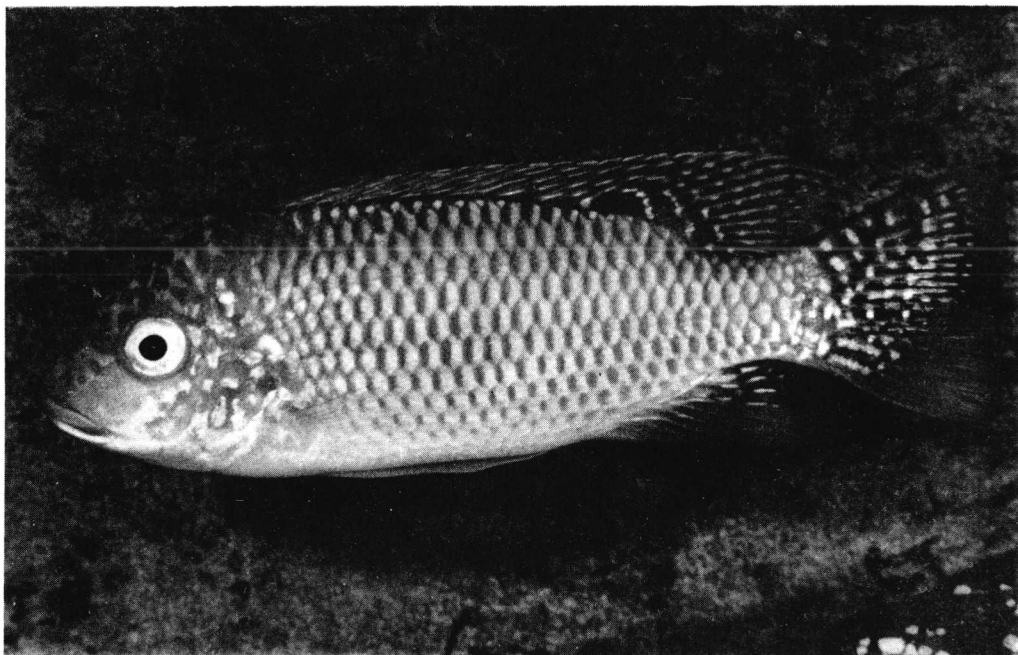


PHOTO 7 : *Tilapia rendalli*

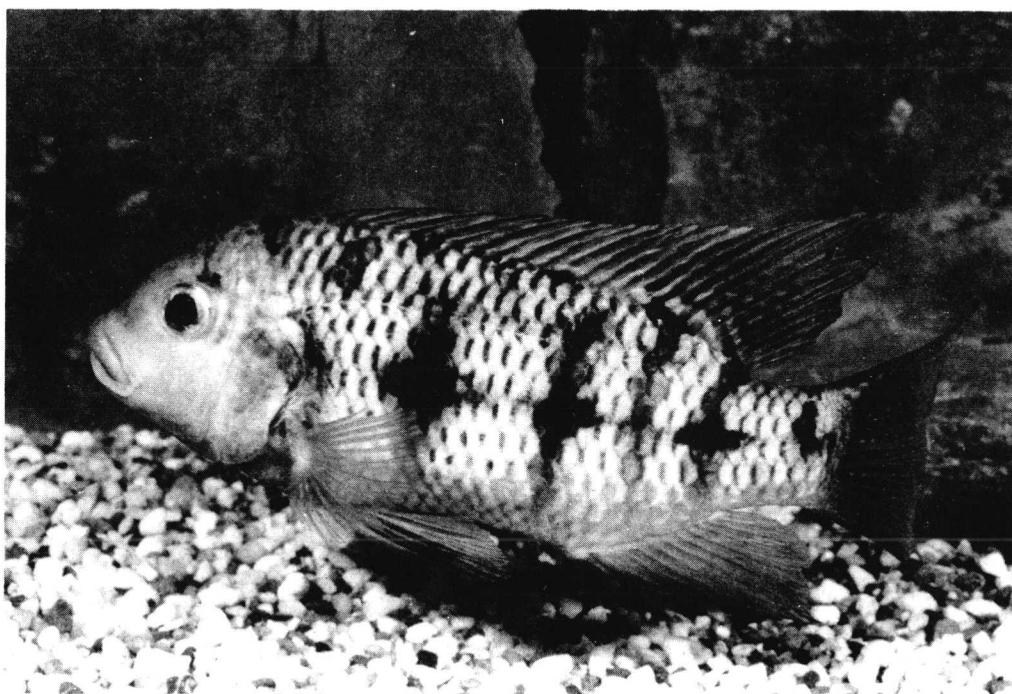


Tableau 43 : Résultats des expériences d'élevage extensif en étang avec T. guineensis, T. zillii et S. niloticus en 1977.

Etang n°	1	1	2
Espèce	<u>T. guineensis</u>	<u>T. zillii</u>	<u>S. niloticus</u>
Durée (jours)	36	36	32
Nombre d'individus initial	240	60	295
Poids moyen initial (g)	9,20	9,20	10,85
Biomasse finale (g)	2.208	557	3.201
Nombre d'individus final	224	57	248
Poids moyen final (g)	23,50	38,80	34,00
Biomasse finale (g)	5.260	2.210	8.432
Densité (ind/m ²)	1,60	0,40	1,97
T.S.C. (% Pmi)	4,35	8,91	6,67
Taux mortalité (% Ni)	6,70	5,00	16,00
Production g/m ² /mois	17,00	9,20	32,70
g/j/ind.	0,40	0,82	0,72
Températures moyennes (°C)	25,0	25,0	24,4
Températures extrêmes (°C)	31,0-17,2	31,0-17,2	30,5-15,7

* Tilapia rendalli (origine : Aquarium de l'U.Lg.).

En étang, à très faible densité (0,1 ind/m²), on a produit en 6 mois des individus de 310 g (poids moyen) à partir d'alevins de 0,2 g (Taux de croissance = 2,6 g/j/ind.; vitesse de croissance G = 4,1) à une température moyenne de 26,7°C (22,7°C-33,0°C). Cette espèce présente des potentialités de croissance intéressantes et est de plus nettement herbivore (possibilité de recyclage de déchets végétaux de l'agriculture).

D'autre part, elle est capable de supporter des hautes (35°C à Tihange) et des basses températures (après acclimatation de 10 jours à 15,0°C, début de mortalité à 11°C et mortalité totale après 5 jours à 10,0°C) du fait que son aire de distribution naturelle couvre les hauts plateaux africains au sud de l'Equateur.

* Tilapia zillii (origine : Aquarium de l'U.Lg. et expédition depuis Kinshasa en 1977).

Cette espèce, souvent difficile à distinguer du Tilapia rendalli est très résistante aux hautes et aux basses températures (minimum : d'après HAUSER, 1977), se nourrit aisément de macrophytes et grandit

très vite (voir tableau 43) mais elle n'atteint jamais des tailles importantes, ce qui, dans la situation belge, limite son intérêt économique.

Parmi toutes les espèces testées, les seules vraiment susceptibles de concurrencer *S. niloticus* sont *S. aureus* et *T. rendalli*; les autres espèces ne présentent pas d'intérêt pour l'élevage en eau douce chaude dans nos régions.

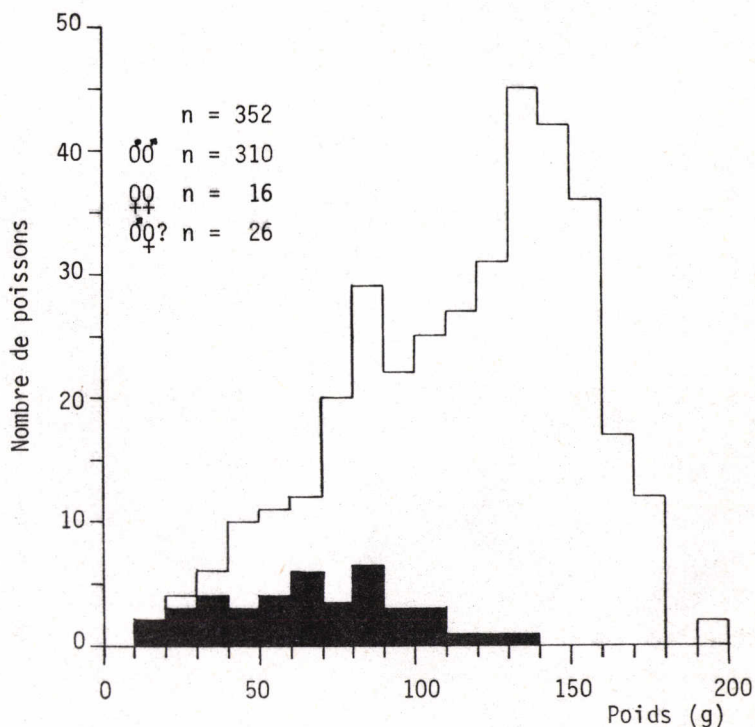
d) Hybridation

L'utilisation d'hybrides (*S. niloticus* ♀ x *S. aureus* ♂) à croissance plus rapide que celle de *S. niloticus* et constitués à 80-100 % de mâles, permettra d'éviter, dans une large mesure, la phase du sexage manuel ou le recours à l'inversion du sexe. Des expériences d'hybridations de ce type ont permis d'obtenir 90 à 95 % de mâles hybrides.

Fig. 40 : Fréquence des poids dans une population (ponte unique) de l'hybride ♀ *S. niloticus* x ♂ *S. aureus*.

En noir : ♀♀ et individus de sexe indéterminé.

Notez la forte proportion de mâles.



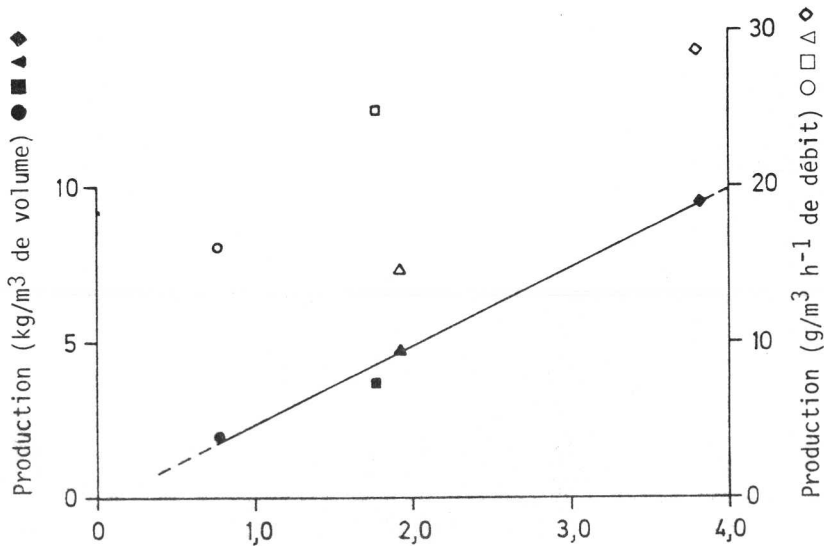
4.11.3. Oxygénation d'appoint

Grâce à une oxygénation d'appoint au moyen d'oxygène liquide, il est possible, toutes autres conditions égales, de doubler et même de tripler la charge (kg/l/minute) et la production par unité de volume pour un même débit et par unité de débit pour un même débit (Fig. 41).

L'utilisation d'une oxygénation d'appoint permet donc d'exploiter au maximum la surface et le débit disponibles; le problème fondamental est celui du coût de l'opération en fonction du système utilisé. Jusqu'à présent, seule l'oxygénation au moyen d'oxygène liquide a été testée; d'autres systèmes seront testés en 1982, notamment l'aérateur de surface sur les étangs et le ventilateur haute pression dans les bassins (ce dernier système donne de très bons résultats dans l'installation pilote Tate and Lyle).

Fig. 41 : Effet de l'oxygène dissous sur la production de S. niloticus en bassin de 1 m³; poids moyen = 62 g.

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ● densité : 280 ind. | ▲ densité : 276 ind. |
| ○ débit : 0,75 m ³ /h. | △ débit : 1,96 m ³ /h. |
| ■ densité : 565 ind. | ◆ densité : 566 ind. |
| □ débit : 0,88 m ³ /h. | ◇ débit : 1,95 m ³ /h. |
| + oxygène liquide | + oxygène liquide |



4.11.4. Amélioration de l'alimentation

L'amélioration de la composition de la nourriture et de son mode de distribution (nombres de repas au cours d'une journée), l'ajustement précis de la ration alimentaire journalière en fonction de la température, du poids des poissons et éventuellement d'autres facteurs à identifier (vitesse du courant, profondeur, oxygène) conduiront à optimiser les taux de croissance et de conversion.

Des perspectives très intéressantes sont offertes, d'une part, par l'utilisation d'Artemia salina pour accélérer la croissance des alevins et, d'autres part, par l'incorporation de SCP's (Single Cell Proteins) ou d'autres types non conventionnels de protéines à l'aliment pour juvéniles et adultes.

4.11.5. Amélioration des types de bassin d'élevage

Grâce à l'utilisation d'autres types de bassins, des accroissements de production pourront éventuellement être obtenus via une meilleure utilisation de la nourriture distribuée et via une meilleure élimination des métabolites produits par les poissons. Les voies à explorer sont diverses : bassins longitudinaux en béton (raceways), bacs circulaires de grande capacité ($> 10 \text{ m}^3$), silos verticaux, bacs autonettoyants de type Burrows. (voir photo 8).



PHOTO 8 : Installation pilote de production commerciale du tilapia à Tihange (S.A.R.L. TATE & LYLE).

5. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

5.1. Les potentialités des tilapias

Les résultats présentés dans ce rapport démontrent les potentialités d'un tilapia, *S. niloticus*, pour la valorisation d'un type déterminé de rejet thermique industriel. En admettant qu'il faut une centaine de m³ d'eau à 27-31°C pour produire 1 kg de tilapia, les rejets thermiques de la centrale nucléaire de Tihange I (33 m³/sec) pendant 6 mois représentent une production potentielle (mais théorique à cause des problèmes de pollution inhérents à l'élevage intensif) de 5.000 tonnes, soit 7 fois la production belge en poissons d'eau douce ! Une production substantielle équivalente à 60% de l'actuelle production belge pourra déjà être obtenue en utilisant 1/10 du rejet (\pm 3.000 m³/h), option retenue pour le grand projet commercial (carpe + tilapia) qui devrait démarrer dans le courant de 1982.

Les potentialités biologiques remarquables des tilapias pour l'élevage en eau chaude industrielle et pour l'aquaculture en général sont essentiellement dues aux éléments suivants :

1. Une reproduction naturelle très aisée (température minimum : 22°C) et très efficace (peu de mortalité des alevins) grâce à un comportement très élaboré de garde des jeunes par les parents;
2. Une croissance très rapide (de 0 à 300 g en une dizaine de mois) même en élevage ultra-intensif auquel il s'adapte remarquablement bien;
3. Une grande "rusticité" due à une résistance particulièrement grande aux maladies, aux conditions physico-chimiques défavorables du milieu (températures élevées, fortes teneurs en ammoniac) et aux pollutions organiques en général (faibles teneurs en oxygène dissous);
4. Un régime alimentaire fondamentalement herbivore (le *S. niloticus* se nourrit même d'algues bleues, cf MORIARTY, 1973) ou microphage détritivore. Ainsi grâce à cette position au niveau inférieur de la chaîne alimentaire, le tilapia est capable de fabriquer des protéines de qualité à partir des végétaux aquatiques naturels ou de sous-produits (animaux ou végétaux) de faible valeur inutilisables autrement, ce qu'il réalise avec une efficacité dépassant celle des poissons d'eau chaude carnivores (poisson-chat, anguille) ou exigeants en protéines animales (carpe). Des spécialistes américains (LOWELL, 1980) ont calculé que le tilapia pourrait être produit à un prix deux fois inférieur à celui du poisson-chat (*Channel catfish*, *Ictalurus punctatus*) poisson carnivore traditionnellement élevé dans le sud des États-Unis (production : 40.000 tonnes par an). De même, comparé à l'anguille, le tilapia émerge nettement par ses avantages sur le plan biotechnologique (Tableau 44). En conditions d'élevage similaires, le tilapia grandit plus lentement et produit moins que la carpe mais cette dernière n'est commercialisable qu'à partir d'au moins 1 kg (250-300 g pour le tilapia) et présente des qualités organoleptiques nettement inférieures à celles du tilapia.

Sur un plan écologique fondamental, l'élevage du tilapia dans les eaux chaudes industrielles permettrait à l'Europe de compenser son plus gros point faible piscicole, c'est-à-dire le fait qu'elle ne possède dans sa faune indigène, aucun poisson de valeur qui soit herbivore, contrairement aux régions tropicales qui en sont bien pourvues

(tilapia en Afrique et "carpe chinoise" en Asie du sud-est notamment). Par ailleurs la consommation de protéines animales produites par des poissons végétariens constitue un bon compromis (ou une transition dans le temps) entre la consommation traditionnelle de viande de bovins (laquelle se fait aux prix d'un gaspillage scandaleux de protéines végétales de valeur : soja, mil, maïs) et l'utilisation directe par l'homme des protéines végétales (régime végétarien)...

Tableau 44 : Comparaison de l'anguille et du tilapia comme poissons de qualité à élever dans les eaux chaudes industrielles.

<u>ANGUILLE</u>	<u>TILAPIA</u>
Espèce traditionnelle connue	Espèce tropicale nouvelle
- carnivore (40-50% protéines animales)	- herbivore, détritophage (25-35% protéines)
- sensible aux maladies	- très résistant aux maladies
- aucune possibilité de reproduction artificielle et difficulté d'élevage, surtout au stade civelle	- aucun problème de reproduction et de survie des alevins
- croissance lente (de la civelle à 200 g en 18 mois)	- croissance rapide (de l'oeuf à 300 g en 10 mois)
- température optimale : 23-26°C	- température optimale 25-30°C
- nécessite beaucoup de soins (maladies, nutrition des civelles, triages fréquents)	- système d'élevage peu sophistiqué
- résiste bien à basse température mais ne supporte pas les températures élevées (en été)	- résiste bien à haute température mais pas à basse température (min : 15°C)
- au stade actuel, l'ensemble de la chaîne de production n'est contrôlée qu'au Japon et par quelques particuliers en Europe	- recherches et applications aux U.S.A., au Japon, en Europe (Tihange) et dans plusieurs pays africains (Kenya)
- marché belge existant, forte demande (1.500 t importées en 1979) et prix élevés (150 à 300 fr/kg)	- marché à créer de toute pièce en Belgique, exportation possible, prix moyen (\pm 150 fr/kg)
- risque de baisse des prix si la production européenne (eaux chaudes en Italie, France etc...) et les importations d'Asie (Taiwan) augmentent.	- concurrence possible des importations d'Israël et d'Afrique (eaux chaudes naturelles).

5.2. Les contraintes

5.2.1. Les contraintes écologiques et sanitaires

Le développement de la pisciculture a donné lieu à de nombreux transferts et introductions de poissons (cf WELCOME, 1981; ROSENTHAL,

1978) dont les effets sur les écosystèmes et les populations ichtyologiques ont parfois été catastrophiques : introduction de maladies et de parasites autrefois inconnus, concurrence avec les espèces indigènes pouvant conduire à la disparition de celles-ci, hybridation entre espèces voisines. En l'occurrence, des problèmes sérieux ont souvent résulté de l'introduction des tilapias dans des régions naturellement chaudes où une acclimatation était possible (cf COURTNEY et ROBINS, 1973; PHILIPPART et RUWET, 1981). Dans le cas des eaux de la Meuse à Tihange, le refroidissement hivernal très important (moins de 10°C pendant plusieurs mois) garantit la destruction absolue des tilapias qui, inévitablement, s'échappent (alevins) de la pisciculture; on peut tout au plus envisager l'établissement de quelques individus pendant les mois d'été. Le risque de perturbation des biocénoses mosanes est donc très réduit.

Plus digne d'attention est le fait qu'un élevage intensif de tilapias, comme toute autre forme de pisciculture, entraîne une pollution organique (DBO, NH₃, matières en suspension) des effluents restitués au cours d'eau. Grosso modo, la production d'une tonne de poissons s'accompagne d'une charge de pollution organique équivalente à celle de 60 habitants. A partir d'une certaine taille d'exploitation, il est donc indispensable (la législation belge actuelle ne prévoit pas, contrairement à la législation française, le cas de pollution par les piscicultures mais à l'avenir cette situation sera probablement amenée à changer) d'envisager une épuration des effluents avant leur restitution à la rivière. L'avantage de cette contrainte est qu'elle peut favoriser, comme aux USA, au Japon et en France, la mise au point de piscicultures rentables en circuit fermé ou semi-fermé.

Enfin, nous avons déjà insisté sur le fait que les tilapias (et les autres poissons) produits dans les eaux réchauffées de la Meuse doivent être exempts de radionucléides, de métaux lourds, de pesticides et de PCB et présenter une qualité bactériologique irréprochable ainsi qu'une saveur non altérée par la présence de phénols ou d'hydrocarbures. A Tihange, ce dernier aspect est de loin le plus préoccupant en raison des pollutions accidentelles par hydrocarbures, des déversements périodiques de phénols (sucrerie de Wanze à l'amont de Tihange) et des apports de boues polluées (Sambre) lors des crues de longue durée. Cette contrainte, propre à l'élevage de poissons destinés à la consommation humaine, n'existerait évidemment pas s'il s'agissait de produire des poissons de rempoissonnement. En pratique, la remise en condition des poissons ayant pris une saveur désagréable implique leur stockage pendant quelques jours dans une eau de puits réchauffée en circuit fermé.

5.2.2. Les contraintes culturelles

Toute forme de pisciculture en eau chaude industrielle suscite naturellement une aversion psychologique chez un certain nombre de leurs consommateurs potentiels. Dans le projet tilapia à Tihange, ce risque de rejet culturel était encore accentuée, d'une part, par l'image défavorable du "nucléaire" et, d'autre part, par le choix d'un poisson exotique inconnu auparavant sur les marchés et automatiquement associé au projet Tihange (alors que les poissons conventionnels - carpes, anguilles par exemple - peuvent être introduits sans difficulté dans les circuits commerciaux pré-existants). L'expérience de la commercialisation des tilapias de Tihange n'a toutefois pas révélé l'existence d'un obstacle majeur associé à l'origine des poissons. En fait, les difficultés culturelles

rencontrées au départ furent surtout celles liées à la mise sur le marché d'un produit nouveau, indépendamment donc de l'aspect "nucléaire" de la question.

Dans ces conditions, un rapport qualité-prix acceptable (± 150 fr/kg) et un bon "marketing" (cf CRAWFORD, 1978) devraient suffire pour créer un marché du tilapia en Belgique; cette opération n'a pas encore été réellement tentée vu les quantités restreintes de poissons produites (12 tonnes en 1981) et vu surtout certaines contraintes économiques qui ont poussé les producteurs à exporter en gros leurs tilapias vers un marché français existant (alimenté par des tilapias venant d'Israël). En première approche, le marché intérieur belge est évalué à une cinquantaine de tonnes par an (S.D.R., 1979) ce qui représente grosso modo la capacité minimum d'une exploitation rentable.

5.2.3. La rentabilité économique

Jusqu'à présent, la production des tilapias s'est réalisée à une échelle expérimentale par le CERER-Pisciculture et à une échelle pilote depuis 1980 par la société Tate and Lyle Aquaculture. Dans les deux cas, l'objectif était surtout de tester et d'optimiser une biotechnologie et des systèmes d'élevage en vue de définir les conditions et les dimensions d'une exploitation commerciale rentable à mettre en place en 1982. Il est donc encore trop tôt pour juger si la rentabilité "sur papier" de ce projet d'innovation se vérifiera dans les faits.

Il est bon de rappeler ici que l'aquaculture traditionnelle ou basée sur l'utilisation des eaux chaudes industrielles exige des investissements initiaux importants en équipements et comporte, au stade du fonctionnement, des hauts risques liés spécifiquement à l'élevage d'animaux aquatiques (épidémies, mortalités en cas d'arrêt de l'alimentation en eau, pollution de l'eau, etc...). Comme dans tous les secteurs d'activité, la rentabilité d'une exploitation piscicole dépendra surtout de trois facteurs :

- a) le choix d'un produit qui peut éventuellement s'exporter et se vend à un prix intéressant et qui, dans un premier temps tout au moins, est peu sensible aux effets de la concurrence (qualité supérieure, nouveauté, rareté, spécificité). Actuellement, le tilapia de "Tihange" occupe ce créneau mais il faut aller très vite pour l'exploiter en profitant de l'acquis technologique du CERER, car des projets "tilapia" commencent à se développer dans d'autres pays (centrale à lignite de 3.000 MW à Essen; centrale nucléaire en Ecosse, etc...).
- b) le choix d'une bio-technologie appropriée aux conditions locales des sites (il ne faut pas faire la même chose partout mais exploiter les atouts particuliers à chaque site) et fondamentalement économe, en énergie, en eau, en espace, en nourriture. Ici se pose tout le problème du choix de ou des espèces à élever et des systèmes d'élevage à mettre en oeuvre, qui conditionnent les coûts de production; sur ce plan encore, le tilapia se situe en position privilégiée (cf 5.1.).
- c) une bonne gestion technique de l'opération, notamment au plan de tout ce qui peut limiter les risques de maladies et d'accident et améliorer la productivité globale du système; ce facteur humain primordial fait intervenir une haute compétence technique alliée à un esprit inventif et bricoleur. Il faut, à cet égard, rester conscient du fait que même industrialisé et doué des derniers perfectionnements techniques (systèmes de contrôle, automation, etc...), l'élevage des

poissons en général, plus que tout autre élevage en biotechnologie, fera toujours intervenir une part importante de savoir-faire intuitif, garant d'efficacité et de succès. Par sa grande résistance aux maladies et aux manutentions diverses, le tilapia requiert beaucoup moins de soins et d'attention que la plupart des autres espèces de poissons, ce qui constitue un facteur très important de rentabilité potentielle de son élevage.

En définitive, la principale contrainte financière à l'élevage du tilapia et des autres espèces de poissons dans les eaux chaudes industrielles en région tempérée est liée au coût important des infrastructures lourdes nécessaires pour amener l'eau chaude de la "source" à l'exploitation piscicole proprement dite; en effet, les usines produisant des rejets thermiques ont été conçues à une époque où personne ne se souciait de la récupération des énergies résiduelles et encore moins de pisciculture en eau chaude. Dans le cas précis des futurs grands projets piscicoles de Tihange, la solution adoptée est un financement de l'interface (centrale - exploitation piscicole) au titre d'un équipement de zone industrielle.

5.3. Les perspectives

Au départ du projet de recherche mené à bien à Tihange de 1977 à ce jour, les perspectives offertes par l'élevage du tilapia en eau chaude sont nombreuses et variées.

L'élevage du tilapia représente tout d'abord une forme de pisciculture intensive constituant, en soi, une biotechnologie dont le développement (notamment via l'extension à d'autres espèces : carpes, anguilles, poissons-chats, etc...) pourrait contribuer à la diversification des activités agro-alimentaires (création d'emplois) et accroître significativement la production nationale dans un secteur - le poisson d'eau douce - où 90% de notre consommation intérieure (\pm 8.000 tonnes/an) est importée (balance des paiements déficitaire pour environ 1 milliard de FB).

Ensuite, le tilapia apparaît comme un des rares poissons de valeur dont on peut concevoir l'élevage à petite échelle (maison individuelle, ferme, communauté) grâce à des systèmes en circuit fermé ou semi-fermé où l'eau est maintenue à bonne température par les techniques conventionnelles ou mieux, alternatives (**exploitation** de petites sources industrielles de chaleur, chauffage solaire, sources géothermales). Nous venons d'ailleurs d'entreprendre les premiers essais d'application du chauffage solaire à l'élevage des tilapias; un expérience a lieu au CERER Tihange et l'autre à l'ISIL Wareme.

Enfin, et peut être surtout, de nombreux aspects de la technologie de l'élevage intensif du tilapia mise au point à Tihange et à Liège sont transposables dans les pays naturellement chauds du globe. Ce transfert de technologie est possible sous plusieurs formes : conception d'unités de production clé-en-main, consultation technique, vente d'alevins sélectionnés, participation à des projets de pisciculture rurale ou semi-industrielle dans les pays en développement, formation en Belgique (dans un centre à créer) de personnel qualifié et accueil de stagiaires étrangers.

Ce juste retour des tilapias vers leur terre d'origine, l'Afrique, représenterait en quelque sorte la deuxième génération de la technique d'élevage de ce poisson "miracle", dernier nê des poissons domestiqués par l'homme. Mais pour cette raison, la connaissance des tilapias requiert encore bien des recherches tant fondamentales qu'appliquées (cf PULLIN et Mc CONNEL, 1981), spécialement dans les domaines de la reproduction, de la nutrition, de la pathologie et de la génétique.

6. FILMOGRAPHIE

La reproduction chez les poissons Cichlides :

Structures sociales, comportement parental, mécanisme de la fécondation, incubation buccale.

Film 16 mm, couleurs, 25 minutes, sonore, versions anglaise et française.

Direction générale : J.C.I. RUWET

Réalisation scientifique et technique : L. HANON

Production : Service d'Ethologie, Université de Liège (Prof. J.C.I. RUWET)

Année de production : 1980.

Etude et culture du Tilapia :

Histoire d'une domestication.

Film 16 mm, couleurs, 30 minutes, sonore, version française.

Direction générale, scénario, commentaires : J.C.I. RUWET, avec la collaboration de J.C. PHILIPPART, Ch. MELARD et D. BISSCHOPS

Documents d'époque : Premières piscicultures au Congo à partir de 1943;
C.P. HALAIN

Lac et marais de la Lufira : J.C.I. RUWET et P. LEVIE

Aquarium de Liège 1960-1966 : J.C.I. RUWET.

Images récentes et réalisation technique : J.M. DAVENNE et L. HANON

Production : Laboratoire d'Ethologie, Université de Liège (Prof. J.C.I. RUWET).

Année de production : 1982.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON, C.E. et R.O. SMITHERMAN, 1978
Production of normal male and androgen sex-reversed. Tilapia aurea and T. nilotica feed a commercial catfish diet in ponds, pp. 34-42, In R.O. SMITHERMAN, W.L. SHELTON and J.M. GROVER (Ed), Culture of exotic fishes symposium proceedings. Fish Culture Section, American Fish. Soc., Auburn, Alabama. 257 p.
- ASTON, R.J. et D.J. BROWN, 1978
Heated effluents and fishculture. pp. 39-60, In PASTAKIA C.M.R. (Ed), Conference on fishfarming and wastes, Institute of Fisheries Management and Society of Chemical Industry, London. 151 p.
- AVALT, J.W., SHELL, E.W. et R.O. SMITHERMAN, 1968
Procedures for overwintering tilapia. F.A.O. Fish. Rep., 44 : 343-345.
- AVTALION, R.R., M. DUCZYMINER, A. WOJDANI et Y. PRUGININ, 1976
Determination of allogenic and xenogenic markers in the genus of Tilapia. Identification of T. aurea, T. vulcani and T. nilotica by electrophoresis analysis of their serum proteins. Aquaculture, 7 : 225-265.
- BABIKER, M.M. et H. IBRAHIM, 1979
Studies on the biology of reproduction in the cichlid Tilapia nilotica (L.). Gonadal maturation and fecundity. J. Fish. Biol., 14 : 437-448.
- BACKIEL, T., 1981
Utilization of heated effluents for aquaculture in Europe. FAO/EIFAC World Symposium on the new development in the utilization of heated effluents and of recirculation systems for intensive aquaculture. Stavanger, 28-30 May 1980, DOC R/17 : 22 p. (ronéotypé).
- BALARIN, J.D., 1979
Tilapia. A guide to their biology and culture in Africa. Unit of Aquatic Pathobiology, Univ. of Sterling, Scotland. 174 p.
- BARDACH, J.E., J.H. RYTHER et W.O. LARNEY, 1972
Aquaculture. The farming and husbandry of freshwater and marine organisms. Wiley Interscience : 868 p.
- BEHREND, L.L. et al., 1978
State of the art in waste heat utilization for agriculture and aquaculture. Electric Power Research Institute (EPRI, U.S.A.) Final Report 1978.
- BILLARD, R., 1979
L'aquiculture dans le monde : généralités, problèmes et perspectives. La pisciculture française, n° 55 : 41-58.
- CAMPBELL, D., 1978a
La technologie de construction des cages d'élevage de Tilapia nilotica (L.) dans le lac de Kossou, Côte d'Ivoire. Rapp. Tech. 45, Autorité Aménagement Vallée du Bandama, Centre Dév. Pêches Lac Kossou : 31 p.

CAMPBELL, D., 1978b

Formulation des aliments destinés à l'élevage de Tilapia nilotica (L.) en cages dans le lac de Kossou, Côte d'Ivoire.

Rapp. Tech. 46, Autorité Aménagement Vallée du Bandama, Centre Dév. Pêches Lac Kossou : 26 p.

CHEN, T.P., 1977

Monosex Tilapia culture.

Fish Farming International, 4

COCHE, A.G., 1976

L'élevage des poissons en cages et en particulier de Tilapia nilotica (L.) dans le lac Kossou, Côte d'Ivoire.

pp. 565-611, In : Symposium on Aquaculture in Africa, CIFA Tech. Pap., 4 (suppl. 1) : 791 p.

COCHE, A.G., 1977

Premiers résultats de l'élevage en cages de Tilapia nilotica (L.) dans le lac Kossou, Côte d'Ivoire.

Aquaculture, 10 (2) : 109-140.

COCHE, A., 1981

The biology and culture of tilapias.

ICLARM Conference Proceedings. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.

COURTENEY, W.R. et C.R. ROBINS, 1973

Exotic aquatic organisms in Florida with emphasis on fishes : a review and recommendations.

Trans. Am. Fish. Soc., 102 (1) : 1-13.

CRAWFORD, K.W., D.R. DUNSETH, C.R. ENGLE, M.L. HOPKINS, E.M. McCOY et R.O. SMITHERMAN, 1978

Marketing tilapia and chinese carps.

pp. 240-249, In R.O. SMITHERMAN, W.L. SHELTON and J.H. GROVER (Ed), Culture of exotic fishes symposium proceedings.

Fish culture Section, American Fish. Soc., Auburn, Alabama : 257 p.

DE BONT, A.F., 1948

Fish farming in the Belgian Congo.

Nature, Lond., 162 : 998-999.

DE BONT, A.F., 1950

La reproduction en étangs du Tilapia melanopleura (Dum.) et macrochir (Blgr.).

Compte rendu de la Conférence Piscicole Anglo-belge, 1949. Communication n° 8 : 303-312.

DE JONCKHEERE, J. et H. VAN DE VOORDE, 1977

The distribution of Naegleria fowleri in man-made thermal waters.

The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 26 (1) : 10-15.

DESCY, J.P. et A. EMPAIN, 1981

Inventaire de la qualité des eaux courantes en Wallonie (bassin de la Meuse).

Rapport de synthèse 1, 87 pages; 2, 194 pages; 3, 37 pages.

Laboratoire d'Hydrobiologie végétale, Université de Liège.

DESCY, J.P., A. EMPAIN et J. LAMBINON, 1981

La qualité des eaux courantes en Wallonie, Bassin de la Meuse.

Secrétariat d'Etat à l'Environnement, à l'Aménagement du territoire et à l'Eau pour la Wallonie, Bruxelles, 18 p.

DESTINEZ, Ph., 1981

Contribution à l'analyse des matières azotées dans les eaux de pisciculture "chaude". Testage de l'efficacité d'un filtre. Testage d'un capteur solaire.

Mémoire de fin d'Etudes, Institut Supérieur d'Ingénieur Industriel Liégeois (ISIL), Waremmé, année académique 1980-81, 74 p.

- EDWARDSON, W., 1976
Energy demand of aquaculture: a Worldwide Survey.
Fish Farming Int., 3 (4) : 10-13.
- FISHELSON, L. et W. HEINRICH, 1963
Some observations on the mouthbreeding T. galilaea L. (Pisces : Cichlidae).
An. Mag. Nat. Hist., 13 : 507.
- FOULQUIER, L. et B. DESCAMPS, 1979
Données sur l'utilisation des eaux de réfrigération industrielle.
Etudes sur le grossissement d'Anguilla anguilla (L.) en eau réchauffée.
Bull. Cent. Etud. Rech. Sci., Biarritz, 12 (3) : 409-432.
- GENIN-MEURICE, M. et J.C. MICHA, 1980
Impact des rejets radioactifs provenant d'une centrale nucléaire de type PWR sur les poissons de la Meuse.
Revue des Questions Scientifiques, 151 (2) : 221-234.
- HANON, L., 1975
Adaptations morphologiques et comportementales à l'incubation buccale chez les poissons Cichlidae, oeufs et alevins.
Ann. Soc. Roy. Zool. Belg., 105 (1-2) : 169-192.
- HALAIN, C.P., 1972
La lutte contre la faim dans le monde. Déficit protéique et pisciculture. Monographie.
Documentaire du CEDESA (Centre de documentation économique et sociale africaine, Bruxelles) Fasc. 3 : 65 p.
- HAUSER, 1977
Temperature requirements of Tilapia zillii.
Calif. Fish and Game, 63 : 39-47.
- HENDERSON-ARZAPALO, A., R.R. STICKNEY et D.H. LEWIS, 1980
Immune hypersensitivity in intensively cultured tilapia species.
Trans. Am. Fish. Soc., 109 (2) : 244-247.
- HUET, M., 1957
Dix années de pisciculture au Congo belge et au Ruanda-Urundi : Compte rendu de mission piscicole.
Station de Recherches des Eaux et Forêts, Groenendaal, 154 p.
- HUET, M. et J.A. TIMMERMANS, 1970
Traité de Pisciculture.
Editions Ch. de Wyngaert, Bruxelles . 718 p.
- HUISMAN, E.A. et K. GORTER, 1976
Toepassingsmoelikheden voor visteelt in het koelwater van centrales.
Colloque A.I.M., Symposium sur l'énergie nucléaire et la qualité de la vie, Liège, 26-29 janvier 1976 : 29 p.
- I.H.E., 1977-1981
Aperçu qualitatif de quelques eaux superficielles belges en 1977 (204 p.), en 1978 (322 p.), en 1979 (233 p.) et en 1980 (part. 1, 118p.)
Institut d'Hygiène et d'Epidémiologie (I.H.E.), Ministère de la Santé Publique, Bruxelles.
- ILES, T.D. et M.J. HOLDEN, 1969
Bi-parental mouth-brooding in Tilapia galilaea (Pisces : Cichlidae).
J. Zool., 158 : 327-333.
- JALABERT, B., J. MOREAU, P. PLANQUETTE et R. BILLARD, 1974
Déterminisme du sexe chez Tilapia macrochir et Tilapia nilotica : action de la méthyltestostérone dans l'alimentation des alevins sur la différenciation sexuelle : proportion des sexes dans la descendance des mâles inversés.
Ann. Biol. Anim. Biochem. Biophys., 14 (4 B) : 729-739.

- KUHLMANN, K., 1976
Preliminary Fish-farming experiments in brackishwater thermal effluents.
F.A.O. Technical conference on Aquaculture, Kyoto Japan, Doc. E 41.
- KIRCHMANN, R., J. LAMBINON, E. BONNIJNS-VAN GELDER et J. COLLARD, 1974
Utilisation de bioindicateurs à des fins de surveillance des sites nucléaires.
pp.105-118, In: Environmental surveillance around nuclear installations, vol. II, Intern. Atomic Energy Agency, Vienna (IAEA-SM-180/55).
- 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) :
- KURODA, T., 1977
Japanese aquaculture with thermal water from power plants. Present conditions and problems.
Atoms in Japan (Japanese Atomic Industrial Forum, Inc.), Vol. 21, n° 8 : 6 p.
- LAUENSTEIN, P.C., 1978
Intensive culture of Tilapia with geothermally heated water.
pp. 82-85, In R.O. SMITHERMAN, W.L. SHELTON and J.H. GROVER (Ed.)
Culture of exotic fishes symposium proceedings.
Fish Culture Section, American Fish. Soc., Auburn, Alabama : 257 p.
- LOWE-McCONNEL, R.H., 1958
Observation on the biology of Tilapia nilotica (Linné) in East African waters.
Rev. Zool. Bot. Afr., 55 : 353-373.
- LOWELL, T., 1980
Feeding tilapia.
Aquacult. Mag., 7 (1) : 42-43.
- McLARNEY, W.O., 1977
The Why of cultivating fish.
The Commercial Fish Farmer, 4 (1) : 23-24.
- MELARD, Ch., J.C. PHILIPPART et J.C. RUWET, 1979
Etude des possibilités de pisciculture dans les eaux chaudes industrielles en Belgique. Essai d'élevage de S. niloticus et de quelques autres espèces avec les effluents thermiques de la centrale nucléaire de Tihange I.
Rapport de recherche 1977-1978, Université de Liège et Centre d'Etude pour la Récupération des Energies Résiduelles : 41 p.
- MELARD, Ch. et J.C. PHILIPPART, 1981
Pisciculture intensive du tilapia Sarotherodon niloticus dans les effluents thermiques d'une centrale nucléaire en Belgique.
pp. 637-658, In : Proceedings World Symposium on Aquaculture in heated effluents and recirculation systems, Stavanger, 28-30 May 1980, Vol. 1, Berlin.
- MICHA, J.C., 1974
Fish populations study of Ubangui river : trying local wild species for fish culture.
Aquaculture, 4 : 85-87.
- MICHA, J.C. et M. GENIN, 1977
Contamination radioactive de la faune aquatique dulcicole.
Ann. Assoc. belge Radioprotection, 2 (3) : 217-234.

MORIARTY, D.J.W., 1973

The physiology of digestion of blue-green algae in Tilapia nilotica.
J. Zool. Lond., 171 : 25-39.

MORISSENS, P., 1977

La production de tilapia hybride monosexue mâle en Israël.
La pisciculture française, n° 50 : 39-46.

MOAV, R., G. WOHLFARTH, G.L., SCHROEDER, G. HULATA, H. BARASH, 1977

Intensive polyculture of fish in freshwater ponds. Substitution of expensive feeds by liquid cow manure.
Aquaculture, 10 (1) :

NISBET, M. et J. VERNEAUX, 1970

Composantes chimiques des eaux courantes : discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques.
Annales de limnologie, 6 (2) : 161-190.

PETIT, J., 1980

Considérations biotechniques régissant la culture en étangs, 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.

PETERSEN, S., 1980

Supersaturation in water from Norwegian water power stations.
EIFAC Symposium on new developments in utilization of heated effluents and of recirculation systems for intensive aquaculture. Doc. E/77.

PHILIPPART, J.C., Ch. MELARD et J.C. RUWET, 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.
pp. 779-791, In L. CALEMBERT (Ed.) Problématique et gestion des eaux intérieures, Edition Derouaux, Liège . 962 p.

PHILIPPART, J.C. et Ch. MELARD, 1980a

Belgian power plant heats tilapia tanks.
Fish Farming Int. (U.K.), 7 : 14-15.

PHILIPPART, J.C. et Ch. MELARD, 1980b

Utilisation des rejets thermiques industriels pour la pisciculture. Bilan d'une première recherche en Belgique.
Bulletin Economique du Hainaut, n° 35 : 11-18.

PHILIPPART, J.C., 1980

L'utilisation des eaux chaudes industrielles pour la pisciculture en région tempérée. L'expérience belge.
Esso Magazine, n° 4 (1980) : 11-18.

PHILIPPART, J.C., 1981

L'élevage intensif des poissons dans les eaux chaudes industrielles. Perspectives et contraintes en Belgique.
Demain, n° 290 : 641-653.

PILLAY, T.V.R., 1977

Planning of aquaculture development, an introductory guide.
Fishing News (Books), London . 71 p.

PRUGININ, Y et al., 1975

All male broods of Tilapia nilotica X Tilapia aurea hybrids.
Aquaculture, 6 : 11-21.

- PULLIN, R.S.V. et R.H. LOWE-McCONNEL, 1981
 The biology and culture of tilapias.
 ICLARM Conference Proceedings 7.
 International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila,
 Philippines.
- RAY, L.E., 1978
 Production of Tilapia in Catfish raceways using geothermal water.
 pp. 86-89, In R.O. SMITHERMAN, W.L. SHELTON and J.M. GROVER (Ed),
 Culture of exotic fishes symposium proceedings.
 Fish Culture Section, American Fish. Soc., Auburn, Alabama . 257 p.
- REDNER, B.D. et R.R. STICNEY, 1979
 Acclimatation to ammonia by Tilapia aurea.
Trans. Am. Fish. Soc., 108 : 383-388.
- ROBERTS, R.J., 1979
 Pathologie du poisson.
 Maloine S.A., éditeur, Paris . 314 p.
- ROBERTS, R.J. et C. SOMMERVILLE, 1981
 Disease of Tilapia.
 In : PULLIN, R.V.S. and R.H. LOWE-McCONNEL (Ed.), The biology and
 culture of tilapias.
- ROSENTHAL, H., 1978
 Bibliography on transplantation of aquatic organisms and its conse-
 quences on aquaculture and ecosystems.
EMS Special Publ., n° 3 : 146 p.
- ROSS, B. et K. JAUNCEY, 1981
 A radiographic estimation of the effect of temperature on gastric
 emptying time in Sarotherodon niloticus (L.) X S. aureus (Steindachner)
 hybrids.
J. Fish. Biol., 19 : 333-344.
- ROTHBARD, S. et Y. PRUGININ, 1978
 Induced spawning and artificial incubation of Tilapia.
Aquaculture, 5 : 315-321.
- RUMSEY, L., 1978
 Recent advances in nutrition of Salmonids.
Salmonids, 11 (4) : 14-17.
- RUWET, J.C., 1962
 La reproduction des Tilapia macrochir Blgr et T. melanopleura (Dum)
 (Pisces Cichlidae) au lac barrage de la Lufira (Katanga).
Rev. Zool. et Bot. Africaines, LXVI, Fasc. 3-4, 243-271.
- RUWET, J.C., 1963
 Observations sur le comportement sexuel de Tilapia macrochir Blgr
 (Pisces Cichlidae) au lac retenue de la Lufira (Katanga).
Behaviour, XX, 3-4 : 242-250.
- RUWET, J.C., 1968
 Familial behaviour of Tilapia and its implication.
Nature, Lond., 217 : 977.
- RUWET, J.C. et J. VOSS, 1966
 L'étude des mouvements d'expression chez les Tilapia (Poissons Ci-
 chlides).
Bulletin de la Société des Sciences, Liège, 35 (11-12) : 778-800.

- RUWET, J.C. et VOSS, J., 1974
 Etude et culture des tilapia.
 pp. 197-227, In : J.C. RUWET (Ed.), Zoologie et Assistance technique,
 Comptes rendus des Journées d'Etudes des 18 et 19 mai 1973, Publication
 FULREAC, Université de Liège . 381 p.
- RUWET, J.C., L. VOSS, L., HANON et J.C. MICHA, 1976
 Biologie et élevage du Tilapia.
 pp. 332-364, In : Symposium on Aquaculture in Africa, CIFA Tech.
 Pap., 4 (suppl. 1) : 791 p.
- SHELTON, W.L., K.D. HOPKINS et G.L. JENSEN, 1978
 Use of hormones to produce monosex Tilapia for aquaculture.
 pp. 10-13, In : R.O. SMITHERMAN, W.L. SHELTON and J.H. GROVER (Ed.)
 Culture of exotic fishes symposium proceedings.
 Fish Culture Section, American Fish. Soc., Auburn, Alabama : 257 p.
- SUFFERN, J.S., 1980
 The potential of Tilapia in United States Aquaculture.
Aquaculture Magazine, sept-oct., 1980 : 14-18.
- TAYAMEN, M. et W.L. SHELTON, 1978
 Inducement of sex reversal in Sarotherodon niloticus (L.).
Aquaculture, 14 : 349-354.
- THYS VAN DEN AUDENAERDE, D.F.E., 1963
 La distribution géographique des Tilapia au Congo.
Bull. Acad. Roy. Sci. Outre Mer (N.S.), 9 : 570-605.
- THYS VAN DEN AUDENAERDE, D.F.E., 1968
 An annotated bibliography of Tilapia (Pisces : Cichlidae).
Documm. Zool. Mus. r. Afr. Centr., 14 : x1 + 406 p.
- VERTHE, C., 1979
 Etude expérimentale de la reproduction artificielle et de l'inversion
 du sexe chez Sarotherodon niloticus (L.).
 Thèse de Licence en Sc. Zool., Université de Liège, inédit . 58 p.
- VOSS, J. et J.C. RUWET, 1966
 Inventaire des mouvements d'expression chez Tilapia guineensis (Blgr
 1883) et T. macrochir (Blgr 1912) (Poissons Cichlides).
Ann. Soc. Roy. Zool. Belg., 96 (2-3) : 146-187.
- VOSS, J., 1976
 Contribution à l'Ethologie comparée des poissons Cichlides africains.
 Tome I et II.
 Université de Liège, Fac. des Sciences, Lab. de l'Aquarium. (Dissertation
 présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sc. Zool.),
 année académique 1975-1976.
- VOSS, J., 1980
 The color pattern of African Cichlids fishes.
 T.F.H., New Jersey U.S.A.
- WEATHERMEY, A.M. et B.M. COGGER, 1977
 Fish culture : problems and prospects.
Science, 197 : 427-430.
- WELCOME, R., 1981
 Register of international transfers of inland fish species.
FAO Fish. Tech. Pap., n°213 : 120 p.

BIBLIOGRAPHIE DU TILAPIA

LES PUBLICATIONS DU SERVICE ÉTHOLOGIE-AQUARIUM

UNIVERSITÉ DE LIÈGE

GOORTS P., MAGIS N., WILMET J., 1961

Les aspects biologiques, humains et économiques de la pêche dans le lac de barrage de la Lufira.

Ed. FULREAC, Univ.Lg. : 127p.

MAGIS N., 1961

La pêche dans les lacs de retenue du Koni et N'Zilo 1 (Haut-Katanga).

Ed. FULREAC, Univ.Lg. : 53p.

RUWET J.C., 1961

Contribution à l'étude des problèmes piscicoles au lac de retenue de la Lufira (Katanga).

Ed. FULREAC, Univ.Lg. : 82 p.

RUWET J.C., 1962

La reproduction des Tilapia macrochir Blgr et T. melanopleura (Dum)

(Pisces Cichlidae) au lac barrage de la Lufira (Katanga).

Rev.Zool. et Bot.Africaines, LXVI, Fasc. 3-4 : 243-271.

RUWET J.C., 1962

Remarques sur le comportement de Tilapia macrochir Blgr et T. melanopleura (Dum) (Pisces Cichlidae).

Annales Soc.Royale Zool. de Belgique, 92, 1 : 171-177.

RUWET J.C., 1963

Observations sur le comportement sexuel de Tilapia macrochir Blgr (Pisces Cichlidae) au lac retenue de la Lufira (Katanga).

Behaviour, XX, 3-4 : 242-250.

RUWET J.C., 1963

Tilapia melanopleura (Dum) et la lutte contre la végétation semi-aquatique au lac barrage de la Lufira (Katanga).

Bull.Soc.Roy.Sc. de Liège, 32, 7-8 : 516-528.

VOSS J., RUWET J.C., 1966

Inventaire des mouvements d'expression chez Tilapia guineensis Blgr (1863) et T. macrochir Blgr (1912) (Poissons Cichlides)
Annales Soc.Roy.Zool.Belg., 96 (2-3) :145-188.

RUWET J.C., VOSS J., 1966

L'étude des mouvements d'expression chez les Tilapia (Poissons Cichlides).
Bull.Soc.Roy.Sc. Liège, 53, 11-12 : 778-800.

DESTEXHE-GOMEZ Fr., RUWET J.C., 1967

Imprégnation et cohésion familiales chez les Tilapia (Poissons Cichlides).
Ann.Soc.Roy.Zool.Belg., 3 : 161-173.

MONFORT A., 1968

Transport par avion des poissons tropicaux vivants.
La Pisciculture française, n°14 : 11-13.

RUWET J.C., 1968

Familial behaviour of Tilapia (Pisces : Cichlidae) and its implications.
Nature, 217, 9 : 977

VOSS J., RUWET J.C., 1968

Combat, danse nuptiale et reproduction chez Tilapia guineensis (Blgr 1863) (Poissons Cichlides).
Science et Nature, Paris, 86 : 14-18, 8 photos.

MONFORT A., RUWET J.C., 1968

Patrons moteurs et mouvements d'expression chez les Tilapia rendalli (Blgr 1896) et tholloni congica Poll et Thys 1960 (Poissons Cichlides).
Rev.Zool.Bot.Afr., LXXVII, 1-2 : 97-112, 4 photos.

VOSS J., 1968

Essai de quantification des mouvements d'expression chez les Tilapia (Poissons Cichlides).
Acta Zool.Path.Antverpiensia, n°46 : 3-16.

MONFORT-BRAHAM N., VOSS J., 1969

Contribution à l'éthologie des Poissons Cichlides : Tilapia tholloni (Sauvage 1884).
Ann.Soc.Roy.Zool.Belg., 99, 1-2 : 59-82.

VOSS J., 1969

Contribution à l'éthologie des Poissons Cichlides : Tilapia zillii (Gervais 1848).
Rev.Zool.Bot.Afric., LXXIX, 1-2 : 99-109.

BURTON J. 1970

Etude critique de l'analyse factorielle de la rivalité territoriale chez Tilapia mossambica Peters (Poissons Cichlides).
Annales Soc.Roy.Zool.Belg., 100, 1-2 : 5-47.

BALTHAZAR J., 1972

Validité de l'application factorielle à l'étude causale d'une séquence comportementale avec un essai d'analyse du comportement agonistique chez le Tilapia macrochir (Boulanger 1912).
Ann.Soc.Roy.Zool.Belg., 102 (1-2) : 3-34.

- VOSS J., 1972
 Contribution à l'éthologie des poissons Cichlides : Tilapia sparmanii
 Smith 1840.
Rev.Zool.Bot.Afr., 85 (3-4) : 369-388.
- VOSS J., 1972
 Caractères éthologiques et statut systématique de Tilapia sparmanii
 Smith 1840.
Rev.Zool.Bot.Afr., 86 (1-2) 31-49.
- VOSS J., 1972
Tilapia guineensis (Bleeker).
 La Pisciculture française (fiche aquariologique n°30), + traduction
 anglaise dans "Cichlidae".
- BALTHAZAR J., 1973
 Analyse factorielle du comportement agonistique chez Tilapia macrochir
 (Boulenger, 1912).
Behaviour, 46 (1-2) : 37-72.
- VOSS J., HANON L., DANTHINNE G., RUWET J.C., 1973
 Patrons-moteurs et mouvements d'expression en Ethologie comparative.
Ann.Soc.Roy.Zool.Belq., 103 (2-3) : 293-319.
- MICHA J.C., 1973
 Etude des populations piscicoles de l'Ubanguï et tentatives de sélection
 et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture.
 Doctorat en Sciences Zoologiques, Univ.Lg, 1972-1973.
- MICHA J.C., 1973
 L'Afrique et la pisciculture.
 Extr. du Courrier de l'Association (Commission des Communautés européennes);
 21 : 45-48 & 22 : 48-51
- MICHA J.C., 1974
 Fish populations study of Ubanguï river : trying local wild species
 for fish culture.
Aquaculture, 4 : 85-87.
- RUWET J.C., VOSS J., 1974
 Etude et culture des Tilapia : 197-227. In J.C. RUWET (Ed.),
 "Zoologie et Assistance technique", FULREAC, Univ. Lg., 381 pages.
- MAGIS N., RUWET J.C., 1974
 Les variations du plan d'eau et leurs répercussions sur l'économie biologique
 du lac de retenue de Mwadingusha (Shaba, Républ. du Zaïre) :
 141-161. In RUWET J.C. (Ed.), Zoologie et Assistance technique, FULREAC,
 Univ. de Lg., 381 pages.
- MICHA J.C., 1974
 La pisciculture africaine, espèce actuelles et espèces nouvelles : 163-195.
 In RUWET J.C. (Ed.) "Zoologie et Assistance technique", FULREAC, Univ.
 de Lg, 381 pages.
- MICHA J.C., 1974
 L'intérêt piscicole des lacs et grands fleuves africains : 77-100.
 In RUWET J.C. (Ed.) "Zoologie et Assistance technique", FULREAC, Univ.
 de Lg., 381 pages.

RUWET J.C., VOSS J., HANON L., MICHA J.C., 1975
Biologie et élevage des Tilapia.
Communication CIFA/5/h10 du Symposium FAO/CPCA sur l'Aquiculture en
Afrique. Public. FAO, Rome, 32p.

VOSS J., 1975

Tilapia sparmanii Smith.

La Pisciculture française (fiche aquariologique n°5), + traduction an-
glaise dans "Cichlidae".

HANON L., 1975

Adaptations morphologiques et comportementales à l'incubation buccale
chez les poissons Cichlides : oeufs et alevins.

Annales Soc.Roy.Zool.Belg., 105, 1-2 :169-192.

VOSS J., 1976

Contribution à l'Ethologie comparée des poissons Cichlides africains.
Tome I et II. Univ.Lg., Faculté des Sciences, Lab. de l'Aquarium. (Dis-
sertation présentée pour l'obtention du grade de Docteur en Sc.Zool.)
Année Académique 1975-1976.

VOSS J., 1977

Les livrées ou patrons de coloration chez les poissons Cichlides afri-
cains. Leur utilisation en Ethologie et en Systématique.

Rev.fr.Aquariologie, n°2 : 33-80.

VOSS J., 1977

Tilapia (Coptodon) dageti Thys.

Tilapia (Coptodon) rendalli (Boulenger 1896).

Tilapia (Coptodon) tholloni (Sauvage 1884).

Tilapia (Pelmatolapia) mariae Boulenger 1899.

Sarotherodon macrochir (Boulenger)

La Pisciculture française, n°2, 1977.

LAPERCHE J.P., HOUBART S., FRANSSSEN J., 1978

Enquête préalable à la relance piscicole dans les deux régions du Kasai
(U.S. AID) Public. du Lab.Hydr. et Pisc., Univ.Nat. du Zaïre. Juin 78.
Kinshasa.

HANON L., 1978,

Adaptations morphologiques et comportementales à l'incubation buccale
chez les poissons Cichlides.

Univ.Lg., Fac. des Sciences, Serv.Eth. et Psychologie animale. Thèse
présentée pour l'obtention du grade de Dr en Sc.Zool. An.Ac.1977-1978.

MELARD Ch., PHILIPPART J.C., RUWET J.C., 1979

Etude des possibilités de pisciculture dans les eaux chaudes industri-
elles en Belgique. Elevage de Sarotherodon niloticus et de quelques
autres espèces avec les eaux de refroidissement de la centrale nuclé-
aire de Tihange I.

Rapport de recherches 1977-1979 à l'IRSIA, CERER et Institut de Zoologie
de l'Univ. de Liège 41 p. + annexes.

PHILIPPART J.C., MELARD Ch., RUWET J.C., 1979

La pisciculture dans les effluents thermiques industriels. Bilan et
perspectives d'une année de recherches à la centrale nucléaire de Ti-
hange sur la Meuse, 779-791.

in L.CALEMBERT (Ed.), Problématique et Gestion des Eaux Intérieures,
Acte du Colloque de Liège, 16-19 mai 78, Ed.Derouaux Lg : 967 P.

- VERTHE C., 1979
Etude expérimentale de la reproduction et de l'inversion du sexe chez Sarotherodon niloticus (L.).
Mémoire de Licence en Sciences Zoologiques, Univ. Lg, 1978-1979.
- SERVAIS J.L. 1979
Approche éthologique de l'hybridation de quelques Cichlides africains.
Mémoire de Licence en Sciences Zoologiques, Univ. Lg, 1978-1979.
- FRANSSEN J., LAPERCHE J.P., 1980,
Avant projet pour un développement de la pisciculture à Libando-lite.
Présidence de la Rép. du Zaïre. Public. Lab. Hydr. et Pisc. Univ. Nat. du Zaïre (Kinshasa), mars 1980.
- FRANSSEN J., LAPERCHE J.P., 1980
Bioproduktivité d'un étang à Sarotherodon niloticus et Tilapia tholloni dans la région de Kinshasa.
Bull. Soc. Roy. Sc. Liège, 49e année, 11-12 : 433-435.
- PHILIPPART, J.C. 1980
Pré-étude sur la pêche et la pisciculture en Haute-Volta. Partim Pisciculture. Rapport de mission effectuée en 1979 pour le compte du Ministère de l'Environnement et du Tourisme de Haute Volta et du Fonds Européen de Développement (FED), 48 pages, Association momentanée. CECODEL (Univ. Lg) - F.U.L., Liège.
- PHILIPPART J.C., MELARD Ch., 1980
Utilisation des rejets thermiques industriels pour la pisciculture. Bilan d'une première recherche en Belgique.
Bulletin économique du Hainaut, n°39 : 11-18.
- PHILIPPART J.C., MELARD Ch., 1980
Belgian power plant heats Tilapia tanks.
Fish Farming International, 7 (2) : 14-15.
- PHILIPPART J.C., 1980
L'utilisation des eaux chaudes industrielles pour la pisciculture en région tempérée. L'expérience belge.
Esso-magazine, n°4, 1980 : 8 p.
- VOSS J., 1980
Color patterns of African Cichlids.
Livre publié par T.F.H. New Jersey USA, 126 p. ISBN 0-87666-503-2.
- VOSS J., 1980
The colour patterns of African Cichlid fishes.
Newsletter of the I.A.F.E., 1 (1): 5-7
- MELARD Ch., PHILIPPART J.C., 1981
Pisciculture intensive du Tilapia Sarotherodon niloticus dans les effluents thermiques d'une centrale nucléaire en Belgique : 639-658.
Proc. World. Symp. on Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation Systems, Stavanger 28-30 may 1980, Vol. I., Berlin.
- PHILIPPART J.C., RUWET J.C., 1981
Distribution and Ecology of Tilapia.
In Pullin, R.S.V. and R.H. Lowe-McConnell (Ed), The biology and culture of tilapias (Bellagio, Italy, 2-5 september 1980), ICLARM Conference Proceedings 7. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.

MELARD Ch., PHILIPPART J.C., 1981

Utilisation des rejets thermiques d'une centrale nucléaire pour l'élevage intensif d'un Tilapia (Sarotherodon niloticus) en Belgique.
Les Cahiers d'Ethologie Appliquée, supplément 2, 1981.

PHILIPPART, J.C., 1981

L'élevage intensif des poissons dans les eaux chaudes industrielles.
Perspectives et contraintes en Belgique.
Demain (Etude et Expansion), n° 290 : 641-653.

KABONGO M., FRANSSSEN J., 1982

Développement dirigé et spontané de la pisciculture dans la vallée de la Funa (Kinshasa - Zaïre).
(sous presse)

FRANSSSEN J., NIBARUTA G., (à paraître)

Utilisation de la technique d'électrophorèse dans la systématique des poissons.
Hydrobiologia : 5 p.

