



Université d'Abobo-Adjamé

République de Côte d'Ivoire
Union-Discipline-Travail
Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique



Année Universitaire
2009-2010

Numéro d'ordre

.....
69

Soutenue publiquement
le 20-07-2010

THESE

pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences et
Technologie des Aliments de l'Université d'Abobo-Adjamé

Option : Biochimie et Nutrition

Présentée par

KOUMI Ahou Rachel

SUBSTITUTION DE LA FARINE DE POISSON PAR LE
TOURTEAU DE SOJA DANS L'ALIMENTATION DE
Heterobranchus longifilis Valenciennes, 1840, *Sarotherodon
melanotheron* Rüppell, 1852 ET *Oreochromis niloticus*
(Linné, 1758) : INFLUENCE SUR LA QUALITE
DU MILIEU D'ELEVAGE, LA CROISSANCE ET
LA VALEUR NUTRITIVE DES POISSONS

Composition du jury :

- | | |
|--|-------------------|
| -Mme FANTODJI Agathe, Professeur Titulaire, | UAA, Présidente |
| -Mr KOUAME Lucien Patrice, Professeur Titulaire, | UAA, Co-directeur |
| -Mr ATSE Boua Célestin, Maître de Recherche, | CRO, Co-directeur |
| -Mr N'DOUBA Valentin, Professeur Titulaire, | UC, Rapporteur |
| -Mr YAO Kouakou, Maître de Conférences, | UAA, Examineur |
| -Mr KONE Tidiani, Maître de Conférences, | UC, Examineur |

TABLE DES MATIERES

TABLES DES MATIERES	I
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES FIGURES.....	XI
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	XII
ABREVIATIONS	XIII
REMERCIEMENTS.....	XV
DEDICACE.....	XVIII

INTRODUCTION.....	1
--------------------------	----------

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
--	----------

1- Présentation de la zone d'étude	7
1.1- Situation géographique, géomorphologie et hydrologie de la station de Layo	7
1.2- Paramètres physico-chimiques de l'eau de la station de Layo	7
1.3- Communautés d'organismes	9
1.3.1- Communautés phytoplanctoniques	9
1.3.2- Communautés phytobenthiques	9
1.3.3- Communautés zooplanctoniques	10
1.3.4-Communautés zoobenthiques	10
1.3.5- Faune ichtyologique.....	10
2- Généralités sur les poissons.....	11
2.1- Caractéristiques nutritionnelles des poissons.....	11
2.2- Nutrition des poissons.....	11
2.2.1- Qualité de l'aliment.....	11
2.2.2- Physiologie de la nutrition des poissons	12
2.2.2.1- Ingestion.....	12
2.2.2.2- Digestion	12
2.2.2.3- Absorption.....	13
2.3- Formulation de l'aliment des poissons	13
2.3.1- Principe de la formulation des aliments.....	13
2.3.2- Besoins en nutriments des poissons.....	14

2.3.3- Matières premières utilisées dans la formulation.....	16
2.3.3.1- Farine de poisson	16
2.3.3.2- Tourteau de soja.....	17
2.3.3.3- Huiles de poisson	17
2.3.3.4- Huile de soja	17
3- Présentation des espèces étudiées	18
3.1.- Etat des connaissances sur <i>Heterobranchus longifilis</i>	18
3.1.1- Données systématiques	18
3.1.1.1- Genre <i>Heterobranchus</i>	18
3.1.1.2- Espèce <i>Heterobranchus longifilis</i>	19
3.1.2- Description de l'espèce	19
3.1.3- Répartition géographique de l'espèce	20
3.1.4- Données écologiques et biologiques	20
3.1.4.1- Exigences écologiques	20
3.1.4.2- Biologie de la reproduction.....	21
3.1.4.3- Alimentation	22
3.1.5- Elevage de <i>Heterobranchus longifilis</i>	23
3.2- Etat des connaissances sur <i>Sarotherodon melanotheron</i>	24
3.2.1- Données systématiques	24
3.2.1.1- Genre <i>Sarotherodon</i>	24
3.2.1.2- Espèce <i>Sarotherodon melanotheron</i>	25
3.2.2- Description de l'espèce	25
3.2.3- Distribution géographique	26
3.2.4- Données écologiques et biologiques.....	27
3.2.4.1- Exigences écologiques	27
3.2.4.2- Biologie de la reproduction.....	28
3.2.4.3- Alimentation	29
3.2.5- Elevage de <i>Sarotherodon melanotheron</i>	30
3.3- Etat des connaissances sur <i>Oreochromis niloticus</i>	30
3.3.1- Données systématiques	30
3.3.1.1- Genre <i>Oreochromis</i>	30
3.3.1.2- Espèce <i>Oreochromis niloticus</i>	31
3.3.2- Description de l'espèce	31
3.3.3- Distribution géographique	32

3.3.4- Données écologiques et biologiques	34
3.3.4.1- Exigences écologiques	34
3.3.4.2- Biologie de la reproduction.....	35
3.3.4.3- Alimentation	36
3.3.5- Elevage de <i>Oreochromis niloticus</i>	38
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	39
1- Matériel.....	40
1.1- Matériel biologique	40
1.2- Structures d'élevage.....	40
1.3- Matériel de mesure des paramètres physico-chimiques.....	40
1.3- Matériel de suivi des élevages	40
2- Méthodes.....	43
2.1- Qualité du milieu d'élevage	43
2.1.1- Mesure des paramètres physico-chimiques	43
2.1.2- Dosage des sels nutritifs.....	43
2.1.3- Prélèvement de la matière en suspension.....	44
2.1.4- Prélèvement du Périphyton	45
2.2- Formulation des aliments expérimentaux	45
2.2.1- Matières premières utilisées.....	45
2.2.2- Méthode de formulation des aliments.....	47
2.2.3- Fabrication des aliments	48
2.2.4- Aliments formulés.....	48
2.2.5- Composition biochimique des aliments formulés.....	49
2.3- Elevage des poissons.....	52
2.3.1- Constitution des lots expérimentaux	52
2.3.2- Protocole expérimentale.....	52
2.3.3- Déroulement des expériences	53
2.3.3.1- Paramètres de croissance	53
2.3.3.2- Paramètres d'utilisation de l'aliment	54
2.3.3.3- Productivité de l'aliment.....	55
2.3.3.4- Paramètres biologiques	56
2.4- Analyses biochimiques	56

2.4.1- Teneur en humidité	56
2.4.2- Teneur en cendres	57
2.4.3- Composition minérale.....	57
2.4.4- Dosage de l'azote total.....	58
2.4.5- Teneur en protéines.....	59
2.4.6- Teneur en matières grasses	59
2.4.7- Profil acides gras.....	59
2.4.8- Teneur en fibres totales.....	60
2.4.9- Teneur en énergie.....	61
2.4.10- Paramètres de conversion des aliments.....	61
2.5- Analyses statistiques	62

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION 63

1- Influence de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja sur la qualité du milieu d'élevage	64
1.1- Résultats.....	64
1.1.1- Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des bacs d'élevage.....	64
1.1.2- Matières en suspension et périphyton.....	66
1.1.2.1- Matières en suspension et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de <i>Heterobranchus longifilis</i>	66
1.1.2.2- Matières en suspension et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de <i>Sarotherodon melanothron</i>	67
1.1.2.3- Matières en suspension et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de <i>Oreochromis niloticus</i>	68
1.2- Discussion	70
2- Influence de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'aliment sur la croissance et la valeur nutritive de <i>Heterobranchus longifilis</i>.....	73
2.1- Résultats.....	73
2.1.1- Croissance en poids corporel	73
2.1.2- Poids final, gain de poids, gain de poids quotidien et taux de croissance spécifique	73
2.1.3- Taux de conversion alimentaire et coefficient d'efficacité protéique....	75

2.1.4- Taux de cannibalisme, taux de mortalité naturelle, taux de survie et nombre de tête de lot récolté par bac.....	75
2.1.5- Gain lipidique journalier	75
2.1.6- Coût de production et temps de production	76
2.1.7- Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses.....	77
2.1.8- Composition minérale des carcasses.....	78
2.1.9- Profil acides gras des carcasses.....	79
2.2- Discussion	81
3- Influence de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'aliment sur la croissance et la valeur nutritive de <i>Sarotherodon melanotheron</i>.....	85
3.1- Résultats	85
3.1.1- Croissance en poids corporel	85
3.1.2- Poids final, gain de poids, gain de poids quotidien et taux de croissance spécifique.....	85
3.1.3- Taux de conversion alimentaire et coefficient d'efficacité protéique....	87
3.1.4- Taux de survie.....	87
3.1.5- Gain lipidique journalier et énergie retenue.....	87
3.1.6- Coût de production et temps de production	87
3.1.7- Indice viscérosomatique et hépatosomatique.....	88
3.1.8- Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses.....	89
3.1.9- Composition minérale des carcasses.....	90
3.1.10- Profil acides gras des carcasses.....	91
3.2- Discussion	93
4- Influence de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'aliment sur la croissance et la valeur nutritive de <i>Oreochromis niloticus</i>.....	96
4.1- Résultats	96
4.1.1- Croissance en poids corporel	96
4.1.2- Poids final, gain de poids, gain de poids quotidien et taux de croissance spécifique	96
4.1.3- Taux de conversion alimentaire et coefficient d'efficacité protéique....	98

4.1.4- Taux de survie.....	98
4.1.5- Gain lipidique journalier et énergie retenue.....	98
4.1.6- Coût de production et temps de production	98
4.1.7- Indice viscérosomatique et hépatosomatique.....	99
4.1.8- Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses	100
4.1.9- Composition minérale des carcasses.....	101
4.1.10- Profil acides gras des carcasses.....	102
4.2- Discussion	104
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	107
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	111
ANNEXES.....	134

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Besoins des poissons en minéraux (g/kg aliment sec).....	15
Tableau 2: Besoins en vitamines des poissons (mg/kg/aliment/j ou UI/kg/j).....	15
Tableau 3: Composition biochimique et prix des matières premières utilisées pour la formulation des aliments expérimentaux (% de masse sèche).....	46
Tableau 4: Composition du prémix vitaminique et minéral (/kg du prémix).....	46
Tableau 5: Table de formulation des aliments expérimentaux.....	47
Tableau 6: Proportions (%) de protéines de poissons substituées par celles de soja dans les aliments formulés (AP, AM et AS)	48
Tableau 7: Formulation, composition biochimique et coûts des aliments expérimentaux	50
Tableau 8: Composition minérale des aliments expérimentaux (g/kg d'aliment).....	51
Tableau 9: Composition en acides gras des aliments expérimentaux (% des acides gras totaux)	51
Tableau 10: Paramètres physico-chimiques de l'eau des bacs au cours de l'élevage de <i>Heterobranchus longifilis</i>	65
Tableau 11: Paramètres physico-chimiques de l'eau des bacs au cours de l'élevage de <i>Sarotherodon melanotheron</i>	65
Tableau 12: Paramètres physico-chimiques de l'eau des bacs au cours de l'élevage de <i>Oreochromis niloticus</i>	66

Tableau 13: Matières en suspension (MES) et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de <i>Heterobranchus longifilis</i>	67
Tableau 14: Matières en suspension (MES) et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de <i>Sarotherodon melanotheron</i>	68
Tableau 15 : Matières en suspension (MES) et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de <i>Oreochromis niloticus</i>	69
Tableau 16: Paramètres de croissance, d'utilisation alimentaire, de survie et de production de <i>Heterobranchus longifilis</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 120 jours d'élevage en bacs en béton.....	76
Tableau 17: Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de <i>Heterobranchus longifilis</i> en début (Pmi = 0,15 g) et fin d'expérience (% de matière sèche)	78
Tableau 18: Composition minérale des carcasses de <i>Heterobranchus longifilis</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 120 jours d'élevage en bacs en béton (g/kg de carcasse).....	79
Tableau 19: Profil acides gras des carcasses de <i>Heterobranchus longifilis</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 120 jours d'élevage en bacs en béton (% des acides gras totaux)	80
Tableau 20: Paramètres de croissance, d'utilisation alimentaire, de survie et de production de <i>Sarotherodon melanotheron</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton.....	88
Tableau 21: Paramètres biologiques de <i>Sarotherodon melanotheron</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton.....	89

Tableau 22: Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de <i>Sarotherodon melanotheron</i> en début (Pmi = 11,60 g) et fin d'expérience (% de matière sèche)	90
Tableau 23: Composition minérale des carcasses de <i>Sarotherodon melanotheron</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (g/kg de carcasse).....	91
Tableau 24: Profil acides gras des carcasses de <i>Sarotherodon melanotheron</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (% des acides gras totaux)	92
Tableau 25: Paramètres de croissance, d'utilisation alimentaire, de survie et de production de <i>Oreochromis niloticus</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton.....	99
Tableau 26: Paramètres biologiques des juvéniles de <i>Oreochromis niloticus</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton	100
Tableau 27: Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de <i>Oreochromis niloticus</i> en fin d'expérience (% de matière sèche)	101
Tableau 28: Composition minérale des carcasses de <i>Oreochromis niloticus</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (g/kg de carcasse)	102
Tableau 29: Profil acides gras des carcasses de <i>Oreochromis niloticus</i> nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (% des acides gras totaux)	103

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Situation géographique de la lagune Ebrié et localisation de la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo (Sylla <i>et al</i>, 2009).....	8
Figure 2: Aire de distribution de <i>Heterobranchus longifilis</i> en Afrique (Teugels <i>et al.</i>, 1990).....	21
Figure 3: Aire de distribution de <i>Sarotherodon melanotheron</i> en Afrique (Trewavas, 1983 modifiée).....	27
Figure 4: Aire de distribution de <i>Oreochromis niloticus</i> en Afrique (Philippart & Ruwet, 1982 modifiée).....	34
Figure 5: Plan de masse de la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo (Bonou, 1990).....	42
Figure 6: Evolution mensuelle du poids corporel de <i>Heterobranchus longifilis</i> (Pmi = 0,15 g) nourri avec les aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 120 jours.....	74
Figure 7: Effectifs cumulés des têtes de lots de <i>Heterobranchus longifilis</i> nourri avec les différents aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 120 jours.....	77
Figure 8: Evolution mensuelle du poids corporel de <i>Sarotherodon melanotheron</i> (Pmi = 11,60 g) nourri avec les aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 180 jours.....	86
Figure 9: Evolution mensuelle du poids corporel de <i>Oreochromis niloticus</i> (Pmi = 11,56 g) nourri avec les aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 180 jours.....	97

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

- Photographie 1: Spécimen de *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840 pêché
à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo..... 20**
- Photographie 2: Spécimen de *Sarotherodon melanotheron* Rüppel, 1852 pêché
à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo..... 26**
- Photographie 3: Spécimen de *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) pêché à la
Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo..... 32**
- Photographie 4: Bacs en béton à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo.... 41**

ABREVIATIONS

AFNOR	Association française de normalisation
AM	Aliment mixte
AOAC	Association of Analytical Chemists
AP	Aliment poisson
AS	Aliment soja
UE	Union Européenne
CEP	Coefficient d'efficacité protéique
CP	Coût de production
CRO	Centre de Recherches Océanologiques
ER	Energie retenue
ESB	Encéphalopathie spongiforme bovine
FAO	Food and Agriculture Organization
GLJ	Gain lipidique journalier
GP	Gain de poids
GPQ	Gain de poids quotidien
HCG	Hormone chorionique gonado- trophine
IC	Indice de consommation
IGS	Indice gonadosomatique
IHS	Indice hépatosomatique
ISO	International organization for standardization
IUPA	International union of pure and applied chemistry method
IVS	Indice viscérosomatique
Ln	Logarithme népérien
Ls	Longueur standard
MES	Matières en suspension
MOT	Matière organique totale
MS	Masse sèche
NCR	National council of research
P/E	Rapport Protéine/énergie
TC	Taux de cannibalisme
TCA	Taux de conversion alimentaire
TCS	Taux de croissance spécifique

TMN	Taux de mortalité naturelle
TP	Temps de production
TS	Taux de survie
TRITURAF	Société ivoirienne de trituration de graines oléagineuses et de raffinage d'huile végétale
REAL	Recherche et expansion de l'alimentation animale

REMERCIEMENTS

La thèse est une éducation à la vie, une ouverture sur le monde de la recherche et l'occasion de côtoyer un certain nombre de personnes sans lesquelles les idées, les expériences, les analyses et les phrases ne sauraient exister. C'est pourquoi, il m'est agréable de remercier à travers ces quelques mots tous ceux qui de près ou de loin, ont apporté une pierre à l'édifice.

Merci à Madame FANTODJI Agathe, Professeur Titulaire d'hydrobiologie, Laboratoire de Biologie et Cytologie Animale de l'Unité de Formation et de Recherches (UFR) des Sciences de la Nature (SN) à l'Université d'Abobo-Adjamé pour avoir accepté de présider le jury de cette thèse.

Je voudrais dire sincèrement merci à Monsieur KOUAME Lucien Patrice, Professeur Titulaire de biochimie et technologie alimentaire de l'UFR des Sciences et Technologies des Aliments (STA) et Doyen de l'UFR-STA à l'Université d'Abobo-Adjamé, co-directeur scientifique de cette thèse pour l'intérêt et la bienveillante attention qu'il a porté à ce travail. Trouvez ici le témoignage de ma profonde gratitude.

J'exprime toute ma reconnaissance à Monsieur ATSE Boua Celestin, Maître de Recherche au Département Aquaculture du Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan (CRO), co-directeur scientifique de cette thèse pour la qualité de l'encadrement et de la documentation. Merci pour l'exemple d'assiduité au travail que vous me donnez et pour avoir été à mes côtés un grand frère. Puisse Dieu vous bénir et vous guider dans vos entreprises.

Mes remerciements vont également à l'endroit de Monsieur N'DOUBA Valentin, Professeur Titulaire d'hydrobiologie à l'UFR Biosciences, Université de Cocody-Abidjan et vice Président de l'Université de Cocody. Je vous suis reconnaissante d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail. Merci de votre disponibilité et de votre sollicitude.

Merci à Monsieur YAO Kouakou, Maître de Conférences en hydrobiologie à L'UFR-SN, Université d'Abobo-Adjamé d'avoir accepté d'être membre de ce jury.

Merci à Monsieur KONE Tidiani, Maître de Conférences en hydrobiologie à l'UFR Biosciences, Université de Cocody-Abidjan d'avoir accepté de participer au jury de cette thèse.

Merci du fond du cœur à Monsieur GNAKRI Dago, Professeur Titulaire de nutrition et sécurité alimentaire de l'UFR-STA et à Monsieur ALASSANE Ouattara, Maître de

Conférences en hydrobiologie à l'UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université d'Abobo-Adjamé, tous deux rapporteurs de cette thèse, pour la qualité de leurs critiques et suggestions qui m'ont été très utiles pour l'amélioration de ce manuscrit.

Mes vifs remerciements vont à l'endroit de la Direction du CRO d'Abidjan pour les conditions de travail favorables dont j'ai bénéficiées. J'ai été très émue par la qualité de l'accueil que ce centre m'a constamment offert et surtout le financement total de ce travail.

Je voudrais remercier Monsieur KOUASSI N'Guessan Joël, Professeur Titulaire d'hydrobiologie à l'UFR Biosciences, Université de Cocody-Abidjan, ex-Directeur du CRO, pour m'avoir accepté comme stagiaire dans ce centre.

Que Monsieur KAMENAN Alphonse, Professeur Titulaire de biochimie et technologie alimentaire de l'UFR-STA, Université d'Abobo-Adjamé, reçoive l'expression de ma profonde gratitude pour le soutien qu'il m'a toujours accordé.

Je voudrais dire merci à Feu AGBO N'Zi (paix à son âme) Professeur Titulaire de biochimie et technologie alimentaire de l'UFR Biosciences, Université de Cocody pour m'avoir acceptée dans son laboratoire pour la réalisation des analyses de la composition biochimique des échantillons. Je remercie également les Docteurs, les Techniciens et les étudiants en thèse de ce laboratoire pour leurs conseils et leur amitié.

Merci au Docteur KOFFI Mathias du Laboratoire National d'Appui au Développement Agricole (LANADA) pour son aide plus que précieuse lors des analyses de la composition minérale des échantillons.

Je témoigne toute ma gratitude à Monsieur BOHOUA Louis Guichard, Maître de Conférences en biochimie et technologie alimentaire de l'UFR-STA à l'Université d'Abobo-Adjamé et aux Docteurs BLE Melecony Célestin, ALLA Yao Laurent (Département Aquaculture du CRO), KOFFI Ernest (Université de Cocody), et GONNETI Tia Jean (Université d'Abobo-Adjamé) pour leurs critiques et leurs contributions à l'amélioration de ce travail.

J'exprime également mon infinie reconnaissance à Messieurs COULIBALY Ivan Habib, BINATÉ Issouf, KOUMA Souleymane et ANIMAN Joseph, Ingénieurs au département aquaculture pour leur aide et leur amitié.

J'éprouve un réel plaisir à remercier tous les Techniciens du Département Aquaculture du CRO notamment Mesdemoiselles ORSOH Jacqueline, YÉ Sata, DJAKO Moya, ADOU

Madeleine, AKOUA Rachel, BLONDET Pauline ; Messieurs YAO Michel, DANHO Patrick, TANO Kouassi, ZOHIN Serge, KOUADIO Fulbert, ASSALÉ Richard et BLÉ Aimé pour leur collaboration. Je n'oublie pas Messieurs YAO Kouadio Bernard et COULIBALY Mohamed, Chauffeurs de l'équipe de recherche.

Je remercie tout particulièrement Feu PANGNI Koffi (paix à son âme), et les Docteurs SYLLA Soumaïla et KONAN Justin pour leur franche collaboration et l'ambiance d'amitié qu'ils ont sues entretenir et surtout pour leurs critiques positives.

J'ai pris plaisir à travailler avec de nombreux camarades stagiaires qui, par leur collaboration m'ont aidée à mener à terme ce travail. Je peux citer au passage, Mesdames OUATTARA Alice et KOFFI Apolline, Mademoiselles BODJI Marcelle et Messieurs YAPO Laurence, DJADJI Gervais, OTCHOUMOU Athanase et OSSEY Bruno, tous étudiants en année de thèse au CRO. Je leur souhaite bonne chance et bon courage dans leurs œuvres doctorales respectives.

Mes remerciements s'adressent également à l'ensemble du personnel de la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo qui a contribué à la réalisation des essais pratiques.

Merci à tous les amis et connaissance du CRO pour le sourire et la bonté de tous les matins.

Je rends hommage du fond du cœur à tous mes amis Monsieur THANO Barthélemy Luc, Madame YOUKOU Albertine, Mademoiselle KONE Yélakan Clarisse, Monsieur KONE Kalpy Julien, Monsieur TIESSE Didier, Monsieur KOUAME Aman Marius, Monsieur AFRAN Evariste, Monsieur KOUAME Guy Gérard, Madame YAPO Sandra Rose et Madame KONAN Marie Angel.

A mon père KADIO Koumi, à ma mère THIEMELE Akouassi Génévieve, à mes oncles THIEMELE Jacques Paul, AKA Michel, KAKOU Christophe, EGOUA Gnankon, AFFOUME Celestin, THANO Francois, THIEMELE Jonas, à mes tantes KAKOU Suzanne, THIEMELE Anne Marie, THANO Michelle, WADJA Ahou Yvonne, M'BAGNE Kady, BROU Abran, à mes frères et sœurs KOUMI Clémence, KOUMI Christelle, KOUMI Didier, KOUMI Floriane, KOUMI Ines, KOUMI Michaël, et KOUMI Morelle et à mes cousins, cousines, neveux et nièces. Qu'ils reçoivent ici l'expression de ma plus tendre affection.

DEDICACE

A mon Dieu

*Que l'honneur et la gloire te reviennent Père
toi qui es au début et à la fin de toute œuvre
bonne sur cette terre des hommes.*

A mon père

Je te dédie cette œuvre et te remercie pour la femme battante et respectueuse que tu as faite de moi ainsi que pour tous les énormes sacrifices réalisés à mon endroit. Sache père que je garde en moi tel un trésor précieux, ton amour pour le travail bien fait et ton sens aigu de la responsabilité.

A ma mère,

Je te dédie ce travail et te remercie infiniment pour la qualité de l'éducation que tu m'as donnée et tout l'amour que tu me portes. Puisse Dieu guider tes pas et te combler abondamment de grâces.

A mes frères et sœurs,

Je vous dédie ce travail, fruit de ma patience et de mon abnégation au travail comme le symbole de mon grand amour pour vous.

A ma nièce Motiki

Je te dédie cette thèse qui est le résultat de plusieurs années de travail, de courage et de patience en guise d'exemple et de flambeau. Puisse Dieu t'accorder la grâce de faire de longues et brillantes études.

INTRODUCTION

Le poisson constitue une ressource alimentaire très importante en Afrique. Selon Micha et Frank (2004), il représente plus de 70 % de la consommation en protéines de la population africaine. En Côte d'Ivoire, la consommation de poisson se situerait entre 11 et 14 kg/hab/an, soit environ un total de 278 463 tonnes (FAO, 2008). La production ivoirienne de poissons étant estimée à 43 532 tonnes/an, la demande nationale en produits halieutiques reste forte. Aussi le Gouvernement ivoirien a-t'il recouru aux importations de 268 333 tonnes, soit une sortie de devises annuelle d'environ 52,8 milliards de FCFA (FAO, 2008). Face à cette situation, l'Etat de Côte d'Ivoire a initié une politique de développement du secteur de l'aquaculture afin de réduire la faible disponibilité de poisson sur les marchés. C'est dans ce contexte qu'a été mis au point la vulgarisation de l'élevage de plusieurs espèces de poissons. Ainsi, diverses espèces autochtones telles que *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840, *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803), *Tilapia guineensis* (Bleeker, 1862), *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 et introduites: *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) et *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) ont fait l'objet d'étude pour une production intensive en élevage. Parmi ces espèces, *H. longifilis* et *O. niloticus* sont couramment élevées par les pisciculteurs ivoiriens parce qu'elles présentent de bonnes potentialités de production.

En élevage intensif, la farine de poisson constitue la principale source de protéines dans l'aliment des poissons. Elle est utilisée dans la formulation des aliments en raison de sa bonne appétence et de sa haute valeur biologique (El-Saidy et Gaber, 2003; Wu *et al.*, 2004). Cependant, cette farine coûte chère et de ce fait l'aliment représente environ 50 % du coût de production du poisson (Legendre, 1991; Atsé, 2000). Les coûts élevés de cette matière première, font de l'alimentation des poissons la contrainte majeure de l'émergence de la pisciculture dans les pays en développement (Cissé *et al.*, 1995; Pouomogne *et al.*, 1997; Huecht, 2000). De plus, les fermes aquacoles sont confrontées aux problèmes d'instabilité dans la production et à la pollution phosphorique due à la farine de poissons (Bergheim *et al.*, 1984 ; New & Csavas, 1995 ; FAO, 2002). En effet, elle contient 51,1-72,0 % de protéines et 1,7- 4,2 % de phosphore (NCR, 1993). L'utilisation de cette matière première riche en éléments nutritives entraîne des rejets en azote et en phosphore dans le milieu d'élevage. Ces composés sont des fertilisants responsables de la croissance des algues et des macrophytes dans l'eau de réception (Pillay, 1992). Par ailleurs, une forte concentration en matières organiques de l'eau et la croissance excessive d'algues périphytique induisent une diminution du taux d'oxygène disponible dans le milieu d'élevage entraînant ainsi une hyper-nitrification et une eutrophisation de l'eau (Jahan *et al.*, 2002). Selon Cowey et Cho (1991) et Talbot et

Hole (1994), la modification des aliments formulés par l'utilisation de matières premières d'origine végétale est une voie de réduction des excréments en azote, phosphore et solides totaux issus du métabolisme des poissons. Chez les salmonidés, Jahan *et al.* (2000; 2002) observent une réduction des taux d'azote total et de phosphores rejetés dans le milieu d'élevage lorsque les protéines végétales remplacent une portion de la farine de poisson dans l'aliment formulé.

De plus en plus, les priorités de recherche en nutrition aquacole portent sur la réduction et l'élimination de la farine et de l'huile de poisson dans la formulation des aliments de poissons (Craig, 2004). Dans les pays à économie essentiellement basée sur l'agriculture, une solution est offerte par la disponibilité de sous-produits agricoles tels que le tourteau de la graine de coton et le tourteau de soja. Ces tourteaux sont utilisés pour substituer la farine de poisson dans l'alimentation des poissons d'élevage pour leur prix raisonnable et leur constante disponibilité. Cependant, ces produits sont déficitaires en certains acides aminés essentiels et contiennent des fibres, des facteurs anti-trypsiques, des lectines, des saponines, de la génistine et des tanins qui peuvent perturber le processus de digestion des poissons (Kakade *et al.*, 1970; Wolf et Thomas, 1970; Ayet *et al.*, 1996; Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000). Le tourteau de la graine de coton, en plus d'avoir une teneur élevée en fibres par rapport au tourteau de soja, contient une forte proportion de gossipol (Martin, 1990) et est moins riche en protéines. De ce fait, le tourteau de soja est utilisé de préférence pour remplacer la farine de poisson en raison de sa haute teneur protéique (48 – 50 %) et de son profil équilibré en acides aminés essentiels, (NCR, 1993; Storebakken *et al.*, 2000).

Au cours de ces dernières années plusieurs travaux de substitution de la farine de poissons par le tourteau de soja dans l'alimentation des poissons-chats *Clarias lazera* (Valenciennes, 1840), *Ictalurus punctatus* (Rafinesque, 1818) et du tilapia *Oreochromis niloticus* ont été réalisés (Hogendoorn *et al.*, 1983 ; Shiao *et al.*, 1987 ; Balogun et Ologhobo, 1989 ; Webster *et al.*, 1995 ; Hoffman *et al.*, 1997 ; Wilson *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2004). Il ressort que l'incorporation du tourteau de soja dans l'alimentation peut améliorer les performances de croissance et les taux d'utilisation alimentaire de *C. gariepinus*, *I. punctatus* et *O. niloticus*. Cependant très peu de travaux traitent de l'utilisation des protéines d'origine végétale dans l'alimentation du poisson-chat africain *H. longifilis* et du tilapia *S. melanotheron*.

Le poisson-chat *H. longifilis* est beaucoup apprécié par la population ivoirienne (Legendre, 1989; Otémé *et al.*, 1996). De plus, les caractéristiques biologiques et écologiques telles que sa bonne adaptation aux aliments et sa croissance rapide (Legendre, 1983) font de lui un poisson couramment utilisé pour la pisciculture. *H. longifilis* a un régime alimentaire omnivore avec une nette tendance carnassière (Micha, 1973 ; Bard *et al.*, 1976). La formulation d'aliment pour ces poissons carnivores nécessite des proportions de 30 à 50 % de farine de poisson (Hardy, 1999). De plus, les fortes mortalités constatées au cours des élevages des larves et des juvéniles dues au cannibalisme constitue un problème majeur. La substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'alimentation du poisson *H. longifilis* pourrait diminuer le coût de l'aliment, améliorer la croissance et promouvoir ainsi l'élevage de ce poisson. Ce champ d'investigation n'a pas encore été suffisamment exploré.

Le tilapia *S. melanotheron* est un poisson herbivore (Lowe-McConnell, 2000), les aliments formulés pour ces poissons sont riches en farine de poisson et ressemblent beaucoup à ceux utilisés pour les poissons carnivores (Hugues et Handwerker, 1993). Les travaux de Cissé (1986) et de Legendre (1991) rapportent pour cette espèce une mauvaise utilisation de l'aliment artificiel formulé avec la farine de poisson entraînant ainsi une faible croissance au cours de son élevage. Selon Hem *et al.* (1994), elle croit bien dans les systèmes d'élevage Acadja enclos où le périphyton constitue la principale nourriture. *S. melanotheron* assimile bien les protéines végétales cependant très peu de travaux traitent des substitutions partielles ou totales des protéines animales par les protéines végétales dans son alimentation. L'incorporation des protéines végétales dans son alimentation pourrait réduire les coûts de production, améliorer les taux d'utilisation des aliments et la croissance.

Pour *Oreochromis niloticus*, cette incorporation a essentiellement pour but de réduire les coûts de production du poisson tout en gardant une croissance optimale des poissons à partir d'aliments à haute teneur protéique.

Pour ces trois espèces de poissons d'élevage, le tourteau de soja pourrait être une alternative protéique à la farine de poisson. Par ailleurs, la farine de poisson et le tourteau de soja diffèrent de par leur composition biochimique (NCR, 1993). L'introduction de tourteau de soja, pauvre en minéraux dans l'aliment, pourrait influencer la composition minérale de l'aliment formulé. De plus, les huiles végétales, exceptées quelques-unes telles que les huiles de palme et de coco, sont riches en acides gras à 18 carbones et en acides gras linoléique et linoléinique (Izquierdo *et al.*, 2003). Selon Watanabe (1982), l'introduction des huiles végétales dans l'alimentation des poissons modifie le profil en acides gras. Ceci limiterait

l'aptitude du poisson à convertir les acides gras à 18 carbones en de longues chaînes d'acides gras poly insaturés (Watanabe, 1982). Les substitutions partielles et ou totales de la farine de poisson par le tourteau de soja pourraient entraîner une modification des caractéristiques biochimiques des poissons nourris.

L'objectif de ce travail est d'utiliser le tourteau de soja comme substitut à la farine de poisson dans l'alimentation de *Heterobranchus longifilis*, *Sarotherodon melanothron* et *Oreochromis niloticus* en vue de réduire les coûts de production et d'améliorer la qualité du milieu d'élevage. Pour y parvenir, nous nous proposons dans un premier temps d'étudier les effets des substitutions partielles ou totales de la farine de poisson par le tourteau de soja sur la qualité du milieu d'élevage et dans un deuxième temps d'évaluer les effets de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'aliment sur la croissance et la valeur nutritive de ces trois espèces de poissons d'élevage.

Ce document se présente en trois chapitres.

Le premier chapitre est relatif aux généralités sur le milieu d'étude, les poissons, la formulation des aliments et les espèces étudiées. Le deuxième chapitre est consacré au matériel et méthodes utilisés pour la conduite et le suivi des expériences. Le troisième chapitre traite des résultats et discussions, suivis d'une conclusion générale.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1- PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1.1- Situation géographique, géomorphologie et hydrologie de la Station de Layo

La Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo (5° 19 N; 4° 19 O) est située dans le secteur IV de la lagune Ebrié à 40 km d'Abidjan, sur l'axe Abidjan-Dabou. Cette lagune est située dans le Sud de la Côte d'Ivoire entre 3° et 5° de longitude ouest et 3° et 8° de latitude nord (Figure 1). Elle est issue d'une dépression littorale d'origine fluviale creusée pendant la dernière glaciation puis isolée progressivement du golfe de Guinée par un cordon sédimentaire sableux (Tastet et Guiral, 1994).

Le secteur IV de la lagune Ébrié est alimenté en eau douce par deux rivières forestières qui sont : l'Agnéby et la Mé (Laë, 1992). Ces rivières côtières ont un régime équatorial (deux crues annuelles centrées sur juillet et octobre). Les apports d'eau douce en provenance de ces rivières varient saisonnièrement de façon considérable en fonction de la pluviométrie. La rive nord de la lagune Ebrié sur laquelle se trouve la Station de Layo présente de nombreuses baies d'orientations et de profondeurs variées. La morphologie de ce milieu et la localisation des entrées d'eau de mer (Canal de Vridi) et d'eau douce (Comoé, Agnéby, la Mé ...) entraînent une variabilité spatiale des paramètres physico-chimiques (Durand et Guiral, 1994 ; Kouassi, 1997).

1.2- Paramètres physico-chimiques de l'eau de la station de Layo

La zone marécageuse dans laquelle se trouve la Station de Layo a un hydroclimat fortement influencé par les crues de la rivière forestière Agnéby (Durand et Guiral, 1994). Ainsi, il apparaît une salinité moyenne mensuelle élevée de $3,5 \pm 1,4$ ‰ pendant la grande saison sèche. En revanche, la grande saison des pluies entraîne une chute brutale de la salinité qui tend vers 1 ‰ (Yapo *et al.*, 2007).

La transparence de l'eau est assez faible au niveau de la lagune avec des valeurs comprises entre 0,1 et 4 m. Les variations spatio-temporelles de la transparence reflètent celles de l'hydroclimat. En effet, les fortes valeurs de transparences (3 à 4 m) sont observées en saison sèche. En revanche, la transparence est généralement inférieure à 1 m et diminue jusqu'à 0,20 m en période de crues (Durand et Guiral, 1994). Simier *et al.* (2003), pour cette même lagune, rapportent des valeurs similaires de transparence comprises entre 0,4 et 3,2 m avec une moyenne de 1,40 m.

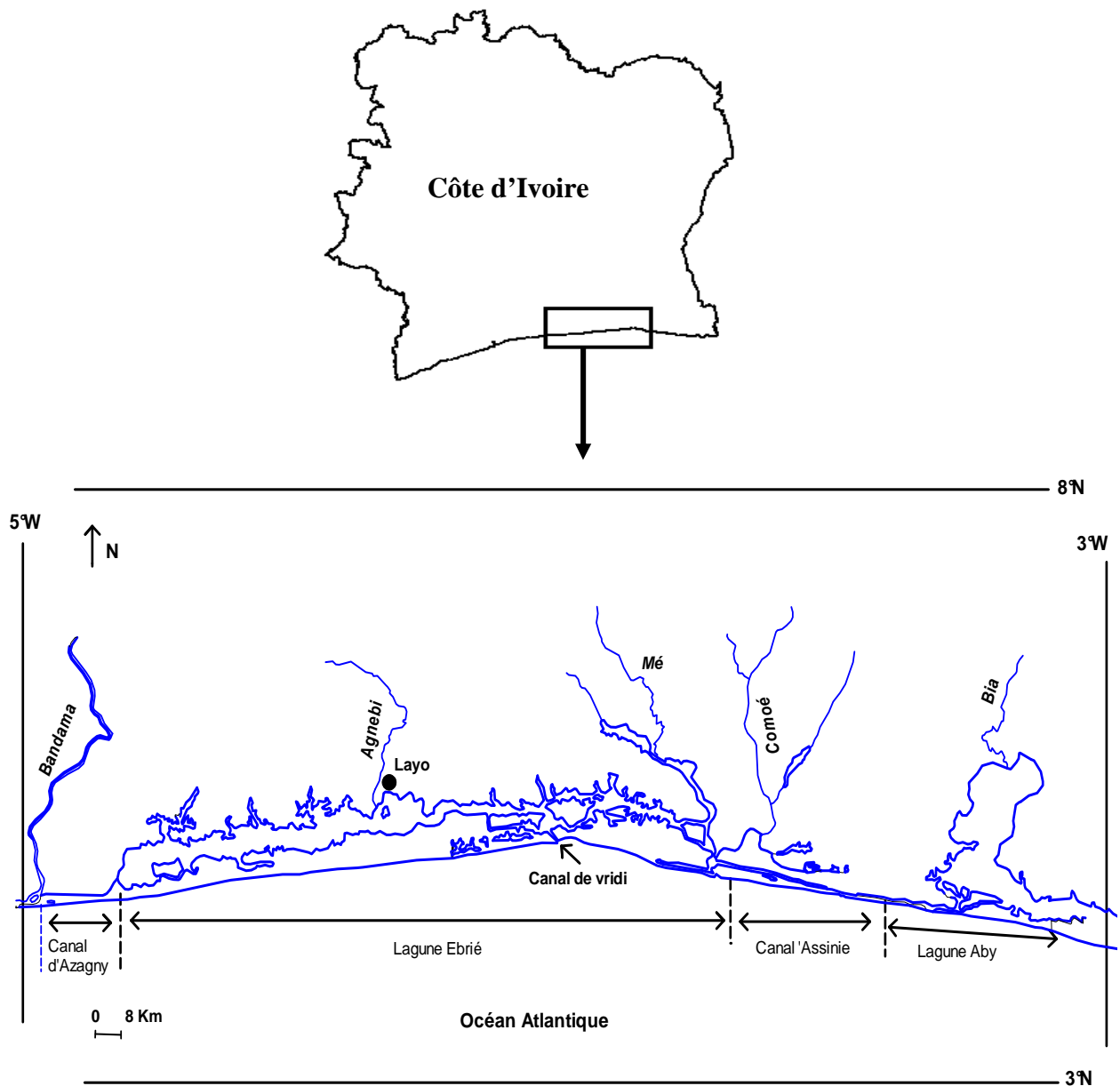


Figure 1: Situation géographique de la lagune Ebrié et localisation de la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo (Sylla *et al.*, 2009)

Pendant la période de février 2004 à février 2006, la température mensuelle moyenne de la lagune Ebrié à la station de Layo a varié de 27,2°C en novembre à 30,7°C en mars (Atsé *et al.*, 2009a).

D'une façon générale, les conditions d'oxygénation de la lagune Ebrié à cette station sont favorables surtout dans la colonne d'eau, avec des concentrations comprises entre $5,2 \pm 3,5$ et $6,2 \pm 1,8$ mg/L en surface (Yapo *et al.*, 2007). Les valeurs maximales de 8 mg/L sont enregistrées au cours de la saison sèche (décembre, janvier et février) et au début de la saison des pluies (mai, juin et juillet).

Selon ces mêmes auteurs, le pH de l'eau à la station de Layo varie de 6,1 à 8,3.

Les Concentrations en sels nutritifs de la lagune Ebrié augmentent pendant la saison des pluies surtout en périodes de crues. Les valeurs des teneurs en nitrites et nitrates sont comprises entre 0 et 3,21 $\mu\text{mol/L}$ et entre 0,20 et 8,68 $\mu\text{mol/L}$ respectivement (Kouassi, 2005). Selon cet auteur, la teneur en phosphore de la lagune Ebrié varie de 0,33 à 2,95 $\mu\text{mol/L}$ à la Station de Layo.

1.3- Communautés d'organismes

1.3.1- Communautés phytoplanctoniques

Les communautés phytoplanctoniques se composent des classes de Cyanobactéries, de Diatomophycées, de Pyrrophytées, de Chlorophycées et de Euglénophycées (Iltis, 1984). Les concentrations moyennes en chlorophylles du secteur IV de la lagune Ebrié sont faibles et comprises entre 5 et 10 $\mu\text{g/L}$ (Dufour, 1994).

1.3.2- Communautés phytobenthiques

Les Phytoflagellés, les Cyanobactéries et les Diatomées constituent l'essentiel des communautés phytobenthiques de la lagune Ebrié (Plante-Cuny, 1977). La totalité de la biomasse du microphytobenthos se situe sur les fonds de 0 à 5 m. Les teneurs en chlorophylles du sédiment superficiel sont en moyenne de 150 à 200 mg/m^2 pour les fonds de 1 à 3 m et de 5 à 10 mg/m^2 pour les fonds de 5 m (Dufour, 1994). Il y a une prédominance de la chlorophylle benthique sur la chlorophylle phytoplanctonique sur les fonds de 0 à 3 m, et l'inverse au-delà (Dufour, 1994).

1.3.3- Communautés zooplanctoniques

Les communautés zooplanctoniques comme l'a indiqué Kouassi (1997) sont très diversifiées à l'échelle lagunaire, avec plus de 57 taxons. Les copépodes, principalement *Acartia clausi*, *Oithona brevicornis* et *Spseudodiaptomus hessei* représentent environ 80 à 90 % de toute la biomasse tandis que les Rotifères et les Cladocères ont une biomasse réduite, entre 4 et 5 %. Chez ces Copépodes, *Acartia clausi* est l'espèce dominante, puis viennent *Pseudodiaptomus hessei* et divers cyclopidés dont *Oithona brevicornis* et *Apocyclops panamensis*. Les Ostracodes ne sont pas en grande quantité à Layo et les Rotifères sont représentés par les genres *Notomata* et *Brachionus*. Par ailleurs, les larves de gastéropodes y sont importantes (Kouassi, 1997).

1.3.4- Communautés zoobenthiques

La faune benthique de la lagune Ebrié est très diversifiée comprenant trois groupes zoologiques: les Polychètes, les Crustacés et les Mollusques (Guiral *et al.*, 1999). De tous ces organismes benthiques, les mollusques sont les plus importants en nombre (Zabi et Le Loeff, 1992). Ils sont suivis des polychètes et des crustacés. En effet, selon le même auteur, les biomasses des mollusques représentent plus de 95 % du total du macrofaune benthique. Les crustacés non exploités ne constituent que 1 à 2 %. Enfin les autres groupes constituent 3 à 4 %.

1.3.5- Faune ichthyologique

L'ichtyofaune de la lagune Ébrié est connue dans son ensemble bien que certains points de nomenclature et de systématique restent à préciser. Au total 153 espèces appartenant à 71 familles ont été enregistrées dans toute la lagune. Les Carangidae, composés de 11 espèces constituent la famille la plus représentée (Albaret, 1994; Guiral *et al.*, 1999). La lagune Ébrié est caractérisée par une faune principalement d'origine continentale traversant la région biogéographique du Ghana à la Côte d'Ivoire. Cette lagune présente une double source potentielle puisqu'elle peut être colonisée par des espèces venant de l'océan et des milieux aquatiques dulcicoles contigus (Lévêque, 1997 ; Baran, 2000). Elle présente aussi une grande proportion d'espèces marines, estuariennes et d'origine continentale (Albaret, 1994 ; Baran, 2000). Ces auteurs ont indiqué que la proportion élevée d'espèces continentales est due aux migrations de ces dernières de l'intérieur de la région biogéographique Côte d'Ivoire–Ghana et des variations hydrographiques.

2- GENERALITES SUR LES POISSONS

2.1- Caractéristiques nutritionnelles des poissons

A l'instar de nombreux produits animaux, les poissons renferment de l'eau, des protéines, des lipides, des glucides, des minéraux et des vitamines. Les différentes teneurs de ces composantes varient en fonction de l'espèce, de l'âge, du sexe, de l'environnement et de la saison (Love, 1980). La teneur en protéines de la chair des différents poissons varie de 15 à 24 % de la matière fraîche (Medale *et al.*, 2003). Selon ces mêmes auteurs, les protéines de poisson sont plus digestibles et leurs teneurs en acides aminés essentiels (lysine, méthionine et cystéine) sont en général un peu plus élevées que celles de la viande de bœuf. Les teneurs en lipides, très variables selon les espèces, sont inférieures à 1 % du poids frais pour des poissons maigres (cabillaud, merlan) et supérieures à 10 % pour les poissons gras (thon, maquereau, Hareng, saumon, sardine). Chez tous les poissons, la teneur en lipides de la chair augmente avec l'âge et la taille des individus alors que la teneur en eau diminue (Medale *et al.*, 2003). Cependant, la variation de la teneur en lipides de la chair est fonction de l'alimentation et en particulier du contenu énergétique de l'aliment consommé (Corraze et Kaushik, 1999 ; Regost *et al.*, 2003). Le poisson est pauvre en glucides mais riche en sels minéraux avec des teneurs de 0,6 à 2,5 % de la matière fraîche (Piclet, 1987). Les minéraux essentiels, que l'on retrouve dans le poisson sont le phosphore, le fer, le calcium, le magnésium, le sodium et le sélénium pour les poissons gras, en plus de ces minéraux les poissons maigres sont riches en iode (Medale *et al.*, 2003). Les teneurs de ces minéraux dans le poisson varient avec l'alimentation. Quelle que soit l'espèce, le poisson est une source importante de vitamines, notamment les vitamines A, D et E (Elvevoll et James, 2000).

Du point de vue nutritionnel, le poisson est considéré comme un aliment à haute valeur diététique car sa chair est moins grasse que la viande et les acides gras longs poly-insaturés essentiels de la série n-3 qu'il contient ont un effet cardio-protecteur avéré (Ackman, 1995).

2.2- Nutrition des poissons

2.2.1- Qualité de l'aliment

La qualité de l'aliment dépend de sa composition et de la capacité des différents nutriments à être digérés et assimilés. Les protéines et l'énergie sont les deux facteurs qui influencent plus la qualité de l'aliment (Bowen, 1982). Les protéines sont catabolisées pour

contribuer à la production des muscles et des organes internes. Le choix de l'aliment doit résoudre le compromis entre la quantité de protéines et l'énergie utilisable (Hutabarat et Jaucey, 1987). Selon ces auteurs, ces deux variables, ainsi que leur interaction affectent le taux d'ingestion dont dépend la croissance des poissons. Une forte ingestion compense largement une faible teneur en énergie, mais elle ne compense pas un faible niveau de protéines (Bowen, 1982).

Pour estimer la qualité de l'aliment, plusieurs auteurs utilisent le rapport protéine/énergie assimilable exprimé en mg/kJ (Bowen, 1979, 1982 ; De Silva *et al.*, 1984; Getachew, 1987). Chez *Sarotherodon mossambicus*, un minimum de 4 mg/kJ est nécessaire pour maintenir la croissance, alors qu'au-delà de 25 mg/kJ, l'impact sur la croissance est négatif (Bowen, 1982). Chez *Oreochromis niloticus*, une croissance optimale est atteinte avec des teneurs de 27 à 35 % de protéines dans l'aliment (Wee et Tuan, 1988). Pouomogne (1994) propose quant à lui des teneurs optimales en protéines de 30 à 36 % chez *O. niloticus*. En élevage intensif, selon Luquet et Moreau (1989), il existe une relation linéaire entre le besoin en protéines du poisson et sa vitesse de croissance spécifique. Hopher (1988) suggère un rapport de protéines/énergie de 22,9 mg/kJ pour une croissance maximale chez les poissons.

2.2.2- Physiologie de la nutrition des poissons

2.2.2.1- Ingestion

Le mode d'alimentation des poissons est le plus souvent lié à la forme de leur cavité buccale (Brown, 1999). Les aliments sont râpés par les dents pharyngiennes avant d'être ingérés. Les particules non utilisables et l'eau en excès sont rejetées à travers les branchies (Moriarty, 1973).

2.2.2.2- Digestion

Quand le poisson se nourrit, l'aliment nouvellement ingéré transite dans l'estomac où il subit un traitement acide. Chez *Oreochromis niloticus*, le pH stomacal est neutre quand l'estomac est vide et la sécrétion acide commence dès que le poisson s'alimente pour baisser le pH jusqu'à 1,2 (Moriarty, 1973). L'acide gastrique ramollit les parois des aliments ingérés et augmente la surface et le volume des interactions enzymes substrats en élevant l'efficacité de la digestion (Bowen, 1982). Un ensemble d'enzymes réalisent ensuite la fragmentation des macromolécules à travers l'hydrolyse des liaisons peptidiques des protéines (protéases), osidiques des glucides (amylases) et esters des lipides (lipases) (Moriarty, 1973 ; Moreau,

1988). Ces enzymes sont présentes dans l'estomac et dans l'intestin à des proportions variables et interviennent dans la digestion. L'amylase et la maltase assurent la digestion des glucides et les protéases celle des protéines. Parmi ces enzymes, la pepsine, la trypsine et la chymotrypsine sont des endopeptidases. Elles hydrolysent les liaisons peptidiques spécifiques à l'intérieur des molécules protéiques qui sont ainsi transformées en peptides. Les protéines sont digérées dans le premier quart de l'intestin tandis que les peptides le sont tout le long du tube intestinal (Bowen, 1982). Les lipides sont émulsionnés par les sels biliaires avant d'être hydrolysés par la lipase pancréatique (Moreau, 1988).

2.2.2.3- Absorption

L'absorption des nutriments a lieu au niveau des parois intestinales. Cette étape est le point de départ du processus nutritionnel, à partir duquel la matière et l'énergie sont transférées au poisson. L'efficacité de l'absorption dépend de la digestion, de la nature des aliments et de l'état physiologique du poisson (Mélard, 1986). Elle est également fonction de la concentration des nutriments dans l'aliment et du pH stomacal (Moriarty et Moriarty, 1973).

2.3- Formulation de l'aliment des poissons

2.3.1- Principe de la formulation des aliments

Les aliments formulés ont pour principales composantes les protéines, les lipides, les glucides, les vitamines et les minéraux. La proportion de protéines dans le régime alimentaire du poisson est importante et généralement plus élevée que ceux des animaux terrestres (Jauncey et Ross, 1982). Selon ces auteurs, le niveau de protéines permettant une croissance maximale diminue au fur et à mesure que la taille des poissons augmente. Les protéines constituent la source d'énergie la plus onéreuse (Jauncey et Ross, 1982). Les lipides constituent la première source d'énergie (9,1 kcal d'énergie brute). Chez les tilapias, les besoins en glucides ont montré qu'il existait des possibilités importantes d'épargne des protéines par utilisation d'hydrates de carbone (Anderson *et al.*, 1983). Toutefois, les fibres ne sont pas utilisables par les poissons (Stickney, 1976).

Il n'y a pas de formulation standard, puisque l'intérêt d'un ingrédient particulier sera fonction de son abondance et de sa disponibilité selon les différentes régions. La formulation des aliments tient compte beaucoup de la satisfaction des besoins en nutriments préalablement établis selon les espèces, la taille et le stade physiologique (Cissé, 1995).

2.3.2- Besoins en nutriments des poissons

Les besoins en nutriments des poissons varient selon la taille des poissons et la teneur énergétique des rations alimentaires. Les taux de protéines alimentaires varient de 25 % pour les poissons de masse initiale de 35 g à 50 % pour les poissons de masse initiale de 0,5 g (Jauncey et Ross, 1982 ; Lazard, 2007). Chez les tilapias, De Silva *et al.* (1985) recommandent des taux de protéines alimentaires variant de 25 à plus de 35 %. Jauncey et Ross (1982) rapportent que la meilleure croissance d'alevins de *O. niloticus* (3 - 10 g) est réalisée avec un régime à 40 % de protéines et contenant un niveau d'énergie digestible suffisant pour le poisson. Chez le silure ces taux de protéines alimentaire varient de 25 à 50 %. Les travaux relatifs aux besoins en acides aminés des poissons sont peu nombreux, cependant, les poissons ont besoins de 10 acides aminés essentiels (arginine, histidine, isoleusine, leucine, lysine, méthionine + cystine, phénylalanine + tyrosine, thréonine, tryptophane et valine) comme la plupart des organismes vivants (Mazid *et al.*, 1979). L'apport de lipides dans l'alimentation des poissons est indispensable pour satisfaire les besoins en acides gras essentiels, au maintien de l'intégrité des structures membranaires, à l'absorption intestinale des lipides liposolubles et à la fourniture d'énergie. Les besoins en lipide bruts des aliments varient de 6 à 10 % selon l'espèce (Jauncey et Ross, 1982). Chez les tilapias, Takeshi *et al.* (1983) évaluent à 0,5 % du régime alimentaire les besoins en acide gras de la série oméga 6 (acide linoléique 18 : 2n-6). Les poissons ont également besoin de minéraux et vitamines. Les minéraux sont les constituants essentiels du squelette des poissons. Ces besoins sont en partie satisfaits grâce à leur capacité d'absorber les minéraux contenus dans l'eau. Les tableaux 1 et 2 donnent respectivement les besoins en minéraux et vitamines des poissons. Contrairement aux protéines, lipides, minéraux et vitamines, il n'y a pas de besoins en glucides chez les poissons. Cependant les glucides peuvent être utilisés comme substrat énergétique chez certaines espèces de poissons (Cahu, 2004).

Tableau 1: Besoins des poissons en minéraux (g/kg aliment sec)

Minéraux	Poissons en générale ⁽¹⁾	Tilapias	Silure ⁽³⁾
Calcium	2,7-5	6,5 ⁽²⁾	4,5
Phosphore	2,9-8	9 ⁽²⁾	4,5
Magnésium	0,4-0,7	0,6 ⁽²⁾	0,4
Fer	0,15-0,17	0,15 ⁽¹⁾	0,03
Zinc	0,015-0,03	0,010 ⁽²⁾	0,02
Cuivre	0,003	0,003 ⁽¹⁾	0,005
Manganèse	0,012-0,013	0,012 ⁽²⁾	≤ 0,002
Iode	0,0006-0,0011	0,001 ⁽¹⁾	-

Tableau 2: Besoins en vitamines des poissons (mg/kg/aliment/j ou UI/kg/j)

Vitamines	Poissons en général ⁽¹⁾	Tilapias	Silure ⁽³⁾
Thiamine B1	10-60	60 ⁽¹⁾	10
Riboflavine B2	20-200	60 ⁽²⁾	90
Pyridoxine B6	10-20	20 ⁽¹⁾	30
Acide Pantothénique	25-50	10 ⁽²⁾	10
Inositol	200-400	100 ⁽¹⁾	-
Acide Folique	6-15	10 ⁽¹⁾	1,2
Biotine (H)	1-15	10 ⁽¹⁾	-
Choline	500-4000	260-1250 ⁽²⁾	400
Niacine	28-200	150 ⁽¹⁾	14
Vitamine B12	0,09-1,015	2,05 ⁽¹⁾	-
Vitamine A	1000-2500 UI/kg/j	2000UI/kg/j ⁽¹⁾	1000-2000UI/kg/j
Vitamine E	40-300	100 ⁽¹⁾	25-50
Vitamine K	-	40 ⁽¹⁾	-
Vitamine C	30-50	50 ⁽²⁾	11-60

(1)Cissé (1995) ; (2) Pouomogne (1994) ; (3) Wilson et Moreau (1996)

UI : Unité internationale

2.3.3- Matières premières utilisées dans la formulation des aliments de poisson

En élevage intensif, pour réduire le coût de l'aliment artificiel, plusieurs produits et sous-produits locaux sont utilisés dans la formulation des aliments de poisson d'élevage. Ce sont des matières premières d'origine animale ou végétale bon marché, localement disponible et pouvant être utilisées comme substitut (Al-Hafedh et Siddiqui, 1998). Il s'agit des céréales (maïs, son de blé, son de riz), des tourteaux d'oléagineux, de protéagineux, de légumineuse (soja, arachide, palmiste, graine de coton, blé), des farines d'origine animale (viande, poisson, os, coquillage), des huiles d'origine animale et végétale (poisson, soja, palme) et des micro-ingrédients (acides aminés essentiels, prémix vitaminique et minéraux et acides gras essentiels) qui sont utilisés dans l'alimentation des poissons (Jackson *et al.*, 1982 ; Jauncey et Ross, 1982 ; Pillay, 1993 ; Tacon, 1993). Ces produits sont utilisés directement comme aliments ou comme ingrédients dans la fabrication des aliments composés (Moreau, 1996 ; Olvera-Novoa *et al.*, 2002). La source habituelle de protéines animales est la farine de poisson. Le tourteau de soja et le tourteau de la graine de coton sont utilisés comme source de protéines végétales (Cissé, 1995).

2.3.3.1- Farine de poisson

La farine de poisson contient 51,1 à 72 % de protéines et moins de 12 % de lipides (NCR, 1993). Elle est aussi sources de minéraux et de vitamines dont les teneurs sont variables (Kaushik et Manbrini, 1996). La farine de poisson est riche en calcium (1,90 – 6,00 %) et en phosphore (1,70 – 4,20 %) (NCR, 1993). En générale cette farine est produite à partir des déchets de la conserverie de thon (tête, peau, chutes de filetage, arêtes centrales, viscères et le foie), des poissons non consommés frais pour des raisons de goût et de qualité et des déchets des ateliers de traitement des crevettes. En Côte d'Ivoire cette farine est produite par la société de Recherche et d'Expansion de l'Alimentation Animale (REAL).

En aquaculture, la farine de poisson offre un large panel de composantes essentielles attribuables aux nombreuses espèces de poissons utilisées pour sa fabrication. Il est ainsi possible de sélectionner la farine en fonction de sa composition nutritionnelle ou de son origine spécifique (Goytortúa-Bores *et al.*, 2006; Nankervis et Southgate, 2006).

Elle est essentiellement destinée à la nutrition animale notamment les volailles, les ruminants et les poissons. Les craintes suscitées par l'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) au début de l'année 2001 ont poussé l'Union Européenne (UE) à interdire l'utilisation

des protéines animales dans tous les aliments pour animaux, à l'exception de la poudre de lait de vache et de la farine de poisson (FAO/SMIAR, 2001).

2.3.3.2- Tourteau de soja

Les tourteaux sont des résidus résultant du traitement de graines ou de fruits oléagineux après extraction des huiles. Les tourteaux de soja sont plus riches en protéines que les sous-produits céréaliers (Metailler et Guillaume, 1999). La teneur protéique de ce tourteau varie de 44,8 à 50,0 % (NCR, 1993). Les teneurs en calcium oscillent entre 0,20 et 0,40 % et les valeurs de teneur en phosphore varient entre 0,60 et 0,70 % de la masse sèche (NCR, 1993). La plus grande partie de tourteau est utilisée comme source de protéines pour l'alimentation des animaux d'élevage (volailles, porcs, vaches, poissons). En Côte d'Ivoire, les tourteaux de soja sont produits par TRITURAF (Société Ivoirienne pour la Trituration des Graines Oléagineuses et de Raffinage d'huile végétale) à Bouaké et par plusieurs petites unités réparties sur l'ensemble du pays. Le tourteau de soja contient de nombreuses substances anti nutritionnelles que sont ; les fibres, les lectines, les saponines, la génistine, les tanins et les facteurs anti-trypsiques (Kakade *et al.*, 1970; Wolf et Thomas, 1970 ; Ayet *et al.*, 1996; Storebakken *et al.*, 2000). La plupart de ces substances sont détruites après traitement thermique (Metailler et Guillaume, 1999).

2.3.3.3- Huiles de poisson

L'huile et la farine de poisson sont issues du même procédé de transformation. Ce procédé vise à séparer les fractions solides, huileuses et aqueuses de la matière première. 57 % des huiles de poisson produits sont destinées à l'aquaculture (FAO/SMIAR, 2001). Le principal intérêt nutritionnel de l'huile de poisson réside dans la présence de 25 à 40 % d'acides gras polyinsaturés (Bergé et Barnathan, 2005).

2.3.3.4- Huile de soja

L'huile de soja est extraite à partir de graines de soja contenant 18 à 21 % de lipides par utilisation de la chaleur ou des produits chimiques (NCR, 1993). Ce sont ces mêmes procédés de transformation qui permettent de produire le tourteau de soja. Ces procédés visent à séparer les fractions solides, huileuses et aqueuses de la graine de soja. L'huile de soja est riche en acides gras linoléique et linoléinique (Izquierdo *et al.*, 2003). Elle est utilisée pour la

consommation humaine et dans la fabrication de margarine. De plus en plus, cette huile est utilisée dans l'alimentation des poissons en supplément des huiles de poisson.

3- PRESENTATION DES ESPECES ETUDIEES

3.1.- Etat des connaissances sur Heterobranchus longifilis

3.1.1- Données systématiques

3.1.1.1- Genre Heterobranchus

L'ordre des siluriformes comprend 35 familles (Chardon, 1965) dont celle des Clariidae. Les Clariidae sont des poissons d'eau douce d'Afrique et d'Asie du sud-est. Ils sont représentés en lagune par deux genres essentiels, *Clarias* et *Heterobranchus*, qui ont un grand intérêt pour la pisciculture (le genre *Clarias* en Asie et Afrique, et le genre *Heterobranchus* en Afrique exclusivement). Le genre *Heterobranchus* se différencie du genre *Clarias* par l'existence d'une nageoire adipeuse bien développée entre la nageoire dorsale et la nageoire caudale. D'après Teugels *et al.* (1990), quatre espèces du genre *Heterobranchus* sont identifiées:

- *Heterobranchus longifilis*, sa présence est signalée dans plusieurs bassins côtiers de l'Afrique de l'Ouest, de la Guinée au Nigeria;
- *Heterobranchus bidorsalis*, une forme soudanienne connue des fleuves Sénégal, Volta, Niger, du bassin Tchadien et du Nil. En Afrique de l'Ouest, cette espèce a été observée aussi en Gambie et dans la rivière Bénoué au Nigeria;
- *Heterobranchus isopterus* (Bleeker, 1863), présent en Afrique, dans les bassins côtiers de la Guinée (Konkouré), au sud-est du Nigeria (rivière du Cross), est également rencontré dans les rivières du Sénégal;
- *Heterobranchus boulengeri* (Pellegrin, 1922), est rencontré en Afrique, dans le lac Moero, dans la rivière du Lukonzolwa en haute Congo et au Zimbabwe.

Parmi ces quatre espèces, deux sont présentes dans les cours d'eau ivoiriens (*Heterobranchus isopterus* et *Heterobranchus longifilis*) (Teugels *et al.*, 1992).

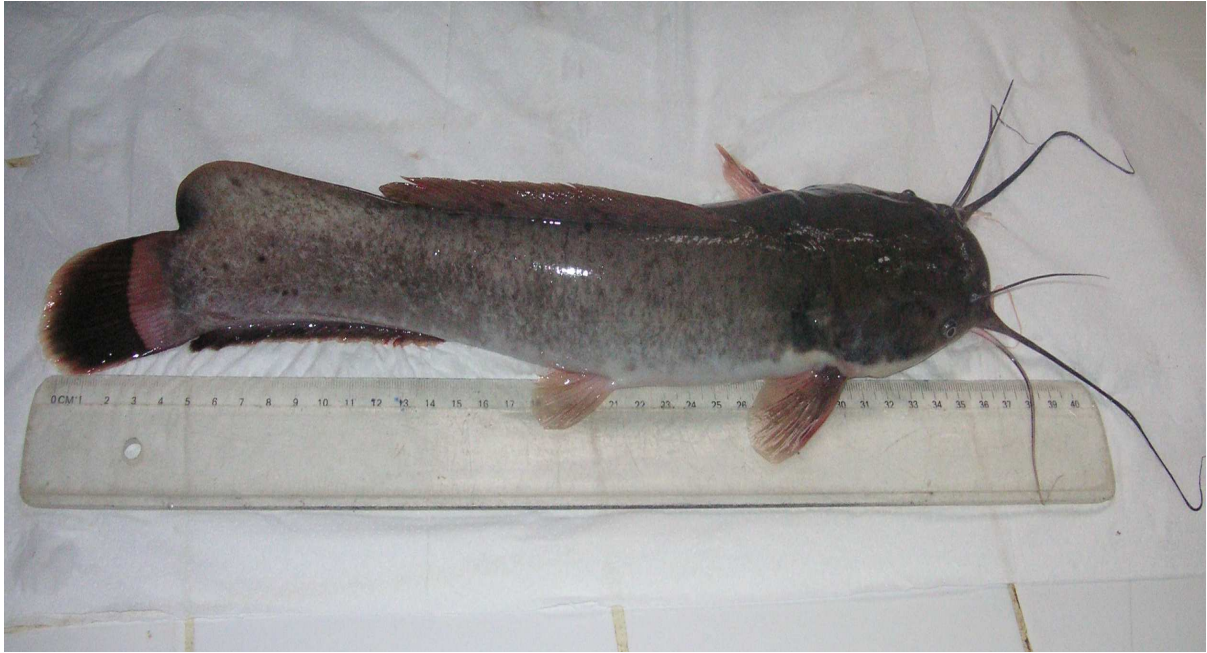
3.1.1.2- Espèce *Heterobranchus longifilis*

La position systématique de l'espèce *Heterobranchus longifilis* dans la classification ichthyologique selon Nelson (1994) est la suivante:

Règne.....	Animalia
Embranchement.....	Chordata
Sous-embranchement.....	Vertebrata (Craniata)
Super-classe	Gnathostomata
Grade	Teleostomi
Classe	Actinopterygii
Sous-classe	Neopterygii
Super-ordre	Ostariophysi
Ordre.....	Siluriformes
Famille.....	Clariidae
Genre.....	<i>Heterobranchus</i>
Espèce	<i>Heterobranchus longifilis</i>

3.1.2- Description de l'espèce

L'espèce *Heterobranchus longifilis* (Photographie 1) a un corps gris noir dépourvu d'écaille et une face ventrale blanche. Cette espèce est relativement allongée avec une nageoire dorsale comportant 26 à 35 rayons, suivie d'une nageoire adipeuse bien développée et d'une nageoire anale comportant 42 à 52 rayons (Legendre et Teugels, 1991). Sa tête large est munie de post-orbitaire et de supra-pré-opercule bien développés et jointifs. La bouche terminale large, porte des dents filiformes ou granuleuses en bandes prémaxillaires et vomériennes (Daget et Durand, 1981). Cette espèce se distingue de *Clarias gariepinus* par la largeur des plaques dentaires vomériennes et par la présence d'une nageoire adipeuse (Teugels *et al.*, 1990). Il existe un dimorphisme sexuel chez cette espèce. En effet, le mâle possède une papille génitale sous forme de fer de lance tandis que la femelle présente un simple orifice génital.



Photographie 1: Spécimen de *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840 pêché à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo

3.1.3- Répartition géographique de l'espèce

Selon Teugels *et al.* (1990), *Heterobranchus longifilis* présente une aire de répartition très vaste en Afrique (Figure 2). On la rencontre dans la quasi-totalité des fleuves et des bassins fluviaux de l'Afrique intertropicale (le Nil, le bassin Tchadien, le Niger, la Gambie). Sa présence est signalée dans plusieurs bassins côtiers de l'Afrique de l'Ouest, de la Guinée et au Nigeria. En Côte d'Ivoire, l'espèce *H. longifilis* a été identifiée dans la plupart des fleuves à savoir le Sassandra, le Bandama, le Comoé et l'Agnéby, ainsi que dans la lagune Ebrié (Teugels *et al.*, 1990).

3.1.4- Données écologiques et biologiques

3.1.4.1- Exigences écologiques

Les observations effectuées dans les rivières Oubangui et Bénoué constituent les premiers points de repère sur l'étude de la biologie de *Heterobranchus longifilis* en milieu naturel (Micha, 1973). L'espèce *Heterobranchus longifilis* semble bien s'adapter à un élevage dans les secteurs oligo-mésosalins qui représentent plus de la moitié de la superficie des lagunes ivoiriennes (Legendre, 1991). Cette espèce a la capacité de survivre dans les eaux présentant un taux d'oxygène dissous inférieur à 0,5 mg/L (Micha, 1973; Bard *et al.*, 1976).



● *H. longifilis*

Figure 2: Aire de distribution de *Heterobranchus longifilis* en Afrique
(Teugels *et al.*, 1990)

3.1.4.2- *Biologie de la reproduction*

➤ *Reproduction en milieu naturel*

En milieu naturel la première maturité intervient vers l'âge de 2 ans dans le Niger moyen (Motwani, 1970) et pas avant 3 à 4 ans dans l'Oubangui (Micha, 1973). Une fois en maturité sexuelle, les mâles de *H. longifilis* sont spermiantes tout le long de l'année (Legendre, 1991). Toutefois, la saison des pluies correspond à la période de reproduction privilégiée de l'espèce en milieu naturel (Micha, 1973 ; Legendre, 1986). Elle se reproduit sur une grande variété de substrats incluant les feuilles de palmiers (Micha, 1973). La femelle dépose des œufs par petits groupes en même temps que le mâle les fertilise en lâchant un nuage de laitance au-dessus de ceux-ci. Une fois fertilisés, la femelle disperse les œufs sur une grande surface par agitation de la queue. Après le fraie, les reproducteurs retournent en eaux plus

profondes en attendant une nouvelle crue pour se reproduire. Plusieurs fraies peuvent ainsi se succéder la même année (Micha, 1973).

➤ ***Reproduction en milieu d'élevage***

L'espèce *H. longifilis* ne se reproduit pas spontanément en captivité. Les travaux réalisés par Otémé (2001) ont montré que *H. longifilis* atteint la maturité sexuelle à l'âge de 12-14 mois pour les femelles et 10-11 mois pour les mâles. La maturation ovocytaire et l'ovulation sont provoquées par injection de l'hormone Gonadotrophine Chorionique Humaine (HCG) à raison de 1,5 UI/g de femelle (Legendre, 1986). La reproduction induite et la fécondation artificielle sont préférables pour un meilleur contrôle sur toutes les phases de la production des larves (Legendre, 1986). L'injection est faite dans la musculature dorsale approximativement à l'aplomb de la séparation des nageoires dorsales rayonnées et adipeuses. Après un temps de latence qui est fonction de la température (Gilles *et al.*, 2001), les ovocytes sont recueillis par massage abdominal. Le mâle est sacrifié et disséqué pour recueillir le sperme. Le sperme ainsi obtenu est dilué 10 fois dans un liquide physiologique (NaCl à 9 ‰). La laitance est soigneusement versée sur la masse d'ovocytes pesés et l'ensemble est mélangé avec précaution. Les œufs ainsi fertilisés sont transférés dans les auge d'incubation. L'incubation dure généralement 24 à 28 heures pour des températures comprises entre 27 et 29 °C. Elle a lieu en eau douce, dans l'obscurité (Legendre, 1991 ; Legendre & Teugels, 1991). Les techniques de reproduction induite et de fécondation artificielle sont à présent bien maîtrisées (Legendre, 1986; Slembourg et Legendre, 1988). La production massive de larves peut être obtenue tout au long de l'année (Legendre, 1991 ; Legendre *et al.*, 1991).

3.1.4.3- Alimentation

➤ ***Milieu naturel***

En milieu naturel, les larves de *Heterobranchus longifilis* se nourrissent de zooplancton et de toutes sortes de petits animaux aquatiques et d'insectes (Micha, 1973). Cette espèce qualifiée d'omnivore semble montrer une préférence marquée pour les vertébrés et insectes aquatiques ou terrestres (Bard *et al.*, 1976 ; Micha, 1973). L'importance des vertébrés dans son alimentation en milieu naturel indique que *Heterobranchus longifilis* bien que omnivore présente une nette tendance carnassière. Le régime alimentaire est zooplanctonophage jusqu'à l'âge de 5-6 jours (Bard *et al.*, 1976). Les cladocères (*Moina micrura*) représentent les proies préférentielles sélectionnées à ce stade. A partir du sixième

jour, le régime tend à se diversifier progressivement avec l'incorporation d'insectes de tailles croissantes. L'alimentation des poissons âgés de plus d'un mois est composée de proies diverses telles que les insectes, le zooplancton, les gastéropodes, les graines et les débris végétaux (Bard *et al.*, 1976).

➤ *Milieu d'élevage*

Les travaux de Kerdchuen (1992) et de Legendre (1992) ont permis de déterminer en milieu d'élevage, les besoins nutritionnels et le comportement alimentaire à différents stades du cycle d'élevage de *Heterobranchus longifilis*. En aquarium, les nauplii d'*Artemia salina* sont utilisés comme aliment de départ. Les larves de poids initial $0,01 \pm 0,002$ g atteignent des poids finaux de $1,10 \pm 0,03$ g après 35 jours d'élevage à une densité de 15 larves/L. Dans ces conditions, le taux de survie est de $69,2 \pm 6,7$ % (Atsé *et al.*, 2009b). En cages flottantes, les alevins de poids initial 0,8 g nourris avec un aliment commercial à 35 % de protéines obtiennent en 90 jours d'élevage des poids finaux variant entre 12,8 et 14,1 g. Les taux de cannibalisme augmentent avec la densité de mise en charge. Le cannibalisme atteint 40 % à une densité de 1000 poissons /m³ (Coulibaly *et al.*, 2007). Avec des individus de plus grandes tailles (poids initial $14,0 \pm 1,3$ g), ces mêmes auteurs obtiennent des poids finaux de $460,1 \pm 45,0$ g à une densité de 6 poissons/L après 270 jours d'élevage. En étang, l'espèce *H. longifilis* peut ingérer, en plus des insectes aquatiques présents, un aliment composé de toute une série de sous-produits locaux notamment les tourteaux de coton et d'arachide, les déchets d'abattoir et les drêches de brasserie (Micha, 1973).

3.1.5- Elevage de *Heterobranchus longifilis*

Les premiers essais d'élevage de *H. longifilis* ont été menés en association avec des tilapias, en enclos implantés dans la lagune Ebrié (Legendre, 1983). Dans ces conditions, *H. longifilis* qui se nourrit à la fois de granulés et de tilapias, présente un remarquable potentiel de croissance.

Les essais d'élevage de ce poisson en monoculture ont été tentés et les performances de croissance en milieu lagunaire ont été enregistrées (Legendre, 1987, 1991, Hem *et al.*, 1994). Les essais réalisés dans différentes structures d'élevage (enclos, cage enclos, bassin, étang) et basés sur l'utilisation d'un aliment composé à 35 % de protéines brutes, ont montré que la croissance de *H. longifilis* est très rapide (Hem *et al.*, 1994). Ces auteurs obtiennent des poids moyens de 50 g en 10 semaines à partir d'alevin de 0,1 g. En phase de grossissement ils rapportent également des poids finaux de 500 g en 6 mois et plus de 1 kg en 12 mois à partir

d'un poids moyen initial de 0,3 g. La bonne adaptation aux aliments, la résistance aux maladies, à la pollution et la capacité de survivre dans les eaux à faible quantité d'oxygène dissous font de *H. longifilis* un excellent poisson pour l'aquaculture (Micha, 1973; Bard *et al.*, 1976; Legendre, 1983). C'est un poisson recherché par la grande majorité des consommateurs ivoiriens (Legendre, 1989).

3.2- Etat des connaissances sur *Sarotherodon melanotheron*

3.2.1- Données systématiques

3.2.1.1- Genre *Sarotherodon*

Le genre *Sarotherodon* fait partie de l'ordre des Perciformes et de la famille des Cichlidae. Le nom *Sarotherodon* a été proposé par Rüppell (1852) comme un générique. Regan (1920) a réhabilité le nom *Sarotherodon* comme un sous-genre de *Tilapia* en y incluant toutes les espèces de tilapia dont la lame antérieure de l'os pharyngien inférieur est longue à l'exception de *T. tanganycae* (les dents des mâchoires étant toutes tricuspides). Le sous-genre, défini par Regan (1920) comprenait non seulement *Neotilapia* mais aussi tous les tilapias dont la lame antérieure de l'os pharyngien inférieur est longue, et des dents de la rangée externe bicuspidées. Ce qui faisait de ce groupe un très vaste sous-genre (Thys van den Audenaerde, 1971). Ainsi, de nombreuses espèces du genre *Sarotherodon* ont d'abord été décrites dans le genre *Tilapia*. Trewavas (1983) se basant surtout sur des caractères éthologiques, a transféré dans le genre *Sarotherodon*, les espèces chez lesquelles les mâles pratiquent l'incubation buccale. Outre ces caractères éthologiques, le genre *Sarotherodon* se distingue par les écailles sur le ventre presque de la même taille que celles des flancs. La papille génitale des mâles est petite et l'os pharyngien inférieur est plus long que large (Trewavas, 1983).

3.2.1.2- Espèce *Sarotherodon melanotheron*

La position systématique de *Sarotherodon melanotheron* dans la classification ichthyologique selon Nelson (1994) est la suivante:

Règne.....	Animalia
Embranchement.....	Chordata
Sous embranchement.....	Vertebrata (Craniata)
Super classe.....	Gnathostomata
Grade.....	Teleostomi
Classe.....	Actinopterygii
Sous-classe.....	Neopterygii
Super-ordre.....	Acanthopterygii
Ordre.....	Perciformes
Famille.....	Cichlidae
Genre.....	<i>Sarotherodon</i>
Espèce.....	<i>Sarotherodon melanotheron</i>

3.2.2- Description de l'espèce

La Photographie 2 présente un spécimen de *Sarotherodon melanotheron* provenant de la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo. L'espèce *S. melanotheron* est caractérisée morphologiquement par de petites dents, une bouche moyenne faisant environ 2/3 de la largeur de la tête et des écailles cycloïdes. La pectorale est falciforme (Pellegrin, 1903). La longueur de la tête est de 34,9-39,8 % et de 35,8-42,7 % de la longueur standard respectivement chez les femelles et les mâles. La largeur de l'os pré-orbitaire est de 24,2-31,0 % de la longueur de la tête. L'os pharyngien inférieur est long et étroit et les dents sont fines et bicuspidées sur l'os pharyngien. Il existe trois à six rangées de dents sur les mâchoires (Thys van den Audenaerde, 1971; Teugels et Thys van den Audenaerde, 1992).

Le tilapia *S. melanotheron* est caractérisé par la couleur bleue opaline claire en général et par la coloration de l'opercule qui est dorée chez le mâle et rosée chez la femelle (Trewavas, 1983). Les écailles, de deux ou trois rangées dorsales sont jaunes iridescentes. L'opercule de la femelle mature est transparent et le rouge des branchies en dessous, lui donne une apparence pourpre. Le menton, l'opercule et une partie du sub-opercule des mâles matures ont une couleur dorée (Trewavas, 1983). La lèvre inférieure est pâle, souvent blanche chez les mâles matures. Les nageoires dorsale et anale ont des taches plus ou moins marquées

et une coloration verdâtre iridescente. La tache "tilapienne" est présente chez les juvéniles et disparaît quand la longueur standard atteint 50 mm (Teugels et Thys van den Audenaerde, 1992).



Photographie 2: Spécimen de *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 pêché à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo

3.2.3- Distribution géographique

L'espèce *S. melanotheron* est présente dans les eaux saumâtres ouest-africaines principalement dans les lagunes et les estuaires. Elle est également présente dans les eaux douces adjacentes, les cours inférieurs des rivières, les lacs et les réservoirs avoisinants. L'aire de distribution géographique (Figure 3) des espèces du genre *Sarotherodon* s'étend du Sénégal à l'ancien Zaïre (Trewavas, 1983; Monod, 1984 ; Campbell, 1987; Teugels *et al.*, 1992 ; Teugels et Thys van den Audenaerde, 1992). Cette espèce est également répandue en Afrique tropicale, à Madagascar, au Sri Lanka et en Amérique (Teugels et Thys van den Audenaerde, 1992; Nelson, 1994).

Trewavas (1983) a identifié cinq sous espèces se répartissant comme suit :

- *Sarotherodon melanotheron heudelotii* (Duméril, 1859) du Sénégal jusqu'en Guinée;
- *Sarotherodon melanotheron paludinosus* (Trewavas, 1983) dans certaines eaux douces de la région de Dakar;

- *Sarotherodon melanotheron leonensis* (Thys van den Audenaerde, 1971), de la Sierra Leone jusqu'au Libéria;
- *Sarotherodon melanotheron melanotheron* (Rüppell, 1852), de la Côte d'Ivoire jusqu'au Cameroun;
- *Sarotherodon melanotheron nigripinnis* (Guichenot, 1859), de la Guinée équatoriale jusqu'au Congo.



Figure 3: Aire de distribution de *Sarotherodon melanotheron* en Afrique (Trewavas, 1983 modifiée)

3.2.4- Données écologiques et biologiques

3.2.4.1- Exigences écologiques

Les espèces du genre *Sarotherodon* sont caractérisées par leur grande tolérance à un large spectre de conditions environnementales (Auperin et Prunet, 1996). Elles supportent aussi bien de grandes variations de température (Chervinski, 1982) que de salinité (Fukusho, 1969). Certaines espèces réputées d'eaux douces sont rencontrées dans des estuaires ou en mer.

Plusieurs espèces de *Sarotherodon* sont euryhalines et sont capables de vivre et de se reproduire à des salinités supérieures à 30 ‰ (Trewavas, 1983; Pouyaud, 1994). Selon Trewavas (1983), les zones de mangroves en milieu plus ou moins saumâtres constituent le biotope caractéristique de *Sarotherodon melanotheron*. Pouyaud (1994) a signalé la présence de cette espèce en zone sur-salée (de l'ordre de 100 ‰) dans la région de Kaolack au Sénégal. Selon cet auteur, la présence de toutes les classes de taille à cette localité laisse supposer que ces poissons se sont bien adaptés à ces conditions de milieu et sont mêmes capables de se reproduire. Les observations de Pouyaud (1994) ainsi que les études menées par Koné (2000) dans le lac de barrage d'Ayamé montrent que *S. melanotheron* vit et se reproduit avec succès en eaux douces. La gamme de températures supportables par *S. melanotheron* se situe entre 20 et 32 °C (Philippart et Ruwet, 1982).

3.2.4.2- Biologie de la reproduction

➤ Reproduction en milieu naturel

En milieu naturel, le mâle de *Sarotherodon melanotheron* parvient à maturité sexuelle à la taille de 176 mm environ (Legendre et Ecoutin, 1989). Seul le mâle pratique l'incubation buccale (Trewavas, 1983). En lagune, en Côte d'Ivoire, *S. melanotheron* se reproduit sans interruption tout au long de l'année. Le sex-ratio est en faveur des femelles. Toutefois, la fécondité relative et la fréquence de ponte sont plus élevées en saison sèche qu'en saison des pluies (Légendre et Ecoutin, 1989; Koné, 2000). La fécondité augmente avec la masse corporelle de la femelle (Légendre et Ecoutin, 1989). Peters (1963) a montré que le nombre d'œufs varie de 200 à 860 respectivement pour des femelles de 20 g à 200 g. L'intervalle de temps qui sépare deux pontes successives est d'environ deux semaines. Après la ponte et la fertilisation, le mâle nage au voisinage du nid et prend rapidement les œufs dans sa bouche. Les œufs éclosent en 5 jours et sont portés 7 à 20 jours, ensuite les alevins quittent la cavité buccale à une taille comprise entre 9,2 et 11,5 mm (Golstein, 1973). Ce n'est qu'après résorption complète de la vésicule vitelline que le comportement de protection parentale s'achève et que les alevins deviennent définitivement autonomes.

➤ Reproduction en milieu d'élevage

En milieu d'élevage, les femelles de *Sarotherodon melanotheron*, parvenues à maturité sexuelle effectuent des cycles de reproductions successifs sans interruption tout le long de l'année (Legendre et Ecoutin, 1996). En étang, chez le mâle (incubation buccale prise

comme indicateur de maturité), le plus petit individu mature mesure 45 mm (Ls), chez la femelle (présence d'ovocytes), la maturité est atteinte à 43 mm (Ls) (Eyeson, 1983). La fécondité moyenne absolue en enclos est de 450, 700 et 1000 œufs respectivement chez les femelles de 100 g, 200 g et 300 g (Legendre *et al.*, 1990).

3.2.4.3- Alimentation

➤ Milieu naturel

D'une façon générale, le régime alimentaire de *Sarotherodon melanotheron* est constitué de phytoplancton, de zooplancton et de nombreux débris comprenant des insectes, des macrophytes, des grains de sable (Koné, 2000), des larves de chironomidae et des détritus (Koné et Teugels, 2003). Toutefois, le régime alimentaire est fonction du stade de développement. Chez les adultes, il est essentiellement phytoplanctonophage alors que celui des juvéniles est composé de phytoplanctons et de zooplanctons (Ugwumba et Adebisi, 1992). Selon Campbell (1987), les alevins se nourrissent principalement de planctons (progressivement plus de zooplancton que de phytoplancton), de détritus, de larves de poissons et d'insectes aquatiques. Le régime est par la suite omnivore, y compris des détritus, de plancton, d'invertébrés et de matières végétales, surtout du périphyton. Il existerait selon Ugwumba et Adebisi (1992), une variation de l'alimentation chez *S. melanotheron* en fonction des saisons. En outre, Pouyaud (1994) rapporte qu'en période d'incubation buccale cette espèce devient momentanément microphage parce que son régime nécessite l'ingestion de particules plus fines.

➤ Milieu d'élevage

En milieu d'élevage, l'étude de l'influence de différents rapports protéino-énergétiques chez *S. melanotheron* indique que l'apport calorifique du régime affecte la consommation alimentaire contrairement aux taux de protéines totales (Cissé, 1996). Selon cette même source, la meilleure croissance est obtenue avec un aliment composé contenant 30 % de protéines totales et apportant environ 1,700 kj par 100 g d'aliment. La répartition de la ration journalière en 4 repas donne la meilleure croissance. Par contre, une alimentation de nuit ou l'augmentation de la fréquence de distribution jusqu'à 8 repas par jour n'améliore pas la croissance. Plusieurs travaux ont montré que *Sarotherodon melanotheron* présente de faibles gains de masse et des valeurs élevées d'indice de consommation avec les aliments artificiels (Cissé, 1991 ; Legendre, 1991). Pour cette espèce, des croissances rapides supérieures à 1 g/j n'ont pas pu être maintenues sur des périodes de plus de deux mois. De

plus les indices de consommation supérieurs à 3 sont élevés pour être économiquement rentable surtout si l'on les compare à ceux obtenus avec *Oreochromis niloticus* ou *Oreochromis aureus* (Cissé, 1999).

3.2.5- Elevage de *Sarotherodon melanotheron*

S. melanotheron fait l'objet d'une attention toute particulière pour son utilisation en aquaculture. En milieu lagunaire, plusieurs essais d'élevage principalement de *S. melanotheron* ont donc été entrepris dans des stations piscicoles notamment celle de Layo sur la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) par Legendre (1991), Legendre et Ecoutin (1989 et 1996), Cissé (1996), Legendre et Trébaol (1996) et Legendre *et al.* (1989 et 1990). Dans la situation la plus favorable (élevage monosex mâle), les taux de croissance et les indices de consommation obtenus ne permettent pas d'assurer une exploitation économique rentable d'une ferme piscicole (Doudet et Legendre, 1986 et Legendre, 1991). Les potentialités de cette espèce pour l'aquaculture, en particulier en eau saumâtre, ont cependant été reconnues par Gilles (1994). Chez *S. melanotheron*, le système d'élevage qui paraît plus prometteur est celui de l'élevage extensif en "acadja-enclos" (Hem, 1992), une méthode d'élevage dérivée de la très productive pêcherie traditionnelle en acadja développée dans les lagunes au Bénin (Welcomme, 1972). Les premiers essais d'élevage utilisant la technique des acadjas-enclos ont donné des rendements annuels de plus de 8 t/ha, dont 60 à 90 % de *S. melanotheron*, sans apport d'aliments exogènes (Hem *et al.*, 1994). Ce poisson présente de faibles croissances avec les aliments composés à base de protéines de poisson (Cissé, 1986, Legendre, 1989; 1991). Cependant très peu de travaux publiés traitent de la substitution des protéines de poisson par une protéine végétale dans son alimentation.

3.3- Etat des connaissances sur *Oreochromis niloticus*

3.3.1- Données systématiques

3.3.1.1- Genre *Oreochromis*

Le genre *Oreochromis* fait partie de la famille des Cichlidae et de l'ordre des Perciformes. Les espèces du genre *Oreochromis* ont d'abord été décrites dans le genre *Tilapia*. Trewavas (1983), se basant sur des caractères éthologiques, a classé le genre *Oreochromis* dans le groupe des tilapias incubateurs buccaux uni-parentaux maternels. Il existe trente trois (33) espèces du genre *Oreochromis* dont deux d'entre elles se rencontrent

en Afrique de l'Ouest : *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) et *Oreochromis aureus* (Steindachner, 1864).

Les synonymes de *O. niloticus* sont le *Tilapia nilotica* (L.) et le *Sarotherodon niloticus* (L.) (Mélard, 1986). Ce genre *Oreochromis* possède des écailles réduites en comparaison à celles situées sur les flancs. La papille génitale est bien développée chez cette espèce (Trewavas, 1983; Mélard, 1986 et Gourène et Teugels, 1993).

3.3.1.2- Espèce *Oreochromis niloticus*

La position systématique de *Oreochromis niloticus* dans la classification ichthyologique selon Nelson (1994) est la suivante:

Règne.....	Animalia
Embranchement.....	Chordata
Sous-embranchement.....	Vertebrata (Craniata)
Super classe.....	Gnathostomata
Grade.....	Teleostomi
Classe.....	Actinopterygii
Sous-classe.....	Neopterygii
Super ordre.....	Acanthopterygii
Ordre.....	Perciformes
Famille.....	Cichlidae
Genre.....	<i>Oreochromis</i>
Espèce.....	<i>Oreochromis niloticus</i>

3.3.2- Description de l'espèce

Oreochromis niloticus (Photographie 3) se caractérise par la présence de deux lignes latérales, 17 ou 18 rayons épineux à la dorsale, 31 à 34 écailles en lignes longitudinales et 21 à 26 branchiospines sur la partie inférieure de l'arc branchial (Gourène et Teugels, 1993). Son corps est recouvert de taches claires formant des bandes verticales noires sur fond clair (Gourène *et al.*, 1995). La taille des écailles est réduite sur le ventre (Teugels et Thys Van den Audernaerde, 1992). La teinte de ce poisson est généralement grisâtre, relativement foncée chez l'adulte. Les nageoires caudales sont grisâtres, parfois avec un liséré rouge très mince. Les nageoires pelviennes sont grises et les pectorales transparentes (Lévêque *et al.*, 1992). Cette espèce, présente un dimorphisme sexuel bien prononcé avec la papille génitale bien

développée chez les deux sexes (Teugels et Thys van den Audernaerde, 1992). A sa pointe, cette papille se termine chez le mâle, par un petit pore de la taille d'une tête d'épingle, servant à l'écoulement des liquides urinaires et séminaux. Chez la femelle, cette papille se différencie de celle du mâle par sa forme plus hémisphérique et surtout par la présence de deux orifices que sont un petit pore urinaire postérieur au pore servant à l'émission des gamètes (Nelson, 1994).

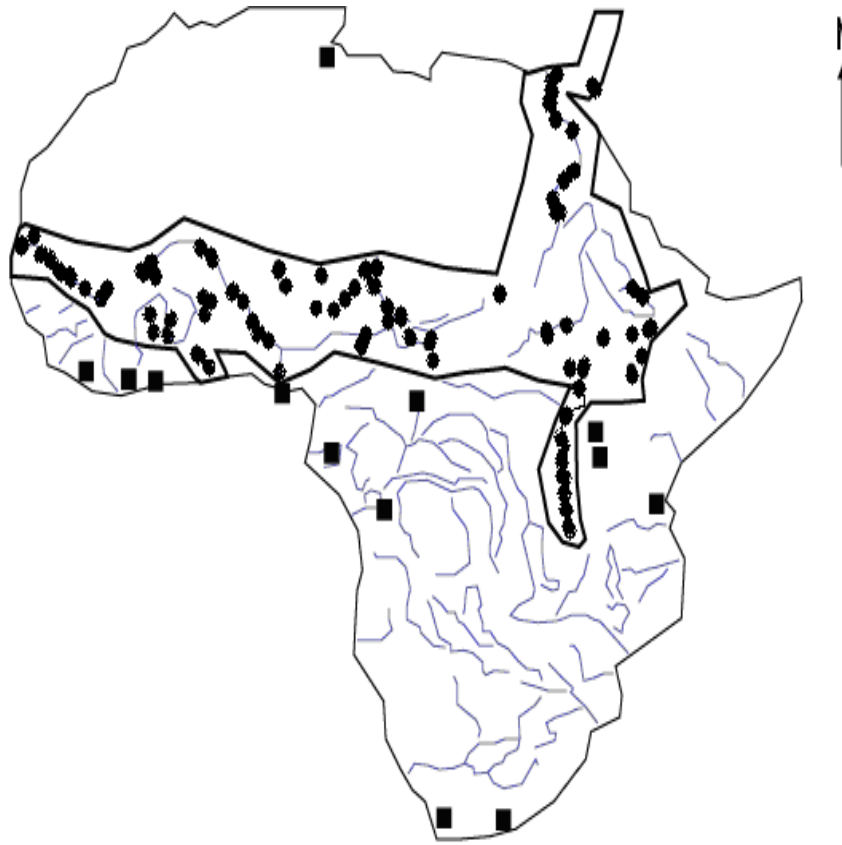


Photographie 3: Spécimen de *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) pêché à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo

3.3.3- Distribution géographique

L'espèce *Oreochromis niloticus* est la plus répandue des Cichlidae. Elle présente une répartition originelle strictement africaine couvrant les bassins du Nil, du Tchad, du Niger, de la Volta, du Sénégal et du Jourdain ainsi que les lacs du Graben Est-Africain jusqu'au lac Tanganyika (Philippart et Ruwet, 1982 ; Trewavas, 1983). Cette espèce est largement répandue en Afrique hors de sa zone d'origine pour compléter le peuplement des lacs naturels ou de barrages déficients ou pauvres en espèces planctonophages ainsi que pour développer la pisciculture. Ainsi Welcomme (1988) signale son introduction au Burundi et au Rwanda en 1951, à Madagascar en 1956, en République Centrafricaine et en Côte d'Ivoire en 1957, au Cameroun en 1958, en Tunisie en 1966, en Afrique du sud en 1976 et à des dates inconnues en Tanzanie. Les différentes sous-espèces se répartissent de la manière suivante (Figure 4) :

- *O. niloticus niloticus* (Linné, 1758) se rencontre dans les principaux bassins fluviaux ouest et centre-africains (Sénégal, Gambie, Niger, Volta, Chari), dans le Jebel Marra au Soudan, dans le réseau fluvial du Nil et dans le Yarkon en Israël. En Afrique de l'ouest, cette sous-espèce est absente de la Sierra Leone et du Liberia. Elle est présente que dans les affluents de la Volta, du Niger, du Tchad, de la Côte d'Ivoire et au Cameroun. Ce poisson a été récemment introduit dans le Lac Victoria (Lowe-Mc Connell, 1982);
- *O. niloticus eduardianus* (Boulenger, 1912) vit dans les lacs du Rift occidental à l'ouest du Congo et à l'est de l'Ouganda (Lacs Edward, Georges, Kivu, Albert et Tanganyika), dans la rivière Ruzizi du Rwanda ainsi que dans les petits lacs, ruisseaux et leurs bassins;
- *O. niloticus cancelatus* (Nichols, 1923) présent uniquement en Ethiopie dans les principaux bassins fluviaux (Awash, Omo Baro) et dans les lacs de la vallée du Rift en Ethiopie (Lacs Koka, Awasa, Ziway et Stefani);
- *O. niloticus filoa* (Trewavas, 1983) est uniquement confinée dans les sources chaudes et alcalines du bassin de l'Awash en Ethiopie;
- *O. niloticus vulcani* (Trewavas, 1933) se trouve au Kenya dans le lac Turkana et les ruisseaux qui lui sont rattachés, à Loyangalani, dans les Lacs des cratères de l'Ile centrale;
- *O. niloticus baringoensis* (Trewavas, 1983) est rencontrée uniquement dans le lac Baring au Kenya;
- *O. niloticus sugutae* (Trewavas, 1983) est rencontrée au Kenya dans le fleuve Suguta et ses affluents, le fleuve Kapedo et ses sources chaudes;
- *O. niloticus tana* (Seyoum et Kornfield, 1992) est rencontrée en Ethiopie dans le système du Nil bleu.



- ~: Limite de l'aire de répartition de l'espèce
- : Captures de spécimens identifiés formellement
- : Lieu d'introduction de l'espèce *Oreochromis niloticus*

Figure 4: Aire de distribution de *Oreochromis niloticus* en Afrique (Philippart et Ruwet, 1982 modifiée)

3.3.4- Données écologiques et biologiques

3.3.4.1- Exigences écologiques

De nombreuses études de terrain et de laboratoire montrent que *O. niloticus* est une espèce relativement eurytpe adaptée à de larges variations des facteurs écologiques du milieu aquatique et colonisant des milieux extrêmement variés (Pullin et Lowe-McConnell, 1982; Fishelson et Yaron, 1983; Plisnier *et al.*, 1988). Ainsi, *O. niloticus* espèce thermophile, se rencontre en milieu naturel entre 13,5°C et 33°C. Toutefois l'intervalle de tolérance thermique observé en laboratoire est de 7 à 41°C pendant plusieurs heures (Balarin et Hatton, 1979).

On rencontre *O. niloticus* dans les eaux de salinité comprise entre 15 ‰ et 30 ‰. Toutefois, au-delà de 20 ‰, l'espèce subit un stress important qui la rend sensible à une série de maladies, réduisant sa compétitivité par rapport à *S. melanotheron* (Kirk, 1972). La

tolérance aux variations de pH est très grande puisque l'espèce se rencontre dans des eaux présentant des valeurs de pH de 5 à 11 (Chervinski, 1982). Huet (1970) recommande en milieu d'élevage des valeurs de pH comprises entre 6 et 8 pour une bonne croissance des poissons. Concernant la concentration en oxygène dissous, cette espèce tolère à la fois de nets déficits et des sursaturations importantes. Ainsi jusqu'à 3 mg/L d'oxygène dissous, *O. niloticus* ne présente pas de difficulté métabolique particulière (Trewavas, 1983). Selon ce même auteur, en deçà de cette valeur, un stress respiratoire se manifeste, et la mortalité survient après 6 H d'exposition. Cependant, ce poisson peut supporter pendant de courtes périodes, des concentrations faibles de 0,1 mg/L d'oxygène dissous (Magid et Babiker, 1975).

3.3.4.2- Biologie de la reproduction

➤ Reproduction en milieu naturel

Pour ce qui est de la reproduction, *Oreochromis niloticus* fait partie du groupe des tilapias relativement évolués avec une incubation buccale uniparentale maternelle (Ruwet *et al.*, 1975). Dans les milieux naturels, la taille de première maturité de *O. niloticus* varie généralement entre 14 et 20 cm à l'âge de deux ans. Cette taille peut atteindre 28 cm et différer chez les mâles et les femelles. La taille moyenne de première maturité examinée dans le lac Ihema chez cette espèce est de 19 cm pour les femelles et 20 cm chez les mâles (Plisnier *et al.*, 1988). Selon Moreau (1979), la fécondité des femelles varie en fonction de sa masse. Une femelle de 100 g peut pondre 1200 œufs, contre 3800 œufs pour une femelle de 700 g. La reproduction de *O. niloticus* est continue pendant toute l'année, si la température de l'eau est supérieure à 22 °C. A des valeurs de température comprises entre 25 °C et 28 °C, une femelle de *Oreochromis niloticus* peut se reproduire en général tous les 30 à 40 jours (Ruwet *et al.*, 1975; Mires, 1982). Dans les eaux équatoriales, Lowe-McConnell (1982) a rapporté deux pics de reproduction coïncidant avec les deux saisons de pluie. Le confinement, l'alimentation et la forte compétition alimentaire font diminuer la taille de maturation chez cette espèce (Lowe-mcConnell, 1982). Dans ces conditions, *O. niloticus* a une fécondité élevée par ponte, une maturité précoce et une croissance lente, connue sous le nom de néoténie (Fryer et Iles, 1972).

En conditions favorables, les adultes migrent vers la zone littorale peu profonde. Les mâles se rassemblent en arène de reproduction sur une zone en pente faible à substrat meuble, sablonneux ou argileux où ils délimitent chacun leur petit territoire et creusent un nid en forme d'assiette creuse (Ruwet *et al.*, 1975). Les femelles vivent en groupe à l'écart des arènes de reproduction où elles effectuent de brefs passages. En allant d'un territoire à l'autre, elles

sont sollicitées successivement par les mâles. Elles s'arrêtent au-dessus des nids, déposent des ovules que les mâles fécondent immédiatement. Elles les reprennent aussitôt après en bouche pour les incubes. Cette opération peut être recommencée avec le même mâle ou un autre mâle (Ruwet *et al.*, 1975). Après ces reproductions successives, la femelle quitte l'arène et va incubes ses oeufs fécondés dans la zone peu profonde. Quatre à cinq jours après la fécondation, les œufs éclosent dans la cavité buccale de la femelle. Après la résorption de la vésicule vitelline, les alevins sortis de la cavité buccale des femelles peuvent alors consommer l'aliment exogène (Moreau, 1979).

➤ ***Reproduction en milieu d'élevage***

En captivité, la taille de première maturité de *Oreochromis niloticus* est de 11 cm pour la femelle et l'intervalle entre deux pontes est théoriquement de 28 jours. Chez le mâle, la taille de première maturité est de 14 cm. La spermatogenèse est continue à condition que les poissons soient suffisamment nourris et maintenus dans un environnement physique et social propice à la reproduction (Plisnier *et al.*, 1988). Le succès de la reproduction dépend de l'endroit, du moment et des ressources utilisées (Wootton, 1990). Cette activité est induite par une augmentation de la lumière, de la température et du niveau de l'eau (Kestemont *et al.*, 1989). Chez *O. niloticus*, la réduction de la nourriture fournie aux femelles et les conditions stressantes de pisciculture entraînent une baisse de la reproduction (Santiago *et al.*, 1985).

3.3.4.3- Alimentation

➤ ***Milieu naturel***

Le Cichlidé *Oreochromis niloticus* est classiquement rangé parmi les poissons microphytophages capables d'ingérer et de digérer de grandes quantités d'algues phytoplanctoniques et de cyanobactéries (Trewavas, 1983; Lauzanne, 1988; Palomares, 1991; Mukankomeje, 1992). Du reste, *Oreochromis niloticus* peut se nourrir quasi exclusivement à partir du phytoplancton (Mukankomeje, 1992). C'est une espèce opportuniste et son régime alimentaire est souvent plus proche de celui des poissons omnivores-détritivores que des herbivores stricts (Bowen, 1982). Au lac Awasa (Ethiopie), 28,1 % des algues ingérées sont des cyanobactéries, 2,3 %, des diatomées, 2,4 % des chlorophycées et la fraction la plus importante (67,2 %) est formée par *Botryococcus sp.* et divers détritits (Getachew et Fernando, 1989). Son alimentation est sélective, il trie et rejette les particules non alimentaires ingérées, sable, sédiment etc. (Bowen, 1982 ; Trewavas, 1982). Le régime alimentaire des

adultes, des larves et des jeunes diffèrent, les jeunes consomment préférentiellement les petits invertébrés, en particulier les microcrustacés (Bowen, 1982). Dans les milieux naturels, des différences apparaissent en fonction de la localisation géographique ou du système hydrologique (De Silva *et al.*, 1984; Maitipe et de Silva, 1985). L'alimentation varie aussi au cours de l'année, le régime est détritivore en saison des pluies et devient herbivore en saison sèche. Cette variabilité dépend de la nature des aliments disponibles. Lorsqu'il n'y a pas de variations saisonnières de ceux-ci, le régime alimentaire des poissons varie très peu (Lauzanne, 1988). A l'instar d'autres poissons omnivores, le tilapia *Oreochromis niloticus* prélève ses aliments aussi bien en pleine eau que sur le fond ou sur des substrats par succion, filtration, broutage et raclage des particules (Beveridge *et al.*, 1989; Dempster *et al.*, 1993).

➤ *Milieu d'élevage*

En milieu d'élevage, *O. niloticus* est omnivore. Yashouv et Chervinski (1961) ont observé dans les estomacs de ce poisson des rotifères, des copépodes, des cladocères, des larves de chironomides, des diatomées, des chlorophycées, des cyanobactéries, des débris de macrophytes, du nanoplancton ainsi que de l'argile. Veverica *et al.* (1991) ont rapporté en plus de la présence de cyanobactéries, des débris végétaux et des cristaux de quartz dans l'estomac de *Oreochromis niloticus*. Selon ces auteurs, les meilleurs rendements sont observés lorsque le zooplancton est abondant dans les contenus stomacaux, avec néanmoins des quantités non négligeables de détritus et de cyanobactéries. *O. niloticus* consomme également divers sous-produits agro-industriels tels que les sons céréaliers, les tourteaux d'oléagineux et les déchets de brasserie et domestiques (Kestemont *et al.*, 1989). Chez *O. niloticus*, les besoins en protéines selon les différentes classes de tailles ont été déterminés. Pour l'alimentation des alevins de poids inférieurs à 1,0 g, Jaucey et Ross (1982) préconisent une teneur en protéines de l'aliment avoisinant 50 %. Selon ces mêmes auteurs, pour une croissance optimale des poissons, les taux de protéines alimentaires de 35 à 40 %, 30 à 35 % et 25 à 30 % doivent être utilisés respectivement pour les alevins de 0,5-10 g, 10-35 g, et les géniteurs. Chez les géniteurs, les régimes à faibles teneurs en protéines (5,35 à 20,27) favorisent une fécondité élevée, des pontes tardives et fréquentes et des œufs de petites tailles (Wee et Tuan, 1988).

3.3.5- Elevage de *Oreochromis niloticus*

L'espèce *Oreochromis niloticus* est l'un des poissons les plus élevés dans les fermes piscicoles. C'est une espèce indiquée pour l'aquaculture intensive pour sa croissance rapide (Lowe-Mc Connell, 1982). De plus, elle tolère de fortes densités de stockage et de faibles qualités d'eau. *O. niloticus* a une forte capacité de reproduction et des taux de mortalité relativement faibles (Stickney, 1986; Chamberlain, 1993). Cette espèce présente un indice de croissance plus élevé que les autres espèces de tilapia (Pauly *et al.*, 1988). Pour cette espèce, les conditions d'élevage sont actuellement bien maîtrisées. *O. niloticus* est largement élevée en Afrique et hors de sa zone d'origine en Amérique (Centrale, du Sud, du Nord), en Asie et en Europe (Welcomme, 1988). Chez *O. niloticus* plusieurs travaux traitent des substitutions de la farine de poisson par les protéines végétales tels que le lin, le tournesol et les tourteaux de graine de coton et de soja (El-Sayed, 1990 ; EL-Saidy et Gaber, 1997; Mbahinzireki *et al.*, 2001; El-Saidy et Gaber, 2001, 2002 et 2003). EL-Saidy et Gaber (1997) ont rapporté que chez ce poisson, le tourteau de soja supplémenté en méthionine peut complètement remplacer la farine de poisson dans l'alimentation sans réduction de la croissance. En ce qui concerne les farines de lin et de tournesol, elles peuvent remplacer jusqu'à 50 % de la farine de poissons dans l'alimentation de *O. niloticus* (El-Saidy et Gaber, 2001 et 2002).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

1- MATERIEL

1.1- Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans cette étude est constitué de trois espèces de poisson: une espèce de Clariidae, *Heterobranchus longifilis* et deux espèces de Cichlidae, *Sarotherodon melanotheron* et *Oreochromis niloticus*. Les juvéniles de *Heterobranchus longifilis* proviennent de l'élevage larvaire réalisé à l'écloserie du Centre de Recherches Océanologiques (CRO) d'Abidjan. En revanche, les juvéniles de *S. melanotheron* et *O. niloticus* ont été pêchés dans les étangs à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo.

1.2- Structures d'élevage

Les structures d'élevage utilisées dans cette étude sont constituées d'un ensemble de 30 bacs en béton de 4 m³ (Photographie 4). Ces bacs sans abris, sont alimentés en eau de la lagune Ebrié par des robinets à un débit de 0,17 10⁻³ m³/s. Le transfert d'eau est assuré par une pompe électrique via un château (Figure 5). Des filets de protection sur les robinets filtrent l'eau pour éviter l'intrusion de poissons indésirables. Les systèmes d'évacuation sont munis de grilles de protection pour empêcher la perte des poissons. L'eau des bacs est continuellement renouvelée par un système de trop plein.

1.3- Matériel de mesure des paramètres physico-chimiques

Divers appareils appropriés ont été utilisés pour la mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau des bacs. Il s'agit d'un pH-mètre de type WTW pH 330 couplé à un thermomètre pour la détermination du pH et de la température, d'un oxymètre de type WTW OXI 330 pour la mesure du taux d'oxygène dissous (en mg/L) et d'un spectrophotomètre de type JASCO-V-530 pour le dosage des sels nutritifs de l'eau (nitrates, nitrites et phosphates).

1.4- Matériel de suivi des élevages

Les seaux de 15 litres ont été utilisés pour les différents transferts des poissons au cours des opérations d'échantillonnage. Les pesées ont été réalisées à l'aide d'une balance de modèle SARTORIUS de portée 3600 g et de précision 0,01 g. La longueur totale des poissons a été déterminée à l'aide d'un ichthyomètre gradué au millièbre. Une trousse à dissection a été utilisée pour le prélèvement des organes.



Photographie 4 : Bacs en béton à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo

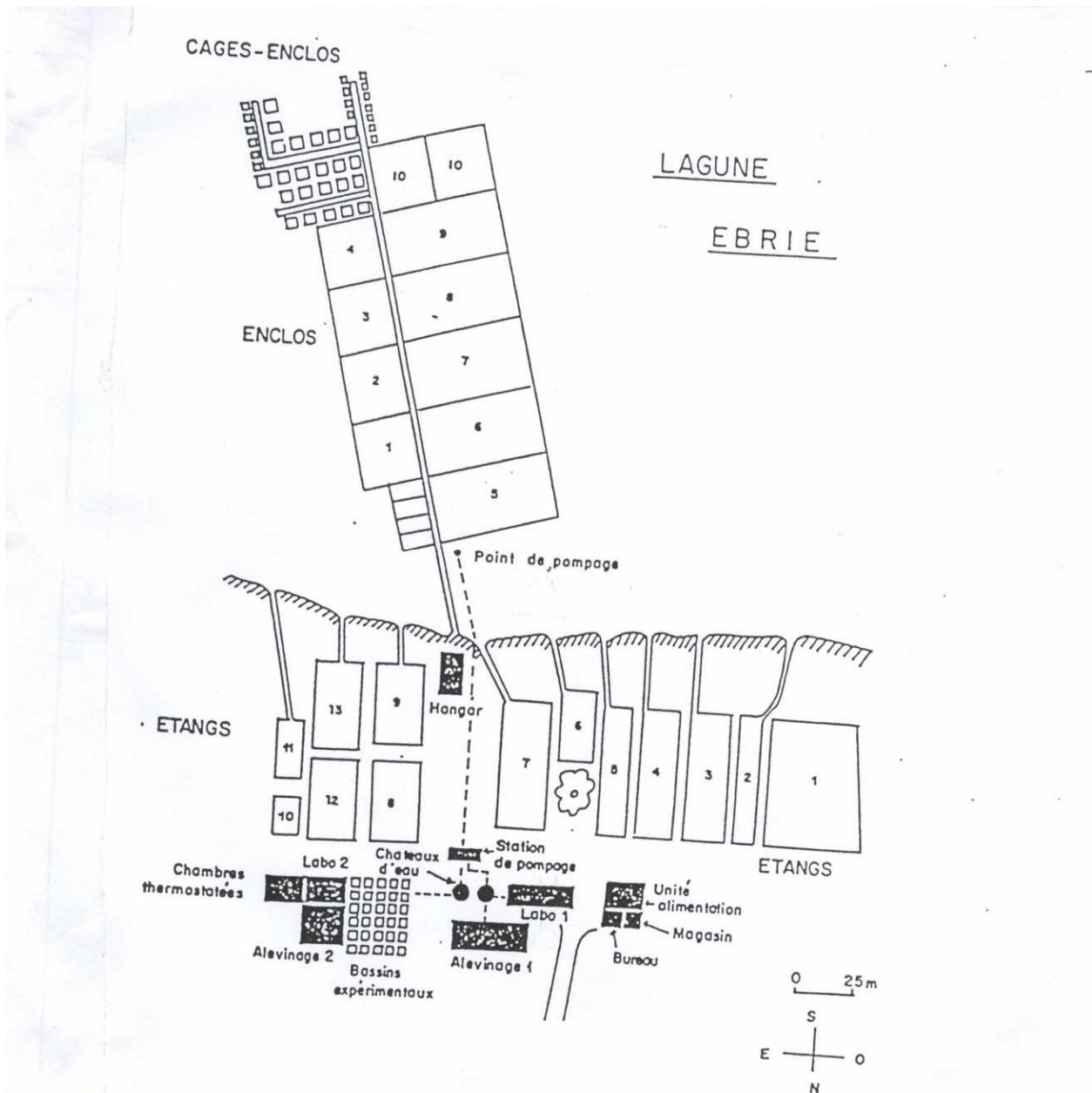


Figure 5: Plan de masse de la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo (Bonou, 1990)

2- METHODES

2.1- Qualité du milieu d'élevage

2.1.1- Mesure des paramètres physico-chimiques

Les différentes expériences d'élevage ont été réalisées pendant les mois de mars à juillet 2005 pour *H. longifilis*, de mars à septembre 2005 pour *S. melanothron* et d'avril à octobre 2006 pour *O. niloticus*. Au cours de ces élevages, la température, le pH et l'oxygène dissous ont été mesurés tous les jours. Les différentes mesures ont été effectuées le matin entre 7 heures et 8 heures *in situ* dans les bacs d'élevage avant le nourrissage des poissons. Les appareils de mesure ont été d'abord calibrés et mis sous-tension, leurs sondes ont été par la suite plongées dans l'eau, puis pour chaque paramètre sélectionné, la valeur s'affiche à l'écran.

2.1.2- Dosage des sels nutritifs

Les sels nutritifs dosés sont les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-) et les phosphates (PO_4^{3-}). Chaque semaine, un litre d'eau a été prélevé dans les bacs à l'aide d'une bouteille en plastique hermétiquement fermée, conservée dans une glacière et acheminée au laboratoire de chimie du Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan pour les analyses.

Les teneurs en nitrates, nitrites et phosphates de l'eau ont été déterminées par la lecture des densités optiques des échantillons d'eau au spectrophotomètre selon les méthodes décrites par Aminot et Chaussepied (1983). Le principe de mesure est basé sur la loi de Beer Lambert qui indique une relation linéaire entre la densité optique et le trajet optique qui traverse le milieu contenant l'échantillon.

Pour doser les teneurs en nitrates des échantillons d'eau, 20 ml de l'échantillon à analyser ont été prélevés et filtrés. Ensuite 0,5 ml d'une solution d'azoture de sodium (0,5 g/L) et 0,2 ml d'acide acétique cristallisable (1,05 g/L) y ont été ajoutés. Ce mélange a été ensuite laissé au repos pendant 5 minutes et évaporé dans un bain d'eau bouillant. Après cela, 1 ml d'une solution de salicylate de sodium (10 g/L) a été ajouté, homogénéisé et évaporé à nouveau. Après refroidissement du mélange, 1 ml d'acide sulfurique (1,84 g/ml) et 10 ml de la solution alcali y ont été ajoutés. Ensuite la mesure de l'absorbance de la solution a été effectuée au spectrophotomètre à 415 nm dans des cuves de 50 mm d'épaisseur par rapport à l'eau dans la cuve de référence.

La teneur en nitrites de l'eau a été déterminée à partir de 50 ml d'échantillon d'eau auxquels ont été ajoutés 1 ml d'une solution de sulfanilamide (10 g/L) et 1 ml d'une solution de N-Naphtyle-éthylène diamine (1 g/L). Ce mélange a été laissé au repos pendant 10 min, puis l'absorbance a été mesurée en cuve de 10 cm de trajet optique à la longueur d'onde de 543 nm en prenant l'eau distillée comme référence.

L'analyse de la teneur en phosphates de l'eau a été réalisée à partir de 100 ml d'échantillon d'eau, auxquels ont été ajoutés 10 ml de réactif ; 100 ml d'une solution de molybdate d'ammonium (30 g/L); 250 ml d'acide sulfurique (2,5 g/L); 100 ml d'une solution d'acide ascorbique (108 g/L) et 50 ml d'une solution d'oxotartrate de potassium et d'antimoine (1,36 g/L). Le mélange a été laissé au repos pendant 5 min. Puis l'absorbance a été mesurée en cuve de 10 cm de trajet optique à la longueur d'onde de 885 nm en prenant l'eau distillée comme référence.

Les concentrations en nitrites, nitrates, et phosphates des échantillons ont été obtenues par multiplication des absorbances par les pentes (p) exprimées en mole/L par unité d'absorbance.

2.1.3- Prélèvement de la matière en suspension

La matière en suspension (MES) est constituée de particules organiques (plancton, assemblage de bactéries, restes d'aliment, détritus et fèces des poissons) et minérales. Trois prélèvements de périphyton ont été effectués par traitement alimentaire. La méthode de détermination des MES est celle de Blé *et al.* (2007). Soixante (60) litres d'eau ont été prélevés dans chaque bac après agitation. Dix (10) ml d'une solution de formol à 35 % (V/V) y sont par la suite ajoutés puis l'ensemble a été laissé au repos pour décantation pendant 24 h. Le surnageant a été par la suite vidé par siphonage puis les matières sédimentées ont été recueillies et transportées au laboratoire sous glace. Les MES ainsi recueillies ont été séchées à l'étuve à 80 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Les matières organiques totales (MOT) et les minéraux ont été déterminés et quantifiés après incinération des échantillons au four à 550°C pendant 24 heures.

2.1.4- Prélèvement du périphyton

Le périphyton a été prélevé sur les parois des bacs d'élevage après 1 mois d'alimentation des poissons avec les différents aliments expérimentaux. Pour ces prélèvements, 3 bacs témoins ne contenant pas de poissons et de nourriture alimentés en eau de la lagune Ebrié pendant un mois ont été constitués. Tous les bacs ont été vidés, ensuite une plaque en verre de 29,35 cm de longueur et de 25 cm de largeur a été utilisée pour délimiter une surface totale de 733,75 cm² sur chacune des quatre parois des bacs. La totalité du périphyton présente sur les surfaces délimitées a été récoltée à l'aide d'un scalpel et pesée pour estimer la biomasse fraîche (Blé *et al.*, 2007). Les prélèvements de périphyton ont été effectués trois fois pendant trois mois successifs. Les différents prélèvements ont été conservés dans des piluliers puis transférés au laboratoire sous glace et séchés à l'étuve à 80 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Des sous échantillons de la masse sèche ont été effectués pour la détermination des proportions en matière organique totale (MOT) et en minéraux.

2.2- Formulation des aliments expérimentaux

2.2.1- Matières premières utilisées

Les principaux ingrédients utilisés pour fabriquer les aliments expérimentaux sont le maïs, la farine de poisson, le tourteau de soja, le son de blé et le tourteau de la graine de coton. Les compositions biochimiques globales de ces matières premières déterminées par la Société de service en nutrition animale, Prémix, spécialités et additifs (TECHNA SA) en France et leur coût sont consignés dans le Tableau 3. Le tourteau de soja a été utilisé comme source de protéines végétales. La seule source de protéines animales est la farine de poisson qui provient principalement du traitement des déchets de la conserverie de thons de la société REAL (Recherche et Expansion de l'Alimentation Animale). Le tourteau de soja et les autres ingrédients tels que le maïs, le son de blé et le tourteau de la graine de coton ont été achetés auprès des provendiers (fournisseurs habituels du Centre de Recherches Océanologiques) à yopougon, au PK 17 et à Dabou. Ces ingrédients ont été ajoutés à la farine de poisson et au tourteau de soja pour ajuster le taux de protéines à la valeur désirée (35 %). Les huiles de poisson et de soja ont été utilisées comme suppléments lipidiques. La lysine et la méthionine commercialisées par PROVETO (Côte d' Ivoire) et un prémix vitaminique et minéral fourni par TECHNA ont été ajoutés aux aliments formulés. La composition du prémix vitaminique et minéral est présentée au Tableau 4.

Tableau 3 : Composition biochimique et prix des matières premières utilisées pour la formulation des aliments expérimentaux (% de masse sèche)

Matières premières	Farine de Poisson	Tourteau de soja	Tourteau de la graine de coton	Son de blé	Maïs
Protéines	59,50	45,50	32,20	16,70	10,80
Lipides	8,60	7,10	3,90	3,70	5,20
Cendres	20,40	7,20	6,20	5,10	1,70
Fibres	--	4,50	18,80	9,10	3,3
Prix au kg (FCFA)	400	170	100	50	80

Tableau 4 : Composition du prémix vitaminique et minéral (/kg du prémix)

Composantes	Teneurs
Acide folique	400,00 mg
Acide nicotinique	8,00 g
Acide pantothénique	4,00 g
Calcium pantothénique	12,00 mg
Chlorure de sodium	1,20 mg
Cuivre	4,00 g
Fer	12,00 g
Iode	0,40 g
Iodure de potassium	28,00 mg
Manganèse	22,00 g
Riboflavine	6,00 mg
Sélénium	0,04 g
Sulfate de fer	3077,00 mg
Sulfate de cuivre	150,00 mg
Sulfate de manganèse	65,00 mg
Sulfate de zinc	89,00 mg
Vitamines A	4800,00 UI
Vitamines B ₂	4,00 g
Vitamines B ₆	6,00 g
Vitamines B ₁₂	4,00 g
Vitamines D	2400,00 UI
Vitamines E	40,00 g
Vitamines K	8,00 g
Zinc	22,00 g

TECHNA SA 11-route Nationale 59530 LOUVIGNIES- QUESNOY ; Société de service en nutrition animale, prémix, spécialités et additifs.

2.2.2- Méthode de formulation des aliments

La méthode traditionnelle de formulation des aliments par programmation linéaire a été utilisée pour déterminer les différentes quantités de matières premières à utiliser. Cette méthode nécessite la connaissance des teneurs en protéines, lipides, cendres, et fibres des matières premières utilisées. Les formules alimentaires ont été par la suite élaborées sur une feuille de calcul Excel comme décrit au tableau 5.

Tableau 5 : Table de formulation des aliments expérimentaux

Matières Premières	Quantités (Q)	Protéines	Lipides	Cendres	Fibres
MP1	Q1	P1 = Q1 x % P1	L1 = Q1 x % L1	C1 = Q1 x % C1	F1 = Q1 x % F1
MP2	Q2	P2 = Q2 x % P2	L2 = Q2 x % L2	C2 = Q2 x % C2	F2 = Q2 x % F2
MP3	Q3	P3 = Q3 x % P3	L3 = Q3 x % L3	C3 = Q3 x % C3	F3 = Q3 x % F3
MPn	Qn	Pn = Qn x % Pn	Ln = Qn x % Ln	Cn = Qn x % Cn	Fn = Qn x % Fn
Total	$\sum Q = 100$	$\sum P$	$\sum L$	$\sum C$	$\sum F$

Avec MP1 = Matière première 1 ; Q1 = Quantité de MP1 ; P1 = Quantité de MP1 X pourcentage de protéines de MP1 ; L1 = Quantité de MP1 X pourcentage de lipides de MP1 ; C1 = Quantité de MP1 X pourcentage de cendres de MP1 ; F1 = Quantité de MP1 X pourcentage de Fibres de MP1 ; P1 = Quantité de protéines apportée par MP1 ; L1 = Quantité de lipides apportée par MP1 ; C1 = Quantité de cendres apportée par MP1 ; F1 = Quantité de fibres apportée par MP1 ; $\sum P$ = Taux de protéines de l'aliment formulé ; $\sum L$ = Taux de lipides de l'aliment formulé ; $\sum C$ = Taux de cendres de l'aliment formulé ; $\sum F$ = Taux de fibres de l'aliment formulé.

Cette méthode de formulation permet de suivre les variations des teneurs en protéines, lipides, cendres, et fibres lorsque les quantités de matières premières varient. En fonction des objectifs de formulation fixés, les différentes quantités de matières premières à prélever sont déterminées.

Les objectifs de formulation dans le cas de notre étude sont :

- 1- sommes des pourcentages de protéines $\sum P = 35 \%$;
- 2- dans l'aliment 1, les protéines majeures sont apportées par la farine de poisson ;
- 4- dans l'aliment 2, les protéines majeures sont apportées par le tourteau de soja ;

5- dans l'aliment 3, les protéines majeures sont apportées par la farine de poissons et le tourteau de soja.

2.2.3- Fabrication des aliments

Les quantités de matières premières prédéfinies ont été pesées, broyées en fines particules et introduites dans le mélangeur. Les taux de prémix vitaminique et minéral, de lysine et de méthionine ont été ajoutés selon El-Saidy et Gaber (2003). Les huiles de poisson et de soja ont été ajoutées en supplément. Le prémix, la lysine, la méthionine et les huiles ont été préalablement mélangés à la main avec une portion du mélange obtenu avec les autres ingrédients avant d'être introduits dans le mélangeur. Le mélange final en poudre a été pressé et présenté sous forme de granulés concassés. Les aliments ont été fabriqués en quantité suffisante pour être utilisés pendant toute la durée d'une expérience donnée. Les différents aliments expérimentaux fabriqués ont été conservés à - 20 °C pendant les expériences (El-Saidy et Gaber, 2003 ; Chong *et al.*, 2003).

2.2.4- Aliments formulés

Trois régimes expérimentaux iso protéiques à 35 % de protéines totales ont été formulés. La proportion de protéines de poisson dans l'aliment AP a été remplacée partiellement ou totalement par celles de soja dans les aliments formulés AM et AS (Tableau 6).

Tableau 6 : Proportions (%) de protéines de poisson substituées par celles de soja dans les aliments formulés (AP, AM et AS)

Sources protéiques	AP	AM	AS
Farine de poisson	22,53	11,27	0
Tourteau de soja	0	11,25	22,75

- AP = Aliment à base de protéines de poisson, sans apport de protéines de soja;
- AM = 50 % des protéines de poisson ont été remplacées par les protéines de soja;
- AS = 100 % des protéines de poisson ont été remplacées par les protéines de soja;

Un apport de 0,5 % de lysine et de méthionine a été ajouté pour relever les taux de ces acides aminés essentiels dans les aliments formulés à base de protéines de soja (AP et AM), et 2 % de prémix vitaminiques et minéraux ont été ajoutés à chaque régime formulé comme rapporté par El-Saidy et Gaber (2003). Le prix de revient de chaque régime a été calculé en faisant la somme des prix de revient de chaque ingrédient utilisé. Ceux-ci ont été obtenus par multiplication du coût au kg de chaque ingrédient par la quantité utilisée. L'analyse bromatologique des trois aliments formulés a été effectuée au laboratoire de nutrition du Centre de Recherches Océanologique (CRO) d'Abidjan (Côte d'Ivoire) et au Laboratoire Central pour l'Hygiène Alimentaire et l'Agro-Industrie (LCHAI) du Laboratoire National de Développement Agricole d'Abidjan (LANADA). Ces analyses ont été effectuées selon les méthodes classiques AOAC (1995). La teneur en énergie a été calculée en utilisant la valeur énergétique brute des macronutriments selon Luquet et Moreau (1989). La composition minérale des aliments formulés a été déterminée au laboratoire central pour l'hygiène alimentaire et l'agro-industrie du LANADA selon les techniques décrites par AOAC (2003). Le profil en acide gras des aliments formulés déterminé au laboratoire d'analyse biochimique de la société BLOHORN (Côte d'Ivoire) selon la méthode établie par IUPA (1987). Les compositions centésimales, biochimiques et les coûts des différents aliments expérimentaux sont résumées dans le Tableau 7. Les compositions en minéraux et en acides gras de ces aliments sont présentées respectivement dans les Tableaux 8 et 9.

2.2.5- Composition biochimique des aliments formulés

Les teneurs en protéines des aliments AP, AM, et AS sont respectivement de 35,5 %, 35,6 %, et 35,6 %. Dans le même ordre, les teneurs en lipide sont de 9,2 %, 8,3 % et 12,9 %. Les teneurs en cendres sont de 12,1 % (AP), 9,5 % (AM) et 7,4 % (AS). Les teneurs en minéraux quant à elles varient de 14,20 (AM) à 33,90 g/kg (AP) pour le calcium, de 5,23 (AS) à 10,05 g/kg (AP) pour le phosphore, de 6,53 (AP) à 12,33 g/kg (AS) pour le potassium, de 5,98 (AP) à 7,37 g/kg pour le sodium, de 2,50 (AP) à 2,66 g/kg (AM) pour le magnésium, de 0,37 (AP) à 0,97(AS) g/kg pour le fer, de 0,12 (AM) à 0,24 g/kg (AP) pour le zinc, de 0,07 (AM) à 0,08 (AP) pour le manganèse et de 0,03 (AS) à 0,04 g/kg (AP et AM) pour le cuivre. Les acides gras laurique et myristoléique sont respectivement de 2,30 % (AP), 0,85 % (AM) et de 5,08 % (AP), 1,64 % (AM). Ces acides gras sont absents dans l'aliment formulé AS. Les proportions des autres acides gras sont de 27,92 % (AP), 18,57 % (AM), 14,13 % (AS) pour l'acide palmitique ; de 26,67 % (AP), 44,94 % (AM), 49,64 % (AS) pour l'acide stéarique, de

32,83 % (AP), 29,84 % (AM), et de 32,25 % (AS) pour l'acide oléique ; de 5,25 % (AP), 4,18 % (AM) et 3,92 % (AS) pour l'acide linoléique.

Tableau 7: Formulation, composition biochimique et coûts des aliments expérimentaux

	Aliments		
	AP	AM	AS
Ingrédients (%)			
Maïs	10	10	10
Farine de poisson	38	19	-
Tourteau de soja	-	24,8	50
Son de blé	34	22,2	12
Tourteau de la graine de coton	15	20	24
Huile de poisson	1	0,5	-
Huile de soja	-	0,5	1
Lysine	-	0,5	0,5
Méthionine	-	0,5	0,5
Prémix vit. et minéraux	2	2	2
Total	100	100	100
Composition (% de matière brute) #			
Humidité	10,77	10,73	10,52
Protéines	35,52	35,63	35,63
Azote total	5,68	5,70	5,70
Lipides	9,24	8,37	12,92
Cendres	12,08	9,53	7,40
Fibres	8,40	8,40	8,80
Extraits non azotés [†]	23,32	27,47	24,73
Energie brute (kJg ⁻¹) [*]	15,5	15,9	17,2
Coût (CFA kg⁻¹)	260	225	195

AP = Aliment poisson; AM = Aliment mixte; AS = Aliment soja

Les valeurs sont les moyennes calculées pour trois essais

[†] Extraits non azotés = 100 – (% humidité + % protéines + % lipides + % cendres + % fibres)

^{*} Energie brute = (22,2 x protéines + 38,9 x lipides + 17,2 x extraits non azotés)

Tableau 8 : Composition minérale des aliments expérimentaux (g/kg d'aliment)

Minéraux	Aliments		
	AP	AM	AS
Ca	33,90	18,71	14,20
P	10,20	7,38	5,23
K	6,53	8,10	12,33
Na	5,98	6,17	7,37
Mg	2,50	2,66	2,57
Fe	0,37	0,64	0,97
Zn	0,24	0,12	0,13
Mn	0,08	0,07	0,08
Cu	0,04	0,04	0,03

Tableau 9 : Composition en acides gras des aliments expérimentaux (% des acides gras totaux)

Acides gras	Aliments		
	AP	AM	AS
Laurique C12 :0	2,30	0,85	-
Myristoléique C14 :1	5,08	1,64	-
Palmitique C16 :0	27,92	18,57	14,13
Stéarique C18 :0	26,67	44,94	49,64
Oléique C18 :1	32,83	29,84	32,25
Linoléique C18 :2	5,25	4,18	3,92
Saturés totaux	56,89	64,36	63,77
Insaturés totaux	43,16	35,66	36,17

AP = Aliment poisson; AM = Aliment mixte; AS = Aliment soja ; (- = absence)

2.3- Elevage des poissons

2.3.1- Constitution des lots expérimentaux

Pendant les différentes expériences d'élevage des poissons, trois lots ont été constitués et répliqués trois fois.

- lot 1 : Régime 1, aliment poisson (AP);
- lot 2 : Régime 2, aliment mixte (AM);
- lot 3 : Régime 3, aliment soja (AS).

2.3.2- Protocole expérimental

Les juvéniles de *Heterobranchus longifilis* (élevage mixte) ont été utilisés après l'élevage larvaire pour la réalisation des expériences d'alimentation. Les spécimens de *S. melanotheron* et de *O. niloticus* ont été pêchés dans les étangs à la Station d'Aquaculture Expérimentale de Layo puis sexés. Le sexage des poissons a consisté à imbiber la papille génitale des poissons d'une goutte d'une solution de bleu de méthylène de concentration 1 g/L. Cette pratique a permis de délimiter le contour de l'orifice génital et de distinguer les mâles des femelles. Les mâles de *S. melanotheron* et de *O. niloticus* ont été par la suite prélevés pour les expériences d'alimentation (élevage monosex mâle). Tous les poissons ont été acclimatés pendant deux semaines dans les bacs à la station de Layo et ont été nourris à une ration de 5 % de la biomasse avec un aliment commercial à 30 % de protéines fabriqué par IVOGRAIN (Côte d'Ivoire). Après cette période, les compositions initiales en protéines, cendres, lipides et énergie des trois espèces de poissons ont été déterminées. Par la suite, les expériences d'élevage ont été réalisées avec *H. longifilis*, *S. melanotheron* et *O. niloticus*.

- Expérience 1: Au total 4500 juvéniles de *Heterobranchus longifilis* de masse moyenne initiale $0,15 \text{ g} \pm 0,01 \text{ g}$ ont été comptés et répartis dans 9 bacs en béton à une densité de 500 poissons par bac ($125 \text{ poissons m}^{-3}$).
- Expérience 2: Trois cent soixante (360) juvéniles mâles de *Sarotherodon melanotheron* de masse moyenne initiale $11,60 \pm 2,45 \text{ g}$ ont été distribués dans 9 bacs en béton à une densité de 40 poissons par bac ($10 \text{ poissons m}^{-3}$).
- Expérience 3: Trois cent soixante (360) juvéniles mâles de *Oreochromis niloticus* de masse initiale moyenne $11,56 \pm 4,22 \text{ g}$ ont été répartis dans 9 bacs en béton à une densité de 40 poissons par bac ($10 \text{ poissons m}^{-3}$).

Ces poissons ont été nourris avec les aliments expérimentaux AP, AM et AS pendant 4 mois (mars à juillet 2005) pour *Heterobranchus longifilis* et 6 mois pour *Sarotherodon*

melanotheron (mars à septembre 2005) et *Oreochromis niloticus* (avril à octobre 2006). Les régimes alimentaires ont été répétés trois fois et les poissons ont été nourris à une ration de 5 % de la biomasse totale, fractionnée en trois repas par jour (08H00, 12H00 et 17H00).

2.3.3- Déroulement des expériences

Tous les jours, le nombre de poissons morts a été relevé par bac. Pendant les échantillonnages mensuels, la totalité des poissons par bac a été pesée et les rations alimentaires ont été ajustées chaque mois sur la base de la nouvelle biomasse. Les poissons ont été comptés par bac et la longueur totale et le poids corporel individuel ont été déterminés. Pour *H. longifilis* un échantillon de 30 poissons par bac ont été utilisés pour les mesures et pesées, et 10 poissons par bac ont été utilisés pour *S. melanotheron* et *O. niloticus*. A la fin des expériences, le nombre de poissons dans chaque bac a été déterminé, les longueurs totales et les poids finaux des échantillons de poissons ont été relevés. Dix poissons (*S. melanotheron* et *O. niloticus*) par régime ont été échantillonnés sacrifiés et disséqués. Les viscères, le foie et les gonades ont été isolés et pesés pour les calculs des indices viscérosomatique, hépatosomatique et gonadosomatique. Les carcasses de 10 poissons (*H. longifilis*, *S. melanotheron* et *O. niloticus*) par bac ont été prélevées et conservées à - 20 °C pour l'analyse bromatologique.

Au cours de l'élevage de *H. longifilis*, une différence est faite entre le nombre de poissons morts ramassés entiers, non mutilés et le nombre de morts dû au cannibalisme. Les poissons morts entiers, non mutilés et flottants à la surface de l'eau des bacs sont considérés comme n'ayant pas succombés au cannibalisme (Haylor, 1991). Les poissons considérés comme ayant succombés au cannibalisme sont les poissons disparus ou morts mutilés (Hecht et Appelbaum, 1988). Tous les mois, les plus gros poissons (têtes de lots) ont été comptés et retirés par bac.

2.3.3.1- Paramètres de croissance

Pour l'expression des résultats de croissance, les paramètres suivants ont été utilisés:

- **Gain de Poids (g) : GP**

Le gain de poids est le poids corporel acquis par rapport au poids (masse) initial pendant une période déterminée.

$$GP = \text{Poids final} - \text{Poids initial}$$

- **Gain de Poids Quotidien (g/j) : GPQ**

$$GPQ = \frac{\text{Poids final} - \text{Poids initial}}{\text{Durée de la consommation de l'aliment}}$$

- **Taux de Croissance Spécifique (%/j) : TCS**

Le taux de croissance spécifique est le gain de poids en termes de pourcentage de poids corporel. Il est généralement élevé chez les jeunes animaux et décroît avec l'âge (Delincé, 1992).

$$TCS = \frac{\ln(\text{Poids final}) - \ln(\text{Poids initial})}{\text{Durée de la consommation de l'aliment}} \times 100$$

- **Taux de Cannibalisme (%): TC**

Le taux de cannibalisme permet d'exprimer le nombre de poissons ayant succombés au phénomène de cannibalisme en termes de pourcentage du nombre initial de poissons utilisés.

$$TC = \frac{\text{Nombre de poissons disparus} + \text{Nombre de poissons morts mutilés}}{\text{Nombre initial de poisson}} \times 100$$

- **Taux de mortalité (%): Tm**

Le taux de mortalité (m) exprime le nombre de poissons morts n'ayant pas succombés au phénomène de cannibalisme en termes de pourcentage du nombre initial de poissons utilisés.

$$Tm = \frac{\text{Nombre de poissons morts ramassés entiers et non mutilés}}{\text{Nombre initial de poisson}} \times 100$$

- **Taux de Survie (%): TS**

$$TS = \frac{\text{Nombre de poissons final}}{\text{Nombre de poissons initial}} \times 100 = 100 - TM_t$$

Avec $TM_t = TC + Tm$

2.3.3.2- Paramètres d'utilisation de l'aliment

- **Taux de Conversion Alimentaire : TCA**

Dans le contexte de la pisciculture, très souvent, le taux de conversion alimentaire est appelé coefficient nutritif ou indice de consommation (IC). Il est utilisé pour évaluer le rendement de l'aliment distribué (Steffens, 1989). Il existe une relation inverse entre le

rendement et le taux de conversion alimentaire. Le rendement élevé et le faible taux de conversion alimentaire sont indicateurs d'un haut niveau d'utilisation de l'aliment pour la croissance.

$$TCA = \frac{\text{Quantité d'aliment distribuée en un temps donné}}{\text{Gain de poids pendant le même temps}}$$

▪ **Coefficient d'Efficacité Protéique : CEP**

Le coefficient d'efficacité protéique rend compte de la capacité du poisson à utiliser et à transformer en masse corporelle les protéines apportées par l'aliment.

$$CEP = \frac{\text{Gain de poids}}{\text{Protéines distribuées}}$$

Avec *Protéines distribuées* = *Teneur en protéines de l'aliment X Quantité d'aliment distribuée*

2.3.3.3- Productivité de l'aliment

Le temps de production et le coût de production permettent d'apprécier la productivité de l'aliment. Les faibles valeurs de ces paramètres sont souvent caractéristiques d'un aliment économiquement rentable. Le temps de production a été déterminé selon les calculs décrits par Ouattara (2004). Le coût de production lié essentiellement à l'aliment a été déterminé selon El-Saidy et Gaber (2003).

▪ **Coût de Production (FCFA/kg) : CP**

Le coût de production exprime le prix du kilogramme de poisson produit calculé à partir du coût total de l'aliment distribué.

$$CP = \frac{\text{Coût d'aliment utilisé}}{\text{Gain de poids}}$$

▪ **Temps de Production (j/kg) : TP**

Le temps de production exprime le nombre de jour nécessaire à la production d'un kg de poisson.

$$TP = \frac{\text{Durée d'élevage}}{\text{Gain de poids}}$$

2.3.3.4- Paramètres biologiques

Les poissons sont capables de stocker les graisses dans les tissus adipeux périviscéraux et sous-cutanés, le muscle et le foie (Sheridan, 1988). Selon cet auteur, les viscères renferment plus de 90 % de leur poids en lipides. Toutefois, un développement excessif des dépôts lipidiques périviscéraux diminue le rendement des carcasses (Corraze *et al.*, 1999). Les indices hépatosomatique et viscérosomatique rendent compte de la richesse en lipide des poissons. Ils permettent également d'identifier les lieux de stockage des lipides chez les poissons. Ces indices ont été déterminés à partir des formules suivantes:

- **Indice Viscérosomatique (%) : IVS**

$$IVS (\%) = \frac{\text{Poids des viscères}}{\text{Poids total du poisson}} \times 100$$

- **Indice Hepatosomatique (%): IHS**

$$IHS (\%) = \frac{\text{Poids du foie}}{\text{Poids total du poisson}} \times 100$$

2.4- Analyses biochimiques

Les teneurs en humidité, protéines, lipides et cendres de tous les échantillons de poissons ont été déterminées au Laboratoire des Sciences des Aliments de l'Université de Cocody (Abidjan) selon les méthodes classiques AOAC (1995). La séparation des esters méthyliques des acides gras libres des huiles de poissons et le dosage des minéraux des carcasses de poissons ont été déterminés avec les mêmes méthodes et dans les mêmes laboratoires que les aliments formulés.

2.4.1- Teneur en humidité

La teneur en humidité de 10 g d'échantillon pesé dans une capsule a été obtenue après séchage à l'étuve à 80 °C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. La capsule a été retirée de l'étuve, et refroidie dans un dessiccateur puis pesée. Les pourcentages d'humidité sont calculés selon les formules suivantes:

$$\text{Pourcentage d'humidité} = 100 - \left(\frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} \times 100 \right)$$

M₀: masse de la capsule vide (g);

M₁: masse de la capsule et de l'échantillon (g);

M₂: masse de la capsule et de la matière sèche (g).

2.4.2- Teneur en cendres

Cinq (5) g d'échantillon à analyser ont été mis dans un creuset à incinérer en porcelaine de masse initiale connue et placés dans un four à moufle à 550 °C pendant 24 heures. Après refroidissement au dessiccateur, l'ensemble creuset plus échantillon a été pesé à l'aide d'une balance électronique de précision de type SARTORIUS L 6200 S (portée 121 g; précision 0,001 g). La teneur en cendres est calculée selon la formule suivante:

$$\text{Pourcentage de cendres} = \frac{(M_2 - M_0)}{(M_1 - M_0)} \times 100$$

M₀: masse du creuset vide (g);

M₁: masse du creuset et de l'échantillon (g);

M₂: masse du creuset et des cendres (g).

2.4.3- Composition minérale

Les minéraux dosés sont le calcium (Ca), le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na), le magnésium (Mg), le fer (Fe), le zinc (Zn), le manganèse (Mn) et le cuivre (Cu). Les dosages ont été effectués au spectrophotomètre à absorption atomique selon les techniques décrites par AOAC (2003).

Pour les analyses, 0,5 g de masse sèche de l'échantillon a été pesé dans le récipient de digestion, puis sont ajoutés successivement 5 ml d'HNO₃ et 2 ml de H₂O₂ (30 %). Ensuite, le récipient a été fermé et mis dans le four micro-onde préalablement programmé selon le paramètre à analyser. Après la digestion de l'échantillon, celle des réactifs a été réalisée à blanc. Les récipients de digestion ont été ouverts après refroidissement et le contenu a été transféré dans un ballon volumétrique de 25 ml. Le volume a été complété avec de l'eau distillée. Les échantillons à blanc ont été traités de façon similaire.

Les échantillons trop concentrés en minéraux ont été dilués avec de l'acide nitrique 3 M jusqu'aux limites de détection de l'élément à doser.

Le spectrophotomètre à absorption atomique a été utilisé pour déterminer les concentrations des différents minéraux. Les concentrations en minéraux des échantillons ont été calculées selon la formule suivante:

$$C = (a-b) \text{ df} \times 25 / m \text{ où}$$

C = concentration des échantillons (mg/kg);

a = concentration de la solution analysée (mg/L);

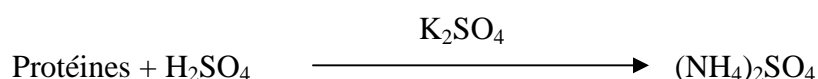
b = concentration moyenne des solutions à blanc (mg/L);

df = facteur de dilution;

25 = 25 ml d'eau distillée utilisée pour la première dilution de l'échantillon; m = masse de l'échantillon (g).

2.4.4- Dosage de l'azote total

Le taux d'azote total a été déterminé selon la méthode de KJELDAHL. La détermination se fait par la conversion de l'azote des protéines (azote organique) en sulfate d'ammonium selon la réaction suivante:



Le dosage de l'azote total des échantillons se fait en deux étapes: la minéralisation sulfurique et la distillation.

Pour la minéralisation sulfurique, 1 g de chaque échantillon a été mis dans un tube MATRA de 200 ml. A ces tubes 12 ml de H₂SO₄ 98 % (V/V) ainsi que deux comprimés KJELDAHL composés de sulfate de cuivre (CuSO₄) et de sulfate de potassium (K₂SO₄) ont été ajoutés. Tous les essais ont été réalisés en double. Les tubes MATRA ont été chauffés à 420 °C sous une hotte pendant 1 h, jusqu'à obtention d'une coloration vert clair. Dans l'opération de minéralisation, l'apparition de fumées signifie que l'évaporation de l'eau est achevée. La liqueur obtenue brunie puis se décolore. Le chauffage à 420 °C se poursuit une heure après la décoloration pour que la destruction des matières organiques soit complète. La solution est ensuite refroidie.

La distillation suivie du titrage avec l'acide chlorhydrique (HCl) a été faite en portant les tubes MATRA au distillateur automatique de type FOSS TECATOR (2200 Kjeltex auto distillation). Au cours de la distillation, le sulfate d'ammonium a été décomposé par la soude (0,5 N), l'ammonium ainsi libéré est entraîné par la vapeur et titré à l'aide d'une burette contenant de l'acide chlorhydrique (0,1 N) en présence d'un indicateur coloré, le rouge de méthyle. Le titrage est achevé lorsque la solution vire du bleu au rouge. La formule suivante a été utilisée pour déterminer le pourcentage d'azote de l'échantillon analysé.

$$\text{Pourcentage d'azote} = \frac{(V - Vb) \times 0,1 \times 14}{1000 \times \text{prise d'essai}} \times 100$$

V = Volume d'acide sulfurique en ml versé pour le dosage;

V_b = Chute de burette pour l'échantillon blanc ;

Masse molaire de l'azote = 14 g/mol

Prise d'essai en g.

2.4.5- Teneur en protéines

La teneur en protéines de l'échantillon a été calculée à partir du pourcentage d'azote total selon la formule suivante:

$$\text{Pourcentage de protéines} = \text{Pourcentage d'azote total} \times 6,25$$

Avec 6,25 = facteur de conversion

2.4.6- Teneur en matières grasses

La détermination de la teneur en matières grasses a été effectuée selon la méthode de SOXHLET (1879). Cette méthode a consisté à broyer 5 g d'échantillon (M₀) en fines particules et à l'introduire dans la cartouche de WAHTMAN, au-dessus duquel se trouve du coton pour éviter les remontées au cours du chauffage. Un volume de 350 ml d'hexane a été introduit dans le ballon d'extraction de masse M₁. Le ballon a été connecté à l'extracteur. Les robinets des réfrigérants ont été ensuite ouverts puis les blocs chauffants ont été mis en marche pendant 6 heures. Au terme de cette période, le ballon d'extraction a été retiré de l'appareil de SOXHLET et le solvant a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif de type BÜCHI. Le ballon est séché à l'étuve à 80 °C pendant 18 heures et mis au dessiccateur pendant 2 heures. Puis la pesée du ballon avec la matière grasse (M₂) a été effectuée.

Le pourcentage de matière grasse se calcule selon la formule suivante:

$$\text{Pourcentage de matières grasses} = \frac{M_2 - M_1}{M_0} \times 100$$

M₀ : masse de l'échantillon (g) ;

M₁ : masse du ballon sec avant extraction (g) ;

M₂ : masse du ballon contenant les matières grasses après extraction (g).

2.4.7- Profil acides gras

Les acides gras libres sont difficiles à analyser par chromatographie en phase gazeuse du fait de leur faible volatilité et de leur tendance à s'adsorber. Ainsi ces acides gras sont-ils souvent analysés sous la forme d'esters méthyliques. La méthode IUPA (1987) a été utilisée

pour la séparation des esters méthyliques des acides gras libres et totaux. Un chromatographe en phase gazeuse de marque HP 6890 séries GC SYSTEM a été utilisé pour les analyses. Cet appareil est équipé d'un détecteur à ionisation de flamme et d'une colonne capillaire HP-5 (Cross-linked 5 % PH ME Siloxane) de longueur 30 m; épaisseur du film 0,25 µm; diamètre interne 0,32 mm; 5 % de diphenyl; 95 % diméthyle polysiloxane; non polaire, avec une programmation de température du four croissante de - 60 à 325 °C à raison de 1 °C/minute. La forte affinité des acides libres pour cette colonne et la grande stabilité thermique de la colonne permet l'analyse des acides libres les moins volatils. La sélectivité de cette colonne a permis la séparation des acides gras libres essentiellement en fonction de leur longueur de chaîne et de leur degré de saturation.

La température de l'injecteur a été réglée à 275 °C et celle du détecteur à 325 °C. La pression à l'entrée de l'azote utilisé comme gaz vecteur a varié de 6,90 à 47,6 kPa. Le débit a été maintenu à 1 cm/min et le temps mort était de 1 min 15 s (hydrogène 40 cm/sec).

Pour l'analyse proprement dite, 5 g d'huile ont été déposés dans un ballon à fond plat et 2,5 g de soude liquide (NaOH 1N) y ont été ajoutés. Quelques pierres ponce ont été ajoutées pour empêcher le crépitement excessif. L'ensemble est chauffé sur un système (chauffe ballon et réfrigérant) à reflux, à feu doux jusqu'à la formation d'une croûte. Vingt ml d'acide sulfurique à 20 % (v/v) ont été ajoutés lentement et l'ensemble a été chauffé à feu doux jusqu'à l'apparition d'une solution translucide. Ensuite, 80 ml du mélange méthanol acide sulfurique ont été ajoutés à la solution translucide et l'ensemble a été porté à ébullition. Au bout de 2 h, la matière grasse estérifiée est décantée dans une ampoule jusqu'à l'élimination totale de la phase non estérifiée. L'échantillon estérifié (0,5 ml) a été ensuite récupéré par 2,5 ml d'hexane puis homogénéisé. Un microlitre de ce mélange a été prélevé dans une seringue, rapidement injecté dans l'injecteur puis la sortie des pics est attendue à l'écran. Les résultats sont exprimés en % des acides gras totaux. L'identification des pics représentatifs des acides gras a été réalisée en utilisant un chromatogramme étalon par comparaison du temps de rétention de chaque pic du chromatogramme.

2.4.8- Teneur en fibres totales

Un échantillon d'aliment (2 g) broyé et tamisé a été introduit dans un ballon de 1000 ml contenant 200 ml de détergent acide constitué de 180 ml H₂SO₄ (2N) et de 20 ml d'une solution de bromure de cétyl, triméthyl ammonium et d'eau (20 g de bromure dissout dans l'eau dont le volume final est ramené à 200 ml). Le ballon a été surmonté d'un réfrigérant à

reflux raccordé au robinet d'eau courante. Le bloc a été mis dans un chauffe-ballon électrique et le contenu a été porté à ébullition pendant 1 heure. Le mélange a été filtré à chaud sur un entonnoir en porcelaine de 2 mm de maille muni de papier filtre. Le filtrat a été lavé trois fois avec de l'eau chaude, puis séché à l'étuve à 105 °C pendant 24 h. Le papier est ensuite refroidi au dessiccateur et pesé. Il a été calciné ensuite à 550 °C pendant 24 h.

La teneur en fibres totales a été calculée selon la formule :

$$\text{Pourcentage de fibres totales} = \frac{M_3 - (M_2 + M_1)}{M_0} \times 100$$

M₀: masse de l'échantillon (g)

M₁: masse des cendres (g)

M₂: masse du papier filtre (g)

M₃: masse du papier filtre + résidu après séchage (g)

2.4.9- Teneur en énergie

La détermination de l'énergie brute se fait par calcul avec des valeurs énergétiques apportées par les différentes composantes de l'échantillon. Ces valeurs énergétiques sont de 22,2 kJ/g, 38,9 kJ/g et 17,2 kJ/g respectivement pour les protéines, lipides et extraits non azotés (ENA) (Luquet et Moreau, 1989).

$$\text{Energie brute (kJ/g)} = (22,2 \times \text{teneur en protéines}) + (38,9 \times \text{teneur en lipides}) + (17,2 \times \text{ENA})$$

$$\text{Extraits non azotés} = 100 - (\% \text{ humidité} + \% \text{ protéines} + \% \text{ lipides} + \% \text{ cendres} + \% \text{ fibres})$$

2.4.10- Paramètres de conversion des aliments

Les relations mathématiques suivantes ont permis de calculer le gain lipidique journalier et l'énergie retenue. Le gain lipidique journalier défini par Dias *et al.* (1999) comme étant la quantité de lipides retenus par un kg de poisson par jour.

- **Gain lipidique journalier (g/kg/j) : GLJ**

$$GLJ = \frac{\text{Gain de lipides}}{\text{Gain de poids} \times \text{Durée d'élevage}} \times 100$$

▪ **Energie retenue (%) : ER**

$$ER = \frac{\text{Energie final} - \text{Energie initiale}}{\text{Energie de l'aliment}}$$

2.5- Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel STATISTICA 7.1. L'homogénéité des variances pour un même traitement alimentaire a été testée par le test de Fisher ($\alpha = 0,05$).

Pour *H. longifilis*, 30 poissons par bacs ont été échantillonnés pour la mesure des paramètres zootechniques soit 90 poissons échantillonnés par aliment et un total de 270 individus échantillonnés. Concernant *S. melanotheron* et *O. niloticus* 10 poissons par bacs ont été échantillonnés, donnant ainsi 30 poissons par aliment et 90 poissons échantillonnés au total. Les analyses de la composition biochimique des carcasses ont été effectuées sur trois poissons par bacs, soit 9 poissons par traitement et un total de 27 poissons échantillonnés et analysés séparément. Trois échantillons des MES et de périphyton récolté par bac d'élevage, soit un total de 27 échantillons ont été analysés.

Les données sur la longueur totale, le poids corporel, les paramètres zootechniques étudiés, la composition biochimique des carcasses de poissons, les paramètres physico-chimiques, les quantités des MES et du périphyton ont été analysées par ANOVA à un facteur. Les analyses ont été considérées significatives à $p < 0,05$. Tous les résultats ont été présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les valeurs de longueur et de poids corporel ont été transformées en logarithme avant les analyses statistiques. De même, les valeurs exprimées en pourcentages ont été transformées en arc sinus.

Les comparaisons multiples des moyennes ont été effectuées avec les tests de Tukey's (paramètres physico-chimiques, longueur totale, poids corporel) ou de Duncan (paramètres zootechniques étudiés, compositions biochimiques finales des carcasses de poissons, les quantités de MES et de périphyton).

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

1- INFLUENCE DE LA SUBSTITUTION DE LA FARINE DE POISSON PAR LE TOURTEAU DE SOJA SUR LA QUALITE DU MILIEU D'ELEVAGE

1.1- Résultats

1.1.1- Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des bacs d'élevage

Les paramètres physico-chimiques enregistrés au cours des expériences d'élevage de *Heterobranchus longifilis*, *Sarotherodon melanotheron* et *Oreochromis niloticus* sont résumés dans les Tableaux 10, 11 et 12 respectivement. Les températures de l'eau enregistrées pendant les expériences d'élevage varient de 28,90 à 29,10 °C pour *H. longifilis* (période de mars à juillet 2005); de 25,20 à 30,80 °C pour *S. melanotheron* (période de mars à septembre 2005) et de 25,70 à 31,90 °C pour *O. niloticus* (période de avril à octobre 2006). Les valeurs moyennes de pH relevées dans les bacs sont de $6,93 \pm 0,06$; $6,78 \pm 0,69$ et de $6,81 \pm 0,54$ respectivement pour les élevages de *H. longifilis*, *S. melanotheron* et *O. niloticus*. Les concentrations en oxygène dissous dans les bacs d'élevage fluctuent entre 4,30 et 4,43 mg/L (*H. longifilis*), 4,10 et 4,70 mg/L (*S. melanotheron*) et 3,41 et 4,7 mg/L (*O. niloticus*). Pour les trois expériences d'élevage, aucune différence significative n'a été enregistrée pour les données sur la température, le pH et l'oxygène dissous relevées dans les bacs.

Les concentrations en nitrites de l'eau des bacs ont varié entre $0,04 \pm 0,02$ mg/L et $0,06 \pm 0,02$ mg/L dans tous les bacs d'élevage, la valeur moyenne générale est de $0,05 \pm 0,01$ mg/L. Les concentrations en nitrites sont similaires dans les bacs d'élevage quelle que soit l'expérience considérée. Celles des nitrates sont comprises entre 0,24 et 0,26 mg/L (*H. longifilis*) ; 0,15 et 0,29 mg/L (*S. melanotheron*) et entre 0,13 et 0,28 mg/L pour *O. niloticus*. Il n'y a pas de différence significative au niveau des teneurs en nitrates des bacs d'élevage de *H. longifilis* contrairement à *S. melanotheron* et *O. niloticus*. Au cours des élevages de ces deux espèces, les valeurs les plus élevées ($p < 0,05$) de nitrates sont enregistrées dans les bacs où les aliments AP et AM ont été distribués, les plus faibles concentrations obtenues avec AS. En ce qui concerne le phosphore, les différences de concentrations sont enregistrées seulement au cours de l'expérience d'élevage de *O. niloticus*. Pour cette expérience, les teneurs en phosphore de l'eau les plus élevées ($p < 0,05$) ont été obtenues avec les aliments AP ($0,20 \pm 0,04$ mg/L) et AM ($0,23 \pm 0,05$ mg/L), les plus faibles valeurs étant observées avec l'aliment AS ($0,11 \pm 0,21$ mg/L). Les concentrations en phosphore ont varié de 0,35 à 0,40 mg/L au cours de l'élevage de *H. longifilis* et de *S. melanotheron* et de 0,11 à 0,28 mg/L chez *O. niloticus*.

Tableau 10 : Paramètres physico-chimiques de l'eau des bacs au cours de l'élevage de *Heterobranchus longifilis*

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
Température (°C)	29,00 ± 0,15 ^a	29,03 ± 0,11 ^a	29,06 ± 0,08 ^a
pH	6,90 ± 0,07 ^a	6,89 ± 0,06 ^a	6,97 ± 0,07 ^a
Oxygène dissous (mg/L)	4,36 ± 0,15 ^a	4,43 ± 0,10 ^a	4,42 ± 0,16 ^a
Nitrites (mg/L)	0,05 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,02 ^a	0,06 ± 0,00 ^a
Nitrates (mg/L)	0,26 ± 0,02 ^a	0,26 ± 0,01 ^a	0,24 ± 0,02 ^a
Phosphore (mg/L)	0,40 ± 0,14 ^a	0,38 ± 0,20 ^a	0,35 ± 0,34 ^a

Tableau 11 : Paramètres physico-chimiques de l'eau des bacs au cours de l'élevage de *Sarotherodon melanotheron*

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
Température (°C)	27,91 ± 2,71 ^a	27,92 ± 2,71 ^a	27,90 ± 2,89 ^a
pH	6,80 ± 0,72 ^a	6,71 ± 0,60 ^a	6,81 ± 0,70 ^a
Oxygène dissous (mg/L)	4,31 ± 0,32 ^a	4,32 ± 0,38 ^a	4,30 ± 0,33 ^a
Nitrites (mg/L)	0,06 ± 0,02 ^a	0,05 ± 0,02 ^a	0,04 ± 0,02 ^a
Nitrates (mg/L)	0,27 ± 0,02 ^b	0,24 ± 0,02 ^b	0,15 ± 0,01 ^a
Phosphore (mg/L)	0,40 ± 0,22 ^a	0,38 ± 0,19 ^a	0,35 ± 0,21 ^a

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

Tableau 12 : Paramètres physico-chimiques de l'eau des bacs au cours de l'élevage de *Oreochromis niloticus*

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
Température (°C)	28,10 ± 0,14 ^a	28,16 ± 0,13 ^a	28,29 ± 0,14 ^a
pH	6,93 ± 0,07 ^a	6,85 ± 0,06 ^a	6,90 ± 0,06 ^a
Oxygène dissous (mg/L)	4,23 ± 0,14 ^a	4,32 ± 0,15 ^a	4,27 ± 0,20 ^a
Nitrite (mg/L)	0,06 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,01 ^a	0,05 ± 0,00 ^a
Nitrate(mg/L)	0,27 ± 0,01 ^c	0,18 ± 0,00 ^b	0,14 ± 0,01 ^a
Phosphore (mg/L)	0,20 ± 0,04 ^b	0,23 ± 0,05 ^b	0,11 ± 0,03 ^a

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

1.1.2- Matières en suspension et périphyton

1.1.2.1- Matières en suspension et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de *Heterobranchus longifilis*

Le Tableau 13 donne les quantités de matière sèche (MS), matière organique totale (MOT) et de minéraux des matières en suspension (MES) récoltées dans les bacs d'élevage de *H. longifilis*. Pour les MES récoltées, les valeurs varient de 244,4 ± 36,54 (AM) à 249,86 ± 21,09 g/L pour les MS, de 136,27 ± 16,70 à 160,87 ± 5,48 g/L pour les MOT et de 88,98 ± 17,67 à 103,64 ± 17,07 g/L pour les minéraux. Le régime alimentaire n'a pas d'effet significatif sur les quantités de MS, MOT et minéraux des MES récoltées au cours de l'élevage de *H. longifilis*.

Dans les bacs témoins (dépourvus de poissons et d'aliment), la croissance de périphyton sur les parois des bacs en béton est négligeable. Les teneurs en MS et en minéraux du périphyton récolté sur les parois des bacs expérimentaux sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) dans les bacs où l'aliment AP a été distribué. Les plus faibles valeurs sont obtenues avec l'aliment AS. Les quantités de masse sèche de périphyton sont de 42,49 ± 0,83 g/m² avec AP ; 39,52 ± 1,93 g/m² avec AM et 35,70 ± 1,31 g/m² pour AS. Celles des minéraux sont de 23,01 ± 1,18 g/m² (AP) ; 19,50 ± 0,64 g/m² (AM) et 17,53 ± 0,32 g/m²

(AS). Les proportions de MOT du périphyton récolté varient de $18,17 \pm 1,20$ à $20,02 \pm 1,29$ g/m² et sont similaires dans tous les bacs.

Tableau 13 : Matières en suspension (MES) et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de *Heterobranchus longifilis*

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
MES (mg/L)			
MS	249,86 ± 21,09 ^a	244,40 ± 36,54 ^a	239,91 ± 32,78 ^a
MOT	160,87 ± 5,48 ^a	141,12 ± 19,48 ^a	136,27 ± 16,70 ^a
Minéraux	88,98 ± 17,64 ^a	103,33 ± 10,92 ^a	103,64 ± 17,07 ^a
Périphyton (g/m²)			
MS	42,49 ± 0,83 ^c	39,52 ± 1,93 ^b	35,70 ± 1,31 ^a
MOT	19,47 ± 1,24 ^a	20,02 ± 1,29 ^a	18,17 ± 1,20 ^a
Minéraux	23,01 ± 1,18 ^c	19,50 ± 0,64 ^b	17,53 ± 0,32 ^a

*Les résultats sont exprimés en moyenne ± écart type n = 9

MS = Matière sèche ; MOT = Matière organique totale ;

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

1.1.2.2- Matières en suspension et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de *Sarotherodon melanotheron*

Les compositions en MS, MOT et minéraux des MES et du périphyton sont consignées au Tableau 14. Les valeurs les plus élevées de ces paramètres ($p < 0,05$) sont obtenues dans les bacs où les aliments AP et AM ont été distribués.

La masse sèche des MES varient de $131,69 \pm 5,46$ (AS) à $172,91 \pm 12,46$ g/L (AP); les MOT oscillent entre $74,93 \pm 4,50$ (AS) et $112,60 \pm 2,31$ g/L (AP) ; tandis que les taux de minéraux sont compris entre $56,77 \pm 3,17$ (AS) et $62,33 \pm 3,77$ g/L (AP).

Au niveau du périphyton récolté dans les bacs d'élevage de *S. melanotheron* les valeurs de MS varient entre $18,10 \pm 2,55$ et $35,16 \pm 4,18$ g/m², celles des MOT oscillent entre $10,35 \pm 1,17$ et $18,91 \pm 1,35$ g/m². Les teneurs en minéraux sont comprises entre $7,75 \pm 1,37$ g/m² et $16,24 \pm 3,34$ g/m².

Tableau 14 : Matières en suspension (MES) et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de *Sarotherodon melanotheron*

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
MES (mg/L)			
MS	172,91 ± 12,46 ^b	171,30 ± 10,31 ^b	131,69 ± 5,46 ^a
MOT	112,60 ± 2,31 ^b	108,96 ± 6,54 ^b	74,93 ± 4,50 ^a
Minéraux	60,31 ± 10,03 ^b	62,33 ± 3,77 ^b	56,77 ± 3,17 ^a
Périphyton (g/m²)			
MS	35,16 ± 4,58 ^b	30,62 ± 4,35 ^b	18,10 ± 2,55 ^a
MOT	18,91 ± 1,35 ^b	18,15 ± 1,31 ^b	10,35 ± 1,17 ^a
Minéraux	16,24 ± 3,34 ^b	12,47 ± 3,04 ^{ab}	7,75 ± 1,37 ^a

*Les résultats sont exprimés en moyenne ± écart type n = 9

MS = Matière sèche ; MOT = Matière organique totale ;

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$.

1.1.2.3- Matières en suspension et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de *Oreochromis niloticus*

Le Tableau 15 donne les quantités de matières en suspension (MES) et de périphyton prélevées dans les bacs au cours de l'élevage de *Oreochromis niloticus*. Les quantités de matière sèche (MS) et de MES récoltés dans les bacs sont de 132,40 ± 9,78 mg/L (AP), 139,44 ± 6,44 mg/L (AM) et de 94,17 ± 13,95 mg/L (AS). Ces valeurs sont significativement plus élevées ($P < 0,05$) dans les bacs où les aliments AP et AM ont été distribués. Les teneurs en matière organique totale (MOT) des MES récoltées varient de 43,20 ± 6,12 (AS) à 78,07 ± 5,83 mg/L (AP). Les MOT des MES sont significativement plus élevées ($P < 0,05$) dans les bacs où les aliments AP et AM ont été distribués. Les teneurs en minéraux des MES sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) dans les bacs où l'aliment AM a été distribué (65,25 ± 2,77 mg/L), les plus faibles valeurs sont obtenues avec AP (54,32 ± 3,99 mg/L) et AS (50,97 ± 7,83 mg/L).

Les teneurs de MS des périphytons sont de 33,17 ± 3,52 g/m², 25,17 ± 2,17 g/m² et 10,74 ± 1,20 g/m² respectivement pour les bacs où les aliments AP, AM et AS ont été

distribués. Ces valeurs sont plus élevées ($p < 0,05$) dans les bacs où l'aliment AP a été distribué par rapport aux bacs où l'aliment AS a été distribué. Les MOT des périphytons récoltés varient entre $6,33 \pm 0,82$ (AS) et $16,70 \pm 2,11$ g/m² (AP). Les minéraux varient entre $4,41 \pm 0,40$ (AS) et $16,46 \pm 1,47$ g/m² (AP). Ces teneurs en MOT et en minéraux des périphytons sont plus élevées ($p < 0,05$) dans les bacs où l'aliment AP a été distribué suivi de AM. Les plus faibles valeurs de MOT des périphytons ont été obtenues avec l'aliment AS.

Tableau 15 : Matières en suspension (MES) et périphyton prélevés dans les bacs d'élevage de *Oreochromis niloticus*

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
MES (g/L)			
MS	$132,40 \pm 9,78^b$	$139,44 \pm 6,44^b$	$94,17 \pm 13,95^a$
MOT	$78,07 \pm 5,83^b$	$74,20 \pm 3,83^b$	$43,20 \pm 6,12^a$
Minéraux	$54,32 \pm 0,00^a$	$65,25 \pm 2,77^b$	$50,97 \pm 7,83^a$
Périphyton (g/m²)			
MS	$33,17 \pm 3,52^c$	$25,17 \pm 2,17^b$	$10,74 \pm 1,20^a$
MOT	$16,70 \pm 2,11^c$	$11,54 \pm 1,29^b$	$6,33 \pm 0,82^a$
Minéraux	$16,46 \pm 1,47^c$	$13,63 \pm 1,28^b$	$4,41 \pm 0,40^a$

*Les résultats sont exprimés en moyenne \pm écart type n = 9

MS = Matière sèche ; MOT = Matière organique totale ;

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

1.2- Discussion

Les différents paramètres physico-chimiques évalués montrent que la température, le pH et l'oxygène dissous sont similaires d'une part d'un régime à l'autre et d'autre part d'une expérience à l'autre. Cette similarité pourrait s'expliquer par le fait que l'eau utilisée dans tous les bacs provient de la lagune Ebrié. De plus les différentes expériences ont eu lieu pendant les mêmes périodes de l'année (Mars à Octobre) au cours de deux années consécutives (2005-2006). Les valeurs moyennes générales obtenues sont de $28,40 \pm 1,71$ °C pour la température, $6,84 \pm 0,41$ pour le pH et de $4,32 \pm 0,23$ mg/L pour l'oxygène dissous. Ces valeurs sont caractéristiques de l'eau de cette lagune. Au cours de ces mêmes années Yapo *et al.* (2007) et Atsé *et al.* (2009a) ont enregistré des valeurs de température (27,2°C à 30,7°C), de pH (6,1 à 8,3) et d'oxygène dissous (5,2 à 6,2 mg/L) similaires. Dans notre étude, les valeurs de pH et oxygène dissous enregistrées dans les bacs n'ont pas subi d'influence liée aux différents régimes utilisés. Par ailleurs, la gamme de température recommandée pour une croissance maximale des poissons est de 28-30 °C pour les tilapias et de 27-29°C pour les poissons-chats (Boyd, 1990 ; Lawson, 1995). Les valeurs de pH comprises entre 6,5 et 9 sont conseillées pour l'élevage des poissons (Lawson, 1995 ; Tarazona et Munoz, 1995). En ce qui concerne l'oxygène dissous, les valeurs supérieures à 2,3 mg/L sont rapportées optimales pour une bonne croissance des poissons (Ross, 2000). Les valeurs enregistrées dans notre étude pour ces paramètres nous permettent de dire que les eaux des bacs expérimentaux étaient de bonne qualité. Cependant, selon Lanoiselee (1984) et Boyd (1995) les activités de dégradation de la matière organique issue des aliments par les organismes bactériens influencent les caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'élevage.

Les concentrations en nitrites de l'eau sont similaires dans les bacs d'élevage quel que soit l'aliment distribué aux poissons pour toutes les trois expériences. A l'inverse, les teneurs en nitrates de l'eau varient avec l'aliment distribué au cours des élevages de *S. melanotheron* et de *O. niloticus*. Chez *O. niloticus*, nous notons également une variation significative de la teneur en phosphore de l'eau. Les faibles valeurs de nitrates (*O. niloticus* et *S. melanotheron*) et de phosphore (*O. niloticus*) sont obtenues lorsque les poissons sont nourris avec l'aliment AS. Le nitrate est l'un des produits finaux du catabolisme protéique chez les poissons et il provient essentiellement de leur alimentation (Cho et Bureau, 1997). Selon Rivière (1978), Medale *et al.* (1995) et Helland et Grisdale Helland (1998), les fortes teneurs de lipides dans l'aliment entraînent une épargne protéique conduisant à une réduction des quantités d'azote excrétées dans l'eau. Par ailleurs, l'aliment AS est caractérisé par une proportion élevée de

lipides (12,92 %) par rapport aux aliments AM (8,37 %) et AP (9,24 %). Les fortes teneurs en nitrates dans l'eau des bacs où les aliments AP et AM ont été distribués s'expliqueraient par une utilisation effective de l'azote alimentaire par les poissons comme cela a été rapporté par Chakraborty *et al.* (1992). La farine de poisson contient un taux élevé de phosphore (NCR, 1993). La majeure partie de ce phosphore est présente dans l'aliment sous forme de tri calcium phosphate. De ce fait, il ne peut pas être absorbé par certaines espèces de poissons notamment les Cichlidae (Yone et Tochima, 1979) et se retrouve rejeté dans le milieu. De plus, les matières d'origine végétale sont très pauvres en phosphore par rapport aux matières d'origine animale (Green *et al.*, 2002). Ceci expliquerait les faibles teneurs en phosphore de l'eau des bacs lorsque l'espèce *O. niloticus* est nourri avec l'aliment AS. Cheng *et al.* (2003) avec des aliments formulés isoprotéïques dans lesquels les protéines végétales substituent la farine de poisson ont rapporté des résultats similaires. Ces auteurs, ont également obtenu une diminution des quantités d'azotes totaux et de phosphore dans l'eau lorsque cette même espèce est nourrie avec les aliments à base de protéines végétales. Par contre, chez *H. longifilis*, la teneur en lipide élevée de l'aliment AS et le taux élevé de phosphore de l'aliment AP n'ont pas eu d'influence sur les taux de nitrates et de phosphore de l'eau des bacs d'élevage. Pour ce poisson, les rejets en azote et phosphore de l'eau des bacs ont pu être également influencés par les rejets de métabolisme dû au cannibalisme constaté dans tous les bacs. Pour une bonne croissance des poissons, la concentration en nitrite de l'eau doit être inférieure à 0,1 mg/L et celles des nitrates inférieures à 100 mg/L (Pillay, 1992). Dans notre étude, les teneurs de nitrites et de nitrates de l'eau des bacs n'ont donc pas affectées la croissance des poissons.

Le régime alimentaire à base de tourteau de soja a entraîné une diminution des sels nutritifs (nitrites, nitrates et phosphore) dans l'eau des bacs. De plus, les teneurs en masse sèche (MS), et en matière organique totale (MOT) des matières en suspensions (MES) dans les bacs d'élevage sont faibles avec l'aliment AS. Les sels nutritifs et les MES sont des fertilisants responsables de la croissance des algues planctoniques et périphytiques (Azim *et al.*, 2001). Les faibles quantités de périphyton récoltées dans les bacs où l'aliment AS a été distribué seraient donc dues aux faibles quantités d'éléments nutritifs et de MES dans le milieu. Les matières en suspension et le périphyton récoltés dans les bacs sont caractérisés par de fortes teneurs en minéraux. Ces proportions de minéraux représentent presque la moitié de la matière sèche. Les minéraux des MES pourraient provenir des processus de décomposition et de minéralisation des aliments non consommés, des déjections des poissons et de l'eau

d'alimentation des bacs. De fortes teneurs en minéraux des matières en suspensions et des périphytons récoltés dans les bacs au cours des élevages ont été également rapportées par Blé *et al.* (2007) et Azim *et al.* (2003). Des proportions de 59 à 63 % de minéraux dans les matières en suspensions (Blé *et al.*, 2007) et 55 % de minéraux dans le périphyton (Azim *et al.*, 2003) ont été obtenues. Les fortes teneurs de périphyton relevées dans les bacs d'élevage de *H. longifilis* (35,70 à 42,49 g/m²) par rapport à *S. melanotheron* (18,10 à 35,16 g/m²) et *O. niloticus* (10,74 à 33,17 g/m²) pourraient s'expliquer d'une part par l'augmentation des rejets en nutriments et solides totaux (matières en suspension) dû au cannibalisme constaté dans tous les lots et d'autres part par le fait que *H. longifilis* qui se nourrit préférentiellement de zooplancton, de petits animaux terrestres et d'insectes (Micha, 1973) ne consomme pas le périphyton croissant sur les parois des bacs contrairement à *S. melanotheron* et *O. niloticus*. Pour ces deux derniers poissons à régime alimentaire phytophage, le périphyton représente une source de nourriture additionnelle dans les bacs d'élevage (Payne, 1983; Bamba, 2007). Cependant, la croissance excessive d'algues périphytique dans le milieu d'élevage peut entraîner une hyper-nitrification et une eutrophisation de l'eau (Jahan *et al.*, 2002). En milieu d'élevage, les réductions de la charge nutritive et de la productivité périphytique de l'eau sont donc souhaitées pour une bonne croissance des poissons. L'incorporation de protéines de soja dans l'alimentation des poissons permet d'atteindre ces objectifs.

2- INFLUENCE DE LA SUBSTITUTION DE LA FARINE DE POISSON PAR LE TOURTEAU DE SOJA DANS L'ALIMENT SUR LA CROISSANCE ET LA VALEUR NUTRITIVE DE *Heterobranchus longifilis*

2.1- Résultats

2.1.1- Croissance en poids corporel

Les variations du poids corporel de *Heterobranchus longifilis* nourri aux différents aliments expérimentaux AP, AM et AS pendant 120 jours d'élevage sont présentées à la Figure 6. Les courbes présentent dans l'ensemble une même tendance évolutive. L'évolution du poids corporel de *Heterobranchus longifilis* est lente au cours des deux premiers mois d'élevage par rapport aux deux derniers mois indépendamment du régime alimentaire. Les courbes de croissance sont bien distinctes les unes des autres et sont significativement ($p < 0,05$) différentes d'un aliment à l'autre. Les poissons nourris avec l'aliment AP donnent les valeurs les plus élevées ($p < 0,05$) de croissance en poids corporel alors que ceux nourris avec l'aliment AS ont les plus faibles croissances. Le lot de poisson ayant reçu l'aliment AM donne les valeurs de croissance intermédiaires par rapport aux autres.

2.1.2- Poids final, gain de poids, gain de poids quotidien et taux de croissance spécifique

En fin d'élevage, les valeurs moyennes du poids final (P_f) et du gain de poids (GP) sont respectivement de $134,40 \pm 51,70$ g (AP), $73,59 \pm 27,50$ g (AM), $52,10 \pm 25,60$ g (AS) et $134,25 \pm 51,70$ g (AP), $73,44 \pm 27,50$ g (AM) et $51,95 \pm 25,60$ g (AS) (Tableau 14). Les valeurs moyennes de gain de poids quotidien (GPQ) enregistrées sont de $1,12 \pm 0,43$ g/j pour AP, $0,61 \pm 0,23$ g/j pour AM et de $0,43 \pm 0,21$ g/j pour AS. Les valeurs de P_f , GP et de GPQ varient significativement ($p < 0,05$) d'un régime alimentaire à un autre. Les valeurs moyennes de P_f ($134,40 \pm 51,70$ g), GP ($134,25 \pm 51,70$ g), et de GPQ ($1,12 \pm 0,43$ g/j) sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AP. Les plus faibles valeurs de P_f ($52,10 \pm 25,60$ g), GP ($51,95 \pm 25,60$) et de GPQ ($0,43 \pm 0,21$) sont obtenues chez les poissons nourris avec AS.

Les taux de croissance spécifique obtenus sont de $5,60 \pm 0,28$ (AP), $5,15 \pm 0,08$ (AM) et $4,84 \pm 0,40$ (AS). Les valeurs sont plus élevées ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AP, suivi de AM et plus faibles avec AS.

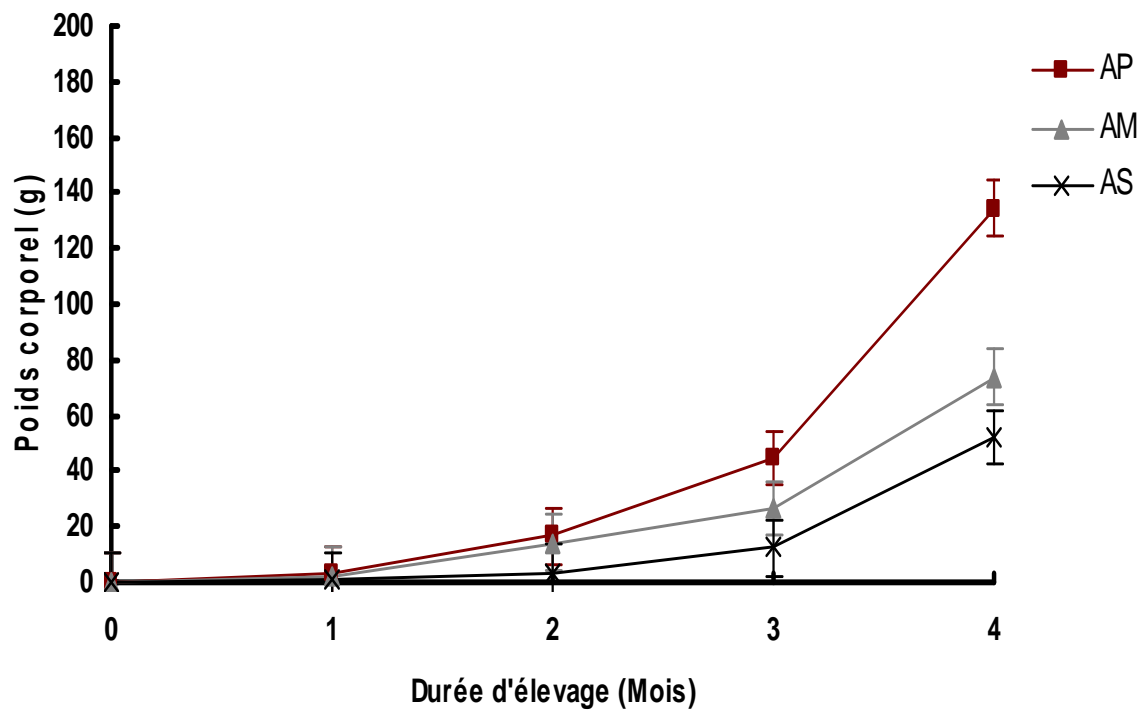


Figure 6: Evolution mensuelle du poids corporel de *Heterobranchus longifilis* (Pmi = 0,15 g) nourri avec les aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 120 jours

AP : Aliment poisson; AM : Aliment mixte ; AS : Aliment soja

2.1.3- Taux de conversion alimentaire et coefficient d'efficacité protéique

Les coefficients d'efficacité protéique (CEP) sont élevées avec l'aliment AP ($2,87 \pm 0,22$) par rapport aux aliments AM ($2,38 \pm 0,06$) et AS ($1,82 \pm 0,27$). Ces valeurs varient significativement ($p < 0,05$) en fonction de l'aliment distribué.

Les taux de conversion alimentaire (TCA) varient entre $0,99 \pm 0,07$ (AP) et $1,56 \pm 0,22$ (AS). Les TCA obtenus avec les lots de poissons nourris avec l'aliment AS sont significativement plus élevés ($p < 0,05$) que ceux ayant reçu les aliments AM et AP (Tableau 16).

2.1.4- Taux de cannibalisme, taux de mortalité, taux de survie et nombre de tête de lot récolté par bac

Les taux de cannibalisme (TC) enregistrés en fin d'étude varient de $52,00 \pm 1,72$ (AM) à $63,33 \pm 4,16$ % (AS). Les valeurs de TC sont significativement plus élevées avec les lots de poissons ayant reçu l'aliment AS.

Les taux de mortalité obtenus avec les aliments AP ($4,00 \pm 0,40$ %), AM ($4,00 \pm 0,87$ %), et AS ($7,33 \pm 1,53$ %) varient de façon inverse avec le taux de survie (TS). Les valeurs les plus élevées de TC ($63,33 \pm 4,16$) sont obtenues chez les poissons nourris avec l'aliment AS (Tableau 16), ce régime à donné les plus faibles valeurs de TS ($29,33 \pm 3,5$). Les valeurs de TC et de TS varient significativement ($p < 0,05$) d'un régime alimentaire à l'autre.

Le nombre de têtes de lot récoltées par bac d'élevage augmente du premier au deuxième mois d'élevage quel que soit l'aliment distribué (Figure 7). Au cours de ces deux premiers mois d'élevage les nombres de têtes de lots récoltées varient significativement ($p < 0,05$) d'un aliment à l'autre. Ces valeurs sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec les lots de poissons nourris avec les aliments AP et AM par rapport à ceux ayant reçu l'aliment AS.

2.1.5- Gain lipidique journalier

Les valeurs de gain lipidique journalier (GLJ) sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec les lots de poissons nourris avec l'aliment AM ($2,58 \pm 0,03$ g/kg/j) par rapport à AP ($2,09 \pm 0,06$ g/kg/j) et AS ($2,1 \pm 0,03$ g/kg/j) (Tableau 16).

2.1.6- Coût de production et temps de production

Les coûts de production de *H. longifilis* sont respectivement de $258,24 \pm 19,33$ FCFA/kg, $268,31 \pm 6,56$ FCFA/kg et $302,39 \pm 4,20$ FCFA/kg pour les poissons nourris avec les régimes AP, AM et AS. Les temps de production quant à eux sont de $13,99 \pm 2,67$ jours/kg (AP), $20,20 \pm 3,32$ jours/kg (AM) et de $86,53 \pm 10,45$ jours/kg (AS) (Tableau 16). Les valeurs de ces deux paramètres sont significativement élevées ($p < 0,05$) avec les lots ayant reçu l'aliment AS.

Tableau 16 : Paramètres de croissance, d'utilisation alimentaire, de survie et de production de *Heterobranchus longifilis* nourri avec les aliments expérimentaux après 120 jours d'élevage en bacs en béton

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
P _i (g)	0,15 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,01 ^a	0,15 ± 0,01 ^a
P _f (g)	134,40 ± 51,70 ^c	73,59 ± 27,50 ^b	52,10 ± 25,60 ^a
GP (g)	134,25 ± 51,70 ^c	73,44 ± 27,50 ^b	51,95 ± 25,60 ^a
GPQ (g/j)	1,12 ± 0,43 ^c	0,61 ± 0,23 ^b	0,43 ± 0,21 ^a
TCS (%/jour)	5,60 ± 0,28 ^c	5,15 ± 0,08 ^b	4,84 ± 0,40 ^a
TCA	0,99 ± 0,07 ^a	1,17 ± 0,03 ^a	1,56 ± 0,22 ^b
CEP	2,87 ± 0,22 ^c	2,38 ± 0,06 ^b	1,82 ± 0,27 ^a
TC (%)	52,13 ± 1,72 ^a	52,00 ± 6,00 ^a	63,33 ± 4,16 ^b
Tm (%)	4,00 ± 0,40 ^a	4,00 ± 0,87 ^a	7,33 ± 1,53 ^b
TS (%)	43,90 ± 1,33 ^b	44,00 ± 6,00 ^b	29,33 ± 3,51 ^a
GLJ (g/kg/jour)	2,09 ± 0,06 ^a	2,58 ± 0,03 ^b	2,01 ± 0,03 ^a
CP (FCFA/kg)	258,24 ± 19,33 ^a	268,31 ± 6,56 ^a	302,39 ± 4,20 ^b
TP (Jours/kg)	13,99 ± 2,67 ^a	20,20 ± 3,32 ^a	86,53 ± 10,45 ^b

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 30

P_i = poids initial ; P_f = poids final ; GP = gain de poids ; GPQ = gain de poids quotidien ; TCS = Taux de croissance spécifique ; TCA = taux de conversion alimentaire ; CEP = coefficient d'efficacité protéique ; TC = Taux de cannibalisme ; Tm = Taux de mortalité naturelle ; TS = taux de survie ; GLJ = gain lipidique journalier ; CP = coût de production; TP = temps de production

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

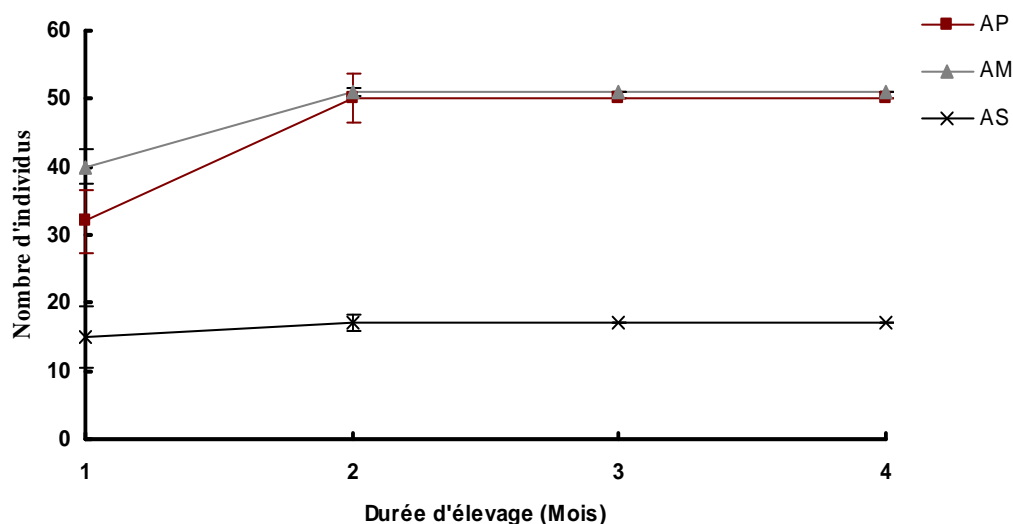


Figure 7: Effectifs cumulés des têtes de lots de *Heterobranchus longifilis* nourri avec les aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 120 jours

AP = Aliment poisson; AM = aliment mixte; AS = Aliment soja

2.1.7- Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses

Les teneurs en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de *Heterobranchus longifilis* au début et à la fin de l'expérience sont consignées dans le Tableau 17. Les résultats obtenus montrent que les teneurs en humidité, cendres, et protéines des carcasses de poissons baissent en fin d'élevage quel que soit le régime alimentaire distribué. A l'inverse les lipides augmentent, les teneurs en énergie quand à elles restent sensiblement égalent au début et à la fin de l'élevage.

Les teneurs en humidité des carcasses de *H. longifilis* en fin d'élevage sont similaires dans tous les lots de poisson. Ces valeurs sont de $75,65 \pm 0,83$ % avec l'aliment AP, de $74,87 \pm 0,71$ % AM et de $75,22 \pm 0,67$ % pour les lots ayants reçu l'aliment AS. La teneur moyenne en cendres des carcasses de poissons nourris avec l'aliment AS ($12,17 \pm 0,65$ %) est significativement plus élevée ($p < 0,05$) par rapport à celles des poissons nourris avec AP ($11,00 \pm 0,40$ %) et AM ($8,16 \pm 0,23$ %). Les teneurs en protéines des carcasses de poisson sont de $59,83 \pm 0,46$ % (AP), $59,89 \pm 0,46$ % (AM) et de $59,89 \pm 0,46$ (AS), ces valeurs ne varient pas en fonction de l'aliment distribué aux poissons. Les teneurs en lipide des carcasses de poissons ayant reçu l'aliment AM ($30,63 \pm 0,34$ %) sont plus élevées ($p < 0,05$) que celles obtenues avec les aliments AP ($25,11 \pm 0,77$ %) et AS ($24,13 \pm 0,39$ %). Les valeurs d'énergie des carcasses de poissons en fin d'élevage sont de $23,74 \pm 0,19$ kJ/g, $25,40 \pm 0,12$

kJ/g et de $23,33 \pm 0,05$ kJ/g de carcasse respectivement pour les poissons ayant reçu les régimes AP, AM et AS. La teneur moyenne en énergie des carcasses de poisson est significativement plus élevée ($p < 0,05$) avec les poissons ayant reçu l'aliment AM par rapport aux autres lots.

Tableau 17 : Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de *Heterobranchus longifilis* en début (Pmi = 0,15 g) et fin d'expérience (% de matière sèche)

Paramètres*	Début		Fin		
			Aliments		
			AP	AM	AS
Humidité	$83,11 \pm 2,89$	$75,65 \pm 0,83^a$	$74,87 \pm 0,71^a$	$75,22 \pm 0,67^a$	
Cendres	$16,98 \pm 0,13$	$11,00 \pm 0,40^b$	$8,16 \pm 0,23^a$	$12,17 \pm 0,65^c$	
Protéines	$67,67 \pm 0,15$	$59,83 \pm 0,46^a$	$59,89 \pm 0,46^a$	$59,89 \pm 0,46^a$	
Lipides	$21,63 \pm 1,39$	$25,11 \pm 0,77^a$	$30,63 \pm 0,34^b$	$24,13 \pm 0,39^a$	
Energie brute (kJ/g MS)	$23,44 \pm 1,18$	$23,74 \pm 0,19^b$	$25,40 \pm 0,12^c$	$23,33 \pm 0,05^a$	

* les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart type n = 9

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

2.1.8- Composition minérale des carcasses

Le Tableau 18 présente les résultats de la composition minérale des carcasses de *Heterobranchus longifilis* nourri avec les aliments expérimentaux AP, AM et AS. Ces valeurs varient de $12,42 \pm 0,39$ (AS) à $19,23 \pm 0,81$ g/kg (AP) et de $12,53 \pm 0,91$ (AS) à $19,67 \pm 0,93$ g/kg (AP) respectivement pour les teneurs en calcium et phosphore. Les teneurs en calcium et phosphore des carcasses de poissons sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec les lots de poissons ayant reçu les aliments AM et AP par rapport à AS. Les proportions de magnésium sont de $18,97 \pm 0,53$ g/kg (AP) ; $18,64 \pm 0,36$ g/kg (AM) et de $18,72 \pm 0,35$ g/kg (AS). Il n'y a pas de différence significative entre les quantités de magnésium obtenues pour les différents lots de poissons. Les teneurs de potassium des carcasses de poissons sont quant à elles significativement plus élevées avec les lots de poissons nourris avec l'aliment AS ($5,33 \pm 0,33$ g/kg) qu'avec ceux ayant reçu les aliments AP ($2,16 \pm 0,29$ g/kg) et AM ($2,04 \pm 0,15$ g/kg). En revanche, les valeurs élevées de zinc des carcasses de poissons sont enregistrées chez les lots de poissons nourris avec l'aliment AP ($0,12 \pm 0,01$ g/kg), les faibles valeurs

obtenues avec les aliments AM et AS ($0,09 \pm 0,01$). Les concentrations en sodium, fer, cuivre et manganèse des carcasses de poissons ne varient pas en fonction de l'aliment distribué. Ces valeurs varient de $1,11 \pm 0,13$ à $1,16 \pm 0,16$ g/kg pour le sodium, de $0,71 \pm 0,01$ à $0,70 \pm 0,02$ g/kg pour le fer et de $0,10 \pm 0,01$ à $0,11 \pm 0,01$ g/kg pour le cuivre. La valeur moyenne en magnésium des carcasses obtenues est de $0,02 \pm 0,01$ g/kg pour les trois lots expérimentaux.

Tableau 18 : Composition minérale des carcasses de *Heterobranchus longifilis* nourri avec les aliments expérimentaux après 120 jours d'élevage en bacs en béton (g/kg de carcasse)

Minéraux*	Aliments		
	AP	AM	AS
Calcium	$19,23 \pm 0,81^b$	$18,77 \pm 0,80^b$	$12,42 \pm 0,39^a$
Phosphore	$19,67 \pm 0,93^b$	$19,13 \pm 0,94^b$	$12,53 \pm 0,91^a$
Magnésium	$18,97 \pm 0,53^a$	$18,64 \pm 0,36^a$	$18,72 \pm 0,35^a$
Potassium	$2,16 \pm 0,29^a$	$2,04 \pm 0,15^a$	$5,33 \pm 0,33^b$
Sodium	$1,16 \pm 0,16^a$	$1,14 \pm 0,14^a$	$1,11 \pm 0,13^a$
Fer	$0,70 \pm 0,02^a$	$0,71 \pm 0,01^a$	$0,71 \pm 0,01^a$
Zinc	$0,12 \pm 0,01^b$	$0,09 \pm 0,01^a$	$0,09 \pm 0,01^a$
Cuivre	$0,11 \pm 0,01^a$	$0,10 \pm 0,01^a$	$0,11 \pm 0,01^a$
Manganèse	$0,02 \pm 0,01^a$	$0,02 \pm 0,01^a$	$0,02 \pm 0,01^a$

* les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart type n = 9

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

2.1.9- Profil acides gras des carcasses

Les proportions d'acides palmitique, stéarique et oléique des acides gras des carcasses de *H. longifilis* nourri avec les différents régimes sont plus élevées que celles des autres acides gras quel que soit l'aliment distribué aux poissons (Tableau 19). Ces valeurs sont comprises entre $27,49 \pm 0,70$ (AM) et $34,38 \pm 0,06$ % (AP) pour l'acide palmitique, entre $15,30 \pm 0,06$ (AP) et $27,22 \pm 0,06$ % (AM) pour l'acide stéarique, et entre $31,74 \pm 0,62$ (AS) et $33,29 \pm 0,30$ (AP) pour l'acide oléique. Les pourcentages d'acide palmitique des acides gras des carcasses de poissons sont significativement plus élevés ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AP contrairement aux pourcentages d'acide stéarique qui sont plus bas chez ces mêmes poissons. En revanche, les proportions d'acide oléique des acides gras des

carcasses de poissons ne varient pas d'un régime à l'autre. Les valeurs d'acide caprique enregistrées sont de $0,23 \pm 0,01$ % (AP), $1,07 \pm 0,01$ % (AM) et de $0,46 \pm 0,00$ % (AS). Ces valeurs sont significativement plus élevées avec AM et plus faibles avec AP. Les teneurs en acide laurique des carcasses de poissons sont plus élevées avec les lots ayant reçu l'aliment AP ($2,63 \pm 0,06$ %), les plus faibles valeurs obtenues avec les aliments AM ($1,89 \pm 0,01$ %) et AS ($1,86 \pm 0,01$ %). La présence d'acide myristique est observée seulement dans les acides gras de poissons nourris avec l'aliment AP. Les pourcentages d'acide linoléique dans les acides gras des poissons sont plus élevées ($p < 0,05$) dans les lots de poissons nourris avec l'aliment AP ($9,77 \pm 0,69$ %) et AS ($8,58 \pm 0,69$ %) par rapport à ceux nourris avec l'aliment AM ($7,55 \pm 0,05$ %). Les taux d'acide gras saturés totaux des poissons varient de façon inverse avec les taux d'acide gras insaturés totaux. Les acides gras saturés totaux sont significativement plus élevés ($p < 0,05$) chez les poissons ayant reçu les aliments AM ($57,67 \pm 0,14$ %) et AS ($57,43 \pm 0,14$ %) contrairement aux taux d'acide gras insaturés totaux qui sont faibles dans ces mêmes lots de poissons.

Tableau 19 : Profil acides gras des carcasses de *Heterobranchus longifilis* nourri avec les aliments expérimentaux après 120 jours d'élevage en bacs en béton (% des acides gras totaux)

Acides gras*	Aliments		
	AP	AM	AS
Caprique C10:0	$0,23 \pm 0,01^a$	$1,07 \pm 0,01^c$	$0,46 \pm 0,00^b$
Laurique C12:0	$2,63 \pm 0,06^b$	$1,89 \pm 0,01^a$	$1,86 \pm 0,01^a$
Myristique C14:0	$0,59 \pm 0,02$	-	-
Myristoléique C14:1	$3,80 \pm 0,01^c$	$1,96 \pm 0,06^a$	$2,25 \pm 0,06^b$
Palmitique C16:0	$34,38 \pm 0,06^b$	$27,49 \pm 0,70^a$	$28,71 \pm 0,70^a$
Stéarique C18:0	$15,30 \pm 0,06^a$	$27,22 \pm 0,06^b$	$26,40 \pm 0,47^b$
Oléique C18:1	$33,29 \pm 0,30^a$	$32,82 \pm 0,80^a$	$31,74 \pm 0,62^a$
Linoléique C18:2	$9,77 \pm 0,69^b$	$7,55 \pm 0,05^a$	$8,58 \pm 0,69^b$
Saturés totaux	$53,13 \pm 0,06^a$	$57,67 \pm 0,14^b$	$57,43 \pm 0,14^b$
Insaturés totaux	$44,87 \pm 0,06^b$	$42,33 \pm 0,14^a$	$42,57 \pm 0,14^a$

* les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart type n = 9 (- = absence)

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

2.2- Discussion

Cette étude évalue l'influence de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'alimentation du silure africain *Heterobranchus longifilis*. Les résultats obtenus démontrent que le remplacement de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'aliment formulé influence les poids finaux, les gains de poids, les gains de poids quotidiens et les taux de croissance spécifiques des poissons. La croissance de *H. longifilis* est meilleure chez les poissons nourris avec l'aliment formulé à base de protéines de poissons par rapport à celle des poissons nourris avec les aliments à base de protéines de soja. Nos résultats sont en accord avec ceux rapportés par Toko *et al.* (2008) chez cette même espèce. Ces auteurs obtiennent respectivement pour le poids final et le taux de croissance spécifique 189,0 g et 5,62 pour les poissons nourris avec la farine de poissons contre 164,3 g et 5,34 pour ceux nourris avec le tourteau de soja dans des bacs en ciment pendant 7 semaines. Les taux élevés de produits végétaux dans l'aliment de ce poisson ont entraîné une baisse de la croissance comme rapporté chez la truite arc-en-ciel par Watanabe *et al.*, (1993). Le silure *H. longifilis*, est un poisson-chat de régime alimentaire omnivore à nette tendance carnassière (Micha, 1973 ; Bard *et al.*, 1976). Pour ce poisson, à forte dépendance protéique, la farine de poissons est habituellement utilisée dans l'alimentation à des proportions de 30 à 50 % des matières premières utilisées (Hardy, 1999). Pour cette espèce, la farine de poisson demeure donc un important composant protéique. En effet, cette farine a une bonne balance en acides aminés essentiels, une haute teneur en énergie et est riche en vitamines et en minéraux (Tacon, 1993; Abdelghany, 2003).

Selon plusieurs auteurs, la réduction de croissance due à l'utilisation d'aliment à base de tourteau de soja pourrait s'expliquer par les faibles teneurs en acides aminés; la présence de facteurs antinutritionnels et d'acide phytique dans le tourteau de soja (Wolf et Thomas, 1970; Liener, 1981 ; Ayet *et al.*, 1996). Ces composés peuvent perturber le processus de digestion des nutriments alimentaires entraînant ainsi une réduction de la digestibilité de l'aliment (Rakis, 1974; Storrebakken *et al.*, 2000). Chez le silure *Clarias gariepinus* nourri avec les aliments à base de protéines de poisson, des poids finaux de 406 g ont été atteints contre 286 g lorsque le tourteau de soja remplace la farine de poisson dans l'aliment distribué (Adewumi, 2006). Cette différence de croissance disparaît lorsque le tourteau de soja est autoclavé pendant 25 min à 116 °C avant son utilisation. Les faibles croissances obtenues avec les poissons nourris avec les aliments à base de protéines de soja pourraient révéler un traitement thermique inadéquat lors de l'extraction de l'huile de soja. En effet les substances

antinutritionnelles restent présentes dans le tourteau de soja lorsque le traitement thermique lors de l'extraction de l'huile de soja n'a pas pu les détruire complètement (Herkelman *et al.*, 1991). La qualité des différents tourteaux de soja dépendrait donc de la méthode d'extraction utilisée. Samocha *et al.* (2004) et El-Sayed (2006) ont rapporté que la co-extrusion des ingrédients pourrait être considérée comme une option pour améliorer la qualité nutritionnelle du tourteau de soja lorsqu'il est utilisé pour remplacer des ingrédients dans l'aliment de poisson.

Les valeurs de taux de conversion alimentaire (TCA) obtenues (0,99 – 1,56) dans tous les lots de poissons pourraient refléter dans l'ensemble la bonne qualité et l'appétence des aliments formulés. Toutefois, les valeurs élevées de coefficient d'efficacité protéique (CEP) sont enregistrées avec l'aliment à base de protéines de poissons. Ceci démontre une fois de plus la faible capacité de *H. longifilis* à utiliser les protéines de soja. Dans cette étude, une réduction du taux de survie en relation avec l'augmentation des taux de cannibalisme et de mortalité a été observée lorsque le tourteau de soja substitue totalement la farine de poisson. Par ailleurs, les taux de survie de 43,90 % (AP), 44,00 % (AM) et 29,33 % (AS) obtenues dans notre étude sont inférieurs à ceux rapportés par Toko *et al.* (2008) chez cette même espèce. En effet, les taux de survie obtenus par ces mêmes auteurs sont de 92,4 % pour l'aliment formulé à base de farine de poissons contre 87,6 % pour l'aliment formulé avec le tourteau de soja. Cette différence de survie pourrait être due aux conditions expérimentales notamment aux poids initiaux de poisson utilisés et à la teneur en protéines des aliments. En effet, ces auteurs ont utilisé des lots de *H. longifilis* de poids initial 12 g et des aliments à 39 % de protéines contre 0,15 g de poids initial et 35 % de protéines alimentaires utilisés dans notre étude. En élevage intensif, chez *H. longifilis*, le cannibalisme est plus élevé aux premiers stades de développement lorsque les poissons ont un poids compris entre 0 et 2 g et diminue avec la croissance. Selon Baras *et al.*, 1999, ce phénomène débute quatre jours après l'éclosion des larves et devient insignifiant à partir d'un poids moyen de 30 g.

Le cannibalisme est intensifié par une hétérogénéité de taille entre les poissons (Smith et Reay, 1991; Hseu, 2002), les pratiques alimentaires (Fukuhara, 1989; Watanabe *et al.*, 1996), les contacts inter-individuels, la compétition alimentaire et le stress (Haylor, 1992; Barcellos *et al.*, 2004). Dans notre étude, le cannibalisme constaté dans tous les groupes pourrait être dû à l'hétérogénéité de croissance des individus qui rend certains poissons plus gros (Têtes de lot) que d'autres. De plus, ces plus gros poissons se nourrissent des autres poissons de plus petite taille. Chez les poissons nourris avec l'aliment AS, de faibles nombres

de têtes de lot sont obtenus, mais les taux de cannibalisme sont plus élevés. Ceci montre que le nombre de têtes de lot ne rend pas compte du nombre de poissons ayant succombés au cannibalisme. Par ailleurs, les têtes de lot ont été observées seulement durant les deux premiers mois d'élevage dans tous les lots. Des résultats similaires ont été observés chez le poisson-chat *C. gariepinus* (Baras et d'Almeida, 2001). Selon ces mêmes auteurs, pendant cette période, certains poissons n'acceptent pas l'aliment distribué, par conséquent, ils ne se nourrissent pas et deviennent faibles et vulnérables. Après cette période, les tailles des poissons sont homogènes et le cannibalisme disparaît.

En fin d'élevage, les teneurs en humidité et protéines des carcasses de *H. longifilis* ne varient pas quel que soit l'aliment distribué aux poissons. On observe à l'inverse, une augmentation de la teneur en cendres et une diminution de la teneur en lipides des carcasses de poissons nourris avec l'aliment soja (AS). Dans cette étude, les variations des compositions en cendres et lipides des carcasses de *H. longifilis* ne reflètent pas celles des aliments formulés. Cependant, Toko *et al.* (2008) chez cette même espèce rapportent des teneurs en lipides de 43 g/kg pour des poissons nourris avec un aliment contenant 30 % de tourteau de soja et 47 g/kg de lipides pour ceux nourris avec un aliment contenant 60 % de tourteau de soja. Selon Corraze et Kaushik (1999) et Regost *et al.* (2003) la variation de la teneur en lipides des carcasses de poissons dépend de plusieurs facteurs tels que le régime alimentaire et le contenu énergétique de l'aliment consommé.

Les substitutions partielles ou totales des protéines de poisson par celles de soja ont entraîné une diminution des taux de calcium, de phosphore et de zinc et une augmentation des taux de potassium des carcasses de *Heterobranchus longifilis*. Le calcium et le phosphore sont des composés inorganiques dominants chez les poissons. Environ 90 % de calcium et 80 % de phosphore sont stockés dans les os et les arrêtes (Hertrampf et Piedad-Pascual, 2000). La farine de poisson est, de ce fait plus riche en calcium et phosphore que le tourteau de soja. Cette différence de teneurs en minéraux des matières premières a influencé la composition minérale des aliments formulés. En effet, les différences de composition minérale observées au niveau des carcasses pourraient être attribuées aux différences de composition minérale des aliments distribués. Selon Medale *et al.* (2003), les teneurs en minéraux des poissons varient avec l'alimentation. De plus l'acide phytique (5 à 30 g/kg) présent dans le tourteau de soja contient approximativement 70 % du phosphore total de ce tourteau, en plus il chélaterait le calcium et le zinc et réduirait leur seuil d'absorption (Liener, 1981; Watanabe *et al.*, 1997 ; Reddy, 2002). Les faibles teneurs en calcium et en phosphore des carcasses de *H. longifilis*

liées à l'augmentation des taux de soja dans l'aliment ont été déjà rapportées par Toko *et al.* (2008).

Le profil acide gras des carcasses de *Heterobranchus longifilis* est influencé par le profil acide gras de l'aliment consommé et par conséquent les huiles utilisées pour formuler les aliments. Les acides myristique et palmitique sont en plus fortes proportions dans les carcasses de *H. longifilis* nourri avec l'aliment AP. Les coefficients digestifs apparents des acides gras C14 (myristique; myristoléique) et C16 (palmitique) chez ce poisson sont plus élevés avec les aliments à base d'huile de poisson par rapport aux aliments à base d'huiles végétales. Ce même constat a été fait par Bahurmiz et Ng (2007) chez le tilapia rouge *Oreochromis* sp. En effet, le profil acide gras des lipides alimentaires influence la digestibilité des acides gras chez certains poissons. Selon Berdanier (1992), le métabolisme et la physiologie des tissus, spécialement la perméabilité membranaire est influencée par le profil acide gras de l'aliment utilisé. Toutefois, il est difficile de définir les voies par lesquelles les acides gras sont utilisés par les poissons pour permettre une telle influence du profil. Par ailleurs, l'incorporation de protéines de soja dans l'alimentation de *H. longifilis* a entraîné une augmentation des acides gras saturés totaux des poissons. Les acides gras saturés et insaturés totaux interviennent dans la conservation du poisson. En effet, Corraze, (1994) rapporte que les acides gras poly insaturés présents dans l'huile de poisson sont spécialement sensibles aux phénomènes d'oxydation. Ce qui entraîne la formation de radicaux libres et de dérivés carboxylés dans le poisson au cours de sa conservation. Ces produits sont responsables de la perte de coloration, et du changement de goût (Corraze, 1994). *H. longifilis* nourris avec un aliment composé contenant le tourteau de soja et l'huile de soja serait donc moins sensible aux phénomènes d'oxydation au cours du stockage.

3- INFLUENCE DE LA SUBSTITUTION DE LA FARINE DE POISSON PAR LE TOURTEAU DE SOJA DANS L'ALIMENT SUR LA CROISSANCE ET LA VALEUR NUTRITIVE DE *Sarotherodon melanotheron*

3.1- Résultats

3.1.1- Croissance en poids corporel

La Figure 8 présente les courbes de croissance en poids corporel de *Sarotherodon melanotheron* nourri avec les différents aliments expérimentaux (AP, AM et AS) pendant 180 jours d'élevage. Ces courbes évoluent de la même manière pendant toute la période de l'élevage. Les croissances obtenues au niveau du poids corporel pour les trois aliments expérimentaux sont similaires. Les poids de poissons enregistrés ne sont pas significativement différent d'un lot d'aliment à l'autre pendant toute la période d'élevage.

3.1.2- Poids final, gain de poids, gain de poids quotidien et taux de croissance spécifique

Les poids finaux (P_f), les gains de poids (GP) et les gains de poids quotidien (GPQ) enregistrés en fin d'élevage n'ont pas varié d'un aliment à l'autre au seuil $\alpha = 0,05$. Les valeurs de P_f , GP et de GPQ obtenues avec les aliments expérimentaux (AP, AM et AS) se situent respectivement entre $133,75 \pm 6,28$ (AP) et $124,34 \pm 9,91$ g (AS), puis entre $121,44 \pm 6,20$ (AP) et $112,39 \pm 9,74$ g (AS) et entre $0,68 \pm 0,03$ (AP) et $0,62 \pm 0,05$ g/j (AS) (Tableau 20).

Les valeurs de taux de croissance spécifique (TCS) obtenues en fin d'élevage sont de $1,32 \pm 0,02$ %/j pour AP, $1,31 \pm 0,03$ %/j pour AM et de $1,30 \pm 0,04$ %/j pour AS. Ces valeurs sont similaires dans tous les lots de poissons au seuil $\alpha = 0,05$.

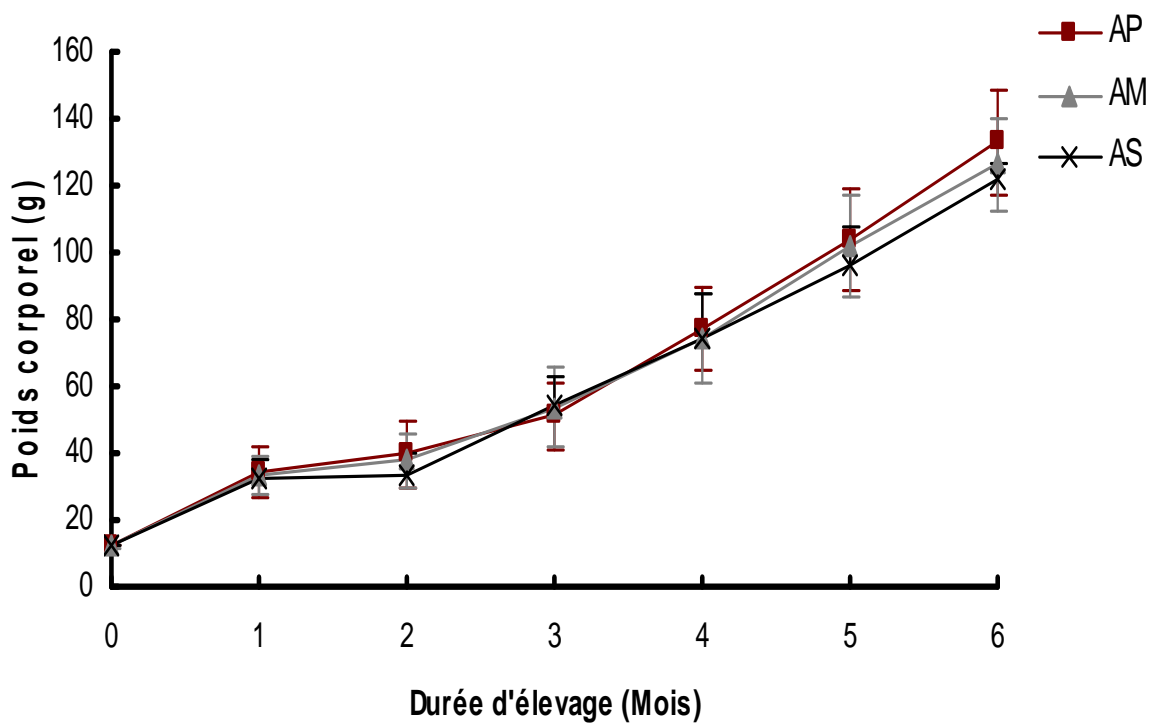


Figure 8: Evolution mensuelle du poids corporel de *Sarotherodon melanotheron* ($P_{mi} = 11,60$ g) nourri avec les aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 180 jours

AP : Aliment poisson; AM : Aliment mixte ; AS : Aliment soja

3.1.3- Taux de conversion alimentaire et coefficient d'efficacité protéique

Les taux de conversion alimentaire (TCA) sont de $2,40 \pm 0,67$ pour AP, $2,97 \pm 0,34$ pour AM et de $2,43 \pm 0,31$ pour AS (Tableau 20). Les valeurs de coefficient d'efficacité protéique (CEP) oscillent entre $1,13 \pm 0,12$ (AM) et $1,26 \pm 0,36$ (AP). L'analyse de variance (ANOVA 1) révèle que ces valeurs sont similaires dans tous les lots de poisson.

3.1.4- Taux de survie

Les taux de survie varient de $84,20 \pm 9,50$ % (AP) à $97,71 \pm 1,41$ % (AS), ces valeurs ne varient pas significativement d'un lot à l'autre.

3.1.5- Gain lipidique journalier et énergie retenue

Les gains lipidiques journaliers (GLJ) sont de $0,99 \pm 0,01$ g/kg/j (AP), de $0,98 \pm 0,06$ g/kg/j (AM) et de $1,38 \pm 0,02$ g/kg/j (AS). Les pourcentages d'énergie retenue quant à elles sont de $24,23 \pm 0,52$ % pour AP, $31,82 \pm 0,69$ % pour AS, et de $25,72 \pm 1,31$ % pour AM (Tableau 20). Les valeurs de gains lipidiques journaliers (GLJ) et d'énergie retenue (ER) sont élevées ($p < 0,05$) avec AS et faibles avec AP et AM.

3.1.6- Coût de production et temps de production

Les coûts de production fluctuent entre $449,06 \pm 33,63$ (AS) et $643,06 \pm 38,35$ FCFA/kg (AM). Ces valeurs sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec AP ($580,38 \pm 24,18$ FCFA/kg) et AM ($643,06 \pm 38,35$ FCFA/kg) qu'avec AS ($449,06 \pm 33,63$ FCFA/kg). Les temps nécessaires à la production d'un kg de poisson avec les aliments expérimentaux AP, AM et AS sont de $43,46 \pm 3,06$ jours (AP), $46,17 \pm 4,29$ jours (AM) et de $43,89 \pm 3,92$ jours (AS) (Tableau 20). Ces valeurs ne sont pas fonction de l'aliment utilisé au seuil $\alpha = 0,05$.

Tableau 20 : Paramètres de croissance, d'utilisation alimentaire, de survie et de production de *Sarotherodon melanotheron* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
P _i (g)	12,31 ± 0,30 ^a	11,90 ± 0,50 ^a	11,95 ± 0,60 ^a
P _f (g)	133,75 ± 6,28 ^a	125,46 ± 10,60 ^a	124,34 ± 9,91 ^a
GP (g)	121,44 ± 6,20 ^a	113,69 ± 10,26 ^a	112,39 ± 9,74 ^a
GPQ (g/j)	0,68 ± 0,03 ^a	0,63 ± 0,06 ^a	0,62 ± 0,05 ^a
TCS (%/jour)	1,32 ± 0,02 ^a	1,31 ± 0,03 ^a	1,30 ± 0,04 ^a
TCA	2,40 ± 0,67 ^a	2,97 ± 0,34 ^a	2,43 ± 0,31 ^a
CEP	1,26 ± 0,37 ^a	1,13 ± 0,12 ^a	1,17 ± 0,15 ^a
TS (%)	84,20 ± 9,50 ^a	87,51 ± 4,30 ^a	91,71 ± 1,41 ^a
GLJ (g/kg/jour)	0,99 ± 0,01 ^a	0,98 ± 0,06 ^a	1,38 ± 0,02 ^b
ER (%)	24,23 ± 0,52 ^a	25,72 ± 1,31 ^a	31,82 ± 0,69 ^b
CP(F.CFA/kg)	580,38 ± 24,18 ^b	643,06 ± 38,35 ^b	449,06 ± 33,63 ^a
TP (jours/kg)	43,46 ± 3,09 ^a	46,17 ± 4,29 ^a	43,89 ± 3,92 ^a

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 10

P_i = poids initial ; P_f = poids final ; GP = gain de poids ; GPQ = gain de poids quotidien ; TCS = Taux de croissance spécifique ; TCA = taux de conversion alimentaire ; CEP = coefficient d'efficacité protéique ; TS = taux de survie ; GLJ = gain lipidique journalier ; ER = énergie retenue ; CP = coût de production; TP = temps de production.

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

3.1.7- Indice viscérosomatique et hépatosomatique

Les valeurs d'indice viscérosomatique (IVS) sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AS ($7,90 \pm 1,12$ %) par rapport à celles obtenues avec les aliments AP ($5,65 \pm 0,99$ %) et AM ($6,51 \pm 1,05$ %). En revanche, les valeurs d'indices hépatosomatique (IHS) ne diffèrent pas d'un lot de poissons à l'autre (Tableau 21). Ces valeurs se situent entre $1,90 \pm 0,30$ (AM) et $2,22 \pm 0,35$ % (AS).

Tableau 21 : Paramètres biologiques de *Sarotherodon melanotheron* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
IVS	5,65 ± 0,99 ^a	6,51 ± 1,05 ^a	7,90 ± 1,12 ^b
IHS	2,11 ± 0,27 ^a	1,90 ± 0,30 ^a	2,22 ± 0,35 ^a

*les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 30

IVS = indice viscérosomatique ; IHS = indice hépatosomatique

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

3.1.8- Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses

Les résultats de la composition en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie en début et fin d'expérience des carcasses des différents lots de poissons sont présentés au Tableau 22. Les résultats obtenus nous permettent de constater que quel que soit l'aliment distribué aux poissons, les teneurs en humidité, cendres et protéines des carcasses diminuent contrairement aux lipides et énergie qui augmentent.

En fin d'élevage, l'analyse de variance (ANOVA 1) n'a pas révélé de différence significative entre les teneurs en humidité des carcasses des différents lots de poissons. Ces taux d'humidité sont de 70,13 ± 4,26 % (AP), 70,13 ± 1,45 % (AM) et de 67,27 ± 0,83 % (AS). Les teneurs en cendres des carcasses de poissons sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AP (20,01 ± 0,54 %), intermédiaires chez ceux nourris avec AM (18,25 ± 1,11 %) et faibles avec AS (16,49 ± 0,14 %). Une augmentation significative ($p < 0,05$) des teneurs en protéines est observée chez les poissons nourris avec les aliments AP (58,14 ± 0,40 %) et AM (58,19 ± 0,27 %) par rapport à AS (54,20 ± 2,23 %). Les pourcentages de lipides (23,19 ± 0,22 %) et d'énergie (22,14 ± 0,16 kJ/g) des poissons nourris avec l'aliment AS sont plus élevés ($p < 0,05$) par rapport aux autres lots de poissons.

Tableau 22 : Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de *Sarotherodon melanotheron* en début (Pmi = 11,60 g) et fin d'expérience (% de matière sèche)

Paramètres*	Début		Fin		
			Aliments		
			AP	AM	AS
Humidité	79,87 ± 0,36	70,13 ± 4,26 ^a	70,13 ± 1,45 ^a	67,27 ± 0,83 ^a	
Cendres	28,77 ± 0,37	20,01 ± 0,54 ^c	18,25 ± 1,11 ^b	16,49 ± 0,14 ^a	
Protéines	62,30 ± 0,96	58,14 ± 0,40 ^b	58,19 ± 0,27 ^b	54,20 ± 2,23 ^a	
Lipides	5,35 ± 0,50	16,90 ± 0,70 ^a	16,72 ± 1,14 ^a	23,19 ± 0,22 ^b	
Energie brute (kJ/g MS)	16,44 ± 0,04	20,19 ± 0,04 ^a	20,53 ± 0,17 ^b	22,14 ± 0,16 ^c	

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

3.1.9- Composition minérale des carcasses

La composition minérale des carcasses de *Sarotherodon melanotheron* nourri avec les aliments expérimentaux AP, AM et AS après 180 jours d'élevage est présentée au Tableau 23. Le calcium, le phosphore, le sodium et le magnésium sont présents en fortes proportions par rapport au fer, au cuivre, au zinc et au manganèse quel que soit l'aliment distribué aux poissons. Les teneurs en calcium, phosphore et magnésium varient significativement ($p < 0,05$) d'un aliment à l'autre. Les valeurs de calcium et de phosphore se situent respectivement entre $16,21 \pm 0,01$ (AS) et $18,39 \pm 0,04$ g/kg (AP) et entre $14,19 \pm 0,06$ (AS) et $17,33 \pm 0,33$ g/kg (AP). Les taux de calcium et de phosphore des carcasses de poissons sont significativement élevés ($p < 0,05$) avec AP et AM par rapport à AS. A l'inverse, les teneurs en magnésium sont plus élevées ($p < 0,05$) avec AM ($12,36 \pm 0,06$ g/kg) et AS ($12,56 \pm 0,51$ g/kg) qu'avec AP ($10,57 \pm 0,57$ g/kg). Les teneurs en sodium, potassium, fer, cuivre, zinc et manganèse des carcasses de poissons ne varient pas en fonction de l'aliment distribué. Les valeurs de ces minéraux sont comprises entre $11,00 \pm 0,02$ (AS) et $11,03 \pm 0,19$ g/kg (AM) pour le sodium, entre $3,20 \pm 0,51$ (AM) et $3,37 \pm 0,06$ g/kg (AP) pour le potassium, entre $0,52 \pm 0,06$ (AM) et $0,56 \pm 0,02$ g/kg (AP) et entre $0,36 \pm 0,03$ (AP) et $0,37 \pm 0,06$ g/kg (AM) pour le cuivre. Les valeurs moyennes de $0,06 \pm 0,01$ g/kg et de $0,01 \pm 0,00$ g/kg sont obtenues pour les trois lots expérimentaux respectivement pour les teneurs en zinc et en manganèse.

Tableau 23 : Composition minérale des carcasses de *Sarotherodon melanotheron* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (g/kg de carcasse)

Minéraux*	Aliments		
	AP	AM	AS
Calcium	18,39 ± 0,04 ^b	18,37 ± 0,06 ^b	16,21 ± 0,01 ^a
Phosphore	17,33 ± 0,33 ^b	17,25 ± 0,28 ^b	14,19 ± 0,06 ^a
Sodium	11,03 ± 0,12 ^a	11,03 ± 0,19 ^a	11,00 ± 0,02 ^a
Magnésium	10,57 ± 0,06 ^a	12,36 ± 0,51 ^b	12,56 ± 0,57 ^b
Potassium	3,37 ± 0,06 ^a	3,20 ± 0,51 ^a	3,32 ± 0,57 ^a
Fer	0,56 ± 0,02 ^a	0,52 ± 0,06 ^a	0,54 ± 0,04 ^a
Cuivre	0,36 ± 0,03 ^a	0,37 ± 0,04 ^a	0,37 ± 0,06 ^a
Zinc	0,06 ± 0,00 ^a	0,06 ± 0,01 ^a	0,06 ± 0,00 ^a
Manganèse	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a	0,01 ± 0,00 ^a

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 9

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

3.1.10- Profil acides gras des carcasses

Le profil acide gras des carcasses de *Sarotherodon melanotheron* nourri avec les aliments AP, AM et AS pendant 180 jours d'élevage est présenté au Tableau 24. Les proportions d'acides palmitique, stéarique et oléique dans les acides gras sont élevées par rapport à celles des acides gras caprique, laurique, myristoléique et linoléique dans tous les lots de poissons. Les taux d'acides caprique, laurique, et linoléique sont similaires dans tous les lots. Les valeurs d'acides gras des carcasses de poisson sont de 0,79 ± 0,14 % (AP), 1,08 ± 0,15 % (AM), 0,87 ± 0,18 % (AS) pour l'acide caprique, de 4,84 ± 0,48 % (AP), 4,47 ± 0,55 % (AM), 3,87 ± 0,44 % (AS) pour l'acide laurique et de 8,49 ± 0,58 % (AP), 7,34 ± 0,57 % (AM) et de 7,53 ± 0,57 % (AS) pour l'acide linoléique. Les teneurs en acide myristoléique sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec AP (7,94 ± 1,03 %) et AM (6,16 ± 1,06 %) qu'avec AS (4,95 ± 0,06 %). Les valeurs les plus élevées ($p < 0,05$) d'acide palmitique sont obtenues avec AP (35,73 ± 0,52 %) et AS (36,74 ± 0,67%), et les plus faibles avec AM (33,99 ± 0,01 %). Les proportions d'acide stéarique sont de 14,47 ± 0,06 % (AP), 20,31 ± 0,39 %

(AM) et $21,04 \pm 0,57$ % (AS), ces valeurs sont plus élevées ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec les aliments AS et AM qu'avec ceux nourris avec l'aliment AP. Les taux élevés d'acide oléique sont obtenus avec AP ($27,74 \pm 0,59$ %) et AM ($26,66 \pm 0,45$ %), les plus faibles valeurs sont obtenues chez les poissons nourris avec l'aliment AS ($24,99 \pm 0,96$ %). Les proportions en acide gras saturés et insaturés varient de façon inverse dans tous les lots de poissons. Les taux d'acides gras saturés totaux sont significativement élevés ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AS ($62,52 \pm 0,06$ %), intermédiaires avec AM ($59,85 \pm 0,06$ %) et faibles avec AP ($55,83 \pm 0,02$ %). En revanche, les acides gras insaturés totaux sont élevés chez les poissons nourris avec AP ($44,17 \pm 0,07$ %), intermédiaire avec AM ($40,15 \pm 0,10$ %) et faibles avec AS ($37,48 \pm 0,06$ %).

Tableau 24 : Profil acides gras des carcasses de *Sarotherodon melanotheron* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (% des acides gras totaux)

Acides gras*	Aliments		
	AP	AM	AS
Caprique C10:0	$0,79 \pm 0,14^a$	$1,08 \pm 0,15^a$	$0,87 \pm 0,18^a$
Laurique C12:0	$4,84 \pm 0,48^a$	$4,47 \pm 0,55^a$	$3,87 \pm 0,44^a$
Myristoléique C14:1	$7,94 \pm 1,03^b$	$6,16 \pm 1,06^b$	$4,95 \pm 0,06^a$
Palmitique C16:0	$35,73 \pm 0,52^b$	$33,99 \pm 0,01^a$	$36,74 \pm 0,67^b$
Stéarique C18:0	$14,47 \pm 0,06^a$	$20,31 \pm 0,39^b$	$21,04 \pm 0,57^b$
Oléique C18:1	$27,74 \pm 0,59^b$	$26,66 \pm 0,45^{ab}$	$24,99 \pm 0,96^a$
Linoléique C18:2	$8,49 \pm 0,58^a$	$7,34 \pm 0,57^a$	$7,53 \pm 0,57^a$
Saturés totaux	$55,83 \pm 0,02^a$	$59,85 \pm 0,06^b$	$62,52 \pm 0,06^c$
Insaturés totaux	$44,17 \pm 0,07^c$	$40,15 \pm 0,10^b$	$37,48 \pm 0,06^a$

* les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart type n = 9

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

3.2- Discussion

Les résultats de croissance obtenus dans cette étude montrent que les sources de protéines et leur taux d'incorporation dans l'aliment n'ont pas eu d'effet sur les paramètres de croissance de *S. melanotheron*. De même, les paramètres de conversion de l'aliment sont similaires dans les différents lots de poissons. Ces résultats montrent que la croissance de *S. melanotheron* est indépendante de la source de protéines alimentaire utilisée. Cette espèce à régime alimentaire herbivore (Low-McConnell, 2000) possède le matériel enzymatique (amylase, cellulase, protéase et lipase) nécessaires pour une bonne utilisation des nutriments et de l'énergie fournis par les sources alimentaires d'origine aussi bien végétale qu'animale. Dans les systèmes de culture extensive "Acadjas-Enclos" où l'aliment est constitué essentiellement de périphyton Hem *et al.* (1994) ont observé une amélioration de la croissance chez ce poisson. Campbell (1987) également en milieu naturel rapporte que ce poisson se nourrit très bien de matières végétales et surtout de périphyton. Ces observations montrent que *S. melanotheron* utilise efficacement les protéines végétales sous leur forme brute.

Dans notre étude, les gains de poids quotidien varient de 0,62 à 0,68 g/j tandis que les taux de conversion alimentaire (TCA) se situent entre 2,37 et 2,97. Cissé (1986) chez cette même espèce de poids initial 35-40 g nourris avec un aliment contenant 36,70 % de protéines distribué à une ration de 3 % de la biomasse pendant 8 mois obtient un gain de poids quotidien de 0,56 g/j et un TCA de 4,95. Les variations observées peuvent être dues aux différences de composition, de rationnement des aliments utilisés et aux conditions d'élevage. Selon Morissens *et al.* (1987), les valeurs de TCA inférieures à 3,5 sont acceptables pour une bonne croissance des poissons. Les aliments formulés AP, AM et AS et les conditions d'élevage utilisées dans notre étude ont amélioré la croissance de *S. melanotheron*.

Concernant le coût de l'aliment, les aliments AM (225 FCFA/kg) et AS (195 FCFA/kg) sont de moindre coût par rapport à AP (260 FCFA/kg). Par conséquent à croissance égale, l'aliment à base de tourteau de soja (AS) permet de diminuer le coût de production lié à l'aliment.

Pour ce qui concerne la composition biochimique, une diminution de la teneur en cendres des carcasses de poissons est observée avec l'incorporation des protéines de soja dans l'aliment. La farine de poisson est riche en minéraux à cause de sa forte fraction d'arrêtes (Sugiura *et al.*, 2000). Ces minéraux apportés par la farine de poisson aux aliments formulés seraient très bien utilisés et retenus par *S. melanotheron*. L'utilisation de l'aliment AS a entraîné en fin d'élevage une diminution de la teneur en protéines et une augmentation des

teneurs en lipides et énergie des carcasses de *S. melanotheron*. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Goda *et al.* (2007). Ces auteurs, ont obtenu chez *Sarotherodon galileus* nourri avec un aliment à base de la farine de poisson 17,2 % de protéines, 5,2 % de lipides et 612 kJ/100 g d'énergie. Cependant avec ce même poisson nourri avec les aliments à base de tourteau de soja ces auteurs obtiennent des taux de protéines de 16,5 %; 6 % de lipides et 627 kJ/100 g d'énergie. L'augmentation des lipides dans les carcasses des poissons a conséquemment entraîné une augmentation des gains lipidiques journaliers, des indices viscérosomatiques (IVS) et de la teneur en énergie des carcasses de poisson. Ceci serait dû à la teneur en lipide élevée de l'aliment AS (12,92 %) par rapport à celle des aliments AP (9,24 %) et AM (8,37%). En effet, chez ce poisson, la rétention lipidique est directement associée à la teneur en lipides de l'aliment (Cissé, 1996). Les teneurs élevées de lipides et d'énergie obtenues chez les poissons nourris avec l'aliment AS suggère une augmentation de l'activité lipogénique liée à l'augmentation de la teneur en protéines de soja comme rapporté par Kaushik *et al.* (2004). Les valeurs élevées de l'IVS obtenues chez les poissons nourris avec l'aliment AS seraient dues à une augmentation des dépôts lipidiques dans les viscères.

Chez *S. melanotheron*, la substitution totale des protéines de poisson par celles de soja a entraîné une diminution des teneurs en calcium et en phosphore et une augmentation des teneurs en magnésium des carcasses. Skonberg *et al.* (1997) chez les salmonidés et Mbahinzireki *et al.* (2001) chez les tilapias ont rapporté que les concentrations en calcium et en phosphore dans les carcasses sont dues à leur taux d'utilisation dans les aliments et aux matières premières utilisées pour fabriquer les aliments. Les faibles proportions de ces minéraux chez les poissons nourris avec l'aliment AS seraient dues à leur disponibilité dans l'aliment lié à la présence d'acide phytique (Liener, 1981). Selon Lall (2002), la teneur en magnésium des carcasses de poisson est due à son utilisation par les poissons dans les aliments consommés et l'absorption par les branchies dans le milieu d'élevage. Les valeurs élevées de magnésium dans les carcasses de poissons nourris avec AS pourraient s'expliquer par une forte rétention de magnésium chez ces derniers.

Chez *S. melanotheron*, les teneurs en acides myristoléique et insaturés diminuent avec l'augmentation de l'huile et du tourteau de soja dans l'aliment. En revanche, les teneurs en acides gras stéarique et saturés dans les carcasses augmentent. Les concentrations en ces acides gras des carcasses de poissons reflètent celles des aliments formulés contrairement aux concentrations en acides palmitiques des carcasses. La composition en acides gras du poisson ne dépendrait pas seulement de celle de l'aliment utilisé. Selon Robin *et al.* (2003) et Jobling

(2004), elle serait la résultante de la dilution des lipides neutres initialement présents chez le poisson, l'incorporation d'acides gras durant la croissance et les interactions possibles entre plusieurs acides gras, ce qui pourrait expliquer les résultats obtenus. L'augmentation des acides gras saturés totaux chez *S. melanotheron* nourris avec les aliments formulés à base de tourteaux de soja est une conséquence de l'augmentation des taux d'acide palmitique et stéarique contrairement aux acides myristoléique et oléique qui diminuent. Par ailleurs, les taux d'acide linoléique des poissons ne sont pas affectés par la qualité de l'aliment distribué. Cet acide gras est essentiel et indispensable à l'alimentation humaine, c'est un précurseur pour la synthèse des acides gras poly-insaturés à longue chaîne tel que les acides gras arachidonique (C20: 4 W-6), éicosapentaénoïque (C20 :5 W-3) et docosahexaénoïque (C22 :6 W-3) (Bergé, 1996). Les quels acides gras ont un effet cardiovasculaire avéré et bénéfique sur l'hyperglycémie et la régulation de la pression sanguine chez l'homme (Barnerjee *et al.*, 1992 ; Ackman, 1995 ; Jacobson, 2006).

4- INFLUENCE DE LA SUBSTITUTION DE LA FARINE DE POISSON PAR LE TOURTEAU DE SOJA DANS L'ALIMENT SUR LA CROISSANCE ET LA VALEUR NUTRITIVE DE *Oreochromis niloticus*

4.1- Résultats

4.1.1- Croissance en poids corporel

Les croissances en poids corporel de *Oreochromis niloticus* nourri avec les aliments expérimentaux AP, AM et AS sont illustrées à la Figure 9. Les courbes de croissance des trois lots de poissons évoluent dans l'ensemble de la même façon, cependant elles sont distinctes les unes des autres. Les croissances en poids corporel ($p < 0,05$) sont plus élevées chez les poissons nourris avec l'aliment AP, suivies de celles ayant reçu l'aliment AM. En revanche, les plus faibles croissances sont observées chez les lots de poissons nourris avec l'aliment AS.

4.1.2- Poids final, gain de poids, gain de poids quotidien et taux de croissance spécifique

Les valeurs de poids final (P_f) observées oscillent entre $140,70 \pm 30,30$ (AS) et $221,84 \pm 50,40$ g (AP), celles de gain de poids (GP) varient entre $129,14 \pm 30,30$ (AS) et $210,28 \pm 50,40$ g (AP). Les valeurs de gain de poids quotidien (GPQ) se situent entre $0,72 \pm 0,25$ (AS) et $1,17 \pm 0,28$ g (AP) (Tableau 25). Les valeurs de P_f , GP et de GPQ sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec les lots de poissons ayant reçu l'aliment AP, suivies de AM et les plus faibles valeurs enregistrées avec l'aliment AS.

Les taux de croissance spécifique (TCS) sont plus élevés ($p < 0,05$) avec les lots de poissons nourris avec l'aliment AP ($1,65 \pm 0,11$ %/j) et plus faibles avec AM ($1,49 \pm 0,04$ %/j) et AS ($0,72 \pm 0,25$ %/j).

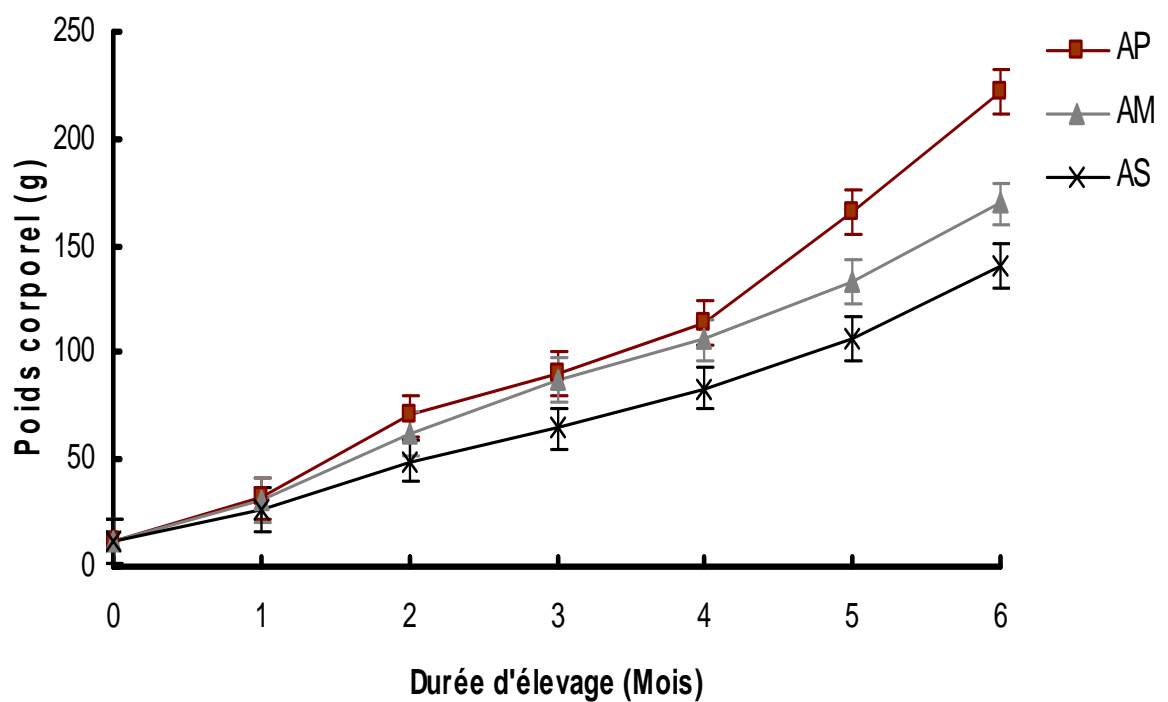


Figure 9: Evolution mensuelle du poids corporel de *Oreochromis niloticus* (Pmi = 11,56 g) nourri avec les aliments expérimentaux dans les bacs en béton pendant 180 jours

AP : Aliment poisson; AM : Aliment mixte ; AS : Aliment soja

4.1.3- Taux de conversion alimentaire et coefficient d'efficacité protéique

Les valeurs de taux de conversion alimentaire (TCA) et de coefficient d'efficacité protéique (CEP) varient respectivement entre $1,06 \pm 0,18$ (AP) et $1,22 \pm 0,13$ (AS), et entre $2,31 \pm 0,25$ (AS) et $2,70 \pm 0,41$ (AP) (Tableau 25). Les TCA et les CEP ne sont pas différents au seuil $\alpha = 0,05$.

4.1.4- Taux de survie

Les taux de survie oscillent entre $67,30 \pm 6,40$ (AS) et $71,30 \pm 12,20$ % (AP), ces valeurs ne sont pas influencées par le régime alimentaire distribué.

4.1.5- Gain lipidique journalier et énergie retenue

Les gains lipidiques journaliers (GLJ) sont élevées ($p < 0,05$) avec AS ($1,59 \pm 0,04$ g/kg/jour) et faibles avec AP ($1,14 \pm 0,03$ g/kg/j) et AM ($1,19 \pm 0,02$ g/kg/j) (Tableau 25).

Les valeurs d'énergie retenue (ER) sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec AS ($31,88 \pm 0,87$ %), suivies de AM ($25,19 \pm 1,14$ %) et faibles avec l'aliment AP ($22,17 \pm 0,76$ %).

4.1.6- Coût de production et temps de production

Les coûts de production sont plus élevés avec AP ($278,30 \pm 46,20$ FCFA/kg) et AM ($270,90 \pm 9,60$ FCFA/kg) par rapport à AS ($235,11 \pm 25,80$ FCFA/kg). Le temps nécessaire à la production d'un kilogramme de poisson est de $43,14 \pm 5,57$ jours pour AS. Cette valeur est significativement supérieure à celles obtenues avec AP ($26,03 \pm 0,97$ jours) et AM ($31,06 \pm 0,82$ jours).

Tableau 25 : Paramètres de croissance, d'utilisation alimentaire, de survie et de production de *Oreochromis niloticus* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
P _i (g)	11,56 ± 4,20 ^a	11,56 ± 4,20 ^a	11,56 ± 4,20 ^a
P _f (g)	221,84 ± 50,40 ^c	169,70 ± 32,60 ^b	140,70 ± 30,30 ^a
GP (g)	210,18 ± 50,40 ^c	158,14 ± 32,60 ^b	129,14 ± 30,30 ^a
GPQ (g/j)	1,17 ± 0,28 ^c	0,88 ± 0,18 ^b	0,72 ± 0,25 ^a
TCS (%/jour)	1,65 ± 0,11 ^b	1,49 ± 0,04 ^a	1,39 ± 0,09 ^a
TCA	1,06 ± 0,18 ^a	1,19 ± 0,04 ^a	1,22 ± 0,13 ^a
CEP	2,70 ± 0,41 ^a	2,36 ± 0,08 ^a	2,31 ± 0,25 ^a
TS (%)	71,30 ± 12,20 ^a	76,00 ± 9,20 ^a	67,30 ± 6,40 ^a
GLJ (g/kg/jour)	1,14 ± 0,03 ^a	1,19 ± 0,02 ^a	1,59 ± 0,04 ^b
ER (%)	22,17 ± 0,76 ^a	25,19 ± 1,14 ^b	31,88 ± 0,87 ^c
CP(F.CFA/kg)	278,30 ± 46,20 ^b	270,90 ± 9,60 ^b	235,11 ± 25,80 ^a
TP (Jours/kg)	26,03 ± 0,97 ^a	31,06 ± 0,82 ^a	43,14 ± 5,57 ^b

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 10

P_i = poids initial ; P_f = poids final ; GP = gain de masse ; GPQ = gain de poids quotidien ; TCS = Taux de croissance spécifique ; TCA = taux de conversion alimentaire ; CEP = coefficient d'efficacité protéique ; TS = taux de survie ; GLJ = gain lipidique journalier ; ER = énergie retenue ; CP = coût de production; TP = temps de production.

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

4.1.7- Indice viscérosomatique et hépatosomatique

Les valeurs des indices viscérosomatiques (IVS) et hépatosomatique (IHS) enregistrées en fin d'élevage avec *Oreochromis niloticus* nourri aux différents aliments expérimentaux sont résumées au Tableau 26. Les valeurs d'IVS varient significativement ($p < 0,05$) d'un aliment à l'autre. Elles sont élevées avec AS ($5,17 \pm 0,68$) et faibles avec AP ($4,26 \pm 0,79$) et AM ($4,52 \pm 0,88$). Les valeurs des IHS ne diffèrent pas significativement d'un lot de poissons à l'autre. Ces valeurs se situent entre $1,96 \pm 0,44$ (AM) et $2,12 \pm 0,45$ (AS).

Tableau 26 : Paramètres biologiques des juvéniles de *Oreochromis niloticus* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton

Paramètres*	Aliments		
	AP	AM	AS
IVS	4,26 ± 0,79 ^a	4,52 ± 0,88 ^a	5,17 ± 0,68 ^b
IHS	2,04 ± 0,41 ^a	1,96 ± 0,44 ^a	2,12 ± 0,45 ^a

*les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 30

IVS = indice viscérosomatique ; IHS = indice hépatosomatique

AP = Aliment poisson; AM = Aliment mixte; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

4.1.8- Teneurs en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses

Les teneurs en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de *Oreochromis niloticus* en fin d'expérience sont présentées au Tableau 27. Ces résultats nous permettent de dire que les teneurs en humidité et cendres des carcasses de poissons baissent en fin d'élevage. En revanche, les proportions de protéines, lipides, et énergie des carcasses de poissons augmentent. En fin d'expérience, les teneurs en humidité et en protéines des carcasses de *Oreochromis niloticus* sont similaires pour les trois lots de poissons nourris avec les aliments expérimentaux AP, AM et AS. Les teneurs en humidité des carcasses sont de 69,58 ± 1,39 % (AP), 69,07 ± 0,13 % (AM) et 69,07 ± 0,25 % (AS). Les teneurs en protéines quant à elles sont de 63,06 ± 0,03 % (AP), 63,03 ± 0,06 % (AM) et de 62,60 ± 0,49 % (AS). Les pourcentages de cendres sont significativement plus élevés ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AP (17,70 ± 0,60 %), suivis de l'aliment AM (15,30 ± 0,05 %). Les plus faibles valeurs de cendres sont obtenues avec AS (13,00 ± 0,01%). Les valeurs les plus élevées ($p < 0,05$) de lipides (23,57 ± 0,60 %) et d'énergie brute (23,89 ± 0,15 %) sont enregistrées chez les poissons nourris avec l'aliment AS. Les valeurs moyennes de lipides et d'énergies se situent respectivement entre 19,74 ± 0,17 (AP) et 23,57 ± 0,60 % (AS) et entre 21,58 ± 0,12 (AP) et 23,89 ± 0,15 % kJ/g MS (AS).

Tableau 27 : Teneur en humidité, cendres, protéines, lipides et énergie des carcasses de *Oreochromis niloticus* en début (Pmi = 11,56 g) et fin d'expérience (% de matière sèche)

Paramètres*	Début	Fin		
		Aliments		
		AP	AM	AS
Humidité	73,08 ± 0,17	69,58 ± 1,39 ^a	69,07 ± 0,13 ^a	69,07 ± 0,25 ^a
Cendres	23,63 ± 0,51	17,70 ± 0,60 ^c	15,30 ± 0,50 ^b	13,00 ± 0,01 ^a
Protéines	61,07 ± 0,12	63,06 ± 0,03 ^a	63,03 ± 0,06 ^a	62,60 ± 0,49 ^a
Lipides	8,61 ± 0,73	19,74 ± 0,17 ^a	20,49 ± 0,54 ^a	23,57 ± 0,60 ^b
Energie brute (kJ/g MS)	18,15 ± 0,07	21,58 ± 0,12 ^a	22,16 ± 0,18 ^b	23,89 ± 0,15 ^c

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 9

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

4.1.9- Composition minérale des carcasses

Le Tableau 28 présente la composition minérale des carcasses de *Oreochromis niloticus* nourri avec les différents aliments AP, AM et AS. Les concentrations en calcium, phosphore, magnésium et potassium sont plus élevées par rapport aux autres minéraux dans les carcasses de poissons. Les proportions de calcium ($18,43 \pm 0,58$ g/kg) et de phosphore ($17,19 \pm 0,19$ g/kg) des carcasses sont plus élevées ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec l'aliment AP et faibles chez ceux nourris avec l'aliment AS (calcium = $7,45 \pm 0,45$ g/kg, phosphore = $12,31 \pm 0,16$ g/kg). Les teneurs en magnésium, potassium, sodium, fer, zinc, manganèse et cuivre sont similaires dans tous les lots de poissons. Les concentrations en minéraux des carcasses de poissons varient de $11,24 \pm 0,49$ (AS) à $11,40 \pm 0,38$ g/kg (AP) pour le magnésium, de $3,06 \pm 0,07$ (AS) à $3,13 \pm 0,13$ g/kg (AP) pour le potassium, de $1,15 \pm 0,16$ (AM) à $1,16 \pm 0,19$ g/kg (AP) pour le sodium, $0,57 \pm 0,05$ (AM) à $0,60 \pm 0,05$ g/kg (AP) pour le fer, de $0,01 \pm 0,00$ (AP) à $0,02 \pm 0,01$ g/kg (AM) pour le manganèse et de $0,20 \pm 0,06$ (AM) à $0,22 \pm 0,03$ g/kg (AP) pour le cuivre. La valeur moyenne obtenue pour le zinc est de $0,08 \pm 0,01$ g/kg pour tous les trois lots de poissons.

Tableau 28 : Composition minérale des carcasses de *Oreochromis niloticus* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (g/kg de carcasse)

Minéraux	Aliments		
	AP	AM	AS
Calcium	18,43 ± 0,58 ^c	15,15 ± 0,18 ^b	7,45 ± 0,45 ^a
Phosphore	17,19 ± 0,19 ^b	12,66 ± 0,77 ^a	12,31 ± 0,16 ^a
Magnésium	11,40 ± 0,38 ^a	11,29 ± 0,54 ^a	11,24 ± 0,49 ^a
Potassium	3,13 ± 0,13 ^a	2,97 ± 0,05 ^a	3,06 ± 0,07 ^a
Sodium	1,16 ± 0,19 ^a	1,15 ± 0,16 ^a	1,15 ± 0,22 ^a
Fer	0,60 ± 0,05 ^a	0,57 ± 0,05 ^a	0,58 ± 0,05 ^a
Zinc	0,08 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,01 ^a	0,08 ± 0,01 ^a
Manganèse	0,01 ± 0,00 ^a	0,02 ± 0,01 ^a	0,02 ± 0,00 ^a
Cuivre	0,22 ± 0,03 ^a	0,20 ± 0,06 ^a	0,21 ± 0,03 ^a

* les valeurs sont exprimées en moyenne ± écart type n = 9

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

4.1.10- Profil acides gras des carcasses

L'analyse du profil acide gras des carcasses de *Oreochromis niloticus* nourri avec les aliments expérimentaux AP, AM et AS révèle la présence des acides gras caprylique, caprique, laurique, myristoléique, palmitique, stéarique, oléique, et linoléique (Tableau 29). Les taux d'acides gras palmitique, stéarique, oléique et linoléique sont plus abondants que les autres acides gras quel que soit l'aliment distribué. Les teneurs en acides palmitique, oléique et linoléique sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) chez les poissons nourris avec AP et AM. En revanche, les teneurs en acide stéarique sont plus faibles ($p < 0,05$) chez ces poissons. Les proportions de ces acides gras varient entre $25,39 \pm 0,06$ (AS) et $36,00 \pm 0,44$ % (AP) pour l'acide palmitique, entre $8,07 \pm 0,41$ (AP) et $25,95 \pm 0,06$ % (AS) pour l'acide stéarique, entre $34,31 \pm 0,55$ (AP) et $37,86 \pm 0,51$ % (AS) pour l'acide oléique et entre $6,92 \pm 0,00$ (AS) et $9,51 \pm 0,06$ % (AP) pour l'acide linoléique. L'acide caprylique est présent seulement dans les carcasses de poissons nourris avec AM ($0,17 \pm 0,01$ %). Les teneurs en acide caprique, laurique et myristoléique sont similaires dans tous les lots de poissons. Les

valeurs obtenues sont de $0,56 \pm 0,02$ % (AP), $0,53 \pm 0,01$ % (AM), $0,50 \pm 0,02$ % (AS) pour l'acide caprique, de $4,63 \pm 0,48$ % (AP), $4,78 \pm 0,45$ % (AM), $3,43 \pm 0,68$ % (AS) pour l'acide laurique et de $3,37 \pm 0,26$ % (AP), $4,09 \pm 0,29$ % (AM) et $3,49 \pm 0,32$ (AS) pour l'acide myristoléique. Les proportions d'acides varient entre $49,26 \pm 0,16$ (AP) et $55,28 \pm 0,06$ % (AS) pour les saturés totaux et entre $44,72 \pm 0,01$ (AS) et $50,74 \pm 0,15$ (AP) pour les insaturés totaux. Les quantités d'acide saturés totaux sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) avec AS contrairement aux insaturés totaux qui sont plus élevés ($p < 0,05$) avec AP et AM.

Tableau 29 : Profil acides gras des carcasses de *Oreochromis niloticus* nourri avec les aliments expérimentaux après 180 jours d'élevage en bacs en béton (% des acides gras totaux)

Acides gras	Aliments		
	AP	AM	AS
Caprylique C8:0	-	$0,17 \pm 0,01$	-
Caprique C10:0	$0,56 \pm 0,02^a$	$0,53 \pm 0,01^a$	$0,50 \pm 0,02^a$
Laurique C12:0	$4,63 \pm 0,48^a$	$4,78 \pm 0,45^a$	$3,43 \pm 0,68^a$
Myristoléique C14:1	$3,37 \pm 0,26^a$	$4,09 \pm 0,29^a$	$3,49 \pm 0,32^a$
Palmitique C16:0	$36,00 \pm 0,44^b$	$35,24 \pm 0,44^b$	$25,39 \pm 0,06^a$
Stéarique C18:0	$8,07 \pm 0,41^a$	$8,78 \pm 0,41^a$	$25,95 \pm 0,06^b$
Oléique C18:1	$37,86 \pm 0,51^b$	$36,98 \pm 0,51^b$	$34,31 \pm 0,55^a$
Linoléique C18:2	$9,51 \pm 0,06^b$	$9,41 \pm 0,06^b$	$6,92 \pm 0,00^a$
Saturés totaux	$49,26 \pm 0,16^a$	$49,52 \pm 0,15^a$	$55,28 \pm 0,06^b$
Insaturés totaux	$50,74 \pm 0,15^b$	$50,48 \pm 0,16^b$	$44,72 \pm 0,01^a$

* les valeurs sont exprimées en moyenne \pm écart type n = 9

AP = Aliment poisson ; AM = Aliment mixte ; AS = Aliment soja

Les valeurs portant les mêmes lettres alphabétiques sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de $\alpha = 0,05$.

(- = absence)

4.2- Discussion

Les substitutions de 50 et 100 % de protéines de poisson par les protéines de soja dans l'aliment formulé à 35 % de protéines brutes a entraîné une réduction de la croissance chez *Oreochromis niloticus*. Cette diminution de la croissance pourrait être due aux quantités du tourteau de soja utilisé dans l'aliment. Chez cette espèce, Shiau *et al.* (1987) ont rapporté que le tourteau de soja peut totalement substituer la farine de poisson sans réduction significative de la croissance lorsque le taux de protéines de l'aliment est de 24 %. Liti *et al.* (2006) également n'observent pas de différence de croissance chez *O. niloticus* avec un aliment formulé à 24 % de protéines lorsque les protéines végétales remplacent partiellement ou totalement les protéines animales. En revanche, Borgeson *et al.* (2006), chez cette même espèce de poisson nourris avec un aliment formulé à 38 % de protéines obtient un gain de poids quotidien (GPQ) de 0,97 g/j et un taux de croissance spécifique (TCS) de 1,79 %. Ces résultats sont obtenus lorsque *O. niloticus* est nourri avec un aliment sans farine de poisson, contenant 36 % de tourteau de soja, 34 % de maïs et 19,16 % de son de blé. Cependant, les GPQ compris entre 2 et 2,68 g/j et des TCS variant entre 3,06 et 3,66 % sont enregistrés lorsque la farine de poisson représente 33 %, 67 % et 100 % des protéines de l'aliment. Ces observations démontrent clairement que les substitutions de la farine de poisson par le tourteau de soja à des taux élevés de protéines entraînent une diminution de la croissance chez *O. niloticus*. C'est le cas dans notre étude. En effet, les poissons sont nourris à des taux de protéines de 35 %, ce qui expliquerait les réductions de croissance observées chez les poissons nourris avec les aliments AM et AS. La formulation d'aliment à 35 % de protéines nécessite des quantités élevées de tourteau de soja. Les fortes proportions de tourteau de soja dans les aliments formulés AM (24,80 kg de tourteau de soja) et AS (50 kg de tourteau de soja) seraient à la base des réductions de croissance observées chez *O. niloticus*. Toutefois, les valeurs de coefficient d'efficacité protéique (CEP) élevées obtenues [(2,70 (AP) ; 2,36 (AM) et 2,31 (AS)] pour tous les aliments expérimentaux témoigne d'une bonne qualité et d'une bonne appétence des différentes protéines alimentaires utilisées.

Par ailleurs, le tourteau de soja peut contenir des substances anti-nutritionnelles (Kakade *et al.*, 1970; Ayet *et al.*, 1996; Storrebakken *et al.*, 2000), dont l'effet dépressif dépendrait de leur concentration dans les aliments et de l'espèce. Par exemple, une concentration de 0,4 % de tanins dans l'aliment n'affecte pas la digestibilité des protéines et des lipides chez *O. niloticus* alors qu'à partir d'une teneur de 0,6 % la digestibilité de ces nutriments diminue (Pinto *et al.*, 2000).

La substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja entraîne une diminution du coût de production lié à l'aliment des poissons nourris avec l'aliment AS (235,11 FCFA/kg) par rapport à l'aliment AP (278,30 FCFA/kg) contrairement au temps nécessaire à la production d'un kg de poisson qui augmente. Il est de 43,14 jours pour AS et de 26 jours pour AP. L'augmentation du temps de production constaté avec l'aliment AS serait une conséquence de la réduction de la croissance observée.

Les résultats de la composition biochimique des carcasses de poissons ont montré que la teneur en cendres a augmenté avec les taux élevés de farine de poisson dans l'aliment. Les minéraux apportés par la farine de poisson dans l'aliment AP seraient très bien utilisés et retenus par *O. niloticus*. Des résultats similaires ont été obtenus avec cette espèce par El-Saidy et Gaber (2003). Ces auteurs rapportent une teneur en cendres de 3,07 % de masse fraîche de *O. niloticus* lorsqu'il est nourri avec un aliment à base de protéines de poisson. Ce même poisson nourri avec des aliments dans les-quelles les protéines végétales remplacent 75 % et 100 % de la farine de poisson donnent des teneurs en cendres comprises entre 2,56 et 2,58 %. En ce qui concerne les protéines, l'incorporation du tourteau de soja dans l'aliment n'a pas affectée les teneurs en protéines des carcasses de poissons. Ofojekwu (1993) et El-Saidy et Gaber (2003) rapportent les mêmes résultats chez cette espèce.

Les teneurs en lipides et en énergie des carcasses de poisson augmentent avec les taux élevés de tourteau de soja. Les fortes teneurs en lipides et énergie obtenues chez les poissons nourris avec l'aliment AS ont influencé l'énergie retenue et le gain lipidique journalier des poissons. Ces valeurs sont en parfaite corrélation avec les indices viscérosomatiques (IVS) enregistrés chez les différents lots de poissons. Ces résultats indiquent que les aliments à forte teneur en tourteau de soja ne seraient pas efficacement utilisés pour la croissance de *O. niloticus* mais augmenterait les dépôts lipidiques. Des résultats similaires ont été observés chez cette même espèce par Abdelghany (2003) et chez le loup de mer *Dicentrarchus labrax* par Kaushik *et al.* (2004).

La substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'alimentation de *O. niloticus* entraîne une réduction des teneurs en calcium et phosphore des carcasses de poissons. Cette réduction pourrait être due à la faible disponibilité de ces minéraux dans les aliments AM et AS. Les réductions de calcium et de phosphore ont également été rapportées chez cette même espèce nourrie avec des aliments à base de protéines végétales par Mbahinzireki *et al.* (2001).

Dans cette étude, les teneurs en acides gras palmitique et insaturés dans les carcasses de *Oreochromis niloticus* diminuent avec l'augmentation de l'huile et du tourteau de soja dans l'aliment. En revanche, les taux d'acides stéarique et saturés dans les carcasses augmentent chez les poissons nourris avec l'aliment AS. Chez cette même espèce, Ng *et al.* (2006) ont rapporté que le profil acide gras de la carcasse est influencé par le profil acide gras de l'aliment et des huiles utilisés pour formuler les aliments. Selon Bahurmiz et Ng (2007), les fortes concentrations en acide palmitique sont caractéristiques des poissons nourris avec un aliment formulé à base d'huile de poisson. De plus, l'huile de poisson est généralement plus riche en acides gras insaturés que l'huile de soja. Cependant, les variations d'acides myristoléique et linoléique dans les carcasses de *O. niloticus* ne reflètent pas celles des aliments formulés. Chez cette espèce, la perméabilité membranaire aux acides gras serait affectée par les interactions entre les différents acides gras. Chez *O. niloticus* nourris avec l'aliment AS, les valeurs élevées d'acides gras saturés totaux sont une conséquence des diminutions des taux d'acide oléique et linoléique (insaturés) contrairement aux taux d'acide stéarique (saturés) qui augmentent. Cette augmentation des acides gras saturés du poisson serait bénéfique à de longs temps de conservation (Corraze, 1994). Toutefois, ces diminutions des taux d'acide oléique et linoléique (essentiels dans l'alimentation de l'homme) chez le poisson dû à l'aliment distribué ne sont pas souhaitées.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis d'évaluer les effets de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'alimentation des trois principales espèces d'élevage en Côte d'Ivoire. Les performances zootechniques et les valeurs nutritionnelles de *Heterobranchus longifilis*, *Sarotherodon melanotheron* et *Oreochromis niloticus* ont été testées. De même, la qualité du milieu d'élevage en relation avec les substitutions de la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'aliment a été évaluée au cours des expériences.

Il ressort de ces investigations que les paramètres physico-chimiques du milieu tels que la température, le pH et l'oxygène dissous ne sont pas influencés par la qualité de l'aliment utilisé. En revanche, nous notons une réduction des taux de nitrates (*S. melanotheron* et *O. niloticus*) et de phosphore (*O. niloticus*) rejetés dans le milieu d'élevage lorsque les poissons sont nourris avec les aliments formulés à base de tourteau de soja. De plus, l'utilisation de ces aliments a entraîné une réduction des quantités de matière sèche et de matière organique totale des matières en suspension (MES) et du périphyton récolté dans les bacs d'élevage. En effet, dans le milieu d'élevage, les teneurs élevées de sels nutritifs (nitrates et phosphores) et de matière organique influencent la croissance des algues périphytiques pouvant ainsi conduire à une eutrophisation du milieu d'élevage. L'incorporation de protéines de soja dans l'alimentation des poissons est donc une alternative pour l'amélioration des conditions d'élevage.

En ce qui concerne la croissance, les effets de la substitution sur la croissance des poissons dépendent de l'espèce étudiée. Le remplacement de 50 % et 100 % des protéines de poisson par celles de soja n'a pas eu d'effet sur la croissance de *S. melanotheron*. En revanche chez *O. niloticus* et *H. longifilis*, la croissance diminue avec les taux élevés de protéines de soja dans l'aliment. De plus, chez *H. longifilis*, le tourteau de soja dans l'aliment a entraîné une augmentation du taux de cannibalisme et de mortalité des poissons. Toutefois, les valeurs de taux de conversion alimentaire (TCA) inférieures à 3,5 indiquent une croissance acceptable des poissons nourris avec les aliments formulés à base de tourteau de soja. Chez les poissons, l'incorporation de soja dans l'alimentation des poissons doit tenir compte du matériel enzymatique dont ils disposent pour dégrader les aliments ingérés.

La qualité nutritionnelle du tourteau de soja dans l'aliment formulé dépend de la teneur en protéines de cet aliment. Chez *S. melanotheron*, les substitutions de la farine de poisson par le tourteau de soja dans un aliment à 35 % de protéines n'affecte pas la croissance, cela n'est pas le cas chez *H. longifilis* et *O. niloticus*. Les réductions de croissance constatées chez *H. longifilis* et *O. niloticus* pourraient révéler la présence de substances

antinutritionnelles dans le tourteau de soja. En fonction des méthodes de production, ce tourteau peut contenir de fortes doses de substances anti-nutritionnelles qui perturbent le processus de digestion des poissons. En effet, au cours de ces dernières années, plusieurs travaux révèlent la possibilité d'améliorer l'utilisation des protéines de soja par des traitements thermiques supplémentaires et par incorporation d'enzymes telles que les cellulases et les phythases. Les traitements à la chaleur du tourteau de soja permettent de détruire la plupart des substances antinutritionnelles contenues dans le tourteau. L'incorporation de phythases va libérer la plupart des minéraux chélatés dans les produits végétaux par l'acide phytique. Ces minéraux sont essentiels pour les réactions métaboliques des poissons et peuvent ainsi participer à leur croissance. D'autre part, les cellulases permettent de faciliter la digestion des fibres non assimilables par la plupart des poissons.

L'utilisation d'aliment formulé à base de tourteau de soja a entraîné une diminution des teneurs en protéines chez *S. melanotheron*, une diminution des minéraux et une augmentation de la teneur en lipides et en énergie chez *S. melanotheron* et *O. niloticus*. Chez *H. longifilis*, l'augmentation du taux de lipides et la diminution du taux de minéraux des carcasses de poissons sont observées lorsque les protéines de poisson remplacent 50 % des protéines de soja dans l'aliment. Toutefois, tous les poissons produits étaient de bonne valeur nutritionnelle. De plus, quelle que soit l'espèce étudiée, les taux de calcium et de phosphore des carcasses de poissons diminuent avec l'incorporation de tourteau de soja dans l'aliment distribué. Le calcium et le phosphore sont directement impliqués dans le développement et le maintien du système squelettique. Le manque de phosphore entraîne une faible minéralisation des os et une déformation squelettique. Dans notre étude, aucune pathologie due au déficit en minéraux n'a été observée chez les poissons pendant la période d'élevage. Ces résultats révèlent la possibilité de substituer la farine de poisson par le tourteau de soja dans l'alimentation des poissons.

La modification du profil acide gras des poissons est également fonction de l'espèce. La substitution des protéines de poisson par celles du soja dans l'aliment entraîne une augmentation des taux d'acide stéarique et des acides gras saturés totaux dans les huiles de poissons quelle que soit l'espèce. En fin d'élevage, les gains sont essentiellement lipidiques. La rétention lipidique chez les trois espèces étudiées est directement liée au taux de tourteau de soja dans l'aliment utilisé.

En perspectives, il serait opportun d'étudier les enzymes présentes dans les tubes digestifs de ces trois poissons afin de mieux comprendre les résultats obtenus. De plus, la définition des conditions de production et de conservation du tourteau de soja permettra aux pisciculteurs de trouver en ce tourteau un vrai substituant à la farine de poisson. Et enfin il apparaît nécessaire d'envisager des études pour évaluer les influences des traitements thermiques supplémentaires du tourteau de soja et les taux d'incorporation d'enzyme sur la croissance et la productivité des poissons. Ces nouvelles pratiques permettront d'améliorer la croissance des poissons nourris avec les aliments formulés à base de tourteau de soja.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelghany A. E. (2003). Partial and complete replacement of fish meal with gambusia meal in diets for red tilapia *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*. *Aquaculture Nutrition* **9** (10) : 145-154.
- Ackman R. G. (1995). Composition and nutritional value of fish and shell fish lipids fish. *In*: Ruiter A. (Ed.). *Fish and Fishery Products*. Wallingford, Oxon, United Kingdom : CAB International, pp. 117-156.
- Adewumi A. A. (2006). The growth and gonadal maturation of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) broodstock fed differently heated soybean-based diets. *Aquaculture Nutrition* **12** (4) : 267-274.
- Albaret J. J. (1994). Les poissons: Biologie et peuplements. *In*: Durand J. R., Dufour P., Guiral D. & Zabi S. G. F. (Eds.) *Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire (Tome II). Les Milieux Lagunaires*. Paris, France : ORSTOM, pp 239-279.
- Al-Hafedh Y. S. & Siddiqui A. Q. (1998). Evaluation of guar seed as a protein source in Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.), practical diets. *Aquaculture Research* **29** (10) : 703-708.
- Aminot A. & Chaussepied M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Jouve, Paris : Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO). 395 pp.
- Anderson J., Jackson A. J. & Matty J. A. (1983). Effects of purified carbohydrates and fibre on the growth of the Tilapia *Oreochromis niloticus* (Abstr.). *In*: Fishelson L. & Yaron Z. (Eds.). *The First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. 8-13 May 1983. Nazareth, Israel : Tel Aviv University, pp 328-337.
- AOAC (1995). Official methods of analysis. Association of Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- AOAC (2003). Official methods of analysis, Metals and other elements. Association of Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Atsé B. C. (2000). Etude de faisabilité et analyse technico-financière d'un projet de production à la Station Expérimentale de Layo. Document technique CRO/NDR/07 d'Abidjan, Côte d'Ivoire, p 26.
- Atsé B. C., Konan K. J. & Kouassi N. J. (2009a). Biologie de la reproduction du Cichlidae *Tylochromis jentinki* dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Cybiurn* **33** (1) : 11-19.
- Atsé B. C., Konan K. J., Alla Y. L. & Pangni K. (2009b). Effect of rearing density and feeding regimes on growth and survival of African Catfish, *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) larvae in a closed recirculating aquaculture system. *Journal of Applied Aquaculture* **21**: 183-195.

- Auperin B. & Prunet P. (1996). Rôle de la prolactine dans l'adaptation du tilapia à des milieux hypo et hyper osmotiques. *In: Pullin R. S. V., Amon Kothias J. B. & Pauly D. (Eds.). Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture .* Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings, pp 493-505.
- Ayet G., Muzquiz M., Burbano C., Robredo L. M., Cuadrado C. & Price K. R. (1996). Determinations of saponins in the main legumes cultivated in Spain. *Food Sciences and Technologies International* **2** (2) : 95-100.
- Azim M. E., Wahab M. A., van Dam A. A., Beveridge M.C. M., Milstein A. & Verdegem M. C. J. (2001). Optimisation of fertilization rate for maximizing periphyton production on artificial substrates and the implications for periphyton-based aquaculture. *Aquaculture Research* **32** (9) : 749-760.
- Azim M. E., Verdegem M. C. J., Mantingh I., van Dam A. A. & Beveridge M. C. M. (2003). Ingestion and utilization of periphyton grow on artificial substrates by Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Aquaculture Research* **34** (1) : 85-92.
- Bahurmiz O. M. & Ng W-K. (2007). Effects of dietary palm oil source on growth, tissue fatty acid composition and nutrient digestibility of red hybrid tilapia, *Oreochromis sp.*, raised from stocking to marketable size. *Aquaculture* **262** (2-4) : 382-392.
- Balarin J. D. & Hatton J. D. (1979). Tilapia : A guide to their biology and culture in Africa. Stirling, Ecosse : Unit of Aquatic Pathobiology, Stirling University. 174 pp.
- Balogun A. M. & Ologhobo A. D. (1989). Growth performance and nutrient utilization of fingerling *Clarias gariepinus* (Burchell) fed raw and cooked soybean diets. *Aquaculture*, **76** (1-2) : 119-126.
- Bamba Y. (2007). Production en étang du Tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnée, 1758) nourri avec des sous produits agricoles sans adjonction de farine de poisson. Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'ivoire. 150 pp.
- Baran E. (2000). Biodiversity of estuarine fish faunas in West Africa. Naga. *The ICLARM Quarterly* **23** (4) : 4-9.
- Baras E., Tissier F., Philippart J. C. & Mélard C. (1999). Sibling cannibalism among juvenile vundu under controlled conditions II. Effect of body weight and environmental variables on periodicity and the intensity of type II cannibalism. *Journal of Fish Biology*, **54** (1) : 106-118.
- Baras E. & d'Almeida A. F. (2001). Size heterogeneity prevails over kinship in shaping cannibalism among larvae of sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Aquatic Living Resources* **14** (4) : 251-256.

- Barcellos L. J. G., Kreutz L. C., Quevedo M. R., Fioreze I. L., Cericato M. Soso A. B., Fagundes J. Conrad R. K., Baldissera A. Bruschi & Ritter F. (2004). Nursery rearing of *Rhamdia quelen* (Quoy and Gaimard) in cages: cage type, stocking density and stress response to confinement. *Aquaculture* **232** (1-4) : 383–394.
- Bard J. P., De Kimpe & Lessent P. (1976). Nouveaux poissons et nouvelles méthodes d'élevage en Afrique. *In: Proceeding FAO/CIFA. Symposium on aquaculture in Africa*. 30 Septembre 1975. Accra, Ghana: CIFA Technical Paper, pp. 365-372.
- Barnerjee I., Saha S. & Dutta J. (1992). Comparison of the effect of dietary fish oils with different n-3 polyunsaturated fatty acid compositions on plasma and liver lipids in rats. *Lipids* **27**: 425-428.
- Berdanier C. D. (1992). Fatty acid and membrane function. *In: Dekker M. (Ed.). Fatty Acid in Food and Their Health Implications (Volume 2)*. New York, USA : C. K. Chow. pp 531-544.
- Bergé J.P. (1996). Optimisation de la production en masse de *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve sur une eau souterraine salée en vue de sa valorisation: caractérisation des lipides et recherche de substances à activité biologique. Thèse de doctorat, Université de Nantes, France. 240 pp.
- Bergé J. P. & Barnathan G. (2005). Fatty acids from lipids in marine organisms: molecular biodiversity, roles as biomarkers, biologically active compounds, and economical aspects. *In: Le Gal Y. & Ulber R. (Eds.). Marine Biotechnology*. Berlin, Allemagne : I. Adv. Biochemistry Engine/Biotechnology, Springer, pp 49-125.
- Bergheim A., Hustveil H., Kittelsen A. & Selmer-Olsen A. R. (1984). Estimated pollution loadings from Norwegian fish farms. *Aquaculture* **36** (1-2) : 157-168.
- Beveridge M. C. M., Begum M., Frerichs G. N. & Millar S. (1989). The ingestion of bacteria in suspension by the tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* **81** : 373-378.
- Blé M. C., Arfi R., Yeboua A. F. & Diopoh K. J. (2007). Qualité nutritive de l'alimentation naturelle du tilapia *Oreochromis niloticus* en élevage extensif dans des étangs de barrage (Côte d'Ivoire). *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture* **385** : 01-16.
- Bonou C. (1990). Etude de la productivité planctonique dans les étangs d'aquaculture en milieu saumâtre. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Toulouse, France. 227 pp.
- Borgeson T. L., Racz V. J., Wilkie D. C., White L. J. & Drew M. D. (2006). Effect of replacing fishmeal and oil with simple or complex mixtures of vegetable ingredients in diets fed to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition* **12** (2) : 141-149.

- Bowen S. H. (1979). A nutritional constraint in detritivory by fishes: The stunted population of *Sarotherodon mossambicus* in Lake Sibaya, South Africa. *Ecological Monographs* **49** (1) : 17-31.
- Bowen S. H. (1982). Feeding digestion and growth-qualitative considerations. In: Pullin R. S. V. & Lowe-McConnell R. H. (Eds.). *The Biology and Culture of Tilapias*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings, pp 141-156.
- Boyd C. E. (1990). Water quality in ponds for aquaculture. Birmingham, Etats-Unis : Auburn University press n° 482.
- Boyd C. E. (1995). Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. New York, Etats-Unis : Chapman and Hall. 348 pp.
- Brown L. (1999). Aquaculture for veterinarians: fish husbandry and medicine. Oxford, United Kingdom : Pergamon press Ltd. 447 pp.
- Cahu C. (2004). Domestication et fonction de nutrition chez les poissons. *INRA Production Animale* **17** : 205-210
- Campbell D. (1987). A review of the culture of *Sarotherodon melanotheron* in west Africa. Rôme, Italy : Working paper **5** UNDP/FAO. 20 pp.
- Chakraborty S. C., Ross L. G. & Ross B. (1992). The effect of dietary protein level and ration level on excretion of ammonia in common carp, *Cyprinus carpio*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part* **103** (A) : 801-808.
- Chamberlain G. W. (1993). Aquaculture trends and feed projections. *World Aquaculture* **24** (1) : 19-29.
- Chardon M. (1965). Anatomie comparée de l'appareil de Weber et des structures connexes chez les siluriformes. In: Tenvuren (Ed.). *Sciences Zoologiques*. Tenvuren, Belgique : Annales Series IN-8 Sciences Zoologiques n° 169, pp 1-149.
- Cheng Z. J., Hardy R. W. & Ursy J. L. (2003). Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion. *Aquaculture* **218** (1) : 553-565.
- Chervinski J. (1982). Environmental physiology of Tilapia. In: R. S. V. Pullin, J. B. Amon-Kothias & D. Pauly (Eds.). *The biology and culture of Tilapia*. Manila, Philippines : ICLARM, Conference Proceedings, pp 119-128.
- Cho C. Y. & Bureau D. P. (1997). Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *Program Fish-Culture* **59** : 155-160.

- Chong A., Hashim R. & Bin Ali A. (2003). Assessment of soybean in diets for discus (*Symphysodon aequifasciata* Heckel) farming through a fishmeal replacement study. *Aquaculture Research* **34** (11) : 913-922.
- Cissé A. (1986). Résultats préliminaires de l'alimentation artificielle de *Tilapia guineensis* (Bleeker) et de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell) en élevage. In: Klaus Koop (Ed.). *Aquaculture Research in the African Region*. Wageningen, Netherlands : FIS Seminar PUDOC. pp 103-111.
- Cissé A. (1991). Research on brackish water Tilapia, *Sarotherodon melanotheron*: Growth studies in intensive culture conditions. In: Klaus Koop (Ed.). *Aquaculture in Africa*. Harare, Zimbabwe : FIS Seminar PUDOC. pp 16-30.
- Cissé A. (1995). Nutrition et alimentation des poissons ; CRO projet BAD-Ouest Man; Programme de formation, module 1, Abidjan, Côte d'Ivoire p 24.
- Cissé A. (1996). Etude du rapport protéines-énergie dans l'alimentation de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell 1852). In: R. S. V. Pullin, J. B. Amon-Kothias & D. Pauly (Eds.). *Le troisième symposium international sur le Tilapia en aquaculture*. Manila, Philippines : ICLARM, Conference Proceedings, pp 213-218.
- Cissé A. (1999). Rapport d'activités pour la période de 1982 à 1999. Centre de Recherches Océanologiques (CRO) d'Abidjan, Côte d'Ivoire, p 13 + annexes.
- Cissé A., Luquet P. & Etchian A. (1995). Utilisation par *Chrysichthys nigrodigitatus* (Bagridae) d'ensilage chimique ou biologique de poisson. *Aquatic Living Resources* **8** (4) : 373-377.
- Corraze G. (1994). Nutrition lipidique des Poissons. Importance et conséquences. *Pisciculture Française* **117** : 25-36.
- Corraze G. & Kaushik S. J. (1999). Les lipides des poissons marins et d'eau douce. OCL-Oléagineux. *Corps Gras Lipides* **6** (1) : 111-115.
- Corraze G., Larroquet L. & Medale F. (1999). Nutritional control of lipid deposition in rainbow trout : effect of rearing temperature. *INRA, Productions Animales* **12** (4) : 249-256.
- Coulibaly A., Ouattara I. N., Koné T., N'Douba V., Snoeks J., Gooché Bi, G. & Kouamelan E. P. (2007). First results of floating cage culture of the African catfish *Heterobranchius longifilis* Valenciennes, 1840 : Effect of stocking density on survival and growth rates. *Aquaculture* **263** (1) : 61-67.

- Cowey C. B. & Cho C. Y. (1991). Nutritional strategies and Aquaculture Waste. Proceedings of the First International Symposium on Nutritional Strategies in management of Aquaculture Waste. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 275 pp.
- Craig S. R. (2004). Organic agricultural feed. *Aqua Feeds : Formulation and Beyond* **1** : 11-13.
- Daget J. & Durand J. R. (1981). Poissons. *In* : Durand J. R. & Lévêque C. (Eds.). *Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahelo-Soudanienne (Tome II)*. Paris, France : ORSTOM, Collections Initiations-Documentations Techniques, pp 687-771.
- Delincé G. 1992. The ecology of fish pond ecosystem with special reference to Africa. Boston Dordrecht London : Kluwer Academic Publishers. 230 pp.
- Dempster P. W., Beveridge M. C. M., Baird D. J. (1993). Herbivory in the tilapia *Oreochromis niloticus* : a comparison of feeding rates on phytoplankton and periphyton. *Journal of Fish Biology* **43** (3) : 385-392.
- De Silva S. S., Perera M. K. & Matipe P. (1984). The composition, nutritional status and digestibility of the diets of *Sarotherodon mossambicus* from nine man-made lakes in Sri Lanka. *Environmental Biology of Fishes* **113** (3) : 205-219.
- De Silva S. S. & Perera M. K. (1985). Effects of dietary protein level on growth, food conversion, and protein use in young *Tilapia nilotica* at four salinities. *Transactions of the American Fisheries Society* **114** : 584-589.
- Dias J., Corraze G., Arzel J., Alvarez M. J., Bautista J. M., Lopez-Bote C. & Kaushik S. J. (1999). Effets du rapport protéine/énergie des régimes alimentaires chez la truite et le bar en élevage. Perspectives de contrôle nutritionnel des dépôts lipidiques. *Cybium* **23** (1) : 127-137.
- Doudet T. & Legendre M. (1986). L'aquaculture. *In*: Aménagement de la pêche et de l'aquaculture en Côte d'Ivoire. Abidjan, Côte d'Ivoire : Centre de Recherches Oceanologique, pp 109-125.
- Dufour P. (1994). Du biotope à la biocénose. *In*: Durand J. R., Dufour P., Guiral D. & Zabi G. S. (Eds.). *Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire : Les Milieux Lagunaires (Tome II)*. Paris, France : ORSTOM. pp 95-136.
- Durand J. R. & Guiral D. (1994). Hydroclimat et hydrochimie. *In*: Durand J. R., Dufour P., Guiral D. & Zadi S. G. F. (Eds.). *Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire : Les Milieux Lagunaires (Tome II)* . Paris, France : ORSTOM. pp 59-90.

- El-Saidy D. M. S. & Gaber M. M. A. (1997). Total replacement of fish meal by soybean meal, with various percentages of supplemental L-methionine, in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fry. *Annals of Agriculture Science, Moshtohor* **35** (3) : 1223-1238.
- El-Saidy D. M. S. & Gaber M. M. A. (2001). Linseed meal-ist successful use as a partial and complete replacement for fish meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. In : Proceedings of the Second International Conference on Animal Production and Health in Semi-Arid Areas. El-Arish-North, Egypte : Suez Canal University, pp 635-643.
- El-Saidy D. M. S. & Gaber M. M. A. (2002). Evaluation of dehulled sunflower meal as a partial and complete replacement for fish meal in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), diets. In : Proceedings of the First Annual Scientific Conference on Animal and Fish Production. Al-Mansoura, Egypte : Al-Mansoura University, pp 193-205.
- El-Saidy D. M. S. & Gaber M. M. A. (2003). Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research* **34** (13) : 1119-1127.
- El-Sayed A. F. M. (1990). Long-term evaluation of cottonseed meal as a protein source for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture* **84** (34) : 315-320.
- El-Sayed A. F. M. (2006). The role of tilapia in rural development. In : CABI Publishers (Ed.) *Tilapia Culture*. Wallingford, United Kingdom : pp 176-191.
- Eyeson K. N. (1983). Stunting and reproduction in pond-reared *Sarotherodon melanotheron*. *Aquaculture* **31** : 257-267.
- Elvevoll E. & James D. (2000). Avantages potentiels du poisson pour la nutrition maternelle, foetale et néonatale : examen de la littérature à ce sujet. In : Bueno P., Phillips M. J., Hough C., Mc-Gladdery S. E. & Arthur J. R. (Eds.). *Alimentation, Nutrition et Agriculture*. Rome, Italie : FAO. pp 28-37.
- FAO (2002). The state of World fisheries and Aquaculture. Rome, Italy : FAO, Fisheries Department. 159 pp.
- FAO (2008). Profil de la pêche par pays, la république de Côte d'Ivoire. FAO, Rome, Italie, 43 p. http://www.fao.org/FI/DOCUMENT/fcp/fr/FI_CP_CI.pdf (Decembre 2008)
- FAO/SMIAR (2001). Poissons et produits halieutiques. Perspectives de l'alimentation, rapport N°2-Avril 2001, FAO, Rome, Italie. p 11.
- Fishelson L. & Yaron Z. (1983). The First International Symposium on tilapia in aquaculture. Nazareth, Israel : Tel Aviv University. 624 pp.

- Fryer G & Iles T. D. (1972). The cichlid fishes of the great lakes of Africa: Their biology and evolution. Edinburgh, Royaume-Uni : Oliver and Boyd. 641 pp.
- Fukusho K. (1969). The specific difference of salinity tolerance among cichlid fishes genus *Tilapia* and Histological comparison of their Kidneys. *Bulletin of Japan. Society Sciences of Fisheries* **35** (2) : 148-155.
- Fukuhara O. (1989). A review of the culture of grouper in Japan. *Bulletin of Nansei Region Fish Research of Laboratory* **22** : 47-57.
- Getachew, T. 1987. Food, nutrition and digestive efficiency in *Oreochromis niloticus* Linn. (Pisces: Cichlidae) in Lake Awasa, Ethiopia. Thèse de doctorat, Université de Waterloo, Belgique. 109 pp.
- Getachew T. & Fernando C. H. (1989). The food habits of an herbivorous fish (*Oreochromis niloticus* L.) in lake Awasa, Ethiopia. *Hydrobiologia* **174** (3) : 195-200.
- Gilles S. (1994). Comparaison des performances de croissance en milieu lagunaire de trois populations génétiquement différenciées de *Sarotherodon melanotheron*, originaire du Senegal, de la Côte d'Ivoire et du Congo. In: Agnès J-F. (Ed.). *Biodiversité et Aquaculture en Afrique*. Abidjan, Côte d'Ivoire : ORSTOM. pp 73-79.
- Gilles S., Dugue R. & Slembrouck J. (2001). Manuel de production d'alevins du silure africain *Heterobranchus longifilis*. Paris, France : IRD. 128 pp.
- Goda A. M., Wafa M. E., El-Haroun E. R. & Kabir Chowdhury M. A. (2007). Growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) and tilapia galilae *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus 1758) fingerlings fed plant protein-based diets. *Aquaculture Research* **38** (8) : 827-837.
- Goldstein (1973). Cichlids of the world. New Jersey, USA : TFH publications. 382 pp.
- Gourène G. & Teugels G. G. (1993). Différenciation morphologique de souches des tilapias *Oreochromis niloticus* et *O. aureus* (Teleostei; Cichlidae) utilisées en pisciculture. *Cybium* **17** (4) : 343-355.
- Gourène G., Teugels G.G. & Thys van den Audenaerde D. F. E. (1995). Manuel pratique d'identification des poissons du lac d'Ayamé (Rivière Bia, Côte d'Ivoire). Archives Scientifiques, CRO/ORSTOM, Abidjan, Côte d'Ivoire, p 41.
- Goytortúa-Bores E., Civera-Cerecedo R., Rocha-Mez S. & Green-Yee A. (2006). Partial replacement of red crab (*Pleuroncodes planipes*) meal for fish meal in practical diets for the white shrimp *Litopenaus vannamei*. Effects on growth and in vivo digestibility. *Aquaculture* **256** (1-4) : 414-422.

- Green J. A., Hardy R. W. & Brannon E. L. (2002). Effects of dietary phosphorus and lipid levels on utilization and excretion of phosphorus and nitrogen by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) L. Laboratory-scale study. *Aquaculture Nutrition* **8** (4) : 279-290.
- Guiral D., Albaret J. J., Baran E., Bertrand F., Debenay J. P., Diouf P. S., Guillou J. J., Loeuff P., Montoroi J. P. & Sow M. (1999). Les écosystèmes à mangrove. In : Comier-Salem M.-C. (Ed.). *Rivières du Sud : Sociétés et Mangroves Ouest Africaines (Volume 1)*. Paris, France : ORSTOM. pp 63-130.
- Hardy R. W. (1999). Aquaculture's rapid growth requirements for alternate protein sources. *Feed Management* **50** : 25-28.
- Haylor G. S. (1991). Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): Growth and survival of fry at high stocking density. *Aquatic Fishery Management* **22** : 405-422.
- Haylor G. S. (1992). Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): Growth and survival of fry at high stocking density. *Aquatic Fisheries Management* **23** : 303-314.
- Hecht T. & Appelbaum A. (1988). Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae: Pisces) under controlled conditions. *Journal of Zoology* **214** : 21-44.
- Helland S. J. & Grisdale-Helland B. (1998). The influence of replacing fish meal with fish oil on growth, feed utilization and body composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) during the smoltification period. *Aquaculture* **162** (1-2) : 1-10.
- Hem S. (1992). First results on "acadja-enclos" used as an extensive culture system. In: Bernacsek G. M. & Powles H. (Eds.). *Recherche sur Les Systèmes Aquacoles en Afrique*. Ottawa, Canada : IDRC-MR. pp 101-113.
- Hem S., Legendre M., Trébaol L., Cissé A., Otémé Z. & Moreau Y. (1994). L'aquaculture lagunaire. In: Durand J. R., Dufour P., Guiral D. & Zabi S. D. F. (Eds.). *Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire : Les Milieux Lagunaires (Tome II)*. Paris, France : ORSTOM. 455-505 pp.
- Hepher B. (1988). Principles of fish nutrition. In: Shilo M. & Sarig S. (Eds.). *Fish Culture in Warm System, Problems & Trends*. New York, USA : CRC Press, pp 121-142.
- Herkelman K. L., Cromwell G. L. & Stahly T. S. (1991). Effects of heating time and sodium metabisulfite on the nutritional value of full-fat soybeans for chicks. *Journal of Animal Sciences* **69** (11) : 4477-4486.

- Hertrampf J. W. & Piedad-Pascual F. (2000). Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Netherland : Kluwer Academic Publishers. 573 pp.
- Hoffman L. C., Prinsloo J. F. & Rukan G. (1997). Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Water SA* **23** (2) : 181-186.
- Hogendoorn H., Jansen J. A. J., Koops W. J., Machiels M. A. M., Van Ewijk P. H. & Van Hees J. P. (1983). Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C & V). II. Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture. *Aquaculture* **21** : 253-263.
- Hseu J. R. (2002). Effects of size difference and stocking density on cannibalism rate of juvenile grouper *Epinephelus coioides*. *Fisheries Sciences* **68** (6) : 1384-1386.
- Huecht T. (2000). Considerations on African aquaculture. *World Aquaculture* **31** (1) : 12-19.
- Huet M. (1970). Traité de pisciculture. Bruxelles, Belgique : Ch. de wyngaert. 369 pp.
- Hughes S. G. & Handwerker T. S. (1993). Formulating for tilapia : all vegetable protein feeds. *Feed International* **14** : 55-60.
- Hutabarat J. & Jaucey K. (1987). The effects of varying dietary protein level on the growth, food conversion, protein utilization and body composition of first feeding fry of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). Abstrat of the second international symposium on tilapia in aquaculture. Manilla, Philippines : ICLARM. 68 pp.
- Iltis A. (1984). Biomasses phytoplantoniques de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia* **118** (2) : 153-175.
- IUPA (1987). Method 2.301: Preparation of fatty acid methyl esters and Method 2.302: Gas liquid chromatography of fatty acid methyl esters. In: Paquot C. & Hantfenne A. (Eds.). *Standard Methods for the Analysis of oils, Fats and Derivates* (7th Edition). Oxford, United Kingdom : Blackwell Scientific, pp 123-129.
- Izquierdo M. S., Obach A., Arantzamendi L., Montero D., Robaina L. & Rosenlund G. (2003). Dietary lipid sources for sea bream and sea bass: growth performance, tissue composition and flesh quality. *Aquaculture Nutrition* **9** (6) : 397-407.
- Jackson A., Capper B. S. & Matty A. J. (1982). Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture* **27** () : 97-109.
- Jacobson T. A. (2006). Secondary prevention of coronary heart disease with omega-3 fatty acids. *American Journal of Cardiology* **98** : 61-70.
- Jahan P., Watanabe T., Satoh S. & Kiron V. (2000). Effect of dietary fish meal levels on environmental phosphorus loading from carp culture. *Fisheries Science* **66** (2) : 204-210.

- Jahan P., Watanabe T., Satoh S. & Kiron V. (2002). Different combinations of proteins ingredients in carps diets for reducing phosphorus loading. *Fisheries Science* **68** (3): 595-602.
- Jauncey K. & Ross B. (1982). A guide to tilapia feeds and feeding. Institute of Aquaculture. Scotland, Ecosse : University of Stirling. 111 pp.
- Jobling M. (2004). Are modifications in tissue fatty acid profiles following a change in diet the result of dilution? : Test of simple dilution model. *Aquaculture* **232** (1-4) : 551-562.
- Kakade M. L., Swenson D. H. & Liener I. E. (1970). Note on the determination of chymotrypsin and chymotrypsin inhibitor activity using casein. *Analytical Biochemistry* **33** (2) : 255-258.
- Kaushik S. & Mambrini M. (1996). Nutrition azotée des poissons: Remplacement partiel ou total de la farine de poisson. *Pisciculture Française* **118** : 12-20.
- Kaushik S. J., Covès D., Dutto G. & Blanc D. (2004). Almost total replacement of fish meal by plant sources in the diet of a marine teleost, the European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* **230** (1-4) : 391-404.
- Kerdchuen N. (1992). L'alimentation artificielle d'un silure africain *Heterobranchus longifilis* (Teleostei : Clariidae) : Incidence du mode d'alimentation et première estimation des besoins nutritionnels. Thèse de Doctorat de l'Université de Paris, France. 182 pp.
- Kestemont P., Micha J. C. & Falter U. (1989). Les méthodes de production d'alevins de *Tilapia nilotica*. Programme des Nations Unies pour le Développement. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Aquaculture. Programme de mise en valeur et de coordination de l'aquaculture. Namur, Belgique : ADCP.132 pp.
- Kirk R. G. (1972). A review of recent developments in *Tilapia* culture with special reference to fish farming in the heated effluents of power stations. *Aquaculture* **1** (1) : 45-60.
- Koné T. (2000). Régime alimentaire et reproduction d'un tilapia lagunaire (*Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852) dans la rivière Bia et le lac de barrage d'Ayamé (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, Belgique, 253 pp.
- Koné T. & Teugels G. G. (2003). Food habits of brackish water tilapia *Sarotherodon melanotheron* in river and lacustrine environments of a West African coastal basin. *Hydrobiologia* **490** (1-3) : 75-85.
- Kouassi A. M. (2005). Hydrochimie et qualité des eaux des lagunes Ebrié et de Grand-Lahou de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. 164 pp.

- Kouassi K. E. (1997). Rythmes journaliers de migration verticale d'alimentation et de ponte au sein du zooplancton de la lagune Ebrié : Relation avec l'hydrodynamisme éolien et incidences sur les transferts de matières. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire. 150 pp.
- Laë R. (1992). Les pêcheries artisanales lagunaires ouest africaines: échantillonnage et dynamique de la ressource et de l'exploitation. Thèse de Doctorat. Editions d'ORSTOM, Paris, France. 201 pp.
- Lall S. P. (2002). The minerals. *In* : Halver, J. E. & Hardy, R. W. (Eds.). *Fish Nutrition*. New York, United State of America : Academic Press, 259-308 pp.
- Lanoiselee B. (1984). Fertilisation organique en aquaculture : utilisation du lisier de porc pour l'alevinage de poissons d'étang. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique de Paris-Grignon, France. 252 pp.
- Lauzanne L. (1988). Les habitudes alimentaires des poissons d'eau douce africains. *In* : Leveques C., Bruton M. & Sentongo G. (Eds.). *Biologie et Ecologie des Poissons d'Eau Douce Africains*. Paris, France : ORSTOM. pp 221-242.
- Lawson T. B. (1995). Fundamentals of Aquacultural engineering. New York, USA : Chapman & Hall. 355 pp.
- Lazard J. (2007). Le tilapia. Cirad, 5 p. <http://www.aquatrop.cirad.fr> (Juin 2008).
- Legendre M. (1983). Examen préliminaire des potentialités d'un silure Africain *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) pour l'aquaculture lagunaire. Document Scientifique du Centre de Recherches Océanographiques. Abidjan, Côte d'Ivoire, p 10.
- Legendre M. (1986). Seasonal changes in sexual maturity and fecundity, and HCG-induced breeding of catfish, *H. longifilis* Valenciennes (Clariidae) reared in Ebrié lagoon (Ivory coast). *Aquaculture* **55** (3) : 201-213.
- Legendre M. (1987). Recherches sur *Heterobranchus longifilis*. *In* : *Recherches en Aquaculture sur les principales espèces de poissons lagunaires en Côte d'Ivoire, Années 1984- 1985- 1986*. Abidjan, Côte d'Ivoire : CEE-ORSTOM/CRO. pp 71- 90.
- Legendre M. (1989). Enquête préliminaire sur la consommation du silure *Heterobranchus longifilis* en Côte d'Ivoire. Archive Scientifique, Centre de Recherches Océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire, p 12.
- Legendre M. (1991). Potentialités aquacoles des Cichlidae (*Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guinensis*) et Clariidae (*Heterobranchus longifilis*) autochtones des lagunes ivoiriennes. Thèse de doctorat, Université de Montpellier, France. 83 pp.

- Legendre M. (1992). Bilan des premiers essais d'élevage d'un silure africain, *Heterobranchus longifilis* (Clariidae) en milieu lagunaire (Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). In: Bernacsek G. M. & Powles H. (Eds.). *Recherches sur les Systèmes Piscicoles en Afrique*. Ottawa, Canada : IDRC-MR. pp 211-232.
- Legendre M. & Ecoutin J. M. (1989). Suitability of brackish water tilapia species from the Ivory Coast for lagoon aquaculture. I- Reproduction. *Aquatic Living Resources* **2** (2) : 71-79.
- Legendre M. & Ecoutin J. M. (1996). Aspect de la stratégie de reproduction de *Sarotherodon melanotheron*: comparaison entre une population naturelle (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire) et différentes populations d'élevage. In: R. S. V. Pullin, Amon Kothias J. B. & Pauly D. (Eds.). *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings, pp 360-374.
- Legendre M. & Trebaol L. (1996). Efficacité de l'incubation buccale et fréquence de ponte de *Sarotherodon melanotheron* en milieu d'élevage (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). In: Pullin R. S. V., Amon Kothias J. B. & Pauly D. (Eds.). *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings, 375-386 pp.
- Legendre M., Hem S. & Cissé A. (1989). Suitability of brackish water tilapia species from the Ivory Coast for aquaculture II. Growth and rearing methods. *Aquatic Living Resources* **2** (2) : 81-89.
- Legendre M., Ecoutin J-M., Hem S. & Cissé A. (1990). Recherches sur les tilapias lagunaires de Côte d'Ivoire. In: Lazard J., Jalabert B. & Doudet T. (Eds.). *L'Aquaculture des Tilapias : du Développement à la Recherche*. Nogent-sur-Marne, France : Bois et Forêts des Tropiques, 93-116 pp.
- Legendre M., Slembrouck J., Kerdchuen N. & Otémé Z. (1991). Evaluation d'une méthode extensive d'alevinage des Clariidae en cages implantées en étangs. Document ORSTOM Montpellier, France, p 35 + annexes.
- Legendre M. & Teugels G. G. (1991). Développement et tolérance à la température des œufs de *Heterobranchus longifilis* et comparaison des développements larvaires de *Heterobranchus longifilis* et *Clarias gariepinus* (Teleostei, Clariidae). *Aquatic Living Resources* **4** (4) : 227-240.
- Lévêque C. (1997). Biodiversity dynamics and conservation : the freshwater fish of tropical Africa. Cambridge, United Kingdom : University Press. 438 pp.

- Lévêque C. Paugy D. & Teugels G. G. (1992). Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'ouest (*Tome II*) Collection Faune Tropical 28. Paris, France : Tervuren & ORSTOM. 520 pp.
- Liener I. E. (1981). Factors affecting the nutritional quality of the soya products. *Journal of the American Chemical Society* **58** (3) : 406-415.
- Liti D. M., Waidbacher H., Straif M., Mbaluka R. K., Munguti J. M. & Kyenze M. M. (2006). Effects of partial and complete replacement of freshwater shrimp meal (*Caridinea niloticus* Roux) with a mixture of plant protein sources on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in fertilized ponds. *Aquaculture Research* **37** (5) : 477-483.
- Love R. M. (1980). The chemical biology of fishes, volume II, Advances 1968-1977 with a supplementary key to the chemical literature. Londres, Royaume-Uni : Academic Press. 943 pp.
- Lowe-McConnell R. H. (1982). Tilapia in fish communities. *In*: Pullin R.S.V. & Lowe-McConnell R. H. (Eds.). *The biology and Culture of Tilapias*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings 7, pp 83-114.
- Lowe-McConnell R. H. (2000). The role of tilapias in ecosystems. *In*: Beveridge M. C. M. & Mc-Andrew B. J. (Eds.). *Tilapias : Biology and Exploitation*. Dordrecht, Netherlands : Kluwer Academic Publishers, pp 129-162.
- Luquet P. & Moreau Y. (1989). Energy-protein management by some warm water fin fishes. Actes du Colloque 9, AQUACOP, IFREMER, Paris, France, p 4.
- Magid A. & Babiker M. M. (1975). Oxygen consumption and respiration behaviour in three Nile fishes. *Hydrobiologia* **46** (4) : 359-367.
- Maitipe P., de Silva S. S. (1985). Switches between zoophagy, phytophagy and detritivory of *Sarotherodon mossambicus* (Peters) populations in twelve man-made Sri Lankan lakes. *Journal of Fish Biologie* **26** (1) : 49-61.
- Mazid M. A., Tanaka Y., Katayama T., Rahman M. A., Simpson K. L. & Chichester C. O. (1979). Growth response of *Tilapia zilli* fingerlings fed isocalorie diets with variable protein levels. *Aquaculture* **18** : 115-122.
- Martin S. D. (1990). Gossypol effects in animal feeding can be controlled. *Feedstuffs* **62** : 1139-1145.
- Mbahinzireki G. B., Dabrowski K., Lee K. J., El saidy D. & Wisner E. R. (2001). Growth, feed utilization and body composition of tilapia (*Oreochromis sp.*) fed with cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquaculture Nutrition* **7** (3) : 189-200.

- Medale F., Brauage D., Vallee F. & Kaushik S. J. (1995). Effects of dietary protein / energy ratio, ration size, dietary energie source and water temperature on nitrogen excretion in rainbow trout. *Water Sciences and Technology* **31** : 185-194.
- Medale F., Lefèvre F. & Corraze G. (2003). Qualité nutritionnelle des poissons. Constituants de la chair et facteurs de variations. *Cahiers de la Nutrition et de la diététique* **38** (11) : 37-44.
- Mélard C. (1986). Les bases biologiques de l'élevage intensif du Tilapia du Nil. Liège, Belgique : Cahier d'Ethologie Appliqué, Fascicule 3, Volume 6, Institut de zoologie. 224 pp.
- Metailler R. & Guillaume J. (1999). Matières premières et additifs utilisés dans l'alimentation des poissons. *In* : Guillaume J., Kaushik S., Bergot P. & Metailler R. (Eds.). *Nutrition et alimentation des poissons et crustacés*. Paris, France : INRA. pp 345-363.
- Micha J. C. (1973). Etude des populations piscicoles de l'Ubanguï et tentatives de sélection et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture. Paris, France : Centre Technique Forestier Tropical. 110 pp.
- Micha J. C. & Franck V. (2004). Etude prospective pour la relance du secteur pêche et aquaculture en Côte d'Ivoire. Ministère de la Production Animale et des Ressources Halieutiques, Abidjan, Côte d'Ivoire, p 60.
- Mires D. (1982). A Study of the problems of the mass production of hybrid Tilapia fry. *In* : Pullin R. S. V. & Lowe-McConnell R. H. (Eds.). *The biology and culture of tilapias*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings 7, pp 317-329.
- Monod T. (1984). Sur la biologie de *Sarotherodon melanotheron* Rüppell (poisson téléostéen, Cichlidae) dans les eaux hyperhalines du lac Retuba (Sénégal). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, France, p 3.
- Moreau J. (1979). Biologie et évolution des peuplements de Cichlidés (Piscies) introduits dans les lacs malgaches d'altitude. Thèse de Doctorat d'Etat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France. 301 pp + annexes.
- Moreau Y. (1988). Physiologie de la nutrition. *In* : Lévêque C., Bruton M. N. & Sentongo G. W. (Eds.). *Biologie et écologie des poissons d'eau douce Africains*. Paris, France : ORSTOM. pp 137-152.
- Moreau Y. (1996). Détermination des coefficients de digestibilité apparents pour *Oreochromis niloticus* des sous-produits agro-industriels disponibles en Cote d'Ivoire. *In*: Pullin R. S. V., Amon Kothias J. B. & Pauly D. (Eds.). *Le Troisième Symposium*

- International sur le Tilapia en Aquaculture*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings 41, pp 226-233.
- Moriarty D. J. W. (1973). The physiology of digestion of the blue green algae in the cihlid fish, *Tilapia nilotica*. *Journal of Zoology* **171** : 25-39.
- Moriarty C. M. & Moriarty D. J. W. (1973). Quantitative estimation of the daily ingestion of phytoplankton by *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis* in Lake George, Uganda. *Journal of Zoology* **171** : 209-255.
- Morissens P., Roche P., Tauzes P. Sonon, C. & Aglinglo C. (1987). La pisciculture intensive en enclos dans les grandes lagunes du sud-est Bénin. Montpellier, France : Bois et Forêts des Tropiques. 213 pp.
- Motwani M. P. (1970). Report to the Government of Nigeria on the fishery investigations on the Niger and Benoue rivers in the northern region and developpement of a program of riverine fishery management and training. FAO Fish. UNDP (TA), R2771. p 196.
- Mukankomeje R. (1992). Production algale et consommation par le tilapia *Oreochromis niloticus* L., au lac Muhazi (Rwanda). Thèse de doctorat, Université Notre Dame de la Paix, Namur, Belgique. 254 pp.
- Nankervis L. & Southgate P. C. (2006). An integrated assessment of gross marine protein sources used in formulated microbound diets for barramundi (*Lates calcarifer*) larvae. *Aquaculture* **257** (1-4) : 453-464.
- NCR (1993). Nutrient Requirements of Fish. Washington, USA : National Academy Press. 114 pp.
- Nelson J. S. (1994). Fishes of the world. 3rd Edition. Toronto, Canada : John Wiley and Sons. 600 pp.
- New M. & Csavas I. (1995). Will there be enough fish meal for fish meals? *Aquaculture Européenne* **19** (3) : 6-13.
- Ng W.-K., KOH C.-B. & Din Z. B. (2006). Palm oil-laden spent bleaching clay as a substitute for marine fish oil in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition* **12** (6) : 459-468.
- Ofojekwu P. C. (1993). Nutritive value of soybean (glycine max L.) in pelleted feed for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Journal of the Aquaculture Sciences* **8** : 61-65.
- Olvera-Novoa M. A., Olivera-Castillo L. & Martinez-Palacios C. A. (2002). Sunflower seed meal as protein source in diets for *Tilapia rendalli* (Boulanger, 1896) fingerlings. *Aquaculture Research* **33** (3) : 223-229.

- Ouattara N. I. (2004). Etude du potentiel aquacole d'une population du tilapia estuarien *Sarotherodon melanotheron* Rüppell 1852 isolée dans le lac de barrage d'Ayamé (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Liège, Belgique. 223 pp + annexes.
- Otémé Z. J. (2001). Contribution à l'étude de la biologie et la physiologie de la reproduction du silure *Heterobranchus longifilis* (Valencienne, 1840) : Gamétogenèse naturel et induite. Thèse de Doctorat 3e cycle. Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 149 pp.
- Otémé Z. J., Hem S., Legendre M. (1996). Nouvelles espèces de poissons-chats pour le développement de la pisciculture africaine. *Aquatic Living Resources* **9** (Special Issue) 207-217.
- Palomares M. L. (1991). La consommation de nourriture chez les poissons : étude comparative, mise au point d'un modèle prédictif et application à l'étude des réseaux trophiques. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique, Toulouse, France. 211 pp.
- Pauly D., Moreau J. & Prein M. (1988). A comparison of overall growth performance of Tilapia in open waters and aquaculture. In: Pullin R.S.V., Amon Kothias J. B. & Pauly D. (Eds.). *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings, pp 469-479.
- Payne A. I. (1983). Estuarine and salt tolerant Tilapias. In: Fishelson L. & Yaron Z. (Eds.). *Proceedings of International Symposium, tilapia in aquaculture*. Nazareth, Israël : Tel-Aviv University, pp 534-540.
- Pellegrin J. (1903). Description de Cichlidés nouveaux de la collection du Museum. *Bulletin du Museum d'Histoire Naturelle* **9** (3) : 120-125.
- Peters H. M. (1963). Eizahl, eigewicht und gelegeentwicklung in der gattung Tilapia (Cichlidae, Teleostei). *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* **48** (4) : 547-576.
- Philippart J. C. & Ruwet J. C. (1982). Ecology and distribution of Tilapias. In: Pullin R. S. V. & Lowe-Mc Connell R. H. (Eds.). *The biology and Culture of Tilapias*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings, pp 15-59.
- Piclet G. (1987). Le poisson, aliment-Composition - intérêt nutritionnel. *Cahiers de la Nutrition et de la Diététique* **22** (4) : 317-336.
- Pillay T. V. R. (1992). Aquaculture and the environment. New York, United States of America : John Wiley & Son. 189 pp.
- Pillay T. V. R. (1993). Aquaculture principes and practices. Oxford, United Kingdom : Fishing News Books. 623 pp.

- Pinto Q. L. G., Pezzato L. E., de Miranda E. C., Barros M. M., Furuya W. M. (2000). Effect of tannin on digestibility of Nile tilapia. *Acta Scientiarum* **22** (3) : 677-681.
- Plante-Cuny M. R. (1977). Pigments photosynthétiques et production primaire du micro benthos d'une lagune tropicale, la lagune Ebrié (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Cahier de l'ORSTOM, Série Océanographie* **15** (1) : 3-25.
- Plisnier P. D., Micha J. C. & Frank V. (1988). Biologie et exploitation des poissons du lac Ihema (Bassin de l'Akagera, Rwanda). Namur, Belgique : Presses Universitaires 212 pp.
- Poumogne V. (1994). L'alimentation du Tilapia *Oreochromis niloticus* en étang. Thèse de Doctorat d'Halieutique. Ecole Normale Supérieure Agronomique de Rennes, France. 101 pp.
- Poumogne V., Takam G. & Pouemegne J. (1997). A preliminary evaluation of cacao husks in practical diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* **156** (3-4) : 211-219.
- Pouyaud L. (1994). Génétiques des populations de Tilapias d'intérêt aquacole en Afrique de l'Ouest. Relations phylogénétiques et structuration populationnelle. Thèse de Doctorat, Université Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, France. 505 pp.
- Pullin R. V. S. & Lowe-Mc Connell R. H. (1982). The biology and culture of Tilapia. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings. 432 pp.
- Rackis J. J. (1974). Biological and physiological factors in soybean. *Journal of the American Oil Chemistry Society* **51** (1) : 161-174.
- Reddy N. (2002). Occurrence, distribution, content and dietary intake of phytate. In: Reddy N. & Sathe S. K. (Eds.). *Food Phytates*. New York, United States of America : CRC press, pp 25-52.
- Regan C. (1920). The classification of the fishes of the family Cichlidae. I: Tanganyika Genera. *Annual Magazine of the Natural History* **9** : 33-53.
- Regost C., Arzel J., Cardinal M., Rosenlund G. & Kaushik S. J. (2003). Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in Turbot (*Psetta maxima*) 2. Flesh quality properties. *Aquaculture* **220** (1-4) : 737-747.
- Riviere R. (1978). Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Paris, France : Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux. 527 pp.
- Robin J. H., Regost C., Arzel J. & Kaushik S. J. (2003). Fatty acid profile of fish following a change in dietary fatty acid source: model of fatty acid composition with a dilution hypothesis. *Aquaculture* **225** (1-4) : 283-293.

- Ross L. G. (2000). Environmental physiology and energetics, *In* : Beveridge, M. C. M. & McAndrew, B. J. (Eds.). *Tilapias : Biology and Exploitation*. Dordrecht, Netherlands : Kluwer Academic Publisher, Fish and Fisheries series 25. pp 89-128.
- Ruwet J. C., Voss J., Hannon L. & Micha J. C. (1975). Biologie et élevage des Tilapias. Symposium sur l'Aquaculture en Afrique. FAO/CPCA, Accra, Ghana, p 27.
- Samocha M. S., Davis D. A., Saoud I. P. & De Bault K. (2004). Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture* **231** (1-4) : 197-203.
- Santiago C. B., Albada M. B., Abuan E. F. & Laron M. A. (1985). The effect of artificial diets on fry production and growth of *Oreochromis niloticus* breeders. *Aquaculture* **47** (2-3) : 193-203.
- Sheridan M. A. (1988). Lipid dynamics in fish: aspects of absorption, transportation, deposition and mobilization. *Comparative Biochemistry and Physiology B* **90** (4) : 679-690.
- Shiau S. Y., Chuang J. L. & Sun C. L. (1987). Inclusion of soy bean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) diets at two protein levels. *Aquaculture* **65** (3-4) : 251-261.
- Simier M. J., Ecoutin M. & Ndiaye E. (2003). Pêches expérimentales (Pechexp 2003) : Base de Données RAP, Volet Pêches Expérimentales : Notice descriptive, p 38.
- Skonberg D. I., Yogev L., Hardy R. W. & Dong F. M. (1997). Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **157** (1-2) : 11-24.
- Slembrouck J. & Legendre M. (1988). Aspects techniques de la reproduction contrôlée de *Heterobranchus longifilis* (Claridae). Document Technique, Centre de Recherches Océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire, p 20.
- Smith C. & Reay P. (1991). Cannibalism in teleost fish. *Revue of Fisheries Biology* **1** (1) : 41-64.
- Steffens W. (1989). Principles of fish nutrition. United Kingtown : Ellis Horwood (Aquaculture and Fisheries support). 383 pp.
- Stickney R. R. (1976). Cellulase activity in the stomachs of freshwater fishes from Texas. Texas, United States of America : Game and fish community. 282 pp.
- Stickney R. (1986). Culture of nonsalmonid freshwater fishes. Boca Raton, Etats-Unis d'Amérique : CRC Press 201 pp.

- Storebakken T., Refstie S. & Ruyter B. (2000). Soy products as fat and protein sources in fish feed for intensive aquaculture. *In: Drackley J. K. (Ed.). Soy in Animal Nutrition Fed : Animal Sciences Society*, New York, USA : Savoy IL, pp 127-170.
- Sugiura S. H., Babbih J. K., Dong F. M. & Hardy R. W. (2000). Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **31** : 385-593.
- Sylla S., Atsé B. C. & Kouassi N. J. (2009). Stratégie de reproduction du Carangidae *Trachinotus teraia* Cuvier, 1832 dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature* **6** (1) : 83-94.
- Tacon A. G. J. (1993). Feed ingredients for warmwater fish: Fish Meal and Other Processed Feedstuffs. Rome, Italy : FAO Fisheries *Circular (FAO)* 68 pp.
- Takechi T., Satoh S. & Watanabe W. (1983). Dietary lipids suitable for practical feed of *Tilapia nilotica*. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* **49** (9) : 1361-1365.
- Talbot C. & Hole R. (1994). Fish diets and the control of eutrophication resulting from aquaculture. *Journal Applied Ichthyology* **10** (4) : 258-270.
- Tarazona J. V. & Munoz M. J. (1995). Water quality in Salmonid culture. *Reviews in Fisheries Sciences* **3** : 109-139.
- Tastet J. P. & Guiral D. (1994). Géologie et sédimentologie. *In : Durand J. R., Dufour P., Guiral D. & Zadi S. G. F. (Eds.). Environnement et Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire : Les milieux Lagunaires (Tome 2) : Paris, France : ORSTOM. pp 35-58.*
- Teugels G. G., Denayer B. & Legendre M. (1990). A systematic revision of the African catfish genus *Heterobranchus* Geoffroy-Saint-Hilaire, 1809 (Pisces : Clariidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* **98** (3) : 237-257.
- Teugels G. G. & Thys van den Audenaerde D. F. E. (1992). Cichlidae : *In: Levêque C., Paugy D. & Teugels G. G. (Eds.). Faune des Poissons d'Eaux Douces et Saumâtres de l'Afrique de l'Ouest (Tome II). Paris, France : ORSTOM. pp 714-779.*
- Teugels G. G., Reid G. Mc G. & King R. P. (1992). Fishes of the Cross River basin (Cameroon-Nigeria): Taxonomy, Zoogeography, ecology and conservation. *Annal du Musée Royale d'Afrique Centrale*, p 132.
- Thys Van Den Audenaerde D. F. E. (1971). Some new data concerning the *Tilapia* species of the subgenus *Sarotherodon* (Pisces, Cichlidae). *Review Zoology and Botany of Africa* **3-4** : 203-216.

- Toko I. I., Fiogbe E. D. & Kestemont P. (2008). Growth, feed efficiency and body mineral composition of juvenile vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*, Valenciennes 1840) in relation to various dietary levels of soybean or cottonseed meals. *Aquaculture Nutrition* **14** (3) : 193-203.
- Trewavas E. (1982). Tilapias : taxonomy and speciation. In : Pullin R. S. V. & Lowe McConnell R. H. (Eds.). *The biology and culture of tilapias*. Manila, Philippines : ICLARM Conference Proceedings 7, pp 3-13.
- Trewavas E. (1983). Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. London, Royaume-Uni : British Museum (Natural History). 583 pp.
- Ugwumba A. A. & Adebisi A. (1992). The food and feeding ecology of *Sarotherodon melanotheron* in small freshwater reservoir in Ibadan. *Nigeria, Archives of Hydrobiology* **124** (3) : 367-382.
- Veverica K. L., Rurangwa E., Popma T., Seim W. K., Tubb R. E. (1991). Digestibility of food consumed by *Oreochromis niloticus* in fertilized ponds. Technical report, University, Corvallis, United State of America, p 44.
- Watanabe T. (1982). Lipid nutrition in fish. *Comprehension of Biochemistry and Physiology* **73** (B): 3-15.
- Watanabe T., Pongmaneerat J., Satoh S. & Takeuchi T. (1993). Replacement of fish meal by alternative protein sources in rainbow trout diets. *Nippon Suisan Gakkaishi* **59** (9) : 1573-1579.
- Watanabe W. O., Ellis S. C., Ellis E. P. & Lopez V. G. (1996). Evaluation of first-feeding regimes for larval Nassau grouper *Epinephelus striatus* and preliminary, pilot-scale culture through metamorphosis. *Journal of the Aquaculture Society* **27** (3) : 323-331.
- Watanabe T., Kiron V. & Satoh S. (1997). Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture* **151** (1-4) : 185-207.
- Webster C. D., Tidwell J. H., Tiu L. S. & Yancey D. H. (1995). Use of soybean meal as partial or total substitute of fish meal in diets for blue catfish, *Ictalurus furcatus*. *Aquatic Living Resources* **8** (4): 379-384.
- Wee K. L. & Tuan N. A. (1988). Effects of dietary protein level on growth and reproduction in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). In: Pullin R. S. V., Bhukasawan T., Tonguthai K. & Maclean J. L. (Eds.). *2nd International Symposium on Tilapia Aquaculture*. Manila, Philippines : ICLARM. pp 401- 410.
- Welcomme R. L. (1972). An evaluation of the acadja method of fishing as practiced in the coastal lagoons of Dahomey (West Africa). *Journal of Fish Biology* **4** (1) : 39-55.

- Welcomme R. L. (1988). International introductions of inland aquatic species. Rome, Italie :
FAO Fish Technique Report. 318 pp.
- Wilson R. P. & Moreau Y. (1996). Nutrient requirements of catfishes (Siluroidei). *Aquatic Living Resources* **9** (hors série) : 103-111.
- Wilson M. F., Luiz E. P., Margarida M. B., Pezzato A. C. & Valéria R. B. (2004). Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish meal free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture Research* **35** (12) : 1110-1116.
- Wolf W. J. & Thomas B. W. (1970). Thin layer and anion exchange chromatography of soyabean saponin. *Journal of the American Oil Chemistry Society* **47** : 86-90.
- Wootton R. J. (1990). Ecology of telost fishes. London Royaume-Uni : Chapman & Hall Edition. 404 pp.
- Wu G. S., Chung Y. M., Lin W. Y. & Chen H. H. (2004). Effect of substituting de-hulled or fermented soy bean meal for fish meal in diets on growth of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Journal of Fisheries Society* **30** : 291-297.
- Yapo M. L., Atsé B. C., Dietoa Y. M. & Kouassi P. (2007). Composition spécifique et abondance des insectes aquatiques des étangs piscicoles de basse Côte d'Ivoire. *Journal Ivoirien d'Océanologie et de Limnologie* **4** (1) : 22-30.
- Yashouv A. & Chervinski J. (1961). The food of *Tilapia nilotica* in ponds of the fish culture research station at Dor. *Bamidgeh* **13** (2): 33-39.
- Yone Y. & Toshima N. (1979). The utilization of phosphorus in fish meal by carp and black sea bream. *Nippon Suisan Gakkaishi* **45**: 753-756.
- Zabi G. S F. & Le Loeuff P.(1992). Revue des connaissances sur la faune benthique des milieux margino-littoraux d'Afrique de l'Ouest. Première partie : biologie et écologie des espèces: *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* **25** (3) : 209-251.

ANNEXES

Growth and Cannibalism of the African Catfish *Heterobranchus longifilis* Fingerlings (Valenciennes, 1840) Fed Isoproteic Diets with Partial or Total Substitution of Fish Protein with Soya Protein

¹Boua Célestin Atsé, ²Ahou Rachel Koumi and ²Patrice Kouamé

¹Département Aquaculture, Centre de Recherches Océanologiques (CRO),

BP V Abidjan 18 Côte d'Ivoire

²UFR des Sciences et Technologies des Aliments (STA),

Université d'Abobo-Adjamé, 02 BP 801 Abidjan 02 Côte d'Ivoire

Abstract: A feeding trial was carried out in concrete tank to examine complete and partial replacement of the fish protein with soya protein in practical feeds of African catfish *Heterobranchus longifilis*. Three diets containing 35% crude protein replacing 0% (FD), 50% (MD) and 100% (SD) of the fish protein with similar percentage of soya protein were formulated. Soya protein diets were supplementing with 0.5% of methionine and lysine. After 4 months of feedings at 5% body weight, the best growth was achieved with fish fed FD. Growth parameters such as Final Body Weight (FBW), Body Weight Gain (BWG) and Specific Growth Rate (SGR) decreased with the increase dietary soya protein. Similarly, the feed and protein utilization parameters decreased significantly with increasing soya protein substitution in diet. The highest number of the extreme fish size was obtained with the fish fed MD. Cannibalism was observed during the first two months of experiment and was higher in fish fed SD. Fish fed MD showed higher values of carcass lipid content while higher values of carcass ash content were obtained with fish fed SD.

Key words: Cannibalism, growth, *Heterobranchus longifilis*, protein, proximate composition, soybean meal

INTRODUCTION

The catfish *Heterobranchus longifilis* is one of the most suitable species for aquaculture in West Africa (Legendre, 1989; Otémé *et al.*, 1996). Biological and ecological characteristics such as omnivorous feeding habit, good acceptance of commercial pellet diet, resistance to disease, pollution and tolerance to low dissolved oxygen make *H. longifilis* an excellent candidate for aquaculture (Micha, 1973; Bard *et al.*, 1976; Legendre, 1983). In add, this fish commands high market value in West Africa, because of its good flavour and ability to grow of large size (Legendre, 1983, 1989). In spite, of these advantages, one of the major reasons given for the low production of the catfish larvae and juveniles is the high mortality rate due to cannibalism.

Fish meal which serves as the main protein sources of the fish feed because of its high quality protein content, is not only very expensive but also usually unavailable (Keembiyehetty and Gatline, 1997) particularly in developing countries. Efforts to replace fishmeal with vegetable protein from more sustainable sources have

been embarked upon by various authors (El-Sayed, 1990; Shiau *et al.*, 1990; Watanabe *et al.*, 1993; Robinson and Li, 1994). Since, the current focus of nutrition studies is the reduction and the possible elimination of fish meal and fish oil from practical diets (Craig, 2004).

Soybean has one of the most promising plant proteins for substituting fish meal worldwide (Adewumi, 2006). Soya is widely cultivated and soybean meal have high protein content with a well balanced amino acids profiles, constant composition, reasonable price (Storebakken *et al.*, 2000) and it can be used for the fish feeding. This incorporation of soya protein in fish diet could reduce the cost of diets and improve growth (Rumsey, 1993). However, considerable variations exist in the ability of different fish species to utilize soybean protein. Concerning carnivorous catfish, many studies have shown successful in replacing fish meal with soybean meal in diet. For example carnivorous blue catfish *Ictalurus furtacus* grow well on diets with 70% of crude protein from soybean meal (Webster *et al.*, 1992). Robinson and Li (1994) also reported that soybean meal could be used to completely replace fish meal in catfish

Corresponding Author: Boua Célestin Atsé, Département Aquaculture, Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V Abidjan 18 Côte d'Ivoire

feed. Based on these results soya protein could be one suitable alternative protein of catfish feed.

Alternatively, the changing of the protein source in the diets could reduce the cannibalism in the young fish culture entraining to the reduction of fish mortality. This aspect of carnivorous fish has not been studied. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of a partial or complete substitution of dietary fish protein with soya protein on growth performance, cannibalism rate, economic value and carcass composition of African catfish *H. longifilis* fingerlings.

MATERIALS AND METHODS

Experimental diets: Three experimental diets were formulated to be isonitrogenous in terms of crude protein (35%). The proximate composition of these diets was given in Table 1. Fish meal protein was replaced by soya protein on the basis of crude protein as follows: fish diet (FD) = 0% soya protein replaced fish protein; mixture diet (MD) = 50% soya protein replaced fish protein; soya diet (SD) = 100% soya protein replaced fish protein in diet. To balance of lysine and methionine, 0.5% from each amino acid was added of soya protein diets and 2% premix vitamin and mineral supplemented each diet formulated. The energy values were calculated using the gross energy values for the macro nutrients (Luquet and Moreau, 1989).

The cost of each diet was determined by multiplying the respective contributions of each ingredient by their respective cost per kilogram and summing the values thus obtained for all the ingredients. The experimental diets were dried, broken into suitable sizes and stored at 20°C until use.

Experimental procedure: *Heterobranchus longifilis* fingerlings were obtained by using the procedure of artificial reproduction established by Legendre (1986). The larvae have been reared in the requisites structures and fed consequently with *Atemia salina* based diet during 35 days. After this period, fish initial weight 0.15±0.01 g were counted and stocked at density of 500 fish per tank (125 fish m⁻³). Three replicate tanks were constituted for each diet and fish were fed at ration of 5% fresh weight according to Hem *et al.* (1994) three times a day (08:00, 12:00 and 17:00 h).

Every day, dead fish of each tank were removed and counted. A distinction was drawn between cannibalism and natural death. Missing fish were presumed to have succumbed to a complete cannibalism (Hecht and Appelbaum, 1988). Natural death was determined by the presence of complete fish floating in the tank (Haylor, 1991). Monthly samplings were carried out for

Table 1: Formulation and proximate composition of the experimental diets

Ingredients (g kg ⁻¹)	Diets		
	FD	MD	SD
Corn flour	100	100	100
Fish meal	380	190	-
Soybean meal	-	248	500
Wheat bran	340	222	120
Cottonseed meal	150	200	240
Fish oil	10	5	-
Soya oil	-	5	10
Lysine	-	5	5
Methionine	-	5	5
Vitamin and mineral premix ^a	20	20	20
Total	1000	1000	1000
Proximate analysis (% on dry matter basis)^b			
Moisture	10.8	10.7	10.5
Crude protein	35.5	35.6	35.6
Total nitrogen	5.7	5.7	5.7
Crude fat	9.2	8.3	12.9
Ash	12.1	9.5	7.4
Crude fibre	8.4	8.4	8.8
Nitrogen-free extract ^c	23.3	27.5	24.8
Gross energy (kJg diet ⁻¹) ^d	15.5	15.9	17.2
Cost (CFA kg ⁻¹) ^e	260	225	195

^aVitamin and mineral mixture each 1-kg of mixture contains: 4800 I.U. Vit A, 2400 IU cholecalciferol (vit. D), 40g Vit E, 8 g Vit K, 4.0 g Vit B₁₂, 4.0 g Vit B₂, 6 g Vit B₆, 4.0 g pantothenic acid, 8.0 g nicotinic acid, 400 mg folic acid, 20 mg Biotin, 200 mg Choline, 4 g Copper, 0.4 g Iodine, 12 g Iron, 22 g Manganese, 22 g Zinc, 0.04 g Selenium. Folic acid, 1.2 mg; niacin, 12 mg; D-calcium pantothenate, 26 mg; pyridoxine HCL, 6 mg; riboflavin, 7.2 mg; thiamine HCL, 1.2 mg; sodium chloride (NaCl, 39% Na, 61% Cl), 3077 mg; ferrous sulphate (FeSO₄·7H₂O, 20% Fe), 65 mg; manganese sulphate (MnSO₄, 36% Mn), 89 mg; zinc sulphate (ZnSO₄·7H₂O, 40% Zn), 150 mg; copper sulphate (CuSO₄·5H₂O, 25% Cu), 28 mg; potassium iodide (KI, 24% K, 76% I), 11 mg; Celite AW521 (acid-washed diatomaceous earth moisture-silica), 1000 mg; ^bValues represent the mean of three replicates; ^cNitrogen-free extract = 100-(% moisture + % protein + % fat + % fibre + % ash); ^dGross energy = (22.2 × protein + 38.9 × fat + 17.2 × nitrogen-free extract); ^ePrice in CFA pound: 100 CFA = 0.15 \$ based on 2006 exchange prices in Ivory Coast

assessment of growth, condition factor and general health of fish. For this purpose, 30 fish of each tank from each replicate were sampled, measured and weighed and the feeding rate was adjusted. The extreme high sizes of fish were also collected in each group, counted and removed of the other fish of homogeneous size. At the end of the experiment (120 days), survival fish were collected and counted from each tank. Thus individual body weight was recorded and 10 fish were removed from each replicate to chemical composition determination.

The survival rate, growth performance and nutrient utilization were evaluated as follows: Cannibalism Rate (CR) = (number of fish missing/initial number of fish) × 100; Mortality rate (MR) = (number of dead fish/initial number of fish) × 100; Survival Rate (SR) = (final number of fish/initial number of fish) × 100; Body Weight Gain (BWG) = [(final body weight - initial body weight)/initial weight] × 100; Specific Growth Rate (SGR) = (ln final body weight - ln initial body weight)/number of day; Feed Conversion Ratio (FCR) = dry feed intake (g)/wet weight

gain (g); Protein Efficiency Ratio (PER) = weight gain (g)/protein intake (g); Daily Lipid Gain (DLG) = retained lipid (g)/biomass gain (kg)/rearing period. The cost benefit analyses of the diets were performed according to El-Sayed (1990).

Water quality: During the experiment, water temperature, dissolved oxygen and pH were recorded daily in each tank. Water temperature and dissolved oxygen were measured using an Oxy meter model WTW OXI 330 and pH by using ph-meter model WTW pH 90. Water quality, nitrate-nitrogen, nitrite-nitrogen and phosphorus were recorded at weekly intervals using a spectrometric method (Aminot and Chaussepied, 1983).

Biochemical analysis: The approximate compositions of the experimental diets and the fish carcasses were determined by the standard methods of AOAC (1995). Moisture content of each sample was determined through a hot-air oven set at 105°C for 24 h and ash was measured by incineration at 550°C in a muffle furnace for 24 h. Crude protein (Nitrogen × 6.25) was determined using micro-Kjeldahl method; crude fat was extracted (hexane extraction) by using the Soxhlet method and crude fibre was quantified by acid digestion followed by ashing the dry residue at 550°C in muffle furnace for 4 h. The gross energy contents of the diets and fish were calculated on the basis of their crude protein, total fat and carbohydrate contents using the equivalents of 22.2, 38.9 and 17.15 kJg⁻¹, respectively (Luquet and Moreau, 1989).

Statistical analysis: Percentage and ratio values were transformed to arcsine values and data of weight to logarithm values prior to analyse. Growth data (weight) and fish carcass composition were analysed by using one way Analysis of Variance (ANOVA). Turkey's HSD ranking test was used to compare the differences among weight means. Duncan multiple ranking tests were used to compare the differences among others means. The treatment effects were considered to be significant at (p<0.05).

RESULTS

Water quality: The recorded minimum and maximum values of water quality parameters during the experimental period were: water temperature, 28.9-29.1°C; water pH from 6.8-7.0; Dissolved Oxygen from 4.3-4.4 mgL⁻¹; Nitrate-N, 0.24-0.26 mgL⁻¹; Nitrite-N, 0.05-0.06 mgL⁻¹; phosphate-D, 0.35-0.40 mgL⁻¹. All the water quality parameters were within the acceptable range for African catfish *H. Longifilis* (Boyd and Tucker, 1998).

Growth performance: At the end of the experiment, growth parameters such as FBW and BWG decreased with increasing dietary soya protein (Table 2). Significant highest values (p<0.05) of these parameters were obtained with fish fed FD followed by those fed MD and SD. In contrast SGR was not influenced by the protein source of diet. Mortalities in all groups were observed only during the first 2 months. At the end of experiment, survival rate decreased significantly (p<0.05) with the total substitution of fish protein by soya one (Table 2). The highest values (p<0.05) of cannibalism and mortality rates was observed with SD. Contrary, fish fed FD and MD diets recorded the highest values of survival rate. The number of the extreme high fish sizes was higher (p<0.05) with fish fed MD followed by those fed FD and SD (Fig. 1). The cost and time of production data indicated that the total substitution entrained significantly (p<0.05) a greater highest values of cost and time of fish kilogram produce (Table 2).

Feed utilization: The FCR was influenced by the diets (p<0.05); it's was lower (p<0.05) for fish fed FD and MD, while the highest values was obtained with those fed SD (Table 2). The highest values (p<0.05) of protein efficiency ratio were recorded with fish fed FD followed by fish fed MD and SD. Significantly, higher values (p<0.05) of DLG was obtained with fish fed MD followed by fish fed FD and SD (Table 2).

Carcass composition: No significant differences were observed in the carcass moisture and protein content of the fish fed with different diets (Table 3). Contrary, fish ash and lipid contents were significantly influenced by

Table 2: Growth performance and nutrient utilization of *Heterobranchus longifilis* fed with experimental diets

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
IBW (g)	0.15±0.01	0.15±0.01	0.15±0.01
FBW (g)	134.4±51.7 ^a	73.6±27.5 ^b	52.1±25.6 ^b
CR (%)	52.1±1.7 ^a	52.0±6.0 ^a	63.3±4.2 ^b
MR (%)	4.0±0.4 ^a	4.0±0.9 ^a	7.33±1.5 ^b
SR (%)	43.9±1.3 ^b	44.0±6.0 ^b	29.3±3.5 ^a
BWG (%)	86221.9±30805.6 ^b	48652.7±5310.2 ^a	35484.6±14299.3 ^a
SGR (%/j)	5.6±0.3	5.2±0.1	4.8±0.4
FCR	1.0±0.07 ^a	1.2±0.0 ^a	1.6±0.2 ^b
PER	2.9±0.2 ^a	2.4±0.1 ^b	1.8±0.3 ^a
DLG (g kg ⁻¹ days)	2.1±0.1 ^a	2.6±0.0 ^b	2.0±0.0 ^a
PC (F.CFA)	258.2±19.3 ^a	268.3±6.6 ^a	302.4±4.2 ^b
PT (days kg ⁻¹)	14.0±2.7 ^a	20.2±3.3 ^a	86.5±10.5 ^b

*Values are means±SD. Values in the same row with the same superscripts are not significantly different (p = 0.05). IBW = Initial body weight; FBW = Final body weight; CR = Cannibalism rate; MR = Mortality rate; SR = Survival rate BWG = Body weight gain; SGR = Specific growth rate; FCR = Feed conversion ratio; PER = Protein efficiency ratio; DLG = Daily lipid gain; PC= Cost per fish kg produced; PT= Time per fish kg produced; # Price in CFA pound: 100 CFA = 0.15 \$ based on 2006 exchange prices in Ivory Coast

Table 3: Final composition of *Heterobranchus longifilis* fed with experimental diets (% on dry matter basis)

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
Moisture	75.7±0.8	74.9±0.7	75.2±0.7
Ash	11.0±0.4 ^b	8.2±0.2 ^a	12.2±0.7 ^c
Crude protein	59.8±0.5	59.9±0.5	59.9±0.5
Crude fat	25.1±0.8 ^a	30.6±0.4 ^b	24.1±0.4 ^a
Gross energy (kJg ⁻¹ diet)	23.7±0.2 ^b	25.4±0.1 ^c	23.3±0.1 ^a

*Values are mean±SD of triplicate analysis. Values in the same row with the same superscripts are not significantly different ($p \geq 0.05$)

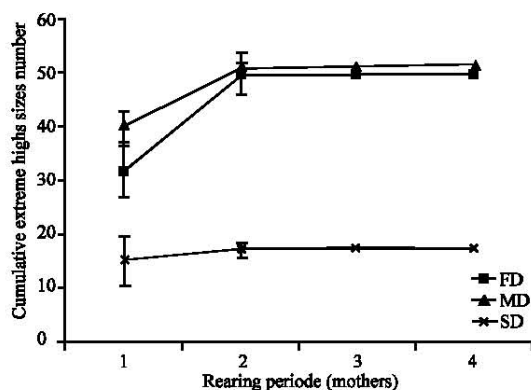


Fig. 1: Cumulative extreme high sizes number of *Heterobranchus longifilis* fed with experimental diets. Values are means of triplicate groups. FD = Fish diet; MD = Mixture diet; SD = Soya diet

the diets ($p < 0.05$). The highest values ($p < 0.05$) of fish ash content were observed in fish fed SD; the lowest values were obtained with those fed MD. The body lipid content was higher ($p < 0.05$) with fish fed MD followed by FD and SD. The similar trend was observed in carcass energy content of fish (Table 3).

DISCUSSION

The substitution of animal protein with plant protein meals is a common practice in aquaculture (Akiyama, 1988). However, adding high percentages of plant products in fish diets can reduce palatability and acceptability and delay growth of fish (Watanabe *et al.*, 1993). The higher growth performance exhibited by *H. longifilis* fed fish diet was in agreement with Adewumi (2006), who obtained higher growth performance with adult *C. gariepinus* fed fish meal based diets compared to ones fed soybean based diets. In contrary, Goda *et al.* (2007) observed a higher growth of *C. gariepinus* fed diets containing 75 and 100% soybean meal. For the fingerlings *H. longifilis*, the origin of dietary protein could be the one of the most important factors largely affecting

growth; the need of fish protein for growth is probably higher. Fish meal remains an important protein component in diets because of its well-balanced amino acid profile, essential fatty acids, digestible energy, vitamins and minerals (Tacon, 1993; Abdelghany, 2003). The decrease of fish growth in group fed soya protein suggests a low utilization of soya protein that may be explained by reducing digestibility of the soybean meal ingredient in some aquatic species (Shiau *et al.*, 1990; Webster *et al.*, 1992). In fact, soybean meal can contain active anti metabolites that had been incompletely heat-processed, such as saponines (Wolf and Thomas, 1970; Garcia-Ulloa, 1998); trypsin inhibitors (Kakade *et al.*, 1970; Ayet *et al.*, 1996), indigestible carbohydrates and several compounds that may disturb the digestive process in fingerling fish (Storebakken *et al.*, 2000). For ever evaluation of different types of soybean product derived from extraction technique should be carried out. Samocha *et al.* (2004) and El-Sayed (2006) reported that the co-extrusion of feed ingredients is considered as a reasonable option to improve the nutritional quality of soybean when it is used as a replacement ingredient in fish diets. However, Adewumi (2006) after autoclaving soybean meal during 25 min at 116°C (pressure 1.2 kg Cm⁻²) was obtained similar growth performance of *Clarias gariepinus* fed with fish meal and soybean based diets. Lowers growth performances recorded in fish fed soya protein diets could reveal an inadequate heat treatment used for producing soybean meal and finding an adequate heat treatment of soybean meal by favouring starch digestibility and reducing anti nutrients factors.

The good values of FCR (1.0-1.6) obtained in all fish groups could reflect the best quality and palatability of the diets formulated. The highest PER obtained in fish fed FD could means that in *H. Longifilis*, diets formulated with fish protein has higher quality and palatability than these formulated with soya protein.

Several studies showed that cannibalistic behaviour is intensified by increasing size difference (Hseu, 2002; Smith and Reay, 1991), suitable feeding practice (Fukuhara, 1989; Watanabe *et al.*, 1996), inter individual contacts, competition of food and stress (Haylor, 1992; Barcellos *et al.*, 2004). The highest cannibalism and mortality rates observed with SD have consequently reduced survival rate in this group. This result would demonstrate that soya protein diet can not cover sufficiently the nutritional need of this species. So the substitution of fish protein had directly increase fish mortality and cannibalism. However, cannibalism rates obtained in all diets would be due to raising competitiveness which gave higher fish (extremes high

fish sizes) than others. Therefore, these higher fish preferred to eat the small other fish. In fish fed SD, lower number of the extreme high fish sizes was obtained, but in this group, high mortality was observed. However, the extreme high fish sizes were observed only during the first two months in all experiment diets. During this period, some fish often are reluctant to accept the feed, fail to eat and became weak and vulnerable as observed in the catfish *C. gariepinus* (Baras and Almeida, 2001). In added, fish may prefer to prey on other fish, which may decrease once the first adjust to reading on the diets provided. This could be also the cause of mortality. After this period, the sizes were homogenised, so the cannibalism were disappeared and the mortality was reduced consequently. The proximate composition such as moisture and protein of carcass were similar in all diets. Higher values of carcass lipid were obtained in fish fed MD contrary to the higher values of dietary lipid which were given by SD. The higher values of carcass ash were obtained also in fish fed SD contrary to the high dietary ash which was given by FD. In other studies, Goda *et al.* (2007) reported that catfish *C. gariepinus* fed 100% soybean meal recorded higher lipid and gross energy contents compared with the fish meal based diet.

CONCLUSION

The reduction of fish growth and the increase of cannibalism rate obtained with soya protein diets suggest a low utilization of soya protein in *H. longifilis* fingerlings. In add, supplementing soya protein based diet entrains diminution of diet cost but increase the cost and time of kg fish produced. Therefore, it is matter of urgency that used adequate heat treatment of soybean meal by favouring starch digestibility and reducing anti nutrients factors. However, better characterization of these ingredients, digestible amino acid composition and fine-tuning of the diet formulation is required to obtain levels of performance matching those of high fish meal diets.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the staff of Biochemistry and Foods Sciences Laboratory (LaBSA) of Cocody University (Ivory Coast) for their assistance in chemical analyses. Furthermore, the authors express their sincere thanks to the staff of Layo Aquaculture Station, for their assistance in conducting growth trials and samplings. This study is a part of the Oceanology Research Center project and is financed by Ivorian government.

REFERENCES

- Abdelghany, A.E., 2003. Partial and complete replacement of fish meal with gambusia meal in diets for red tilapia. *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*. *Aquacu. Nutr.*, 9: 145-154.
- Adewumi, A.A., 2006. The growth and gonadal maturation of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) broodstock fed differently heated soybean-based diets. *Aquacu. Nutr.*, 12: 267-274.
- Akiyama, D., 1988. Soyabean meal utilization by marine Shrimp. AOAC World Congress on Vegetable Protein Utilization in Human Food and Animal Feedstuffs, Am. Soya bean Asso. Singapore, pp: 27.
- Aminot, A. and M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), Jouve Paris, pp: 395.
- AOAC (Association of analytical chemists), 1995. Official methods of analysis. 16th Edn. Association of Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Ayet, G., M. Muzquiz, C. Burbano, L. M. Robredo, C. Cuadrado and K.R. Price, 1996. Determinations of saponins in the main legumes cultivated in Spain. *Food Sci. Technol.*, 2: 95-100.
- Baras, E. and A.F. D'Almeida, 2001. Size heterogeneity prevails over kinship in shaping cannibalism among larvae of sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Aquatic Living Res.*, 14: 251-256.
- Barcellos, L.J.G., L.C. Kreutz, M.R. Quevedo, I. Fioreze, L. Cericato, M. Soso, A.B. Fagundes, J. Conrad, R.K. Baldissera, A. Bruschi and F. Ritter, 2004. Nursery rearing of *Rhamdia quelen* (Quoy and Gaimard) in cages: Cage type, stocking density and stress response to confinement. *Aquacul.*, 232: 383-394.
- Bard, J., P. De Kimpe and P. Lessent, 1976. Nouveaux poissons et nouvelles méthodes d'élevage en Afrique. FAO/CIFA Technical Paper Proceedings, Symposium on Aquaculture in Africa. Accra, Ghana, pp: 365-372.
- Boyd, C.E. and C.S. Tucker, 1998. Water Quality and Pond Soil Analysis for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station. Alabama, USA., pp: 0700.
- Craig, S.R., 2004. Organic agricultural feed. *Aqua Feeds: Formulation and beyond*, 1: 11-13.
- El-Sayed, A.M., 1990. Long term evaluation of cottonseed meal as a protein source for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L). *Aquacul.*, 84: 315-320.

- El-Sayed, A.M., 2006. Tilapia Culture. CABI Publishers. Wallingford, UK.
- Fukuhara, O., 1989. A review of the culture of grouper in Japan. Bull. Nansei Region Fish. Res. Lab., 22: 47-57.
- Garcia-Ulloa, G.M., 1998. Uso de harinas derivadas de subproductos agrícolas para la producción de biomasa del *Branquiopodo artemia* franciscana, Kellog, 1906. PhD Thesis, Universidad de Colima, Mexico, pp: 140.
- Goda, A.M., E.R. El-Haroun and M.A. Kabir Chowdhury, 2007. Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks. Aquacul. Res., 38: 179-287.
- Haylor, G.S., 1991. Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): Growth and survival of fry at high stocking density. Aquatic Fish. Manag., 22: 405-422.
- Haylor, G.S., 1992. Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822): Growth and survival of fry at high stocking density. Aquatic Fish. Manage., 23: 303-314.
- Hecht, T. and A. Appelbaum, 1988. Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae: Pisces) under controlled conditions. J. Zool., 214: 21-44.
- Hem, S., M. Legendre, L. Trébaol, Cissé A., Z. Otémé and Y. Moreau, 1994. L'aquaculture, In: Dufour, P., J.R. Durand and S.G. Zadi (Eds.). Environnement and Ressources Aquatiques de Côte d'Ivoire. 2-Les milieux Saumâtres: L'Exemple de la Lagune Ebrié), pp: 455-505.
- Hseu, J.R., 2002. Effects of size difference and stocking density on cannibalism rate of juvenile grouper *Epinephelus coioides*. Fish. Sci., 68: 1384-1386.
- Kakade, M.L., D.H. Swenson and I.E. Liener, 1970. Note on the determination of chymotrypsin and chymotrypsin inhibitor activity using casein. Anal. Biochem., 33: 255-258.
- Keembiyehetty, C.N. and D.M. Gatlin, 1997. Performance of sunshine bass fed soybean-meal based diets supplemented with different methionine compounds. Prog. Fish. Cult., 59: 25-30.
- Legendre, M., 1983. Examen préliminaire des potentialités d'un silure Africain *Hetebranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) pour l'aquaculture en milieu lagunaire. Document Scientifique. Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan, 14: 97-107.
- Legendre, M., 1986. Seasonal changes in sexual maturity and fecundity and HCG-induced breeding of the catfish, *Heterobranchus longifilis* Val. (Clariidae), reared in Ebrié Lagoon (Ivory Coast). Aquacul., 55: 201-213.
- Legendre, M., 1989. Enquête préliminaire sur la consommation du silure *Hetebranchus longifilis* en Côte d'Ivoire. Archives scientifiques, Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan, 12: 1-12.
- Luquet, P. and Y. Moreau, 1989. Energy-protein management by some warmwater finfishes, In: Actes du Colloque N°9. AQUA COP, Advances in tropical aquaculture, Tahiti, Ifremer, pp: 751-755.
- Micha, J.C., 1973. Etude des populations piscicoles de l'Ubanguï et tentatives de sélection and D'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture. C.T.F.T., Division de Recherches en Pisciculture, Paris, France, pp: 110.
- Otémé, Z.J., S. Hem and M. Legendre, 1996. Nouvelles espèces de poissons-chats pour le développement de la pisciculture Africaine, In: M. Legendre and J.P. Proteau (Eds.). The biology and culture of Catfishes, Aquatic Living Res., 9: 207-217.
- Robinson, E.H. and M.H. Li, 1994. Use of plant proteins in catfish feeds. Replacement of soybean meal with cottonseed meal and replacement of fish meal with soybean meal and cotton seed meal. J. World Aquacul. Soc., 25: 271-276.
- Rumsey, G.L., 1993. Fish meal and alternative sources of protein. Fish., 18: 14-19.
- Samocha, M.S., D.A. Davis, I.P. Saoud and K. De Bault, 2004. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*. Aquacul., 231: 197-203.
- Shiau, S.Y., S.F. Lin, S.L. Yu, A.L. Lin and Ch.Ch. Kwok, 1990. Defatted and full fat Soya bean meal as partial replacements for fish meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O.aureus*) diets at low protein level. Aquacul., 86: 401-407.
- Smith C. and P. Reay, 1991. Cannibalism in teleost fish. Rev. Fish. Biol., 1: 41-64.
- Storebakken, T., S. Refstie and B. Ruyter, 2000. Soy products as fat and protein sources in fish feed for intensive aquaculture, In: Drackley, J.K. (Eds.). Soy in Anim. Nutr. Fed. Anim. Sci. Soc. Savoy, IL, USA., pp: 127-170.
- Tacon, A.G.J., 1993. Feed ingredients for Warmwater Fish: Fish Meal and Other Processed Feedstuffs. FAO Fish Circ. No. 856, FAO Rome, Italy.

- Watanabe, T., J. Pongmaneerat, S. Satoh and T. Takeuchi, 1993. Replacement of fish meal by alternative protein sources in rainbow trout diets. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59: 1573-1579.
- Watanabe, W.O., S.C. Ellis, E.P. Ellis and V.G. Lopez, 1996. Evaluation of first-feeding regimens for larval Nassau grouper *Epinephelus striatus* and preliminary, pilot-scale culture through metamorphosis. *J. Aquacul. Soc.*, 27: 323-331.
- Webster, C.D., J.H. Tidwell, L.S. Goodgame, D.H. Yancey and L. Mackey, 1992. Use of soyabean meal and distillers grains with solubles as partial or total replacement of fish meal in diets for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquacul.*, 106: 301-309.
- Wolf, W.J. and B.W. Thomas, 1970. Thin layer and anion exchange chromatography of soyabean saponin. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 47: 86-90.

Full Length Research Paper

Utilization of soya protein as an alternative protein source in *Oreochromis niloticus* diet: Growth performance, feed utilization, proximate composition and organoleptic characteristics

Ahou Rachel Koumi¹, Boua Celestin Atse^{2*} and Lucien Patrice Kouame¹

¹Université d'Abobo-Adjamé Abidjan, UFR, Sciences et Technologies des Aliments (STA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.

²Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.

Accepted 19 August, 2008

The effect of replacing fish protein with soya protein in tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets was examined. Three isoproteic (35%) diets containing 0% (FD); 50% (MD) and 100% (SD) fish protein substituted by soya protein were formulated. Fish (initial weight = 11.56 ± 4.22 g) was fed with experimental diets for 180 days. Results showed that the best growth was achieved with fish fed FD. Growth parameters such as final body weight, body weight gain and specific growth rate decreased with increased dietary soya protein. In contrast, no significant differences were found in feed and protein utilization parameters. For carcass trait, ash, crude fat, and energy varied significantly with soya protein incorporation in fish diet. Concerning organoleptic characteristics, odour and texture in mouth were not affected by incorporation of soya protein in diet. In contrast, texture, flavour, and general appreciate note were affected by dietary treatment. Partial substitution of fish protein by soya protein gave more pronounced sweet flavour.

Key words: *Oreochromis niloticus*, fish protein, soybean meal, growth, proximate composition, organoleptic characteristics.

INTRODUCTION

Aquaculture has become the fastest-growing food production sector in which fish meal is a primary protein source for diets (El-Saidy and Gaber, 2003; Siddhuraju and Becker, 2003; Wu et al., 2004). These feedstuffs have good palatability and high nutritional quality. However, the major problems confronting the fish farming industry are the increasing cost, the competition of other livestock industries for fish meal, instability in world fish meal production and phosphorus pollution (New and Csavas, 1995; Xie et al., 2001; FAO, 2002). Therefore, it is necessary that alternative protein sources for fish diets be found. A priority area of research in aquaculture nutrition is the reduction and possible elimination of fish

meal and fish oil from practical diets (Craig, 2004). Currently, one of the challenges that fish nutritionists face is to partially or totally replace fish meal with less expensive, untraditional plant protein sources. Among the plant protein sources considered in aquaculture diets, soybean meal is the most widely used ingredient. It has been preferentially used for replacement of fish meal due to its high-protein content, relatively well-balanced amino acid profile, reasonable price and steady supply. However, soybean meal is deficient in one or more essential amino acids contain and several compounds that may disturb the digestive process (NCR, 1993; Storebakken et al., 2000).

Many studies have shown considerable success in partially or totally replacing fish meal with soybean meal in *O. niloticus* diets (Shiau et al., 1987; El Saidy and Gaber, 1997, 2002; Wilson et al., 2004). Replacement fish protein with soya protein could improve growth and reduce the cost of fish production. Replacement of fish

*Corresponding author. E-mail: atse_boua_celestin@hotmail.com. Fax: (225) 21 35 11 55.

Table 1. Formulation and proximate composition of the experimental diets.

Ingredients (gkg ⁻¹)	Diets		
	FD	MD	SD
Corn flour	100	100	100
Fish meal	380	190	-
Soybean meal	-	248	500
Wheat bran	340	222	120
Cottonseed meal	150	200	240
Fish oil	10	5	-
Soya oil	-	5	10
Lysine	-	5	5
Methionine	-	5	5
Vitamin and mineral premix ^a	20	20	20
Total	1000	1000	1000
Proximate analysis (% on dry matter basis)^b			
Moisture	10.8	10.7	10.5
Crude protein	35.5	35.6	35.6
Total nitrogen	5.7	5.7	5.7
Crude fat	9.2	8.3	12.9
Ash	12.1	9.5	7.4
Crude fibre	8.4	8.4	8.8
Nitrogen-free extract ^c	23.3	27.5	24.8
Gross energy (kJg diet ⁻¹) ^d	15.5	15.9	17.2
Cost (CFA kg ⁻¹) ^e	260	225	195

^aVitamin and mineral mixture each 1 kg of mixture contains: 4800 IU Vit A, 2400 IU cholecalciferol (Vit D), 40 g Vit E, 8 g Vit K, 4 g Vit B₁₂, 4 g Vit B₂, 6 g Vit B₆, 4 g pantothenic acid, 8 g nicotinic acid, 400 mg folic acid, 20 mg biotin, 200 mg choline, 4 g copper, 0.4 g iodine, 12 g iron, 22 g manganese, 22 g zinc, 0.04 g selenium, 1.2 mg folic acid, 12 mg niacin, 26 mg D-calcium pantothenate, 6 mg pyridoxine HCl, 7.2 mg riboflavin, 1.2 mg thiamine HCl, 3077 mg sodium chloride (NaCl, 39% Na, 61% Cl), 65 mg ferrous sulphate (FeSO₄·7H₂O, 20% Fe), 89 mg manganese sulphate (MnSO₄, 36% Mn), 150 mg zinc sulphate (ZnSO₄·7H₂O, 40% Zn), 28 mg copper sulphate (CuSO₄·5H₂O, 25% Cu), 11 mg potassium iodide (KI, 24% K, 76% I), 1000 mg celite AW521 (acid-washed diatomaceous earth moisture-silica).

^bValues represent the mean of three replicates.

^cNitrogen-free extract = 100 - (% moisture + % protein + % fat + % fibre + % ash).

^dGross energy = (22.2 x protein + 38.9 x fat + 17.2 x nitrogen-free extract).

^ePrice in CFA pound: 100 CFA = 0.15 \$ based on 2006 exchange prices in Ivory Coast.

FD = Fish diet; MD = mixture diet; and SD = soya diet.

protein by soya protein entails also replacement fish oil by soy oil in diet. Furthermore, previous studies with teleost fish have shown that nutritional factors, such as dietary protein sources (Kaushik et al., 1995), fat sources (Guillou et al., 1995), dietary fat content (Bjerkeng et al., 1997), and vitamin E (Boggio et al., 1985) can influence the physical and organoleptic flesh quality. The purpose of this study was to evaluate the growth, feed utilization, carcass composition and organoleptic characteristics of *O. niloticus* fed diets containing partial or total substitution of soya protein for the fish protein.

MATERIALS AND METHODS

Experimental diets

Three experimental diets were formulated to be isonitrogenous in

terms of crude protein (35%). The proximate composition of the experimental diets was given in Table 1. Fish meal protein is replaced by soya protein on the basis of crude protein as follows: fish diet (FD) = 0% soya protein replaced fish protein; mixture diet (MD) = 50% soya protein replaced fish protein; soya diet (SD) = 100% soya protein replaced fish protein in diet. To balance for lysine and methionine, 0.5% of each amino acid was added in soya diets, and 2% premix vitamin and mineral supplemented each diet formulated. The energy values were calculated using the gross energy values for the macro nutrients (Luquet and Moreau, 1989). The cost of each diet was determined by multiplying the contributions of each diet ingredients by their cost per kilogram and summing the values obtained for all the ingredients. The diets were dried, broken into suitable sizes and stored at - 20 °C until use.

Fish feeding and experimental condition

Juveniles of *O. niloticus* used in this study were obtained from culture pond of Layo Aquaculture Station (5°19'N, 4°19'W; Ivory

Coast). Fish were acclimated for two weeks into tanks and fed at 3% of their body weight with commercial diet containing 30% crude protein. At the end of acclimated period, fish were counted and stocked at density of 50 fish per tank (12 fish m⁻³). Three replicate tanks were constituted for each diet and fish were fed at ration of 3% fresh weight three times a day (08:00, 12:00 and 17:00 h). Once a month, fish were bulk weighed and ration was adjusted.

Sample collection

At the beginning of the experiment, fish were individually weighed and every month fish in each tank were weighed. At the end of the experiment, survival fish were collected, counted from each replicate. Thus individual body weight was recorded and 10 fish were removed from each replicate to chemical composition determination. After collection of chemical analyses samples, fish were pooled and stored at -20°C for organoleptic characteristics analyse.

The survival rate, growth performance and nutrient utilization were evaluated as follows:

Body weight gain (BWG) = [(final weight - initial weight) / initial weight] x 100

Specific growth rate (SGR) = (ln final weight - ln initial weight) / number of day

Feed conversion ratio (FCR) = dry feed intake (g) / weight gain (g)

Feed efficiency ratio (FER) = [wet weight gain (g) / dry feed intake (g)] x 100

Protein efficiency ratio (PER) = weight gain (g) / protein intake (g)

Protein productive value (PPV) = [(final carcass protein - initial carcass protein) / protein feed] x 100

Energy retention (ER) = [retained carcass energy / energy intake] x 100

Daily lipid gain (DLG) = retained lipids (g) / biomass gain (kg) / number of day

Cost benefit analyses of the diets were performed according to El-Sayed (1990).

Biochemical analysis

The approximate composition of experimental diets and the fish carcasses were analysed using standard methods (AOAC, 1995). Moisture content of each sample was determined through a hot-air oven set at 105°C for 24 h, and ash was determined by incineration at 550°C in a muffle furnace for 24 h. Crude protein (nitrogen x 6.25) was determined using micro-Kjeldahl method; crude fat was extracted (hexane extraction) by using the Soxhlet method and crude fibre was quantified by acid digestion followed by ashing the dry residue at 550°C in muffle furnace for 4 h. The gross energy of samples was determined using the gross energy values for the macronutrients (Luquet and Moreau, 1989).

Organoleptic evaluation

Sensory profiling (Stone et al., 1974; ISO 11035) described by Regost et al. (2003) was performed 2 weeks after the end of growth trial. 14 regular fish eating and non smoking individuals was selected

for their interest, availability and sensorial capacities of discriminating intensities. All were volunteers and received regular training sessions to develop their sensory performances and knowledge of marine products. Sessions were conducted in an air-conditioned room according to AFNOR (1995).

The average weight of the fish used in the evaluation was 223.675 ± 27.15 for FD; 180.08 ± 8, 98 for MD; and 156.67 ± 34.13 for SD. Fish of each diet were defrosted overnight at 5°C, and were cleaned, washed without the heads. Samples were placed in covered foil dishes, cooked with skin in a fan forced electric oven at 200°C for 20 min before analyses. Products were assigned alphabetical letters (A, B, and C) randomised and simultaneously served. The samples were evaluated using a continuous scale presented on a computer screen from 0 (low intensity) to 5 (high intensity) for odour, aspect, texture, flavour, and texture in mouth attributes. The odour and aspect attributes were assessed immediately after opening the bowl, while the flavour, texture, and texture in mouth attributes were evaluated after cutting and eating the samples. Distilled water was freely available for palate cleansing prior to and during tasting. The sensory panellists have the opportunity to record additional descriptors and comments and give one general appreciate note.

Statistical analysis

All percentage and ratio values were transformed to arcsin values and data of weight to logarithm values before analyse. Growth data (weight and data of growth performance), fish carcass composition and organoleptic characteristics were analysed by using one way analysis of variance (ANOVA). Duncan multiple range test was used to compare the differences among the individual means. The treatment effects were considered to be significant at p < 0.05.

RESULTS

Growth and feed utilization

At the end of the study, fish fed FD showed the higher values (p < 0.05) of final body weight (FBW), body weight gain (BWG) and specific growth rate (SGR), and fish fed SD showed the lower values. Survival rates (SR), feed conversion ratio (FCR) and feed efficiency ratio (FER) were similar for all diets. Protein utilization indices such as protein efficiency ratio (PER) and protein productive value (PPV) were not differed significantly between fish fed different diets. Contrary, the higher values (p < 0.05) of energy retention (ER) and daily lipid gain (DLG) were obtained with fish fed SD followed by MD and FD. The cost for kg fish production was lower and production time was higher (p < 0.05) in fish fed soya protein diets (Table 2).

Carcass composition

No significant differences were found in carcass moisture of different fish fed the diets. Fish carcass ash content showed a decreasing trend with increasing soya protein level in diets. The higher values of ash content were given by fish fed FD followed by the fish fed MD; the lower values were obtained with those of fish fed SD. The

Table 2. Growth performance and nutrient utilization of *Oreochromis niloticus* fed the experimental diets.

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
IBW (g)	11.6 ± 4.2	11.6 ± 4.2	11.6 ± 4.2
FBW (g)	221.9 ± 50.4 ^c	169.7 ± 32.6 ^b	140.7 ± 30.3 ^a
SR (%)	71.3 ± 12.2	76.0 ± 9.2	67.3 ± 6.4
BWG (%)	1861.9 ± 353.3 ^b	1375.9 ± 106.7 ^a	1140.8 ± 192.2 ^a
SGR (% day ⁻¹)	1.6 ± 0.1 ^b	1.5 ± 0.4 ^a	1.4 ± 0.1 ^a
FCR	1.1 ± 0.2	1.2 ± 0.04	1.2 ± 0.1
FER (%)	95.7 ± 14.5	84.1 ± 2.9	82.8 ± 8.9
PER	2.7 ± 0.4	2.4 ± 0.1	2.3 ± 0.2
PPV (%)	52.1 ± 5.7	46.7 ± 1.4	45.9 ± 4.6
ER (%)	22.2 ± 0.8 ^a	25.2 ± 1.1 ^b	31.9 ± 0.9 ^c
DLG (gkg ⁻¹ day ⁻¹)	1.1 ± 0.03 ^a	1.2 ± 0.02 ^a	1.6 ± 0.04 ^b
PC (F.CFA)	278.1 ± 46.2 ^b	270.9 ± 9.6 ^b	235.1 ± 25.8 ^a
PT (dayskg ⁻¹)	26 ± 1 ^a	31 ± 1 ^a	43 ± 5 ^b

*Values are means ± SD. Values in the same row with same superscripts are not significantly different ($p \geq 0.05$).

FD = Fish diet; MD = mixture diet; and SD = soya diet.

IBW = Initial body weight; FBW = Final body weight; SR = Survival rate; BWG = Body weight gain; SGR = specific growth rate; FCR = feed conversion ratio; FER = feed efficiency ratio; PER = protein efficiency ratio; PPV = protein productive value; ER = energy retention; DLG = daily lipid gain; PC = cost per fish kg produced; PT = time per fish kg produced.

Table 3. Final carcass composition (% on dry matter basis) of *O. niloticus* fed experimental diets.

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
Moisture	69.6 ± 1.4	69.1 ± 0.1	69.1 ± 0.3
Ash	17.7 ± 0.6 ^c	15.3 ± 0.5 ^b	13.0 ± 0.01 ^a
Crude protein	63.1 ± 0.03	63.0 ± 0.1	62.6 ± 0.5
Crude fat	19.7 ± 0.2 ^a	20.5 ± 0.5 ^a	26.6 ± 0.6 ^b
Energy (KJg ⁻¹)	21.6 ± 0.1 ^a	22.2 ± 0.2 ^b	23.9 ± 0.2 ^c

*Values are mean ± SD of triplicate analysis. Values in the same row with same superscripts are not significantly different ($p \geq 0.05$).

FD = Fish diet; MD = mixture diet; and SD = soya diet.

carcass fat content was significantly higher ($p < 0.05$) with fish fed SD followed by MD and FD. The carcass energy content showed a similar trend as the carcass fat content (Table 3).

Organoleptic appraisal

The result of organoleptic characteristics of *O. niloticus* is presented in Table 4. Odour and texture in mouth of fish were not significantly affected by the dietary treatment. In contrast aspect, texture, flavour, and general appreciate note were differed ($p < 0.05$) with dietary treatment. Concerning aspect, fish fed FD had a whiteness aspect significantly more pronounced than those fed MD and

SD. Fatter aspect was significantly different among groups ($p < 0.05$); fish fed FD and SD had the highest values while those of fish fed MD had the lowest value. For the texture, firm and sticky attributes differed significantly ($P < 0.05$) with the dietary treatment. The firm texture of fish fed FD and SD were significantly more pronounced than those of fish fed MD. Texture of fish fed FD was stickier than those of fish fed MD and SD. The flavour, sweet and fat attributes differed significantly ($P < 0.05$) among groups. Fish fed MD had a better sweet flavour than those fed FD in which more pronounced fatty flavour was obtained. For the general appreciate note, the higher and the lower values were respectively obtained in fish fed MD and FD.

DISCUSSION

Incorporation of 50 and 100% soya protein in diet decreased the growth of *O. niloticus*. This decrease of fish growth can be due to the quantity and the quality of soya protein in diet. Shiao et al. (1987) had reported that soybean meal could fully substitute fish meal without a significant reduction in tilapia growth if the diet contained sub-optimal (24%) levels of protein. However, growth reductions were observed when soybean meal substituted fish meal at 32% protein level. These reports clearly demonstrate that substituting animal protein with plant protein at higher levels than the optimal dietary protein reduces the growth of tilapia. Similarly, in the pre-

Table 4. Sensory analyses of fish at the end of growth trial.

Sensory parameter	Attributes	Diets			ANOVA P values
		FD	MD	SD	
Odour	Fishy	2.64	3.21	3.00	0.378
	Meaty	0.43	0.93	0.50	0.394
	Weedy	0.21	0.36	0.36	0.924
	Earthy	0.86	0.43	0.50	0.571
	Milky	0.29	0.14	0.21	0.876
	Rancid	0.86	0.64	0.50	0.779
Aspect	Whiteness	2.36 ^b	0.71 ^a	0.71 ^a	0.000
	Pale	1.43	0.93	0.93	0.560
	Fatness	3.36 ^b	2.57 ^a	3.5 ^b	0.021
Texture	Firm	3.43 ^b	2.57 ^a	3.57 ^b	0.019
	Fibrous	1.64	1.57	1.21	0.684
	Sticky	2.21 ^b	0.71 ^a	0.71 ^a	0.000
	Moist	2.14	1.86	2.00	0.866
	Fat	2.07	1.36	1.36	0.329
	Juicy	2.36	2.21	2.36	0.711
Flavour	Fishy	3.14	3.21	3.5	0.757
	Meaty	0.36	0.64	0.21	0.437
	Weedy	0.21	0.21	0.14	0.450
	Earthy	0.7	0.64	0.50	0.956
	Sweet	2.50 ^a	3.43 ^b	3.00 ^{ab}	0.015
	Fatty fish	2.29 ^b	1.21 ^a	1.14 ^a	0.025
	Bitter aftertaste	0.79	0.50	0.71	0.774
Texture in mouth	Firm	3.50	3.29	3.64	0.480
	Fibrous	1.00	1.14	0.57	0.531
	Sticky	1.43	0.57	0.64	0.065
	Fat	1.07	0.79	1.36	0.306
	Juicy	2.29	1.50	1.64	0.060
General note		2.14 ^a	4.00 ^c	3.21 ^b	0.000

The values represented the means of all notes and values in the same row with same superscripts are not significantly different ($p \geq 0.05$).

FD = Fish diet; MD = mixture diet; and SD = soya diet.

sent study fish were fed sub-optimal 35% levels of protein, and thus significant growth reduction would be when fish meal protein was partially and totally substituted with the soya protein. In fact, soybean meal contains antinutritional factors, so adding high percentage of this product in fish diets (35% protein) had delay growth of fish in ours study. However higher values of the nutritional utilization indices of protein (PER and PPV) in all diets showed that diets formulated had good protein quality and palatability.

The result of proximate composition showed that carcass ash content increased with highest level of ash and fish meal content in diet. In fact, fish meal has high levels of minerals including phosphor associated with the bone fraction (Ketola and Richmond 1994; Sugiura et al., 2000), which were highly available and retained for *O. niloticus*. Similar results were obtained with *Symphysodon aequifasciata* HECKLEL (Chong et al., 2003), and

Sarotherodon galileus (Goda et al., 2007) fed with plant protein-based diets. The increase of soya protein level in diet did not affected proteins of fish; this may be because all diets tested had a similar protein contain. Ofojekwu (1993) also did not find any effects of the dietary protein source on the fish protein content in *O. niloticus*. The lipid and energy contents in fish carcass increased with dietary lipid and soya protein level. The maximum values of lipid and energy obtained with fish fed SD is one consequence of higher values of ER and DLG obtain with this diet. The high lipid and energy values in this group clearly suggest that there were increased lipogenesis with increasing levels of fish meal replacement. So the diets containing high levels of soybean meal were not efficiency utilised for growth of *O. niloticus* but increased body fat deposition as observed by Abdelghany (2003) in the same species and Kaushik et al. (2004) in European Seabass *Dicentrarchus labrax*.

The results of sensory evaluation showed that the more fat aspect was associated to the fish fed SD. This could be due to the increase of fish fat content in this group. It is this fat increase in fish which influences the organoleptic properties of the fish.

Substitution of vegetable protein and oil by soya products in fish diets may modifies the body fatty acid profile as observed by Serot et al. (2001) in turbot *Psetta maxima*. Qualitative and quantitative variation of body lipids in response to dietary vegetable oils may significantly affect fish flesh quality (Thomassen and Rosjo, 1989; Arzel et al., 1994) and sensory characteristics (Aleman and Izquierdo, 1998). This could explain the variations observed in this fish texture and flavour.

In conclusion, this study shows that partial or total replacements of fish protein with soya protein in diet (35% crude protein) reduce the fish growth. However, lower ash and higher fat contents of fish carcass were associated with soya protein diets. In addition, partial substitution improves the organoleptic quality of *O. niloticus*.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the staff of Biochemistry and Foods Sciences Laboratory (LaBSA) of Cocody University (Ivory Coast) for their assistance in chemical analyses. Furthermore, the authors would like to express their gratitude to the 14 panellists for the aids in conducting organoleptic characteristics studies. This study is a part of the Oceanology Research Center project and was financed by Ivorian government.

REFERENCES

- Abdelghany AE (2003). Replacement of herring fish meal by soybean flour in practical diets for red tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. mossambicus*, grown in concrete tanks. J. Appl. Aquac. 14: 69-87.
- AFNOR (1995). Directives générales pour l'implantation de locaux destinés à l'analyse sensorielle (NF V 09-105). In : Contrôle de la Qualité des Produits Alimentaires, Analyse Sensorielle, 5^{ème} édition AFNOR, Paris La Défense, pp. 115-127.
- Alemán M, Izquierdo M (1998). Effect of dietary vegetable lipid sources on flesh quality of gilthead seabream. Inf. Cab. Ins. Gran canaria, p. 39.
- Arzel J, Martinez LFX, Metailler R, Stephan G, Viau M, Gandemer G, Guillaume J (1994). Effect of dietary lipid on growth performance and body composition of brown trout (*Salmo trutta*) reared in sea-water. Aquaculture 123: 361-375.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (1995) Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15th edn. AOAC, Arlington, Virginia, USA.
- Bjerkeng B, Refstie S, Fjalestad KT, Storebakken T, Rodbotten M, Roem AJ (1997). Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmo salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in diet. Aquaculture 157: 297-309.
- Boggio SM, Hardy WH, Babbitt JK, Brannon EL (1985). The influence of dietary lipid source and alpha-tocopheryl acetate level on product quality of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Aquaculture 51: 13-24.
- Chong A, Hashim R, Bin AA (2003). Assessment of soybean in diets for discus (*Symphysodon aequifasciata* HECKEL) farming through a fishmeal replacement study. Aquacult. Res. 34: 913-922.
- Craig SR (2004). Organic agricultural feed. Aqua Feeds: Formulation and beyond 1: 11-13.
- EL-Saidy DMS, Gaber MMA (1997). Total replacement of fish meal by soybean meal with various percentages of supplemental L-methionine in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* fry. Ann. Agric. Sci., Moshtohor. 35: 1223-1238.
- EL-Saidy DMS, Gaber MMA (2002). Complete replacement of fishmeal by soybean with the dietary L-lysine supplementation in Nile tilapia fingerlings. J. World Aquacult. Soc. 33: 297-309.
- EL-Saidy DMS, Gaber MMA (2003). Replacement of fish meal with a mixture of different plant protein sources in juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)) diets. Aquacult. Res. 34: 1119-1127.
- El-Sayed AM (1990). Long term evaluation of cottonseed meal as a protein source for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L). Aquaculture 84: 315-320.
- FAO (2002). The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO, Fisheries Department, Rome. p 159.
- Goda AM, Wafa ME, El-Haroun ER, Kabir Chowdhury MA (2007). Growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) and tilapia galilae *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus 1758) fingerlings fed plant protein-based diets. Aquacult. Res. 38: 827-837.
- Guillou A, Soucy P, Khali M, Adambounou L (1995). Effects of dietary vegetable and marine lipid on growth, muscle fatty acid composition and organoleptic quality of flesh of brook char (*Salvelinus fontinalis*). Aquaculture 136: 351-362.
- Ketola HG, Richmond ME (1994). Requirement of rainbow trout for dietary phosphorus and its relation ship to the amount discharged in hatchery effluents. Trans. Am. Fish. Soc. 123: 587-594.
- Kaushik SJ, Cravedi JP, Lalles JP, Sumpter J, Fauconneau B, Laroche M (1995). Partial or total replacement of fish meal by soya protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout. Aquaculture 133: 257-274.
- Kaushik SJ, Covès D, Dutto G, Blanc D (2004). Almost total replacement of fish meal by plant sources in the diet of a marine teleost, the European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture 230: 391-404.
- Luquet P, Moreau Y (1989). Energy-protein management by some warm water finfishes. In: Actes du Colloque N°9, AQUA COP, Ifremer. Tahiti, pp. 751-755.
- National Research Council (NCR) (1993). Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, p. 114.
- New M, Csavas I (1995). Will there be enough fish meal for fish meals? Aquacult. Eur. 19: 6-13.
- Ofojekwu PC (1993). Nutritive value of soybean in pelleted feed for Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. J. Aquacult. Sci. 8: 61-65.
- Regost C, Arzel J, Cardinal M, Rosenlund G, Kaushik SJ (2003). Total replacement of fish oil by soybean or linseed oil with a return to fish oil in turbot (*Psetta maxima*): 2. Flesh quality properties. Aquaculture 220: 737-747.
- Serot T, Regost C, Prost C, Robin J, Arzel J (2001). Effect of dietary lipid sources on odour-active compounds in muscle of turbot (*Psetta maxima*). J. Sci. Food Agric. 81: 1336-1346.
- Shiau SY, Chuang JL, Sun CL (1987). Inclusion of soy bean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) diets at two protein levels. Aquaculture 65: 251-261.
- Siddhuraju P, Becker K (2003). Comparative nutritional evaluation of differentially processed mucuna seeds [*Mucuna pruriens* (L.) D C. var. Utilis (Wall ex Wight) Baker ex Burck] on growth performance, feed utilization and body composition in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L). Aquacult. Res. 34: 487-500.
- Sugiura SH, Babbitt JK, Dong FM, Hardy RW (2000). Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). Aquacult. Res. 31: 385-593.
- Stone H, Sidel JL, Olivier S, Woolsey A, Singleton RC (1974). Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. Food Technol. 28: 24-34.
- Storebakken T, Refstie S, Ruyter B (2000). A soy product as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture. In: Drackley JK (eds) Animal Nutrition Fed, Soy in. Animal Sciences Soc., Savoy, IL, USA, pp. 127-170.

- Thomassen MS, Rosjo C (1989). Different fats in feed for salmon: influence on sensory parameters, growth rate and fatty acids in muscle and heart. *Aquaculture* 79: 129-135.
- Wilson MF, Luiz EP, Margarida MB, Pezzato AC, Valéria RB (2004). Use of ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in fish meal free diets for juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) *Aquacult. Res.* 35: 1110-1116.
- Wu GS, Chung YM, Lin WY, Chen HH (2004). Effect of substituting de-hulled or fermented soy bean meal for fish meal in diets on growth of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *J. Fish. Soc. Taiwan.* 30: 291-297.
- Xie S, Zhu X, Cui Y, Yang Y (2001). Utilisation of several plant proteins by gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *J. Appl. Ichthyology.* 17: 70-76.

Effects of partial and complete replacement of fish meal protein with a soya protein on growth performance of black-chinned tilapia *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell 1852) in tank culture

A R Koumi, B C Atsé*, K A Otchoumou** and P Kouamé

Université d'Abobo-Adjamé Abidjan, UFR, Sciences et Technologies des Aliments (STA), 02 BP 801 Abidjan 02 (Côte d'Ivoire)

**Centre de Recherches Océanologiques (CRO), BP V 18 Abidjan (Côte d'Ivoire)*

***Université de Cocody Abidjan, UFR Biosciences, 04 BP 322 Abidjan 04 (Côte d'Ivoire)*

atse_boua_celestin@hotmail.com

Abstract

A growth trial was conducted to feed juveniles black-chinned tilapia *Sarotherodon melanotheron* isonitrogenous diets for 6 months. Three diets containing crude protein (35 %) replacing 0 % (FD), 50 % (MD), and 100 % (SD) of the fish protein with similar percentage of soya protein were formulated. Fish were fed daily at 5 % body weight with three experimental diets.

After 6 months, final body weight, values of growth performance and feed utilization parameters were not significantly differed from the fish fed in all experimental diets. The highest viscerosomatic index was obtained with fish fed SD. Ash content showed a decreasing trend with an increasing soya protein level in formulated diets. An increase of the carcass protein content was observed in fish fed FD and MD. The carcass fat and energy contents of fish were high in fish fed SD.

These results suggest that *Sarotherodon melanotheron* fed soya protein diets exhibited comparable growth with those fish fed fish protein diet. Therefore, results indicate the lower protein and higher fat contents of fish carcass were associated with soya protein diets. In add, the formulation of soya protein diet for black-chinned tilapia reduces the need of fish meal in diet.

Key words: diet utilization, proximate composition, *Sarotherodon melanotheron*, soybean meal

Introduction

Sarotherodon melanotheron (Rüppell 1852) is one of the major fish species that is frequently caught in West African coastal waters (Teugels and Falk 2000). Fishery statistics show that *Sarotherodon melanotheron* represents 51 % of commercial catches in Lake Ayame in Ivory Coast (Gourène et al 1999). Several studies including the aquaculture potential (Legendre et

al 1989), ecological studies (Koné and Teugels 1999, 2003), morphometric studies (Falk et al 2000), and use of agricultural products in growth performance (Ouattara et al 2005) were realized. These studies showed that *Sarotherodon melanotheron* exhibited a good adaptation to pure freshwater conditions but presented a lower weight gain and higher feed conversion ratio with the formulated food. In other way, tilapias (Low-McConnell 2000) usually and *Sarotherodon melanotheron* (Koné and Teugels 2003) especially are herbivorous fish, but most formulated feeds for tilapia are similar to those of omnivorous fishes in that they contain significant levels of animal protein such as fish meal protein (Hughes and Handwerker 1993).

Fish meal is an ideal protein source for fish and presents a good palatability and a high nutritional quality (El-Saidy and Gaber 2002; Siddhuraju and Becker 2003). However, the increasing cost of fish meal has restricted its use as a protein source for fry diets (Siddhuraju and Becker 2003). In other hand, the use of fish meal entrains phosphorus pollution (Bergheim et al 1984; Cho and Bureau 1997; Sugiura et al 2000) and shows instability in world fish meal production which gives the global needs for fish oil and fish meal for aquaculture (FAO 2002).

In this context, research efforts have been directed to identify novel alternative and economically viable protein sources to totally or partially replace fish meal in the fish feed. One of possible alternatives will be an increased use of plant proteins in fish feeds. Among the plant protein sources considered in aquaculture diets, soybean meal is the most widely used in ingredients. It has been preferentially used for replace fish meal due to its higher protein content (48 – 50 %), relatively well balanced amino acid profile, reasonable price and steady supply (NRC 1993; Storebakken et al 2000; Goda et al 2007). However, soybean meal contains approximately 30 % indigestible carbohydrates and several compounds that may disturb the digestive process (Storebakken et al 2000). So, it's important to study the nutritional value of combination of plant protein in order to replace fish meal in fish diets.

Therefore, the purpose of this study was to evaluate the growth, feed utilization, economic value, and carcass composition of black-chinned tilapia *Sarotherodon melanotheron* fed diets containing partial or total substitution of soya protein for the fish protein.

Materials and methods

Experimental diets

Three experimental diets were formulated to be isonitrogenous in terms of crude protein (35 %). The proximate composition of the ingredients prior to diet formulation and those of experimental diets were given in Tables 1 and 2.

Table 1. Proximate composition of the feed ingredients (dry matter, %) and cost

Proximate analysis	Fish meal	Soybean meal	Cotton seed meal	Wheat bran	Corn flour
Crude protein	59.53	45.5	32.2	16.7	10.8
Crude fat	8.6	5.1	3.9	3.7	5.2
Crude ash	20.4	7.2	6.2	5.1	1.7
Crude fibre	--	4.5	18.8	9.1	3.3
Cost ^a (Cfa/kg)	400	170	100	50	80

^aPrice in CFA pound: 100 CFA = 0.15 \$ based on 2006 exchange prices in Ivory Coast

Table 2. Formulation and proximate composition of the experimental diets

	Experimental diets		
	FD	MD	SD
<i>Ingredients, g/kg⁻¹</i>			
Corn flour	100	100	100
Fish meal	380	190	-
Soybean meal	-	248	500
Wheat bran	340	222	120
Cottonseed meal	150	200	240
Fish oil	10	5	-
Soya oil	-	5	10
Lysine	-	5	5
Methionine	-	5	5
Vitamin and mineral premix ^a	20	20	20
Total	1000	1000	1000
<i>Proximate analysis, % on dry matter basis^b</i>			
Moisture	10.8	10.7	10.5
Crude protein	35.5	35.6	35.6
Total nitrogen	5.7	5.7	5.7
Crude fat	9.2	8.3	12.9
Ash	12.1	9.5	7.4
Crude fibre	8.4	8.4	8.8
Nitrogen-free extract ^c	23.3	27.5	24.8
Gross energy, kJg diet ⁻¹ ^d	15.5	15.9	17.2
Cost, CFA kg ⁻¹ ^e	260	225	195

^aVitamin and mineral mixture each 1-kg of mixture contains: 4800 I.U. Vit A, 2400 IU cholecalciferol (vit. D), 40g Vit E, 8g Vit K, 4.0g Vit B₁₂, 4.0g Vit B2, 6g Vit B6, 4.0g pantothenic acid, 8.0g nicotinic acid, 400 mg folic acid, 20 mg Biotin, 200 mg Choline, 4g Copper, 0.4g Iodine, 12g Iron, 22g Manganese, 22g Zinc, 0.04g Selenium. Folic acid, 1.2 mg; niacin, 12 mg; D-calcium pantothenate, 26 mg; pyridoxine HCL, 6 mg; riboflavin, 7.2 mg; thiamine HCL, 1.2 mg; sodium chloride (NaCl, 39% Na, 61% Cl), 3077 mg; ferrous sulphate (FeSO₄·7H₂O, 20% Fe), 65 mg; manganese sulphate (MnSO₄, 36% Mn), 89 mg; zinc sulphate (ZnSO₄·7H₂O, 40% Zn), 150mg; copper sulphate (CuSO₄·5H₂O, 25% Cu), 28 mg; potassium iodide (KI, 24% K, 76% I), 11 mg; Celite AW521 (acid-washed diatomaceous earth moisture-silica), 1000mg.

^bValues represent the mean of three replicates.

^cNitrogen-free extract = 100 - (% moisture + % protein + % fat + % fibre + % ash).

^dGross energy = (22.2 x protein + 38.9 x fat + 17.2 x nitrogen-free extract).

^ePrice in CFA pound: 100 CFA = 0.15 \$ based on 2006 exchange prices in Ivory Coast.

Fish meal protein was replaced by soya protein on the basis of crude protein as follows: fish diet (FD) = 0 % soya protein replaced fish protein; Mixture diet (MD) = 50 % soya protein replaced fish protein; soya diet (SD) = 100 % soya protein replaced fish protein in diet. To balance for lysine and methionine, 0.5 % of each was added to soya protein diets, and 2 % premix vitamin and mineral supplemented each diet formulated. The energy values were calculated using the gross energy values for the macro nutrients (Luquet and Moreau 1989). The cost of each diet was determined by multiplying the respective contributions of each diet ingredients by their respective cost per kilogram and summing the values thus obtained for all the ingredients. The experimental diets, were dried, broken into suitable sizes and stored at -20 °C until use.

Experimental procedure

Tilapia Sarotherodon melanotheron juveniles used in this study were obtained from culture pond of Layo Aquaculture Station (5°19'N, 4°19'W; Ivory Coast). Fish were acclimated for two weeks into tanks and fed at 5 % of their body weight with commercial diet containing 30 % - crude protein. The fish were counted and stocked at density of 40 fish per tank (10 fish m⁻³). Three replicate tanks were constituted for each diet. The fish were fed at ration of 5 % fresh weight three times a day (08:00, 12:00 and 17:00 hours). At the beginning of the experiment, fish were individually weighed and, for the intermediate weighing (once a month), fish were bulk weighed and ration was adjusted accordingly for the subsequent month. At the end of the experiment (180 days) all survival fish were collected and counted from each replicate. Thus individual body weight was recorded and 10 fish were removed from each replicate to chemical composition determination. After collection of chemical analyses samples, fish were sacrificed and dissected carefully to isolate and weight viscera, liver, and gonad for biometric parameters calculation. The growth parameters and nutrient utilization of experimental fish were evaluated as follows:

Body weight gain (%) = [(final body weight – initial body weight)/ initial weight] x 100

Specific growth rate (SGR) = (ln final body weight–ln initial body weight)/number of day

Feed conversion ratio (FCR) = dry feed intake (g) / wet weight gain (g)

Protein efficiency ratio (PER) = weight gain (g) / protein intake (g)

Energy retention (ER) = [retained carcass energy / energy intake] x 100

Daily lipid gain (DLG) = retained lipid (g) / biomass gain (kg)/ number of day

Viscerosomatic index (VSI) = 100 x [viscera weight (g)/ body weight (g)]

Hepatosomatic index (HSI) = 100 x [liver weight (g)/ body weight (g)]

Gonadosomatic index (GSI) = 100 x [gonad weight (g)/ body weight (g)]

Cost benefit analyses of the diets were performed according to El -Sayed (1990).

Water quality

During the experiment, water temperature, dissolved oxygen and pH were recorded daily in each tank. Water temperature and dissolved oxygen were measured using an Oxy meter model WTW OXI 330 and pH by using pH meter model WTW pH 90. Water quality as phosphorus, nitrate-nitrogen and nitrite-nitrogen were recorded at weekly intervals using a spectrometric method (Aminot and Chaussepied 1983).

Biochemical analysis

The approximate compositions of the feed ingredients, experimental diets and the fish carcasses were analysed using standard methods (AOAC 1995). Moisture content of each sample was determined through a hot-air oven set at 105°C for 24 hours, and ash was measured by incineration at 550°C in a muffle furnace for 24 hours. Crude protein (Nitrogen x 6.25) was determined using micro-kjeldahl method; crude fat was extracted (hexane extraction) using the soxhlet method and crude fibre was quantified by acid digestion followed by ashing the dry residue at 550°C in muffle furnace for 4 hours. The gross energy of samples was determined using the gross energy values for the macronutrients (Luquet and Moreau 1989).

Statistical analysis

All percentage and ratio values were transformed to arcsin values, and data of weight to logarithm values. Growth data (weight) and fish carcass composition were analysed by using one way analysis of variance (ANOVA). Tukey's HSD ranking test was used to compare the differences among means. The data of growth performance were analysed by using one way ANOVA and the Duncan multiple ranking test was used to compare the differences among means. The treatment effects were considered to be significant at $p \leq 0.05$.

Results

Water quality

Water quality characteristics monitored throughout the study period are summarized in Table 3.

Table 3. Mean water quality parameters recorded in the experiment tanks

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
Temperature, °C	27.9 ± 2.7	27.9 ± 2.7	27.9 ± 2.9
pH	6.8 ± 0.7	6.7 ± 0.6	6.8 ± 0.7
DO, mgL ⁻¹	4.3 ± 0.3	4.3 ± 0.4	4.3 ± 0.3
NO ₂ ⁻ N, mgL ⁻¹	0.06 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.04 ± 0.02
NO ₃ ⁻ N, mgL ⁻¹	0.27 ± 0.02 ^b	0.24 ± 0.02 ^b	0.15 ± 0.01 ^a
PO ₄ ³⁻ P, mgL ⁻¹	0.40 ± 0.22	0.38 ± 0.19	0.35 ± 0.21

*Values represent the mean of three replicates (mean ± SD). Values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

The water temperature ranged from 25.2 to 30.8 °C, pH from 6.1 to 7.7, dissolved oxygen from 4.1 to 4.7 mgL⁻¹, nitrite nitrogen from (NO₂⁻-N) 0.02 to 0.08 mgL⁻¹, nitrate nitrogen from (NO₃⁻-N) 0.15 to 0.29 mgL⁻¹ and phosphorus (PO₄³⁻-P) from 0.14 to 0.62 mgL⁻¹. There were no significant differences in the water quality parameters among the treatments during the whole experimental period. Only nitrate nitrogen was significantly affected by the treatments ($p < 0.05$). The lowest values of nitrate nitrogen were recorded in tanks where fish were fed CD and SD.

Growth performance and feed utilization

Data on the growth performance and feed utilization of juveniles *Sarotherodon melanotheron* are presented in Table 4.

Table 4. Growth performance and nutrient utilization of juveniles tilapia *Sarotherodon melanotheron* fed with experimental diets

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
IBW, g	12.3±0.3	11.9±0.5	11.9±0.6
FBW, g	133.8±6.3	125.5±10.6	124.3±9.9
SR, %	84.2±9.5	87.5±4.3	91.7±1.4
BWG, %	985.9±43.9	964.9±61.4	940.4±73.2
SGR, % day ⁻¹	1.3 ±0.02	1.3±0.03	1.3±0.04
FCR	2.4±0.7	2.9±0.3	2.4±0.3
PER	1.3±0.4	1.0±0.1	1.2±0.2
ER, %	24.2±0.5 ^a	25.7±1.3 ^a	31.8±0.7 ^b
DLG, gkg ⁻¹ day ¹	1.0±0.01 ^a	1.0±0.06 ^a	1.4±0.02 ^b
PC, F.CFA [#]	580.4±24.2 ^b	643.1±38.4 ^b	449.1±33.6 ^a
PT, days kg ⁻¹	43.5±3.1	46.2±4.3	43.9±3.9

*Values are means ± SD. Values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$). IBW = Initial body weight; FBW = Final body weight; SR = Survival rate; BWG = Body weight gain; SGR = Specific growth rate;

FCR = Feed conversion ratio; PER = Protein efficiency ratio; ER = Energy retention;

DLG = Daily lipid gain; PC= Cost per kg of fish produced; PT= Time per kg of fish produced.

[#] Price in CFA pound: 100 CFA = 0.15 \$ based on 2006 exchange prices in Ivory Coast.

At the end of experiment, there were no significant differences in final body weight, survival rate, body weight gain and specific growth rate of fish fed the different experimental diets. Feed conversion and protein efficiency ratios also were not significantly affected ($p \geq 0.05$) by dietary proteins substitution. However, fish fed SD showed the highest values ($p \leq 0.05$) of energy retention and daily lipid gain. Data on economic performances showed that production cost were higher ($p \leq 0.05$) with fish fed MD and FD (Table 4). Contrary production times of fish fed different experimental diet were not differed significantly. Concerning biometric parameters, fish fed SD had a significantly higher viscerosomatic index (VSI) compared to those of fish fed FD and MD. No significant differences ($p \geq 0.05$) in hepatosomatic index (HSI) and gonadosomatic index (GSI) were observed among treatments (Table 5).

Table 5. Viscerosomatic index (VSI), hepatosomatic index (HSI), and gonadosomatic index (GSI) of juveniles tilapia *Sarotherodon melanotheron* fed with experimental diets

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
VSI	5.7±1.0 ^a	6.5±1.0 ^a	7.9±1.1 ^b
HSI	2.1±0.3	1.9±0.3	2.2±0.4
GSI	0.3±0.1	0.2±0.1	0.2±0.1

*Values are means ± SD. Values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$)

Carcass composition

The carcass proximate composition at the end of the trial for the different experimental groups was presented in Table 6.

Table 6. Final carcass compositions of juveniles tilapia *Sarotherodon melanotheron* fed with experimental diets (% on dry matter basis)

Parameters*	Diets		
	FD	MD	SD
Moisture	70.1±4.3	70.1±1.5	67.3±0.8
Ash	20.0±0.5 ^c	18.3±1.1 ^b	16.5±0.1 ^a
Crude protein	58.2±0.4 ^a	58.2±0.3 ^a	54.2±2.2 ^b
Crude fat	16.9±0.7 ^a	16.7±1.2 ^a	23.2±0.2 ^b
Gross energy (kJg ⁻¹ diet)	20.2±0.04 ^a	20.5±0.2 ^b	22.1±0.2 ^c

*Values are mean ± SD of triplicate analysis. Values in the same row with different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$).

No significant differences were found in the carcass moisture of fish fed different experimental diets. In contrast, ash, protein, fat, and energy contents were significantly affected by experimental treatments ($p \leq 0.05$). The carcass ash content showed a decreasing trend with increasing soya protein levels in formulated diets. It was the highest in fish fed FD, intermediate in fish fed MD and lowest in fish fed SD. An increase in the carcass protein content was observed in fish fed FD and MD, which was significantly different ($p \leq 0.05$) than that observed in fish fed SD. The highest carcass fat and energy contents ($p \leq 0.05$) were recorded in fish fed with SD.

Discussion

During the experimental period, water temperature, pH and dissolved oxygen recorded in tank were within the recommended range for tilapia culture (Philippart and Ruwet 1982). Nitrate nitrogen in culture water significantly decrease with increased the levels of soya protein in experimental diets. This element originates mainly from fish feeds (Cho and Bureau 1997). In added, discharge of any element depends on fish growth and the level of the respective element in the diet. The higher levels of nitrate nitrogen obtain in the culture pond when fish fed FD was probably due to the protein content of FD which was above the requirement of this fish. This indicates that excess dietary protein, even though originating from a quality protein source (FM), led to a higher N discharge (Jahan et al 2003).

Feeding trials revealed that as much as 100 % of fish protein could be replaced by soya protein supplemented with vitamin and mineral premix without repercussion on *Sarotherodon melanotheron* growth performance. As suggested by Watanabe et al (1987), the proper utilization of dietary protein is dependent on the good quality or amino acids balance of the protein sources. The main protein sources used in the experimental diets were from both fish meal and soybean origins. Generally adding high percentages of plant products in fish diets can cause reduced palatability and acceptability, leading to diminish the growth performance and feed utilisation (Watanabe et al 1993, Riche and Garling 2004). Contrary, in this study, the sources and the levels of dietary protein appeared to be relatively unimportant when considering similar results for growth performance values (FBW, BWG, SGR) and feed utilization parameters (FCR, PER) recorded among fish fed with different diets. A similar result in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) was observed by Shiau et al (1987) when fish were fed diets containing soybean meal protein in substitution with fish meal protein. The present findings also support those of Goda et al (2007) who observed comparable growth and feed utilization of *Sarotherodon galilaeus* fed soybean meal diet with those fish meal based diet. Since *Sarotherodon melanotheron* is herbivorous fish (Koné and

Teugels 2003), this could explain the good digestibility, palatability and availability of soybean meal base diets. The feed conversion ratio varying from 2.37 to 2.97 in all experimental groups were found to be good. For Morissens et al (1987), values of FCR inferior to 3.5 is considered to be good for growth. In other studies, good growth and better feed utilization were recorded when *Sarotherodon melanotheron* was rearing in extensive culture system “Acadjas-Enclos” with natural periphyton food (Hem et al 1994). Furthermore, culture of *Sarotherodon melanotheron* in fertilising pond with these formulated diets (FD, MD and SD) containing 35 % protein could improve perfectly the growth of this fish.

Diets were formulated to be least costly and it is apparent that considerable reduction in fish meal level can be achieved without compromising the fish performance. Supplementing soya protein based diets entrained diminution of the diet cost which explains lower values of cost for kg fish production obtained with fish fed SD. Also lower production cost could attributable to the higher level of survival rate obtain in this group.

For proximate composition, we observed a significant decrease in ash carcass content with increasing levels of fish meal replacement. The fish meal had high levels of minerals including phosphorus associated with the bone fraction (Sugiura et al 2000), which were highly available and retained for *Sarotherodon melanotheron*. Our results on ash are similar to those of Chong et al (2003) in *Symphysodon aequifasciata* and Goda et al (2007) in *Sarotherodon galileus*. Also total replacement of fish protein by soya protein entrains a decrease of fish carcass protein. Brown et al (1997) had reported a decrease in protein body content of hybrid *Morone saxatilis* x *Morone chrysops* fed diets containing high levels of soybean meal. Similar trend had also been reported by Watanabe and Pongmaneerat (1993) in rainbow trout. However, we observed a significant increase in carcass fat content with increasing levels of soybean meal in diets. This consequently resulted in a similar increase in carcass energy content. Our result of carcass fat is similar to those obtained by Lee et al (2002) with juvenile Ayu *Plecoglossus altivelis*. Cissé (1996) also showed that the lipid retention was directly associated with dietary fat level in *Sarotherodon melanotheron*. Nonetheless, these values were correlated with energy retention, daily lipid gain, and viscerosomatic index in the respective dietary group. The high fat and energy retention values in this group, clearly suggest that there were increased lipogenesis with increasing levels of fish meal replacements (Kaushik et al 2004). In add the higher VSI values obtained with fish fed SD may be due to the relatively high lipid deposition in viscera.

Conclusions

- We conclude that partial or total replacement of fish protein by soya protein in diets (35% crude protein) entrains similar growth performance and feed utilization of *Sarotherodon melanotheron*. Therefore, results indicate that the lower protein and higher fat contents of fish carcass were associated with soya protein diets. The formulation of soya protein diet for black-chinned tilapia will provide new opportunities for the value-added processing of regionally available cops, reduce the requirement of the aquaculture feed industry for fish meal and enhance the sustainability of the industry. In addition, the soya meal is locally available at much lower prices.

Acknowledgments

The authors thank the staff of Biochemistry and Food Sciences Laboratory (LaBSA) of University of Cocody (Ivory Coast) for helpful technical assistance. Furthermore, the authors express also their sincere thank to the staff of Layo Aquaculture Station for its assistance concerning growth trials and samplings monitoring. This study is a part of the Oceanology Research Center project and was financed by Ivorian government.

References

- Aminot A and Chaussepied M 1983** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO), Jouve Paris 395 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 1995** *Official Methods of Analysis*, 16th edn. AOAC, Arlington, VA, USA.
- Bergheim A, Hustveil H, Kittelsen A and Selmer-Olsen A R 1984** Estimated pollution loadings from Norwegian fish farms: II. Investigations 1980–1981. *Aquaculture* 36: 157-168
- Brown P B, Twibell R, Jonker Y and Wilson K A 1997** Evaluation of three soybean products in diets fed to juvenile hybrid striped bass *Morone saxatilis* x *Morone Chrysops*. *Journal of the World Aquaculture Society* 28: 215-223
- Cho C Y and Bureau D P 1997** Reduction of waste output from salmonid aquaculture through feeds and feeding. *Program Fish-Culture* 59: 155-160
- Chong A, Hashim R and Bin Ali A 2003** Assessment of soybean in diets for discus (*Symphysodon aequifasciata* heckel) farming through a fishmeal replacement study. *Aquaculture Research* 34: 913-922
- Cissé A 1996** Etude du rapport protéine-énergie dans l'alimentation de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell 1852) : influence sur la consommation alimentaire, la croissance et la composition corporelle. In: R S V Pullin, J B Amon-Kothias and D Pauly (editors), *Le troisième symposium international sur le Tilapia en aquaculture*, pp. 213-218. *ICLARM Conference Proceedings* 41: 630p.
- El-Saidy D M S and Gaber M M A 2002** Complete replacement of fishmeal by soybean with the dietary L-lysine supplementation in Nile tilapia fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society* 33: 297-309
- El-Sayed A F M 1990** Long term evaluation of cottonseed meal as a protein source for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L). *Aquaculture* 84: 315-320
- Falk T M, Teugels G G, Abban E K, Willwock W and Renwranz L 2000** Morphometric and allozyme variation in the black-chinned tilapia *Sarotherodon melanotheron* (Perciformes: Cichlidae), with a revision of the subspecies complex. *Journal of Natural History* 34: 1849-1863
- FAO 2002** The state of World fisheries and Aquaculture. FAO, Fisheries Department Rome 159p. <http://www.fao.org/docrep/005/y7300e/y7300e00.htm>
- Goda A M, Wafa M E, El-Haroun E R and Kabir Chowdhury M A 2007** Growth performance and feed utilization of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758) and tilapia galilae *Sarotherodon galilaeus* (Linnaeus 1758) fingerlings fed plant protein-based diets. *Aquaculture Research* 38: 827-837
- Gourène G, Teugels G G, Hugueny B and Thys van den Audenaerde D F E 1999** Evaluation de la diversité ichtyologique d'un bassin Ouest Africain après la construction d'un barrage. *Cybium* 23: 147-160
- Hem S, Legendre M, Trébaol L, Cissé A, Otémé Z and Moreau Y 1994** L'aquaculture. In: P Dufour, J R Durand and S G Zadi (editors), *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire*. 2-Les Milieux Saumâtres: l'Exemple de la Lagune Ebrié, pp. 455-505

Hughes S G and Handwerker T S 1993 Formulating for tilapia: all vegetable protein feeds. *Feed International* 1993: 55-60

Jahan P, Watanabe T, Kiron V and Satoh S 2003 Improved carp diets based on plant protein sources reduce environmental phosphorus loading. *Fisheries Science* 69: 219-225

Kaushik S J, Covès D, Dutto G and Blanc D 2004 Almost total replacement of fish meal by plant sources in the diet of a marine teleost, the European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture* 230: 391-404

Koné T and Teugels G G 1999 Données sur la reproduction d'un Tilapia estuarien (*Sarotherodon melanotheron*) isolée dans un lac de barrage Ouest Africain. *Aquatic Living Resources* 12: 289-293

Koné T and Teugels G G 2003 Food habits of brackish water tilapia *Sarotherodon melanotheron* in river and lacustrine environments of a West African coastal basin. *Hydrobiologia* 490: 75-85

Lee S M, Kim D J and Cho S H 2002 Effects of dietary protein and lipid level on growth and body composition of juvenile Ayu (*Plecoglossus altivelis*) reared in seawater. *Aquaculture Nutrition* 8: 53-58

Legendre M, Hem S and Cissé A 1989 Suitability of brackish water Tilapia species from the Ivory Coast for aquaculture. 2. Growth and rearing methods. *Aquatic Living Resources* 2: 81-89

Low-McConnell R H 2000 The role of Tilapias in ecosystems. In: M C M Beveridge, M C Andrew and B J Kluwer (editors), *Tilapias: Biology and exploitation*, Academic Publishers, Great Britain. pp. 129-162

Luquet P and Moreau Y 1989 Energy-protein management by some warm water fin fishes. In: *Advances in Tropical Aquaculture*, Actes du colloque n°9, AQUACOP, IFREMER, Tahiti, pp. 751-755

Morissens P, Roche P, Tauzes P, Sonon C and Aglinglo C 1987 La pisciculture intensive en enclos dans les grandes lagunes du sud-est Bénin. *Bois et forêts des tropiques* 213, 30p.

National Research Council (NCR) 1993 Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, USA, pp. 62-63

Ouattara N I, N'Douba V, Teugels G G and Philippart J C 2005 Effects of three agricultural by-products on cage culture growth performances of a landlocked population of *Sarotherodon melanotheron* (Teleostei: Cichlidae) in man-made Lake Ayame, Côte d'Ivoire. *African Journal of Aquatic Science* 30: 125-129

Philippart J C and Ruwet J C 1982 Ecology and distribution of tilapias, In: R S V Pullin and R H Lowe-McConnell (editors), *The biology and Culture of Tilapias*, ICLARM Conference Proceedings International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines. pp. 15-59

Riche M and Garling D L Jr 2004 Effect of phytic acid on growth and nitrogen in tilapia *Oreochromis niloticus* (L). *Aquaculture Nutrition* 10: 389-400

Shiau S Y, Chuang J L and Sun C L 1987 Inclusion of soy bean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis aureus*) diets at two protein levels. *Aquaculture* 65: 251-261

Siddhuraju P and Becker K 2003 Comparative nutritional evaluation of differentially processed mucuna seeds [*Mucuna pruriens* (L.) D C. var. Utilis (Wall ex Wight) Baker ex Burck] on growth performance, feed utilization and body composition in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L). *Aquaculture Research* 34: 487-500

Sugiura S H, Babbih J K, Dong F M and Hardy R W 2000 Utilization of fish and animal by-product meals in low-pollution feeds for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* 31: 385-593

Storebakken T, Refstie S and Ruyter B 2000 Soy products as fat and protein sources in fish feed for intensive aquaculture. In: J K Drackley (editor), Soy in Animal nutrition fed. Animal Sciences Society, Savoy IL, USA. pp. 127-170

Teugels G G and Falk T M 2000 Major fishes of West African coastal waters and their morphological characterization, with emphasis on *Sarotherodon melanotheron* Teleostei, Cichlidae. In: E K Abban, C M V Casal, T M Falk and R S V Pullin (editors), Biodiversity and Sustainable Use of Fish in the Coastal Zone, Manila Philippines, ICLARM Conference Proceedings 63, pp. 5-7

Watanabe T and Pongmaneerat J 1993 Potential of soybean meal as a protein source in extruded pellets for rainbow trout. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 1415-1423

Watanabe T, Takeuchi T, Satoh S, Ida T and Yaguchi M 1987 Development of low protein-high energy diets for practical carp culture with special reference to reduction of total nitrogen excretion. Nippon Suisan Gakkaishi 53: 1413-1423

Watanabe T, Pongmaneerat J, Satoh S and Takeuchi T 1993 Replacement of fish meal by alternative protein sources in rainbow trout diets. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 1573-1579

Received 19 March 2008; Accepted 16 April 2008; Published 5 December 2008

THEME :

SUBSTITUTION DE LA FARINE DE POISSON PAR LE TOURTEAU DE SOJA DANS L'ALIMENTATION DE *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840, *Sarotherodon melanotheron* Rüppell, 1852 ET *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) : INFLUENCE SUR LA QUALITE DU MILIEU D'ELEVAGE, LA CROISSANCE ET LA VALEUR NUTRITIVE DES POISSONS

RESUME

L'élevage des poissons connaît d'énormes difficultés à cause des coûts très élevés de la farine de poisson. De plus en plus, le tourteau de soja est utilisé comme source de protéines dans la formulation d'aliment de poissons.

En vue de déterminer les effets de l'utilisation du tourteau de soja comme substitut à la farine de poisson dans l'alimentation en pisciculture, trois aliments expérimentaux à 35 % de protéines ont été formulés. Dans ces aliments, la proportion protéique apportée par la farine de poissons est partiellement ou totalement substituée par celle du tourteau de soja. Les expériences d'élevage ont été effectuées avec *Heterobranchus longifilis*, *Sarotherodon melanotheron* et *Oreochromis niloticus*. Ces expériences ont permis d'évaluer les effets de la substitution de la farine de poisson par le tourteau de soja sur la qualité du milieu d'élevage, les performances zootechniques et la composition biochimique des poissons.

Il ressort de ces travaux que l'incorporation du tourteau de soja dans l'aliment diminue la richesse en nutriments de l'eau et les quantités de périphyton récoltées sur les parois des bacs d'élevage. Le remplacement de 50 % et 100 % de protéines de poisson par celles de soja n'a pas d'effet sur la croissance de *S. melanotheron*. En revanche chez *O. niloticus* et *H. longifilis* la croissance diminue avec les taux élevés de protéines de soja dans l'aliment. Cette substitution entraîne une diminution des teneurs en protéines de la carcasse chez *S. melanotheron*, une diminution des teneurs en cendres et une augmentation de la teneur en lipides et en énergie chez *S. melanotheron* et *O. niloticus*. Chez *H. longifilis*, c'est l'incorporation de 50 % de protéines de soja dans l'aliment qui entraîne une augmentation des taux de lipides et une diminution des taux de cendres. Pour ces trois poissons, l'incorporation de tourteau de soja dans l'aliment entraîne une diminution des taux de calcium et de phosphore et une augmentation des taux d'acide stéarique des carcasses. La rétention lipidique chez ces poissons est directement liée au taux de tourteau de soja dans l'aliment utilisé.

Cette incorporation des protéines de soja dans l'aliment des trois espèces de poissons est possible et entraînera une réduction des coûts de l'aliment. Les protéines de soja permettront également d'améliorer les conditions du milieu d'élevage. Cependant, il est nécessaire de mieux étudier les conditions d'amélioration de la croissance et du temps de production des poissons par une meilleure utilisation du tourteau de soja.

Mots clés : aliments, milieu d'élevage, performance zootechnique, poissons, protéines, tourteau de soja.