

BURKINA FASO

Unité - Progrès - Justice

**MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE,
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-
DIOULASSO**

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL

**CENTRE INTERNATIONAL DE
RECHERCHE-DEVELOPPEMENT SUR
L'ELEVAGE EN ZONE SUBHUMIDE
(CIRDES)**

**LABORATOIRE D'ETUDES ET DE
RECHERCHES DES RESSOURCES
NATURELLES ET DES SCIENCES DE
L'ENVIRONNEMENT
(LERNSE)**



MEMOIRE

Présenté par :

OUEDRAOGO Christian R. N.

Ingénieur du développement rural – Eaux et Forêts

Pour l'obtention du :

Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA)

en

Gestion Intégrée des Ressources Naturelles (GIRN)

**Inversion hormonale du sexe par la
méthyltestostérone et l'éthinylestradiol chez le *Tilapia Oreochromis
niloticus* L.**

Présenté et soutenu publiquement le 14 Avril 2009

Président : Pr Georges Anicet OUEDRAOGO

Membres : Pr Abdoulaye S. GOURO

Pr Chantal Yvette KABORE-ZOUNGRANA

Année universitaire 2007-2008

N° d'ordre :

SOMMAIRE

Dédicace	iii
Remerciements	iv
Sigles et abréviations	v
Liste des tableaux	vi
Liste des figures	vi
Liste des planches	vi
Liste des photos	vi
Résumé	vii
Abstract	viii
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
1.1. Systématique	4
1.2. Biologie et aquaculture du tilapia	4
1.3. Le sexe chez le poisson	5
1.3.1. Expression du sexe.....	6
1.3.1.1. Le déterminisme sexuel	6
1.3.1.2. La différenciation sexuelle.....	7
1.3.2. Contrôle du sexe chez le tilapia	9
1.3.2.1. Les manipulations chromosomiques.....	9
1.3.2.2. Inversion hormonale du sexe	9
1.3.3. Paramètres des traitements.....	10
1.3.3.1. Les variables qualitatives.....	10
1.3.3.2. Les variables quantitatives.....	11
1.3.4. Devenir des hormones dans l'organisme du poisson.....	12
1.4. Production de population monosexue mâle	13
1.4.1. Le sexage manuel.....	13
1.4.2. Hybridation	13
1.4.3. Production d'individus mâles et femelles YY et ZZ.....	13
CHAPITRE II : METHODOLOGIES	17
2.1. Production d'alevins	18
2.2. Structures d'élevage	18
2.2.1. Au laboratoire	18
2.2.2. Elevage dans des happas	20
2.2.3. Elevages dans des bassins.....	21
2.3. Préparation de l'aliment	21
a – Préparation de la solution hormonale.....	21
b - Incorporation de l'hormone dans l'aliment	22
2.4. Application des traitements hormonaux	22
2.5. Conditions d'élevage et suivi de la croissance.....	22
2.6. Récolte et sexage des animaux.....	22
2.7. Analyse des données	24
CHAPITRE III : RESULTATS	25

3.1. Taux de mortalité	26
3.2. Efficacité des traitements hormonaux	26
3.2.1. Traitement en aquarium	26
a – Taux d’inversion sexuelle	26
b – Croissance	27
3.2.2. Traitement en happas	28
a – Taux d’inversion sexuelle	28
b – Croissance	29
3.2.3. Traitement dans les bassins.....	31
a – Taux d’inversion sexuelle	31
b – Croissance	31
CHAPITRE IV : DISCUSSION	33
4.1. Difficultés expérimentales	34
4.2. Efficacité des traitements hormonaux.....	34
4.3. Taux de survie et performances de croissance.....	36
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	38
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	39

DEDICACE

A mes parents

A tous ceux qui ont toujours cru en moi et qui m'ont soutenu

A mes amis.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à une subvention de l'UEMOA. Je leur en suis très reconnaissant.

Je voudrais exprimer ma gratitude au Directeur Général du CIRDES, le Pr Abdoulaye S. GOURO, pour avoir accepté m'accueillir dans sa structure pour mon stage.

Ce travail n'aurait pas été sans Pr ZOUNGRANA-KABORE Chantal Yvette, directrice de l'Institut des Sciences de la Nature et de la Vie (ISNV) et du Laboratoire d'Etudes et de Recherches des ressources Naturelles et des Sciences de l'Environnement (LERNSE) qui m'a fait l'honneur d'accepter de diriger l'étude. Sa disponibilité, ses précieux conseils ont été indispensables pour la réalisation de cette œuvre. Infiniment merci.

Je souhaiterais remercier Dr TOGUYENI Aboubacar mon maître de stage pour sa patience, son engagement pour la réalisation de l'étude et le savoir qu'il a su me transmettre.

Ce stage a été effectué à l'Unité de Recherche sur les Bases Biologiques de la lutte Intégrée (URBIO). J'adresse mes vifs remerciements au Dr Bengaly Zakaria, chef de l'unité, pour sa disponibilité et les précieux apports et conseils tout au long du stage.

Le stage m'a amené à travailler à la station d'aquaculture de ZIGA. Je tiens à remercier le Directeur Général des ressources halieutiques Mr ZAMPALIGRE Idrissa et son personnel pour les moyens indispensables mis à ma disposition.

Je voudrais exprimer ma sincère gratitude à M. OUATTARA Do Christophe et M. ZONGO Karim à la direction des ressources halieutiques qui ont supervisé les interventions à ZIGA, pour leur disponibilité constante aux différentes sollicitations.

Je ne saurais oublier le technicien KOMKISSERE Alidou de la station d'aquaculture de ZIGA et les manœuvres, les populations de ZIGA pour l'obtention des données, pour leur soutien et leur amitié. Puisse cette œuvre vous être utile.

Mes remerciements vont à M. ZERBO Mathias, ZOUNGRANA Adrien, SYLLA Souleymane techniciens de laboratoire à l'URBIO pour leur disponibilité et leur engagement pour l'aboutissement des travaux.

Je suis très reconnaissant à KABORE Jacques, TRAORE Ousmane, AKOUDJIM Massourдини, SOMDA Bienvenu, ILBOUDO Amidou, POUTYA Marie-Rose et tous les étudiants du CIRDES pour leurs apports et leurs encouragements. Trouvez ici toute ma gratitude.

Enfin, je tiens à remercier du fond du cœur mes amis ma famille et tous ceux que je ne peux citer ici, au risque d'en oublier, pour leur présence.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ADN : Acide Désoxyribonucléique

CIRDES : Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide

ET : Ethynyloestradiol

FAO : Food and Agricultural Organization

ISNV: Institut des Sciences de la Nature et de la Vie

LERNSE: Laboratoire d'Études et de Recherches des ressources Naturelles et des Sciences de l'Environnement.

MT : Méthyltestostérone

PF : Post-fécondation

SGR : Specific Growth Rate

SPSS : Statistical Package for the Social Sciences

TCS : Taux de croissance spécifique

URBIO: Unité de Recherche sur les Bases Biologiques de la lutte Intégrée.

LISTES DE TABLEAUX

Tableau 1 : Taux de mortalité	26
-------------------------------------	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1 . Le concept de période labile, en relation avec la différenciation sexuelle et le développement des gonades (Piferrer, 2001).	12
Figure 2. Protocole de production de population monosexue mâle chez les espèces à homogamétie mâle (Georges and Pandian, 1995).	15
Figure 3 . Protocole de production de population monosexue mâle XY chez les espèces à homogamétie femelle XX (source : Piferrer, 2001).....	15
Figure 4 . Protocole de production de mâles (A) et de femelles (B) YY chez les espèces à homogamétie femelle (Baroiller, 1988).	16
Figure 5 . Système de filtration biologique et physique de l'eau.....	19
Figure 6 . Proportion de mâles dans les populations traitée et témoin en milieu contrôlé	27
Figure 7. a : Evolution du poids corporel des alevins. b : Quotient nutritif des individus à la fin de l'expérience. c : Taux de croissance spécifique des alevins	28
Figure 8. Proportion de mâles dans les lots traités à la MT à 30 $\mu\text{g.g}^{-1}$ pendant 30 jours et les lots témoins en happas installés dans un étangs à la station d'aquaculture de Ziga.	29
Figure 9. a : Evolution du poids corporel des alevins. b : Quotient nutritif. c : Taux de croissance spécifique	30
Figure 10. Proportion de mâles dans les lots traités à la 17 α -MT à 30 $\mu\text{g.g}^{-1}$ pendant 30 jours et les témoins, dans des bassins.....	31
Figure 11. a : Evolution du poids corporel des alevins. b : Quotient nutritif. c : Taux de.....	32
croissance spécifique.....	32

LISTE DES PLANCHES

Planche1. Gonades d'un individu mâles (a) et d'un individu femelle (c).....	24
---	----

LISTE DES PHOTOS

Photo 1. Circuit fermé avec filtration biologique et physique de l'eau	19
Photo 2. Happas dans l'étang	20
Photo 3. Bassin d'élevage	21

RESUME

Le tilapia *Oreochromis niloticus* L. est un poisson dont l'élevage présente un intérêt avéré du fait de ses caractéristiques biologiques et nutritionnelles. Toutefois des données sur les possibilités de contrôle hormonal du sexe, afin de contribuer à l'amélioration de son aquaculture, manquent au niveau des populations de cette espèce au Burkina Faso. Au cours de cette étude, des traitements hormonaux, avec des doses de 30 mg de 17 α -méthyltestostérone (MT) par kg d'aliment et 150 mg de 17 α -éthynylœstradiol (ET) par kg d'aliment, ont été réalisés sur des alevins dès 11 jours post-fécondation (PF) jusqu'à 30 jours PF. L'efficacité des traitements est comparée dans trois structures différentes d'élevage (Aquarium, Bassin et Happas). Les résultats montrent que l'efficacité des traitements varie significativement ($p < 0,05$) d'une structure d'élevage à l'autre, aussi le sex-ratio est significativement ($p < 0,05$) différent entre les lots traités et témoins. Ainsi, le meilleur taux de masculinisation (90%) est noté chez les individus élevés en aquariums alors qu'il a été seulement de 75,33% et de 70,22% respectivement chez les individus élevés en bassins et en happas. Les traitements à l'hormone féminisante ET appliqués uniquement sur les individus élevés en aquariums ont conduit à un taux de féminisation de 80%.

Le poids vif moyen des individus varie suivant la structure d'élevage et le traitement. A 60 jours PF, les individus traités en happas avaient une meilleure croissance ($1,14 \pm 0,01$ g) suivi de ceux traités en bassins ($1,03 \pm 0,01$ g) et en aquariums ($1,03 \pm 0,01$ g).

Le taux de croissance spécifique (TCS) des individus traités à la MT est fonction de la structure d'élevage et a été supérieur au TCS moyen (1,5) de l'ensemble des individus. Ainsi le TCS le plus élevé (1,9) a été enregistré chez les individus traités en happas, les individus traités en aquariums et en bassins avaient le même TCS (1,7). La croissance des populations traitées à la ET est supérieure est supérieure à celle des témoins mais les différences ne sont pas significatives. Le taux de mortalité chez les populations élevées en happas a été nul. Il a été plus élevé (50%) chez les populations en aquariums traitées à la ET, chez les alevins traités à la MT (20%), chez le témoin (30%). La mortalité chez les alevins élevés en bassins a été de 40% dans le lot témoin et de 20% chez les individus traités à la MT.

Ces études préliminaires devraient être poursuivies sur un plus grand nombre d'individus, en conditions piscicoles, afin de déterminer les doses d'hormones efficaces pour les populations d'*O. niloticus* du Burkina Faso.

Mots clés : *Oreochromis niloticus*/Sex-ratio/Traitements hormonaux/Croissance spécifique/

ABSTRACT

The tilapia *Oreochromis niloticus* L. breeding is of the utmost interest because of its biological and nutritional characteristics. However there is a lack of data on the hormonal sex control possibilities for the population of *O. niloticus* L. from Burkina Faso, in order to dike its high proliferation and then contribute to the improvement of its farming.

During this study, hormonal treatments, with the usually used doses 30 mg 17 α –methyltestosterone (MT)/ kg diet and 150 mg 17 α –ethinyloestradiol (ET)/kg diet, were realized from 11 days PF until 30 days PF.

The treatments efficiency in three different breeding structures (Aquarium, Pond and Happas) has been compared; as well as a follow-up of the growth.

The results show that the treatments efficiency varied significantly ($p < 0.05$) from one breeding structure to another one, and that the sex-ratio is significantly ($p < 0.05$) different between treated lots and the control. So, the best masculinization rate (90 %) is observed among animals raised in aquariums whereas it was only 75.33 % and 70.22 % respectively among the animals raised in ponds and happas. Treatments with the feminizing hormone ET have been only applied to the individuals raised in aquariums and allowed 80 % feminization rate. The average live weight varies according to the breeding structure and the treatment. At 60 days PF the treated animals raised in happas showed the better growth (1.14 ± 0.01 g) followed by those treated in ponds (1.03 ± 0.01 g) and in aquariums (1.03 ± 0.01 g). The specific growth rate (SGR) of the animals treated with MT varies according to the breeding structure and was higher than SGR of all the other animals. So the highest SGR (1.9) was observed among the animals raised in happas. The animals in aquariums and ponds had the same SGR (1.7). Populations treated with ET presented a better growth than the control, but not significantly. The mortality rate among the populations in happas was null. It was higher among the population in aquariums where it was 50 % among the animals treated with ET, 20 % among those treated with MT and 30 % among the control. Mortality among animals in ponds was 40 % for the control and 20 % among the animal treated with MT. These preliminary studies should be continued with a large number of animals in order to determine the effective hormone doses for *O. niloticus* populations from Burkina Faso.

Key words: *O. niloticus*/ Sex-ratio/ Hormonal treatments/ Specific growth rate

INTRODUCTION GENERALE

La forte croissance démographique, associée à l'évolution des goûts et habitudes alimentaires ont occasionné une augmentation importante de la demande en protéines animales. Cette situation a incité les populations à s'intéresser davantage au poisson à cause de sa richesse en protéines à valeur biologique élevée. Ce fait a entraîné une augmentation de la demande en poisson, qui est de moins en moins satisfaite par les pêches de capture. Pour combler ce déficit, la pisciculture se présente donc comme une alternative possible. Sur le plan mondial, on a noté un fort taux de croissance annuel de la pisciculture, de l'ordre de 8,9% depuis 1970. Ce qui a permis à la production mondiale de poissons, d'atteindre en 2002 le chiffre inégalé de 133 millions de tonnes (FAO, 2005a, b).

Les tilapias constituent le groupe de poissons dont l'élevage a connu la plus forte croissance ces dix dernières années, toutes espèces aquatiques confondues (Lazard, 2007). Toutefois, l'essor de cette production est confronté à un problème majeur qui est paradoxalement lié à la forte reproduction de l'espèce. En effet, le tilapia a une maturité sexuelle précoce et est capable de se reproduire à des tailles relativement petites (Lowe, 1955). Cette reproduction est non saisonnière, avec des pontes continues étalées sur toute l'année (Philippart and Ruwet, 1982). De plus, les soins parentaux apportés par la femelle depuis les œufs jusqu'aux alevins après éclosion (Ruwet, 1962), entraînent un fort taux de survie des alevins, ce qui conduit, en milieu fermé et en situation de compétition alimentaire, à la surpopulation et au nanisme (Hickling, 1963). Par conséquent, le rendement en poissons de taille intéressante pour le marché est réduit de façon considérable (Swingle, 1960).

Le contrôle de cette reproduction est donc apparu comme une nécessité pour la rentabilité des élevages de tilapias. Par ailleurs, il existe chez ces espèces un dimorphisme sexuel de croissance, les mâles présentant une meilleure croissance que les femelles (Hanson *et al.*, 1983). Chez *O. niloticus* une différence de 300g est observée entre les mâles (700g) et les femelles (400g) à un an d'élevage (Melard *et al.*, 1989). Or chez les tilapias, le sex-ratio est théoriquement équilibré, c'est-à-dire que dans chaque descendance on a autant de mâles que de femelles. L'élevage de ces populations mixtes (mâles / femelles) n'est donc pas rentable économiquement (Kaliba *et al.*, 2006), par rapport à l'élevage de population monosex mâle qui serait plus avantageuse.

Plusieurs pratiques et tentatives de contrôle de la reproduction et de sélection du sexe chez les Tilapias ont été entreprises. Ainsi on a :

- le sexage précoce manuel basé sur le dimorphisme sexuel de la papille urogénitale (Huet, 1972). Cette technique de sexage requiert de la main d'œuvre qualifiée et du temps avec des erreurs de 2,7% à 10% (Lazard, 1980 ; Toguyeni, 1996) et une élimination de 50% de la population après deux à trois mois d'élevage (Baroiller and Jalabert 1989) ;

- l'élevage en association avec des prédateurs tels que *Hemichromis fasciatus*, *Lates niloticus*, *Clarias gariepinus* (Toguyeni, 1996) qui ont pour rôle de consommer une partie des alevins produits en cours d'élevage. Ce système nécessite un élevage par classe d'âge et donc un nombre plus important d'infrastructures ;

- l'hybridation entre certaines espèces de *Tilapias* pouvant conduire à une orientation du sex-ratio de 70% à 100% vers le sexe mâle (Hickling, 1960). Cependant, à la difficulté d'entretenir des lignées « pures » de géniteurs indispensables à l'obtention des hybrides, s'ajoute la faible croissance de ces derniers ;

- la production de cohortes monosexes mâles et femelles par des traitements hormonaux (Yamamoto, 1953 ; Clemens and Inslee, 1968). Cette technique consiste en l'utilisation d'hormone stéroïdienne, soit mâle (androgènes), soit femelle (oestrogènes) pour la production de populations monosexes mâle et femelle respectivement. Pour cela, les alevins sont soumis à des traitements soit par balnéation, soit via l'alimentation, peu de temps après leur éclosion et couvrant toute la période de différenciation sexuelle (Guerrero, 1982 ; Pandian and Varadaraj, 1987 ; Baroiller, 1988). Cette dernière pratique, que nous avons choisie d'adopter dans notre étude, est la plus utilisée à cause de son efficacité et de sa fiabilité.

La présente étude s'inscrit dans le plan stratégique de développement de l'aquaculture au Burkina Faso. Son objectif global est de tester l'efficacité des doses d'hormones couramment utilisées, sur des populations locales d'*Oreochromis niloticus* dans les conditions d'élevage du Burkina Faso ; afin de proposer aux producteurs des données pour une production commerciale rentable.

Plus spécifiquement, il s'agit de :

- comparer l'efficacité des traitements réalisés dans trois structures d'élevage différentes (aquarium, bassin et happas) ;
- suivre la croissance des populations ainsi produites comparativement aux populations témoins (donc non traitées) ;
- initier le protocole de production d'individus YY.

Les hypothèses qui sous-tendent l'étude s'énoncent comme suit :

- les doses d'hormones couramment utilisées chez d'autres populations et/ou souches sont efficaces chez les populations du Burkina ;
- les individus nourris aux androgènes présentent de meilleures performances de croissance ;
- l'inversion hormonale du sexe n'affecte pas le génotype des individus traités.

Le présent mémoire comporte une partie introductive qui pose la problématique et les objectifs de l'étude. Elle est suivie des généralités portant sur la systématique et la biologie de la reproduction de l'espèce, de la méthodologie adoptée, des résultats et leur discussion, d'une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Systématique

Les tilapias constituent la sous famille des Tilapiinae, appartenant à la famille des cichlidés et à l'ordre des perciformes dont la particularité la plus apparente est une ligne latérale discontinue. Selon Leveque et Paugy (1984) les Cichlidés sont de plus caractérisés par :

- un corps couvert d'écaillés imbriquées ;
- un œil de chaque côté du corps ;
- des nageoires ventrales rapprochées des pectorales et situées au-dessus de ces dernières ;
- une seule nageoire dorsale à rayons antérieurs épineux ;
- trois épines à la nageoire anale ;
- une seule narine de chaque côté.

Cette famille comprend quatre genres, regroupés sous le nom courant de tilapia (Trewavas, 1983) :

- Le genre *Tilapia*, constitué de pondeurs sur substrat ;
- Le genre *Sarotherodon*, constitué d'incubateurs buccaux chez lesquels la garde de la progéniture est assurée par les deux ou un seul des parents. Le dimorphisme sexuel de croissance est peu marqué ;
- Le genre *Oreochromis*, composé d'incubateurs buccaux chez lesquels la cellule familiale est maternelle. Le dimorphisme sexuel de croissance est très marqué, la femelle étant plus petite que le mâle ;
- Le genre *Danakila*, qui est un genre monospécifique de faible importance économique.

1.2. Biologie et aquaculture du tilapia

Les tilapias s'adaptent à des environnements variés et peuvent vivre à des températures comprises entre 9°C et 40°C. Les espèces comme *O. niloticus* et *O. mossambicus* supportent jusqu'à un maximum de 41°C (Allanson and Noble, 1984 ; Denzer, 1968). Néanmoins, beaucoup cessent de s'alimenter dès que la température descend en dessous de 16°C, ou ne peuvent se reproduire qu'à des températures supérieures à 22°C. Les meilleures performances de croissance sont observées à des températures allant de 28°C à 31°C (Denzer, 1968).

Les tilapias se montrent particulièrement résistants aux conditions anoxiques (Mélard et Philippart, 1981). Toutes les espèces pourraient survivre à un taux d'oxygène dissout de 1 mg/l mais cesseraient de s'alimenter quand ce taux descend en-dessous de 1,5 mg/l (Allison *et al.*, 1976).

L'adaptation à la salinité diffère selon les espèces. Ainsi, certaines espèces comme *T. guineensis* ou *O. mossambicus* sont euryhalines (Wokoma and Marioghae, 1996).

De même la tolérance au pH est fonction des espèces. Le pH optimal est compris entre 7 et 8, mais les tilapias s'adaptent aux pH très acides des forêts tropicales (Varadaraj *et al.*, 1994).

Le mode alimentaire est caractéristique du genre. Ainsi, les poissons du genre *Tilapia* sont d'abord zooplanctonophages puis deviennent omnivores (Bard *et al.*, 1974). Les poissons des genres *Sarotherodon* et *Oreochromis* consomment essentiellement du phytoplancton et des macrodétritus divers (Bard *et al.*, 1974).

Les tilapias sont extrêmement résistants aux maladies. Ils sont d'ailleurs le plus souvent porteurs sains de plusieurs virus.

En milieu naturel, la reproduction se caractérise par un comportement parental visant à protéger les œufs dès la fécondation. Les sites de frai sont généralement localisés dans des zones de faible profondeur, sablonneuses (Philippart and Ruwet, 1982). Les Tilapias pondent sur substrat forment des couples stables et défendent un territoire pendant le frai. Les deux parents creusent un trou pour préparer un nid où les œufs sont déposés, puis fécondés. Ensuite, ils surveillent les œufs et les ventilent à l'aide de leurs nageoires. Après éclosion, un des parents prend soin des alevins pendant que l'autre défend le territoire (Philippart and Ruwet, 1982).

Chez les incubateurs buccaux, *Sarotherodon* et *Oreochromis*, chaque mâle défend un territoire et le nid qu'il a creusé et cherche à y attirer une femelle. La femelle attirée dans le nid, dépose des ovules qui sont immédiatement fécondés par le mâle. Elle prend alors les œufs fécondés dans sa bouche, où ils seront incubés. Pendant l'incubation, la femelle ne s'alimente presque pas (Philippart and Ruwet, 1982).

En aquaculture, l'efficacité de la reproduction due à ces soins parentaux est accentuée par la précocité de la maturité sexuelle (Lowe-Mc Connel, 1982 ; Ruwet *et al.*, 1976). Ainsi, la maturité peut être observée chez des *S. melanotheron* de 3,8 cm (Eyeson, 1983), des *O. mossambicus* de 4,2 cm (Arrignon, 1969) et des *T. zillii* de 6 cm (Dadzie et Wangila, 1980).

La ponte est continue chez le Tilapia, une même femelle peut produire toutes les 4 à 6 semaines une nouvelles cohortes d'alevins (Ruwet *et al.*, 1976 ; Mélard et Philippart, 1981). L'absence de synchronisme dans les cycles reproducteurs des femelles d'une même population se traduit par une production continue d'alevins.

L'ensemble de ces particularités, conduit en milieu fermé et en situation de compétition alimentaire, à une rapide surpopulation et au nanisme (Hickling, 1960 ; Mc bay, 1961 ; Arrignon, 1969 ; Loya et Fishelson, 1969 ; Hyder, 1970 ; Eyesson, 1983 ; Lazard, 1984).

1.3. Le sexe chez le poisson

Les types de reproduction rencontrés chez les poissons peuvent être classés ainsi (Price, 1984, Chourrou, 1988) :

- le gonochorisme ou l'existence de sexes séparés ;
- l'hermaphrodisme, les deux sexes pouvant être rencontrés chez le même individu;

- l'unisexualité, rencontrée chez des espèces à populations monosexes femelles.

1.3.1. Expression du sexe

La manifestation du sexe dépend de deux processus : le déterminisme sexuel et la différenciation sexuelle.

Le déterminisme sexuel est responsable du sexe génotypique, tandis que la différenciation sexuelle est responsable du développement des différents types de gonades, testicules ou ovaires. C'est le sexe phénotypique.

Ces deux processus, ensemble, justifient l'existence des deux possibles sexes morphologiques fonctionnelles et phénotypiques mâle ou femelle.

Habituellement un génotype femelle entraîne l'expression d'un phénotype femelle et un génotype mâle, l'expression d'un phénotype mâle.

Cependant chez certains animaux, surtout les vertébrés inférieurs, la différenciation sexuelle peut être influencée par des facteurs environnementaux au point que le sexe phénotypique ne corresponde pas au sexe génotypique (Adkins-Regan, 1987).

1.3.1.1. Le déterminisme sexuel

Le déterminisme sexuel regroupe l'ensemble des éléments génétiques qui sont responsables de l'existence des gonades, c'est-à-dire le groupe de gènes responsables de la formation des gonades.

Les gènes du déterminisme sexuel ne seront pas seulement responsables de la présence des gonades mais aussi de leur forme, en organes fusionnés ou en pair, ou en cellules différenciées en tissus de testicules ou en ovaires avec ou sans cavités ovariennes.

Il existe trois modèles de déterminisme sexuel, applicables aux poissons : chromosomal, polygénique et le dernier étant une interaction génotype-environnement.

Le modèle chromosomal repose sur la présence de chromosomes sexuels, où une paire de chromosomes, appelés hétérochromosomes, a accumulé la plupart des gènes responsables du développement sexuel (Bull, 1983 ; Tave, 1993).

La plupart des espèces de téléostéens d'intérêt commercial, produit des sex-ratios mâle : femelle pas significativement différents de 1 : 1 en fonction des géniteurs et des conditions environnementales. Ce qui suppose qu'elles possèdent un déterminisme sexuel du système chromosomal femelle / mâle soit XX/XY soit ZW/ZZ (Jalabert *et al.*, 1974).

Le sexe chez des individus où les deux chromosomes sont identiques est dit homogamétique. C'est le cas des femelles d'*Oreochromis niloticus* dont la femelle est XX et le mâle XY (Hopkins *et al.*, 1979).

Le déterminisme sexuel polygénique est un système où des gènes épistatiques mâle et femelle sont présents aussi bien sur les autosomes que sur les hétérochromosomes (Winge, 1934 ; Hunter and Donaldson , 1983 ; Price, 1984 ; Chourrout, 1988). Le sexe de l'embryon sera donc déterminé dans ce cas par le résultat de la force relative des facteurs mâle et femelle présents sur les chromosomes hérités de chaque parent. Ainsi Avtalion et Don (1990) suggèrent l'existence de trois génotypes WW et WY pour les femelles et YY pour les mâles, avec recombinaison génétique entre les gènes déterminant le sexe et les centromères, chez *Oreochromis aureus*.

Le cas le plus illustratif du déterminisme sexuel induit par les interactions génotype-environnement est celui de *Menidia menidia* où le déterminisme sexuel dépendra beaucoup de la température d'incubation pendant un stade précis du développement larvaire (Conover and Heins, 1978 ; Conover and Fleisher , 1986).

1.3.1.2. La différenciation sexuelle

La différenciation sexuelle est liée aux évènements qui interviennent pendant le développement de l'individu et qui permettent l'expression du sexe génétique en sexe phénotypique approprié.

La différenciation sexuelle regroupe donc l'ensemble des processus qui se passent dans la gonade primordiale. C'est-à-dire la migration des germes des cellules primordiales, l'établissement des gonades et la différenciation de ces dernières en testicules ou ovaires (Bruslé and Bruslé, 1983).

Chez les tilapias la différenciation sexuelle intervient d'abord chez les femelles puis chez les mâles (Baroiller, 1988) et cette différence peut être observée par des coupes histologiques des gonades bien avant que tout changement externe ne soit visible chez les individus (Piferrer, 2001).

Les signes précurseurs d'une différenciation en faveur du sexe femelle, sont l'entrée des oogonies en méiose et/ou la prolifération de cellules somatiques pour former la cavité ovarienne (Bruslé and Bruslé, 1983 ; Nakamura *et al.*, 1998).

Chez le mâle, la différenciation sexuelle intervient plus tard et est caractérisée par l'apparition des spermatogonies, l'arrangement des cellules germinales et cellules somatiques en lobules et la différenciation du système vasculaire du testicule (Piferrer, 2001).

Chez certaines espèces comme celles du genre *Oreochromis*, une différenciation morphologique des gonades précède la différenciation cytologique (Nakamura and Takahashi, 1973 ; Nagahama, 2000).

Chez *Oryzias latipes* la différenciation cytologique précède celle anatomique (Satoh and Egami, 1972).

La différenciation sexuelle chez les poissons peut suivre deux voies possibles: dans un premier cas, les cellules gonadiques primordiales se différencient directement soit en ovaire soit en testicule.

C'est le cas des espèces dites différenciées telles que le medaka (Yamamoto, 1953), *Oncorhynchus kisutch* (Piferrer and Donaldson, 1989) *Cyprinus carpio* (Komen *et al.*, 1992).

Le second cas est la différenciation où, à l'éclosion, tous les animaux ont des gonades non différenciées. Plus tard dans la croissance, chez approximativement la moitié des poissons, la différenciation en faveur du sexe femelle s'arrête et la différenciation en faveur du sexe mâle continue. Les espèces qui suivent cette voie sont dites espèces indifférenciées (Yamamoto, 1969). C'est le cas de *Poecilia reticulata* (Yamamoto, 1969), *Eptatretus stouti* (Gorbman, 1990) *Anguilla anguilla* (Colombo and Grandi, 1990 ; 1995).

La connaissance de la nature des inducteurs de la différenciation sexuelle est d'une importance capitale pour l'efficacité du contrôle du sexe.

Chez les mammifères les hormones stéroïdiennes sont divisées en quatre grands groupes sur la base de leur fonction physiologique : les androgènes, les oestrogènes, les progestagènes et les corticostéroïdes. Des représentants des quatre groupes ont été identifiés chez les poissons (Fostier *et al.*, 1983) et plus particulièrement pendant la période de différenciation sexuelle chez le tilapia (Baroiller, 1988 ; Baroiller *et al.*, 1988). Yamamoto (1969) trouve que les stéroïdes sexuels sont les inducteurs naturels du sexe.

Les stéroïdes sexuels seraient principalement impliqués dans la régulation de la différenciation du sexe, de la gamétogenèse, et de la reproduction. Cependant, ils ne seraient pas les substances spécifiques de la différenciation du sexe. Ainsi des enzymes stéroïdogéniques ont été identifiées avant ou pendant la période de différenciation sexuelle chez *O. mykiss* (Van den Hurk *et al.*, 1982 ; Antilla 1984 ; Feist and Schreck, 1996) et chez *Oreochromis niloticus* (Hines *et al.*, 1999). De plus, des traitements avec une aromatase inhibitrice transforment un saumon génétiquement femelle en mâle fonctionnel (Piferrer *et al.*, 1994).

Les stéroïdes sexuels agiraient à travers des récepteurs spécifiques sur des cellules cibles. Les récepteurs des androgènes et des oestrogènes ont été caractérisés chez le poissons (Fitzpatrick *et al.*, 1994 ; Chang *et al.*, 1999 ; Todo *et al.*, 1999).

Selon Adkins-Regan (1981), les stéroïdes sexuels agissent, pendant la période de différenciation sexuelle, comme des facteurs morphogéniques et plus tard pendant la maturation sexuelle, comme des facteurs activateurs.

1.3.2. Contrôle du sexe chez le tilapia

L'efficacité de la reproduction chez le tilapia repose sur les caractéristiques physiologiques et/ou éthologiques (Mc Bay, 1961 ; Philippart and Ruwet, 1982 ; Eyeson, 1983 ; Owusu-Frimpong, 1987).

Si l'efficacité de cette reproduction a permis le développement de l'aquaculture du tilapia, le contrôle et la maîtrise de celle-ci sont apparus nécessaires pour une rentabilité des entreprises aquacoles (Kaliba *et al.*, 2006)

Les pratiques et tentatives, les plus couramment utilisées pour le contrôle du sexe chez les Tilapias sont :

1.3.2.1. Les manipulations chromosomiques

Les manipulations de chromosomes présentent de grandes possibilités pour le contrôle du sexe. Elles procèdent par la gynogénèse.

La gynogénèse est un type particulier de parthénogénèse où un œuf est activé par un spermatozoïde génétiquement inactif (Thorgaard, 1983). Ainsi un développement embryonique est induit sans la contribution génétique du spermatozoïde. Les poissons produits par gynogénèse sont haploïdes. La diploïdie est rétablie à la métaphase II de la méiose (Purdom, 1983).

Ces procédés de production de populations monosexes sont appliqués avec succès chez la carpe commune (Komen *et al.*, 1991), le poisson chat *Ictalurus punctatus* (Goudie *et al.*, 1995) et à l'échelle commerciale dans les élevages de tilapia *Oreochromis niloticus* (Bruslé et Bruslé, 1983 ; Penman *et al.*, 1987).

1.3.2.2. Inversion hormonale du sexe

L'inversion hormonale du sexe consiste en l'utilisation d'hormone stéroïdiennes, soit mâle (androgènes), soit femelle (oestrogènes) pour la production de populations monosexes mâle et femelle respectivement.

Les stéroïdes sexuels sont impliqués dans le processus naturel de la différenciation sexuelle. Le fondement du contrôle de ce processus passera donc par l'administration de stéroïdes sexuels exogènes à des poissons sexuellement indifférenciés. Ainsi, il est possible d'orienter le déroulement normal de la différenciation sexuelle vers le phénotype désiré.

L'intervention sur les mécanismes qui contrôlent la différenciation sexuelle chez le poisson commence par l'administration d'hormones stéroïdiennes pendant les stades sensibles du développement (Berkowitz, 1937 ; Castelnuovo, 1937 ; Padoa, 1937). Cependant, seulement des poissons intersexes furent produits pendant ces premières expériences. Yamamoto (1953) fût le

premier à réussir une complète inversion hormonale du sexe et plus tard établit les critères pour un traitement hormonal efficace (Yamamoto, 1969) :

- les stéroïdes sexuels doivent être administrés avant toute différenciation gonadique, à une dose dépendant de l'espèce traitée et de la nature du stéroïde. (Guerrero, 1982 ; Pandian and Varadaraj, 1987) ;

- les traitements hormonaux doivent être poursuivis jusqu'après la période de différenciation sexuelle (Baroiller, 1988).

Les effets des stéroïdes sexuels exogènes sont habituellement permanents chez la plupart de téléostéens mais peuvent être transitoires, c'est-à-dire que des poissons masculinisés ou féminisés retournent à leur phénotype original (Olito and Brock, 1991 ; Lim and Wong, 1996).

Plusieurs méthodes ont été développées pour l'administration des hormones aux poissons. Crim (1985) classifie ces méthodes en méthodes aiguës et en méthodes chroniques.

Les méthodes aiguës comprennent :

- l'injection intramusculaire (Schreck, 1973) ou injection dans la cavité du corps (Olivereau and Olivereau, 1979) ou sous forme de suspension (Pankhurst *et al.*, 1986) ;

- l'administration dans l'eau de l'aquarium (Van den Hurk and Van Oordt, 1985);

- l'immersion ou balnéation (Goetz *et al.*, 1979), fréquemment utilisées chez les salmonidés.

Les méthodes chroniques comprennent :

- les traitements par voie alimentaire (Goetz *et al.*, 1979);

- les capsules silastiques (Shelton, 1982);

- les graines de cholestérol (Higgs and Donaldson, 1975);

- la pompe osmotique (Down *et al.*, 1988).

1.3.3. Paramètres des traitements

Pour la réussite d'un traitement d'inversion hormonale du sexe, un certain nombre de variables doit être pris en compte. Ces variables peuvent être scindées en deux catégories : qualitative et quantitative (Piferrer, 1990).

1.3.3.1. Les variables qualitatives

Egalement appelées variables attribuées, elles prennent en compte :

- **le type de stéroïde** : les œstrogènes ou les androgènes sont utilisés pour le contrôle du sexe chez le poisson. Les oestrogènes, particulièrement l'oestradiol-17 β sont utilisés comme hormones pour la féminisation tandis que les androgènes comme 17 α -methyltestostérone sont utilisés pour la masculinisation lorsqu'ils sont administrés en petites doses ou pendant une période assez courte (Owusu-Frimpong and Nijjhar, 1981). Cependant, une situation de féminisation

paradoxe est observée lorsque la dose de 17 α -methyltestostérone est élevée. C'est ainsi qu'à 1000 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d'aliment, la méthyltestostérone conduit chez *Oreochromis mossambicus* à une féminisation (Nakamura, 1975). La stérilisation intervient lorsque que l'on alimente *C. carpio* à 400mg de 17 α -methyltestostérone par kg d'aliment pendant 30 jours (Nagaraj and Rao, 1988) ;

- **la nature du stéroïde** : plusieurs stéroïdes naturels et synthétiques ou leurs dérivés chimiques avec des pouvoirs oestrogéniques et androgéniques sont utilisés pour le contrôle du sexe chez le poisson (Yamamoto, 1969 ; Piferrer and Donaldson, 1992 ; Kavumpurath and Pandian, 1993). Ces substances synthétiques sont capables d'activer les récepteurs œstrogène et androgène et réguler ainsi la transcription de certains gènes (Piferrer, 2001).

Ainsi la 17 α -ethynylœstradiol et le diethylstilbestrol sont utilisés pour la féminisation de *O. aureus* (Rosenstein and Hulata, 1994) ou *O. niloticus* (Gilling *et al.*, 1996) et la 17 α -MT pour la masculinisation (Levy and Aronson, 1955 ; Wiebe, 1967).

Quelques substances non stéroïdiennes sont également utilisées pour orienter le sex-ratio chez le poisson. C'est le cas du N,N-diméthylformamide (Van den Hurk *et al.*, 1980) pour la féminisation de la truite arc-en-ciel. De même des travaux ont révélé que la gonadotropine chorionique humaine (Kouligh and Kramer, 1989) ou la neuropeptide Y (Kramer and Imbriano, 1997) pourrait induire une inversion sexuelle chez *Thalassoma bifasciatum*.

Des substances dites « perturbateurs endocrines » et qui peuvent imiter les oestrogènes, seraient capables de causer une féminisation chez une grande variété de vertébrés, y compris le poisson (Krime, 1995 ; Gimeno *et al.*, 1998 ; Jobling *et al.*, 1998).

1.3.3.2. Les variables quantitatives

Les principales variables sont le timing, la dose, la durée. La valeur effective de chacune de ces variables pour une espèce donnée varie en fonction du type d'hormone, de son origine (naturelle ou synthétique) et des objectifs même de l'expérience. Ce sont :

- **le timing du traitement** : en général, les individus sexuellement indifférenciés sont plus sensibles aux effets des traitements. Il existe une période dite labile pendant laquelle les gonades sont plus sensibles à l'action des stéroïdes exogènes (Nakamura and Takahashi, 1973 ; Hackmann and Reinboth, 1974) (Figure 1). Toutefois, l'existence d'une période labile ne signifie pas toujours qu'en dehors de cette période il ne peut plus avoir d'inversion sexuelle. En effet, peu de temps après la différenciation sexuelle, les gonades sont encore assez sensibles aux stéroïdes exogènes comme l'ont montré les travaux de Blasquez *et al.* (1999) sur le bar européen et de Nakamura (1984) sur la truite *O. keta*.

Cette sensibilité des gonades, en dehors de la période labile chez certaines espèces, s'expliquerait par la biopotentialité des cellules germinales (Shibata and Hamaguchi, 1988) ;

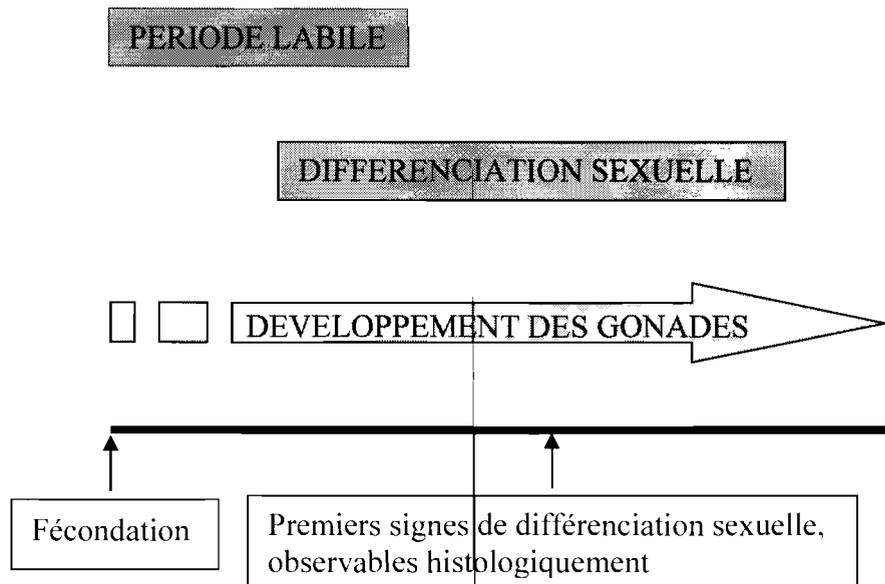


Figure 1. Le concept de période labile, en relation avec la différenciation sexuelle et le développement des gonades (Piferrer, 2001).

- **la dose de traitement** : La réponse aux traitements est dose-dépendante et des intersexes pourraient apparaître lorsque de très fortes doses sont utilisées (Hunter and Donaldson, 1983). Hishida (1965) estime que la dose effective de stéroïde pour induire l'inversion sexuelle est de loin inférieure à la dose de stéroïde présente dans l'eau ou dans l'aliment lors des traitements ;

- **la durée des traitements** : Elle est variable selon l'espèce, allant de quelques heures lorsque les traitements sont faits sous forme d'immersion à des mois lorsqu'ils sont appliqués par la voie alimentaire (Piferrer, 2001).

Il apparaît donc que l'efficacité des traitements hormonaux requiert une combinaison de la dose du stéroïde et de la durée de l'application (Piferrer and Donaldson, 1993).

Cependant, l'utilisation de doses élevées pourraient prolonger la durée de la période labile (Dzwillo, 1966 ; Hackmann and Reinboth, 1974 ; Piferrer and Donaldson, 1989,1992).

Lorsque toutes les autres variables sont constantes, plus le temps du traitement est prolongé plus la dose nécessaire ou efficace est réduite.

1.3.4. Devenir des hormones dans l'organisme du poisson

Plusieurs études ont été menées sur le devenir des stéroïdes utilisées pour le contrôle du sexe chez les salmonidés tels que le medaka (Hishida, 1962, 1965), le saumon coho (Piferrer and Donaldson, 1994), la truite arc-en-ciel (Baroiller *et al.*, 1987), et les cichlidés tels que le tilapia *O. mossambicus* (Johnstone *et al.*, 1983) le tilapia *O. niloticus* (Curtis *et al.*, 1991). Il apparaît que les stéroïdes sexuels sont éliminés après leur métabolisme dans les tissus. En effet, quelques jours après la fin des traitements, moins de 1% de la dose initiale de stéroïde demeure dans l'organisme du

poisson (Rothbard *et al.*, 1990 ; Piferrer and Donaldson, 1994). Il n'y aurait donc pas de risque à consommer des poissons traités aux stéroïdes exogènes quelques semaines seulement et qui vont devoir être mis en élevage pendant plusieurs mois après, avant d'atteindre une taille commercialisable.

Bien que plus efficaces que les autres techniques de contrôle de la reproduction, les traitements hormonaux sont interdits dans certains pays comme la France et l'Angleterre en raison de la méconnaissance de l'effet des produits de dégradation des stéroïdes artificiels sur l'environnement.

1.4. Production de population monosexue mâle

Plusieurs méthodes et tentatives de production de populations monosexes mâles existent, avec des efficacités variables.

1.4.1. Le sexage manuel

Le sexage manuel précoce est basé sur le dimorphisme sexuel de la papille urogénitale (Huet, 1972 ; Balarin, 1979). Cette méthode n'est cependant réalisable que sur des individus de 30 à 50 g chez *O. niloticus* (Lazard, 1980 ; Mélard, 1986). L'élevage des femelles (environ 50% de la population) jusqu'à ce stade de sexage mobilise non seulement une partie des infrastructures d'élevage mais aussi consomme la moitié du coût d'alimentation.

Cette technique de sexage requiert également une main d'œuvre qualifiée et du temps, avec des risques d'erreurs estimés à environ 2,7 à 10% (Lazard, 1980 ; Chervinski and Rothbard, 1982).

1.4.2. Hybridation

L'hybridation entre deux espèces peut donner une population monosexue mâle.

Hickling (1960) fut le premier à réussir à produire une descendance 100% mâle issue d'un croisement entre deux espèces différentes de tilapia, *O. mossambicus* femelle (XX) et *O. hornorum* mâle (ZZ). De même des populations monosexes mâles furent obtenues après croisement entre *O. niloticus* (XX) et *O. urolepis hornorum* (ZZ) puis entre *O. niloticus* (XX) et *O. aureus* (ZZ) (Wohlfarth *et al.*, 1990 ; Wohlfarth, 1994).

Cependant, l'aspect de ces hybrides est peu apprécié des consommateurs (coloration très foncée) et leur croissance faible. De plus, ces croisements ne produisent pas toujours 100% de populations monosexes mâles (Mires, 1977; Wohlfarth, 1994).

1.4.3. Production d'individus mâles et femelles YY et ZZ par des traitements hormonaux

L'application des traitements hormonaux sur des alevins, peu de temps après l'éclosion (5 à 6 jours) et couvrant toute la période de différenciation sexuelle, avec des stéroïdes sexuels

incorporés dans l'aliment ou par balnéation permet la production de cohortes monosexes mâles (Yamamoto, 1953 ; Clemens and Inslee, 1968 ; Guerrero, 1982 ; Hunter and Donaldson, 1983 ; Pandian and Varadaraj, 1987).

Cette technique nécessite le traitement systématique de chaque nouvelle cohorte d'alevins. En outre l'efficacité des traitements est très dépendante du stade de développement des alevins.

Le protocole de production d'individus femelles ZZ commence par l'utilisation d'hormones féminisantes sur les alevins qui serviront plus tard de géniteurs (Figure 2). En effet, les espèces à hétérogamétie femelle WZ telles que *O. aureus* (Guerrero, 1975) ou *O. hornorum* (Hickling, 1960 ; Chen, 1969) constituent le cas de figure le plus simple. Ainsi, après inversion sexuelle par des hormones féminisantes, un testage permet d'identifier les néo-femelles d'après le sex-ratio de leur descendance. En effet, une néo-femelle ZZ croisée avec un mâle non traité ZZ conduit à la production de 100% d'animaux ZZ, de phénotype mâle. Le croisement classique d'une femelle WZ avec un mâle non traité ZZ produit théoriquement un sex-ratio de 1 : 1 (femelle : mâle).

Les individus inversés peuvent donc être identifiés et isolés pour servir de géniteurs car à chaque reproduction avec des mâles non traités, ils fourniront une population monosexue mâle qui n'aura pas été en contact direct avec l'hormone.

Chez les espèces à homogamétie femelle XX comme *O. niloticus* (Jalabert *et al.*, 1974) ou *O. mossambicus* (Hickling, 1960) une étape supplémentaire est nécessaire à l'obtention d'une population monosexue mâle (Figure 3). Le testage des femelles issues du traitement hormonal initial conduit à deux types de sex-ratios :

- un sex-ratio classique (50% de chacun des deux sexes) qui correspond à la descendance d'animaux de génotype femelle XX, donc non sexuellement inversés ;

- un second sex-ratio qui comprend 75% de mâles et 25% de femelles et qui résulte du croisement d'une néo-femelle XY par un mâle non traité XY. Parmi ces 75% de mâles figurent des individus YY qui seront identifiés lors d'un nouveau testage, par leur descendance monosexue mâle. Ces animaux d'un nouveau génotype pourront être utilisés comme géniteurs produisant à chaque reproduction avec des femelles non traitées aux hormones, des populations monosexes mâles.

Chez *Oreochromis niloticus*, des néofemelles ou pseudofemelles sont d'abord obtenues par féminisation et testage (figure 3). Leurs descendance présentent un sex-ratio de type 3/1 (mâle/femelle). Parmi les descendants mâles figurent des mâles classiques XY et des mâles YY (Baroiller, 1988 ; Scott *et al.*, 1989). Les mâles YY croisés avec des femelles classiques de génotype XX ou des femelles YY produisent théoriquement 100% d'individus mâles XY ou YY (figures 3 et 4B). Cependant cette technique rencontre les mêmes difficultés que l'hybridation, un lent retour vers un sex-ratio classique (Desprez *et al.*, 1995). Ces déviations par rapport aux pourcentages théoriques sont partiellement expliquées par l'existence d'un déterminisme

environnemental du sexe, mis en évidence chez *Oreochromis niloticus* et chez le tilapia rouge (Baroiller *et al.*, 1995a, b ; 1996).

Bien que fastidieuse et consommatrice de temps, la méthode indirecte a l'avantage de permettre la commercialisation de poissons qui n'auront pas été en contact direct avec les stéroïdes sexuels. En effet elle est utilisée en Grande Bretagne pour la production commerciale de la truite arc-en-ciel (Bye and Lincoln, 1986) et du saumon Chinook au Canada (Donaldson, 1986 ; Solar *et al.*, 1987).

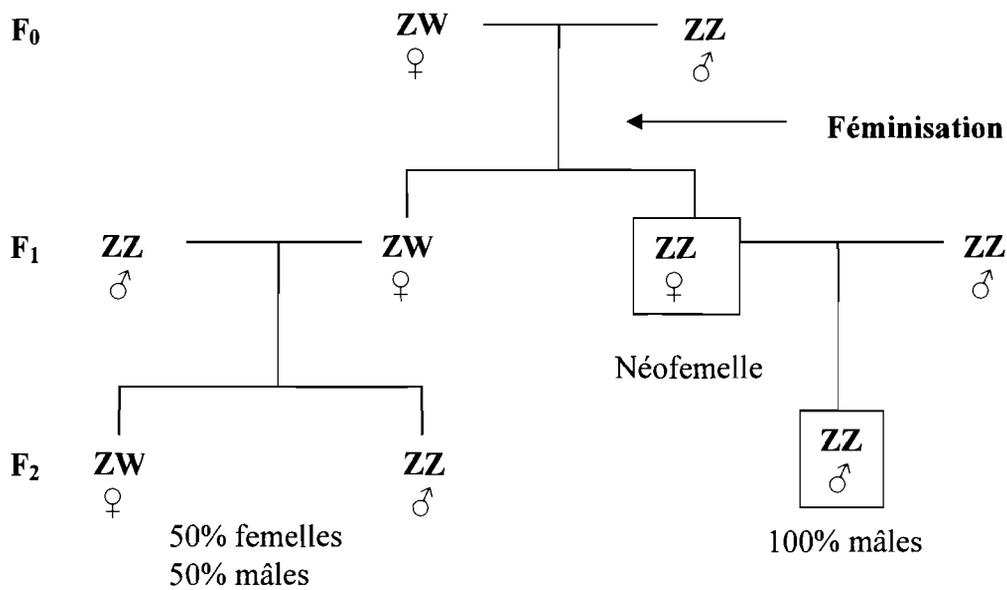


Figure 2. Protocole de production de population monosex mâle chez les espèces à homogamétie mâle (Georges and Pandian, 1995).

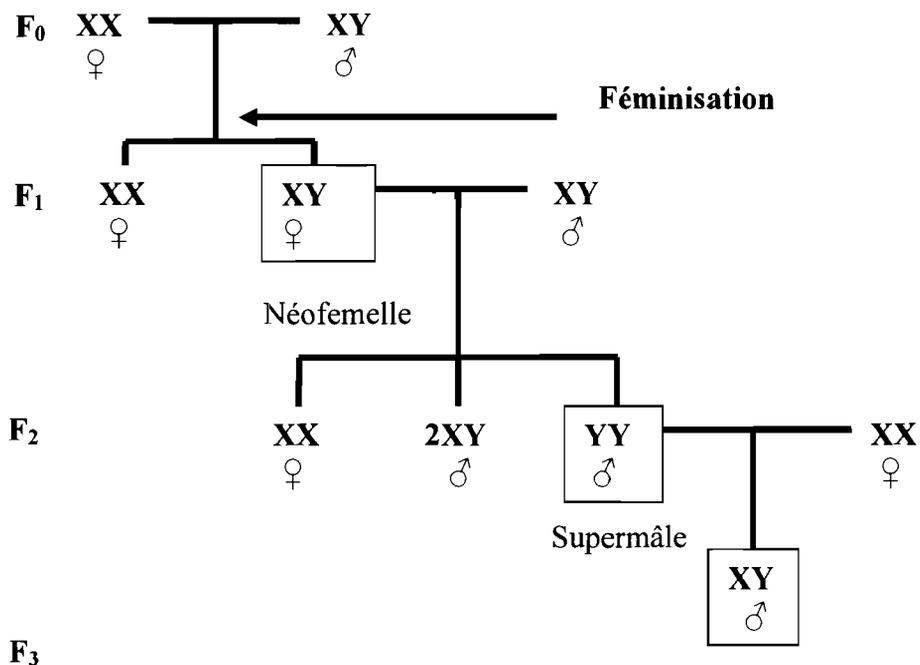


Figure 3. Protocole de production de population monosex mâle XY chez les espèces à homogamétie femelle XX (Piferrer, 2001)

Les supermâles homogamétiques YY obtenus en F2 et les néofemelles hétérogamétiques XY obtenues en F1 selon le protocole de la figure 3 seront croisés pour produire des individus femelles homogamétiques YY après féminisation selon le protocole de la figure 4A. Ces femelles homogamétiques YY croisés avec des supermâles ne produiront que des individus homogamétiques YY comme le montre la figure 4B.

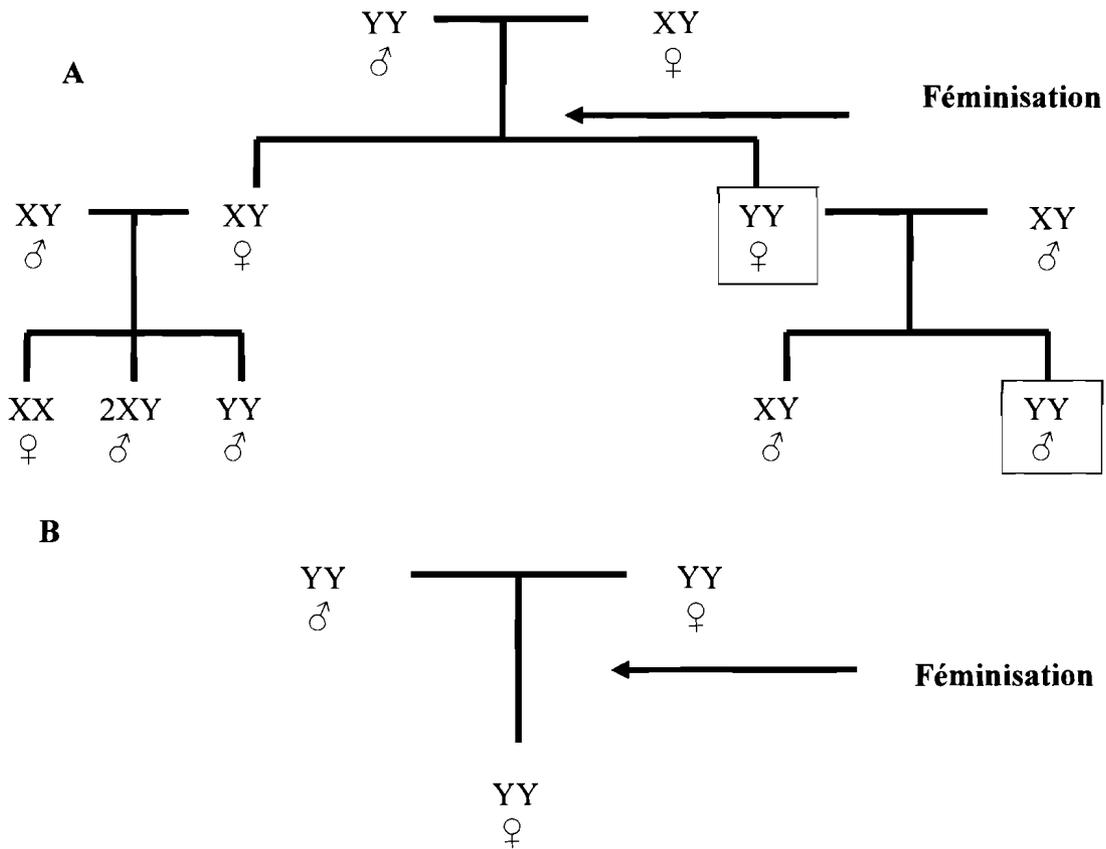


Figure 4. Protocole de production de mâles (A) et de femelles (B) YY chez les espèces à homogamétie femelle (Baroiller, 1988).

CHAPITRE II : METHODOLOGIES

2.1. Production d'alevins

Les tilapias, *Oreochromis niloticus* L. utilisés dans les expérimentations sont originaires du lac de Bama sur la rivière Kou et de la station d'aquaculture de Ziga.

Initialement, des reproductions de cette espèce provenant directement du lac ont été réalisées en aquarium dans les installations expérimentales du CIRDES. Pour la production d'alevins en aquarium, des sex-ratios de 1 mâle pour 3 femelles ont été utilisés. Les alevins sont prélevés de la cavité buccale des femelles à 11 jours post-fécondation (PF).

Mais faute d'avoir une grande quantité d'alevins et pour des raisons de comparaison des différents milieux, d'autres reproductions ont ensuite été réalisées à la station d'aquaculture de Ziga. 60 géniteurs (15 mâles et 45 femelles), ont été mis en reproduction dans un étang de 250 m². Après deux semaines d'élevage, les alevins sont récoltés journalièrement à l'aide d'une épuisette.

2.2. Structures d'élevage

Principalement deux conditions d'élevage ont été adoptées pour la présente étude : les conditions de laboratoire avec un contrôle de certains paramètres et les conditions du milieu naturel en station d'aquaculture.

2.2.1. Au laboratoire

Au total 1200 alevins sont repartis dans six aquariums de 200 litres à raison de 200 individus par aquarium.

Les aquariums ont été mis en circuit fermé avec un système de filtration physique et biologique (Photo 1). Le filtre est constitué, du bas vers le haut, d'une mousse de polyesther de 10 cm d'épaisseur, d'une couche de charbon sur laquelle est déposée une mousse de fibre de verre, et d'une seconde couche de polyesther de 10 cm d'épaisseur (Figure 5). L'eau qui sort des six aquariums, grâce à un appel crée par un compresseur à air, est collectée dans l'aquarium-filtre. Elle est ensuite filtrée puis redistribuée dans les six aquariums grâce à une pompe.

L'eau dans les aquariums a été thermorégulée à 27 °C, pendant toute la durée des traitements hormonaux, grâce à des résistances chauffantes, et le pH était maintenu entre 6 et 8.

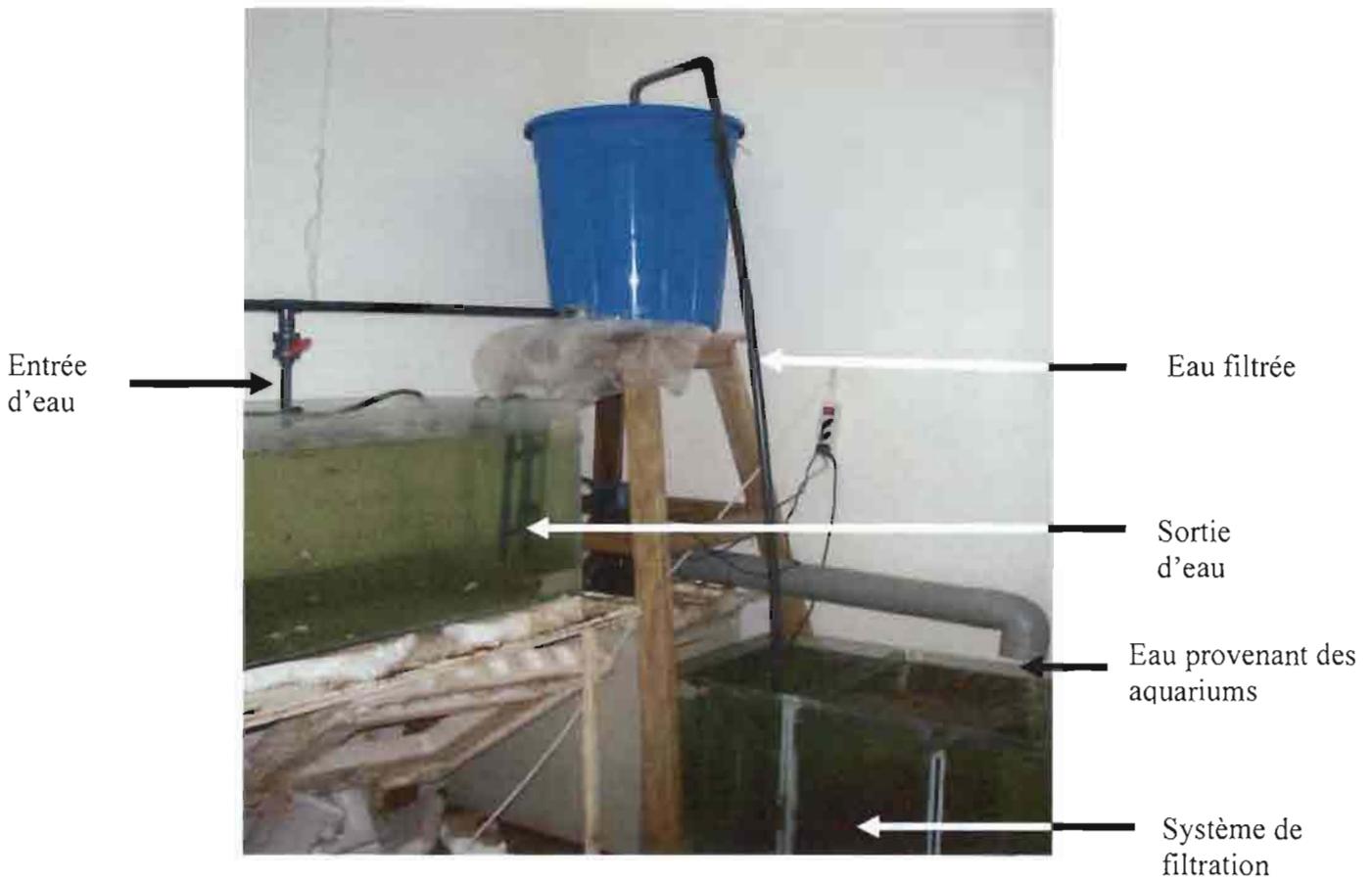


Photo 1. Circuit fermé avec filtration biologique et physique de l'eau

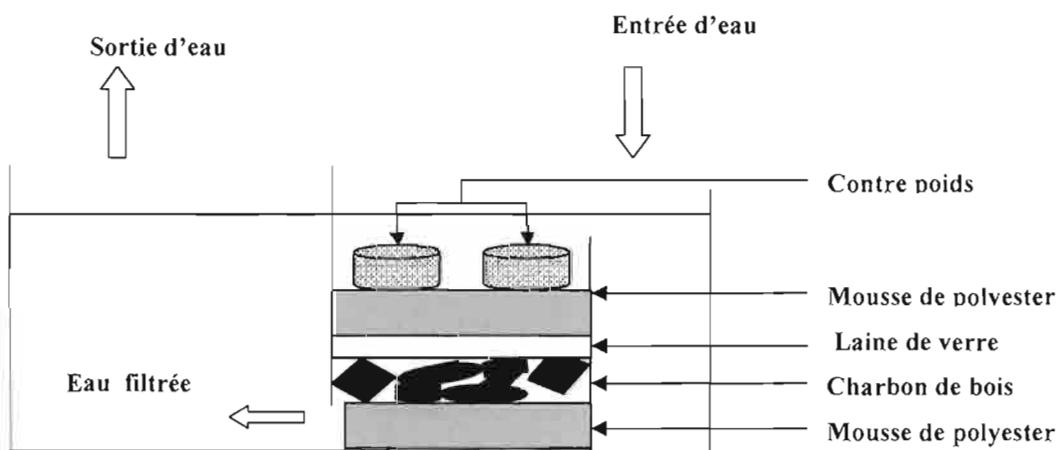


Figure 5. Système de filtration biologique et physique de l'eau dans l'aquarium-filtre

2.2.2. Elevage en happas

Les expérimentations en milieu naturel ont été menées en station d'aquaculture à Ziga. Les alevins de 11 jours post fécondation (PF) ont été placés dans des happas (cages réalisées avec des filets de faible maillage) de 1 x 1 x 1m disposés dans des étangs en terre (Photo2) et soumis aux conditions naturelles de température et de lumière. L'étang est alimenté par écoulement gravitaire de l'eau du lac de barrage de Ziga. Les alevins récoltés journalièrement sont transférés dans ces happas à raison de 1000 individus par happas. Trois happas ont été utilisés. Les individus traités à la méthyltestostérone ont été repartis dans deux happas placés dans un même étang. Le troisième happas a accueilli le lot témoin, et a été placé dans un étang différent de celui où sont placés les deux autres happas. L'eau des étangs n'a pas été renouvelée durant toute la période de l'expérimentation.

La température était relevée deux fois par jour, le matin et le soir. Durant la période de l'expérimentation, la température variait entre 25°C et 27°C.



Photo 2. Happas dans l'étang

2.2.3. Elevages en bassins

Une partie des alevins récoltés est transférée dans des bassins extérieurs en béton de 1 x 1 x 1m à raison de 1000 individus par bassin. Ces bassins étaient soumis aux conditions naturelles de température et de lumière (Photo 3). Les individus traités à la méthyltestostérone ont été repartis dans deux bassins. Le lot témoin a été élevé dans un troisième bassin. La température de l'eau des bassins était relevée deux fois par jour, le matin et le soir, et variait entre 21 °C et 27°C.

L'eau des bassins était renouvelée toutes les deux semaines.



Photo 3. Bassin d'élevage

2.3. Préparation de l'aliment

L'alimentation était à base d'aliment extrudé à 30% de protéine.

a – Préparation de la solution hormonale

Les hormones stéroïdiennes sexuelles de synthèse qui ont été utilisées pour l'étude sont :

- L'éthylnoestrodiol (17α -ET) pour la féminisation ;
- La méthyltestostérone (17α -MT) pour la masculinisation

Tout le matériel de travail, composé de pinces, de spatules, de cuillères, de papier aluminium, etc. est stérilisé au préalable.

L'hormone est pesée à l'aide d'une microbalance de précision 0,001g dans une feuille de papier aluminium. La solution hormonale est obtenue en dissolvant 250mg d'hormone dans 250 ml d'éthanol absolu à 95%.

b - Incorporation de l'hormone dans l'aliment

L'aliment est préalablement réduit en poudre et calibré. Les quantités d'aliment à prélever sont pesées sur une microbalance de précision 0,001g. L'aliment est alors arrosé de la solution hormonale à raison de 30 mg d'hormone / kg d'aliment pour la 17 α -MT et de 150 mg/kg d'aliment pour la 17 α -ET.

L'aliment contenant l'hormone est alors placé dans une étuve à 37°C afin de faire évaporer l'alcool. Après séchage, l'aliment est conservé en chambre froide à 4°C dans un sac plastique pour préserver l'efficacité de l'hormone (Varadaraj *et al.*, 1994). L'aliment des alevins élevés en bassins et en happas a été placé dans un sac plastique et conservé dans une salle à température ambiante. L'aliment destiné aux lots témoins a été également mélangé à l'éthanol absolu puis séché.

2.4. Application des traitements hormonaux

La ration alimentaire appliquée est de 30% de la biomasse/jour jusqu'à 30 j PF puis de 20% de la biomasse jusqu'à la fin de l'expérience. Cette ration était ajustée toutes les deux semaines. Pour les alevins élevés en aquariums, la ration alimentaire était subdivisée en 3 parties égales et distribuée pendant la photopériode à 8h, 12h et 16h (Toguyeni, 1996). La ration alimentaire des alevins élevés en bassins et en happas était distribuée deux fois par jour à 6 h et à 12h. Chaque traitement est réalisé en replicat aussi bien en aquarium, en bassin qu'en étang.

2.5. Conditions d'élevage et suivi de la croissance

Seule l'eau des bassins était renouvelée toutes les deux semaines. L'enlèvement des restes d'aliments au fond des aquariums se faisait par siphonage, une fois par semaine. L'eau des étangs dans lesquels étaient placés les happas n'a pas été vidangée durant toute la période de l'expérimentation.

Un échantillon de 30 individus, pris au hasard, de chacun des traitements (éthynyloestradiol, méthyltestostérone et témoins) est pesé individuellement après deux semaines de traitement, à la fin des traitements puis toutes les deux semaines jusqu'à la fin de l'expérimentation.

2.6. Récolte et sexage des animaux

Le sexage des alevins a porté sur un échantillon de 100 alevins de chaque lot, traité et non traité. Les animaux des essais de la station d'aquaculture de Ziga ont été convoyés au laboratoire de Bobo-Dioulasso pour le sexage.

La détermination du sexe des alevins a été faite selon la technique dite du squash gonadique de (Guerrero and Shelton, 1974). La technique du squash gonadique est un outil fiable dès que la différenciation sexuelle est suffisamment avancée. Elle peut donc être utilisée de façon précoce. En effet, la prévitellogénèse chez les femelles et l'apparition de lobules chez les mâles sont bien distinctes vers 45-50 jours PF (Baroiller, 1988). Ainsi les gonades, localisées dorsalement dans la cavité péritonéale et reliées à celui-ci par deux fins mésentères, sont isolées en écartant délicatement les intestins à l'aide de pinces fines. Les ovaires apparaissent plus trapus alors que les testicules sont filiformes et occupent toute la longueur de la cavité (Planches 1a et 1c). Une partie de ces gonades est prélevée et écrasée entre lame et lamelle et observée au microscope photonique.

La présence de cellules ovoïdes de grosses tailles (ovocytes) munies d'un noyau volumineux témoigne de la présence d'ovaires, donc d'un individu femelle (Planche 1d)

L'existence de structures lobulaires et cystiques caractérise les testicules d'un individu mâle (Planche 1b).

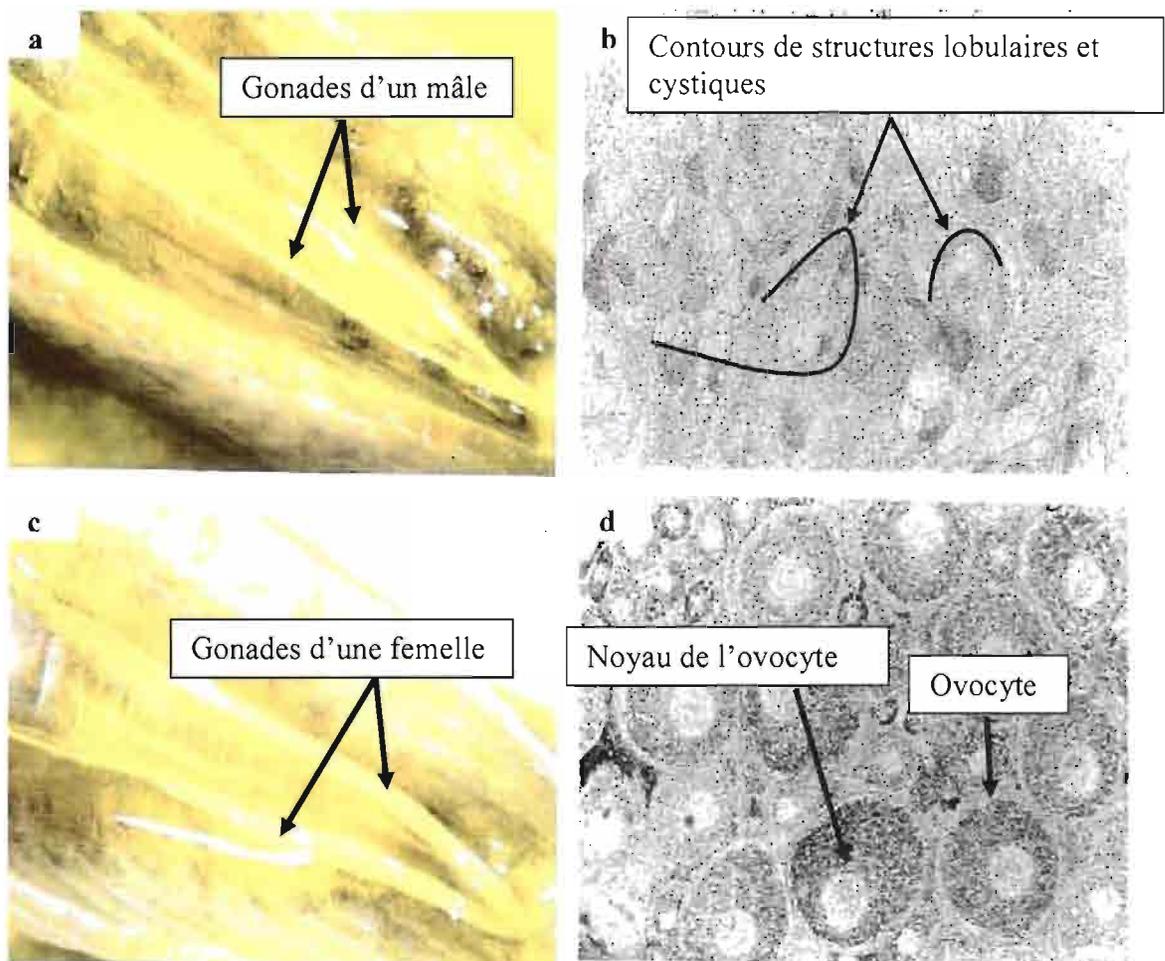


Planche1. Dimorphisme sexuel des gonades, colorées par du Bouin Hollande, dans la cavité péritonéale d'un individu mâle (a) et d'un individu femelle (c). Grossissement : 40x
Observation d'un « squash » de testicule avec structures lobulaires et cystiques (b) et d'ovaire avec ovocytes (d). Grossissement : 33x.

2.7. Analyse des données

Les paramètres suivants ont été évalués :

- Le quotient nutritif (QN) = quantité d'aliment distribuée / gain de poids
- Le taux de croissance spécifique (TCS) : $[(\text{Poids final} - \text{Poids initial}) / \text{temps d'élevage}] \times 100$

Les analyses ont été faites à l'aide des logiciels STATISTICA et SPSS 12.01.

Les moyennes sont comparées par un test-*t* après une ANOVA.

CHAPITRE III : RESULTATS

3.1. Taux de mortalité

Les taux de mortalité relevés sont consignés dans le tableau 1. Le taux de mortalité a tendance à augmenter avec le degré de contrôle du milieu d'élevage.

Le taux de mortalité chez les populations élevées en happas a été nul (Tableau 1). Il a été plus élevé chez les populations élevées en aquariums où il a été de 50% chez les individus traités à l'éthinylestradiol, 20% chez les alevins traités à la méthyltestostérone et de 30% chez le témoin. La mortalité chez les alevins élevés en bassins a été de 40% dans le lot témoin et de 20% chez les individus traités à l'éthinylestradiol.

Tableau 1. Taux de mortalité

Milieu contrôlé (Aquarium)			Bassins		Happas	
17 α -ET	17 α -MT	Témoin	17 α -MT	Témoin	17 α -MT	Témoin
50%	20%	30%	20%	40%	0%	0%

3.2. Efficacité des traitements hormonaux

L'efficacité des traitements hormonaux varie selon la structure d'élevage.

3.2.1. Traitement en aquarium

a – Taux d'inversion sexuelle

La figure 6 montre les résultats des traitements hormonaux, obtenus en aquarium. Le pourcentage de mâles dans les aquariums où les alevins sont traités à la méthyltestostérone est de 90% et diffère significativement (χ^2 ; $p < 0,05$) de celui du lot témoin (55%). Le sex-ratio dans les lots témoins est d'environ 50% de mâles et 50% de femelles.

Dans les lots traités à l'ET, le taux de féminisation est de 80% et est significativement différent ($p < 0,05$) de celui des lots témoins.

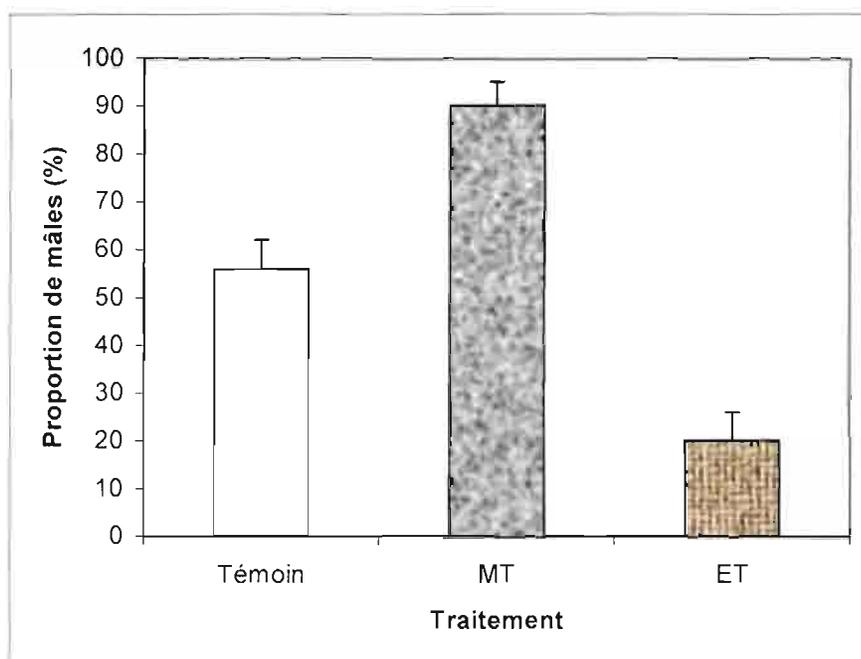


Figure 6. Proportion de mâles chez les populations traitée et témoin en milieu contrôlé

b – Croissance

L'analyse de la croissance des alevins montre une évolution continue du poids en fonction de l'âge (Figure 7a). La différence de poids vif entre chaque stade d'échantillonnage est significative ($p < 0,05$). Dans la première moitié de la durée des traitements les alevins traités à l'éthynyloestradiol ont une meilleure croissance que les lots témoins et ceux traités à la MT.

A la fin des traitements, les alevins traités à la méthyltestostérone ont une croissance significativement ($p < 0,05$) plus élevée que les autres lots. Par contre, aucune différence significative n'a été observée entre les alevins traités à l'éthynyloestradiol et les lots témoins.

A 60 PF, la croissance générale de tous les animaux a été moins rapide que dans la première phase. La différence de croissance entre cohortes traitées à la méthyltestostérone, et les cohortes témoins est restée significative ($p < 0,05$).

Le taux de croissance spécifique des animaux traités à la méthyltestostérone est supérieur à celui des individus des autres traitements (Figure 7c).

Il n'existe pas de différence significative entre le taux de croissance spécifique des témoins et des traités à l'éthynyloestradiol.

Le quotient nutritif des alevins traités à l'éthynyloestradiol est le plus élevé (4,5) (Figure 7b). Les plus faibles quotients nutritifs sont relevés chez les alevins traités à la méthyltestostérone, et diffèrent significativement ($p < 0,05$) des quotients nutritifs des alevins des lots témoins et des lots traités à l'éthynyloestradiol.

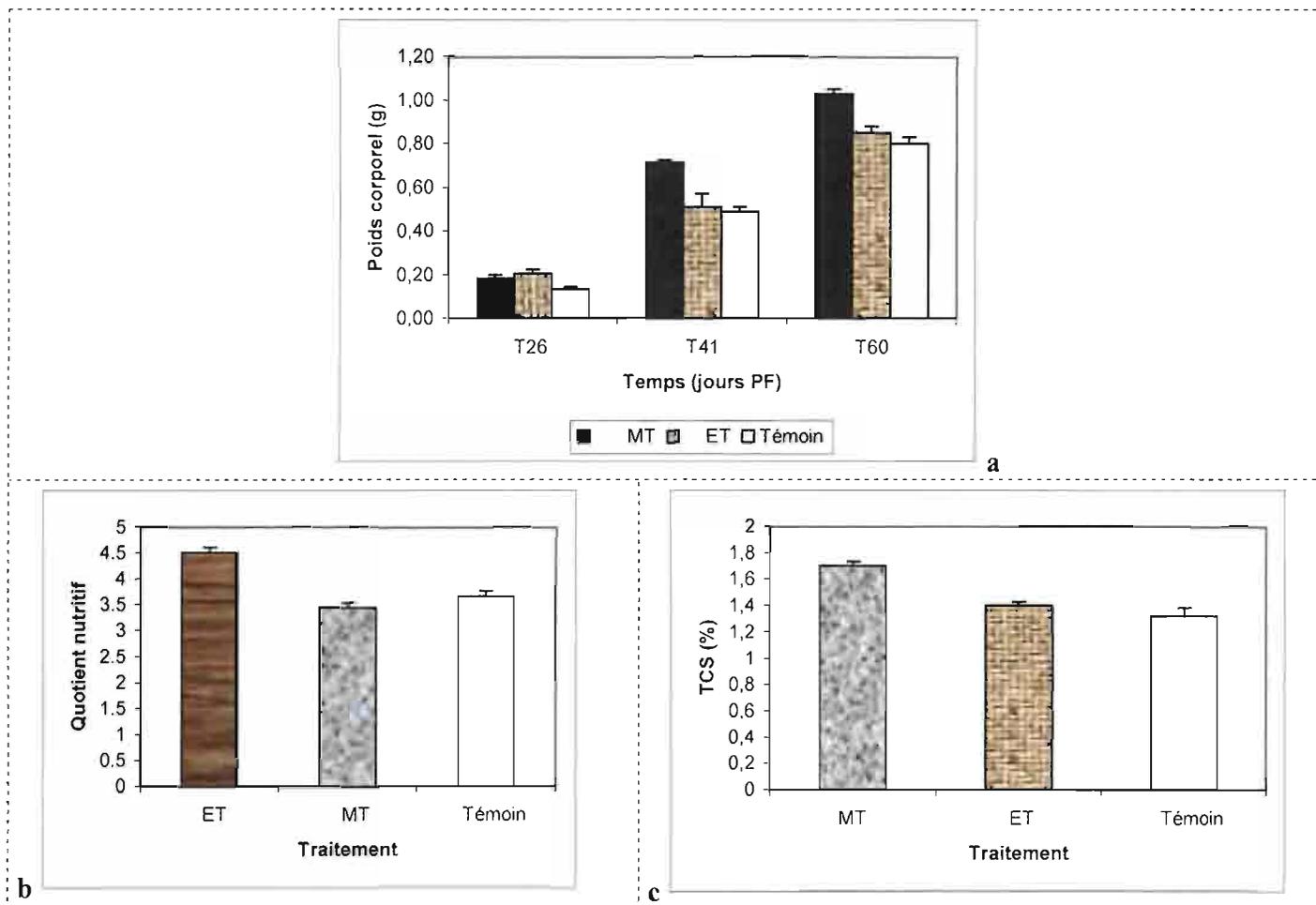


Figure 7. a : Evolution du poids corporel des alevins. b : Quotient nutritif des individus à la fin de l'expérience. c : Taux de croissance spécifique des alevins

3.2.2. Traitement en happas

a – Taux d'inversion sexuelle

La figure 8 montre les résultats des traitements hormonaux obtenus en happas. Les mêmes tendances sont observées dans les happas installés en étang que dans les aquariums. Le pourcentage de mâles (70,22%) des lots traités à la méthyltestostérone est significativement ($p < 0,05$) différent de celui des lots témoins (52%).

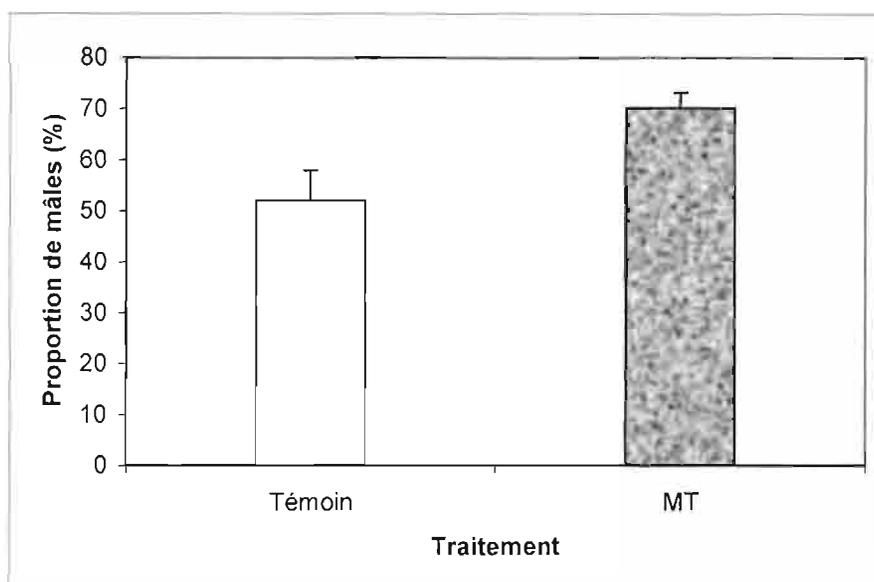


Figure 8. Proportion de mâles chez les lots traités à la MT à $30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pendant 30 jours et les lots témoins en happas installés dans un étang à la station d'aquaculture de Ziga.

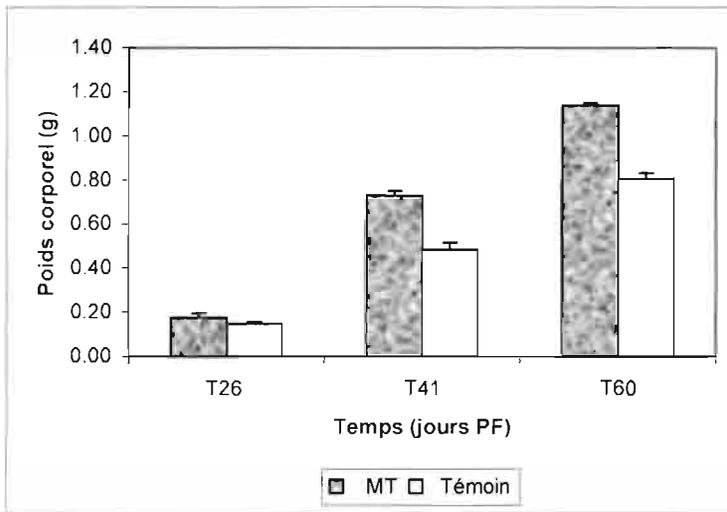
b – Croissance

La croissance des alevins, à la fin de l'expérimentation, est présentée dans la figure 9a. A 26 jours PF, les alevins traités à la méthyltestostérone ont un poids corporel légèrement supérieur à celui des alevins des lots témoins.

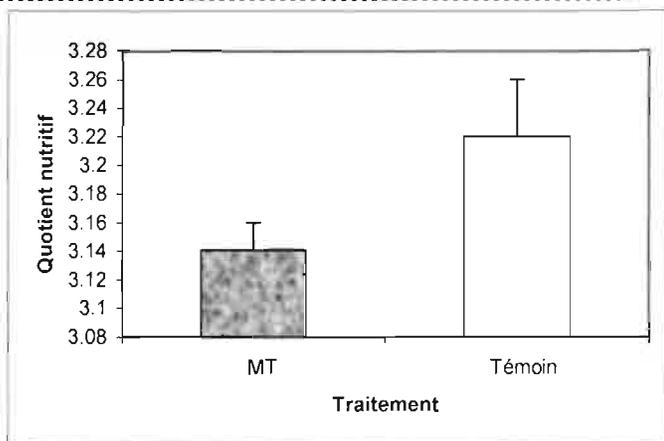
La différence de poids corporel entre alevins traités et non traités ne devient significative ($p < 0,05$) qu'à 41 jours PF. Cette différence est plus marquée à la fin de l'expérimentation à 60 jours PF.

Le taux de croissance spécifique général des lots traités (1,9) est significativement plus important que celui des lots témoins (1,32) (Figure 9c).

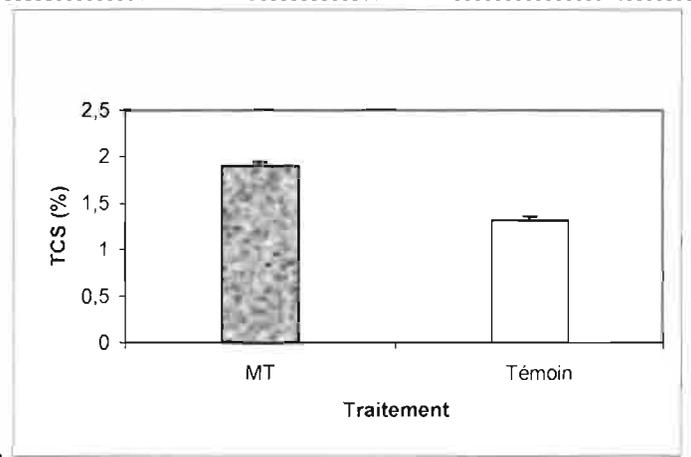
Le quotient nutritif relevé chez les individus traités (3,14) est légèrement meilleur que celui (3,22) relevé chez les lots témoins (Figure 9b).



a



b



c

Figure 9. a : Evolution du poids corporel des alevins. b : Quotient nutritif. c : Taux de croissance spécifique

3.2.3. Traitement dans les bassins

a – Taux d'inversion sexuelle

Le taux d'inversion sexuelle est représenté à la figure 10. Chez les alevins ayant subi les traitements à la méthyltestostérone, le sex-ratio a une orientation en faveur du sexe mâle. Le pourcentage de mâle dans le lot traité (75,33%) diffère significativement de celui observé chez les lots témoins (49%).

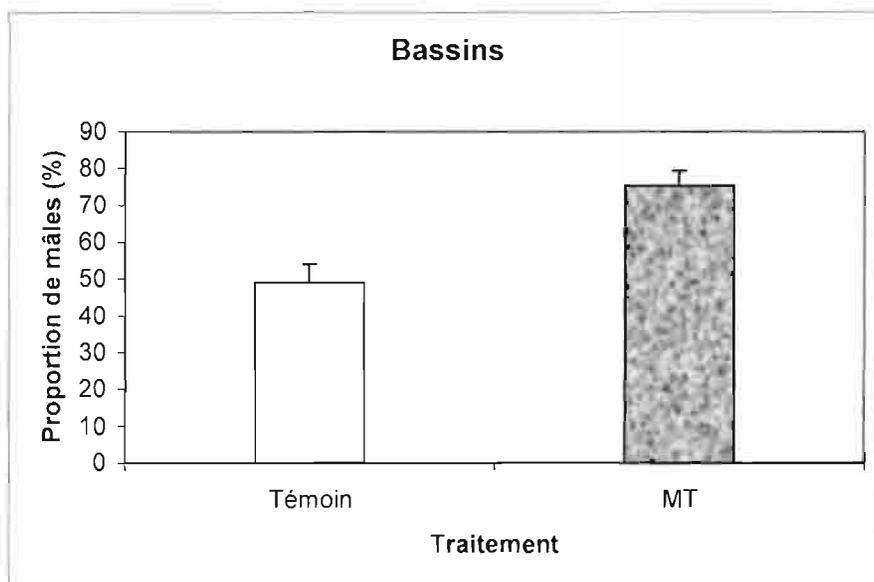
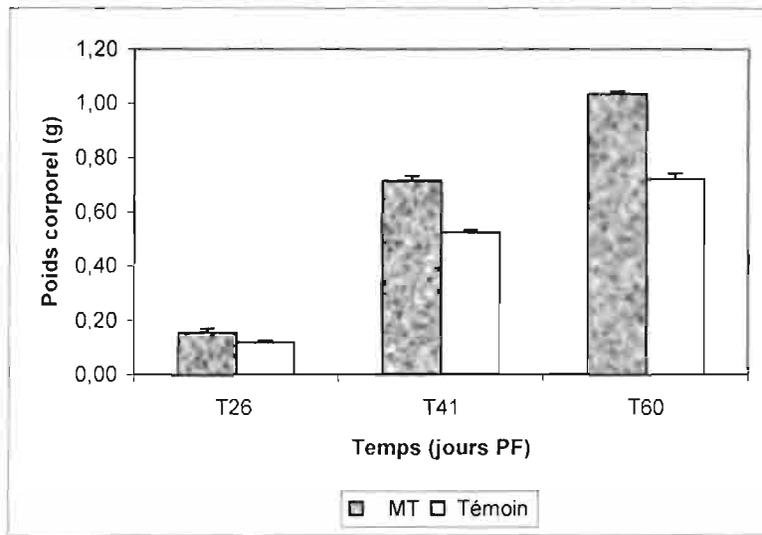


Figure 10. Proportion de mâles chez les lots traités à la 17 α -MT à 30 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ pendant 30 jours et les témoins, en bassins.

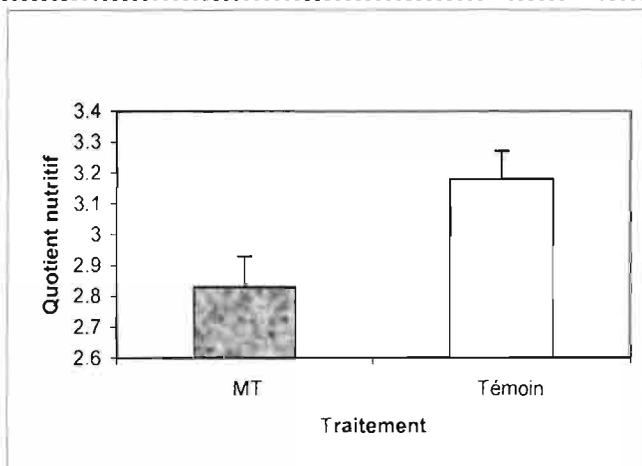
b – Croissance

La croissance des alevins élevés en bassins en béton est représentée à la figure 11. Le poids corporel des alevins évolue positivement avec leur âge. A mi-traitement le poids vif des alevins traités est légèrement supérieur à celui des alevins des lots témoins (Figure 11a).

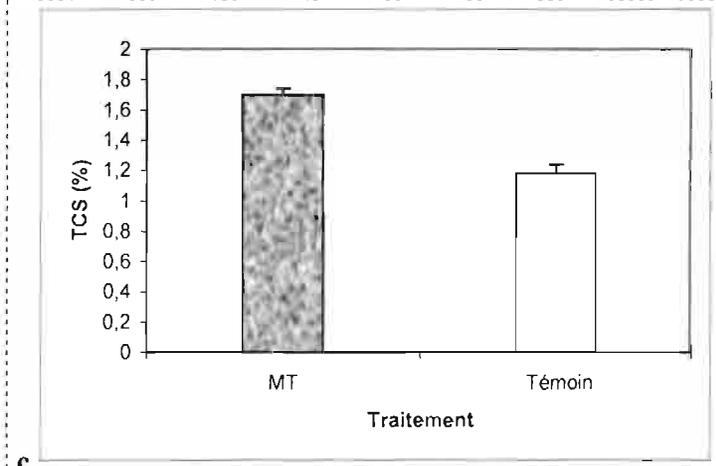
Le quotient nutritif (2,83) des alevins traités est meilleur à celui des lots témoins (3,18). (Figure 11b). Le TCS est significativement plus important (1,7) chez les traités à la MT que chez les témoins (1,18). (Figure 11c).



a



b



c

Figure 11. a : Evolution du poids corporel des alevins. b : Quotient nutritif. c : Taux de Croissance spécifique

CHAPITRE IV : DISCUSSION

4.1. Difficultés expérimentales

Une des difficultés rencontrées dans la mise en place des expérimentations réside dans le regroupement de cohortes issues de couples différents dont les fécondations ont eu lieu de façon asynchrone. Les effets parentaux peuvent induire des biais au niveau des résultats, notamment au niveau de la croissance.

De plus, même si les individus sont repartis de façon aléatoire dans les différents lots, des biais peuvent apparaître, tel qu'un sex-ratio hétérogène d'un replicat à l'autre.

Une autre difficulté rencontrée lors de la mise en application du protocole en milieu contrôlé, a été la régulation de la température de l'eau. En effet le maintien de la température de l'eau à 27°C était perturbé chaque fois que des coupures d'électricité intervenaient, occasionnant ainsi des baisses de températures de 3 à 4 °C sur 1 à 2 jours, consécutives au refroidissement des thermorégulateurs et de l'arrêt du circuit fermé.

4.2. Efficacité des traitements hormonaux

Les hormones utilisées au cours de cette étude sont des molécules artificielles dérivées de la testostérone et de l'estradiol-17 β . Ces stéroïdes synthétiques sont considérés plus efficaces que les stéroïdes naturels pour l'inversion hormonale du sexe chez les espèces de poissons téléostéens gonochoriques (Hunter and Donaldson, 1983).

L'hétérogénéité des résultats observés entre les différentes structures d'élevage suite aux traitements masculinisants à la dose de 30mg de méthyltestostérone / kg d'aliment appliquée pendant 30 jours, révèlent une variabilité de l'efficacité des traitements en fonction de la structure d'élevage. Ainsi le plus fort taux de mâles (90%) a été observé chez les individus traités en aquariums et le plus faible taux (70,22%) chez les individus traités en happas. Cela peut s'expliquer par le fait qu'en milieu contrôlé, les alevins ne disposent d'aucune autre source d'alimentation que l'aliment exogène contenant l'hormone. Par contre en happas et en bassins, ces structures sont sous l'influence directe des facteurs naturels (photopériode, température, etc) et les poissons ont d'autres sources d'alimentation que l'aliment fourni, ce qui engendre une diminution de l'ingestion de l'aliment contenant l'hormone et par voie de conséquence, peut affecter négativement l'efficacité des traitements. En effet, Macintosh and Little (1995) relèvent que toute condition qui affecterait ou induirait une variation de la prise alimentaire, pourrait de fait réduire l'efficacité des traitements. En happas et en bassins, les poissons ont le choix entre l'aliment distribué et le plancton. Et cette production de plancton présente en happas et en bassins est inexistante dans les aquariums du fait de la filtration (Boyd, 1990 ; Knud-Hansen *et al.*, 1991 ; Diana *et al.*, 1991).

Il faut aussi ajouter que l'aliment distribué est dispersé par le vent et les courants hors de l'happas à travers l'étang, ce qui veut dire qu'une certaine quantité l'aliment n'est donc plus accessible par les poissons (Scheffer, 1998).

De plus, la variation des facteurs environnementaux tels que la température plus particulièrement, a pu affecter l'efficacité des traitements à travers une diminution de l'ingestion volontaire (Baroiller *et al.*, 1996 ; Varadaraj *et al.*, 1994). Nos résultats paraissent faibles par rapport à ceux de Nakamura and Takahashi (1973) et de Yoshikawa and Oguri (1978) qui étaient parvenus à produire des populations monosexes femelles avec des concentrations de $150 \mu\text{g.g}^{-1}$ de $17\alpha\text{-ET}$. Par contre, les pourcentages de mâles obtenus sont dans les mêmes fourchettes que ceux de Pandian and Varadaraj (1987), Baroiller and Jalabert (1989), avec la concentration de $30 \mu\text{g.g}^{-1}$ de $17\alpha\text{-MT}$.

L'hormone ingérée par le poisson traité ne s'accumule pas dans ses tissus mais est éliminée progressivement, en partie par les fèces et la vésicule biliaire (Johnstone *et al.*, 1983 ; Curtis *et al.*, 1991). Cependant aucune étude n'a examiné le devenir des résidus d'hormone dans l'eau dans laquelle les poissons traités ont séjourné. Or ces poissons traités pourraient excréter dans l'eau, des métabolites stéroïdaux quelques temps après le début de la digestion des aliments distribués. Cette hypothèse est confirmée par les travaux de Padilla (1997) qui rendent compte de l'augmentation progressive du taux de diethylstilbestrol dans l'eau d'élevage au fur et à mesure que le traitement se prolonge dans le temps. Il faut toutefois souligner que les traitements se font dans les circuits fermés où l'eau est constamment recyclée par des systèmes de filtration contenant du charbon actif sur lequel les stéroïdes sont adsorbés. Abucay *et al.* (1997) font état d'inversion du sexe induite chez des poissons exposés aux hormones provenant des refus d'aliments dans l'eau. Ces résultats sont tout de même surprenants à cause de la faiblesse de l'efficacité des traitements par balnéation (Rosenstein and Hulata, 1992 ; Gilling, 1994).

Il apparaît donc que la dose utilisée dans notre étude est efficace pour induire une inversion du sexe. Cependant, les conditions en milieu naturel notamment dans les happas devraient être explorées à nouveau en utilisant plusieurs doses et d'autres modes d'alimentation tels que les paniers flottants afin d'améliorer le taux d'inversion. Ces traitements dans différentes conditions ont permis d'avoir des données de base sur les populations d'*O. niloticus* du Burkina Faso. En effet Varadaraj *et al.* (1994) soulignent que plusieurs souches d'une même espèce de tilapia, de différentes localités ont montré des différences de doses et de durées de traitements efficaces pour une hormone spécifique.

4.3. Taux de survie et performances de croissance

Les taux de survie des lots traités à la méthyltestostérone sont plus faibles comparativement à ceux des lots traités à l'éthinylestradiol. Ces résultats ne sont pas en contradiction avec les données de la littérature. Car, Yashouv and Eckstein (1965) ont montré au court de leurs travaux que les alevins de tilapia survivent plus aux traitements avec des hormones masculinisantes qu'avec des hormones féminisantes. La plus forte mortalité observée dans le circuit fermé est liée aux difficultés de maintien des conditions expérimentales signalées plus haut, notamment les chutes de température liées aux coupures d'électricité. Il faut aussi signaler que le taux de mortalité est plus forte dans les premiers stades de développement, lors des traitements hormonaux et aurait tendance à se stabiliser dans les stades avancés de l'ontogenèse (Pandian and Sheela, 1995 ; Piferrer 2001).

De façon générale, la croissance des poissons est relativement faible. Le quotient nutritif est assez élevé pour l'ensemble des animaux. Cette situation pourrait s'expliquer par la fréquence des manipulations et la densité élevée dans les différentes structures d'élevage comme cela a été observé par Ali *et al.* (2003) et Bolivar *et al.* (2003). En ce qui concerne la croissance, nos résultats sont en accord avec ceux de Toguyeni *et al.* (1997) qui faisaient état d'une meilleure croissance des femelles dans la première phase des traitements hormonaux. A cet stade, c'est-à-dire jusqu'à 54 jours PF, la différenciation ovocytaire se met en place chez les futures femelles (Rothbard *et al.*, 1987 ; Baroiller, 1988), ce qui pourrait être associé à une phase d'anabolisme. Ceci a été confirmé par les travaux de Toguyeni (1996) qui ont mis en évidence des niveaux circulants de testostérone plus importants chez les femelles que chez les mâles. Or de nombreux travaux ont montré que la 17 α -méthyltestostérone a d'importants effets anabolisants (Guerrero, 1975 ; Fagerlung and McBride, 1975 ; Ufodike and Madu, 1986).

Dès la seconde phase des traitements hormonaux, c'est-à-dire après la différenciation sexuelle et avant la maturité sexuelle, la tendance s'est inversée. Les poids corporels des lots traités à la 17 α -méthyltestostérone sont plus importants que ceux des lots traités à la 17 α -éthinyloestradiol. L'apparition du dimorphisme sexuel de croissance entre les mâles et les femelles est intervenue de façon assez précoce comparativement aux données de Toguyeni (1996) où la différence de croissance liée au sexe n'était pas établie à 30g de poids corporel. D'autres travaux ont montré que l'apparition d'une différence de croissance significative entre les mâles et les femelles peut être retardée par une meilleure croissance des individus (Bolivar *et al.*, 1993). Par ailleurs Blazquez *et al.* (1998) et Gorshkov *et al.* (2004) relèvent des effets inhibitoires de la 17 α -éthinyloestradiol sur la croissance corporelle. A la fin de l'expérimentation, les poids moyens des poissons traités à la 17 α -méthyltestostérone et à la 17 α -éthinyloestradiol se sont révélés plus élevés que ceux des lots témoins (figures 7,9 et 11). Ce qui suggérerait des effets anabolisants des stéroïdes même celles

féminisantes comme cela a été observé par Pandian and Sheela (1995) et confirmés par Flynn and Benfey (2007).

Enfin, la différence des performances de croissance en fonction des structures d'élevage observée pourrait être liée à une différence de disponibilité alimentaire vu que dans les étangs, les poissons disposent en plus de l'aliment artificiel de la production primaire. Ceci est corroboré par les travaux de Jiménez-Montealegre *et al.* (2002) qui avaient mis en évidence la corrélation positive entre la biomasse des poissons et la production de la chlorophyll-*a*. En effet, la croissance du phytoplancton est limitée dans les bassins et les aquariums à cause du filtre et de la forte concentration des particules solides (Boyd, 1990). Ainsi, la meilleure croissance des alevins en happas malgré les pertes alimentaires, par dissolution à travers l'étang, de l'aliment distribué pourrait s'expliquer par cet apport interne.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Le traitement hormonal des populations d'*Oreochromis niloticus* a permis d'obtenir une déviation significative du sex-ratio vers le sexe mâle et femelle avec la 17 α -méthyltestostérone à 30 $\mu\text{g.g}^{-1}$ d'aliment et la 17 α - éthyloestradiol à 150 $\mu\text{g.g}^{-1}$ d'aliment respectivement. Cette modification du sex-ratio varie selon que les alevins sont traités en happas, en bassin ou en aquarium.

De même, l'efficacité des traitements hormonaux varie selon les conditions environnementales dans lesquelles les structures d'élevage sont gardées. L'efficacité des traitements augmente avec la maîtrise des facteurs environnementaux tels que la température, la luminosité et la qualité de l'eau.

Bien que les traitements n'aient pas donné 100% de mâles ou de femelles, les taux obtenus en aquarium (90%) montrent bien que la dose utilisée est efficace pour induire l'inversion hormonale du sexe. Il reste cependant entendu qu'il faudrait réaliser cette étude à plus grande échelle et dans des conditions de pisciculture en milieu réel.

La croissance générale des alevins apparaît faible comparativement aux résultats obtenus par d'autres travaux. Ceci peut-être lié aux capacités intrinsèques des populations. Il faudra donc mener une étude de caractérisation des performances zootechniques afin de réaliser un programme de sélection génétique et déterminer les doses efficaces d'hormones pour les populations et/ou souches du Burkina Faso, en faisant varier les doses appliquées et les autres facteurs tels que la lumière, la température de l'eau.

Enfin, des études pourraient être entreprises pour préciser le tri alimentaire opéré par les poissons entre l'aliment distribué et la production primaire disponible, en condition d'alimentation volontaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abucay J. S., Mair G. C., Skibinski D. O. F., Beardmore J. A., (1997).** The occurrence of incidental sex reversal in *Oreochromis niloticus* L. In: Northeast Regional Agricultural Engineering Service. Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. USA. Vol. 2, 729-738.
- Adkins-Regan E., (1981).** Early organizational effects of hormones. An evolutionary perspective. In: Adler, N. T. (Ed.), Neuroendocrinology of Reproduction: Physiology and behavior. Plenum, New York, pp. 159-228.
- Adkins-Regan E., (1987).** Hormones and sexual differentiation. In: Norris, D. O., Jones, R. E. (Eds.), Hormones and Reproduction in Fishes, Amphibians, and Reptiles. Plenum, New York, pp. 1-29.
- Ali M., Niecieza A. and Wootton R. J., (2003).** Compensatory growth in fishes: a response to growth depression. Fish and Fisheries, 4, 147-190.
- Allanson B. R. and Noble R. G., (1984).** The tolerance of *Tilapia mossambica* to high temperatures. *Trans. Fish. Soc.*, 93, p323-332.
- Allison R., Smitherman R. O. et Cabrero J., (1976).** Effet of high density culture on reproduction and yield of *Tilapia aurea*. FAO Tech. Conf. on Aquaculture, Kyoto, Japan, AQ/Conf./76/E. 47, 3p
- Antilla E., (1984).** Steroid conversion by oocytes and the early embryos of *Salmo gairdneri*. *Ann. Zool. Fenn.* 21, 465-476.
- Arrignon J., (1969).** L'élevage de *Tilapia mossambica* comme animal de laboratoire. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol* 17, p 650-661
- Avtalion R. R., Don J., (1990).** Sex-determining genes in tilapia : a model of genetic recombination emerging from sex ratio results of three generations of diploid gynogenetic *Oreochromis aureus*. *J. Fish Biol.* 37, 167-173.
- Balarin J. D., (1979).** Tilapia: a guide to their biology and culture in Africa. University of Sterling, Sterling. 133 pages.
- Bard J., de Kimpe P., Lemasson J., Lessent P., (1974).** Manuel de pisciculture tropicale. Centre technique forestier tropical. 209p.
- Baroiller J. F., (1988).** Etude corrélée de l'apparition des critères morphologiques de différenciation de la gonade et de ses potentialités stéroïdogènes chez *Oreochromis niloticus*. Thèse dr., Univ. Pierre-et-Marie-Curie, Paris. pp. 89.
- Baroiller J. F., Chourrout D., Fostier A., Jalabert B., (1995b).** temperature and sex chromosomes govern sex ratios of the mouthbrooding cichlid fish *Oreochromis niloticus*. *J. Exp. Zool.* 273, 216-223.
- Baroiller J. F., Clota F. and Geraz E., (1995a).** Temperature sex determination in two tilapia, *Oreochromis niloticus* and the red tilapia (Red Florida strain): effect of high or low temperature. In: Goetz, F. W. and Thomas, P. (eds.). Proceedings of the Fifth International Symposium on Reproduction Physiology of Fish. USA., 158-160.
- Baroiller J. F., Fostier A., Zohar Y., Marcuzzi O., (1987).** The metabolic clearance rate of estradiol-17 β in rainbow trout, *Salmo gairdneri* R., estimated by both single injection and constant infusion methods: increase during oocyte maturation. *Gen. Comp. Endocrinol.* 66, 85-94.
- Baroiller J. F. and Jalabert B., (1989):** Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapias. *Aquat. Living Resour.* 2: 105-116.
- Berkowitz P., (1937).** Effect of oestrogenic substances in *Lebistes reticulatus* (Guppy). *Proc. Soc. Exp. Med.* 36, 416-418.
- Blasquez M., Carillo M., Piferrer F., (1999).** Sex ratios in offspring of sex-reversed sea bass and the relationship between growth and phenotypic sex differentiation. *J. Fish Biol.* 55, 916-930.
- Blasquez M., Zanuy S., Carillo M., Piferrer F., (1998).** Structural and functional effects of early exposure to estradiol-17 β and 17 α -ethynylestradiol on the gonads of the gonochoristic teleost *Dicentrarchus labrax*. *Fish Physiol. Biochem.* 18, 37-47.

- Bolivar R. B., Eknath A. E., Bolivar H. L. and Abella T. A., (1993).** Growth and reproduction of individually tagged Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) of different strains. *Aquaculture*, 111: 159-169.
- Bolivar R. B., Jimenez E. T. and Brown C. L., (2003).** Tilapia feeding strategies in semi-intensive pond culture: the PD/A CRSP on-farm trials. Paper presented at the 2nd Tilapia Congress. Bulwagan Arayat, Wov Philippines Hilaga, City of San Fernando, Pampanga, November 13-14, 2003. 13pp.
- Boyd C. E., (1990):** Water quality in ponds for aquaculture. Birmingham Publishing, Birmingham, AL.
- Bruslé J. and Bruslé S., (1983).** La gonadogenèse chez les poissons. *Reprod., Nutr., Dév.* 23, 453-491.
- Bull J. J., (1983).** Evolution of sex Determining Mechanisms. Cummings, Menlo Park, CA.
- Bye V. J., Lincoln R. F., (1986).** Commercial methods for sexual maturation in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture* 57, 299-309.
- Castelnuovo G., (1937).** Effeti di alcuni ormoni sulla maturazione delle carpe. *Riv. Biol.* 23, 365-372.
- Chang X. T., Kobayashi T., Todo T., Ikeuchi T., Yoshiura Y., Kajiura-Kobayashi H., Morrey C., Nagahama Y., (1999)** Molecular cloning of oestrogen receptors α and β in the ovary of a teleost fish, the tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Zool. Sci.* 16, 653-658.
- Chen F. Y., (1969).** Preliminary studies on the sex-determining mechanism of *Tilapia mossambica* Peters and *T. hornorum* Trewavas. *Verh. Int. Ver. Their. Angew.imnol.* 17: 718-724.
- Chervinski J. and Rothbard S., (1982).** An aid in manually sexing Tilapia. *Aquaculture.* 26: 389.
- Chourrout D., (1988).** Revue sur le déterminisme génétique du sexe des poissons téléostéens. *Bull. Soc. Zool. Fr.* 113, 123-144.
- Clemens, H. P., and Inslee, T. (1968).** The production of unisexual broods by *Tilapia mossambica* sex-reversed with methyltestosterone. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 97 (1): 18-21
- Colombo G. and Grandi G., (1990).** Gonad and sex differentiation of *Anguilla anguilla* by sex steroids. *Int. Rev. Hydrobiol.* 76, 763-773.
- Colombo G. and Grandi G., (1995).** Sex differentiation in the European eel: histological analysis of the effects of sex steroids on the gonad. *J. Fish Biol.* 47,394-413.
- Conover D. O. and Fleisher M. H., (1986).** Temperature-sensitive period of sex determination in the Atlantic silverside, *Menidia menidia*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43, 329-330.
- Conover D. O. and Heins S. W., (1978).** Adaptative variation in environmental and genetic sex determination in fish. *Nature* 326, 426-428.
- Crim L. W., (1985).** Methods for acute and chronic hormone administration in fish. In: Lee, C. S., Liao, I. C. (Eds.), *Reproduction and Culture of Milkfish*. Oc. Institute and Tung Kang Mar. Lab., Hawaii and Taiwan, pp. 1-13.
- Curtis L. R., Diren F. T., Hurley M. D., Seim W. K., Tubb R. A., (1991).** Disposition and elimination of 17 α -methyltestosterone in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 99, 193-201.
- Dadzie S. et Wangila B. C. C., (1980).** Reproductive Biology, length-weight relationship and relative condition of pond raised *Tilapia zillii*. *J. Fish. Biol.* 17, p 243-253
- Denzer H. W., (1968).** Studies on the physiology of young Tilapia. *FAO ; Fish. Rep.* 4, p356-366.
- Desprez D., Melard C. and Philippart J. C., (1995).** Production of high percentage of male offspring with 17 α -methyltestosterone sex-reversed *Oreochromis aureus*. II. Comparative reproductive biology of females and F2 pseudofemales and large-scale production of male progeny. *Aquaculture*, 130: 35-41.
- Diana J. S., Lin C. K., Schneeberger P. J., (1991) :** Relationships among nutrient inputs, water nutrient concentrations, primary production, and yield of *Oreochromis niloticus* in ponds. *Aquaculture* 92, 323-342.
- Donaldson E. M., (1986).** The integrated development and application of controlled reproduction techniques in Pacific salmonid aquaculture. *Fish Physiol. Biochem.* 2, 9-24.
- Down N. E., Donaldson E. M., Dye H. M., Langley K., Souza L. M., (1988).** Recombinant bovine somatotropin more than troubles the growth of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) acclimated to sea water and ambient winter conditions. *Aquaculture* 68, 141-155.

- Dzwilllo M., (1966).** Uber den Einfluss von Methyltestosterone auf primare and sekundare Geschlechtsmerkmale wahrend verscheidener Phasen der Embryonalentwicklung von *Lebistes reticulatus*. Zool. Anz. Suppl., 29: 471-476.
- Eyeson K. N., (1983).** Stunting and reproduction in pond-reared *Sarotherodon melanotheron*. Aquaculture 31. P 257-267
- Fagerlung U. H. M. and McBride J. R., (1975).** Growth increments and some flesh and growth characteristics of juvenile coho salmo receiving diets supplemented with 17 α -methyltestosterone. *J. Fish. Biol.* 7 : 305-314.
- FAO (2005)a.** Production halieutique mondiale, par capture et aquaculture, par pays. <ftp://ftp.fao.org/fi/stat/summary/a-0a.pdf> consulté le 01/08/08
- FAO (2005)b.** Pêches et aquaculture Burkina faso – Bases de données thématiques. http://www.fao.org/fishery/countrysector/FI-CP_BF/2/fr consulté le 01/08/08
- Feist G. and Schreck C. B., (1996).** Brain-pituitary-gonadal axis during early development and sexual differentiation in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 102, 394-409.
- Fitzpatrick M. S., Gale M. L., Schreck C. B., (1994)** Binding characteristics of an androgen receptor in the ovaries of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 95, 399-408.
- Flynn S. R. and Benfey T. J., (2007).** Effects of dietary estradiol-17 β in juvenile shortnose sturgeon, *Acipenser brevirostrum*, *Lesueur.* *Aquaculture*, 270: 405-412.
- Fostier A., Jalabert B., Billard R., Breton B., and Zohar Y., (1983).** The gonadal steroids. In "Fish Physiology" (W. S. Hoar, D. J. Randall and E. M. Donaldson, eds.), Vol. 9A, pp 277-372. Academic Press, New York.
- Georges T., Pandian T. J., (1995).** Production of ZZ females in the female-heterogametic black molly, *Poecilia sphenops*, by endocrine sex reversal and progeny testing. *Aquaculture* 136, 81-90.
- Gilling C. J., (1994):** Applications of gynogenesis and sex-reversal to improvement of tilapia. Ph. D. thesis, University of Wales, 216p.
- Gilling C. J., Skibinski D.O.F., Beardmore J.A., (1996).** Sex reversal of tilapia fry by immersion in water containing oestrogen. In: Pulli, R.S.V., Lazard J., Legendre M., Amon-Kottias J.B., Pauly D., (Eds.), The Third Int. Symp. On tilapia in Aquaculture. Manilla, Philippines, pp. 314-319.
- Gimeno S., Komen H., Gerritsen A. G. M., Bowmer T., (1998).** Feminization of young males of the common carp, *Cyprinus carpio*, exposed to 4-tert-pentylphenol during sexual differentiation. *Aquat. Toxicol.* 43, 77-92.
- Goetz F. W., Donaldson E. M., Hunter G. A., (1979).** Effects of estradiol-17 β and 17 α -methyltestosterone on gonadal differentiation in the coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Aquaculture* 17, 267-278.
- Gorbman A., (1990).** Sex differentiation in the hagfish *Eptatretus stouti*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 77, 309-323.
- Gorshkov S., Gorshkova C. and Colorni B., (2004).** Effects of natural estradiol-17 β and synthetic 17 α -ethynylestradiol on direct feminization of European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Journal of the World Aquaculture society.* Vol. 35 (2): 167-177.
- Goudie C. A., Simco B. A., Davis K. B., (1995).** Failure of gynogenetically driven male channel catfish to produce all-male offspring. In: GOETZ F. W., THOMAS P. (Eds.), *Proc. Fifth Int. Symp. Reprod. Physiol. Fish*, Austin, p. 118.
- Guerrero R.D. (1975).** Use of androgens for the production of all male *Tilapia aurea* (Steindachner). *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 2:342-348.
- Guerrero R.D. (1982).** Control of tilapia reproduction. In "The biology and culture of Tilapias". (R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-Mc Connel, eds) pp. 309-316. ICLARM, Manilla, Philippines.
- Guerrero, R.D. and Shelton, W.L. (1974).** An aceto-carmin squash method for sexing juvenile fishes. *Prog. Fish. Cult.*, 36: 56.
- Hackmann E. and Reinboth R., (1974).** Delimitation of the critical stage of hormone-influenced sex differentiation in *Hemihaplochromis multicolor* (Hilgendorf) (Cichlidae). *Gen. Endocrinol.* 22, 42-53.

- Hanson T. R., Smitherman R. D., Shelton W. L., and Dunham R. A., (1983):** Growth comparisons of monosex tilapia produced by separation of sexes, hybridization and sex reversal, p. 570-579. In L. Fishelson and Z. Yaron (comps.) Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel.
- Hickling C. F., (1960).** The Malacca tilapia hybrids. *J. Genet.* 57: 1-10.
- Hickling C. F., (1963).** The cultivation of tilapia. *Sci. Am.* 208(5):143-152.
- Higgs D. A. and Donaldson E. M., (1975).** A preliminary investigation of the effect of bovine growth hormone on growth and muscle composition of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 27, 240-253.
- Hines G., Boots L. R., Wibbels T., Watts S. A., (1999).** Steroid levels and steroid metabolism in relation to early gonadal development in the tilapia *Oreochromis niloticus* (Teleostei: Cyprinidae). *Gen. Comp. Endocrinol.* 114, 235-248.
- Hishida T., (1962).** Accumulation of testosterone -4-C14 propionate in larval gonads of the medaka, *Oryzias latipes*. *Embryologia* 7, 56-67.
- Hishida T., (1965).** Accumulation of estrone 16-C14 and diethylstilbestrol-(Monoethyl-1-C14) in larval gonads of the medaka, *Oryzias latipes*, and the determination of the minimum dosage of estrogen for sex reversal. *Gen. Comp. Endocrinol.* 5, 137-144.
- Hopkins K. D., Shelton W. L., Engle C. R., (1979).** Estrogen sex reversal of *Tilapia aurea*. *Aquaculture* 18, 263-268.
- Huet M., (1972).** Cultivation of tilapias and other African cichlids, in text book of fish culture – Breeding and cultivation of fish, Fishing News (Books) L. T. D. West Byfleet: pp. 192-199.
- Hunter G. A. and Donaldson E. M., (1983).** Hormonal sex control and its application to fish culture. In: Hoar, W. S., Randall, D. J., Donaldson, E. M. (Eds.), *Fish Physiology*, vol. IX, Reproduction, Part B, Behavior and Fertility Control, Academic Press, New York, pp. 223-303.
- Hyder M., (1970).** Gonadal and reproductive patterns in *Tilapia leucostica* (Teleostei: Cichlidae) in an equatorial lake: lake Naivasha (Kenya). *J. Zool.* 162: 179-195.
- Jalabert, B., Moreau, J., Planquette, P., Billard, R. (1974).** Déterminisme du sexe chez le *Tilapia nilotica*. Action de la méthyltestostérone dans l'alimentation des alevins sur la différenciation sexuelle ; proportion des sexes dans la descendance des mâles « inversés ». *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 14, 4b, pp. 729-739.
- Jimenez-Montealegre R., Verdegem M., Zamora J. E., Verreth J., (2002).** Organic matter sedimentation and resuspension in tilapia (*Oreochromis niloticus*) ponds during a production cycle. *Aquacult. Eng.* 26: 1-12.
- Jobling S., Nolan M., Tyler C. R., Brighty G., Sumpter J. P., (1998).** Widespread sexual disruption in wild fish. *Environ. Sci. Technol.* 32, 2498-2506.
- Johnstone R., Macintosh D. J. and Wright R. S., (1983):** Elimination of orally administered 17 α -méthyltestostérone by *Oreochromis mossambicus* (tilapia) and *Salmo gairdneri* (rainbow trout) juveniles. *Aquaculture*, 35: 249-257.
- Kaliba A. R., Osewe K. O., Senkondo E. M., Mnembuka B. V., Quagraine K. K., (2006).** Economic analysis of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Production in Tanzania. *Journal of the world aquaculture society.* 37 (4): 464-473.
- Kavumpurath S., Pandian T. J., (1993).** Determination of labile period and critical dose for sex reversal by oral administration of estrogens in *Betta splendens*. *Indian J. Exp. Biol.* 31, 16-20.
- Knud-Hansen C. F., Batterson T. R., McNabb C. D., Harahat I. S., Sumantadinata K., Eidman H. M., (1991):** Nitrogen input, primary productivity and fish yield in fertilized freshwater ponds in Indonesia. *Aquaculture* 94, 49-63.
- Komen J., Bongers A. B.J., van Muiswinkel W. B., Huisman E. A., (1991).** Gynogenesis in common carp (*Cyprinus carpio* L.). II. The production of homozygous gynogenetic clones and F1 hybrids. *Aquaculture* 92, 127-142.
- Komen J., Yamashita M., Nagahama Y., (1992).** Testicular development induced by a recessive mutation during gonadal differentiation of female common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Dévelop Growth Differ.* 34, 535-544.

- Koulish S. and Kramer C. R., (1989).** Human chorionic gonadotropin (hCG) induces gonad reversal in protogynous fish, the bluehead wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Teleostei, Labridae). J. Exp. Zool. 252,156-168.
- Kramer C. R. and Imbriano M. A., (1997).** Neuropeptide Y (NPY) induces gonad reversal in the protogynous bluehead wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Teleostei, Labridae). J. Exp. Zool. 279, 133-144.
- Krime D. E., (1995).** The effect of pollution on reproduction in fish. Rev. Fish Biol. Fish. 3, 160-180.
- Lazard J., (1980).** Transfert de poisons et développement de la production piscicole. Exemple de 3 pays d'Afrique Subsaharienne. Rev. Hydrobiol. Trop., 23: 251-265.
- Lazard J., (1984).** L'élevage du Tilapia en Afrique. Données techniques sur sa pisciculture en étang. Bois et Forêts des tropiques, 206 : 33-50.
- Lazard J., (2007).** Transfert de poissons et développement de la production piscicole. Exemple de 3 pays d'Afrique Subsaharienne. Rev. Hydrobiol. Trop., 23 : 251-265.
- Leveque C. et Paugy D., (1984).** Guide des poissons d'eau douce de la zone du programme de lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest. ORSTOM-OMS, 381p.
- Levy M. and Aronson L. R., (1955).** Morphological effects of castration and hormone administration in the male cichlid fish *Tilapia macrocephala*. Anat. Record, 122: 450-451
- Lim L. C. and Wong C.C., (1996).** Fry production of freshwater ornamental fish in Singapore. In: LeRoy, R. (Ed.), World Aquaculture '96 Book of Abstracts, Bangkok, Thailand, p. 228 (Abstr.)
- Lowe-Mc Connel R. H., (1982).** Tilapias in Fish communities. In "The Biology and Culture of Tilapias" (R.S.V. Pullin et R. H. Lowe-Mc Connel, eds.), ICLARM, Manila, Philippines, p83-113
- Loya L. and Fishelson L., (1969).** Ecology of fish breeding in brackish water ponds near the Dead Sea (Israel). J. Fish. Biol. 1: 261-278.
- Macintosh D. J. and Little D. C., (1995).** Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). In: Bromage, N. R., Roberts, R. J. (Eds.), broodstock management and Egg and Larval Quality. Chap. 12, Blackwell, Cambridge, MA, USA, pp. 277-320.
- Mc Bay L. G., (1961).** The biology of *Tilapia nilotica* (Linnaeus). Pro. Ann. Conf. South-East Assoc. Game Fish Comm. 15: 208-218.
- Melard C., (1986).** Recherches sur la biologie d'*Oreochromis (Tilapia) niloticus* L. (Pisces :Cichlidae) en élevage expérimental : reproduction, croissance, bioénergétique – Cahiers d'éthologie appliquée. 6 (3) : 1-224.
- Melard C. et Philippart J. C., (1981).** La production de Tilapia de consommation dans les rejets industriels de l'eau de chaude en Belgique. Cahiers d'Ethologie appliquée, 1, p 7-122
- Melard C., Ducarme C., Lasserre J., (1989) :** Technologie de l'élevage intensif du tilapia : reproduction-croissance-nutrition-production-pathologie-aspects économiques. Editeurs (laboratoire de démographie des poissons et de pisciculture, CERER – Pisciculture). Tihange, Belgique.
- Mires D., (1977).** Theoretical and practical aspects of the production of all-male Tilapia hybrids. Bamidgeh, 29: 94-101.
- Nagahama Y., (2000).** Gonadal steroid hormones: major regulators of gonadal sex differentiation and gametogenesis in fish. In: Norberg, B., Kjesbu, O. S., Taranger, G. L., Andersson, E., Stefansson, S. O. (Eds.), Proc. Sixth Int. Symp. Reprod. Physiol. Fish. Univ. Bergen, pp. 221-222.
- Nagaraj C. G. and Rao G. P. S., (1988).** Effect of testosterone acetate and estradiol benzoate on sexuality and growth of *Cyprinus carpio* (Linn). In: M. Mohan Joseph (Editor), Proc. First Indian Fish. Forum, Asian Fish. Soc., Indian Branch, Mangalore, pp. 115-117.
- Nakamura M., (1975).** Dosage-dependent changes in the effect of the oral administration in *Tilapia mossambica*. Bull. Fac. Fish.Hokkaido Univ. 26, 99-108.
- Nakamura M., (1984).** Effects of estradiol-17 β on gonadal sex differentiation in two species of salmonids, the masu salmon, *Oncorhynchus masou*, and the chum salmon, *O. keta*. Aquaculture 43, 83-90.
- Nakamura M. and Takahashi H., (1973).** Gonadal sex differentiation in *Tilapia mossambica* with special regard to the time of oestrogen treatment effective in inducing feminization of genetic fishes. Bull. Fac. Fish., Hokkaido univ. 24, 1-23.

- Nakamura M., Kobayashi T., Chang X.-T., Nagahama Y., (1998).** Gonadal sex differentiation in teleost fish. *J. Exp. Zool.* 281, 362-372.
- Olito C. and Brock I., (1991).** Sexual reversal of rainbow trout creating an all-female population. *Prog. Fish Cult.* 53, 41-44.
- Olivereau M. and Olivereau J., (1979).** Effect of estradiol-17 β on the cytology of the liver, gonads, and pituitary, and plasma electrolytes in the female freshwater eel. *Cell Tissue Res.* 199, 431-454.
- Owusu-Frimpong M., (1987).** Breeding behaviour pattern of the lake fish *Tilapia discolor* Gunter (Teleostei, Cichlidae) in captivity. *J. Fish Biol.* 30: 1-5.
- Owusu-Frimpong M. and Nijjhar B., (1981).** Induced sex reversal in *Tilapia nilotica* (Cichlidae) with methyltestosterone. *Hydrobiologia* 78: 157-160.
- Padilla M. G., (1997).** Diethylstilbestrol residue in sex reversed Nile tilapia. B. S. thesis. Central Luzon State University, Munoz, Nueva Ecija, Philippines, 67p.
- Padoa E., (1937).** Differenziazione e inversione sessuale (femminizzazione) di avannotti di trota (*Salmo irideus*) trattati con ormone follicolare. *Monit. Zool. Ital.* 48, 195-203.
- Pandian T. J. and Sheela S. G., (1995):** Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture* 138: 1-22.
- Pandian, T.J. and Varadaraj, K. (1987).** Techniques to regulate sex ratio and breeding in *Tilapia*. *Curr. Sci.*, 56: 337-343.
- Pankhurst N. W., Stacey N. E., Peter R. E., (1986).** An evaluation of techniques for the administration of 17 β -estradiol to teleosts. *Aquaculture* 52, 145-155.
- Philippart, J.C. and Ruwet, J.C., (1982).** Ecology and distribution of *Tilapias*. In "the biology and culture of *Tilapias*". (R.S.V. Pullin, and Lowe-Mc Connell, eds), ICLARM, Manille, Philippines. pp.15-59.
- Piferrer F., (1990).** Hormonal manipulation of the process of sex differentiation in Pacific salmon, PhD Thesis, Univ. Barcelona, 399 pp.
- Piferrer F., (2001).** Endocrine sex control strategies for the feminization of teleost fish. *Aquaculture.* 197, 229-281.
- Piferrer F. and Donaldson E. M., (1989).** Gonadal differentiation in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, after a single treatment with androgen or oestrogen at different stages during ontogenesis. *Aquaculture* 77, 251-262.
- Piferrer F. and Donaldson E. M., (1992).** The comparative effectiveness of the natural and synthetic estrogen for the direct feminization of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture* 106, 183-193.
- Piferrer F. and Donaldson E. M., (1993).** Sex control in Pacific salmon . In: Muir J. F., Roberts R. J., (Eds.), *Recent advances in Aquaculture*, vol. IV, Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 67-77.
- Piferrer F., Donaldson E. M., (1994).** Uptake and clearance of exogenous estradiol-17 β and testosterone during the early development of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), including eggs, alevins and fry. *Fish Physiol. Biochem.* 13, 219-232.
- Piferrrrer F., Zanuy S., Carillo M., Solar I. I., Devlin R. H., Donaldson E. M., (1994).** Brief treatment with an aromatase inhibitor during sex differentiation causes chromosomally female salmon to develop as normal, functional males. *J. Exp. Zool.* 270, 255-262.
- Price D. J., (1984).** Genetics of sex determination in fishes. A brief review. In: Potts, G. W., Wootton, R. (Eds.), *Fish Reproduction. Strategies and Tactics.* Academic Press, London, pp. 75-80.
- Purdom C. E., (1983).** Genetic engineering by the manipulation of chromosomes. *Aquaculture* 33, 287-300.
- Rosenstein S., Hulata G., (1992):** Sex reversal in the genus *Oreochromis*: Immersion of eggs and embryos in oestrogen solutions is ineffective. *Aquacult. Fish. Manage.*, 23: 669-678.
- Rosenstein S. and Hulata G., (1994).** Sex reversal in the genus *Oreochromis*: optimization of feminization protocol. *Aquacult. Fish. Manage.* 25, 329-339.
- Rothbard S., Solnik E., Shabbath S., Amado R. and Grabie I., (1987):** The technology of mass production of hormonally sex-reversed all-male *Tilapias*. Fish Breeding Centre, Gan-Shmuel, 38810, and department of zoolog, Tel Aviv University, Israel.

- Rothbard S., Zohar Y., Zmora N., Levavi-Sivan B., Moav B., Yaron Z., (1990).** Clearance of 17 α -ethynyltestosterone from muscle of sex-reversed tilapia hybrids treated for growth enhancement with two doses of the androgen. *Aquaculture* 89, 365-376.
- Ruwet, J.C., (1962).** La reproduction des *Tilapia macrochir* (Blgr) et *Tilapia melanopleura* (Dum) au lac de barrage de la Lufira (Haut Katanga). *Rev. Zool. Bot. Afr.* 66 : 244-271.
- Ruwet J.C., Voss J., Hanon L. et Micha J. C., (1976).** Biologie et écologie du Tilapia. In « Symposium on aquaculture in Africa » ; FAO/CIFA Tech. Pap. 4 (Suppl. 1) pp. 332-364.
- Satoh N. and Egami N., (1972).** Sex differentiation of germ cells in teleost *Oryzias latipes* during normal embryonic development. *J. Embryol. Exp. Morphol.* 28,385-395.
- Scheffer M., (1998).** Ecology of Shallow Lakes. Chapman and Hall, London, UK.
- Schreck C. B., (1973).** Uptake of 3H-testosterone and influence of an antiandrogen in tissues of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 21, 60-68.
- Scott A. G., Penman D. J., Beardmore J. A. and Skibinski D. O. F., (1989).** The YY Supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its potential in Aquaculture. *Aquaculture*, 78: 237-251.
- Shelton W. L., (1982).** Reproduction of a reproductively limited grass acrp for biological control of aquatic weeds – phase II. *Water Resour. Res. Inst. Bull.* 45.
- Shibata N., Hamaguchi S., (1988).** Evidence for the sexual bipotentiality of spermatogonia in the fish, *Oryzias latipes*. *J. Exp. Zool.* 245, 71-77.
- Solar I. I., Baker I. J., Donaldson E. M., (1987).** Experimental use of female sperm in the production of monosex female stocks of Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) at commercial fish farms. *Can. Tech. Fish. Aquat. Sci.* 1552, 14pp.
- Swingle, H. S. (1960).** Comparative evaluation of two tilapias as pondfishes in Alabama. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 89 (2): 142-148.
- Tave D., (1993).** Review of a basic genetics. *Genetics for Fish Hatchery Managers*. 2nd edn. Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 7-20.
- Thorgaard G. H., (1983).** Chromosome set manipulation and sex control in fish. In : Hoar W. S., RANDALL D. J., DONALDSON E. M. (Eds.), *Fish Physiology*, vol. IX, Academic Press, New York, pp. 405-434.
- Todo T, Ikeuchi T., Kobayashi T., Nagahama Y., (1999).** Fish androgen receptors : cDNA cloning, steroid activation of transcription in transfected mammalian cells, and tissue Mrna levels. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 254, 378-383.
- 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 de l'Ecole Nationale Supérieure .pp. 158
- Toguyeni A., Fauconneau B., Boujard T., Fostier A., Kuhn E. R., Mol K. A., Baroiller J. F., (1997).** Feeding behaviour and food utilisation in tilapia, *Oreochromis niloticus* : effect of sex ratio and relationship with the endocrine status. *Physiol. Behav.* 62 (2), 273-279.
- Trewavas E., (1983).** Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. *British Museum Natural History*, London, UK. 583pp.
- Ufodike E. B. C. and Madu C. T., (1986).** Effects of methyltestosterone on food utilization and growth of *Sarotherodon niloticus* fry. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 52: 1919-1922.
- Van Den Hurk R. and Van Oordt P. G. W. J., (1985).** Effects of natural androgens and corticosteroids on gonad differentiation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Gen. Comp. Endocrinol.* 57, 216-222.
- Van Den Hurk R., Lambert J. G. D., Peute J., (1982)** Steroidogenesis in the gonads of rainbow trout fry (*Salmo gairdneri*) before and after the onset of gonadal sex differentiation. *Reprod. Nutr. Dévelop* 22,413-425.
- Van Den Hurk R., Slof G. A., Schurer F. A.,(1980).** Gonadal sex differentiation in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, with special reference to effects of steroid hormones and N, N-dimethylformamide. *Gen. Comp. endocrinol.* 40, 323.
- Varadaraj K., Sindhu Kumari, S., and Pandian, T. J. (1994).** Comparison of conditions hormonal sex reversal of Mozambique Tilapias. *Progressive Fish-cultturist* 56: 81-90.

- Wiebe J. P., (1967).** The reproductive physiology of the viviparous seaperch *Cymatogaster aggregate* Gibbons. Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, B.C.
- Winge O., (1934).** The experimental alteration of sex chromosomes into autosomes and vice versa, as illustrated by *Lebistes*. C. R. Trav. Lab. Carlsberg, Ser. Phys. 21, 1-49.
- Wohlfarth G. W., (1994).** The unexploited potential of tilapia hybrids in aquaculture. *Aquacult. Fish. Manage.* 25, 781-788.
- Wohlfarth G. W., Hulata G., Halevy A., (1990).** Survival, sex ratio and growth of some tilapia species and their interspecific hybrids. *Eur. Aquacult. Soc. Spec. Publ.* 11,87-1001.
- Wokoma K. and Marioghae I. E., (1996).** Survival of *Tilapia guineensis* under conditions of low dissolved oxygen and low pH. P.442-448. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J. B. Amon Kothias and D. Pauly (eds.) *The third International Symposium on Tilapia in Aquaculture.* ICLARM Conf. Proc. 41, 575 p.
- Yamamoto T., (1953).** Artificially induced sex-reversal in genotypic males of the medaka (*Oryzias latipes*). *J. Exp. Zool.* 123, 571-594.
- Yamamoto T., (1969).** Sex differentiation. In: Hoar, W. S., Randall, D. J. (Eds.), *Fish Physiology*, vol. III, Reproduction, Academic Press, New York, pp. 117-175.
- Yashouv A. and Eckstein B., (1965):** Regulation and control of spawning. *Bamidgeh.* 17: 66-67.
- Yoshikawa H., Oguri M., (1978).** Sex differentiation in a cichlid fish, *Tilapia zilli*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 44, 1093-1097.