

Effet Du Remplacement Partiel De La Farine De Poisson Par La Farine De Lentille Lemna Minor Fermenté Dans L'alimentation Des Juvéniles Du Tilapia Du Nil (Oreochromis Niloticus) En Côte d'Ivoire

Effect Of Partial Replacement Of Fish Meal With Fermented Lemna Minor Flour In The Diet Of Nile Tilapia Juveniles (Oreochromis Niloticus) In Côte d'Ivoire

Paul Simplicie DJEKE^{1*}, Gopéyué Maurice YEO¹, Koffi Parfait KOUAME^{1,3}, Adou Francis YAPO² et Mélécony Célestin BLE¹

¹Centre de Recherches Océanologiques, Département Aquaculture, 01 BP V 18 Abidjan, Côte d'Ivoire.
gopecmaur@gmail.com, melecony@gmail.com.

²Université Felix Houphouët-Boigny, URF Biosciences, Laboratoire de Biologie et Santé, 22 BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire. fyapo67@gmail.com.

³Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan, Côte d'Ivoire.
koffiparfait@gmail.com.

*Auteur Correspondant : DJEKE Paul Simplicie, e-mail : pdjeke2007@gmail.com, Cell : 07 47 66 56 71.



Résumé – L'aquaculture, essentielle pour accroître les sources de protéines en Côte d'Ivoire, est limitée par l'alimentation qui représente plus de 50 % des coûts de production. Cette étude visait à remplacer la farine de poisson par la farine fermentée de Lemna minor dans l'alimentation de juvéniles du tilapia *Oreochromis niloticus* ($25,55 \pm 0,28$ g). Six régimes S0, S15, S30, S50, S75 et S100 sont formulés en remplaçant graduellement la farine de poisson par la farine fermentée de Lemna minor. Après huit semaines d'élevage, les paramètres de croissance et d'utilisation des aliments ont été évalués. Les gains moyens quotidiens variaient entre 0,29 et 0,80 g/j, et les taux de croissance spécifique entre 0,88 et 1,80 %/j. Parmi les régimes substitués, les meilleures croissances sont observées chez les poissons nourris avec S15, suivi de S30. L'indice de consommation (IC) et le coefficient d'efficacité protéique (CEP) ont varié respectivement de 1,15 à 3,39 et de 1,07 à 2,28. Les poissons nourris avec le régime S15 ont présenté les meilleurs (IC 1,19 ; CEP 2,22), suivis de ceux du régime S30 (IC 1,3 ; CEP 2,18). Une substitution de la farine de poisson par la farine fermentée de lentilles allant jusqu'à 30 % serait envisageable.

Mots clés – Lentilles d'eau douce, Source de protéines, Fermentation, Aliments, Tilapia du Nil.

Abstract – Aquaculture, essential for increasing protein sources in Côte d'Ivoire, is constrained by feed costs exceeding 50% of production. This study aimed to substitute fishmeal with fermented *Lemna minor* flour in the diet of *Oreochromis niloticus* juveniles (25.55 ± 0.28 g). Six diets S0, S15, S30, S50, S75, and S100, were formulated by gradually replacing fishmeal with fermented *Lemna minor* flour. After eight weeks of rearing, growth and feed utilization parameters were assessed. Average daily gains ranged from 0.29 to 0.80 g/day, and specific growth rates ranged from 0.88 to 1.80% per day. Among substituted diets, the best growth results were observed in fish fed with diet S15, followed by S30. Feed conversion ratio (FCR) and the protein efficiency ratio (PER) varied from 1.15 to 3.39 and from 1.07 to 2.28 respectively. Fish fed with diet S15 showed the best FCR (1.19) and PER (2.22), followed by those with diet S30 (FCR 1.3, PER 2.18). A substitution of fish meal with up to 30% fermented duckweed flour would therefore be feasible.

Keywords – Duckweed, Protein source, Fermentation, Feeds, Nile Tilapia.

I. INTRODUCTION

À l'échelle mondiale, l'aquaculture n'a cessé de croître tandis que les pêches de capture ont stagné au cours des deux dernières décennies [11]. En tant que source alternative de protéines pour les pays africains, l'aquaculture recèle un énorme potentiel pour contribuer à la sécurité alimentaire, à condition que les ressources soient optimisées de manière durable grâce à des innovations technologiques et institutionnelles fondées sur des données probantes.

Aujourd'hui, la question de l'alimentation représente une préoccupation économique majeure dans l'industrie aquacole, constituant plus de 50 % des coûts totaux de production et influençant directement la viabilité et la rentabilité des entreprises [12]. De plus, le défi persiste quant à l'approvisionnement en aliments de qualité pour les poissons, ainsi que le manque de personnel qualifié dans les domaines de la nutrition en aquaculture, notamment la formulation et le traitement des aliments [12]. Pour les petits éleveurs, qui produisent parfois leurs propres aliments, la valeur nutritionnelle est également une préoccupation [18]. Ainsi, malgré les avancées dans l'utilisation de ressources alternatives, l'amélioration de la qualité et de l'accessibilité des aliments demeure un défi majeur pour l'industrie aquacole.

Les activités aquacoles contribuent à la réduction de l'insécurité alimentaire des populations vulnérables, en particulier en Côte d'Ivoire. Cependant, plusieurs défis restent à relever en termes d'amélioration de qualité de l'alimentation des poissons dans la pratique de l'aquaculture. Il est donc nécessaire de développer de nouvelles alternatives, intégrant de nouveaux régimes alimentaires, disponibles sur les marchés, accessibles, et peu coûteux pour le développement durable de l'aquaculture en Côte d'Ivoire.

Par ailleurs, les résultats de la recherche ont permis de repousser les limites de la substitution de la farine de poisson chez toutes les espèces à condition d'utiliser différents produits végétaux en mélange [7]. Par conséquent, ces dernières années, l'utilisation de plantes aquatiques et de végétaux à haute valeur alimentaire en tant qu'ingrédients alimentaires a pris une nouvelle dimension dans la production de protéines animales indispensables à faible coût [13], ce qui pourrait contribuer à la viabilité économique de l'aquaculture.

Les plantes aquatiques telles que les lentilles d'eau douce *Lemna minor* et *L. aequinoctialis* à l'état frais renferment une quantité substantielle de matières organiques hydrolysables (967,74 et 954,84 mg.g⁻¹). Cette composante constitue une fraction digestive significative, potentiellement exploitable par les poissons phytophages tels que les juvéniles du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). Cette fraction est plus importante dans les lentilles *L. minor* qui contiennent également des protéines de qualité, due à la présence des dix acides aminés essentiels [9]. Concernant l'utilisation digestive de la lentille *Lemna minor* à l'état frais chez le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), les études ont montré que le coefficient d'utilisation digestive des protéines (CUDP) variait autour de 56 % [9]. Par ailleurs, une amélioration significative du CUDP, ainsi que de la performance de croissance des poissons a été observée à la suite de différents traitements, parmi lesquels la fermentation de la lentille *Lemna minor* [10]. Dans la suite logique de ces constatations, l'objectif de cette étude était de remplacer partiellement la farine de poisson par la farine fermentée de *Lemna minor* en tant que source de protéines dans l'alimentation des juvéniles du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*).

II. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site d'étude et conception

Cette étude a été réalisée au département d'Aquaculture du Centre de Recherches Océanologiques (CRO) à Abidjan en Côte d'Ivoire, Six régimes expérimentaux titrés à 35 % de protéines ont été formulés par un remplacement graduel de la farine de poisson par la farine fermentée de *Lemna minor* pour des juvéniles de tilapia (*Oreochromis niloticus*). L'effet de cette substitution sur les paramètres zootechniques des poissons ont été évalués.

2.2. Isolement de Bacillus de l'intestin du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus*

Les Bacillus commensaux de la flore intestinale de *Oreochromis niloticus* ont été d'abord isolés. Ensuite, ils ont été utilisés pour la fermentation des lentilles d'eau *Lemna minor*. Pour ce faire, les poissons (100 g) utilisés ont été privés de nourriture pendant 72 heures, afin de nettoyer le tractus intestinal et d'éliminer les bactéries qui y transitaient. Après cette période de privation, les poissons ont été sacrifiés d'un coup sec sur la tête. Avant la dissection, la surface ventrale des poissons a été nettoyée avec une solution d'éthanol à 70 %. Les poissons ont été disséqués de manière aseptique sur une plaque entre deux flammes de bec bunsen. L'intestin a été prélevé, vidé et soigneusement rincé trois fois dans une solution saline stérile à 0,9 %, afin d'éliminer les bactéries non adhérentes [20]. L'intestin a été broyé et homogénéisé dans la solution saline stérile (1/10 ; p/v). L'homogénat obtenu a été utilisé pour la culture des bactéries. L'identification phénotypique des Bacillus a été réalisée par la recherche du type de Gram, de la catalase (enzymes décomposant l'eau oxygénée) et de l' α -amylase (enzymes hydrolysant l'amidon) [24]. Les bactéries Gram positif, catalase positive et hydrolysant l'amidon caractérisant le genre Bacillus ont été isolés. Ensuite, elles ont été repiquées par stries sur plusieurs boîtes de pétri contenant de la gélose nutritive à 1 % d'amidon pour la fermentation des lentilles d'eau *L. minor*.

2.3. Ingrédients alimentaires et préparation des régimes

Les lentilles d'eau *Lemna minor* utilisées dans cette étude ont été cultivées au département d'aquaculture du CRO selon la méthode de Tavares et al. [22]. Les lentilles d'eau récoltées ont été lavées trois fois à l'eau du robinet afin de les débarrasser des corps étrangers. Ensuite, les lentilles d'eau ont été fermentées selon la méthode utilisée par Utomo et al. [23]. Les lentilles d'eau ont été précuites à la vapeur pendant 5 minutes. Après essorage et refroidissement des lentilles d'eau précuites, les Bacillus extraits de l'intestin du tilapia *Oreochromis niloticus* ont été ajoutés à raison de 0,5 % du poids total des lentilles d'eau précuites. Les lentilles précuites et l'extrait de Bacillus ont été mélangés manuellement dans un récipient puis incubée à 37° C pendant 48 heures. Les lentilles fermentées obtenues ont été séchées à l'étuve à 50° C. La farine fermentée obtenue après broyage des lentilles fermentées séchées a servi à formuler six (6) régimes expérimentaux dans lesquels la farine de poisson a été remplacée graduellement par 0, 15, 30, 50, 75, 100 % de farine fermentées de lentilles *L. minor*. La formule et la composition analytique des aliments expérimentaux sont présentées au Tableau I.

Tableau I : Ingrédients et composition analytique des régimes expérimentaux formulés

Désignation	Régimes tests					
	S0	S15	S30	S50	S75	S100
Ingrédients (g/100g)						
Farine de poisson	60	51	42	30	15	0
Farine de <i>L. minor</i> fermenté	0	9	18	30	45	60
Tourteau de soja	2	4	8	12	18	24
Amidon de manioc	26	24	20	16	10	4
Huile de palme	9	9	9	9	9	9

Prémix ⁽¹⁾	3	3	3	3	3	3
Total	100	100	100	100	100	100
Composition nutritionnelle						
Matière sèche (% MS)	95,33	92,73	92,69	92,65	91,75	90,23
Protéines (% MS)	35,71	35,04	35,29	35,01	35,11	35,21
Lipides (% MS)	14,88	13,7	13,15	12,36	11,41	10,46
Glucides totaux (% MS) ⁽²⁾	32,20	34,27	35,34	37,43	39,54	41,65
Cendres (% MS)	12,14	12,04	11,87	11,57	11,24	10,92
Fibres (% MS)	0,10	0,33	0,67	1,04	1,56	2,08
Energie digestible (kJ/100g) ⁽³⁾	15,95	15,59	15,51	15,35	15,19	15,04
P/E (mg protéines/kJ/ED)	22,39	22,48	22,75	22,8	23,11	23,42

S0 : Régime avec 100 % de farine de poisson ; **S30** : Régime avec 30 % de substitution de farine de poisson ; **S50** : Régime avec 50 % de substitution de farine de poisson ; **S75** : Régime avec 75% de substitution de farine de poisson ; **S100** : Régime avec 100 % de substitution de farine de poisson.

(1) : Prémix de vitamines et de minéraux par Kg d'aliment : vitamine A1 760 000 UI, vitamine D3 880 000 UI, vitamine E 22 000 mg, vitamine B1 4 400 mg, vitamine B2 5 280 mg, vitamine B6 4 400 mg, vitamine B12 236 mg, vitamine C 151 000 mg, vitamine K 4 400 mg, vitamine P 35 200 mg, acide folique 880 mg, chlorure de choline 220 000 mg, acide pantothénique D 14 080 mg, cobalt 20 mg, fer 17 600 mg, iode 2 000 mg, cuivre 1 600 mg, zinc 60 000 mg, manganèse 10 000 mg, sélénium 40 mg.

(2) : Glucides totaux (%) : $100 - (\% \text{ Lipides} + \% \text{ Protéines} + \% \text{ Humidité})$

(3) : Energie digestible (kJ/g) = $(18,8 \times \% \text{ Protéines}) + (37,7 \times \% \text{ Lipides}) + (11,3 \times \% \text{ ENA})$

2.4. Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé était constitué de 18 aquariums en verre (contenant 50 L d'eau) en circuit fermé. Le système est constitué d'une pompe électrique (5 L/ min ; puissance 550 Watts), d'un fût de 200 Litres qui fournit de l'eau à un débit de 1,5 L/ min aux différents aquariums à travers une série de tuyaux de circulation d'eau et d'un bac de recueillement. Au centre de chaque aquarium, se trouve un tuyau qui joue le rôle de trop plein maintenant le niveau de l'eau à la quantité souhaitée. L'eau a été filtrée par décantation et un renouvellement d'eau à 30 % est effectué quotidiennement.

2.5. Elevage de poisson et alimentation

L'expérimentation a été effectuée sur 225 juvéniles de *O. niloticus* préalablement conditionnés pendant une semaine avant l'étude expérimentale. Durant cette période, les poissons ont été nourris à satiété apparente à 9 heures et à 16 heures [19] avec un aliment commercial à 35 % de protéines. Après cette période, quinze (15) poissons ont été prélevés pour la détermination de la composition corporelle initiale des poissons. Ensuite, selon les régimes, six (6) lots de poissons ont été constitués et répliqués en trois (3) fois. Les juvéniles ($25,55 \pm 0,28$) ont été répartis de façon aléatoire dans 18 aquariums à raison de dix (10) individus par aquarium [4]. Le triplicat de chaque lot a reçu un régime sur une période de cinquante-six (56) jours. Tous les jours, pendant le nourrissage la température ($27,50$ à $27,90$ °C), le pH ($7,74$ à $7,98$) et l'oxygène dissous ($6,05$ à $6,31$ mg/L) ont été mesurés *in situ* avec un multi paramètre (HANNA, HI 9828) entre 7 h et 8 h. Les poissons morts de chaque aquarium s'il y a lieu, ont été retirés, comptés et pesés. Puis, une quantité d'aliment de chaque régime alimentaire et pour chaque aquarium a été pesée, puis distribuée manuellement à satiété apparente aux poissons à 9 h [4]. Une heure après chaque nourrissage, les restes d'aliments non

consommés ont été siphonnés et séchés à l'étuve pour être quantifiés [1], permettant ainsi de déterminer la quantité approximative d'aliment ingéré. Chaque semaine, les poissons de chaque aquarium ont été retirés à l'aide d'une pissette, comptés et pesés individuellement [4] à l'aide d'une balance de précision (modèle PS 1000.R1). A cela s'ajoute un nettoyage des aquariums, des filtres et du bac de recueillement afin d'éviter les risques de pollution du milieu. Afin d'éviter également que le stress lié à la manipulation n'occasionne des morts, les poissons n'ont pas été immédiatement nourris. Ils ont donc reçu un seul repas à 16 h. A la fin de l'expérience qui a duré huit (8) semaines, tous les poissons de chaque aquarium ont été retirés, pesés individuellement et comptés. Également, quinze (15) poissons par régime alimentaire ont été prélevés et conservés au congélateur à -20 °C pour les analyses de la composition corporelle finale.

2.6. Méthodes analytiques

Les analyses ont été effectuées sur les régimes expérimentaux. La matière sèche des différents échantillons a été déterminée par séchage à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures. Les méthodes standard ont été utilisées pour les analyses de protéines, lipides et fibres [2]. Les protéines brutes (% N x 6,25) ont été dosées par la méthode de Kjeldahl, les lipides avec de l'hexane à chaud au soxhlet, les fibres par hydrolyse acide et alcaline. La teneur en cendre ont été déterminés par incinération des échantillons au four à moufle à 550 °C pendant 24 heures [3]. Les extractifs non azoté ont été déterminés par la méthode utilisée par Kerdchuen [16].

2.7. Paramètres zootechniques et indicateurs de santé

- Les paramètres de croissance ont été déterminés selon les formules suivantes [25] :

$$\text{Taux de survie (TS, \%)} = N_f / N_i$$

$$\text{Gain de poids quotidien (GPQ, g/j)} = (P_f - P_i) / t$$

$$\text{Taux de croissance spécifique (TCS, \% / j)} = (\ln P_f - \ln P_i) / (t \times 100)$$

Avec, **Pi** est le poids initial, **Pf** le poids corporel final de poissons, **t** la durée de l'expérience,

Ni est le nombre initial de poisson, **Nf** le nombre final de poissons.

- Les paramètres d'utilisation de l'aliment ont été déterminés comme suite :

$$\text{Indice de conversion alimentaire (ICA)} = \text{Quantité d'aliments secs distribuée (g)} / \text{Gain de poids (g)}$$

$$\text{Coefficient d'efficacité protéique (CEP)} = \text{Gain de poids corporel (g)} / \text{Protéines ingérées (g)} \quad [25]$$

$$\text{Coefficient de rétention du Nutriment (\%)} = [(P_f \times N_{cf}) - (P_i \times N_{ci}) / N_{ti}] \times 100 \quad [6]$$

Avec, **Pf** est le poids final, **Ncf** le nutriment corporel final, **Pi** le poids initial, **Nci** le nutriment corporel initial, **Nti** le nutriment total ingéré.

2.8. Analyse statistique

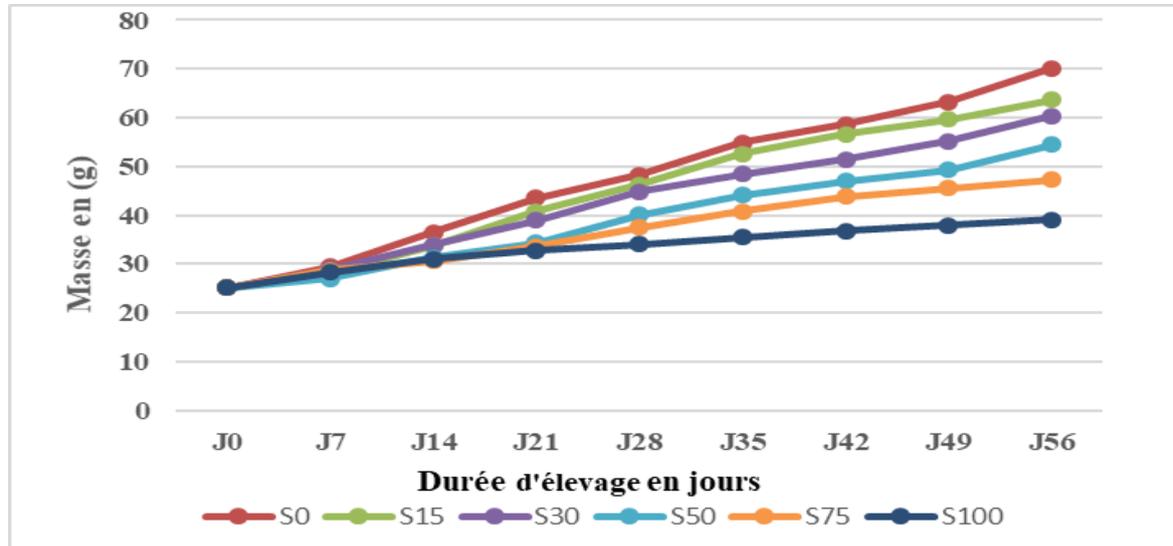
Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1. software (Informer Technologies Inc, France). Des statistiques descriptives ont été réalisées pour les données collectées sur les paramètres de croissance, l'utilisation des aliments et la composition corporelle. L'ANOVA à un facteur a permis de comparer les valeurs, et les différences significatives au seuil de 5 %. Des comparaisons multiples supplémentaires des moyennes ont été effectuées avec le test HSD Tukey.

III. RESULTATS

3.1. Paramètres de croissance

La Figure 1 présente l'évolution de la masse des juvéniles de *O. niloticus* nourris avec les différents régimes expérimentaux en fonction de la durée d'élevage. L'évolution des biomasses au cours de l'expérience a montré une croissance similaire chez tous les juvéniles nourris avec les différents régimes expérimentaux pendant 7 jours. Après cette période, les

masses des poissons nourris avec le régime sans *L. minor* fermenté (S0) se sont distinguées des autres. A partir du 21^{ème} jours (J₂₁) une différence de masse apparaît entre les lots des poissons soumis aux différents régimes expérimentaux.



S0 : Régime témoin contenant 0 % *L. minor* fermenté ; S15 : Régime contenant 15 % *L. minor* fermenté ;

S30 : Régime contenant 30 % *L. minor* fermenté ; S50 : Régime contenant 50 % *L. minor* fermenté ;

S75 : Régime contenant 75 % *L. minor* fermenté ; S100 : Régime contenant 100 % *L. minor* fermenté.

Fig 1. Evolution de la croissance en masse des juvéniles de *O. niloticus* nourris avec les régimes contenant différents pourcentages de la farine de *L. minor* fermenté sur une période de 56 jours d'élevage en aquarium

Le Tableau II présente les valeurs des paramètres de croissance et de survie des juvéniles de *O. niloticus* après 56 jours d'élevage. Les taux de survie (TS) ont oscillé entre 93,71 et 95,24 %, et il n'y a aucune différence significative ($p > 0,05$) entre ces valeurs. Les masses moyennes finales (Mmf) enregistrées sont comprises entre 41,84 et 70,07 g. Le gain moyen quotidien de masse (GMQ) a varié entre 0,29 et 0,80 g/j et le taux de croissance spécifique (TCS) entre 0,88 et 1,80 %/j. Les valeurs de ces paramètres sont significativement (ANOVA, $p < 0,05$) plus élevées chez les poissons nourris avec le régime alimentaire témoin que chez ceux ayant reçu les autres régimes. En effet, on observe que les valeurs de la masse moyenne, du gain moyen quotidien, et du taux de croissance spécifique diminuent avec l'augmentation du taux de substitution de farine de poisson par la farine de *L. minor* fermenté dans les régimes alimentaires.

Tableau II : Paramètres de croissances chez *O. niloticus* pendant 56 jours d'élevage

Paramètres	Régimes alimentaires expérimentaux					
	S0	S15	S30	S50	S75	S100
Mmi	25,55±0,15 ^a	25,42±0,24 ^a	25,17±0,05 ^a	25,81±0,07 ^a	25,86 ± 0,03 ^a	25,51±0,12 ^a
Mmf	70,07±0,03 ^f	63,97±0,96 ^e	60,53±0,55 ^d	55,15±0,10 ^c	48,00±0,25 ^b	41,84±0,33 ^a
TS (%)	95,24±8,25 ^a	94,47±8,25 ^a	95,13±0,24 ^a	93,81±5,29 ^a	94,11±6,30 ^a	93,71±4,14 ^a
GMQ(g/j)	0,80±0,11 ^f	0,69±0,03 ^e	0,63±0,01 ^d	0,52±0,02 ^c	0,40±0,04 ^b	0,29±0,01 ^a
TCS (%/j)	1,80±0,01 ^f	1,65±0,02 ^e	1,57±0,02 ^d	1,36±0,03 ^c	1,10±0,01 ^b	0,88±0,02 ^a

Sur chaque ligne, les valeurs affectées de lettres différentes indiquent une différence statistique significative ($p < 0,05$). **Mmi** : Masse moyenne initiale ; **Mmf** : Masse moyenne finale ; **S0** : Régime témoin contenant 0 % *L. minor* fermenté ; **S15** : Régime contenant 15 % *L. minor* fermenté ; **S30** : Régime contenant 30 % *L. minor* fermenté ; **S50** : Régime contenant 50 % *L. minor* fermenté ; **S75** : Régime contenant 75 % *L. minor* fermenté ; **S100** : Régime contenant 100 % *L. minor* fermenté.

3.2. Paramètres d'utilisation des aliments

Les paramètres d'utilisation des aliments et de rétention des nutriments chez *Oreochromis niloticus* sont indiqués dans le Tableau III. L'indice de consommation (IC) et le coefficient d'efficacité protéique (CEP) ont varié respectivement de 1,15 à 3,39 et de 1,07 à 2,28, avec une différence significative (ANOVA, $p < 0,05$) entre ces valeurs. Les poissons nourris avec le régime alimentaire témoin ont présenté la plus faible valeur concernant l'IC et la valeur la plus élevée de CEP. Les indices de consommation ont évolué de manière croissante avec l'augmentation du taux de substitution de farine de poisson par la farine de *L. minor* fermenté. Par contre, les coefficients d'efficacité protéique ont évolué inversement. Par ailleurs, les coefficients de rétention des nutriments ont varié de 27,18 à 78,43 % pour le coefficient de rétention protéique (CRP), de 21,43 à 38,01 % pour le coefficient de rétention des lipidique (CRL) et le coefficient de rétention énergétique (CRE) de 76,01 à 87,46 %. Ces valeurs sont significativement ($p < 0,05$) moins élevées chez les poissons nourris avec le régime alimentaire témoin (S0) que chez ceux ayant reçu les autres régimes alimentaires expérimentaux formulés, à l'exception de la valeur du CRP qui a été plus élevée. Au niveau des régimes alimentaires expérimentaux formulés, les valeurs du CRP ont été décroissantes du régime alimentaire S0 à S100 avec l'augmentation du taux de substitution de la farine de poisson. Pour les CRL et CRE, une évolution inverse a été observée avec l'augmentation du taux de substitution.

Tableau III : Paramètres d'utilisation des aliments et de rétention des nutriments chez le tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* après 56 jours d'élevage

Paramètres	Régimes alimentaires expérimentaux					
	S0	S15	S30	S50	S75	S100
I.C	1,15±0,11 ^b	1,19±0,03 ^c	1,3±0,04 ^d	1,7±0,31 ^e	2,29±0,10 ^f	3,39±0,39 ^g
C.E.P	2,28±0,23 ^f	2,22±0,11 ^e	2,18±0,12 ^d	1,81±0,34 ^c	1,44±0,06 ^b	1,07±0,12 ^a
CRP (%)	78,43±3,97 ^f	70,52±1,95 ^e	66,71±5,76 ^d	46,13±7,9 ^c	28,38±2,99 ^b	27,18±5,38 ^a
CRL (%)	21,43±2,5 ^a	22,9±3,31 ^b	26,10±0,73 ^c	28,20±4,52 ^d	36,28±1,70 ^e	38,01±4,41 ^f
CRE (%)	76,01±2,93 ^b	77,30±3,35 ^c	79,08±2,33 ^b	83,27±2,77 ^c	86,46±1,81 ^f	87,46±1,78 ^g

Sur chaque ligne, les valeurs affectées de lettres différentes indiquent une différence statistique significative ($p < 0,05$). **S0** : Régime témoin contenant 0 % *L. minor* fermenté ; **S15** : Régime contenant 15 % *L. minor* fermenté ; **S30** : Régime contenant

30 % *L. minor* fermenté ; **S50** : Régime contenant 50 % *L. minor* fermenté ; **S75** : Régime contenant 75 % *L. minor* fermenté ; **S100** : Régime contenant 100 % *L. minor* fermenté ; **IC** : Indice de consommation ; **CEP** : Coefficient d'efficacité protéique. **CRP** : Coefficient de rétention protéique ; **CRL** : Coefficient de rétention lipidique ; **CRE** : Coefficient de rétention énergétique.

3.3. Composition biochimique corporelle des poissons

La variation de la composition corporelle (% en matières sèches) des poissons (*O. niloticus*) élevés pendant 56 jours est consignée dans le Tableau IV. Les teneurs en matières sèches ont oscillé entre 96,33 et 97,97 %. Il n'y aucune différence statistique (ANOVA, $p > 0,05$) entre les teneurs en matières sèches des poissons nourris avec le régime alimentaire témoin et les autres régimes alimentaires testés. Au niveau de la teneur en protéines, les valeurs ont varié de 34,48 à 43,09 %. Les poissons nourris avec le régime alimentaire témoin, les régimes alimentaires contenant 15 et 30 % de *L. minor* fermenté (S15 et S30) ont des valeurs similaires. Concernant les autres régimes alimentaires testés (S50, S75 et S100), les teneurs en protéines sont significativement (ANOVA, $p < 0,05$) plus élevées dans les poissons nourris avec les régimes alimentaires contenant 50 % de *L. minor* fermenté (S50). Les teneurs en protéines des poissons recevant les régimes alimentaires contenant 75 et 100 % de *L. minor* fermenté (S75 et S100) sont les plus faibles. S'agissant des teneurs en lipides, les valeurs des poissons nourris avec les régimes alimentaires S100 et S75 ont été identiques et significativement (ANOVA, $p < 0,05$) plus élevées que celles de poissons ayant reçu les régimes alimentaires S0, S15 et S30 dont les valeurs sont similaires. Les teneurs en cendres ont oscillé entre 17,31 et 18,26 %. Les poissons nourris avec les régimes alimentaires S0, S15 et S30 ont obtenu des valeurs comparables et les plus élevées. Les teneurs des poissons nourris avec les régimes alimentaires S50, S75 et S100 sont semblables et les plus faibles. Concernant l'énergie brute des poissons, les teneurs ont varié de 20,44 à 21,28 kJ/g. Ces valeurs sont significativement (ANOVA, $p < 0,05$) plus élevées chez les poissons nourris avec les régimes alimentaires S75, S100, et moins élevées chez les poissons ayant reçu les autres régimes alimentaires. Les teneurs en minéraux n'ont pas révélé de différence significative entre les différents lots de poissons soumis aux régimes alimentaires expérimentaux. La teneur en calcium a varié de 3,19 à 3,99 mg/100g, la teneur en sodium de 0,85 à 0,90 mg/100g, la teneur en potassium de 130,15 à 131,17 mg/100g, la teneur en magnésium de 36,58 à 37,04 mg/100g et la teneur en phosphore de 28,25 à 28,32 %.

Tableau IV : Variation de la teneur en macronutriments et en sels minéraux de la composition corporelle des juvéniles du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* en fonction des régimes alimentaires expérimentaux

Paramètres	Régimes alimentaires expérimentaux					
	S0	S15	S30	S50	S75	S100
MS (%)	97,37±1,19 ^b	97,30±0,15 ^b	97,97±0,11 ^b	97,23±0,24 ^b	96,33±0,49 ^b	96,65±0,35 ^b
Protéines (%)	43,09±0,51 ^c	42,42±0,17 ^c	42,16±0,55 ^c	37,75±0,11 ^b	34,55±0,19 ^a	34,48±0,08 ^a
Lipides (%)	19,27±1,19 ^a	19,98±0,45 ^a	20,01±0,22 ^a	23,29±0,16 ^c	24,53±0,34 ^d	24,73±0,31 ^d
Cendres (%)	18,26±0,24 ^b	18,11±0,40 ^b	18,02±0,11 ^b	17,58±0,14 ^a	17,51±0,41 ^a	17,31±0,11 ^a
EB (kJ/g)	20,44±0,04 ^a	20,55±0,24 ^a	20,86±0,07 ^a	20,68±0,19 ^a	21,27±0,10 ^b	21,28±0,07 ^b
Ca (mg/100g)	3,28±0,04 ^a	3,31±0,03 ^a	3,99±0,02 ^a	3,30±0,20 ^a	3,20±0,10 ^a	3,19±0,02 ^a
Na (mg/100g)	0,87±0,03 ^a	0,88±0,02 ^a	0,90±0,08 ^a	0,87±0,02 ^a	0,89±0,02 ^a	0,85±0,01 ^a
K (mg/100g)	130,15±1,87 ^a	130,71±0,46 ^a	130,42±0,52 ^a	131,17±0,19 ^a	131,08±0,1 ^a	131,01±0,14 ^a
Mg (mg/100g)	37,02±0,09 ^a	36,58±0,08 ^a	37,04±0,04 ^a	36,66±0,02 ^a	36,83±0,08 ^a	36,77±0,92 ^a
P (%)	28,29±0,13 ^a	28,28±0,07 ^a	28,01±0,04 ^a	28,3±0,01 ^a	28,32±0,04 ^a	28,25±0,11 ^a

Sur chaque ligne, les valeurs affectées de lettres différentes indiquent une différence statistique significative ($p < 0,05$). Composition corporelle initiale : 97,94 % de matière sèche ; 30,27 % de protéines ; 4,59 % de lipides ; 24,97 % de cendres et

15,41kJ/g d'énergie brute. **MS** : Matière sèche ; **EB** : Energie brute ; **S0** : Régime témoin contenant 0 % *L. minor* fermenté ; **S15** : Régime contenant 15 % *L. minor* fermenté ; **S30** : Régime contenant 30 % *L. minor* fermenté ; **S50** : Régime contenant 50 % *L. minor* fermenté ; **S75** : Régime contenant 75 % *L. minor* fermenté ; **S100** : Régime contenant 100 % *L. minor* fermenté ; **Ca** : Calcium ; **Na** : Sodium ; **K** : Potassium ; **Mg** : Magnesium ; **P** : Phosphore.

IV. DISCUSSION.

Selon l'approche méthodologique utilisée, les juvéniles du tilapia ont été soumis à cinq régimes alimentaires tests dans lesquels la farine de poisson a été partiellement substituée par la farine fermentée de *L. minor*. Nos résultats ont montré que les paramètres de croissance et d'utilisation des aliments sont influencés par le niveau d'incorporation de la farine fermentée de *L. minor*. Ainsi, avons-nous observé une baisse du gain moyen quotidien de masse (GMQ) et du taux de croissance spécifique (TCS) avec l'augmentation du taux de substitution. Les meilleures croissances ont été donc obtenues chez les poissons nourris avec le régime alimentaire S0 suivi de S15 et S30 par rapport aux autres régimes alimentaires contenant la farine fermentée de *L. minor*. Au niveau de l'utilisation des aliments, il a été observé que l'indice de consommation alimentaire (IC) augmentait avec le niveau de substitution, quand le coefficient d'efficacité protéique (CEP) évoluait inversement. Les poissons ont mieux utilisé le régime alimentaire S0 suivi de S15 et S30 avec de faibles IC et des CEP élevés par rapport aux autres régimes alimentaires tests. Cette bonne utilisation du régime S0 suivi des régimes alimentaires S15 et S30 s'est traduit par des coefficients de rétention protéique (CRP) plus élevés chez ces poissons. Cependant, le CRP diminue, quand les coefficients de rétention lipidique (CRL) et énergétique (CRE) augmentent avec le taux de substitution. En Inde, de meilleures performances de croissance ont été obtenues également avec une substitution de 30 % de la farine de poisson par la farine fermentée de *L. polyrhiza* chez le poisson Rohu, *Labeo rohita* [5]. Dans la même gamme, une incorporation de 20 % d'azolla fermenté a permis d'augmenter la digestibilité des aliments avec de faibles IC et des CEP élevés chez *O. niloticus* [13]. Au Brésil, une substitution de 21 % de la farine de poisson par la farine fermentée de soja n'a pas affecté la croissance des poissons *Carassius auratus* [8].

Etant donné que les régimes alimentaires étaient isoprotéiques, les faibles taux de croissances (GMQ et TCS) et d'utilisation des aliments en termes de CRP chez les poissons nourris avec les régimes alimentaires S50, S75 et S100 pourraient s'expliquer par la baisse de la teneur en acides aminés essentiels (AAE) due à la part importante de protéines d'origine végétale avec l'incorporation croissante de la farine fermentée *L. minor*. En effet, il a été rapporté chez la carpe herbivore une baisse de l'activité des enzymes digestives et absorbantes lorsqu'elle était nourrie avec un niveau élevé de protéines végétales, mais cette condition a été améliorée par l'ajout de lysine et de méthionine dans le régime alimentaire [14].

Contrairement au CRP qui diminue avec le taux de substitution, il a été constaté une évolution inverse avec les coefficients de rétention lipidique (CRL) et énergétique (CRE). Cette tendance observée au niveau des coefficients de rétention expliquerait la composition corporelle des poissons en fonction des régimes testés. Des auteurs ont rapporté que la composition biochimique des animaux aquatiques change en fonction du régime alimentaire et de sa composition nutritionnelle [26].

Dans cette étude, les niveaux d'incorporation de 15 et 30 % de farine fermentée de *L. minor* n'ont pas, affecté la composition de la chair du poisson comparé au régime alimentaire témoin (S0). Nos résultats sont corroborés par les études de Rodiles et al. [21]. En effet, ces auteurs ont rapporté qu'une substitution de 30 % de la farine de poisson par des sources de protéines végétales n'entraîné aucun changement dans la composition de la chair chez la sole sénégalaise.

Quant à la faible teneur en protéines corporelles observée chez les poissons ayant reçu les régimes alimentaires contenant 50, 75 et 100 % de *L. minor* fermenté, elle pourrait s'expliquer par une faible biosynthèse de protéines liée à la part importante de protéines végétales dans ces régimes. En effet, il a été rapporté que les voies anaboliques des protéines chez la morue de l'Atlantique sont affectées lorsqu'elle est nourrie avec des niveaux élevés (75 %) de protéines végétales [17]. De même, les fortes teneurs en lipides enregistrées chez les poissons des régimes S100, S75 et S50 serait probablement dues au taux élevé de protéines végétales. En effet, il a été rapporté que les protéines végétales dans l'alimentation augmentent le dépôt de graisse chez le bar européen [15].

V. CONCLUSION

Cette étude a évalué la possibilité de remplacer de la farine de poisson par la farine de lentille *Lemna minor* fermentée dans l'alimentation des juvéniles du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus*. Les poissons nourris avec les régimes alimentaires contenant 15 % et ensuite 30 % de substitution de farine de poisson ont présenté les meilleures performances en termes de croissance et d'utilisation des aliments. Une substitution de la farine de poisson par la farine fermentée de lentilles allant jusqu'à 30 % serait donc envisageable dans la formulation des aliments pour poissons.

Financement : Cette recherche n'a reçu aucune subvention spécifique de la part d'agences de financement des secteurs public, commercial ou à but non lucratif.

Déclaration de conflit d'intérêts : Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Contributions des auteurs : Conceptualisation, DPS ; méthodologie, DPS., BMC ; collecte des données, DPS., YGM ; analyse statistique, DPS ; rédaction de la première version du manuscrit, DPS., YAF., KKP ; Tous les auteurs ont contribué à la relecture et à la révision de l'écriture. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version publiée du manuscrit.

Remerciements : Nous tenons à remercier le Centre de Recherches Océanologiques (CRO) en Côte d'Ivoire pour l'assistance scientifique et le soutien éditorial.

REFERENCES

- [1] Aderolu A.Z. and Akinremi O.A. (2009). Dietary Effects of Coconut Oil and Peanut Oil in Improving Biochemical Characteristics of *Clarias gariepinus* Juvenile. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 9(1): 105-110.
- [2] AOAC. 1990. Official methods of analysis (16th edn) Association of Official Analytical Chemists. Arlington, V.A. USA, 250p.
- [3] AOAC. 1995. The Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15th ed). Washington, D.C., USA, 1230p.
- [4] Babalola T.O.O. and Apata D.F. (2006). Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance and body composition of African catfish *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840) fingerlings. *Journal of Animal Veterinary advances*, 5(12): 1073-1079.
- [5] Bairagi A., Sarkar Ghosh K., Sen S.K. and Ray A.K. (2002). Duckweed (*Lemna polyrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium. *Bioresource Technology*, 85(1): 17-24.
- [6] Carvalho M.A.G. de., Fernandes L.F.L. and Gomes L. de C. (2017). Digestibility, protein retention rate and ammonia excretion in juvenile fat snook (*Centropomus parallelus*) fed with different protein levels. *Ciência Rural*, 47: 7.
- [7] Collins S.A., Øverland M., Skrede A. and Drew M.D. (2013). Effect of plant protein sources on growth rate in salmonids: Meta-analysis of dietary inclusion of soybean, pea and canola/rapeseed meals and protein concentrates. *Aquaculture*, 400-401: 85-100.
- [8] Da Cunha L., Besen K.P., de Oliveira N.S., Delzivo F.R., Gomes R., da Cruz J.M., Picoli F., Gisbert E., Skoronski E. and El Hadi Perez Fabregat T. (2022). Fermented soybean meal can partially replace fishmeal and improve the intestinal condition of goldfish juveniles reared in a biofloc system. *Aquaculture Research*, 53(18): 6803-6815.
- [9] Djeke P.S., Yéo G.M., Alla L.Y., Amian A.R.F., Kouamé K.P., Yapo A.F. and Blé M.C. (2023). Nutritional Potential and Apparent Digestibility of Organic Matter, Protein, and Energy of Two Duckweeds (*Lemna minor* and *Lemna aequinoctialis*) In Juvenile Tilapia *Oreochromis Niloticus* (Brazil Strain). *Aquaculture & Fisheries*, 7(1): 1-9.

- [10] Djeke P.S., Yeo G.M., Kouame K.P., Alla Y.L., Amian A.R.F., Yapo A.F. and Ble M.C. (2022). Effect of Four Treated Forms of *Lemna minor* on Zootechnical Balance and Digestive Performance of Juvenile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in Côte d'Ivoire (West Africa). *Pakistan Journal of Nutrition*, 21(1): 35-46.
- [11] FAO. (2022). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022: *Vers une transformation bleue*.
- [12] Hasimuna O.J., Maulu S., Monde C. and Mweemba M. (2019). Cage aquaculture production in Zambia: Assessment of opportunities and challenges on Lake Kariba, Siavonga district. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45(3): 281-285.
- [13] Hundare S.K., Pathan D.I. and Ranadive A.B. (2018). Use of Fermented Azolla in Diet of Tilapia Fry (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 9(6): 702-706.
- [14] Jiang J., Shi D., Zhou X.Q., Feng L., Liu Y., Jiang W.-D., Wu P., Tang L., Wang Y. and Zhao Y. (2016). Effects of lysine and methionine supplementation on growth, body composition and digestive function of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fed plant protein diets using high-level canola meal. *Aquaculture Nutrition* 22(5): 1126-1133.
- [15] Kaushik S.J., Covès D., Dutto G. and Blanc D. (2004). Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of a marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 230(1): 391-404.
- [16] 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 (PhD Thesis). Université Paris 6, 171p.
- [17] Lie K. k., Hansen A.C., Eroldogan O. t., Olsvik P. a., Rosenlund G. and Hemre G.I. (2011). Expression of genes regulating protein metabolism in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) was altered when including high diet levels of plant proteins. *Aquaculture Nutrition*, 17(1): 33-43.
- [18] Mustapha A. (2020). Improving the quality of aquafeed for an effective food security in small scale African aquaculture. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 7(3): 274-282.
- [19] Nwanna L.C. (2003). Nutritional value and digestibility of fermented shrimp head waste meal by African catfish *Clarias gariepinus*. *Pakistan Journal of nutrition*, 2(6): 339-345.
- [20] Ringø E. and Strøm E. (1994). Microflora of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.): gastrointestinal microflora of free-living fish and effect of diet and salinity on intestinal microflora. *Aquaculture Research*, 25(6): 623-629.
- [21] Rodiles A., Herrera M., Hachero-Cruzado I., Ruiz-Jarabo I., Mancera J. m., Cordero M. l., Lall S. p. and Alarcón F. j. (2015). Tissue composition, blood biochemistry and histology of digestive organs in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles fed diets containing different plant protein ingredients. *Aquaculture Nutrition*, 21(6): 767-779.
- [22] Tavares F.D.A., Rodrigues J.B.R., Fracalossi D.M., Esquivel J. and Roubach R. (2008). Dried duckweed and commercial feed promote adequate growth performance of tilapia fingerlings. *Biotemas*. 21(3): 91-97.
- [23] Utomo N.B., Priyo N. and Ekasari J. (2015). Fermentation of *Azolla* sp. leaves and the utilization as a feed ingredient of tilapia *Oreochromis* sp. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 10(2): 137-143.
- [24] Vos P., Garrity G., Jones D., Krieg N.R., Ludwig W., Rainey F.A., Schleifer K.H. and Whitman W. (2009). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2nd Edition. *The Firmicute* 3: 63-67.
- [25] Yeo G.M., Blé M.C., Otchoumou K.A., Dabonne S., Yao L.A. and Etchian A.O. (2017). Digestibility and growth performance in fingerlings of tilapia *Oreochromis niloticus* fed with diet containing high-carbohydrate ingredients. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(4): 171-175.
- [26] Zhou Q.C. and Yue Y.R. (2010). Effect of replacing soybean meal with canola meal on growth, feed utilization and haematological indices of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*. *Aquaculture Research*, 41(7): 982-990.