

DK530323

BA-TH1302

Université Montpellier II
Sciences et Techniques du Languedoc
Place Eugène Bataillon
34095 MONTPELLIER Cedex 5

CIRAD-EMVT
TA 30 / B
Campus International de Baillarguet
34398 MONTPELLIER Cedex 5

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

**CAPACITE D'ADAPTATION DES TILAPIAS AUX
FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET INCIDENCE SUR
LEURS POTENTIALITES AQUACOLES.**

par

Ouattara N'GOLO

**BA
TH1302**

Année universitaire 2004-2005

CIRAD



000073171

RESUME

Les poissons du genre tilapia sont bien connus des consommateurs de nombreux pays du Sud comme du Nord et sont économiquement intéressants à élever. Originaires d'Afrique, ils ont conquis aujourd'hui toute la planète et leur production ne cesse d'augmenter au fil des années avec une production mondiale de plus de 1,5 million de tonnes (FAO, 2005). Ce succès du tilapia en aquaculture résulte d'abord et avant tout de sa facilité d'élevage liée à une excellente résistance à des conditions environnementales difficiles.

Après une présentation générale des caractéristiques des différentes espèces de tilapias et de leur répartition dans le monde, l'accent est mis sur le régime alimentaire et la biologie de la reproduction de ce groupe de poissons. Ensuite plusieurs travaux portant sur la physiologie de la croissance, de la reproduction et de l'osmorégulation sont décrits. Enfin, les effets des facteurs environnementaux (température, salinité photopériode) sur la croissance, la reproduction et l'osmorégulation sont indiqués à travers l'analyse de plusieurs études.

MOTS CLES : Tilapia, Aquaculture, Physiologie, Adaptation, Facteurs environnementaux.

REMERCIEMENTS

Merci à Jean-François BAROILLER et Helena D'COTTA CARRERAS pour leur contribution et leurs conseils pour la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

RESUME ET MOTS CLES

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION.....1

I- BIOLOGIE ET INTERÊTS AQUACOLES DES TILAPIAS3

1-1-Carastéristiques taxonomiques et morphologiques.....3

1-2-Répartition géographique originel et actuel.....4

1-3-Régime alimentaire.....6

1-4-Biologie de la reproduction.....7

**II- PHYSIOLOGIE DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES AQUACOLES DES
TILAPIAS9**

2-1-Croissance.....9

2-2-Reproduction.....10

2-3-Osmoregulation.....11

III- EFFETS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR CES TROIS.....14

3-1-Croissance.....14

3-2-Reproduction.....17

3-3-Osmorégulation.....19

CONCLUSION.....20

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....21

INTRODUCTION

Parmi la famille des Cichlidés, différentes espèces du genre tilapia, constituent des espèces d'intérêt aquacole et économique majeurs, puisqu'elles font aujourd'hui l'objet d'élevages à tous les niveaux possibles d'intensification dans plus de 100 pays du monde, en Afrique, en Asie et, maintenant aussi aux Etats-Unis (Fitzsimmons, 2000).

En effet, les tilapias présentent de nombreux avantages qui expliquent leur succès en aquaculture. Tout d'abord, les intrants peuvent être réduits pour les pisciculteurs, car les tilapias sont des espèces de bas de chaîne trophique (la plupart d'entre eux sont phytoplanctonophages). Il est donc possible d'élever du tilapia simplement en favorisant la production primaire par des fertilisations organiques des étangs, ou par du nourrissage basé sur des sous-produits de l'agriculture locale (son de riz, tourteaux de cotons, ...). Evidemment, les meilleures croissances restent associées à une nourriture riche en protéines, les protéines animales intervenant alors sous forme de farine de poissons. Ensuite, leur reproduction en élevage est aisée, cela pouvant même poser des problèmes de nanisme dans les populations d'élevage (Baroiller and Jalabert, 1989 ; Baroiller *et al.*, 1997). Enfin, ce sont des poissons rustiques présentant d'impressionnantes résistances à des conditions environnementales (température, pH, oxygène dissout, ...) difficiles généralement non supportées par d'autres espèces de poissons.

Leur succès en élevage résulte d'abord et avant tout de cette facilité d'élevage liée à une excellente résistance à des conditions difficiles. Par exemple les poissons du genre tilapia, *Oreochromis* et *Sarotherodon* se caractérisent par leur tolérance à un large spectre de conditions environnementales. Ils supportent aussi bien de grandes variations de température que de salinité (Chervinski, 1980).

Cependant, ces facteurs environnementaux affectent souvent de manière très significative les taux de survie (Baras, 1998 ; Fontaine, 2004) et les variations de croissance, observées au cours des premiers stades de développement, résultent souvent d'une interaction entre un grand nombre de facteurs imposés par les conditions d'élevages.

Par conséquent le problème est de déterminer des *preferendums* qui permettraient aux différentes espèces de tilapias d'optimiser au mieux leurs potentiels de production. La recherche d'espèces ou de souches, tolérant au mieux certaines conditions extrêmes est également un point à prendre en considération. De nombreuses recherches sur leur physiologie adaptative sont menées afin de définir les espèces et les meilleurs critères environnementaux correspondant à leur élevage.

I- BIOLOGIE ET INTERÊTS AQUACOLES DES TILAPIAS

1-1- Caractéristiques taxonomiques et morphologiques

Les tilapias appartiennent à l'ordre des Percomorphes et à la famille des *Cichlidae*. Les espèces de cette famille se reconnaissent aisément par :

- une tête portant une seule narine de chaque côté,
- un os operculaire non épineux, un corps comprimé latéralement, couvert essentiellement d'écailles cycloïdes et parfois cténoïdes,
- une longue nageoire dorsale à partie antérieure épineuse.

Mais au cours des dernières décennies, le nombre d'espèces de *Tilapia* a fortement augmenté avec la découverte de nouvelles espèces, ce qui a conduit les systématiciens à revoir régulièrement la taxonomie de ce genre rassemblant actuellement plus de 90 espèces.

Dernièrement certains auteurs s'accordaient à diviser la tribu des Tilapiines en 4 genres en se basant non seulement sur les caractères anatomiques, mais aussi sur le comportement reproducteur et la nutrition (Trewavas, 1983) :

- garde biparentale des œufs sur substrat, macrophages : *Tilapia*,
- incubation buccale avec garde biparentale ou paternelle, planctoniques : *Sarotherodon*,
- incubation buccale avec garde uniparentale maternelle, planctoniques : *Oreochromis*,
- caractéristiques éco-morphologiques particulières : *Danakilia*.

En pisciculture, la dénomination la plus universellement répandue est *Tilapia nilotica*. Les principaux synonymes de cette espèce, que l'on peut retrouver dans la littérature récente sont :

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

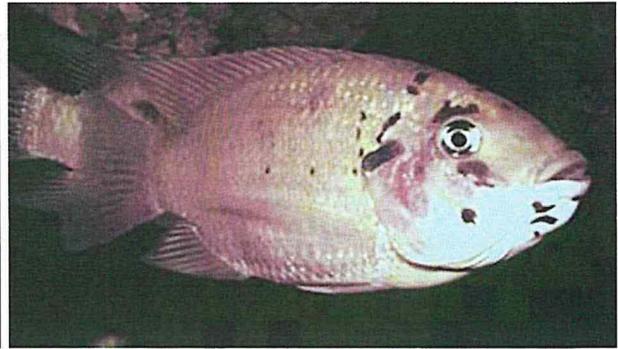


Figure 1: *Oerochromis mossambicus*

Figure 2: *Sarotherodon melanotheron*

(Photos Paul Shafland)

C'est toutefois ce dernier nom d'espèce, *O. niloticus* qui est aujourd'hui retenu.

On distingue chacun de ces trois genres principalement par leur mode de reproduction et, dans une moindre mesure, par leur régime alimentaire.

Les espèces appartenant au genre *Tilapia* sont des pondeurs sur substrats (plusieurs milliers de petits œufs par ponte) et des macrophytophages. Le genre *Oreochromis*, dont fait partie la majorité des espèces élevées dans le monde, regroupe des espèces où les femelles pratiquent l'incubation buccale des œufs alors que dans le genre *Sarotherodon*, l'incubation buccale est soit biparentale (c'est à dire qu'au sein de la même espèce, les mâles et les femelles incubent les œufs), soit uniquement paternelle. Dans ces deux genres, les espèces produisent plusieurs centaines d'œufs (plus gros que ceux du genre *Tilapia*) par ponte et sont principalement, à l'état sauvage, microphytophages et détritivores.

1-2-Répartition géographique originelle et actuelle

Endémique d'Afrique et du Moyen-Orient, les tilapias sont aujourd'hui présents dans de nombreuses régions du globe (une centaine de pays) suite à des introductions réalisées par l'homme.

La pisciculture du tilapia a d'abord été une pisciculture rurale destinée à produire des protéines animales bon marché pour les populations locales de pays du sud mais, il s'agit maintenant, d'un poisson très demandé sur le marché international du fait de sa chair blanche

pouvant être employée pour produire des filets de poissons blancs très prisés par les consommateurs.

Le succès du tilapia résulte d'abord et avant tout de sa facilité d'élevage liée à une excellente résistance à des conditions difficiles, et à une reproduction naturelle en élevage. Ils sont robustes (car ils peuvent vivre et se reproduire dans des eaux qui seraient létales pour de nombreuses espèces) et très prolifiques. L'élevage larvaire est simple à mettre en place et des techniques, des plus extensives aux plus intensives, sont applicables pour leur culture dans une large gamme de milieux aquatiques. De nombreuses technologies d'élevage sont disponibles pour ce groupe d'espèces qui permettent de produire le tilapia à un coût relativement bas.

La situation actuelle de la production mondiale de tilapias reflète bien ces avantages. En effet, toutes espèces confondues, le groupe des tilapias occupe la 2^{ème} place dans la production aquacole de poissons après les cyprinidés et l'essentiel de cette production est réalisée en eau douce (1500000 tonnes en 2003) (FAO, 2005).

Selon la FAO (2004), la Chine est le plus gros producteur de tilapias (630 000 tonnes en 2000). Une infime partie de la production est destinée à l'exportation, le reste étant consommé dans le pays. La Thaïlande arrive au deuxième rang mondial, talonnée par les Philippines et l'Indonésie. Ces quatre pays (Chine, Thaïlande, Philippines et Indonésie) fournissent, à eux seuls, plus de 80% des tilapias issus de l'élevage.

En 1998, Taiwan (fournisseur principal des USA) avec 36 000 tonnes produites et la Malaisie avec 12 600 tonnes, le Brésil (où la peau des tilapias est prise pour la confection de vêtements, de valises, etc.) avec une production de 18 250 tonnes et la Colombie avec 17 660 tonnes, font partie également des pays ayant une production significative de tilapias.

L'Égypte et Israël (pays pionniers dans la recherche sur le tilapia) sont les seuls grands pays producteurs de tilapia ayant des espèces de tilapias endémiques.

En Afrique, l'Égypte et le Nigeria avec une production encore très faible par rapport à la moyenne mondiale, restent les plus gros producteurs (Ofimer, 2002).

Récemment, l'élevage intensif du tilapia s'est développé dans de nombreux pays principalement sur le continent américain (Colombie, Equateur, Costa Rica, Etats-Unis) dans les Caraïbes (Jamaïque) mais aussi en Afrique (Zimbabwe).

Les principaux pays exportateurs sont Taïwan (55 000 tonnes en poids équivalent entier), la Chine, la Thaïlande, l'Indonésie, le Costa Rica, la Jamaïque, l'Equateur et le Zimbabwe (Ofimer, 2002).

Les USA sont les premiers importateurs mondiaux de tilapias. Leur production s'élevait à 8 251 tonnes en 1998. Une grande part de celle-ci est vendue directement sur les marchés « ethniques » des grandes villes, le reste est écoulé dans les marchés locaux et les restaurants.

Une grande partie de la production commerciale originaire des pays tropicaux est destinée à l'exportation en direction des USA, de l'Europe et du Japon. Les importations européennes de tilapias peuvent être estimées à environ 8 000 tonnes de filets en 2001 (Ofimer, 2002). En France, en dehors d'une consommation de tilapias sous forme de poissons entiers vivants pour certains marchés « ethniques », ce poisson est consommé sous forme de filets et n'est pas vraiment positionné sur le segment des poissons d'eau douce. Au contraire, il apparaît davantage comme une diversification par rapport aux filets de poissons blancs d'origine marine et par rapport aux filets de saumon.

Dans un futur proche, on prévoit que la demande des consommateurs dans les pays du Nord, les USA en tête, augmentera plus rapidement que la production. Pour répondre à cette demande, les pays en développement, situés dans la ceinture intertropicale, devront augmenter leur production.

1-3-Régime alimentaire

Selon leur régime alimentaire, les tilapias peuvent être repartis en deux groupes :

- les macrophytophages
- les micropytophages et détritivores.

A l'état sauvage, ils sont donc pour la plupart des phytoplanctonophages, ce qui pourrait expliquer leur relative petite taille.

En élevage (surtout intensif), l'utilisation des régimes formulés de haute qualité permet une bonne conversion alimentaire.

Des études réalisées chez des hybrides montre que les vitesses de croissance sont rapides quand les poissons sont nourris avec des produits alimentaires contenant des niveaux de protéine de 35-50 % pour des poissons de moins de 1 g, 30-40 % pour des poissons de 1-5 g et 25-30 % pour des poissons de 5-25 g.

Pour des poissons plus grands, les niveaux diététiques recommandés changent :

- 25 % de protéine pour les poissons élevés en étang,
- 28-32 % pour les poissons élevés dans les camps,
- 35-40 % lorsque les poissons sont élevés dans des réservoirs.

Dans le régime alimentaire des tilapias, les excès en protéines dans la ration peuvent être utilisés et convertis en énergie (Prather et Lovell, 1973).

Plusieurs études ont montré que l'apport de lipides pouvait limiter l'utilisation de ces protéines (plus coûteuses) comme source d'énergie (Lee et Putnam, 1973 ; Watanabe, 1977). Ces excès d'énergie (verfeeding) peuvent produire des poissons gras et également réduire la consommation de nourriture. Par conséquent, il est important de connaître le rapport optimal entre la quantité de protéines fournie dans l'alimentation et la quantité d'énergie produite (ratio P/E ou PER) pour avoir une production de tilapia la plus économique possible.

C'est justement ce qui a été évalué (Shiau et Huang, 1990) dans une autre étude sur l'hybride *Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus* dans des conditions de régime protéique optimum (24 %) et suboptimum (21 %). Le ratio trouvé (PER) était de 310 kcal/100 g en régime suboptimum et de 230 kcal/100 g pour le régime optimum. Ces résultats suggèrent que lorsque le niveau énergétique du régime est de 310 kcal/100 g, il est conseillé de diminuer le niveau de protéines fournies de 24 % à 21%.

1-4-Biologie de la reproduction

Chez les tilapias, il existe deux types de comportement reproducteur et parental : les pondeurs sur substrat et les incubateurs buccaux.

Chez les espèces du genre *Oreochromis*, le mâle creuse une cavité (si le substrat le permet) où la femelle dépose les ovules que le mâle asperge de son sperme. Puis la femelle prend les œufs dans sa cavité buccale hypertrophiée, et dépose un nouveau groupe d'ovules. La fécondation peut parfois aussi avoir lieu à l'intérieur de la bouche, la femelle prélevant le sperme au niveau de la papille mâle ou dans le nid. A 27°C, l'éclosion se déroule trois à cinq jours après. Les larves restent dans la cavité buccale jusqu'à ce que la vésicule vitelline soit presque complètement résorbée (3/4 de résorption). Ensuite, les alevins peuvent s'aventurer à l'extérieur mais restent fortement inféodés à leur mère pendant une période de deux semaines car dès qu'ils se sentent menacés, ils retournent se réfugier dans la bouche de leur génitrice (Tacon *et al.*, 1996 ; Baroiller *et al.*, 1997).

Chez les espèces appartenant au genre *Sarotherodon*, la reproduction se déroule de la même manière que celle du genre *Oreochromis* à la différence que se sont les mâle ou les deux parents qui incubent les œufs. Chez *Sarotherodon melanotheron*, ce sont exclusivement les mâles qui incubent les œufs.

Les incubateurs buccaux pondent moins d'œufs (plusieurs centaines d'œufs par ponte) que les pondeurs sur substrat (plusieurs milliers d'œufs par ponte).

Les tilapias sont des espèces euryhalines, certains sont connus pour leur capacité à se reproduire en milieu salé (Wohlfarth et Hulata, 1983). Cependant, on connaît encore mal l'influence de la salinité sur les performances de reproduction. Concernant l'élevage des tilapias en eau salée, la reproduction en condition de salinité élevée fournit d'importants avantages en minimisant les besoins en eau douce pour maintenir la progéniture et les alevins (Watanabe et Kuo, 1985) en améliorant la croissance et la survie des œufs en eau saumâtre ou en eau de mer (Watanabe *et al.*, 1985 ; Watanabe *et al.*, 1989). Selon Watanabe et Burnnett (1989), la capacité de la lignée hybride du tilapia rouge de Floride d'être élevée en eau de mer a été clairement démontrée dans des études récentes mettant en évidence un taux de croissance élevé, un taux de survie élevé et un indice de conversion efficace en eau saumâtre et en eau de mer (Watanabe *et al.*, in press). Cependant, en condition d'élevage, cette souche de tilapia rouge, tout comme la plupart des autres souches, présente de fortes mortalités imprévisibles en eau de mer (Baroiller, comm.personnelle).

II- PHYSIOLOGIE ET CARACTERISTIQUES D'INTERET AQUACOLE DES TILAPIAS

2-1- Croissance

Les limites de tolérance des espèces varient considérablement et sont parfois même contradictoire dans la littérature pour une même espèce (Suresh et Lin, 1992). Par exemple, en 1973 Chervinski et Hering ont décrit que *Tilapia zillii* pouvait survivre et grandir à des salinités de 40‰ alors que Osborne (1979), dans une étude postérieure observa 100% de mortalité pour cette même espèce lors d'un transfert dans une eau de salinité égale à 30‰. Ces contradictions peuvent s'expliquer par des différences d'origine génétique, mais aussi par des facteurs abiotiques (température, composition chimique de l'eau), des facteurs ontogéniques (âge et/ou taille du corps) et le mode d'acclimatation du poisson.

Les tilapias ont la réputation d'être sensibles au froid. Pour la plupart des espèces, la température minimale pour une croissance normale est de 16°C, alors que la reproduction commence à 22-24°C. Sauf exception, les tilapias ne peuvent pas survivre plus de quelques jours à des températures inférieures à 10°C et , en dessous de 20°C, leur activité et leur alimentation sont réduites. Néanmoins ils peuvent résister quelques heures à des températures de 7-10°C.

La tolérance aux faibles températures est modifiée par la salinité. *Oreochromis aureus* tolère, par exemple, de plus faibles températures dans une eau à 5‰ que dans une eau douce (Chervinski et Lahav, 1976). De telles performances ont également été remarquées chez *Oreochromis mossambicus* (Allanson et al., 1971) et *Sarotherodon melanotheron*. Cette résistance aux faibles températures serait corrélée avec la capacité à maintenir de hautes concentrations de sodium et de potassium plasmatique.

Des différences spécifiques existent aussi dans la tolérance au froid lorsque les tilapias sont élevés en milieu salé. Par exemple, *Oreochromis spirulus* grandit et survit bien lorsqu'on diminue la température d'une eau à 40‰ alors que *Oreochromis aureus*, dans les mêmes conditions, est sévèrement affecté (Hopkins et al, 1989).

Il a été montré par ailleurs que l'administration de protéines antigel (AFP) avait pour effet de renforcer la tolérance aux faibles températures chez *Oreochromis mossambicus* (Wu *et al.*, 1998).

2-2-Reproduction

Elle est fonction des espèces, des conditions du milieu et de la densité des individus. La maturité sexuelle peut intervenir dès 3-4 mois dans certains élevages, plutôt vers 6 mois en moyenne, et parfois à plus d'un an dans le milieu naturel. Des individus de 30 g peuvent se reproduire. D'une manière générale, des conditions défavorables accélèrent la maturité sexuelle.

- En élevage, un ratio de 1 mâle pour 3-4 femelles permet la plus forte production d'alevins.
- Une température d'au moins 22-24°C est nécessaire à la reproduction et à l'incubation des œufs (Baroiller *et al.*, 1997).
- Le dimorphisme sexuel apparaît principalement au niveau de la papille génitale, pour des individus de 25-30 g et 10 cm de long, ce qui permet un sexage précoce en élevage (Toguyeni, 1996).
- Au moment de la reproduction, les mâles se réunissent sur une zone de nidification de faible profondeur, au substrat meuble - gravier, sable, argile - dans lequel ils aménagent chacun un nid qu'ils vont défendre et tenter d'y attirer une femelle.

Dans le cas de *Oreochromis*, après une parade sexuelle, la femelle dépose un lot d'ovules aussitôt fécondés par le mâle. La femelle reprend les œufs dans sa bouche où elle les garde jusqu'à l'éclosion (soit 4-5 jours), et pendant la majeure partie de la période de résorption de la vésicule vitelline, étape durant de 5 à 7 jours, soit au total, une incubation stricte de 9 -12 jours (Tacon *et al.*, 1996 ; Baroiller *et al.*, 1997). Les alevins s'échappent alors de la bouche de leur mère mais ils y retournent pour se réfugier en cas de danger. Ils ne deviennent indépendants qu'au bout de 10 à 15 jours, à la taille de 11 mm, alors qu'ils mesuraient 4 à 5 mm à l'éclosion. Les alevins sont phyto et zooplanctonophages.

Une femelle en bonne condition se reproduit toutes les 6 à 8 semaines, ce qui, à raison de 800 à 1000 œufs en moyenne pour une femelle de 250 g, risque de conduire rapidement au surpeuplement et au nanisme en milieu fermé (étang par exemple) et en l'absence d'un strict contrôle de la reproduction.

2-3-Osmorégulation

En eau douce comme en eau salée, les différences de concentrations en ions entre le sang et le milieu environnant sont importantes.

En eau douce, les sels sont plus concentrés dans le corps des poissons que dans l'eau.

En eau salée, où les sels sont moins concentrés dans le corps des poissons que dans l'eau, la situation est inversée. L'eau a tendance à se diriger passivement par osmose vers le milieu à plus forte concentration en sels. Un poisson vivant en eau douce doit donc constamment se débarrasser de l'eau qui tend à l'envahir, *via* ses branchies, tout en conservant les sels nécessaires à son bon fonctionnement.

Un poisson vivant en eau salée a, au contraire, tendance à se déshydrater car l'eau de son corps est attirée vers le milieu extérieur. Pour lutter contre l'hydratation (en eau douce) ou la déshydratation (en eau salée), une régulation se produit entre les fluides intracellulaires et le milieu extérieur. Ce mécanisme s'appelle l'osmorégulation.

L'osmorégulation et le maintien de l'équilibre électrolytique sont les mécanismes de contrôle de l'eau et des ions ou « sels » dans le sang. Ces sels sont principalement le sodium (Na^+), le potassium (K^+), le chlore (Cl^-) et les bicarbonates (HCO_3^-).

Les branchies et le rein participent à l'osmorégulation et au maintien de l'équilibre des électrolytes. Ces mécanismes sont vitaux, car les déséquilibres électrolytiques peuvent entraîner des désordres des systèmes nerveux, digestifs et musculaires.

Afin de contrebalancer la pression osmotique, les cellules à chlorure des branchies et, à un moindre degré, les cellules épithéliales prolifèrent à la surface du tissu branchial et agissent comme des petites « pompes ».

Le saumon, qui passe d'un environnement d'eau douce pour sa période juvénile, à un environnement d'eau salé, pour sa période d'engraissement en mer, est un bel exemple d'adaptation physiologique au maintien de l'équilibre osmotique. En effet, lorsque les jeunes saumons se préparent à quitter l'eau douce pour l'eau la mer, donc à partir d'un milieu où

l'eau extérieure cherche constamment à les envahir vers un milieu où, à l'inverse, les fluides corporels tendent à s'échapper vers l'extérieur, un mécanisme naturel d'adaptation, qui s'appelle la smoltification s'enclenche. Le nombre de cellules à chlorure augmente alors progressivement au niveau des branchies, jusqu'au moment du transfert vers l'eau salée. Cette prolifération de cellules à chlorure va aider les saumons à traverser la période critique de migration de l'eau douce vers l'eau salée, en maintenant l'équilibre électrolytique de leur sang.

Les tilapias développent des mécanismes physiologiques appropriés pour s'adapter et vivre en eaux saumâtres. Ces mécanismes impliquent des changements structuraux et fonctionnels des branchies (pour les poissons acclimatés à l'eau salée) caractérisés, entre autres, par une augmentation des flux branchiaux d'ions sodium et d'ions chlorure, une augmentation de l'activité Na^+K^+ -ATPase dans les tissus branchiaux et une augmentation du nombre de cellules à chlorures dans les lamelles branchiales.

Des hormones comme les catécholamines, le glucagon, la prolactine et le cortisol joueraient un rôle régulateur dans ces processus d'acclimatation (Suresh et Lin, 1992). Des expériences ont mis en avant le rôle fondamental de la prolactine (PRL) dans l'adaptation des tilapias aux milieux hypo et hyper-osmotique. Lors du transfert de *Oreochromis aureus* en milieu hyper-osmotique (Auperin et Prunet, 1996), une augmentation des concentrations ioniques plasmiques, du taux de renouvellement ionique et de l'activité Na^+ , K^+ -ATPase branchiale a été remarquée. Parallèlement, les concentrations plasmiques de PRL chutent, entraînant une augmentation de l'excrétion des cellules à chlorures et une augmentation du flux ionique transoperculaire. Ceci a également été vu chez *Oreochromis mossambicus* à partir de salinités de 3 ‰. En milieu hyper-osmotique, l'absence de PRL assure donc la survie des poissons car l'excrétion de sels au niveau branchial est optimale et évite la diminution des flux entrants et sortants de sodium.

En eau douce (milieu hypo-osmotique), la PRL présente au niveau plasmique, conduit à une diminution du flux sortant de sodium en inhibant la différenciation des cellules à chlorures. La PRL provoque une rétention de sodium plasmique et a donc un rôle primordial en eau douce, en diminuant le flux sortant de sodium.

La fonction d'osmorégulation s'installe très tôt chez les tilapias. En effet, une étude sur les cellules à chlorure et l'activité de Na^+ , K^+ -ATPasique branchiale a été réalisée sur les larves de *Oreochromis mossambicus* à dix jours post-éclosion (Li *et al* , 1995). La conclusion en a été qu'au stade larvaire, les branchies avaient une fonction osmorégulatrice en place bien avant la fonction d'échanges gazeux.

III- EFFETS DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX SUR CES TROIS PARAMETRES

3-1-Croissance

Chez les poissons, contrairement aux mammifères et aux oiseaux chez lesquels la néomyogenèse est extrêmement réduite après la naissance, le nombre de fibres musculaires, dont dépend en grande partie la taille maximale de l'animal n'est pas toujours déterminé à l'éclosion (Stickland *et al.*, 1988 ; Rowleson et Veggetti, 2001). Ainsi, chez les tilapias, la croissance post-éclosion est due à une augmentation de la taille des fibres musculaires. Mais si la croissance musculaire est directement liée à l'énergie disponible pour favoriser l'accrétion protéique, sa vitesse n'est pas linéaire : il existe en effet des rythmes endogènes de croissance.

Ainsi, il a été montré, chez le tilapia (Massou *et al.*, 2002), un dépôt journalier de stries d'accroissement de l'otolithe. Toutefois, les différentes espèces de tilapia présentent très souvent des rythmes saisonniers qui sont la résultante de l'influence de la disponibilité alimentaire, de la qualité chimique de l'eau (particulièrement chez les espèces tropicales d'eau douce), de la température ambiante et de la photopériode (surtout dans les pays tempérés).

Comme tous les autres poissons, les tilapias sont des poïkilothermes obligatoires, parfois sensibles à des écarts de température de 0.5°C (Fontaine *et al.*, 2004), dont les préférences naturelles thermiques varient, selon les espèces, entre 17°C et 34-35°C. Chaque espèce ne peut survivre qu'au sein d'une plage de température bien définie et la plage des températures optimales pour la croissance est encore plus étroite, entre 26°C et 28°C (Campbell, 1987 ; Trewavas, 1983). Il n'est pas exclu que cet optimum puisse varier suivant les populations, comme le suggère la sélection réussie d'une souche de carpe résistante au froid (Vandeputte et Launey, 2004). Au-delà, la température diminue la croissance et peut devenir un facteur de stress.

Dans une gamme de températures, dite physiologique, où la croissance peut s'exprimer, l'élévation de la température augmente la prise alimentaire parallèlement au métabolisme basal (Brett et Groves, 1979). Il ne faut pas négliger le fait la diminution du métabolisme général due au faibles températures puisse, comme chez les mammifères, ralentir

le vieillissement et augmenter la longévité ainsi que la taille maximale des individus (Lee Bourg, 1999).

Des effets plus spécifiques que la simple prise alimentaire ont pu être démontrés. Ainsi, durant le développement embryonnaire, de faibles températures peuvent induire une augmentation du nombre de fibres musculaires (Stickland et al, 1988 ; Usher *et al.*, 1994 ; Nathanailides *et al.*, 1995) et du nombre des vertèbres (Kwain, 1975) à l'éclosion, augmentant ainsi le potentiel de croissance ultérieure. Par ailleurs, les concentrations d'hormones comme la thyroxine et l'hormone de croissance (GH), connues pour favoriser la prise alimentaire (Le Bail et le Bœuf, 1997), sont augmentées par la température (Gabillard *et al.*, 2003 et 2004) induisant, en plus d'une augmentation du métabolisme général, une amélioration du coefficient de conversion alimentaire (Donaldson *et al.*, 1979).

Les effets de la température sur la croissance sont donc multiples et parfois contradictoires.

Les conditions d'éclairage des poissons sont certainement parmi les conditions les plus difficiles à appréhender dans le milieu naturel (luminosité fluctuante, hétérogénéité de l'éclairage du milieu, *preferendum* ou évitement des poissons...). Le spectre lumineux est très certainement important pour les conditions de vie des tilapias, mais les informations fiables sur leurs effets manquent (difficulté méthodologique à expérimenter) (Fontaine et al., 2004).

En revanche, les effets de l'intensité lumineuse et de la photopériode sur le développement et la croissance sont mieux documentés (Bœuf et Le Bail, 1999). Généralement, une intensité minimale est nécessaire pour un développement harmonieux et une croissance normale des juvéniles en permettant l'accès à l'alimentation. La photopériode agit souvent comme un synchroniseur des rythmes endogènes de l'animal. Les photopériodes peuvent favoriser la croissance (Maisse *et al.*, 1998).

Les milieux aquatiques peuvent présenter des salinités (ici nous ne parlons que du NaCl) très variables allant de 0 ‰ en eau douce jusqu'à des salinités extrêmes supérieures à 100 ‰ (mare hypersaline) en passant par 35 ‰ qui est la valeur moyenne de l'eau de mer. Si pour beaucoup d'espèces de tilapias, le passage dans un milieu dont la salinité est éloignée de celle de son milieu « physiologique » conduit à un ralentissement ou à un blocage de la croissance, voire à la mort (*Oreochromis niloticus*), d'autres supportent de telles variations

qui peuvent être favorables à la croissance corporelle (Bœuf et Payan, 2001). C'est le cas de *Oreochromis mossambicus* et *Sarotherodon melanotheron*.

De nombreuses expériences sur la croissance des tilapias à différentes salinités ont été conduites et comparées. Un certain nombre de ces études a montré que les eaux salées avaient la propriété de stimuler la croissance chez certaines espèces dans des gammes de salinité particulières. Ainsi, il a été observé de meilleurs taux de croissance pour les individus de l'espèce *Oreochromis niloticus* élevés dans une eau à 9 ‰ que pour ceux élevés en eau douce (Chervinski, 1961 a). Des résultats similaires ont été constatés pour *Sarotherodon galilaeus* (Chervinski, 1961 b), *Oreochromis mossambicus* (Canagaratnam, 1966) et sur un tilapia rouge hybride de Floride (Watanabe *et al.*, 1988).

La croissance du tilapia rouge de Floride (*Oreochromis hornorum* x *Oreochromis mossambicus*) est plus élevée dans une eau à 10 ‰ que dans une eau à 1 ‰. De même, la croissance est corrélée positivement à la salinité (jusqu'à 36 ‰). Selon l'auteur, cette augmentation de la croissance est liée à l'augmentation de la consommation alimentaire et à un taux de conversion plus bas en milieu salé (Watanabe *et al.*, 1988). Les raisons d'une meilleure croissance de certaines espèces adaptées aux environnements halins sont les suivantes : à une salinité comparable à celle du milieu intérieur (9‰) l'osmorégulation est minimale car les poissons sont en équilibre osmotique avec le milieu et l'énergie requise pour le métabolisme de routine est plus faible qu'en eau douce. Aussi, une exposition à la salinité aux premiers stades de développement des tilapias rouges améliore les performances de croissance pour la descendance (Watanabe *et al.*, 1989 b). En effet, la croissance des juvéniles à 18 ‰ est supérieure à celle de ceux éclos à 4 ‰.

Beaucoup d'expériences ont été réalisées sur la tolérance des tilapias à la salinité mais peu d'informations ont été récoltées sur les effets combinés de la température et de la salinité sur la croissance et l'utilisation de la ration alimentaire. Une des exceptions est le travail réalisé par Watanabe *et al.* (1993), qui ont mis en évidence que la salinité modifiait les effets de la température sur la croissance du tilapia rouge de Floride : à 0 ‰, la croissance atteint un maximum à 27°C, alors qu'à 18 et 36 ‰, la croissance maximale est atteinte à 32°C. Ce point a également été étudié (Likongwe *et al.*, 1996) sur *Oreochromis niloticus*. En observant les effets combinés de la température (24, 28, 32°C) et de la salinité (0, 8, 12, 16 ‰) sur sa croissance il a été constaté :

- une meilleure croissance à 28 et 32°C qu'à 24°C pour les poissons élevés à une salinité de 12 ‰.
- à toutes les salinités (0, 8, 12, 16 ‰), une augmentation de la croissance avec la température.
- à toutes les température (24, 28, 32°C), une augmentation de la salinité inhibe en général la croissance.

Des expériences réalisées sur la croissance (Payne *et al.*, 1998), chez *Oreochromis spirulus* et *Oreochromis mossambicus*, ont montré que pour la première espèce, le taux de croissance était le même pour les salinités s'étendant de 0 ‰ à 20 ‰, puis diminuait à partir de 24 ‰. Une mortalité de 100 % a été observée à 28 ‰. Pour la seconde espèce, à 20°C, la croissance diminuait avec l'augmentation de la salinité (de 6 à 14 ‰), mais à 28°C, une amélioration de la croissance fut mise en évidence à la plus haute salinité testée (14 ‰).

Une augmentation de température (jusqu'à une certaine limite) a donc tendance à favoriser la croissance chez certaines espèces. Une explication possible à cela est que les températures plus élevées augmentent l'efficacité de l'osmorégulation induisant ainsi une économie d'énergie pour la croissance (Payne *et al.*, 1988). Cependant les interactions entre la température et la salinité sont encore mal connues.

3-2-Reproduction

Il y a un manque d'information sur la reproduction des tilapias en relation avec la salinité.

Une étude a déterminé les effets de la salinité sur les performances de reproduction du tilapia rouge de Floride dans des aquariums sous contrôle au laboratoire. Des pontes sont observées à toutes les salinités testées de 14 à 36 ‰. Chaque femelle a pondu entre 0 et 5 fois durant la période de l'expérience. Il n'existe pas de différences significatives entre les nombres d'œufs pondus aux différentes salinités. Cependant, il y a une bonne corrélation entre le poids d'œufs pondus et le poids des femelles. Le pourcentage d'éclosion à 27 et 36 ‰ est significativement plus faible qu'à 9 ‰ ; cependant des œufs viables peuvent être pondus à toutes les salinités. Ainsi, la capacité de reproduction de l'hybride tilapia rouge de Floride en

eau de mer peut être attribuée à une bonne tolérance à la salinité de deux des 4 (*O. niloticus*, *O. mossambicus*, *O. aureus* et *O. hornorum*) espèces parentales dont dérive l'hybride.

La capacité de *Oreochromis mossambicus* à se reproduire en eau de mer est bien connue (Popper et Lichatowitch, 1975).

Oreochromis hornorum est aussi connu pour sa survie et sa reproduction à des salinités supérieures à 30 ‰ (Philipart et Ruwet, 1982).

Rida *et al.*, (1985) ont rapporté que le tilapia rouge originaire de Taïwan ne se reproduisait pas en pleine eau de mer (37 à 40 ‰). Cette moins bonne adaptation reflète probablement les différences d'ordre génétique entre les lignées issues de Taïwan et celles de Floride.

Chez les tilapias, le poids de ponte est bien corrélé avec le poids de la femelle. Peter (1983) observait que dans un nombre important d'espèces de tilapias (*Oreochromis mossambicus*, *Sarotherodon melanotheron*, *Sarotherodon galilaeus* et *Tilapia tholloni*), bon nombre de femelles libèrent très peu d'œufs par unité de poids corporel lors de la ponte.

Une tendance similaire a été observée chez *Oreochromis niloticus* et *Oreochromis mossambicus* (Siraj *et al.*, 1983 ; Watanabe et Kuo, 1985). Dans cette étude, ils suggèrent que le faible nombre d'œufs libéré par unité de poids de femelle à 1 ‰ est en relation avec la taille relativement petite des femelles qui se reproduisent à cette salinité. Ils ont aussi constaté un effet inhibiteur de la salinité sur l'efficacité de la reproduction et une bonne qualité des gamètes.

La réussite du taux d'éclosion à différentes salinités montre une tendance similaire indiquant une dégradation proportionnelle dans la survie à différentes salinités durant la période embryonnaire.

Chez le tilapia hybride (*Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis hornorum*) le faible taux de survie relatif des juvéniles en dessous de 1 ‰ peut être le reflet du coût de l'osmorégulation considéré comme étant énorme en eau douce (0 ‰) ou en eau de mer (35 ‰). Le taux de mortalité plus élevé des œufs que des embryons au dessus de 1 ‰ peut refléter le transfert de la fonction d'osmorégulation de la membrane vitelline des œufs en développement vers les organes d'osmorégulation dès l'éclosion (Holliday et Jones, 1967).

Une réussite significative de l'éclosion et du taux de survie des œufs suggère que la reproduction sous des salinités proches de l'équilibre iso-osmotique soit bénéfique. Uchida et King (1962) rapportent que la production d'œufs chez *Oreochromis mossambicus* était approximativement trois fois plus élevée en eau peu sale (8,9-15,2 ‰) qu'en eau douce et suggèrent d'utiliser les eaux saumâtres pour réduire le coût de l'eau douce. Aux avantages que pourrait apporter une amélioration des capacités de reproduction à des salinités élevées doivent être opposés les risques de dissémination du tilapia en environnement marin.

3-3-Osmorégulation

Les nombreuses espèces euryhalines de tilapias, au cours de leur changement de milieu (eau douce vers les eaux saumâtres ou marines et réciproquement), doivent s'adapter en osmorégulant pour maintenir l'homéostasie de leur milieu intérieur. Le maintien de cet équilibre a un coût énergétique qui peut affecter les performances de croissance.

Chez l'hybride *Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis hornorum*, les coûts énergétiques dus à l'osmorégulation sont plus élevés en eau douce (0 ‰) qu'en eau de mer (35 ‰) et sont minimums à une salinité iso-osmotique de 12 ‰ (Febry et Lutz, 1987). Dès que les conditions deviennent hyper-osmotiques (26 ‰), les coûts énergétiques de l'osmorégulation augmentent, probablement parce que le poisson doit changer de mode d'adaptation et doit passer d'une régulation interne hyper-osmotique (en eau douce) à une régulation hypo-osmotique (en eau salée). Une fois le seuil des 26 ‰ atteint, ces hybrides sont capables de tolérer l'eau de mer et le coût énergétique de l'adaptation diminue. Ce phénomène, qualifié de « facilitation d'adaptation », signifie qu'une adaptation préalable à 26 ‰ facilite l'adaptation à l'eau de mer. Ce concept pourrait aider à comprendre pourquoi les poissons acclimatés graduellement dans une eau salée sont plus performants que les poissons transférés de manière directe.

CONCLUSION

La production mondiale de tilapias, issue majoritairement du continent asiatique, est en progression constante depuis plusieurs décennies. Ceci grâce à la facilité de production de ce groupe de poissons qui se situe en bas de la chaîne trophique. Pour coloniser tous les milieux d'élevage, les tilapias développent des mécanismes d'adaptation aux différents facteurs environnementaux. Mais ces changements physiologiques ont très souvent des répercussions sur leurs potentiels aquacoles. C'est pourquoi, il faut respecter les limites du tolérable pour optimiser au mieux la production des tilapias dans les différents milieux susceptibles de les accueillir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allanson B. R., Bok A., Wyk N. I. V., 1971. The influences of exposure to low temperature on *Tilapia mossambicus* (Peters). II. Changes in serum osmolarity, sodium and chloride concentrations. *J. Fish Biol.* 3, 181-185.

- Auperin B., Prunet P., 1996. Rôle de la prolactine dans l'adaptation du tilapia à des milieux hypo et hyperosmotiques. Le troisième symposium International sur le tilapia en Aquaculture (ISTA III), pp. 493-505. Edité par R. S. V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J. B. Amon Kothias et D. Pa. Abidjan, Côte d'Ivoire : ICLARM Conf. Proc. 41, 630p.

- Baras E., 1998. Bases biologiques du cannibalisme chez les poissons. *Cah. Ethol Appl.*, 18, 53-98.

- Baroiller, J.F. and Jalabert, B., 1989. Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapias. *Aquat. Living Resour.* 2: 105-116.

- Baroiller J. F., Desprez D., Carteret Y., Tacon P., Hoareau M. C., Mélard C. and Jalabert B., 1997. Influence of environmental and social factors on the reproductive efficiency in three tilapia species, *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* and the red tilapia (Red Florida Strain). In K. Fitzsimmons (eds), *Proceedings of the fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, 9-12 November 1997, Orlando, Florida. U. S. A., pages 238-252.

- Boeuf G., Le Bail P.-Y., 1999. Does light have an influence on fish growth? *Aquaculture*, 177, 129-152.

- Boeuf G., Payan P., 2001. How should salinity influence fish growth? *Comp. Biochem. Physiol. C*, 130, 411-423.

- Brett J. R., Groves T. D. D., 1979. Physiological energetic. In: Hoar W. S., Randall D. J. and Brett J. R. (eds), *Bioenergetics and growth*, 280-244. Academic press, New York.

- Campbell, D., 1987. A review of the culture of *Sarotherodon melanotheron* in West Africa. UNDP/FAO African Regional Aquaculture Centre, Aluu, Port Harcourt, Nigeria. Working Paper ARAC/87/WP/5, 20p.

- Canagaratnam P. 1966. Growth of *Tilapia mossambicus* Petres in different salinities. Bull. Fish. Res. Stn. Ceylon 19, 47-50.

- Chervinski J., 1980. Environmental physiology of tilapias. In The biology and culture of tilapias, pp. 119-128. Edité par R. S. V. Pullin et R. H. Lowe-McConnell: ICLARM Conf. Proc. 7, 360p.

- Chervinski J., Hering E., 1973. *Tilapia zillii* (Gervais) (piscies, cichlidae) and its adaptability to various saline conditions. Aquaculture 2, 23-29.

- Chervinski J., Lahav M., 1976. The effect of exposure to low temperature on fingerlings of local tilapia (*Tilapia aureus*) (Steindachner) and imported tilapia (*Tilapia vulcani*) (Trewavas) and *Tilapia nilotica* (Linne) in Israel. Bamidgeh 28, 25-29.

- Donaldson E. M., Fagerlund U. H. M., Higgs D. A., Mc Bride J. R., 1979. In: Hoar W. S., Randal D.J. and Brett J.R. (eds), Fish Physiology, Vol VII, 334-338. Academic Press, New York.

- FAO, 2004. Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture (SOFIA). <http://www.fao.org/fi>

- FAO, 2005. Statistiques des pêches. Production de l'aquaculture 2003. Vol.96/2. <http://www.fao.org/fi>

- Fitzsimmons, K., 2000. Tilapia : the most important aquaculture species of the 21st century. In Tilapia Aquaculture in the 21st century: proceedings from the fifth International Symposium on Tilapia aquaculture, K. Fitzsimmons and J.Carvalho Filho, eds., Rio de Janeiro, RJ, Brazil, September 3-7, 2000, pp. 3-8.

- Fontaine P., 2004. Premiers résultats en perciculture hors-sol chez Lucas Perche. Aquafilia, 2, 10-14.

- Fontaine P., P.-Y. Le Bail, 2004. Domestication et croissance chez les poissons, INRA Prod. Anim., 17 (3), 217-225.

- Gabillard J.-C., Weil C., Rescan P. Y., Navarro I., Gutierrez J., Le Bail P.-Y., 2003. Environmental temperature increases plasma GH levels independently of the nutritional status in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Gen. Comp. Endocrinol., 133, 17-26.

- Gabillard J.-C., Weil C., Rescan P. Y., Navarro I., Gutierrez J., Le Bail P.-Y., 2004. Does the GH/IGF system mediate the effect of temperature on fish growth ? Cybium, sous presse.

- Hopkins K. D., Ridha M., Leclercq D., Al-Ameeri A. A., Al-Ahmad T., 1989. Screening tilapias for sea water culture in Kuwait. Aquaculture Fish Management 20, 389-397.

- Kwain W., 1975. Embryonic development, early grown and meristic variation in rainbow trout (*salmo gairdneri*) exposed to combinations of light intensity and temperature. J. Fish. Res. Bd. Canada, 32, 397-402.

- Le Bail P.-Y., Boeuf G., 1997. What hormones may regulate food intake in fish ? Aquat. Living Resour., 10, 371-379.

- Li J., Eygensteyn J., Lock R. A. C., Verbost P. M., Van Der Heijden A. J. H., Wenderlaar Bonga S. E., Flik G., 1995. Branchial chloride cells in larvae and juveniles of freshwater tilapia *Oreochromis mossambicus*. The Journal of Experimental Biology 198, 2177-2184.

- Maisse G., Noël O., Breton B., Goardon L., P.-Y. Le Bail, Mourot B., 1998. Influence d'une période d'éclaircissement continue sur la première maturité sexuelle de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Bull. Fr. Pêche Piscic., 350-351, 265-264.

- Massou A.M., Panfili J., Laë R., Baroiller J.F., Mikolasek O., Fontenelle G., Le Bail P.-Y., 2002. Effects of different food restrictions on somatics and otolith growth in Nile tilapia reared under controlled conditions. J. Fish Biol., 60, 1093-1104.

- Nathanailides C., Lopez-Albors O., Stickland N. C., 1995. Influence of pre-hatch temperature on the development of muscle cellularity in post-hatch Atlantic salmon (*Salmo salar*). Can. J. Fish Aquat. Sci., 52, 675-680.

- OFIMER, Novembre 2002. Le marché des nouveaux poissons d'eau douce Tilapia, poisson-chat, silure et perche du Nil, pages 1-6.
- Osborne T. S., 1979. Some aspects of salinity tolerances and subsequent growth of three tilapia species: *Sarotherodon aureus*, *sarotherodon spirulus* and *Tilapia zillii*. White Fish Authority. Fisheries Development Project Field Report 48.

- Popper D. and Lichatowitch T., 1975. Preliminary success in predator control of *tilapia mossambica*. Aquaculture 5 pp213-214.

- Rowlerson A., Veggetti A., 2001. Cellular mechanisms of post-embryonic muscle growth in aquaculture species. In: I. A. Johnston (ed), Fish physiology, vol. 18: Muscle development and growth, 103-140. Academic Press, London.

- Springer V. G., and J. H. Finucane, 1963. The African cichlid, *Tilapia heudoletii* Dumeril, in the commercial fish catch of Florida. Transactions of the American Fisheries Society 92 (3): 317-318.

- Stickland N. C., White R. N., Mescall P. E., Crook A. R., Thorpe J. E., 1988. The effect of temperature on myogenesis in embryonic development of the Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Ant. Embryol. (Berl), 178, 253-257.

- Suresh A. V., Lin C. K., 1992. Tilapia culture in saline waters: a review. Aquaculture 106, 201-226.

- Tacon P., N'diaye P., Cauty C., LE Menn F., Jalabert B., 1996. Relationship between the expression of maternal behaviour and ovarian development in the mouthbrooding cichlid fish, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 146p, 261-275.

- Toguyeni, A., 1996. La croissance différentielle liée au sexe chez le tilapia (Pisces: Cichlidae), *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758): contribution des facteurs

génétiques, nutritionnels, comportementaux et recherche d'un relais endocrinien. Thèse de Doctorat, ENSA Rennes, 158 pp.

- Trewevas E., 1983. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum of Natural History, Publ. Num. 878. Comstock Publishing Associates. Ithaca, New York. 583pp.

- Usher M. L., Stickland N. C., Torpe J. E., 1994. Muscle development in atlantic salmon (*Salmo salar*) embryos and the effect of temperature on muscle cellularity. J. Fish boil., 44, 237-242.

- Vandeputte M., Launey S., 2004. Quelle gestion génétique de la domestication chez les poissons ? INRA Prod. Anim., 17, 237-242.

- Watanabe W. O., 1985b. Experimental approaches to the salater culture of tilapias. ICLARM Newsletter, Jan., 1985, 3-5.

- Watanabe W. O., Brumett K. M., 1989. The effects of Salinity on Reproductive Performance of Florida Red Tilapia. Journal of the world aquaculture society. Vol. 20, n°. 4.

- Watanabe W. O., Burnett K. M., Olla B. L., Wicklund R. I., 1989a. The effects of salinity on reproductive performance of Floride red tilapia. J. Wold Aquacult. Soc. 20, 223-229.

- Watanabe W. O., Kuo C. M., Huang M. C., 1985a salinity tolerance of Nil tilapia fry (*Oreochromis niloticus*) spawned and hatched at various salinities. Aquaculture 48, 159-176.

- Watanabe W. O., French K. E., Ernst D. H., Olla B. L. and Wicklund R. I., 1988. Further investigation on the effects of salinity on growth and survival of Florida red tilapia : eviden ce for the influence of behaviour. In: RS.III Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J. L. Maclean (Editors), The second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLAR M Conference Proceedings 15. Department of Fisheries,

Bangkok, Thailand and international Center for Living Aquatic Resources Management, Phillipines, p525-530.

- Watanabe W. O., French K. E., Ernst D. H. Olla B. L., Wicklund R. I., 1989b. Salinity during early development influences growth and survival of Florida red tilapia in brackish an seawater. *World Aquaculture Society* 20, 134-142.

- Wu S. M., Hwang, P. P., Hew C. L., Wu J. L., 1998. Effect of antifreeze protein on cold tolerance of juvenile tilapia (*Oreochromis mossambicus*) (Peters) and milkfish (*Chanos chanos*) (Forsskal). *Zoological Studies* 37, 39-44.

- Wohlfarth G. W., Hulata G. I., 1981. Applied Genetics of Tilapias. In *ICLARM Studies and Reviews* 6, 26pp. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.