

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Biologiques

Année : 2022/2023



N° d'enregistrement :

/...../...../...../...../

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat *Es Sciences*
En Sciences Biologiques
Spécialité : Aquaculture

**Essai d'incorporation de la farine de quelques ingrédients
localement disponibles dans l'alimentation chez le Tilapia du Nil
en aquaculture dans le sud-est d'Algérie**

Présentée et Soutenue publiquement

Par : M. MERAH Abderezak

Le 22/06/2023

Devant le jury composé de :

OULD EL HADJ M ^{ed} Didi	Professeur U.K.M. Ouargla	Président
SEKOUR Makhlof	Professeur U.K.M. Ouargla	Promoteur
GUEZOUL Omar	Professeur U.K.M. Ouargla	Co-promoteur
GHOMARI Sidi Mohammed	Professeur U.M.A.B. Mostaganem	Examineur
BENAISSA M ^{ed} Hocine	Directeur de recherche CRSTRA. Biskra	Examineur
HADJOUJ Moussa	Maître de recherche A. CRSTRA. Biskra	Examineur

Année universitaire 2022-2023

Remerciement

Les travaux de cette thèse ont été réalisés à la Station du Milieu Biophysique d'Oued Righ (**Touggourt**) au Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (**CRSTRA**). Je remercie tout d'abord le directeur de la station et particulièrement le directeur de la division Ressources Biologiques en Régions Arides de m'avoir permis d'installer mon dispositif expérimental au sein de la station.

Il m'est indispensable de remercier les membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de faire partie des évaluateurs de ce travail :

- **Mr. OULD EL HADJ M^{ed} Didi**, Professeur à l'Université KASDI Merbah Ouargla, pour avoir accepté de présider le jury;
- **Mr. GHOMARI Sidi Mohammed**, Professeur à l'Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem;
- **Mr. BENAÏSSA M^{ed} Hocine**, Directeur de recherche CRSTRA. Touggourt et;
- **Mr. HADJOU DJ Moussa**, Maître de recherche A. CRSTRA. Touggourt.

J'exprime en suite ma plus profonde gratitude à mon directeur de thèse, **Pr. SEKOUR Makhlof**, Laboratoire Bioressources sahariennes. Préservation et valorisation, département des sciences agronomiques, Université d'Ouargla, pour ses conseils, ses critiques constructives, ses qualités humaines et scientifiques qui m'ont amplement aidé à réaliser ce travail. Merci pour votre aide, votre soutien et votre sympathie tout au long de la thèse, j'ai énormément appris et je suis bien content d'avoir été votre doctorant.

J'adresse également ma plus grande reconnaissance à **Mr. GUESOL Omar**, Professeur en sciences agronomiques, Université d'Ouargla, d'avoir accepté de codiriger cette thèse, et de m'apporter des conseils précieux, faire des remarques et critiques pertinentes et constructives dans la réalisation de ce travail.

Ma profonde gratitude et mes remerciements vont également à nos collègues de la station expérimentale Milieu Biophysique Oued Righ de Touggourt (CRSTRA), et particulièrement aux membres d'équipe Zones Humides, **Pr. HALIS Youcef**, **Pr. BENHADDYA M^{ed} Lamine**, **Dr. HADJOU DJ Moussa** et **Dr. KHELLOU Meiada**, qui ont rendu possible par leur soutien et leur conseil la réalisation de bon nombre d'étape de ce travail, avec plus particulièrement **M^{me} BENHENIA Amel** pour m'avoir aidé à réaliser les analyses d'eau et **M. BENTRIA Younes** pour son aide précieuse au labo et sur terrain.

Je remercie chaleureusement les responsables et le personnel des laboratoires de la station, qui par leur aide et leur soutien ont eux aussi contribué de façon notoire à la bonne poursuite de ce travail, je leurs assure ma respectueuse considération.

Je voudrais enfin exprimer toute ma gratitude à mes collègues et amis, AMIRA Farid, BENAHMED Khadidja, KHERRAZE M^{ed} El Hafed, LAMACHE Foudil, qui d'un geste, d'une phrase ou d'un comportement m'ont apporté aide, soutien, appui et réconfort. La liste est longue mais certainement incomplète et je m'excuse par avance auprès de tous ceux que j'aurai pu oublier.

À ma femme pour sa compagnie et son soutien perpétuels.

A mes filles, Nourane, Rihem et mon nouveau né Amina Ayla dont l'éducation m'apporte un sens des responsabilités à chaque instant.

Enfin, ma dernière pensée est destinée à mes parents et à mes sœurs et frères, merci de m'avoir toujours soutenu, de m'avoir permis d'aller si loin et pour toutes les valeurs humaines que vous avez transmises.

« La louange est à Allah de par la grâce de qui se réalisent les bonnes choses »

إختبار دمج مسحوق بعض المكونات الغذائية المتوفرة محلياً في علف البلطي النيلي للاستزراع المائي في جنوب شرق الجزائر

ملخص

قيمت هذه الدراسة آثار الاستبدال الجزئي لمسحوق السمك (FP) ، بخليط مصدر بروتيني آخر متكون من مسحوق كل من عدس الماء *Lemna minor* (FLM) و دود القبابي *Tenebrio molitor* (FTM) على معدل النمو، استخدام العلف، مكونات العناصر الغذائية للجسم والعوائد الاقتصادية للبلطي النيلي (*Oreochromis niloticus*). تم إجراء تجربتين لعملية التغذية لكل منهما أربع مجموعات تجريبية، أي من أصل 180 سمكة لكل تجربة 45 منها مقسمة على ثلاث تكررات وذلك لدراسة نمو الزريعة في مرحلتها ما قبل التسمين الأولى والثانية، بوزنين متوسطين 1 غ و 5 غ على التوالي لمدة 56 يوماً من التغذية. تم تركيب واختبار أربع أعلاف متساوية البروتينات لكل تجربة على التوالي ($11,0 \pm 52,38$ و $0,04 \pm 35,35$ PB) متمثلة في العلف القياسي A_0 وثلاث أعلاف للإختبار (A_1, A_2, A_3) لتقييم فعالية مزيج FLM و FTM المتكون على التوالي من النسب (1: 5، 2: 4 و 4: 2). أظهرت نتائج نمو زريعة *O. niloticus* التي تغذت على الأعلاف التجريبية (A_1, A_2, A_3) أنها معادلة للتي تغذت على العلف القياسي (A_0). لم يلاحظ وجود فروق ذات دلالة إحصائية ($P > 0,05$) في معدل النفوق، معدلات النمو، مؤشرات استخدام الأعلاف وجودة المياه المستعملة. من ناحية أخرى، أظهرت المكونات الغذائية للتركيبية الجسمية إختلافات ذات دلالة إحصائية ($P < 0,05$) ماعدا في المحتوى المعدني. زيادات الدهون في التركيبية الجسمية بشكل ملحوظ مع زيادة مستوى إدماج FTM في الأعلاف الغذائية A_1 و A_2 ، بينما العكس صحيحاً لمحتوى الرطوبة. في حين تم الحصول على نسبة عالية من البروتين في المكونات الجسمية للأسماك التي حصلت على الأعلاف A_0 و A_3 . وإستخلص إلى أنه يمكن استبدال مسحوق السمك (FP) بنسبة تقدر بـ (4: 2) من FLM و FTM في النظام الغذائي لـ *O. niloticus* دون آثار ضارة على النمو، استخدام الأعلاف ومكونات تركيبية الجسم والأهم من ذلك المساهمة في متوسط ربح يقدر بـ 26,65 % من التكلفة المخصصة للتغذية مع الحفاظ على نفس فاعلية العلف القياسي، الأمر الذي سيكون له تأثير إيجابي على العائدات المالية لمسيير مزرعة الإستزراع السمكي.

كلمات مفتاحية : التركيبية الجسمية ، تكلفة الأعلاف ، معدل النمو ، النظام الغذائي ، استخدام الأعلاف.

Essai d'incorporation de la farine de quelques ingrédients localement disponibles dans l'alimentation chez le Tilapia du Nil en aquaculture dans le sud-est d'Algérie

Résumé

La présente étude a évalué les effets du remplacement partiel de la farine de poisson (FP) par un mélange d'autres sources de protéines, lentille d'eau *Lemna minor* (FLM) et vers de farine *Tenebrio molitor* (FTM) sur les performances de croissance, l'utilisation de l'alimentation, la composition corporelle et les rendements économiques des régimes alimentaires du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). Deux essais d'alimentation de quatre lots chacun, soit 45 poissons sur 180 répartis en trois réplicas chacun ont été constitués pour l'étude de croissance des alevins en phase de prégrossissement I et II, pesant respectivement en moyenne entre 1g et 5g pour une période de culture de 56 jours. Quatre régimes iso-protéiques de chaque essai ($38,52 \pm 0,11$ et $35,35 \pm 0,04$ % PB, respectivement), comprenant chacun un régime témoin A_0 et trois régimes tests (A_1 , A_2 et A_3), ayant été formulés et testés pour évaluer l'efficacité de la combinaison de FLM et FTM constituée respectivement des différents ratios (1 : 5, 2 : 4 et 4 : 2). Les résultats obtenus ont montré que la croissance des alevins d'*O. niloticus* nourris avec les aliments tests (A_1 , A_2 et A_3) a été équivalente à celle de ceux nourris avec l'aliment témoin (A_0). Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée dans la survie, les performances de croissance, l'utilisation des aliments et la qualité de l'eau d'élevage. En revanche, la composition des carcasses a montré de différences significatives ($P < 0,05$), à l'exception de celle des teneurs en minéraux. La matière grasse de la carcasse a augmenté de manière significative avec l'augmentation du niveau de FTM dans les aliments A_1 et A_2 , tandis que l'inverse était vrai pour la teneur en humidité. Alors que, les teneurs élevées en protéines ont été obtenues dans les carcasses des poissons recevant les aliments A_0 et A_3 . Il est conclu que la FP pourrait être substituée par le ratio (4 : 2) respectif aux FLM et FTM dans l'alimentation d'*O. niloticus* sans effets néfastes sur la croissance, l'utilisation des aliments, la composition corporelle et, surtout, la contribution d'une réduction moyenne de 26,65% des charges liées à l'alimentation en phase de prégrossissement, ce qui aurait un impact positif sur la gestion financière d'une ferme aquacole.

Mots-clés : Composition de la carcasse, Coût de l'aliment, Performances de croissance, Régime alimentaire, Utilisation de l'alimentation.

Flour incorporation test of some locally available ingredients in the diet of Nile Tilapia in aquaculture in southeastern of Algeria

Abstract

This study evaluated the effects of partial replacement of fishmeal (FM) with a mixture of other protein sources, duckweed meal (DWM) and mealworm larvae (WLM) on growth performance, feed utilization, body composition, and economic returns from diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Two experimental trials of four batches each, i.e. 45 fish out of 180 divided into three replicates each, were set up for the growth study of the fry in the pre-fattening phase I and II, weighing respectively on average between 1g and 5g for a culture period of 56 days. Four diets isoproteic ($38,52 \pm 0,11$ and $35,35 \pm 0,04\%$ CP, respectively), each comprising a control diet D₀ and three test diets (D₁, D₂ and D₃), were formulated and tested to evaluate the efficacy of the combination of DWM and WLM constituted respectively by different ratios (1:5, 2:4 and 4:2). The obtained results showed that the growth of *O. niloticus* fry fed with the test diets (D₁, D₂ and D₃) was equivalent to that of those fed with the control diet (D₀). No significant differences ($P > 0,05$) were observed in survival, growth performance, feed utilization and rearing water quality. On the other hand, the composition of the carcasses showed significant differences ($P < 0,05$), except for that of the Ash content. Carcass fat increased significantly with increasing WLM level in D₁ and D₂ diets, while the reverse was true for moisture content. Whereas, the high protein contents were obtained in the carcasses of the fish receiving D₀ and D₃ diets. It is concluded that FP could be substituted by the respective ratio (4:2) to DWM and WLM in the diet of *O. niloticus* without adverse effects on growth, feed utilization, body composition and most importantly, contribution of an average reduction of 26,65% in food-related costs, which would have a positive impact on the financial management of an aquaculture farm.

Keywords: Carcass composition, Diet, Feed cost, Feed utilization, Growth performance.

Table des matières

	Page
Remerciement	I
المخلص	III
Résumé	IV
Abstract	V
Table des matières	VI
Liste des tableaux	IX
Liste des figures	XI
Liste des abréviations	XII
Introduction	01
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I : Généralités sur l'aquaculture	
I.1. Modèles de consommation de poisson dans le monde	06
I.2. Contribution du poisson à la santé humaine et à la sécurité alimentaire	07
I.3. Production mondiale de l'aquaculture	09
I.4. Croissance de l'aquaculture et alimentation des poissons	12
I.5. Production et utilisation d'aliments pour poissons	13
I.5.1. Utilisation de poisson sauvage pour la production de poisson d'élevage	14
I.5.2. Production mondiale des aliments aquacoles	15
I.5.3. Principes de fabrication des aliments aquacoles	16
I.6. Production et disponibilité des ingrédients alimentaires	19
I.6.1. Critères de sélection	19
I.6.2. Sources alternatives de protéines animales	20
I.6.3. Sources alternatives de protéines végétales	21
I.6.4. Sources de protéines non conventionnelles et sous-utilisées	22
I.6.4.1. À base d'insectes	24
I.6.4.2. À base plantes aquatiques	25
I.7. Représentation de l'espèce d'étude (Tilapia du Nil)	26
I.7.1. Reproduction et croissance de tilapia du Nil	26
I.7.2. Alimentation de tilapia du Nil	27
I.7.3. Formulation des aliments et aliments composés	28
I.7.4. Ration et fréquence de nourrissage de tilapia	29
I.7.5. Besoins nutritionnels de tilapia du Nil en élevage intensif	30
I.7.5.1. Protéines	30
I.7.5.2. Lipides et glucides	31
I.7.5.3. Vitamines et minéraux	33
I.7.6. Carences nutritionnelles	35
I.7.7 Paramètres de la qualité d'eau d'élevage	36
I.7.7.1. Température	36
I.7.7.2. Salinité	37
I.7.7.3. Potentiel d'hydrogène (pH)	38
I.7.7.4. Oxygène dissous	38
I.7.7.5. Composés azotés	39
I.7.7.6. Photopériode	39

PARTIE EXPERIMENTALE

Chapitre II Matériel et méthodes

II.1. Localisation du site d'étude	40
II.2. Régimes expérimentaux	41
II.2.1. Sélection d'ingrédients alimentaires et formulation d'aliments	41
II.2.2. Détermination de la composition nutritionnelle des produits alimentaires	43
II.2.2.1. Humidité et matière sèche (MS).....	43
II.2.2.2. Cendres brutes (CB).....	44
II.2.2.3. Protéine brute (PB).....	44
II.2.2.4. Matière grasse (MG)	45
II.2.2.5. Fibre brute (FB)	46
II.2.2.6. Extractif non azoté (ENA).....	46
II.2.2.7. Dosage du phosphore (P).....	47
II.2.2.8. Dosage du calcium (Ca).....	48
II.2.2.9. Energie brute (EB).....	48
II.2.2.10. Acides aminés essentiels (AAE)	49
II.2.3. Formulation de régimes expérimentaux	49
II.3. Protocole expérimental	53
II.3.1. Installation expérimentale	53
II.3.2. Poisson d'élevage	53
II.3.3. Calendrier d'alimentation	54
II.3.4. Manipulation et mesure des poissons d'élevage	54
II.4. Paramètres de la qualité d'eau d'élevage	56
II.4.1. Détermination des paramètres de la qualité d'eau <i>in situ</i>	56
II.4.2. Détermination des paramètres de la qualité d'eau en laboratoire	57
II.4.2.1. Ammonium (NH ⁺ ₄)	57
II.4.2.2. Nitrate (NO ⁻ ₃)	57
II.4.2.3. Nitrite (NO ⁻ ₂)	58
II.5. Détermination des paramètres zootechniques	58
II.5.1. Taux de survie (TS)	58
II.5.2. Performances de croissance	59
II.5.2.1. Gain de poids quotidien (GPQ)	59
II.5.2.2. Taux de croissance spécifique (TCS)	59
II.5.3. Indices d'utilisation des aliments	60
II.5.3.1. Taux de conversion alimentaire (TCA)	60
II.5.3.2. Ingéré volontaire (IV)	60
II.5.3.3. Coefficient d'efficacité protéique (CEP).....	60
II.5.4. Relation longueur-poids	61
II.5.5. Facteur de condition (K)	61
II.6. Analyses économiques	62
II.6.1. Estimation du coût d'aliments.....	62
II.6.2. Taux de conversion économique (TCE)	62
II.7. Analyses statistiques	62

RESULTAS ET DISCUSSION

Chapitre III Résultats

II.1. Première expérience (Pré-grossissement I)	63
III.1.1. Utilisation et détermination de la composition nutritionnelle des aliments	63
III.1.2. Taux de survie	63
III.1.3. Performances de croissance	64
III.1.4. Indices d'utilisation des aliments	66
III.1.5. Relation longueur-poids et facteur de condition (K)	66
III.1.6. Composition corporelle d' <i>O. niloticus</i>	69
III.1.7. Coût d'aliments et rentabilité	70
III.1.8. Contrôle de la qualité d'eau	71
III.2. Deuxième expérience (Pré-grossissement II)	72
III.2.1. Utilisation et détermination de la composition nutritionnelle des aliments	72
III.2.2. Taux de survie	72
III.2.3. Performances de croissance	73
III.2.4. Indices d'utilisation des aliments	75
III.2.5. Relation longueur-poids et facteur de condition (K)	75
III.2.6. Composition corporelle d' <i>O. niloticus</i>	78
III.2.7. Coûts d'aliments et rentabilité	79
III.2.8. Contrôle de la qualité d'eau	80

CHAPITRE IV : Discussion

IV.1. Utilisation et détermination de la composition nutritionnelle des aliments	81
IV.2. Taux de survie	82
IV.3. Performances de croissance	82
IV.4. Indices d'utilisation des aliments	83
IV.5. Relation longueur-poids et facteur de condition (K)	84
IV.6. Composition corporelle d' <i>O. niloticus</i>	86
IV.7. Coût d'alimentation et rentabilité	87
IV.8. Contrôle de la qualité d'eau	87
Conclusion et perspectives	89
Références bibliographiques	91
Annexes	115

Liste des tableaux

	Page
Tableau 01 Utilisation de la production mondiale de poisson	06
Tableau 02 Besoins en poissons sauvages (en tonnes) des principales espèces d'élevage	15
Tableau 03 Principaux facteurs anti-nutritionnels des farines d'origines végétales	22
Tableau 04 Quelques exemples d'ingrédients alimentaires non conventionnels et problèmes associés à la limitation d'une utilisation conventionnelle	23
Tableau 05 Quantités de protéines dans les farines d'insectes autorisées en alimentation aquacoles	24
Tableau 06 Profil nutritionnel de déférentes plantes aquatiques	25
Tableau 07 Calendriers d'alimentation pour diverses tailles de tilapia en culture semi-intensive et intensive dans les étangs d'eau douce	30
Tableau 08 Besoins alimentaires en protéines pour le tilapia du Nil, <i>O. niloticus</i> par stade de vie	31
Tableau 09 Besoins essentiels en acides aminés du tilapia du Nil, <i>O. niloticus</i> en % des protéines alimentaires et de l'alimentation totale	31
Tableau 10 Lipides bruts, acides gras essentiels et besoins énergétiques pour la croissance d' <i>O. niloticus</i> (% MS)	32
Tableau 11 Exigences minérales d' <i>O. niloticus</i> (% des aliments secs, sauf mention contraire)	33
Tableau 12 Besoins en vitamines d' <i>O. niloticus</i> (% des aliments secs, sauf mention contraire)	34
.....	
Tableau 13 Carences en acides aminés essentiels et en acides gras essentiels	35
Tableau 14 Paramètres de qualité de l'eau d'élevage de tilapia	36
Tableau 15 Compositions biochimiques (%MS) d'ingrédients entrant dans les régimes d'essai	43
Tableau 16 Niveaux d'inclusion (%) des ingrédients utilisés dans l'alimentation en pré-grossissement I	49
Tableau 17 Niveaux d'inclusion (%) des ingrédients utilisés dans l'alimentation du pré-grossissement II	50
Tableau 18 Composition du prémélange vitamino-minéral utilisé dans les aliments expérimentaux	52
Tableau 19 Teneurs moyennes en éléments nutritionnels des aliments en pré-grossissement I	63
Tableau 20 Performances de croissance d' <i>O. niloticus</i> nourris de quatre régimes pendant 56 jours d'expérimentation I. Les valeurs (moyenne ± SD) des groupes en triplicatas	65
Tableau 21 Relation longueur-poids, coefficient de régression et paramètres du facteur de condition d' <i>O. niloticus</i> nourris avec les régimes en pré-grossissement I	68
Tableau 22 Composition biochimique de la carcasse des poissons en début et fin d'expérience I. Les résultats sont exprimés en: Moyenne ± SD de trois répétitions	69
Tableau 23 Résumé de l'analyse des paramètres de la qualité d'eau d'élevage pour les divers traitements alimentaires durant les 56 jours d'essai I	70
Tableau 24 Teneurs moyennes en éléments nutritionnels des aliments en pré-grossissement II	71

Tableau 25	Performances de croissance d' <i>O. niloticus</i> nourris de quatre régimes pendant 56 jours d'expérimentation II. Les valeurs sont moyennes \pm écart-type des groupes en triplicatas	72
Tableau 26	Relation longueur-poids, coefficient de régression et paramètres du facteur de condition d' <i>O. niloticus</i> nourris avec les régimes en pré-grossissement II	76
Tableau 27	Composition biochimique de la carcasse des poissons en début et fin d'expérience II. Les résultats sont exprimés en (moyenne \pm SD) de trois répétitions	77
Tableau 28	Résumé de l'analyse des paramètres de la qualité d'eau d'élevage pour les divers traitements alimentaires durant les 56 jours d'essai II	78

Liste des figures

	Page
Figure 01	Taux de croissance annuel de la production aquacole 12
Figure 02	Utilisation des produits de la pêche et de l'aquaculture dans le monde, 1962-2018 14
Figure 03	Consommation d'aliments aquacoles entre les principales espèces d'élevage en 2008 16
Figure 04	Schéma technique de la fabrication d'un aliment piscicole 17
Figure 05	Principe de fabrication d'un granulé. L'aliment de gauche est pressé et de celui de droite extrudé 18
Figure 06	Localisation de la station d'étude expérimentale 40
Figure 07	Procédé de fabrication de la farine de poisson 42
Figure 08	Culture, séchage et broyage de lentilles d'eau 42
Figure 09	Elevage et fabrication de la farine de vers de <i>Tenebrio molitor</i> 42
Figure 10	Types et tailles d'aliments formulés 51
Figure 11	Utilisation d'un hachoir à viande pour faire des granulés de régimes alimentaires des poissons 52
Figure 12	Installation expérimentale des essais de croissance 53
Figure 13	Prise de poids et de longueur totale des poissons d'élevage 55
Figure 14	Mesure des paramètres physico-chimiques 56
Figure 15	Performance de croissance d' <i>O. niloticus</i> nourri de régimes alimentaires d'essai I pendant huit semaines 64
Figure 16	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₀ 66
Figure 17	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₁ 66
Figure 18	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₂ 67
Figure 19	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₃ 67
Figure 20	Taux de conversion économique et coûts des régimes alimentaires d'essai I 70
Figure 21	Performance de croissance d' <i>O. niloticus</i> nourri de régimes alimentaires d'essai II pendant huit semaines 74
Figure 22	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₀ 75
Figure 23	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₁ 76
Figure 24	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₂ 76
Figure 25	Relation longueur-poids d' <i>O. niloticus</i> nourri avec le régime A ₃ 77
Figure 26	Taux de conversion économique et coûts des régimes alimentaires d'essai II 79

Liste des abréviations

- AA** : Acides aminés
- AAE** : Acides aminés essentiels
- AGE** : Acides gras essentiels
- AGPI** : Acides gras polyinsaturés
- AM** : Amidon de maïs
- ANOVA** : Analyse of variance
- AOAC** : Association of Official Agricultural Chemists
- APHA, AWWA, WEF** : Standard Methods for examination of water and wastewater.
- CB** : Cendres brutes
- CEP** : Coefficient d'efficacité protéique
- CMV** : Complexe minéraux-vitaminé
- CNRDPA** : Centre national de recherche et de développement de la pêche et de l'aquaculture
- CRSTRA** : Centre de Recherche Scientifique et technique sur les régions arides
- CuSO₄** : Sulfate de cuivre
- DGPA** : Direction générale de la pêche et de l'aquaculture en Algérie
- DHA** : Acide Docosahexaénoïque
- ES** : Ecart-type
- ENA** : Extractif Non Azoté
- EPA** : Acide Eicosapentaénoïque
- FAN** : Facteurs anti-nutritionnels
- FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- FB** : Fibre brute
- FLM** : Farine de *Lemna minor*
- FSB** : Farine de son de blé
- FTM** : Farine de *Tenebrio molitor*
- FTS** : Farine de tourteaux de soja
- FP** : Farine de poisson
- FV** : Farine d'origine végétale
- GMT** : Greenwich Mean Time
- GPQ** : Gain de poids quotidien
- HCL** : Acide chlorhydrique

HPLC : Chromatographie Liquide Haute Performante
H₂SO₄ : Acide sulfurique
IV : Ingéré volontaire
kcal : Kilocalorie
kJ : Kilojoule
KOH : Hydroxyde de potassium
K₂SO₄ : Sulfate de potassium
Log : Logarithme décimal
M : Mole
MG : Matière grasse
MS : Matière sèche
N : Nombre d'effectif
NRC : National Research Council of the National Academies
PB : Protéine brute
TCA : Taux de conversion alimentaire
TCE : Taux de conversion économique
TCS : Taux de croissance spécifique
TS : Taux de survie
Tukey : Test post-hoc (où test de comparaisons multiples)
WHO : World Health Organization

Introduction

Introduction

La demande croissante de protéines de poisson en Algérie a motivé le développement actif de l'aquaculture tant au niveau commercial qu'artisanal. La contribution de la production aquacole à l'économie algérienne s'est accrue au cours des deux dernières décennies, avec un taux de croissance moyen accru de 12,4% par an au cours de la première décennie (DGPA, 2018). L'aquaculture est considérée comme un important revenu de change, contribue à la sécurité alimentaire et fournit des emplois indispensables à de nombreuses personnes. L'aquaculture est définie par la FAO (1999) comme « L'élevage d'organismes aquatiques, y compris les poissons, les mollusques, les crustacés et les plantes aquatiques, avec une sorte d'intervention dans le processus d'élevage pour améliorer la production, comme le stockage régulier, l'alimentation et la protection contre les prédateur ». L'élevage d'organismes aquatiques peut être la propriété individuelle ou corporative du stock cultivé. L'augmentation de la capacité de production des ressources aquacoles par l'intensification semble être la voie à suivre pour répondre à la demande toujours croissante de poissons. Cela implique l'augmentation des capacités de productivité primaire, intermédiaire et terminale de notre écosystème aquatique naturel et la création d'écosystèmes aquatiques artificiels productifs grâce à une planification, un développement et une gestion appropriés (Sadiku et Jauncey, 1995).

L'aquaculture algérienne connaît actuellement un grand essor en matière de production. Depuis la création du Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques en 2000, plusieurs plans et programmes de développement ont été élaborés, permettant ainsi le démarrage de plusieurs projets privés d'aquaculture dans différentes filières d'activité, ce qui a permis à la production de passer de 1.327 tonnes en 2015 à près de 10.000 tonnes en cinq ans, dont 4.200 tonnes provient de la pisciculture d'eau douce après avoir été de 351 tonnes en an 2000 (DGPA, 2018).

La première création d'une installation aquacole en Algérie a été mise en place à la station de Bou-Ismaïl (Ouest d'Alger) en 1921. En 1937, création d'une station d'alevinage de poissons d'eau douce. Dans les années 1980, l'aquaculture a reçu un coup de pouce important, en particulier dans le complexe lacustre d'El-Kala (nord-est-algérien) (FAO, 2006). Les efforts déployés dans le développement de l'aquaculture en Algérie, notamment dans le sud du pays qui s'étend sur 2,4 millions de km², soit 87% de la superficie totale du pays et qui recèle d'importantes ressources fossiles d'eaux souterraines, estimées à plus de

40.000 milliards de m³ » (DGPA, 2018). Le recours à la géothermie en agriculture offre de réelles opportunités pour produire et transformer des produits et des aliments à coût réduit et durablement (FAO, 2014). Les tilapias sont exploités dans les zones tropicales et subtropicales sur tous les continents et dans certaines régions du globe où la présence d'eau tiède (eaux thermales ou géothermales) permet leur développement (Legendre *et al.*, 1996).

À l'instar de la Wilaya de Ouargla, le secteur a lancé des centaines de projets de pisciculture et la dynamique que connaît l'aquaculture dans la région lui permet de devenir un pôle de production et de développement de l'aquaculture d'eau douce. D'une part, en raison de la disponibilité d'un important potentiel d'eau géothermale favorable à ce type de pisciculture. D'autre part, la création d'une station expérimentale d'aquaculture saharienne (CNRDPA) à la commune de Hassi Benabdallah (créée en 2005), qui a beaucoup participé à l'autosuffisance en matière d'approvisionnement en larves des tilapias et poisson chat (DGPA, 2018). Les principales espèces de poissons utilisées en pisciculture algérienne, surtout au sud, appartenant aux familles des Cichlidae et Clariidae. Les plus utilisées sont incontestablement les tilapias, représentés par deux espèces tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et tilapia rouge (*Oreochromis spp*) (DGPA, 2018). Le tilapia représente la principale espèce élevée (Pullin, 1996). Sa croissance rapide, sa fécondité élevée et sa résistance aux eaux de pauvre qualité, en font une espèce de choix en pisciculture (Mair, 2000). De ce fait, ils devraient jouer un rôle prépondérant dans l'expansion future de l'aquaculture en Algérie.

À l'heure actuelle, il y a donc un appel à une augmentation de sa production locale, notamment dans les régions internes et sahariennes. Toutefois, l'approvisionnement en aliments de bonne qualité, produits localement, reste l'une des principales contraintes de l'expansion de l'aquaculture dans le pays (DGPA, 2018). L'alimentation animale est un déterminant majeur d'une croissance réussie et de l'intensification de la production aquacole. Elle représente une grande partie (30-70%) du coût total d'exploitation d'une pisciculture moyenne (Rumsey, 1993; El-Sayed, 2004). Il est généralement admis que le coût récurrent le plus élevé en aquaculture provient des aliments. À elle seule, l'alimentation représente environ 60 à 80% des coûts opérationnels de l'aquaculture intensive (Rola et Hasan, 2007). L'aquaculture en Algérie a commencé par l'utilisation d'aliments importés, puis l'utilisation d'aliments fabriqués localement et en usine. Cela démontre une réelle possibilité d'augmenter la production et révèle l'importance potentielle de l'alimentation des poissons en Algérie. Aujourd'hui, les aliments aquacoles

sont considérés comme un sous-secteur important de l'industrie de l'usinage des aliments pour animaux (DGPA, 2018). D'un point de vue économique, le coût des aliments aquacoles semble être l'une des principales contraintes à l'expansion accrue de l'aquaculture (FAO, 2020).

La farine de poisson est la principale source de protéines alimentaires pour l'alimentation des poissons, qui représentent généralement entre 20-60% des régimes alimentaires du poisson (Watanabe, 2002; Glencross *et al.*, 2007; FAO, 2012a). On estime qu'en 2008, le secteur de l'aquaculture a utilisé 60,8 -71,0% de la production mondiale de farines de poisson (Tacon et Metian, 2008; Lim *et al.*, 2008; FAO, 2012a). Les protéines alimentaires sont la composante principale et la plus coûteuse des aliments formulés pour les poissons (Wilson, 2002) et les coûts des aliments pour animaux ont eu tendance à augmenter avec la hausse du prix des farines de poisson. Par exemple, le coût de l'alimentation des poissons a augmenté de 73% de 2005 à 2008 (FAO, 2012a). Par conséquent, afin de réduire les coûts des aliments pour animaux d'élevage et l'utilisation de farines de poisson dans les aliments pour animaux aquatiques, une utilisation plus poussée d'ingrédients alimentaires alternatifs est nécessaire (Glencross *et al.*, 2007; Lim *et al.*, 2008; Hardy, 2010; Burr *et al.*, 2012).

Toutefois, l'utilisation de farines de poisson n'est pas une stratégie alimentaire durable à long terme (Naylor *et al.*, 2009; FAO, 2010), parce qu'elle entraînera le déclin ou l'extinction de certaines espèces de poissons fourrages (Edwards *et al.*, 2004). Comme l'industrie aquacole devrait continuer à prendre de l'expansion, les farines de poisson doivent être utilisées de façon plus stratégique à mesure que les volumes de production d'aliments aquacoles requis augmentent (Güroy *et al.*, 2012). Cela représente un défi majeur pour des milliers de petits pisciculteurs, car l'alimentation est une composante majeure des coûts de production totaux et de nombreux producteurs d'aliments pour poissons dépendent encore beaucoup des poissons-fourrages et de la farine de poisson (Tacon et Metian, 2008). En 1993, Rumsey a documenté que des aliments pratiques et rentables pour l'aquaculture peuvent être produits sans l'utilisation de farine de poisson sans perte apparente de croissance des poissons chez certaines espèces comme le tilapia. Malgré le fait que la plupart des ingrédients végétaux sont facilement disponibles à un coût inférieur à celui des farines de poisson, leur utilisation dans les aliments pour poissons est habituellement limitée par une teneur relativement faible en protéines, un profil déséquilibré d'acides aminés essentiels, des niveaux élevés de fibres et d'amidon et la

présence d'un ou de plusieurs facteurs antinutritionnels humains (NRC, 1993; Agbo *et al.*, 2011). L'utilisation accrue de ressources alimentaires bon marché, disponibles localement et de protéines plus durables, ces sources sont considérées comme une priorité élevée dans l'industrie de l'alimentation du poisson qui pourrait fournir un moyen de réduire les coûts de production totaux (Edwards et Allan, 2004; Hardy, 2010). D'autres études ont également montré l'utilisation de différents types d'aliments pour animaux dans l'aquaculture traditionnelle, allant des déchets de cuisine et du feuillage dans la pisciculture de type ferme à la pêche et aux sous-produits agro-industriels comme les gâteaux à l'huile, le blé et le son de riz, les déchets d'usine, les déchets de brasserie, les résidus de haricots, les pupes de vers de soie, les déchets de volaille, les déchets d'abattoir (sang et entrailles), les poissons de rebuts ainsi les abats des poissons (Pillay et Kutty, 2005). Les coques de cabosses de cacao et l'épluchure d'arachides ont également été utilisées (Ofori, 2001).

Les caractéristiques les plus importantes des aliments pour animaux sont la biodisponibilité des nutriments; par conséquent, des données fiables sur différents ingrédients pour chaque espèce doivent être bien considérées comme une condition préalable nécessaire (Jauncey, 1993; Fagbenro *et al.*, 2003). La digestibilité des nutriments dans les régimes alimentaires des poissons doit être étudiée parce que c'est l'aliment digéré qui est absorbé et mis à disposition pour le métabolisme cellulaire. Il en résulte la synthèse et la réparation des tissus usés et de divers canaux d'utilisation de l'énergie (Yudkin, 1985; NRC, 1993). Borghesi *et al.* (2007) ont signalé que la connaissance de la digestibilité nutritive des ingrédients alimentaires suscite l'interchangeabilité des ingrédients pour animaux sans réduire les performances animales. De Silva et Anderson (1995) ont également fait observer qu'il est essentiel d'avoir connaissance de la digestibilité des principaux ingrédients ainsi que de l'ensemble de l'alimentation dans la formulation et la fabrication d'aliments pour animaux. En combinaison, les résultats de l'analyse chimique et du coefficient de digestibilité apparente nous permettent d'estimer avec précision non seulement la contribution d'une source de protéines particulière à une alimentation complète du poisson, mais aussi la quantité de déchets alimentaires et de nutriments non digérés (matières fécales) qui s'accumuleront potentiellement dans l'étang à poissons (Koprucu et Ozdemir, 2005; Jimoh *et al.*, 2010).

Au nombre de contraintes majeures reconnues comme entrave au développement de cette activité, on note le manque, sur le marché local, d'aliments performants à prix accessible aux pisciculteurs. En effet, la taxation importante à l'importation sur les produits destinés à l'alimentation animale restreint les importations d'aliments pour poisson, ainsi que celles des farines nécessaires à la fabrication sur place de ces aliments. Il apparaît dès lors indispensable d'identifier de ressources alimentaires non conventionnelles, localement disponibles et constituent une alternative de choix en alimentation de poissons face aux coûts de plus en plus élevés des aliments conventionnels utilisés en production piscicole.

Les objectifs et l'organisation générale de la thèse

Les objectifs essentiels de l'étude se sont concentrés sur les points suivants :

- Evaluer le potentiel de FLM et FTM autant que sources de protéines alternatives;
- Déterminer si les différents taux d'inclusion de FLM et FTM dans les régimes d'alevins d'*Oreochromis niloticus* n'impactent pas sur les performances de croissance, l'utilisation des aliments et la composition nutritionnelle de la carcasse ainsi la qualité de l'eau d'élevage et
- Déterminer le régime le plus rentable.

Et pour rendre notre étude claire nous allons procéder à la développer en trois grands chapitres : bibliographie, matériel et méthodes, résultats et discussion.

I. Le premier chapitre : est réservé essentiellement à l'étude bibliographique traitant un aperçu général sur l'aquaculture en présentant les points suivants :

- La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture
- Production et disponibilité des ingrédients des aliments aquacoles
- Représentation de l'espèce d'étude et la qualité de l'eau d'élevage

II. Deuxième chapitre (Matériel & méthodes) :

Présente la démarche expérimentale suivie au cours de cette thèse et décrit également les techniques utilisées et les analyses effectuées.

III. Troisième chapitre (résultats et discussion) :

Ce dernier chapitre qui s'intéresse à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus.

En fin, le travail s'achève par une conclusion comprenant les principaux résultats et interprétations et dégage les perspectives futures qui permettront de poursuivre certains aspects du travail.

Partie



Synthèse

Bibliographique

Chapitre I

Généralités

sur l'aquaculture

CHAPITRE I : Généralités sur l'aquaculture

I.1. Modèles de consommation de poisson dans le monde

L'approvisionnement mondial en poisson destiné à l'alimentation a augmenté régulièrement au cours des cinq dernières décennies, à un taux annuel moyen de 3,1%, dépassant la croissance démographique mondiale (1,6%). Par conséquent, la disponibilité moyenne par habitant a augmenté. La consommation mondiale apparente de poisson par habitant est passée d'une moyenne de 9 kg (équivalent poids vif) en 1961 à 20,3 kg en 2017 (Tableau 1) et les estimations préliminaires pour 2018 indiquant une nouvelle croissance à 20,5 kg (FAO, 2020). Cependant, il existe des différences régionales et continentales distinctes; la consommation la plus faible se trouve dans certains pays d'Afrique subsaharienne, ayant culminé à 10,5 kg en 2014 avant de retomber à (9,9 kg / habitant) en 2017 (FAO, 2020). Tandis que les augmentations les plus substantielles de la consommation annuelle de poisson par habitant ont eu lieu en Afrique du Nord de 2,8 kg en 1961 à 16,4 kg en 2013 (FAO, 2016).

Tableau 1. Utilisation de la production mondiale de poisson (FAO, 2020)

	1986- 1995	1996- 2005	2006- 2015	2016	2017	2018
	Moyenne par an					
Utilisation	<i>(en millions de tonnes, poids vif)</i>					
Consommation humaine	71,8	98,5	129,2	148,2	152,9	156,4
Usages non alimentaires	29,9	27,1	20,3	17,9	19,7	22,2
Population (en milliards de personnes) ¹	5,4	6,2	7	7,5	7,5	7,6
Consommation apparente par habitant (kg)	13,4	15,9	18,4	19,9	20,3	20,5

¹ Source des données sur la population: Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, 2019.

La faiblesse de la consommation en Afrique et surtout subsaharienne résulte de plusieurs facteurs interconnectés que sont, notamment, une population qui croît à un rythme plus élevé que l'approvisionnement en poisson, la stagnation de la production de poisson en raison de la pression exercée sur les ressources de la pêche de capture et un secteur de l'aquaculture peu développé.

Au niveau mondial, depuis 2016, l'aquaculture est la principale source de poisson disponible pour la consommation humaine. En 2018, cette part était de 52%, chiffre qui devrait continuer d'augmenter sur le long terme. L'aquaculture a permis d'étendre l'offre

de poissons à des régions et pays qui n'avaient pas ou peu accès aux espèces cultivées, souvent à des prix plus bas, ce qui a permis d'améliorer la nutrition et la sécurité alimentaire (FAO, 2020).

En Algérie, la consommation de poissons est demeurée très faible, un taux de consommation de 4,5 kg par consommateur et par an en 2018, beaucoup moins que la moyenne mondiale, qui est de 20 kg (DGPA, 2018; FAO, 2020). Les prix excessifs du poisson, « inaccessibles » à une large couche des consommateurs, sont la raison de cette baisse de consommation, due essentiellement au net déséquilibre entre l'offre et la demande. La production nationale annuelle moyenne en ressources halieutiques est de 100.000 tonnes et celle de la production aquacole est de 4.200 tonnes en 2017, alors que la demande nationale en poissons est plus de 100.000 tonnes/an (DGPA, 2018). Une situation qui ne devrait être que motivante pour faire en sorte que se développe la filière d'aquaculture. Selon (DGPA, 2018), 122 projets d'investissements répartis sur le territoire national étaient finalisés et validés par les commissions techniques relevant du secteur. Ces projets ont pour but de renforcer non seulement les capacités de production dans la filière halieutique (maritime) mais aussi d'investir davantage dans le domaine de l'aquaculture dans les régions internes et sahariennes.

I.2. Contribution du poisson à la santé humaine et à la sécurité alimentaire

La consommation de poisson peut jouer un rôle clé dans l'accès aux protéines, aux minéraux et aux acides gras essentiels, et peut avoir un impact significatif sur la santé maternelle et infantile (Thilsted *et al.*, 1997; Kawarazuka et Béné, 2011). Il existe des preuves d'effets bénéfiques de la consommation de poisson (FAO / WHO, 2011) en relation avec les maladies coronariennes (Mozaffarian et Rimm, 2006), les accidents vasculaires cérébraux, la dégénérescence musculaire liée à l'âge et la santé mentale (Peet et Stokes, 2005). En outre, il a été constaté que l'augmentation de la consommation de poisson améliore l'apprentissage chez les enfants, protège la vision et la santé oculaire et offre une protection contre les maladies cardiovasculaires et certains cancers (FAO, 2012b). Le rôle des petites espèces de poissons indigènes, qui sont souvent moins pris en compte dans le développement de la pêche ou de l'aquaculture, peut être très critique pour les ménages les plus pauvres dans la réduction des carences en protéines, vitamines et minéraux (en particulier le calcium et l'iode) (Roos *et al.*, 2007).

Le poisson destiné à l'alimentation représente actuellement la principale source de protéines animales (contribuant à plus de 25% de l'approvisionnement total en protéines animales) pour environ 1.250 millions de personnes dans 39 pays à travers le monde, dont 19 pays subsahariens (FAO, 2009). Le poisson contribue à plus de 50% de l'apport en protéines d'environ 400 millions de personnes des pays les plus pauvres d'Afrique et d'Asie du Sud. La qualité des protéines de poisson se compare très bien à celle de la viande et la digestion relativement du poisson est plus facile que celle de la viande (Steiner-Asiedu *et al.*, 1993). Le poisson, peut jouer un rôle très important au niveau nutritionnel, il est riche en différentes vitamines (D, A et B) ainsi qu'en minéraux (notamment le calcium, l'iode, le zinc, le fer et le sélénium), surtout s'il est consommée entière. Il est une source de protéines de grande qualité, facilement assimilées, qui contient toutes les acides aminés essentiels. Il est de plus en plus admis que la consommation de poisson, même en petite quantité, concourt de manière significative à la qualité nutritionnelle du régime alimentaire des populations. Par ailleurs, le poisson est généralement riche en graisses non saturées, surtout des acides gras n-3 à longue chaîne (acides gras polyinsaturés n-3 (AGPI)), sont très bénéfiques et difficiles à obtenir à partir d'autres sources alimentaires (Kawarazuka et Béné, 2011). L'acide eicosapentaénoïque (20: 5n-3, EPA) et l'acide docosahexaénoïque (22: 6n-3, DHA) sont d'une importance particulière. Le poisson est bon pour la santé en ce qu'il protège contre les maladies cardiovasculaires et contribue au développement du cerveau et du système nerveux du fœtus et du nourrisson (Roos *et al.*, 2007; FAO, 2018).

Avec une politique principalement axée sur l'accès aux calories alimentaires, le poisson ou les aliments aquatiques ont été relativement sous-reconnus dans leur contribution à l'approvisionnement alimentaire mondial et à la sécurité alimentaire (FAO, 2012b). Cependant, en 2017, le poisson représentait 17% de l'apport mondial de protéines animales et 6,7% de toutes les protéines consommées, fournissant ainsi plus de 3,3 milliards de personnes près de 20% de leur apport moyen en protéines animales (FAO, 2020). Avec la reconnaissance croissante de la nécessité de définir des objectifs mondiaux de suffisance et de sécurité alimentaires par qualité nutritionnelle (Shetty, 2009; FAO, 2012b), en particulier dans la maternité et les premiers stades de la vie, le rôle du poisson est de plus en plus clairement apprécié.

Les interactions entre la pêche et la sécurité alimentaire sont également cruciales dans de nombreuses régions du monde, où les activités de pêche à petite échelle et souvent saisonnières fournissent à la fois des revenus et l'approvisionnement alimentaire des

ménages, et il est commun de craindre qu'une réglementation trop zélée et la suppression de la capacité de pêche puissent entraîner un impact social et nutritionnel plus négatif que les gains d'efficacité des ressources recherchés (Béné *et al.*, 2010). Cependant, bien que l'aquaculture puisse compléter ou compenser les pêches de capture, Beveridge *et al.* (2010) notent ses contraintes pour atteindre les objectifs sociaux des revenus les plus bas, car les producteurs commerciaux à petite et moyenne échelle et les consommateurs plus riches du marché / de détail sont plus susceptibles d'en bénéficier. Cependant, par le déplacement du marché, en produisant des espèces indigènes plus petites dans des polycultures et / ou en fournissant des emplois occasionnels contre de l'argent ou de la nourriture, des avantages supplémentaires peuvent être fournis aux groupes les plus pauvres. Le commerce du poisson contre d'autres produits alimentaires a également des conséquences importantes, que ce soit au niveau local ou au niveau de l'économie de marché (Kurien, 2004). Dans des conditions favorables, cela peut créer des avantages pour toutes les parties, élargissant et élargissant les options nutritionnelles pour les pêcheurs / producteurs de poisson tout en améliorant l'accès aux principales denrées alimentaires. Ceci est particulièrement utile pour les approvisionnements périurbains et les marchés urbains, bien qu'il puisse y avoir des problèmes d'accès aux marchés locaux réduits où des prix urbains plus élevés chassent les options d'achat. Le développement des infrastructures - accès routier, production de glace et installations de marché peut également accélérer le passage aux marchés urbains. Cependant, il existe également des défis spécifiques pour répondre aux besoins des citoyens pauvres (Ruel *et al.*, 2008), en particulier là où l'urbanisation est rapide et ne s'accompagne pas de fortes opportunités d'emploi. Il est clair que l'expansion des approvisionnements en poisson sera essentielle pour répondre aux besoins alimentaires futurs.

I.3. Production mondiale de l'aquaculture

La production mondiale d'aquaculture de poissons destinés à la consommation a augmenté à un taux annuel moyen de 6,2% pendant la période 2000 – 2012, plus lentement que pendant les périodes 1980 – 1990 (10,8%) et 1990 –2000 (9,5%) (FAO, 2014). Entre 1986 et 2018, le volume de la production aquacole mondiale a augmenté à un taux moyen proche de 10,6% par an (FAO, 2020). La production mondiale d'aquaculture de poissons destinés à l'alimentation a plus que doublé, passant de 34,2 millions de tonnes en 2005 à 82,1 millions de tonnes en 2018, avec une valeur totale estimée à 164,1 milliards de dollars US (FAO, 2020).

Sur les 82,1 millions de tonnes de poissons d'élevage destinés à l'alimentation produits en 2018, presque les deux tiers (51,3 millions de tonnes) étaient des espèces de poissons issus de l'aquaculture continentale et (30,8 millions de tonnes) de la mariculture. Lorsque les algues aquatiques d'élevage (principalement des algues marines) sont incluses, la production aquacole mondiale en 2018 était de 114,5 millions de tonnes, d'une valeur de 263,3 milliards de dollars US. La FAO estime que la production mondiale d'aquaculture de poissons destinés à l'alimentation a augmenté de 5,3% par an entre 2001 et 2018, mais de seulement 4 et 3,2% en 2017 et 2018, respectivement. Cette faible progression trouve son origine dans le ralentissement des activités en Chine, premier producteur mondial (66,39 à 57,93% entre 2000 et 2018 respectivement).

En 2018, l'aquaculture a produit dans le monde 82,1 millions de tonnes de poissons, soit 46%, contre 25,7% en 2000. La production halieutique d'élevage était dominée par les poissons (54,3 millions de tonnes, dont 47 millions provenant de l'aquaculture continentale et 7,3 millions de l'aquaculture marine et côtière), mollusques, principalement les bivalves (17,7 millions de tonnes) et les crustacés (9,4 millions de tonnes) (FAO, 2020).

La production aquacole mondiale d'animaux aquatiques d'élevage a été dominée par l'Asie, avec une part qui s'élève à 89% au cours des deux dernières décennies. Au cours de la même période, l'Afrique et le continent américain ont vu leurs parts respectives augmenter, tandis que celles de l'Europe et de l'Océanie ont légèrement diminué (FAO, 2018). Parmi les principaux pays producteurs en ordre décroissant de part de production, la Chine, l'Inde, l'Indonésie, le Viet Nam, le Bangladesh, l'Égypte, la Norvège et le Chili ont consolidé leur part dans la production régionale ou mondiale à des degrés divers au cours des deux dernières décennies. Parallèlement à l'Égypte, le Nigéria a considérablement augmenté sa production jusqu'à devenir le deuxième plus grand producteur du continent africain, lequel ne représente pourtant encore que 2,7% environ de l'aquaculture mondiale. (FAO, 2020).

En 2018, la FAO a recensé plus de 622 catégories d'espèces aquatiques sont élevées en captivité dans le monde pour la production dans une variété de systèmes et d'installations d'élevage d'intensité et de sophistication technologique variables, utilisant l'eau douce, l'eau saumâtre et l'eau de mer. Cependant, le stade de développement et la répartition de la production aquacole restent déséquilibrés dans toutes les régions.

Quelques pays en développement d'Asie et du Pacifique, d'Afrique subsaharienne et d'Amérique du Sud ont fait des progrès considérables dans le développement de l'aquaculture ces dernières années et ils deviennent des producteurs importants ou majeurs dans leurs régions respectives (FAO, 2014). Cependant, la disparité reste énorme entre les continents et les régions, ainsi qu'entre les pays aux conditions naturelles comparables dans la même région, l'aquaculture dans de nombreux pays les moins avancés n'ayant pas encore apporté une contribution significative à la sécurité alimentaire et nutritionnelle nationale.

La production aquacole totale en Afrique en 2010, a été estimée à 1.285.800 tonnes, soit environ 2,23% de la production mondiale. Depuis 2018, la production a pu atteindre les 2.195.859 tonnes, avec un taux de croissance de 2,67% (Fig. 1). L'Afrique du Nord a contribué pour environ 1.565.300 tonnes, tandis que l'Afrique subsaharienne à 596.400 tonnes, soit respectivement de 1,95 et 0,72% de la production mondiale (FAO, 2020). Cependant, la production aquacole en Afrique, est nettement dominée par l’Egypte, qui a vu sa production plus que tripler au temps record, de 476.000 tonnes enregistrées en 2007 à 1.561.457 tonnes en 2018, suivi du Nigéria d’une part de 291.323 tonnes, soit contribuant respectivement de 71,1 et 13,26% de la production globale africaine. Les cinq autres principaux producteurs (Ouganda, Kenya, Zambie, Ghana et Madagascar) leur part dans la valeur annuelle produite est proportionnellement faible (moins de 14%), contribuant ensemble de 305.100 tonnes (FAO, 2020).

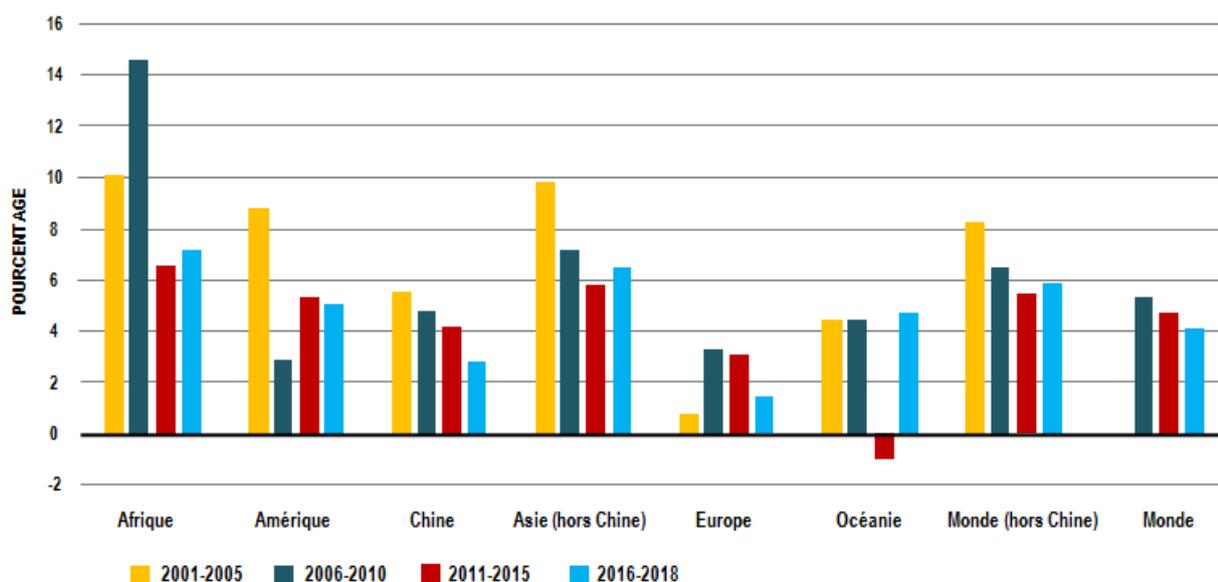


Figure 1. Taux de croissance annuel de la production aquacole (FAO, 2020)

Plus de 82,5% des principaux produits de l'aquaculture en Afrique sont principalement les poissons d'eau douce. Cependant, les principaux groupes d'espèces d'élevage, sont les poissons d'eau douce, telle que le tilapia, le poisson-chat et la carpe, constituant la majeure partie de l'augmentation de la production aquacole et représentant 80,65% de la production aquacole totale en 2018 avec des taux de production 59,95; 11,24 et 9,46%, respectivement (FAO, 2018).

En Algérie, La production aquacole annuelle a régulièrement augmenté depuis 2004 (641 tonnes), jusqu'en 2017 où elle a dépassé les 4.000 tonnes toute filière confondue (DGPA, 2018). Cette production, constituée pour 90% de poissons d'eau douce, résulte en grande partie des campagnes régulières d'empoissonnement de retenues collinaires, des barrage et des bassins des exploitations agricoles avec des larves et des alevins de carpe, de tilapia et de poissons chats et le reste est constitué de moules et huitres. Et malgré les efforts déployés par l'état, ce taux reste insignifiant puisque 5% seulement de la consommation algérienne en poissons et fruits de mer est assuré par la production aquacole (DGPA, 2018).

I.4. Croissance de l'aquaculture et alimentation des poissons

En 2018, la production aquacole mondiale a totalisé 114,5 millions de tonnes, soit 82,1 millions de tonnes de poissons destinés à la consommation (c'est-à-dire poissons à nageoires, crustacés, mollusques, amphibiens, tortues d'eau douce, concombres de mer, oursins, jets de mer et méduses comestibles) et 32,4 millions de tonnes de algues aquatiques et 26.000 tonnes de coquillages d'ornement et de perles. Les poissons d'élevage ont contribué à 62,5% des 178,5 millions de tonnes de poisson produites par les pêcheries de capture (y compris à des fins non alimentaires) et l'aquaculture en 2018 (FAO, 2020). Cela se compare à seulement 13,4% en 1990 et 25,7% en 2000 (FAO, 2014). L'Asie dans son ensemble produit plus de poissons d'élevage que de prises sauvages depuis 2008, et sa part de l'aquaculture dans la production totale a atteint 54% en 2012, avec l'Europe à 18% et les autres continents à moins de 15%. Les estimations de la FAO en 2012 indiquaient qu'environ 46,1 millions de tonnes (69,2% de la production aquacole mondiale totale, y compris les plantes aquatiques) de poissons et de crustacés dépendaient de l'alimentation, soit en tant qu'aliments aquacoles issus de la ferme, soit en tant qu'aliments aquacoles composés fabriqués industriellement (FAO, 2014).

Poursuivant sa tendance établie, la part des espèces nourries dans la production totale de poissons d'élevage destinés à l'alimentation a encore augmenté, passant de 66,5% en 2010 à 69,2% en 2012, reflétant une croissance relativement plus forte de l'élevage d'espèces nourries (FAO, 2014).

Alors que l'on pense actuellement que plus de 200 espèces de poissons et de crustacés sont nourris avec des aliments fournis de l'extérieur, seuls 8 espèces ou groupes d'espèces représentent 62,2% de l'alimentation totale utilisée. Ce sont la carpe herbivore, la carpe commune, le tilapia du Nil, les grandes carpes indiennes (catla et rohu), la crevette à pattes blanches, le carassin, le saumon atlantique et le poisson-chat pangasiidé. Plus de 67,7% de la production de poissons nourris d'élevage sont fournis par les poissons d'eau douce, y compris les carpes et autres cyprinidés, les tilapias, les poissons-chats et divers eaux douces poissons (FAO, 2012a).

I.5. Production et utilisation d'aliments pour poissons

Les aliments aquacoles composés sont utilisés pour la production d'espèces de poissons destinés à la consommation à la fois de faible valeur (en termes de marketing), telles que les carpes, les tilapias, les poissons-chats et les chanos, ainsi que des espèces de plus grande valeur, telles que les poissons marins et les salmonidés, crevettes marines, anguilles d'eau douce, têtes de serpent et crustacés (FAO, 2012a). En 2018, environ 88% des 179 millions de tonnes de poisson produites dans le monde ont été utilisés pour la consommation humaine directe, tandis que les 12% restants ont été utilisés à des fins non alimentaires (Fig. 2). Le poisson vivant, frais ou réfrigéré représentait toujours la plus grande part du poisson utilisé pour la consommation humaine directe (44%) (FAO, 2020). Une proportion importante mais décroissante de la production mondiale de la pêche est transformée en farine et en huile de poisson. La farine et l'huile de poisson sont toujours considérées comme les ingrédients les plus nutritifs et les plus digestes des poissons d'élevage. Cependant, leurs taux d'inclusion dans les aliments composés pour l'aquaculture ont montré une nette tendance à la baisse. En ce qui concerne la consommation humaine directe, l'huile de poisson représente la plus riche source disponible d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne, qui remplissent un large éventail de fonctions essentielles pour la santé humaine.

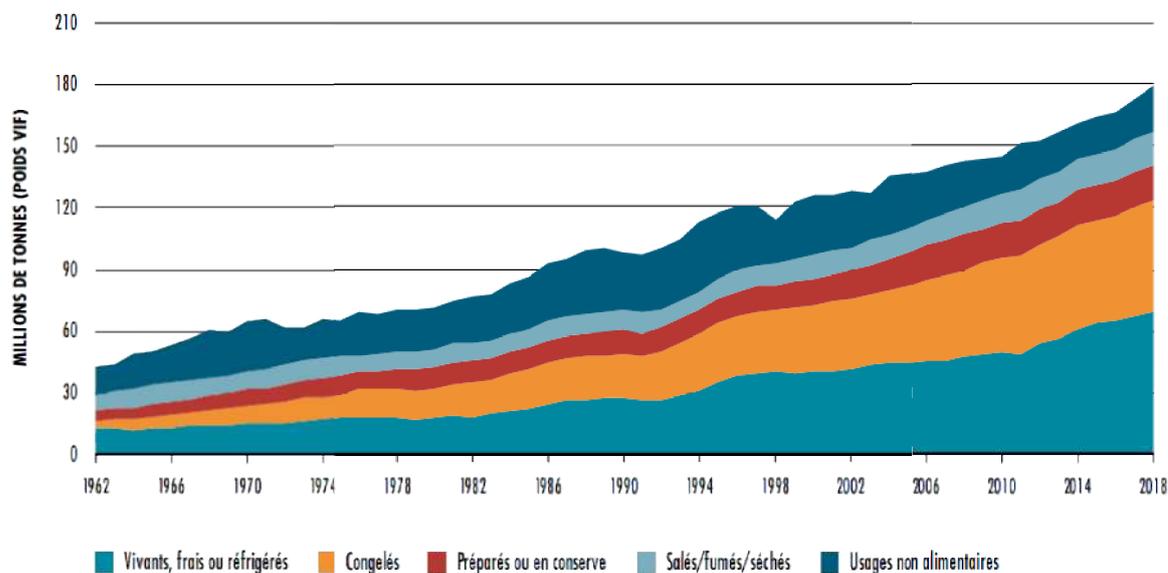


Figure 2. Utilisation des produits de la pêche et de l'aquaculture dans le monde, 1962-2018 (FAO, 2020)

Une part croissante de la farine et de l'huile de poisson, comprise entre 25 et 35%, provient de sous-produits de la transformation du poisson qui souvent jusqu'ici étaient mis au rebut, servaient à nourrir directement les poissons d'élevage ou étaient ensilés ou transformés en engrais. Pour réduire effectivement les pertes de poisson et les gaspillages, il faut mettre en place des politiques et des cadres réglementaires, renforcer les capacités, les services et les infrastructures, et faciliter l'accès physique aux marchés. En réduisant les pertes et gaspillages de poisson, il sera possible de diminuer la pression sur les stocks et de contribuer à améliorer la durabilité de la ressource ainsi que la sécurité alimentaire. Dans le secteur de la pêche et de l'aquaculture, on estime qu'il est perdu ou gaspillé, chaque année, 35% des quantités récoltées et capturées à l'échelle mondiale.

I.5.1. Utilisation de poisson sauvage pour la production de poisson d'élevage

Le développement important de la pisciculture moderne se traduit par une forte pression de pêche exercée sur les espèces de poissons dites « fourrage » (sardines, anchois...) qui seront, dans leur très grande majorité, transformés en farines et huiles de poisson, entrant dans la composition des aliments aquacoles. En 2014, cette pêche représentait 20,9 millions de tonnes soit 22,4% des captures totales (FAO, 2016).

La pression de pêche sur les espèces fourrage s'explique par le fait que les aliments aquacoles destinés aux poissons d'élevage contenant des huiles et des farines de poissons sont utilisés dans 41,6% de la production aquacole mondiale en 2008 (FAO, 2012b). Plus précisément, seulement 8 espèces (ou groupes d'espèces) consomment, à elles seules, 62,2% des aliments aquacoles produits. Elles présentent de grandes disparités en termes de besoins en équivalent poissons sauvage (Tableau 2).

Tableau 2. Besoins en poissons sauvages (en tonnes) des principales espèces d'élevage (Jackson, 2009, d'après les données présentées par Tacon et Metian, 2008)

Espèces produits	Production ^a	Besoins en poissons sauvages	ratio ^b
Saumon	1.456.000	7.220.000	4,9
Anguille	266.000	927.000	3,5
Truites	632.000	2.180.000	3,4
Poissons marins	1.536.000	3.316.000	2,2
Crevettes marines	3.164.000	4.399.000	1,4
Poisson-chat	1.809.000	856.000	0,5
Tilapia	2.326.000	854.000	0,4
Poisson-lait	585.000	94.000	0,2
Carpes	10.225.000	1.881.000	0,2

a. Exprimés en tonnes

b. Quantité de poissons sauvages utilisée pour fabriquer les aliments sur la quantité de poissons d'élevage produits

I.5.2. Production mondiale des aliments aquacoles

Les premiers aliments aquacoles élaborés à partir de divers matières premières et couvrant les besoins nutritionnels des animaux étaient des granulés « humides », et ont été développés aux Etats-Unis, en Oregon dans les années 50 à destination des élevages de truites. Les granulés secs de type pressé sont ensuite apparus dans ce même pays à la fin de la même décennie puis au début des années 60 en Europe.

Les premiers aliments destinés à la salmoniculture (granulés semi-humides ou secs de type pressé) ont été commercialisés dans les années 80. Par la suite, les granulés extrudés sont apparus dans les années 90. Avec la diversification des espèces élevées en pisciculture.

Le marché des aliments aquacoles est en constante progression. Liée au développement de la pisciculture, la production globale d'aliments aquacoles est passée de 7,6 millions tonnes en 1995 à 29,2 millions tonnes en 2008 (dont 78,2% destinées à la

pisciculture), ce qui correspond à un taux de croissance de 11% par an. La demande mondiale d'aliments aquacoles devrait atteindre 51 millions de tonnes en 2015 et 71 millions de tonnes en 2020 (FAO, 2012). La Figure 3 présente les principaux poissons consommateurs d'aliments piscicoles dont les carpes non filtreuses consommant environ le tiers de la production mondiale.

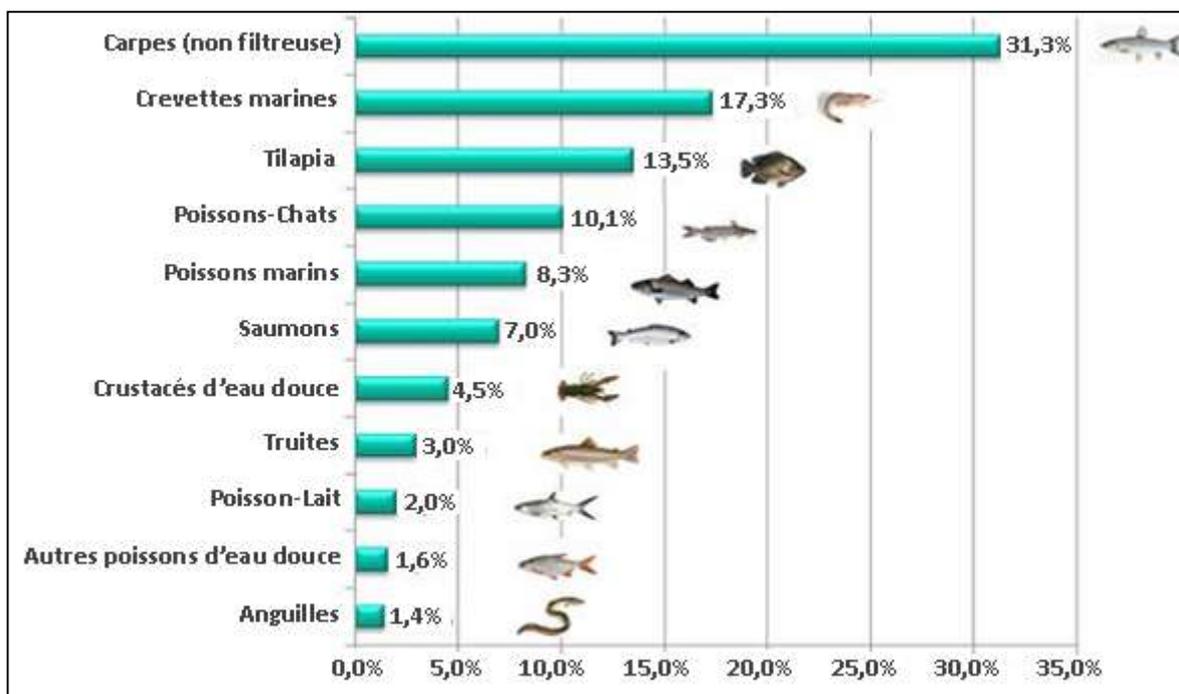


Figure 3. Consommation d'aliments aquacoles entre les principales espèces d'élevage en 2008 (FAO, 2012a)

I.5.3. Principes de fabrication des aliments aquacoles

La fabrication des aliments aquacoles est un processus complexe. Il ne s'agit plus de simplement mélanger des matières premières afin de produire un aliment aussi peu coûteux que possible ou parfaitement adapté aux besoins nutritifs d'une espèce de poisson en particulier. En effet, la formulation implique désormais une optimisation des coûts des matières et de nombreux paramètres, parmi lesquels les contraintes techniques liées au processus de fabrication, les performances zootechniques ciblées mais également l'impact environnemental de l'utilisation de l'aliment dans les fermes d'élevage (Fig. 4).

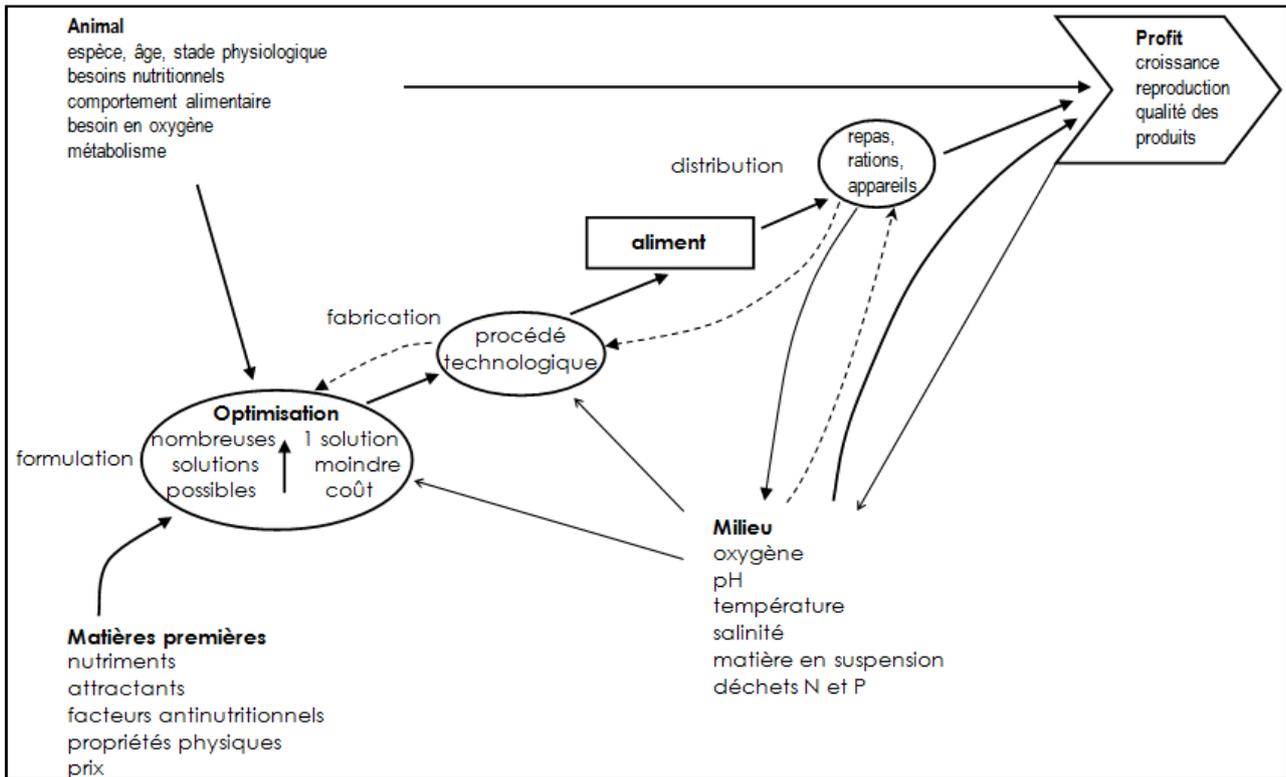


Figure 4. Schéma technique de la fabrication d'un aliment piscicole (Guillaume *et al.*, 1999)

Les aliments aquacoles doivent en premier lieu permettre de garantir un apport équilibré en macronutriments aux poissons : les protéines (farines de poisson (FP), d'origine animale ou végétale), les lipides (huiles de poisson, d'origine animale, ou végétale), les glucides ; ainsi qu'en micro-nutriments : mélanges de vitamines et de minéraux. Outre ces ingrédients principaux, les aliments aquacoles contiennent également des additifs visant à équilibrer le profil nutritionnel de l'aliment aux besoins nutritionnels du poisson (acides aminés libres), à améliorer l'appétence de l'aliment (nucléosides, bêtaïnes...) et à assurer sa stabilité dans le temps (antioxydants et conservateurs).

La composition nutritionnelle, la taille et la texture de l'aliment doivent être adaptés aux besoins nutritionnels, au stade physiologique, ainsi qu'au comportement alimentaire de l'espèce ciblée. Ainsi, la texture détermine le comportement du granulé dans l'eau et doit être choisie en fonction du comportement alimentaire du poisson. Le granulé pourra ainsi être flottant, coulant ou semi-flottant. La texture de l'aliment est ainsi le deuxième critère par ordre d'importance pour la formulation des aliments.

Il existe principalement deux types d'aliments : les aliments pressés et les aliments extrudés. Ces derniers sont obtenus par des procédés de fabrication différents : le pressage et la cuisson-extrusion (Figure 5).

Les premières étapes (broyage et mélange des matières premières) sont communes aux deux procédés puis les étapes suivantes diffèrent. Le pressage consiste à faire passer le mélange à travers les perforations d'une filière grâce à un assemblage de galets (rouleaux) dans une presse. L'aliment ressort sous forme de granulés de longueur et de diamètre déterminés grâce à la présence de couteaux fixes.

Pour le procédé de cuisson-extrusion, le mélange est déposé dans une extrudeuse chauffée (90 à 120°C) et mis sous pression (30 à 120 bars) pendant un temps court (moins de 30 secondes) puis forcé au travers d'une filière et coupé par un couteau « granulateur ». Le retour à la pression atmosphérique en sortie de filière provoque l'expansion des granulés.

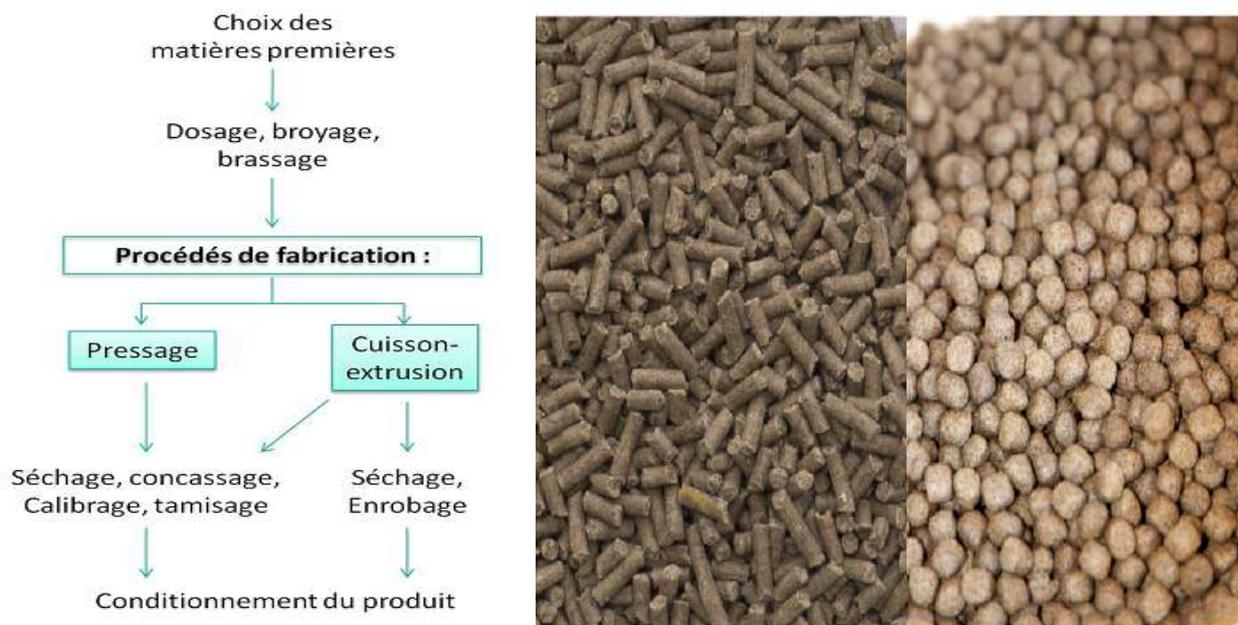


Figure 5. Principe de fabrication d'un granulé. L'aliment de gauche est pressé et de celui de droite extrudé (Photos : Diana Aqua, 2020)

La suite du processus (séchage, refroidissement, enrobage, tamisage, conditionnement) peut être commune à la fabrication par pressage ou cuisson-extrusion. Il est à noter que l'étape d'enrobage, qui est appliquée pour les aliments extrudés, consiste essentiellement à ajouter de la matière grasse dans un équipement spécifique (enrobeur)

sous vide ou à pression atmosphérique. Des acides gras essentiels, des vitamines liposolubles ou hydrosolubles en émulsion et des agents attractants peuvent également être appliqués par cette méthode. L'enrobage de matière grasse permet également de limiter la formation de freintes lors du transport des granulés et ralentir le délitement des granulés dans l'eau.

Le processus de fabrication influence les caractéristiques physiques des granulés. Aussi, les granulés pressés sont très denses et ont une teneur maximale en matière grasse limitée à $\approx 14\%$, ils sont ainsi du type « coulant ». A l'inverse, les granulés extrudés ont une densité variable qui peut être maîtrisée, ils sont poreux et peuvent être « flottants », « coulants » ou « semi-flottants » et la proportion de matière grasse maximale autorisée par le process de fabrication est alors plus importante (25 à 30%) (Guillaume *et al.*, 1999).

I.6. Production et disponibilité des ingrédients alimentaires

I.6.1. Critères de sélection

Pour définir l'adéquation d'un ingrédient alternatif, il faut prendre en compte divers aspects, tels que les caractéristiques nutritionnelles et physiques, la fonctionnalité, la disponibilité, la durabilité ou le prix du marché (Glencross *et al.*, 2007; NRC, 2011). Bien que plusieurs sources de protéines puissent avoir un profil nutritionnel similaire à celui de la FP, elles ne seront jamais complètement identiques. Par exemple, les sources de protéines végétales présentent de grandes similitudes avec la FP en termes de digestibilité apparente des protéines, mais leur composition en acides aminés (AA) est limitant et ne correspond pas aux besoins alimentaires du poisson. En outre, les effets sur les performances des poissons sont également des critères clés. Les aliments de substitution peuvent réduire l'appétence d'un aliment ou causer des problèmes de santé (entérite, par exemple), ce qui entraîne une réduction de la consommation alimentaire qui compromet la croissance (Hardy, 2006). Bien que la composition en éléments nutritifs soit importante, l'identification de facteurs antinutritionnels pouvant influencer sur la physiologie des poissons sous différents aspects est donc essentielle (Francis *et al.*, 2001).

De toute évidence, si un autre aliment est plus rentable que la FP et n'a pas d'effets néfastes sur les performances du poisson, il est presque directement accepté par les fabricants d'aliments pour animaux. L'efficacité peut être manipulée et améliorée par diverses méthodes de traitement, mais cela aboutit souvent à des produits trop chers

(concentrés de protéines, AA synthétiques, etc.) affectant la compétitivité et entraînant par conséquent des régimes plus coûteux à fabriquer (NRC, 2011; Rust *et al.*, 2011).

Plusieurs solutions de remplacement de la FP ont déjà été identifiées et sont largement utilisées dans les aliments aquacoles, mais des problèmes subsistent (voir ci-dessus) et il existe encore un créneau pour de nouveaux marchés et de nouveaux produits, qui devraient être évalués dans des contextes indépendants.

L'identification, l'évaluation et l'utilisation de produits disponibles localement, telles que des sources de protéines non conventionnelles et sous-utilisées, sont prévues (Tacon *et al.*, 2011).

I.6.2. Sources alternatives de protéines animales

Les ingrédients de protéines animales transformés, principalement les sous-produits des animaux terrestres tels que les farines de viande et d'os, les farines de sang et la volaille, sont plus comparables à la FP que les plantes en termes de composition en AA. Cependant, la composition nutritionnelle varie fortement en fonction du produit (NRC, 2011). Malgré l'assouplissement des restrictions européennes mises en place après l'écllosion d'encéphalopathie spongiforme bovine au Royaume-Uni dans les années 1980 pour pouvoir utiliser des produits d'origine animale en aquaculture et les preuves suggérant que les risques de contamination par le poisson sont proches de zéro, il existe encore une méfiance persistante à l'égard du secteur qui limite l'utilisation en Europe (Ingrosso *et al.*, 2006; Dalla Valle *et al.*, 2008; Naylor *et al.*, 2009).

On estime que le volume global de tourteaux de sous-produits animaux disponible est 2 à 3 fois supérieur à celui de la FP, constituant ainsi la plus grande source de protéines animales (Tacon *et al.*, 2006). Les hydrolysats de poisson (concentrés de protéines), qui peuvent être dérivés de sous-produits, améliorent la croissance et la consommation d'aliments d'espèces d'élevage comme le saumon atlantique (Refstie *et al.*, 2004) et le tourteau de krill (zooplancton) qui nécessite des recherches plus approfondies en termes de traitement, mais a été utilisé avec succès comme exhausteur de goût ou pigment dans les aliments pour poissons (Tacon *et al.*, 2006; NRC, 2011).

I.6.3. Sources alternatives de protéines végétales

Le développement de l'aquaculture ainsi que l'amélioration de sa durabilité reposent en grande partie sur l'identification de sources alternatives de protéines notamment d'origines végétales, moins coûteuses que les FP et pouvant les substituer, sans pour autant compromettre les performances de croissance des poissons d'élevage.

Il existe un grand nombre de sources de protéines d'origine végétales susceptibles d'être utilisées en aquaculture. Néanmoins, aucune d'entre elles ne réunit toutes les qualités nutritionnelles de FP. Les produits végétaux oléagineux sont commercialisés sous formes de tourteaux, c'est-à-dire co-produits issus de l'extraction de l'huile. Ces produits possèdent entre 35 et 50% de protéines, il existe également des protéagineux tel que le pois et le lupin de teneur plus faible en protéines, 26 et 39% respectivement (Médale et Kaushik, 2009).

Ainsi, pour la plupart des farines d'origines végétales (FV), le taux de protéines (30-40%) est bien plus faible que celui des FP. Pour compenser cette faiblesse, les industriels ont développé les concentrés de soja et de colza ainsi que de gluten de blé et de maïs, qui contiennent 60 à 80% de protéines (Médale et Kaushik, 2009), et qui sont de plus en plus utilisées dans les formules d'aliments. Toutefois, malgré leur teneur élevée en protéines, ces matières premières possèdent un profil en AAI moins adaptés aux besoins des poissons. En effet, elles ont également une teneur plus faible en certains AA essentiels comme la méthionine et la lysine, voire parfois la cystéine ou la thréonine (Médale et Kaushik, 2009). Leur carence a pour conséquence une diminution des performances zootechniques et de conversion alimentaire chez de nombreuses espèces d'élevage, en particulier lors de tentatives de remplacement totale de la FP (Daniel, 2017). Il est également bien décrit que les FV contiennent des facteurs anti-nutritionnels (FAN) et des glucides qui affectent la digestibilité et les performances de l'aliment (Francis *et al.*, 2001; Krogdahl *et al.*, 2010; Welker *et al.*, 2016). Le Tableau 3 résume les principaux FAN retrouvés dans les FV ainsi que leurs effets sur les poissons.

Enfin, peu d'études ont évalué les protéines monocellulaires provenant de micro-algues en tant que substituts de la FP aux poissons. La valeur nutritive élevée et la productivité des systèmes où les cellules se multiplient (jusqu'à 10.000 tonnes par an pour les micro-algues, par exemple, selon Zmora et Richmond (2004) restent valables, en utilisant principalement des sources de carbone renouvelables issues des flux de déchets de

l'industrie agroalimentaire (Tacon *et al.*, 2006). Néanmoins, les systèmes industriels impliquent des processus novateurs coûteux entraînant des matières premières très coûteuses. En d'autres termes, il se peut que cette solution ne soit pas encore viable pour l'aquaculture (Tacon *et al.*, 2006; Olsen et Hasan, 2012).

Tableau 3. Principaux facteurs anti-nutritionnels des farines d'origines végétales (Médal *et al.*, 2013)

Facteurs anti-nutritionnels	Tourteau de soja	Tourteau de colza	Farine de lupin	Pois dépelliculé	Effet/fonction affectée
Acide phytique	x	x		x	Digestion du P et des protéines
Allergènes	x				Immunité, entéropathies
Alcaloïdes			x		Appétit
Antivitamines	x			x	Métabolisme
Glucosinolates		x			Appétit, hyperthyroïdie
Inhibiteurs de protéinase	x	x	x	x	Digestion
Lectines	x			x	Absorption, entéropathies
Phytoestrogènes	x		x		Reproduction
Saponines	x		x	x	Entéropathies, digestion
Tannins		x		x	Digestion

P : Phosphate.

I.6.4. Sources de protéines non conventionnelles et sous-utilisées

Sans aucun doute, il reste encore des pistes inexplorées. Ce sont des ressources sous-utilisées, pas suffisamment étudiées, oubliées ou parfois endémiques, qui ne sont pas largement reconnues ou commercialisées, également appelées on conventionnelles d'éléments nutritifs. Étant riches en nutriments, une variété d'aliments non conventionnels, ont été utilisés dans la nutrition du poisson et des études antérieures ont indiqué des résultats encourageants. Cependant, tous étaient associés à des problèmes qui les empêchaient de percer (Tableau 4).

Tableau 4. Quelques exemples d'ingrédients alimentaires non conventionnels et problèmes associés à la limitation d'une utilisation conventionnelle

Aliments non conventionnels		Aspects liés à la disponibilité / cohérence				Limites Aspects nutritionnels			Aspects liés aux coûts		
Type	Exemples	Spécificité géographique	Saisonnalité	Volume bas	Qualité incohérente	Faible digestibilité	Facteurs toxiques ou anti-nutritifs	Risques de contamination biologique / chimique	Prétraitement / traitement	Sélection / collection	Vendu (pas gratuit)
Feuilles de protéines	Manioc, concombre, courge...	●	●	●		●	●		●		●
Plantes aquatiques	Lentille d'eau, jacinthe d'eau...	●		●		●		●			
Gâteaux et pulpes	Gâteaux de noyau de palmier ou de jatropha, pulpes de betterave à sucre ou de café, gâteaux aux olives...	●				●	●		●	●	●
Invertébrés	Vers de terre, termites, escargots, polychètes marins...	●		●	●					●	
Autres sources de protéines animales	Têtards et crapauds, farine de plumes, ensilage de poisson...	●		●	●				●	●	●
Déchets et sous-produits organiques	Déchets de table, déchets de marché, déchets de brasserie, son de céréales...	●	●		●	●		●		●	●
Insectes d'élevage	Asticots, grillons, vers à soie, vers de farine...			●					●	●	●

Basé sur Spinelli, 1980; Rojas, 2002; Hassan *et al.*, 2007; Sogbesan et Ugwumba, 2008; Abowei et Ekubo, 2011; PAF, 2011; Tacon *et al.*, 2011; Krome, 2014

I.6.4.1. À base d'insectes

Depuis quelques années, les insectes font l'objet d'un fort engouement pour la production de farine. En effet, la Commission Européenne a autorisé leur utilisation dans l'alimentation aquacole depuis le 1^{er} juillet 2017. Sept espèces sont concernées :

La mouche soldat noire (*Hermetia illucens*), la mouche domestique (*Musca domestica*), le ténébrion meunier (*Tenebrio molitor*), le petit ténébrion mat (*Alphitobius diaperinus*), le grillon domestique (*Acheta domesticus*), le grillon domestique tropical (*Grylloides sigillatus*) et le grillon des steppes (*Gryllus assimilis*). Le Tableau 5 présente les taux de protéines dans les farines d'insectes autorisées.

Tableau 5. Quantités de protéines dans les farines d'insectes autorisées en alimentation aquacoles

Espèce	Quantité de protéines	Référence
<i>Hermetia illucens</i>	42,1%	Sanchez-Muros <i>et al.</i> (2014)
<i>Musca domestica</i>	37,5%	Sanchez-Muros <i>et al.</i> (2014)
<i>Tenebrio molitor</i>	47,8-67,3%	Sanchez-Muros <i>et al.</i> (2014)
<i>Alphitobius diaperinus</i>	60%	Adámková <i>et al.</i> (2016)
<i>Acheta domesticus</i>	66,6%	Sanchez-Muros <i>et al.</i> (2014)
<i>Grylloides sigillatus</i>	56,8%	Hall <i>et al.</i> (2017)
<i>Gryllus assimilis</i>	56,5%	Bednárová <i>et al.</i> (2014)

Le profil en AAI, qui est dépendant de l'espèce, est proche de celui de la farine de soja (Barroso *et al.*, 2014). Leur utilisation chez la truite arc-en-ciel (St-Hilaire *et al.*, 2007; Sealey *et al.*, 2011), le tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Jabir *et al.*, 2012) et le turbot (Kroeckel *et al.*, 2012) à hauteur de 30% ne diminuerait pas la croissance des poissons. Cependant, l'inclusion de teneurs élevées, peut modifier la qualité de la chair et la composition en lipides (Mancini *et al.*, 2018). Ainsi, la teneur précise en farine d'insectes qu'il est possible d'incorporer dans les formules alimentaires reste à déterminer précisément pour chaque espèce. Toutefois, aujourd'hui, la disponibilité en farine d'insectes reste très limitée et, à court-terme, ne permet pas d'envisager une incorporation à des teneurs élevées dans les aliments aquacoles.

I.6.4.2. À base de plantes aquatiques

L'élevage de plantes aquatiques (macrophytes d'eau douce), est une solution alternative pour réduire la dépendance mondiale à l'égard de la pêche sauvage. Parmi les espèces les plus utilisées pour nourrir les animaux sont la jacinthe d'eau, les lentilles d'eau (*Lemna* spp.), l'azolla (*Azolla* sp.), et les épinars aquatiques (*Lpomea aquatica*).

Les plantes de lentille d'eau sont utilisées pour réduire principalement les charges chimiques des étangs et des eaux d'égout (Willett, 2005; Shi *et al.*, 2010; Bouali *et al.*, 2012). Plusieurs études ont été conduites pour établir la convenance de cette plante pour nourrir le bétail et les poissons (Men *et al.*, 2001; Ngamsaeng *et al.*, 2004; Ansal *et al.*, 2010). Cependant, quelques défis sont à relever quant à l'utilisation de la lentille d'eau dans l'alimentation animale. Les espèces de lentilles d'eau telles que *Lemna minor* et *Spirodela polyrhiza* ont des profils alimentaires différents et des facteurs anti-nutritionnels. Ces deux espèces contiennent de grandes quantités d'acide oxalique (Goopy et Murray, 2003). Negesse *et al.* (2009) ont rapporté des taux de 3,2%, 0,2% et 28% respectivement pour le Phytate, le Tanin concentré et les Phénoliques. L'avantage de l'utilisation de la lentille d'eau comme source de protéines végétales pour les poissons est basé sur la teneur élevée en protéines (Tableau 6) et un taux assez faible de fibres la rendant digestible pour les poissons. En outre, elle possède des teneurs élevées en protéines et en carotène (Bui Xuan Men *et al.*, 1995).

La lentille d'eau contient jusqu'à 43% de protéines par poids sec et peut être utilisée sans traitement ultérieur comme un aliment complet pour le poisson (Leng *et al.*, 1995). Comparées à la plupart des autres plantes, les feuilles de lentille d'eau contiennent peu de fibres (5% en matière sèche) et sont peu indigestes pour les animaux monogastriques (Chaturvedi *et al.*, 2003).

Tableau 6. Profil nutritionnel de différentes plantes aquatiques

Eléments	Protéine* brute	Fibre* brute	Lipide* brut	Références
Algue	40-50	-	-	Rodrigues and Oliveira, 1987; Wong <i>et al.</i> , 1990;
Jacinthes d'eau	16	16,3	2,7	Kawai <i>et al.</i> , 1987.
Fougère d'eau	22	3,7	1,5	Basudha and Vishwanath, 1997.
Lentille d'eau	24-49	6,4-11,8	3,4-5,5	Culley and Epps, 1973; Rusoff <i>et al.</i> , 1980; Oron <i>et al.</i> , 1986; Mbagwu and Adeniji, 1988; Hammouda <i>et al.</i> , 1995.

* g.100g⁻¹ de matière sèche

I.7. Représentation de l'espèce d'étude (Tilapia du Nil)

La production mondiale de tilapia a continué à afficher une forte croissance atteignant environ 6 millions de tonnes en 2020, augmentant à un taux de croissance annuel de plus de 7% depuis 2010 (FAO, 2020).

Le Tilapia, le deuxième groupe de poissons d'élevage après la carpe (*Cyprinus carpio*) et le plus cultivé, est produit dans de nombreux pays (Winfrey et Stickney, 1981), mais la majeure partie de la production mondiale provient d'Asie, d'Amérique latine et de l'Afrique. L'utilisation de tilapias dans les systèmes d'aquaculture à eau chaude remonte aux anciens Egyptiens a commencé la culture de tilapia pour la consommation humaine entre 2000-2500 av. J.-C. (Chimits, 1957; Bardach *et al.*, 1972).

Les tilapias sont des poissons aquatiques omnivores et euryèce appartenant à la famille Cichlidae (ordre Perciformes). Les trois genres de tilapia comprennent *Oreochromis*, *Sarotheradon* et *Tilapia* et sont encore classés sous 70 espèces connues, toutes originaires de l'Afrique, de la Jordanie et de la Palestine (Philippart et Ruwet, 1982; McAndrew, 2000).

Par rapport à la plupart des poissons d'eau douce, le tilapia peut tolérer une plus large gamme de conditions environnementales telles que la salinité, l'oxygène dissous, la température, le pH et les niveaux d'ammoniac et ne sont pas facilement sensibles aux maladies. Ce sont ces facteurs qui font du tilapia un poisson d'élevage idéal.

I.7.1. Reproduction et croissance de tilapia du Nil

En général, *O. niloticus* est connue pour sa croissance rapide, elle présente un indice de croissance plus performant que les autres espèces de tilapia (Pauly *et al.*, 1988). Sa durée de vie est relativement courte (4 à 7 ans), sa vitesse de croissance est extrêmement variable selon les milieux. Dès que les individus atteignent l'âge de maturité, les sujets mâles présentent une croissance plus rapide que les femelles et atteignent une taille nettement supérieure, dans de petites surfaces (Lowe-Mc Connell, 1982).

Pour ce qui est de la reproduction, dans les milieux naturels, la taille de première maturation de *O. niloticus* varie généralement entre 14 et 30 cm, et est liée à la taille maximale atteinte dans une population et une condition données, qui à son tour est déterminée par la disponibilité des aliments et la température (Pullin et Lowe-McConnell, 1982; Trewavas, 1983). En conditions stressantes de pisciculture rurale mal conduite, *O. niloticus*

peut se reproduire dès l'âge de trois mois, à un poids inférieur à 50 g. La période de reproduction de cette espèce est exponentiellement continue pendant toute l'année, si la température de l'eau est supérieure à 22°C, et il peut se reproduire tous les 30 à 40 jours (Ruwet *et al.*, 1975). Ainsi, quand mâles et femelles sont élevés ensemble, la population s'accroît rapidement et l'on peut obtenir en fin de cycle beaucoup d'individus « nains » difficilement commercialisables. Parmi les méthodes préconisées pour pallier ce défaut, l'association à un prédateur *Hemichromis fasciatus* apparaît dans l'état actuel des connaissances comme la solution la plus adaptée.

Toutes ces caractéristiques de *O. niloticus* démontrent non seulement la plasticité de l'espèce à s'adapter à des conditions diverses mais expliquent aussi sa haute résilience à savoir sa capacité à revenir rapidement après perturbation à un seuil optimum de densité dans son milieu naturel.

I.7.2. Alimentation de tilapia du Nil

Les premiers juvéniles et les jeunes poissons sont omnivores, se nourrissant principalement de zooplancton et de zoobenthos, mais aussi d'ingérer des détritiques et de se nourrir de périphyton et de phytoplancton (Moriarty *et al.*, 1973; Moriarty et Moriarty, 1973; Beveridge, 2000). À environ 6 cm, l'espèce devient presque entièrement herbivore se nourrissant principalement de phytoplancton, en utilisant le mécanisme du piège du mucus et ses dents pharyngées.

Il convient de relever que l'acidité gastrique particulièrement forte chez *O. niloticus* lui permet d'être parmi les rares espèces à pouvoir digérer les cyanophycées (abondante source de protéines) sans concurrence notable avec d'autres espèces piscicoles dans l'écosystème aquatique (Lauzanne, 1988). Cette capacité phénoménale d'adaptation à divers aliments et déchets est à la base de sa haute potentialité pour la pisciculture.

Le spectre alimentaire de ce tilapia est donc très large : c'est une espèce opportuniste, qui est capable de se nourrir à partir des aliments les moins digestibles. Le degré d'opportunisme de l'espèce est très grand et son régime alimentaire est souvent plus proche de celui des poissons omnivores ou détriticoles que des herbivores stricts (Bowen, 1982).

I.7.3. Formulation des aliments et aliments composés

Des aliments formulés de haute qualité sont utilisés pour obtenir des rendements élevés et des poissons de grande taille (600-900 g) dans un court laps de temps (Dey, 2001). Dans le cadre de systèmes agricoles semi-intensifs, la plupart des producteurs de tilapia en Asie fertilisent leurs étangs et utilisent des aliments formulés. Cependant, dans les systèmes intensifs de culture des étangs et des réservoirs ou dans les cages, les aquaculteurs de tilapia dépendent principalement des aliments commerciaux granulés.

Les aliments pour tilapia représentaient environ 8,1% de la production mondiale d'aliments aquacoles en 2003 (Tacon *et al.*, 2006). Les aliments commerciaux de tilapia sont principalement des granulés secs et des granulés flottants extrudés. Les estimations de production pour les aliments pour tilapia fabriqués à la ferme ne sont pas disponibles, car elles sont habituellement propres au site et dépendent des ingrédients d'aliments pour animaux disponibles localement (Tacon *et al.*, 2006). Dans des pays comme les Philippines, les aliments pour animaux à la ferme ne sont pas très populaires, car les aquaculteurs du tilapia trouvent qu'il est plus pratique d'acheter des aliments formulés auprès d'entreprises d'aliments pour animaux.

Le principal problème dans la formulation de l'alimentation est de répondre aux exigences des protéines et des acides aminés essentiels (AAE) de l'espèce pour faciliter la croissance tissulaire/musculaire. La farine de poisson est généralement la source de protéines préférée en raison de la haute qualité de la protéine et de son profil AAE (Jauncey et Ross, 1982).

Cependant, la farine de poisson est généralement chère et n'est pas toujours disponible. Le tilapia du Nil peut être nourri avec un pourcentage élevé de protéines végétales (Ofojekwu et Ejike, 1984; Mbahinzireki *et al.*, 2001). Il est économiquement judicieux de remplacer la farine de poisson par d'autres sources de protéines, y compris les sous-produits animaux, les farines d'oléagineux et les gâteaux, les légumineuses et les sous-produits céréaliers et les plantes aquatiques (Rumsey, 1993; Agbo *et al.*, 2011). La plupart de ces ingrédients sont déficients dans certains AAE et nécessitent donc une supplémentation ou être compensés par d'autres aliments pour animaux. Bien que la plupart des gâteaux de sous-produits oléagineux soient généralement déficients en lysine et en méthionine, le mélange de différents gâteaux oléagineux fournit souvent un profil équilibré d'acides aminés (Lim et Webster, 2006).

Cependant, ils contiennent de nombreux facteurs antinutritionnels (tels que le gossypol, les glucosinolates, les saponines, les inhibiteurs de la trypsine, etc.) qui limitent leur utilisation dans les aliments composés ou nécessitent l'enlèvement/inactivation par traitement spécifique (chauffage, cuisson, etc.) (NRC, 1993). Il existe également plusieurs sources de protéines non conventionnelles qui peuvent convenir à *O. niloticus* tels que les larves de farine de farine, les pupes de vers à soie, les escargots, les vers de terre, la spiruline, les lentilles d'eau, le maïs et le gluten de blé, gâteau aux amandes, gâteau au sésame, déchets de brasserie, etc.

I.7.4. Ration et fréquence de nourrissage de tilapia

Le taux de rationnement journalier dans l'alimentation pratique des poissons comporte deux options. L'une consiste à nourrir le poisson à la satiété (c.-à-d. *Ad libitum*) et l'autre est de nourrir à une ration restreinte (Suresh, 2003). La meilleure croissance est normalement réalisée en se nourrissant à la satiété. Cependant, les niveaux de satiété ne sont pas nécessairement les niveaux d'alimentation les plus économiques, car la conversion des aliments aux niveaux de satiété est souvent faible. Cela peut également conduire à une suralimentation, qui est inutile et délétère pour la qualité de l'eau. Par conséquent, des rations restreintes sont recommandées pour l'alimentation des poissons (Suresh, 2003). Il est également courant de se nourrir en satiété avant de déterminer le taux d'alimentation. On sait généralement que les petits poissons consomment plus d'aliments par unité de poids corporel que les gros poissons. On sait que le tilapia consomme moins d'aliments pendant les mois les plus froids de l'année dans les pays où les fluctuations saisonnières de température sont importantes. Certains calendriers d'alimentation recommandés largement utilisés pour la culture semi-intensive et intensive du tilapia dans les étangs d'eau douce en Chine sont présentés dans le Tableau 7 (Miao et Liang, 2007).

Tableau 7. Calendriers d'alimentation pour diverses tailles de tilapia en culture semi-intensive et intensive dans les étangs d'eau douce

Taille de poisson (g)	Taux de rationnement (% du poids vif / jour)		Fréquence de nourrissage (No/jour)
	Semi-intensive (< 20.000/ha)	Intensive (>20.000/ha)	
< 1	30-10	-	à satiété
1-5	10-6	-	6
5-20	6-4	-	4
20-100	4-3	-	4
100-250	3	-	3
250-500	3-2	2-1,5	3
> 500	2-1,5	1,5-1,3	3-2

Source : Adapté par Miao and Liang (2007)

I.7.5. Besoins nutritionnels de tilapia du Nil en élevage intensif

Les besoins nutritionnels des poissons diffèrent selon les espèces et, plus important encore, varient selon le stade de la vie. Les alevins et les fingerlings ont besoin d'un régime alimentaire plus riche en protéines, lipides, vitamines et minéraux et glucides plus faibles, car ils développent des muscles, des organes internes et des os à croissance rapide (Fitzsimmons, 1997). D'après diverses études, les besoins protéiques de tilapia juvénile se situent entre 30 et 56% (Jauncey, 1998; Suresh, 2003; Agbo, 2008).

I.7.5.1. Protéines

Les besoins en protéines de tilapia du Nil pour une croissance optimale dépendent de la qualité/source des protéines alimentaires, de la taille ou de l'âge des poissons et du contenu énergétique des régimes et on a signalé qu'ils varient d'aussi haut que 45 à 50% pour les larves qui se nourrissent d'abord, 35-40% pour les alevins et les fingerlings (0,02-10 g), 30-35% pour les juvéniles (10-25 g) à 28-30% pour la culture (25 g) (Shiau, 2002; Fitzsimmons, 2005; Lim et Webster, 2006; El-Sayed, 2006) (Tableau 8). Les poissons de couvée ont besoin d'environ 40-45% de protéines pour une reproduction optimale, l'efficacité de frai et pour la croissance et la survie des larves. Le tilapia du Nil nécessite les dix mêmes acides aminés essentiels que les autres poissons maigres. Les AAE recommandées pour le tilapia du Nil sont indiquées dans le Tableau 9 ci-dessous :

Tableau 8. Besoins alimentaires en protéines pour le tilapia du Nil, *O. niloticus* par stade de vie

Stade de vie	Poids (g)	Teneur en protéine (%)
Larves		45-50
Alevins	0,02-1	40
Fingerlings	1-10	35-40
Juvéniles	10-25	30-35
Adultes	25-200	30-32
	> 200	28-30
Géniteurs		40-45

Source : Shiao (2002), Fitzsimmons (2005), Lim and Webster (2006), El-Sayed (2006)

Tableau 9. Besoins essentiels en acides aminés du tilapia du Nil, *O. niloticus* en % des protéines alimentaires et de l'alimentation totale

Acides aminés essentiels (AAE)	% de protéine	% d'aliment
Arginine	4,2	1,18
Histidine	1,72	0,48
Isoleucine	3,11	0,87
Leucine	3,39	0,95
Lysine	5,12	1,53
Méthionine	2,68 ^a	0,75
Phénylalanine	3,75 ^b	1,05
Thréonine	3,75	1,05
Tryptophane	1	0,28
Valine	2,8	0,78

a. En présence de cystine à 0,54% des protéines alimentaires. Le besoin total en acides aminés soufrés (méthionine plus cystine) est de 3,21% de la protéine

b. En présence de tyrosine à 1,79% des protéines alimentaires. Le besoin total en acides aminés aromatiques (phénylalanine plus tyrosine) est de 5,54% de protéines

Source des données : Shiao (2002), Fitzsimmons (2005), Lim et Webster (2006), El-Sayed (2006)

I.7.5.2. Lipides et glucides

L'exigence minimale des lipides diététiques dans les régimes de tilapia est 5% mais l'efficacité améliorée de croissance et d'utilisation de protéine a été rapportée pour des régimes avec 10-15% de lipides (Ng et Chong, 2004). Les acides gras polyinsaturés n-3 et n-6 (AGPI) se sont avérés essentiels à la croissance maximale du tilapia hybride (*O. niloticus* × *O. aureus*). Pour le tilapia du Nil, l'exigence quantitative pour les AGPI n-6 est d'environ 0,5 à 1%. Contrairement aux espèces de poissons marins, le tilapia ne semble pas avoir d'exigence pour les acides gras polyinsaturés n-3 (AGPI n-3) tels que l'EPA (20:5n-3) et le DHA

(22:6n-3) et ses besoins en acides gras n-3 peuvent être satisfaits avec de l'acide linoléique (18:3n-3). Les lipides bruts recommandés, les acides gras essentiels et l'énergie pour le tilapia du Nil sont indiqués dans le Tableau 10, ci-dessous :

Tableau 10. Lipides bruts, acides gras essentiels et besoins énergétiques pour la croissance d'*O. niloticus* (% MS)

Nutriments	Quantité
Lipide brut, % min.	10-15
Acides gras essentiels, % min.	
18:2n-6	0,5-1 ^a
20:4n-6	1 ^a
18:3n-3	
20:5n-3	
22:6n-3	
Carbohydate, % max ^b	40
Fibre brute, % max	8-10 ^c
Rapport protéine/énergie (mg/kcal)	120 ^d

a. 1% 20:4n-6 ou 0,5-1% 18:2n-6.

b. L'utilisation alimentaire des glucides semble diminuer avec la diminution de la taille des poissons

c. mg protéine pour kcl d'énergie brute (GE); d. mg protéine pour kcl de énergie digestible (DE).

Source : Shiao (2002), Fitzsimmons (2005), Lim and Webster (2006), El-Sayed (2006)

Les glucides sont inclus dans les aliments pour le tilapia pour fournir une source d'énergie bon marché et pour améliorer les propriétés de liaison de granulés. Le tilapia peut utiliser efficacement jusqu'à 35-40% de glucides digestibles (El-Sayed, 2006). Le tilapia du Nil est capable d'utiliser des niveaux élevés de divers glucides de 30 à 70% de l'alimentation. Il a également été démontré que le tilapia hybride plus grand (*O. niloticus* x *O. aureus*) utilisait mieux les glucides que les poissons de plus petite taille. Les poissons plus âgés semblent faire face à une teneur plus élevée en fibres alimentaires, soit un maximum de 8 à 10% (Jauncey, 1998; Lim et Webster, 2006; El-Sayed, 2006) et les plus jeunes à environ 6-8% (Shiao, 2002; Fitzsimmons, 2005).

I.7.5.3. Vitamines et minéraux

Il y a peu d'informations sur les besoins minéraux du tilapia. Comme d'autres animaux aquatiques, les tilapias sont capables d'absorber les minéraux de l'eau de culture, ce qui rend la détermination quantitative de ces éléments difficile à réaliser (Stickney, 1997). Malgré sa capacité à absorber les minéraux de l'eau de culture et la présence de minéraux dans les ingrédients alimentaires, les aliments pour tilapia devraient contenir des pré-mélanges minéraux supplémentaires. Il s'agit de s'assurer que des niveaux suffisants sont disponibles pour se protéger contre les carences minérales causées par une biodisponibilité réduite, par exemple lorsque des sources de phosphore végétale sont utilisées dans les aliments pour tilapia (Shiau et Su, 2003). Les besoins en minéraux de tilapia du Nil en pourcentage de l'alimentation sèche sont indiqués dans le Tableau 11, ci-dessous.

Tableau 11. Exigences minérales d'*O. niloticus* (% des aliments secs, sauf mention contraire)

Minéraux	Quantité
Macro éléments (%)	
Calcium, max.	0,7 ^a
Phosphore, min.	0,8-1
Magnésium, min.	0,06-0,08
Sodium, min.	
Potassium	0,21-0,33 ^b
Micro éléments, min mg/kg de régime sec	
Fe	60
Sulfure	
Chlorure	
Copper	2-3
Manganèse	12
Zinc	30-79
Cobalt	
Sélénium	0,4
Iodine	1
Molybdène	
Chrome	139,6 ^b
Fluore	

^a Sur la base des données d'*O. aureus*; ^b basé sur les données de tilapia hybride (*O. niloticus* x *O. aureus*).

Source : Shiau (2002), Fitzsimmons (2005), Lim and Webster (2006), El-Sayed (2006)

La supplémentation en vitamines n'est pas nécessaire pour le tilapia dans les systèmes agricoles semi-intensifs, tandis que les vitamines sont généralement nécessaires pour une croissance optimale et la santé de tilapia dans les systèmes de culture intensive où des aliments naturels limités sont disponibles (Lim et Webster, 2006; El-Sayed, 2006). Les besoins en vitamines de tilapia du Nil en pourcentage de l'alimentation sèche sont indiqués dans le Tableau 12.

Tableau 12. Besoins en vitamines d'*O. niloticus* (% des aliments secs, sauf mention contraire)

Vitamine	Quantité
Vitamines, min IU/kg de régime sec	5.000
Vitamine A (Rétinol)	
Vitamine D (Cholécalciférol)	3,75 ^b
Vitamine, min mg/kg de régime sec	
Vitamine E (α -tocophérol)	50-100 ^c
Vitamine K	4,4
Vitamine B ₁ (Thiamine)	4
Vitamine B ₂ (Riboflavine)	5-6 ^d
Vitamine B ₃ (Niacine/ acide nicotinique)	26-121 ^b
Vitamine B ₅ (Acide pantothénique)	10 ^a
Vitamine B ₆ (Pyridoxine)	1,7-9,5 ^c
Vitamine B ₉ (Acide folique)	0,5
Vitamine B ₁₂ (Acide cyanocobalamine)	Non requis
Choline	1.000 ^b
Inositol	400 ^b
Vitamine B ₇ (Biotine)	0,06 ^c
Vitamine C (Acide ascorbique)	420

^a Sur la base de données d'*O. aureus*; sur la base de données de tilapia hybride (*O. niloticus* x *O. aureus*).

^b Sur la base de régimes avec 5% lipide. Les besoins en Vit E augmentent de 500 mg/kg de régime sec à 10-15% de taux de lipide alimentaire; ^d sur la base de données de tilapia hybride (*O. mossambicus* x *O. niloticus*) et *O. aureus*

^c Sur la base de données de tilapia hybride (*O. mossambicus* x *O. aureus*) au taux de protéine alimentaire de 28%, besoins 15-16,5 mg/kg de régime à 36% de régime protéiné

Source : Shiao (2002), Fitzsimmons (2005), Lim and Webster (2006), El-Sayed (2006)

I.7.6. Carences nutritionnelles

Des signes d'insuffisance du tilapia d'élevage peuvent se produire lorsque les poissons sont nourris avec des régimes alimentaires déficients en nutriments ou élevés dans un système de culture à faible apport en éléments nutritifs (Dabrowska *et al.*, 1989). L'insuffisance d'AAE dans le tilapia entraîne généralement une perte d'appétit, une croissance retardée et une faible efficacité de l'utilisation des aliments pour animaux (Tableau 13).

Tableau 13. Carences en acides aminés essentiels et en acides gras essentiels

AAE/AGE	Différents signes/syndromes
<i>AAE</i>	
Lysine	Erosion de nageoire dorsale/caudale, faible croissance, forte mortalité
Méthionine	Croissance retardée, cataracte
Tryptophane	Faible croissance, scoliose, lordose, érosion de nageoire caudale
<i>Acide gras essentiel</i>	
Acide linoléique (18:2n-6)	Faible croissance, foie pâle enflé, foie gras

En gras italique : Rapporté les signes d'insuffisance en AGE pour *O. niloticus*, en gras : symptômes généraux de carence en AAE chez les poissons

Source : Tacon (1987), Tacon (1992)

Chez certaines espèces de poissons (*p. ex.* truite arc-en-ciel, saumon rouge, saumon atlantique, saumon kéta, saumon coho), la lysine, la méthionine ou la tryptophane entraînent divers signes tels que la scoliose, la lordose, l'érosion des nageoires et les cataractes, bien qu'aucun de ces signes d'insuffisance n'ait été signalé pour les tilapias (Tacon, 1987). À l'instar de l'insuffisance d'AAE, la carence en AGE entraînera également une perte d'appétit et une faible croissance du tilapia. D'autres signes rapportés des insuffisances d'AGE dans le tilapia du Nil incluent les foies pâles, gras et gonflés (Tacon, 1992).

Les carences en minéraux sont difficiles à évaluer dans le tilapia, car la plupart des oligo-éléments sont obtenus à la fois à partir des ingrédients alimentaires et de l'eau de culture (Dabrowska *et al.*, 1989). Alors que, les signes de carence en vitamine ne sont pas un événement commun dans le tilapia (Jauncey, 2000; Lim et Webster., 2006; El-Sayed, 2006). En fait, plusieurs études ont fait état de la « non-essentialité » de l'ajout de pré-mélanges de vitamines aux régimes de tilapia (Jauncey, 2000). Du fait, des vitamines endogènes présentes dans les ingrédients alimentaires et la biosynthèse microbienne de certaines vitamines dans l'intestin sont toutes susceptibles de contribuer de manière significative aux besoins en vitamines du tilapia.

I.7.7. Paramètres de la qualité d'eau d'élevage

Les Tilapia font partie des poissons les plus faciles et les plus profitables à élever en milieu clos à cause de leur diète omnivore, sont résistants aux maladies et à la manipulation, faciles à reproduire en captivité et capables de tolérer un large éventail de conditions environnementales (Shiau, 2002; Suresh, 2003). Il a été démontré que certaines espèces cultivées survivent à une concentration d'oxygène dissous de 0,1 mg L⁻¹ de concentration d'ammoniac non ionisé de 2,4 mg L⁻¹ et tolérée (Lovell, 1998). Bien que les tilapias soient généralement de l'eau douce, ils sont euryhalins et capables de bien se développer dans l'eau saline si correctement acclimaté. Cependant, leur activité et leur alimentation sont réduites en dessous de 20 °C et l'alimentation s'arrête autour de 16 °C (Lovell, 1988). Les gammes appropriées de paramètres de qualité de l'eau pour survivre au tilapia sont indiquées dans le Tableau 14.

Tableau 14. Paramètres de qualité de l'eau d'élevage de tilapia

Paramètres	Game de tolérance *	Niveau désirable ⁺
Température (°C)	12-35	26-32
Salinité (ppm)	3-25	0-20
pH	5-10	6,5-8,5
Oxygène dissous (mg/l)	2-8	> 3-5
Ammonium (mg/l)	0,0125	< 1
Nitrite (mg/l)	0,1-0,2	-
Nitrate (mg/l)	0-3	-
Alcalinité (mg/l)	> 20	> 20
Dureté (mg/l)	> 20	< 50

Source : Agbo, 2008; * adapté de (Stickney R.R, 1979; Popma and Masser, 1999; Hussain, 2004; Swann, 2007);
⁺ (Suresh, 2003)

I.7.7.1. Température

La température de l'eau, probablement la variable physique la plus importante de l'écologie aquatique, est le degré ou l'intensité de la chaleur présente dans l'eau. La température de l'eau affecte la croissance, le métabolisme, la reproduction, la consommation alimentaire, la physiologie et la survie d'*O. niloticus* (Bilale & Teklie, 2017). Popma et Masser (1999) décrivent les niveaux de température létale pour *O. niloticus* comme ≤ 12 °C et ≥ 42 °C. Selon Boussou *et al.* (2017) une meilleure croissance des stades larvaires d'*O. niloticus* a été obtenue dans une plage de températures de 27,5 à 30,6 °C, ce qui est en accord

avec la plage de températures (20-30 °C) rapportée par Mirea *et al.* (2013) pour des performances de croissance et une survie optimale d'*O. niloticus* dans un système de culture intensive. Dans une autre étude, Azaza *et al.* (2008) ont découvert que la meilleure croissance et l'utilisation des aliments pour les alevins d'*O. niloticus* étaient atteintes à une température comprise entre 26 et 30 °C. Des résultats similaires ont également été rapportés par Faruk *et al.* (2012) où la température optimale pour la croissance des alevins *O. niloticus* était de 25-29 °C. Des études ont montré que les taux de croissance d'*O. niloticus* augmentent avec l'augmentation de la température, cependant, lorsque la température expérimentale atteint la limite supérieure de la plage de tolérance, les performances de croissance diminuent (Boussou *et al.*, 2017). Cette diminution de la croissance pourrait être due au coût énergétique plus élevé pour le métabolisme d'entretien et à la perte d'appétit (Azaza *et al.*, 2008). De plus, Boussou *et al.* (2017) ont suggéré qu'un taux élevé d'évacuation gastrique pourrait également être une raison pour une diminution de la croissance à une température plus élevée. Et selon le même auteur, une température plus élevée accélère le taux de passage du digesta dans le tractus intestinal, réduisant ainsi considérablement la digestibilité et l'assimilation des nutriments. À température plus élevée, les processus physiologiques associés à la digestion et à la fonction de rétention d'azote sont moins efficaces.

I.7.7.2. Salinité

Le taux de croissance d'*O. niloticus* est fortement influencé par différents niveaux de salinité (Iqbal *et al.*, 2012). La tolérance au sel de cette espèce dépend des souches, de la taille et des facteurs environnementaux dominants (Altum et Sarihan, 2008). De Azevedo *et al.* (2015) ont rapporté qu'une meilleure croissance d'*O. niloticus* a été observée à un niveau de salinité allant jusqu'à 7 ppm. Un résultat similaire a également été rapporté par Popma et Masser (1999) où *O. niloticus* peut bien se développer à des salinités allant jusqu'à 15 ppm, avec de meilleurs résultats en dessous de 5 ppm. En outre, ce rapport a également été soutenu par Likongwe *et al.* (1996) où *O. niloticus* peut bien pousser à des salinités allant jusqu'à 16 ppm avec un niveau de salinité optimal de 8 ppm. Les meilleures performances d'*O. niloticus* cultivées dans des niveaux de salinité de l'eau plus faibles peuvent être liées au coût énergétique de la régulation ionique, qui est plus faible lorsque le poisson est maintenu dans un environnement isotonique et cette énergie peut être dirigée vers la croissance (Boeuf et Payan, 2001). Outre l'osmorégulation, l'effet de la salinité de l'eau sur les performances d'*O. niloticus* pourrait s'expliquer par son action sur les enzymes digestives, où l'exposition à différentes salinités pourrait modifier l'ingestion d'eau, altérant les enzymes du contenu

intestinal et affectant l'activité du système digestif comme Moutou *et al.* (2004) ont signalé chez le sparidé (*Sparus aurata*).

I.7.7.3. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH de l'eau est une mesure de l'ion hydrogène qui provoque l'acidité et l'alcalinité sur une échelle de 0 à 14 avec 7 étant l'état neutre (Kumar & Puri, 2012). Il a été utilisé universellement pour exprimer l'intensité de l'état acide ou alcalin d'une solution. Le pH de l'eau est un facteur crucial pour le développement, la croissance et la survie des poissons où les fluctuations du pH dans l'eau provoquent un déséquilibre ionique et pourraient entraîner la mort (Abdullah *et al.*, 2017). L'eau alcaline (pH 8,5 - 10) et acide (pH inférieur à 6) provoque des perturbations physiologiques aiguës chez les poissons, affectant le taux de croissance normal et devenant finalement un facteur potentiellement mortel pour les poissons (Abdullah *et al.*, 2017). El-Sherif et El-Feky (2009) ont rapporté que le pH de l'eau 7-8 pourrait être plus approprié pour la culture du tilapia du Nil pour une performance de croissance et un taux de survie optimaux. Ce rapport est cohérent avec le rapport de Popma et Masser (1999) où les tilapias peuvent survivre à un pH allant de 5 à 10 mais ils font mieux à un pH allant de 6 à 9.

I.7.7.4. Oxygène dissous

L'oxygène dissous, outre l'alimentation et la température, est le facteur le plus important contrôlant la croissance (Jobling, 1994). Il est nécessaire à la dégradation du glucose et à la libération d'énergie à l'intérieur des cellules de poisson (Boyd, 1998). La teneur en oxygène dissous inférieure à un niveau critique réduit la croissance des poissons et l'utilisation des aliments, augmente le taux de conversion alimentaire, augmente le risque de maladies potentielles ou même de mort des poissons (Sultana *et al.*, 2017). De plus, il a été rapporté que de faibles niveaux d'oxygène dissous peuvent inhiber la prise alimentaire, ce qui pourrait par la suite entraîner une mauvaise croissance des poissons. Cela peut être dû à la disponibilité réduite de l'oxygène nécessaire à la dégradation du glucose et à la libération d'énergie à l'intérieur des cellules de poisson (Boyd, 1998). Il a été rapporté que le modèle de croissance d'*O. niloticus* est fortement influencé par la faible disponibilité d'oxygène dissous (Abdel-Tawwab *et al.*, 2015). Dagne *et al.* (2013) ont mentionné que le niveau d'oxygène dissous pour une croissance acceptable d'*O. niloticus* varie de 3 à 9.

I.7.7.5. Composés azotés

En pisciculture, l'intoxication par l'ammoniaque est étroitement liée au pH, dont l'augmentation entraîne la transformation d'une quantité importante de l'ammoniaque totale sous sa forme toxique (NH₃) (Azaza, 2004). La concentration des déchets métaboliques azotés excrétés par les branchies et les urines dépend essentiellement de la température, de la taille des individus ainsi que de la qualité et la quantité de l'aliment distribué. Cette concentration doit être maintenue inférieure au seuil critique d'*O. niloticus*, en ne dépassant pas les 15 mg/l pour les nitrates, 2 mg/l pour les nitrites, et 0,95 mg/l pour l'ammoniaque total (Malcolm *et al.*, 2000).

I.7.7.6. Photopériode

L'action de la lumière, bien qu'étroitement liée à la température, agit sur la croissance *via* le système endocrinien. En effet, Mélard *et al.* (1986) expliquent qu'une photopériode optimale (18 h) stimule la sécrétion de l'hormone de croissance (GH) chez *O. niloticus*. Par ailleurs, les larves sont plus sensibles à la photopériode que les alevins et les juvéniles (El-Sayed et Mamdouh, 2004). Expérimentalement, les larves qui sont exposées à une longue période d'éclairage (18-24h) ont une meilleure croissance et une efficacité alimentaire significativement plus importante que celles exposées à une période courte ou intermédiaire entre 6-12h (El Sayed et Mamdouh, 2004).

Partie

Expérimentale

Chapitre II

Matériel & méthodes

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

II.1. Localisation du site d'étude

Cette étude a été réalisée à la Station expérimentale milieu Biophysique de l'Oued Righ (Touggourt) du Centre de Recherche Scientifique et technique sur les régions arides (CRSTRA, Biskra-Algérie), située entre 33° 04' de latitude Nord et 6° 02' de longitude Est sur la limite sud de la commune de Nezla à environ 3,5 km du chef lieu de wilaya Touggourt (Fig. 6). La station s'étend sur une superficie de 0,9 ha et présente une source de références scientifiques et techniques dans des filières très spécifiques (Agriculture oasienne, Elevage camelin et caprin, Zones humides, Ensablement, et également un lieu d'échange scientifique et techniques). La station expérimentale, ainsi que son nom l'indique, est destinée principalement à servir aux expérimentations agricoles sahariennes. Elle est pourvue de deux laboratoires complets contenant les moyens nécessaires à ces sortes d'investigation.

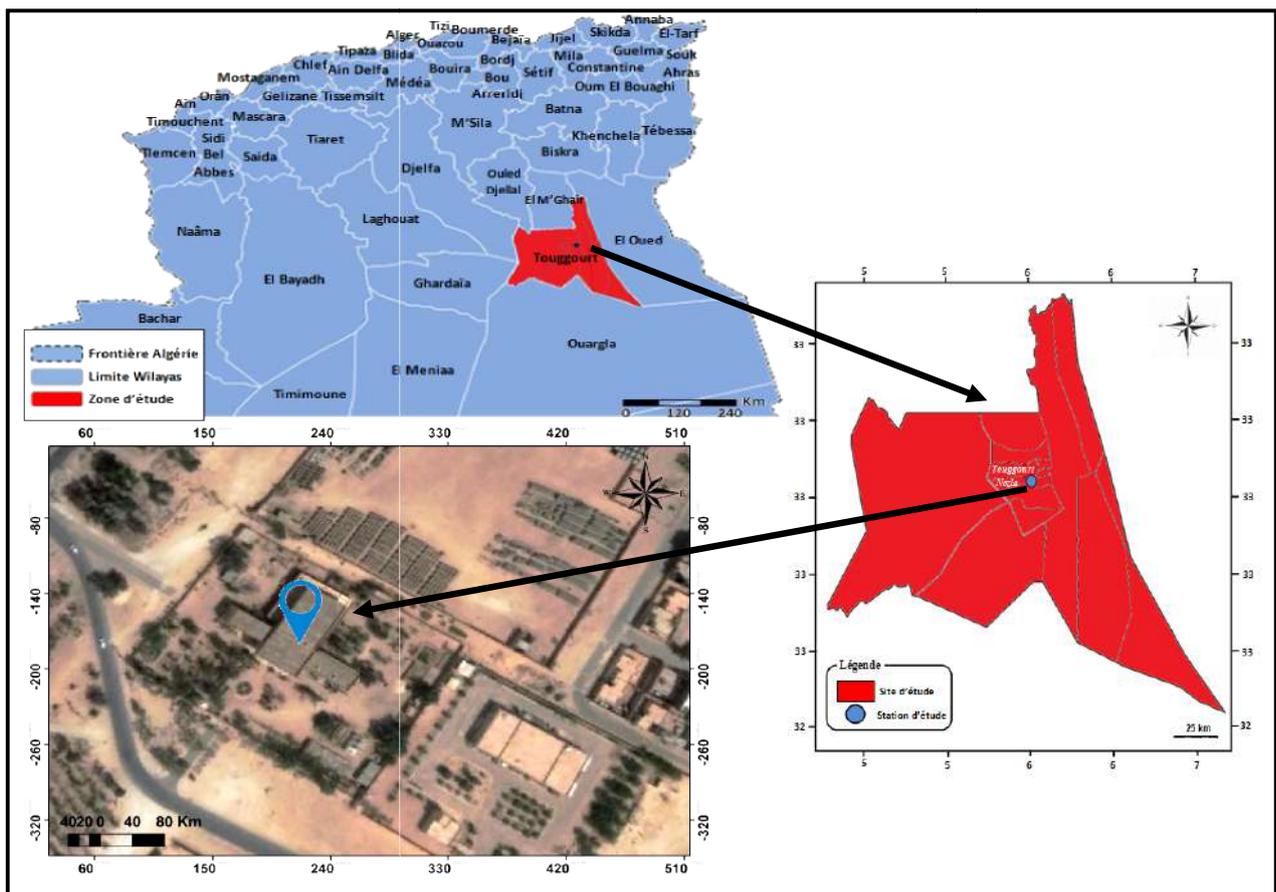


Figure 6. Localisation de la station d'étude expérimentale (Carte : Merah, 2022)

II.2. Régimes expérimentaux

II.2.1. Sélection d'ingrédients alimentaires et formulation d'aliments

Les ingrédients alimentaires utilisés dans la formulation et la préparation des régimes expérimentaux ont été sélectionnés sur la base des résultats d'une enquête locale. Six ingrédients utilisés ont été sélectionnés en fonction de leur valeur nutritive, disponibilité tout au long de l'année et leur coût. Il s'agit de tourteau de soja (FTS), son de blé (FSB) et amidon de maïs (AM), ont été obtenus du marché local. Ainsi que, le poisson (*Sardinella aurita*), dont la farine (FP) a été préparée selon le procédé adopté par Tarhouni *et al.* (2015); un blanchiment du poisson entier, après éviscération, dans l'eau bouillante (cuisson à 90°C pendant 20 min), suivi du pressage pour extraire de la liqueur (eau + huile) du gâteau, qui est par la suite séché à 75°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Le produit obtenu est ensuite broyé et la farine est stockée dans des sacs plastiques à 4°C (Fig. 7). Alors que, lentille d'eau (*Lemna minor*) a été récoltée du bassin d'élevage de la station d'étude (Fig. 8). La quantité de lentille d'eau fraîchement collectée, a été rincée à l'eau du robinet, répartie sur un support en plastique et séchée au soleil pendant 4 jours, puis transférée au four à air chaud (BINDER™) pour être séchée à nouveau à 45°C pendant 12 heures. Cependant, les larves de *Tenebrio molitor* ont été produites à partir de la culture d'insectes effectuée à la station d'étude (Fig. 9). Les insectes ont été gardés dans des boîtes en plastique (40 × 30 × 25 cm) à 25 ± 2°C, nourris avec un mélange de son de blé et tourteau de soja (3:1 respectivement) avec addition de légumes comme source d'eau. Les larves mesurant entre 25 et 30 mm de longueur sont prélevées régulièrement et placées au réfrigérateur (4°C). La quantité collectée a été immergée dans un bain d'eau bouillante (1:2 v/v) pendant 3 min et séchées à 80°C au four à air chaud (Siemianowska *et al.*, 2013).

Les ingrédients bruts sont finement broyés et tamisés à l'aide d'un tamis de 400 micromètres et stockés dans sac en polythènes dans un endroit sec.



Figure 7. Procédé de fabrication de la farine de poisson (Photo: Merah, 2019)



Figure 8. Culture, séchage et broyage de lentilles d'eau (Photo: Merah, 2019)



Figure 9. Elevage et fabrication de la farine de vers de *Tenebrio molitor* (Photo: Merah, 2019)

Les échantillons de différents ingrédients entrants dans la fabrication des aliments ont été analysés au laboratoire d'analyses de la station d'étude (CRSTRA). Les résultats desdites analyses sont présentés dans le Tableau 15, ci-dessous.

Table 15. Compositions biochimiques (MS%) d'ingrédients entrant dans les régimes d'essai

	FP	FTS	FSB	FLM	FTM	AM
Composition (% MS ¹)						
Matière sèche	93	92,48	90,73	92,23	92,37	89,6
Protéine brute	75,39	45,98	13,88	29,71	51,47	2,49
Matière grasse	3,95	1,9	4,48	1,05	25,34	0,92
Fibre brute	1,55	6,5	13,59	12,21	11,69	4,2
Cendre	11,05	6,84	8,79	25,28	3,26	0,33
ENA ²	1,06	31,26	49,99	23,98	0,61	81,66
Calcium (g/Kg)	4,34	0,36	0,2	4,97	0,25	0,02
Phosphore (g/Kg)	2,8	0,71	1,1	0,51	0,76	0,13
Energies brutes (kJ g ⁻¹) ³	19,03	16,67	13,48	11,35	21,6	14,93

FP, farine de poisson; FTS, tourteau de soja; FSB, farine son de blé; FLM, farine de *L. minor*; FTM, farine *T. molitor*; AM, Amidon de maïs; MS: matière sèche.

¹ par apport à la Matière sèche.

² Extractif Non Azoté = 100 % – (lipide%+ teneur en eau% + protéines%+ fibres% + cendres%).

³ Calculé à l'aide des facteurs: glucides, 4,1 kcal 100g⁻¹; protéine, 5,5 kcal 100 g⁻¹ et, lipides, 9,1 kcal 100 g⁻¹ (New, 1987), et transformée en kJ en utilisant le facteur 4,184.

II.2.2. Détermination de la composition nutritionnelle des produits alimentaires

Des analyses immédiates des ingrédients sélectionnés et régimes alimentaires formulés pour l'étude ont été effectués selon les procédures qui adhèrent largement à l'Association des chimistes analytiques officiels (AOAC, 2000). Le protocole a été appliqué dans la détermination du pourcentage (%) de matière sèche (MS), % de protéine brute (PB), % de cendre, pourcentage de la matière grasse (MG), % d'extrait non azoté (ENA) et de fibre brute (FB).

II.2.2.1. Humidité et matière sèche (MS)

La teneur en eau (humidité) de chaque échantillon a été déterminée en pesant 2 g d'échantillon broyé dans un creuset sec pré pesé en triples. Les échantillons pesés ont ensuite été séchés à 105°C pendant 24 heures dans l'étuve. La mesure gravimétrique de l'eau dans les échantillons a été exprimée en pourcentage du poids initial des échantillons. Le poids des échantillons après séchage a été exprimé en pourcentage de celui des échantillons initiaux pour obtenir le pourcentage de matière sèche (MS %) comme suit:

$$MS \% = \frac{W3 - W1}{W2 - W1} \times 100$$

Où,

W1 = Poids creuset vide (g),

W2 = Poids creuset et échantillon (g),

W3 = Poids creuset et échantillon après séchage (g).

Pourcentage humidité :

$$\% = 100 - MS \%$$

II.2.2.2. Cendres brutes (CB)

Le taux de cendres est une mesure de la matière inorganique totale par incinération (AOAC, 2000). Environ 3 g de chaque échantillon ont été pesés en triples dans des creusets pré pesés et incinérés pendant environ 12 heures durant la nuit à 550°C à l'aide d'un four à moufle (Nabertherm B180). Les creusets et leur contenu ont été enlevés et refroidis dans un dessiccateur, puis pesés par la suite. L'augmentation du poids final des creusets représentait les cendres et a été exprimée en pourcentage de l'échantillon original à l'aide de la formule :

$$\text{Cendres \%} = \frac{W3 - W1}{W2 - W1} \times 100 \%$$

Où,

W1 = Poids creuset vide (g),

W2 = Poids creuset vide et échantillon (g),

W3 = Poids creuset et résidu après incinération (g).

II.2.2.3. Protéine brute (PB)

La méthode Kjeldahl (AOAC, 2000) a été utilisée pour la détermination de % de PB d'échantillons en triples. Une quantité de 1g (W) de chaque échantillon a été pesée et transférée dans des tubes numérotés de Kjeldahl et un catalyseur (90 % K₂SO₄ et 10 % CuSO₄) pesant 2 g a été ajouté dans le tube à essai. Environ 20 ml de H₂SO₄ ont été ajoutés dans la solution. Les tubes ont ensuite été placés dans l'unité de digestion sous une hotte de fumée et la température du digesteur a été progressivement augmentée à environ 420 ± 20°C.

Les échantillons ont été autorisés à chauffer pendant au moins 1 heure jusqu'à ce que la solution devienne incolore, ce qui indique que la digestion a été terminée. Les tubes de digestion ont été laissés refroidir pendant 10-20 minutes. Ajouter de l'eau distillée dans chaque tube de façon à atteindre un volume total d'environ 80 ml. Environ 20 ml de digests ont été pipetés dans la section de vapeur de l'appareil de distillation, puis 40 ml de mélange alcalin a été ajouté. Ensuite, l'appareil a été mis à produire de la vapeur contenant de l'azote, qui a été condensée dans le condenseur et piégée dans 5% d'acide borique. Environ 50 ml de distillats ont été recueillis dans des flacons à fond plat et titrés contre 0,1 M d'acide chlorhydrique.

Le pourcentage d'azote dans les échantillons a été calculé à l'aide de la formule :

$$N \% = \frac{(V_s - V_b) \times M(\text{HCL}) \times 1 \times 14,007}{W \times 10}$$

Où,

V_s = ml HCL nécessaire pour titrer l'échantillon,

V_b = ml HCL nécessaire pour le test à blanc,

$M(\text{HCL})$ = molarité de HCL,

1 = facteur d'acidité,

14,007 = poids moléculaire de N,

10 = conversion de mg/g en % et

W = poids de l'échantillon (g).

Le pourcentage de protéines brutes (PB) dans les échantillons a été déterminé en multipliant le pourcentage d'azote avec un facteur de 6,25 (AOAC, 2000).

II.2.2.4. Matière grasse (MG)

L'échantillon (W_1) est pesé puis placé dans une cartouche de cellulose. La cartouche est perméable au solvant et à la matière grasse qui y est dissoute. L'extraction de lipides effectuée par un solvant organique (Hexane) et réalisée avec trois temps d'extraction selon le mode de fonctionnement de l'appareil du fabricant de type Soxhlet (Velp). Après évaporation de solvant, le taux de matière grasse brute est déterminé gravimétriquement selon la méthode directe qui consiste à peser l'huile obtenue directement après évaporation du solvant organique.

Le taux de la matière grasse est calculé par la formule suivante :

$$\text{Lipides bruts \%} = \frac{W3 - W2}{W1} \times 100$$

Où,

W1 = Poids d'échantillon initial en gramme,

W2 = Poids tare de flacons en gramme,

W3 = Poids du flacon et du résidu lipides en gramme.

II.2.2.5. Fibre brute (FB)

Le dosage des fibres brutes a été fait selon la méthode (Weende). 1g (W1) d'échantillons dégraissés et secs dans des creusets en verre fritté, prépesés ont été utilisés pour la détermination de la fibre brute par une série d'extraction avec des digestions acide et alcaline (H₂SO₄ et KOH). Les creusets ont été montés sur un extracteur FIWE (VELP) et fonctionne selon les instructions d'exploitation du fabricant. L'échantillon hydrolysé et séché au four a ensuite été en cendres dans le four à moufle à 550°C et la fibre brute dans les échantillons dégraissés a été exprimée en pourcentage des échantillons non remboursés d'origine comme suit :

$$\text{Fibers brutes \%} = \frac{W2 - W3}{W1} \times 100$$

Où,

W1 = Poids échantillon (g),

W2 = Poids creuset et résidu après séchage (g),

W3 = Poids creuset et résidu après incération (g).

II.2.2.6. Extractif non azoté (ENA)

L'ENA contient, en grande partie, les hydrates de carbone simples ou complexes, qui sont porteurs d'une fraction non négligeable de l'énergie métabolisable de l'aliment. Sa teneur a été déterminée par différence, suivant la formule:

$$\text{ENA \%} = \text{MS \%} - (\text{PB \%} + \text{MG \%} + \text{FB \%} + \text{CB \%})$$

II.2.2.7. Dosage du phosphore (P)

Les matériaux des aliments pour animaux sont incinérés après une digestion dans l'acide chlorhydrique. Le réactif molybdovanadate est ajusté ce qui se traduit par une couleur jaune caractéristique après réaction avec le phosphore, mesurée par spectrophotométrie. La méthode s'applique aux ingrédients des aliments pour animaux dont le contenu en phosphore < 50 g/kg. Pour les échantillons à contenu de phosphore plus élevé, une méthode gravimétrique est recommandée, à savoir le phosphomolybdate de quinoline.

Après avoir préparé l'échantillon, 1 g (W) séché dans un bécher au four à moufle à une température de 550°C pendant environ 16 heures (une nuit) pour retirer le matériel carboné ; ensuite laisser refroidir. On ajoute 10 ml 6 M d'acide HCL dans chaque bécher et placer sur une plaque pré-chauffante à 250°C, couvrir les béchers avec plateau de verre, et laisser digérer pendant 20 minutes. Après les avoir laissé refroidir on place quantitativement les contenus des béchers dans des flacons volumétriques de 25 ml, ajuster la marque avec de l'eau distillée, et bien mélanger après laisser les solutions reposer pendant la nuit.

Pour mesurer le contenu du phosphore, diluer une aliquote de la solution avec de l'eau distillée afin d'obtenir un contenu en phosphore ne dépassant pas 40 µg/ml. Transférer 10 ml de la solution diluée et de la solution standard pour séparer les tubes de testage. Prendre un tube de testage avec 10 ml d'eau (blanc), et on ajoute 10 ml de réactif de molybdovanadate à chaque tube, et on mélange avant qu'on les laisse reposer pendant 10 minutes à 20°C. En utilisant un spectrophotomètre vis-à-vis au blanc, on mesure l'absorbance des solutions à 430 nm pendant 45 minutes; les concentrations des solutions d'échantillons ont été extrapolées à partir de la courbe standard et la quantité de phosphore a été déterminée comme suit :

$$\text{Phosphore \%} = \frac{C \times V \times FD}{W \times 10}$$

Où,

C = Concentration en phosphore dans la solution mesurée (mg/litre),

V = Volume de la solution (en litre, c-à-d 0,005 L),

FD = Facteur de dilution (normalement 1),

W = Poids échantillon (g), et

10 = Facteur pour convertir g/kg en %.

II.2.2.8. Dosage du calcium (Ca)

L'échantillon d'ingrédients et aliments préparés est enflammé à 550°C afin de brûler tout le matériel organique. Les minéraux rémanents sont digérés dans l'acide chlorhydrique 6 M afin de libérer le calcium qui sera alors déterminé en utilisant une évaluation spectrophotométrique basée sur la réaction du calcium avec la complexone à l'ocresolphtaléine en solution alcaline. Le magnésium est masqué par la 8-hydroxyquinoline.

Après avoir préparé un échantillon de 1 g (W) dans un bécher et incinéré dans un four à moufle à 550°C pendant 16 heures (une nuit) et on laisse refroidir. Ajouter 10 ml d'HCL (6 M) à chaque bécher avant de les placer à la digestion dans une plaque préchauffée à 250°C pendant 20 minutes, en couvrant les béchers avec une plaque en verre.

Laisser refroidir les béchers, transférer quantitativement leurs contenus dans un flacon volumétrique de 25 ml, en ajustant avec de l'eau distillée avant de bien mélanger.

Mesurer le calcium dans les solutions et les standards par la méthode CPC en suivant les instructions du fabricant du kit de testage, mesurer l'absorbance à 578 nm.

Le calcul du contenu en calcium de la solution est mesuré par régression linéaire. Le pourcentage de calcium est calculé comme:

$$\text{Calcium \%} = \frac{C \times V \times \text{FD}}{W \times 10}$$

Où,

C = Concentration en calcium de la solution mesurée (mg/litre),

V = Volume solution (en litre, c-à-d 0,025 l),

FD = Facteur de dilution (normalement 1),

W = Poids échantillon (g), et

10 = Facteur pour convertir g/kg en %.

II.2.2.9. Energie brute (EB)

L'énergie brute pour les ingrédients alimentaires et les régimes formulés ont été calculées sur la base des facteurs de conversion : 5,5, 9,1 et 4,1 kcal g⁻¹ pour les protéines, les graisses et les carbohydrates, respectivement (New, 1987).

II.2.2.10. Acides aminés essentiels (AAE)

La composition en acides aminés des ingrédients et régimes expérimentaux a été déterminée en triple par chromatographie liquide haute performance (HPLC, Nexera - XR, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan). L'analyse des acides aminés a été réalisée en utilisant Le kit de dérivation AccQ-Tag Ultra, comprenant les réactifs, les éluants et la colonne Ultra C18 en phase inverse de 4,6 mm × 150 mm × 3 μm (LabSolutions, Japan) et la détection a été effectuée à 338 nm à l'aide d'un détecteur à UV et un système d'acquisition de données (logiciel) HP chemstation.

II.2.3. Formulation de régimes expérimentaux

Tableau 16. Niveaux d'inclusion (%) et compositions (MS %) des ingrédients utilisés dans l'alimentation du pré-grossissement I

Ingrédients (%)	A ₀ (témoin)	A ₁	A ₂	A ₃
Lentille d'eau	0	5	10	20
Larves de ver de farine	0	25	20	10
Farine de poisson	27	10	12	15
Tourteau de soja	30	30	30	30
Son de blé	25	14	10	10
Amidon de maïs	12	12	12	9
Levure de boulanger	1	1	1	1
CMV ¹	2	2	2	2
Huile de soja	3	1	3	3
Ratio*	0:0	1:5	2:4	4:2
Analyse biochimiques (%MS) ¹				
Protéine brute	38,65	38,39	38,5	38,55
Lipide brut	5,91	9,13	9,68	7,32
Fibre brute	6,33	8,1	7,52	7,69
ENA ²	31,95	28,03	27,22	27,14
Energie brute (kJ g ⁻¹) ³	16,63	17,12	17,21	16,31
Coût d'aliments (DZD kg ⁻¹)	220	130	140	150

¹ Par rapport à la matière fraîche.

² Extractif non azoté 100 % = (lipides % + humidité % + protéines % + fibres % + cendres %).

³ Calculé en utilisant les facteurs : glucides, 4,1 kcal 100g⁻¹ ; protéine, 5,5 kcal 100 g⁻¹ et, lipides, 9,1 kcal 100 g⁻¹ (New, 1987), et transformé en kJ en utilisant le facteur 4,184.

* Ratio entre la farine de lentilles d'eau et la farine de vers de farine.

Tableau 17. Niveaux d'inclusion (%) et compositions (MS %) des ingrédients utilisés dans l'alimentation du pré-grossissement II

Ingrédients (%)	A ₀ (témoin)	A ₁	A ₂	A ₃
Lentille d'eau	0	5	10	20
Larves de ver de farine	0	25	20	10
Farine de poisson	23	8	11	16
Tourteau de soja	30	30	30	30
Son de blé	25	15	12	8
Amidon de maïs	13	13	12	11
Levure de boulanger	1	1	1	1
CMV ¹	2	2	2	2
Huile de soja	6	1	2	2
Ratio*	0:0	1:5	2:4	4:2
Analyse biochimiques (%MS) ¹				
Protéine brute	35,38	35,3	35,39	35,32
Lipide brut	8,76	9,62	9,58	7,48
Fibre brute	6,31	8,29	7,93	7,5
ENA ²	23,02	29,55	28,52	28,23
Energie brute (kJ g ⁻¹) ³	15,42	16,86	16,68	15,82
Coût d'aliments (DZD kg ⁻¹)	200	110	130	140

¹ Par rapport à la matière fraîche.

² Extractif non azoté 100 % = (lipides % + humidité % + protéines % + fibres % + cendres %).

³ Calculé en utilisant les facteurs : glucides, 4,1 kcal 100g⁻¹, protéine, 5,5 kcal 100 g⁻¹ et, lipides, 9,1 kcal 100 g⁻¹ (New, 1987), et transformé en kJ en utilisant le facteur 4,184.

* Ratio entre la farine de lentilles d'eau et la farine de vers de farine.

Dans l'ensemble, dans chaque expérience quatre régimes expérimentaux ont été formulés pour contenir en moyenne (38,52 et 35,35% de protéines, 8,1et 8,86% de matières grasses et 16,81 et 16,2 kJ g⁻¹ d'énergie brute, respectivement). Les aliments ainsi obtenus doivent être le moins cher possible tout en trouvant un équilibre entre le pourcentage, la valeur nutritive et les contraintes des ingrédients utilisé pour la formulation. Et surtout, tout en satisfaisant les besoins nutritionnels de l'espèce en acides aminés indispensables en % des protéines de l'alimentation totale (Annexe I et II). Seules, La farine de poisson (farine d'allache, produite selon Tarhouni *et al.*(2015) et la farine tourteau de soja (produit du marché locale) ont été utilisées comme principales sources de protéines alimentaires dans le régime témoin A₀. Alors que, dans les régimes tests (A₁, A₂ et A₃) la farine de poisson a été substituée partiellement à des taux (1 : 5, 2 : 4 et 4: 2) respectivement, de mélange de farine de lentille d'eau et vers de farine (Fig. 10).

Cependant, le son de blé et l'amidon de maïs ont été utilisés comme principales sources alimentaires de glucides dans l'ensemble des régimes. L'amidon de maïs servait également de liant. L'huile de soja a été utilisée comme principale source de lipides dans les régimes.



Figure 10. Types et tailles d'aliments formulés (Photo: Merah, 2020)

La farine de poisson, le tourteau de soja, le son de blé, la farine des larves de vers de farine ainsi que celle de lentille d'eau ont été finement moulus séparément à l'aide d'un broyeur à mortier (RM 200 Retsch™) et ont par la suite tamisé à travers un tamis de 400 μm pour les débarrasser de particules de taille relativement plus grande. L'amidon de maïs n'a pas été moulu car il était déjà sous forme de poudre avant d'être acheté. Cependant, il a également été tamisé.

Pour chaque aliment les ingrédients en poudre sèche ont été pesés à l'aide d'une balance électronique de précision (KERN ALJ 220-4NM) et mélangés jusqu'à l'obtention d'une poudre homogène à laquelle on a ajouté l'huile de soja et le CMV (complexe minéraux-vitaminé). La quantité mesurée de prémélange vitaminique-minérale de poulet de chair et d'huile de soja a été ajoutée aux régimes expérimentaux et le mélange a été mélangé à fond.

La composition du prémélange vitamino-minéral utilisé dans les aliments d'essais est indiquée dans le Tableau 18, ci-dessous.

Tableau 18. Composition du prémélange vitamino-minéral utilisé dans les aliments expérimentaux

Composition	mg ou UI kg ⁻¹
Vitamine A	400.000 UI
Vitamine D ₃	14.000 UI
Vitamine E	75.000 UI
Vitamine K ₃	119,85 mg
Vitamine B ₁	83,3 mg
Choline	12.000 UI
Fe	1.700 mg
Cu	100 mg
Mn	3.200 mg
Zn	1.350 mg
Iode	60 mg
Se	6,7 mg
Co	2 mg
P	91 mg
Ca	270 mg
N	360 mg

Ensuite, 45% de l'eau distillée a été versée lentement au mélange en remuant continuellement pour former une pâte homogène. La pâte a ensuite été pressée dans un hachoir à viande (Clatronic FW3506) équipé d'une plaque matrice de 3 mm (Fig. 11), ce qui a donné des filaments en forme de spaghetti. Ces filaments sont par la suite séchés au four à air chaud (BINDER, Allemagne) à 45°C pendant 24h, fragmentés à la taille désirée, ensachés et stockés à 4°C jusqu'à la distribution.



Figure 11. Utilisation d'un hachoir à viande pour faire des granulés de régimes alimentaires des poissons (Photo: Merah, 2020)

II.3. Protocole expérimental

II.3.1. Installation expérimentale

L'étude de croissance des poissons a été réalisée dans un système intensif composé de 12 aquariums en verre, de 80 l de volume utile avec une profondeur d'eau de 0,25 m. Un réservoir d'en tête a fourni de l'eau propre à chacun des aquariums de culture. Les aquariums ont été aérés par des pompes qui diffusaient de l'air via des pierres d'air. L'eau propre a été fournie à chaque aquarium de culture à travers le tuyau d'entrée du réservoir. La température de l'eau a été maintenue à l'aide de thermoplongeurs pour maintenir les conditions de température ($28 \pm 2^\circ\text{C}$) tout au long de la période d'étude. Et pour assurer l'exposition des poissons d'élevage à une photopériode de 12h de la lumière du jour, l'installation a été équipée de lampes blanches (250-380 lux) (Fig. 12).



Figure 12. Installation expérimentale des essais de croissance (Photo: Merah, 2020)

II.3.2. Poisson d'élevage

Les poissons utilisés dans cette étude étaient des alevins de tilapias du Nil (*Oreochromis niloticus*) qui ont été produits à l'écloserie de la station expérimentale d'élevage de poissons (CNRDPA) à Hassi Benabdallah d'Ouargla (Algérie). L'échantillonnage par pesée a permis de sélectionner des individus dans une plage de poids ≤ 1 g (un âge d'environ 1 mois) pour la 1^{ère} expérience de croissance (pré-grossissement I) et de poids moyen individuel ≤ 5 g pour l'essai de pré-grossissement II. Quatre lots de 180 poissons ont été constitués, soit trois réplicas de 45 poissons chacun.

Avant l'essai de croissance, les poissons étaient stockés dans un réservoir en polyéthylène de 400 ℓ et nourris avec le régime de contrôle pour faciliter le processus d'acclimatation. Une semaine avant l'expérimentation, les poissons ont été triés individuellement en fonction de leur poids ciblés et répartis dans 12 aquariums en verre (3 par traitement) à chaque expérimentation.

L'eau d'élevage a été renouvelée quotidiennement à 30%, avant la première alimentation, après avoir siphonné les aquariums pour éliminer les matières fécales et le reste des aliments et les aquariums ont été soigneusement nettoyés et complètement rincés à chaque pêche de contrôle.

II.3.3. Calendrier de nourrissage

La conception expérimentale utilisée dans l'étude de croissance était principalement entièrement randomisée (ECR) où les différents traitements diététiques ont été aléatoirement attribués aux unités expérimentales (aquariums). L'alimentation des poissons d'élevage a commencé le lendemain avec les régimes expérimentaux A₀, A₁, A₂ et A₃ (c.-à-d. le régime de contrôle et les régimes tests, respectivement). Tous les poissons sous chaque traitement ont été nourris manuellement quatre fois par jour (entre 08h00, 11h00, 14h00 et 17h00) six jours sur sept.

Au cours de la première semaine d'élevage, tous les poissons morts dans chaque aquarium sous chaque traitement ont été remplacés par des poissons vivants de poids similaires. Le taux d'alimentation a été fixé entre 12 et 10% du poids corporel par jour dans la 1^{ère} expérimentation, alors celui de la 2^{ème} a été fixé à 5%. Cependant, la fréquence d'alimentation de quatre fois par jour a été maintenue tout au long de l'étude de croissance.

II.3.4. Manipulation et mesure des poissons d'élevage

La longueur totale (Lt) et le poids individuel de tous les poissons de chaque aquarium sous chaque traitement ont été mesurés tous les sept jours comme décrit à la Figure 13. Tous les poissons ont ensuite été mis dans un grand bac contenant de l'eau propre. Les aquariums ont été nettoyés avec de l'eau de robinet pour se débarrasser des impuretés. Le nombre total de poissons a été enregistré. Chaque poisson a été légèrement essuyé sur une serviette douce afin d'enlever l'excès d'eau du corps. Ensuite, la longueur totale (Lt) et le poids humide individuels des poissons ont été pris (0,1 cm près et 0,1 g près, respectivement) à l'aide d'une règle de mesure du poisson et d'une balance électronique de précision.

Chaque poisson a été ensuite retourné dans un bac contenant de l'eau propre. Après avoir mesuré les longueurs et les poids de tous les poissons dans chaque aquarium, ils ont été remis dans leurs aquariums respectifs. La biomasse (poids total) des poissons dans chaque aquarium sous chaque traitement a été calculée et, par la suite, la quantité de chaque type de régime alimentaire pour chaque groupe de poissons a été ajustée en conséquence, selon les rapports de [Fiogbé et Kestemont \(2003\)](#).



Figure 13. Prise de poids et longueur totale des poissons d'élevage (Photo : Merah, 2021)

Les mesures ont été effectuées entre 08h00 et 10h00. Les poissons n'ont pas été nourris le jour où ils ont été manipulés, l'alimentation a commencé à 08h00 du lendemain. L'étude de croissance a été réalisée en deux plans expérimentaux, la durée de chacun a été de 8 semaines, soit 56 jours (janvier et mars 2020) pour le premier essai de croissance et entre (mai et juillet 2021) pour la deuxième expérimentation.

Un échantillon de 15 poissons entiers a été pris à partir du stock initial pour l'analyse de la composition corporelle de chacun des essais. Au cours de la période expérimentale, la quantité de nourriture fournie à chaque aquarium a été surveillée et ainsi le comportement des poissons. L'échantillonnage final (dernière pêche de contrôle) a été séparé en deux jours. Le premier jour, les poissons ont été comptés et le poids moyen individuel final de chaque traitement a été enregistré. Alors, dans le deuxième, cinq poissons de chaque réplique ont été sacrifiés, pesés individuellement et congelés pour une analyse postérieure de la composition corporelle.

II.4. Paramètres de la qualité de l'eau d'élevage

Dans la détermination des effets de l'alimentation des poissons avec les différents régimes sur la qualité de l'eau, les paramètres suivants de la qualité de l'eau ont été surveillés au cours de l'étude de croissance : La température, le pH, l'oxygène dissous (OD) et la salinité ont été surveillés dans chaque aquarium des différents lots de traitement. Les éléments nutritifs tels que l'azote ammoniacal (NH_4^+), le nitrate (NO_3^-) et le nitrite (NO_2^-) ont également été déterminés en nourrissant les poissons expérimentaux avec chacun des régimes. Les analyses de la qualité de l'eau ont été effectuées tous les sept jours au cours de la même période de la journée selon des méthodes spécifiées telles que définies dans Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1998).

Les paramètres tels que la température, le pH, l'OD et la salinité ont été mesurés *in situ* (à l'aide d'un multi-paramètre Hanna HI 9829 pré-calibré), tandis que l'ammonium, le nitrate et le nitrite ont été déterminés en laboratoire (à l'aide du spectrophotomètre UV/visible, JENWAY 6310).

II.4.1. Détermination des paramètres de la qualité d'eau *in situ*

Tous les paramètres physico-chimiques ont été mesurés à une profondeur d'environ 0,15 m. La sonde du multiparamètre a été immergée dans l'aquarium et la température, pH, OD et salinité ont été lus directement à partir du multiparamètre lorsque l'équilibre a été atteint (Fig. 14). La température a été mesurée en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$), le pH sur une échelle de 0 à 14, OD en milligramme par litre (mg/l) et la salinité en particule par mille (ppm).



Figure 14. Mesure des paramètres physico-chimiques (Photo: Merah, 2020)

II.4.2. Détermination des paramètres de la qualité de l'eau en laboratoire

Pour les paramètres qui ont été déterminés en laboratoire, trois échantillons d'eau de réplique ont été prélevés dans chaque traitement d'aquarium dans des bouteilles en plastique sombre de 500 ml qui ont été nettoyées à l'acide dilué et rincées trois fois avec de l'eau distillée.

Les échantillons ont été immédiatement stockés au frais et maintenus à une température d'environ 4 °C. En laboratoire, de divers traitements ont été administrés aux échantillons pour chaque détermination des paramètres comme suit :

II.4.2.1. Ammonium (NH_4^+)

Le nombre programmé de spectrophotomètre pour l'analyse de l'ammonium a été fixé et réglé à 425 nm longueur d'onde. Prélever 50 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée. Ajouter 2 ml de la solution de tartrate double. Mélanger, ajouter ensuite 2 ml de réactif de Nessler et mélanger à nouveau. Attendre 10 min, puis effectuer les mesures spectrophotométriques après avoir réglé le zéro d'absorbance de l'instrument. L'azote ammoniacal (ammoniac) est dosé avec une précision acceptable par colorimétrie. La méthode colorimétrique au réactif de Nessler permet de mesurer des concentrations moyennes, comprises entre 0 et 5 mg/l environ. Le réactif de Nessler est un mélange, en milieu alcalin, d'iodure de potassium et d'iodure de mercure. En présence d'ammoniac, on obtient un composé jaune orangé. Particularité : On recommande de maintenir la température de l'échantillon d'eau à 20°C et d'attendre au moins 10 minutes au développement de la couleur pour obtenir plus de précision du dosage (APHA, AWWA, WEF, 1998).

II.4.2.2. Nitrate (NO_3^-)

25 ml de l'échantillon ont été mesurés en tubes à essai de 30 ml et 25 ml d'eau distillée ont également été mesurées dans un tube à essai séparé et étiquetées comme vierges. Le spectrophotomètre a été mis en place et programmé pour analyser le nitrate à une longueur d'onde de 450 nm. Le réactif combiné de nitrate a été ajouté à l'échantillon de 25 ml, y compris le blanc. Dès que le réactif a été ajouté, les tubes ont été secoués vigoureusement pendant une minute. Après quoi ils ont été laissés tranquilles pendant cinq minutes période de réaction.

Le réactif qui contenait du cadmium, a induit le nitrate au nitrite dans les échantillons. Ce dernier a réagi avec de l'acide sulfanique pour former le sel de diazonium intermédiaire dans un milieu acide.

Le sel combiné à l'acide gentisique pour former un produit de couleur ambrée. À la fin de la période de réaction, le spectrophotomètre a été mis à zéro avec de l'eau distillée, puis la lecture du blanc et l'échantillon ont été déterminés. Les valeurs obtenues pour le blanc ont été soustraites de celles de l'échantillon pour obtenir la quantité réelle de nitrate dans l'échantillon en milligrammes par litre (mg/l) (APHA, AWWA, WEF, 1998).

II.4.2.3. Nitrite (NO₂⁻)

25 ml de l'échantillon ont été mesurés en tube à essai de 30 ml et 25 ml d'eau distillée ont également été mesurées dans un tube à essai séparé et étiquetées comme vierges. Le spectrophotomètre a été mis en place et programmé pour analyser le nitrite à 507 nm de longueur d'onde. Le réactif combiné de nitrite a été ajouté à l'échantillon de 25 ml, y compris le blanc. Dès que le réactif a été ajouté, les tubes ont été secoués vigoureusement pendant une minute. Après quoi ils ont été laissés tranquilles pendant cinq minutes période de réaction.

Le nitrite dans l'échantillon réagit avec l'acide sulfanique dans le réactif pour former un sel intermédiaire de diazonium. Ce couple avec de l'acide chromotrope pour produire un complexe de couleur rose directement proportionnelle à la quantité de nitrite présente. À la fin de la période de réaction, le spectrophotomètre a été mis à zéro avec de l'eau distillée, puis la lecture du blanc et l'échantillon ont été déterminés. Les valeurs obtenues pour le blanc ont été soustraites de celles de l'échantillon pour obtenir la quantité réelle de nitrite dans l'échantillon en milligrammes par litre (mg/l) (APHA, AWWA, WEF, 1998).

II.5. Détermination des paramètres zootechniques

Pour estimer la croissance des poissons au cours de l'expérimentation et caractériser l'efficacité d'utilisation des aliments mis en essai, les différents paramètres et indices suivants ont été calculés :

II.5.1. Taux de survie (TS)

Le taux de survie est calculé à partir du nombre total de poissons à la fin de l'expérience et de l'effectif en début d'élevage, selon la relation suivante :

$$TS (\%) = 100 (N_{pf}/N_{pi}) \text{ (Attipoe e t a, 2009)}$$

Où, N_{pi} et N_{pf} = nombre de poissons au début et à la fin de l'expérience.

II.5.2. Performances de croissance

Les performances de croissance ont été évaluées en calculant la prise de poids moyenne par poisson (GPQ) et le taux de croissance spécifique (TCS).

II.5.2.1. Gain de poids quotidien (GPQ)

Appelé encore croissance individuelle journalière (CIJ), cet indice est la différence entre le poids corporel moyen final et le poids corporel moyen initial des poissons sur une période de temps et il a été calculé comme suit selon Ricker (1979):

$$GPQ = \frac{PMF - PMI}{\Delta t}$$

Où,

PMF : poids moyen final;

PMI : poids moyen initial;

Δt : durée de l'expérience en jours.

II.5.2.2. Taux de croissance spécifique (TCS)

TSR est le changement instantané dans le poids des poissons exprimé comme l'augmentation en pourcentage du poids corporel par jour sur un intervalle de temps donné. Il est calculé en prenant des logarithmes naturels du poids corporel du poisson, et exprime la croissance en pourcentage par jour (Ricker, 1979).

$$TCS (\%) = 100(\Delta t)^{-1} \ln \left(\frac{PMF}{PMI} \right)$$

II.5.3. Indices d'utilisation des aliments

II.5.3.1. Taux de conversion alimentaire (TCA)

TCA ou indice de consommation (IC) est défini comme la quantité d'aliments secs nourris par unité de gain de poids vivant. Il sert souvent de mesure de l'efficacité d'un régime alimentaire. Plus un régime alimentaire est approprié pour la croissance, moins de celui-ci est nécessaire pour générer un gain de poids unitaire (c.-à-d. un TCA inférieur) (De Silva et Anderson, 1995). Il a été calculé comme:

$$\text{TCA} = \frac{\text{Quantité d'aliment sec ingéré}}{\text{Biomasse produite}}$$

Les TCA de 1,5 à 2 sont considérés comme une « bonne » croissance pour la plupart des espèces de poissons (Houlihan *et al.*, 2001).

II.5.3.2. Ingéré volontaire (IV)

Donnée qui intéresse directement l'éleveur, IV est la quantité d'aliments volontairement ingérée par unité de temps et par unité de biomasse. Cet indice de consommation est déterminé à partir de la relation suivante :

IV est la quantité d'aliment ingéré quotidiennement est exprimé en (g/j). Il a été calculé comme

$$\text{IV (\%/j)} = 100 \times D / [(B_i + B_f)/2] / \Delta t$$

Avec : D : quantité cumulée d'aliments distribués (g), B_i et B_f, biomasses initiale et finale (g).

II.5.3.3. Coefficient d'efficacité protéique (CEP)

Le CEP est défini comme le rapport entre le poids vivant gagné par le poisson et la quantité de protéines brutes ingérées (De Silva et Anderson, 1995).

$$\text{CEP} = \frac{\text{Biomasse produite (g)}}{\text{Protéines ingérées (g)}}$$

II.5.4. Relation longueur-poids

La longueur des spécimens a été mesurée au mm près (longueur totale, Lt) et pesés au 0,1 g près (poids total, Pt). La relation taille poids est généralement exprimée par l'équation suivante:

$$W = a \times L^b \text{ (Ricker, 1973; Beverton \& Holt 1996)}$$

Où :

W : le poids (g), L : la longueur total (cm);

a : l'interception avec l'axe des ordonnées et;

b : la pente de la droite de régression.

Les paramètres a et b ont été estimés par la méthode des moindres carrés obtenue par transformation logarithmique pour corriger la non linéarité de la courbe de départ et l'hétérogénéité des variances : $\text{Log Pt} = b \text{ Log Lt} + \text{Log a}$, Le degré d'association entre le poids et la taille a été estimé par une régression multiple et le coefficient (r^2) a été analysé par une ANOVA. Les valeurs de b donnent un aperçu sur la croissance du poisson, quand $b=3$, la croissance est isométrique et lorsque $b \neq 3$, la croissance est dite allométrique, (allométrie positive si $b > 3$, allométrie négative si $b < 3$) (Olurin et Aderibigbe, 2006).

II.5.5. Facteur de condition (K)

Le facteur de condition ou le coefficient de condition (K) qui est l'estimation mathématique du bien-être physiologique d'un poisson dans son habitat est déterminé en utilisant l'équation suivante :

$$K = \frac{Pt}{Lt^b} \times 100 \quad \text{(Kone et Teugels, 2003)}$$

Avec Pt et Lt respectivement le poids total en gramme et longueur total en centimètre et b étant déduit de la relation longueur-poids.

II.6. Analyses économiques

II.6.1 Estimation du coût d'aliments

Pour l'évaluation de la rentabilité de chaque régime expérimental utilisé dans l'étude sur la croissance. Nous avons calculé les coûts de tous les ingrédients des aliments formulés pour déterminer les coûts de l'alimentation en DZD par kg (Tableau 15).

Le prix de chaque régime a été déterminé en multipliant les contributions respectives de chaque ingrédient alimentaire par leurs coûts respectifs par kg et en additionnant les valeurs obtenues pour tous les ingrédients dans chacun des régimes formulés. Enfin, nous avons estimé le coût de production du tilapia (DZD/kg de poisson) via le TCE pour comparer les quatre aliments expérimentaux pour tilapia. Nous avons estimé le coût de production du poisson en tant que TCE en utilisant l'équation de *Piedecausa et al.*(2007).

II.6.2. Taux de conversion économique (TCE)

$$\text{TCE} = \text{TCA} \times \text{Prix d'aliment utilisé}$$

TCE est le coût d'aliment utilisé pour produire un kilogramme de poisson (coût relatif par gain de poids unitaire), et plus la valeur est faible, plus l'aliment est optimisé pour l'utilisation dans l'alimentation des animaux (*Vincke, 1969; Nwanna, 2003; Agbo et al., 2011*).

II.7. Analyses statistiques

Toutes les données d'analyses ont été codées et saisies dans un système de base de données à l'aide du logiciel Microsoft Excel (version 2007). IBM SPSS (version 22.0, SPSS Inc., Chicago, IL) a été utilisé pour produire des statistiques descriptives. Après vérification préalable de l'homogénéité des variances et de la normalité des données à analyser. Tous les paramètres à analyser ; les performances de croissance des poissons, l'utilisation des aliments, les caractéristiques des carcasses, la qualité de l'eau et le taux de conversion économique ont été testées à l'aide d'une analyse à sens unique de la variance (ANOVA) pour comparer la différence entre les différents traitements diététiques. Le test post-hoc de Tukey (Tukey HSD) a été utilisé pour la comparaison multiple des moyennes de différents groupes de traitements. Pour ces comparaisons, un seuil de signification de 5 % est retenu.

Partie



Résultats & Discussion

Chapitre III

Résultats

CHAPITRE III : Résultats

III.1. Première expérience (Pré-grossissement I)

III.1.1. Utilisation et détermination de la composition nutritionnelle des aliments

Tableau 19. Teneurs moyennes en éléments nutritionnels des aliments en pré-grossissement I

Analyse en %	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	Norme en %
Humidité	90,76	91,3	92,2	91,24	< 10
Protéines brutes	38,65	38,39	38,5	38,55	35-40
Fibres brutes	6,33	8,1	7,52	7,69	8-10
Lipides brutes	5,91	9,13	9,68	7,32	≤ 10
Energie brute kJ/g	16,63	17,12	17,21	16,31	-

Source : Shiao (2002), Fitzsimmons (2005), Lim and Webster (2006), El-Sayed (2006)

Au regard des résultats du tableau 19, les teneurs en humidité des aliments analysés respectent les normes généralement admises pour les farines destinées à la consommation des poissons. La teneur moyenne en protéines brutes est de l'ordre de 38,52%. Pour les fibres brutes, les valeurs (6,33% et 7,52%) obtenues pour les aliments A₀ et A₂ respectivement, sont inférieures à celles des régimes formulés (7,69% et 8,1% pour A₃ et A₁ respectivement). Les résultats des analyses ont également montré que les valeurs (9,13% et 9,68% respectivement) obtenues pour les teneurs en lipides brutes sont plus élevées pour les régimes formulés (A₁ et A₂) que les valeurs analysées (5,91% et 7,32% pour A₀ et A₃ respectivement). L'énergie brute des régimes varie de 16,31 à 17,21 kJ.g⁻¹, où A₃ ayant la valeur la plus faible et A₂ en ayant la plus élevée. En résumé, il s'avère que ces résultats sont tous conformes aux normes.

III.1.2. Taux de survie

Les taux de survie sont compris entre 98,54 ± 2,09 et 98,03 ± 2,82%, la plus élevée a été observée chez les poissons nourris avec l'aliment A₁ tandis que la moins élevée s'est produite chez les poissons recevant l'aliment A₃. Cependant, les poissons des lots A₀ (témoin) et A₂ ont eu le même taux de survie (98,52 ± 1,69%), il n'existe pas de différence significative du taux de survie entre les aliments pour les valeurs moyennes.

III.1.3. Performances de croissance

La représentation graphique de l'évolution du poids moyen individuel des poissons par régime alimentaire suit une croissance continue durant toute l'expérience (Fig. 15). Les valeurs globales des performances de croissance d'*O. niloticus* nourris pendant huit semaines avec quatre régimes alimentaires d'essai sont consignés dans le Tableau 19. Trois phases de croissance peuvent être mises en évidence : la première relative aux trois premières pêches de contrôle, montrant un taux de croissance élevé qui se distingue par une forte homogénéité dans tous les traitements diététiques; la seconde relative à l'aliment A₀ (témoin) qui se distingue nettement de la première du 21^{ème} au 45^{ème} jour de l'expérience et se caractérise par une forte augmentation par rapport aux autres poissons et dans la dernière qui est relative à l'aliment A₃, montre un taux de croissance élevé qui se maintient, en particulier dès le 45^{ème} jusqu'au dernier jour de l'expérience.

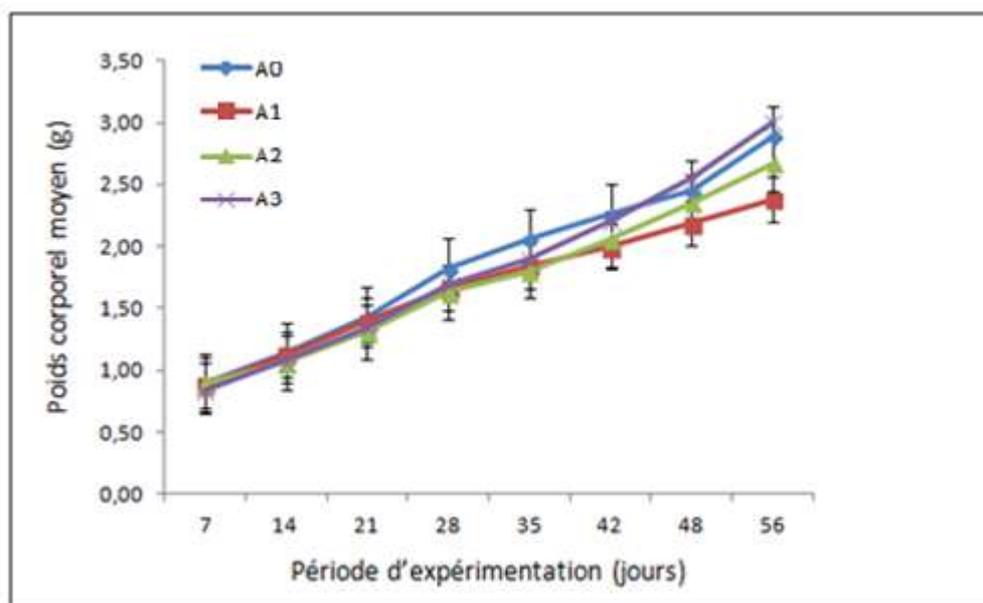


Figure 15. Performance de croissance d'*O. niloticus* nourri de régimes alimentaires d'essai I pendant huit semaines

Les données obtenues en fin d'expérience (Tableau 20) montrent que le poids moyen final le plus élevé est de $3,01 \pm 0,6$ g s'est produit chez les poissons nourris avec l'aliment A₃ et le moins élevé ($2,51 \pm 0,54$ g) chez ceux recevant l'aliment A₁ (Fig.15). Quant au GPQ, variant de 0,31 à 0,21 g. Les poissons recevant l'aliment A₃ ont eu le gain le plus élevé. Tandis que, la valeur la moins élevée a été enregistrée chez ceux ayant reçu le régime A₁. Concernant TCS le plus élevé ($3,04 \pm 0,97\%/j$) a été enregistré chez les individus recevant l'aliment A₃, suivis de ceux nourris avec A₀ et A₂ ($2,8 \pm 1,3$ et $2,62 \pm 0,8\%/j$, respectivement). Alors, le taux le moins élevé a été enregistré chez les individus recevant l'aliment A₁ ($2,37 \pm 1,19\%/j$) (Tableau 20). Statistiquement, les résultats entre les performances de croissance et les régimes ne sont pas différents du début jusqu'à la fin de l'expérience.

Tableau 20. Performances de croissance d'*O. niloticus* nourris de quatre régimes pendant 56 jours d'expérimentation I. Les valeurs (moyenne \pm ES) des groupes en triplicatas¹

Variables	Régimes			
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
Pmi (g)	$0,89 \pm 0,24$	$0,88 \pm 0,25$	$0,89 \pm 0,23$	$0,84 \pm 0,28$
Pmf (g)	$2,89 \pm 0,51$	$2,51 \pm 0,54$	$2,54 \pm 0,77$	$3,01 \pm 0,6$
TS (%)	$98,52 \pm 1,69$	$98,54 \pm 2,09$	$98,52 \pm 1,69$	$98,03 \pm 2,82$
GPQ (g/ind/j)	$0,29 \pm 0,08$	$0,21 \pm 0,04$	$0,25 \pm 0,05$	$0,31 \pm 0,05$
TCS (%.j ⁻¹)	$2,8 \pm 1,3$	$2,37 \pm 1,19$	$2,62 \pm 0,8$	$3,04 \pm 0,97$
TCA	$1,25 \pm 0,45$	$1,04 \pm 0,41$	$1,19 \pm 0,26$	$1,32 \pm 0,36$
IV (g.j ⁻¹)	$1,5 \pm 0,29$	$1,35 \pm 0,19$	$1,38 \pm 0,28$	$1,45 \pm 0,31$
CEP	$0,59 \pm 0,25$	$0,49 \pm 0,25$	$0,56 \pm 0,16$	$0,63 \pm 0,21$
K	$1,81 \pm 0,55$	$1,68 \pm 0,52$	$1,82 \pm 0,65$	$1,84 \pm 0,6$
TCE	$2,42 \pm 0,81^b$	$1,06 \pm 0,33^a$	$1,36 \pm 0,33^a$	$1,7 \pm 0,48^{ab}$

¹ Sur chaque ligne, les moyennes affectées par des lettres différentes, sont significativement différentes ($P < 0,05$), test de Tukey. L'absence de lettre a, b, c et d sur une même ligne indique une absence de différence significative ($P > 0,05$).

III.1.4. Indices d'utilisation des aliments

Les données sur l'alimentation et l'efficacité nutritive des poissons d'élevage sont présentées dans le Tableau 20, ci-dessus. Les valeurs de TCA variant entre $1,04 \pm 0,41$ et $1,32 \pm 0,36$ à la fin de l'essai I de croissance. Les TCA par régime n'étant pas significativement différents ($P > 0,05$). L'aliment A₃ était le plus efficace car il a donné un TCA de 1,32 plus proche de 1,5 (seuil recommandé) suivi du régime A₀ de 1,25.

La quantité d'aliment ingérée (IV) a variée de $1,35 \pm 0,19$ à $1,5 \pm 0,29$ g et il n'y a pas de différences significatives entre les différents triplicatas. De même, pour l'efficacité d'utilisation de protéine (CEP), où les valeurs se sont étendues de $0,49 \pm 0,25$ à $0,63 \pm 0,21$ entre A₁ et A₃, respectivement.

III.1.5. Relation longueur-poids et facteur de condition (K)

La régression linéaire des moindres carrées log poids total (Pt) sur log longueur total (Lt) (c.-à-d. $\log Pt = b \log Lt + \log a$) calculée pour les différents groupes diététiques sont indiquées dans les figures 16 à 19.

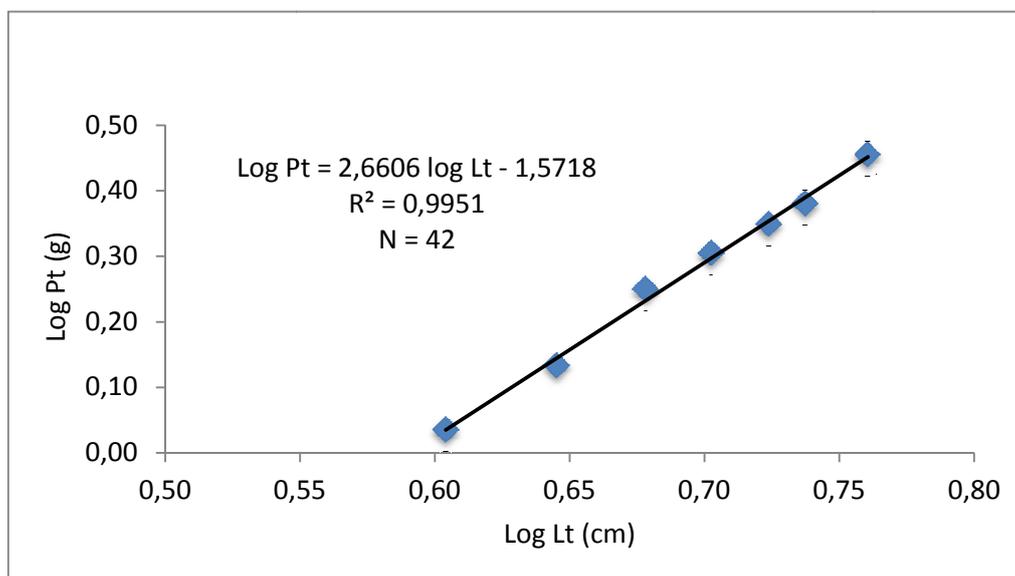
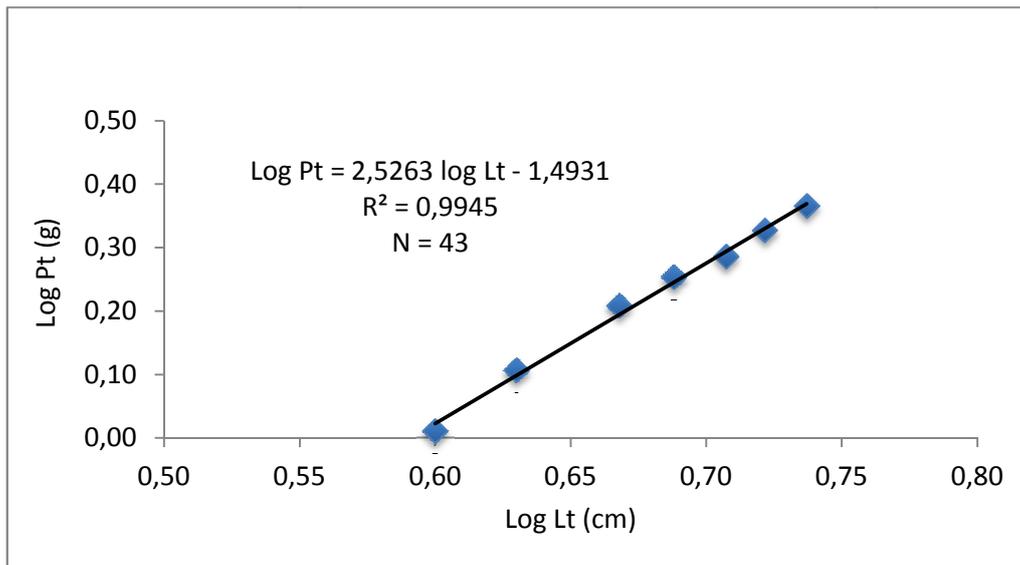
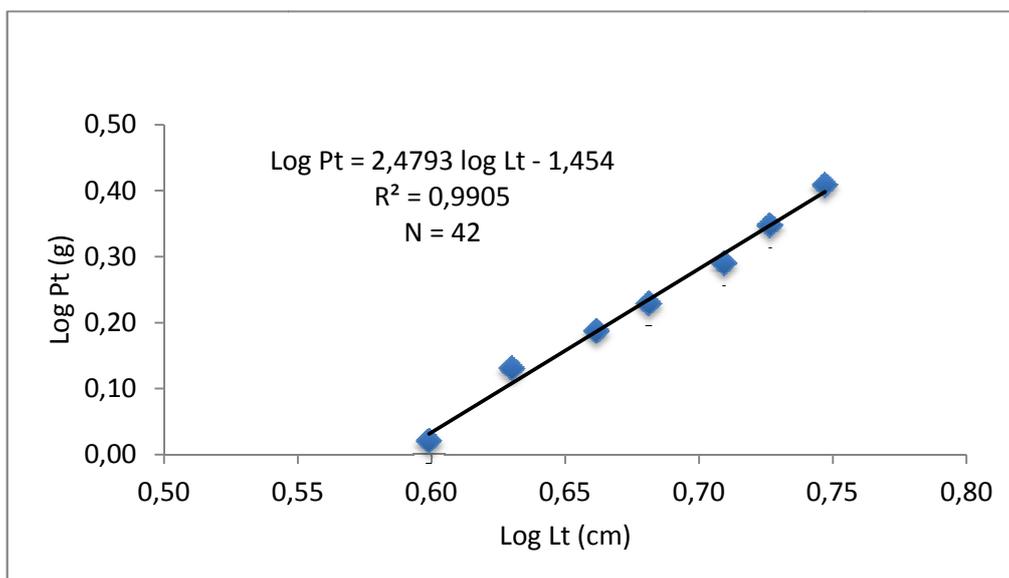


Figure 16. Relation longueur-poids d'*O. niloticus* nourri avec le régime A₀

Figure 17. Relation longueur-poids d'*O. niloticus* nourri avec le régime A₁Figure 18. Relation longueur-poids d'*O. niloticus* nourri avec le régime A₂

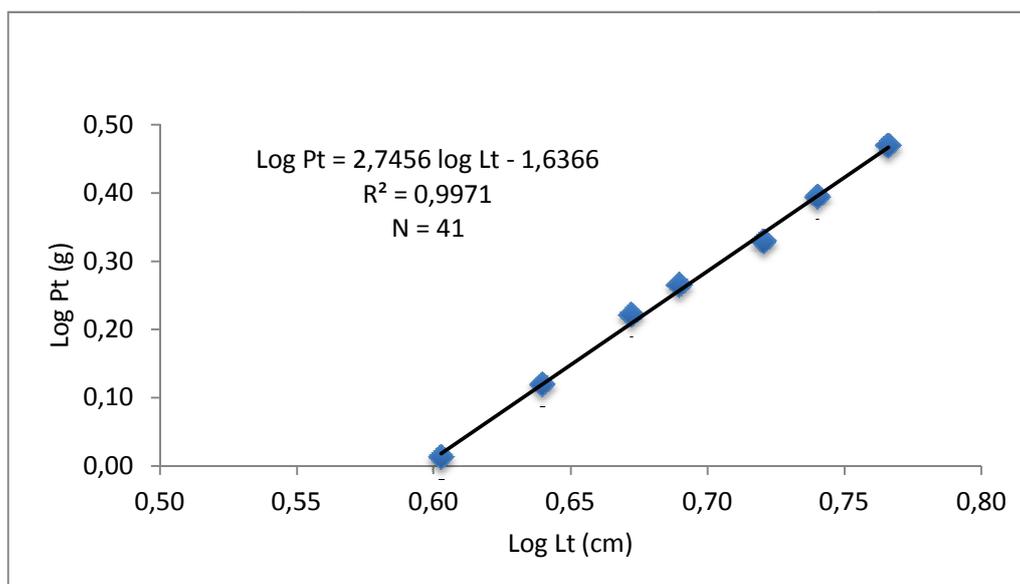


Figure 19. Relation longueur-poids d'*O. niloticus* nourri avec le régime A₃

La relation longueur-poids des poissons dans la première expérience est illustrée dans le Tableau 21. La valeur « b » des coefficients de régression obtenue à partir de la relation longueur-poids pour les régimes A₃, A₀, A₁ et A₂ sont inférieures à 3 (2,74, 2,66, 2,52 et 2,47, respectivement en ordre décroissant). Dans tous les régimes, les données de transformation logarithmique s'adaptent bien au modèle linéaire avec des valeurs r^2 toutes supérieures à 0,9. Les relations étaient également significatives puisque toutes les valeurs P étaient inférieures à 0,05. Cela indique que la relation taille-poids est approximativement similaire et ne diffère pas entre les différents régimes expérimentaux.

Tableau 21. Relation longueur-poids, coefficient de régression et paramètres du facteur de condition d'*O. niloticus* nourris avec les régimes en pré-grossissement I

Aliment	N	Lt (moyen ± ES) (cm)		Pt (moyen ± ES) (g)		r^2	A	b	K
		Initiale	Finale	Initial	Final				
A ₀	42	3,66±0,32	5,77±0,25	0,89±0,24	2,89±0,51	0,995	0,027	2,66	1,81
A ₁	43	3,75±0,27	5,47±0,37	0,88±0,25	2,51±0,54	0,994	0,032	2,52	1,68
A ₂	42	3,68±0,26	5,61±0,41	0,89±0,23	2,54±0,77	0,99	0,035	2,50	1,82
A ₃	41	3,68±0,4	5,85±0,3	0,84±0,28	3,01±0,6	0,997	0,023	2,74	1,84

Les résultats du facteur de condition montrent que tous les poissons nourris avec les quatre régimes présentent une condition allométrique négative indiquée par le coefficient de croissance ($b < 3$). La valeur est une indication que le poisson grandit plus vite en longueur qu'en poids. L'état de bien-être des poissons nourris avec les régimes est bon, comme l'indique le facteur de condition calculé ($K > 1$) (Tableau 21). L'analyse de variance à un facteur ne montre aucune différence significative (valeur $P > 0,05$) entre les différentes valeurs du facteur de condition obtenues pour tous les traitements.

III.1.6. Composition corporelle d'*O. niloticus*

La composition chimique des alevins d'*O. niloticus* à la fin de l'expérience d'alimentation est présentée dans le Tableau 22. L'analyse statistique a montré qu'il n'existe pas de différence significative ($P < 0,05$) entre la teneur en protéines corporelles des poissons nourris de différents régimes expérimentaux. La protéine brute de la carcasse est plus élevée chez les poissons nourris avec l'aliment A_0 et A_3 ($22,31 \pm 0,17$ et $22,36 \pm 0,1\%$, respectivement), suivis par les groupes de poissons nourris avec l'aliment A_2 ($21,65 \pm 0,15\%$). En revanche, la valeur la plus faible a été obtenue dans le groupe de poissons nourris avec l'aliment A_1 ($19,65 \pm 0,14\%$). Le contenu lipidique corporel est apparu affecté ($P < 0,05$) par les régimes, et il y a eu une tendance générale d'augmentation en contenu lipidique de la carcasse avec l'augmentation du niveau d'inclusion de FTM. Ces valeurs vont de $5,34 \pm 0,14\%$ (A_0) à $9,09 \pm 0,14\%$ (A_1). Tandis que, les teneurs en eau relatives aux poissons à la fin de l'expérience ont augmenté de manière significative ($P < 0,05$) de $69,64 \pm 0,14\%$ (A_0) à $72,6 \pm 0,15\%$ (A_1). Par contre, Les teneurs en cendre ont montré qu'il n'y a pas de différence significative ($P > 0,05$) dans tous les traitements diététiques. Et les valeurs enregistrées par régimes sont presque similaires par rapport à l'échantillon initial.

Tableau 22. Composition biochimique de la carcasse des poissons en début et fin d'expérience I. Les résultats sont exprimés en: Moyenne \pm ES de trois répétitions¹

Composition (%)	Etat Initial	Etat final (Régimes alimentaires)			
		A_0	A_1	A_2	A_3
Teneur en eau	70,01	$69,64 \pm 0,14^a$	$72,6 \pm 0,15^d$	$71,87 \pm 0,12^c$	$70,42 \pm 0,17^b$
Protéines	22,48	$22,31 \pm 0,17^c$	$19,65 \pm 0,14^a$	$21,65 \pm 0,15^b$	$22,36 \pm 0,1^c$
Lipides	5,24	$5,34 \pm 0,14^a$	$9,09 \pm 0,14^d$	$7,62 \pm 0,14^c$	$6,15 \pm 0,16^b$
Cendres	7,48	$7,49 \pm 0,11$	$7,73 \pm 0,14$	$7,61 \pm 0,13$	$7,55 \pm 0,09$

¹Les moyens dans la même ligne avec des lettres différentes sont significativement différents ($P < 0,05$)

III.1.7. Coût d'aliments et rentabilité

Le prix du kg d'aliment a été déterminé à partir du prix des matières premières disponibles sur le marché local et du pourcentage d'incorporation de différents ingrédients dans la formulation. Les coûts par kilogramme d'aliment étaient de 220, 130, 140 et 150 DZD, respectivement pour l'aliment témoin A₀ et les autres aliments tests A₁, A₂ et A₃. Ces coûts sont relativement liés au coût de la quantité totale d'aliments ingérés pour produire un kilogramme de poissons (Tableau 16). Les coûts d'alimentation ont été considérablement réduits avec le remplacement partiel de la farine de poisson dans les régimes alimentaires.

La Figure 20 ci-dessous, montre que le TCE a suivi la même tendance que les coûts d'alimentation, et par rapport au témoin A₀ ($2,42 \pm 0,81$), les valeurs de TCE des différents régimes testés ont diminué de manière significative ($P < 0,05$). Ces valeurs allant de $1,06 \pm 0,33$ (A₁) à $1,7 \pm 0,48$ (A₃) (Tableau 20).

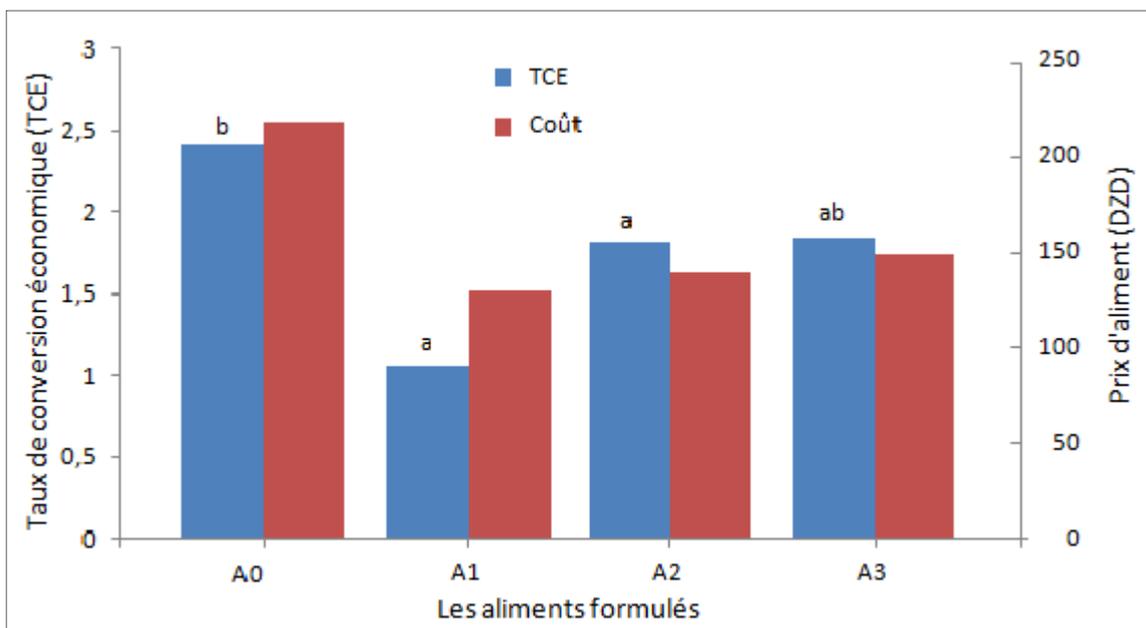


Figure 20. Taux de conversion économique et coûts des régimes alimentaires d'essai I

III.1.8. Contrôle de la qualité d'eau

La plage de valeurs des paramètres de qualité de l'eau dans les différents traitements alimentaires au cours de la période d'essai de croissance est indiquée dans l'Annexe III, tandis que le résumé de la fourchette de résultats statistiques (maximum et minimum), des valeurs (moyenne \pm ES) est indiqué dans le Tableau 23. En général, tous les paramètres de qualité de l'eau se trouvent dans la plage appropriée pour le tilapia du Nil (Stickney, 1979; Popma et Masser, 1999; Suresh, 2003; Hussain, 2004; Swann, 2007; Nabil et Gamal, 2010).

Tableau 23. Résumé de l'analyse des paramètres de la qualité d'eau d'élevage pour les divers traitements alimentaires durant les 56 jours d'essai I

Paramètres	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart-type
Température (°C)	28,48	27,2	27,64	0,13
Oxygène dissous (mg/l)	6,1	4,6	5,62	0,1
Salinité (ppm)	2,1	2,06	2,08	0,01
pH	7,3	6,99	7,12	0,02
Ammonium (mg/l)	0,06	0,03	0,04	0,01
Nitrate (mg/l)	0,51	0,34	0,4	0,04
Nitrite (mg/l)	0,07	0,02	0,04	0,01

Au cours de la période expérimentale, les températures enregistrées ont varié dans la fourchette de 27,2 – 28,48°C dans l'eau d'élevage des différents traitements diététiques, la moyenne enregistrée est de 27,64 \pm 0,13°C. Les concentrations d'oxygène dissous enregistrées ont augmentés de 4,6 à 6,1 mg/l avec une moyenne globale de 5,62 \pm 0,1 mg/l. Tandis que, la teneur moyenne enregistrée de salinité était de 2,08 \pm 0,01 ppm. Le résultat de ces moyennes a varié généralement entre 2,06 et 2,1 ppm tout au long de la période expérimentale. Le pH a montré globalement de légères variations. Il a été compris entre 6,99 et 7,3 avec une moyenne globale de 7,12 \pm 0,02. D'après ANOVA, aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été mise en évidence durant l'expérience.

Les teneurs d'ammonium de l'eau d'élevage, pour tous les régimes expérimentaux, variant entre 0,03 et 0,06 mg/l avec une moyenne de 0,04 \pm 0,01 mg/l. Quant au nitrate, les teneurs ont augmenté de 0,34 à 0,51 mg/l avec une moyenne maintenue de 0,4 \pm 0,04 mg/l. En ce qui concerne la teneur en nitrite, les résultats montrent que la teneur la plus élevée est de 0,07 mg/l alors que la moins élevée était de 0,02 mg/l avec une moyenne globale de 0,04 \pm 0,01 mg/l. Les résultats d'analyses chimiques de l'eau d'élevage par traitements diététiques n'ont pas été significativement affectés (Tukey, $P < 0,05$).

III.2. Deuxième expérience (Pré-grossissement II)

III.2.1. Détermination de la composition nutritionnelle des aliments formulés

Du point de vue des résultats du tableau 24 ci-dessous, les teneurs en humidité des aliments analysés respectent les normes généralement admises pour les farines destinées à la consommation des poissons. La teneur moyenne en protéines brutes est de l'ordre de 35,35%. Alors que pour les fibres brutes, les valeurs (6,31% et 7,5%) obtenues pour les aliments A₀ et A₃ respectivement, sont inférieures à celles des régimes formulés (7,93% et 8,29% pour A₂ et A₁ respectivement). Les résultats des analyses ont également montré que les valeurs (9,58% et 9,62% respectivement) obtenues pour les teneurs en lipides brutes sont plus élevées pour les régimes formulés (A₂ et A₁) que les valeurs analysées (7,48% et 8,76% pour A₃ et A₀ respectivement). L'énergie brute des régimes varie de 15,42 à 16,86 kJ.g⁻¹, A₀ et A₃ ayant les valeurs les plus faibles, alors que A₂ et A₁ en ayant les plus élevées. À l'issue, ces résultats sont tous conformes aux normes.

Tableau 24. Teneurs moyennes en éléments nutritionnels des aliments en pré-grossissement II

Analyse en (MS%)	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	Norme en %
Humidité	92,16	91,9	92,65	92,18	< 10
Protéines brutes	35,38	35,3	35,39	35,32	35-40
Fibres bruts	6,31	8,29	7,93	7,5	8-10
Lipides brutes	8,76	9,62	9,58	7,48	≤ 10
Energie brute kJ/g	15,42	16,86	16,68	15,82	

Source : Shiau (2002), Fitzsimmons (2005), Lim and Webster (2006), El-Sayed (2006)

III.2.2. Taux de survie

Le taux de survie (TS) des poissons dans les différents triplicatas a été calculé après chaque pêche de contrôle (tous les 7 jours) tout au long de l'expérience et les résultats obtenus par régime alimentaire sont consignés dans le Tableau 25. Les aliments testés ont été acceptés par les poissons avec une avidité apparente tout comme l'aliment témoin. Par conséquent, la mortalité a été faible durant les huit semaines d'expérience. Le taux de survie dans les différents lots a été de 100% pour l'aliment A₁; 99,68 ± 0,54% pour l'aliment A₀ (témoin) et l'aliment A₃ et de 99,36 ± 0,92% pour l'aliment A₂. D'après le test d'ANOVA ($P > 5\%$), il n'existe pas de différence significative du taux de survie entre les aliments pour les valeurs moyennes.

Tableau 25. Performances de croissance d'*O. niloticus* nourris de quatre régimes pendant 56 jours d'expérimentation II. Les valeurs (moyenne \pm ES) des groupes en triplicatas¹

Variables	Régimes			
	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
Pmi (g)	3,96 \pm 0,41	3,88 \pm 0,64	3,79 \pm 0,74	3,86 \pm 0,73
Pmf (g)	8,33 \pm 1,01	7,81 \pm 1,47	7,42 \pm 1,94	8,02 \pm 2,59
TS (%)	99,68 \pm 0,54	100	99,36 \pm 0,92	99,68 \pm 0,54
GPQ (g/ind/j)	0,1 \pm 0,02	0,09 \pm 0,01	0,09 \pm 0,02	0,1 \pm 0,02
TCS (%.j ⁻¹)	1,77 \pm 0,58	1,67 \pm 0,37	1,6 \pm 0,53	1,74 \pm 0,54
TCA	1,7 \pm 0,62	1,69 \pm 0,36	1,45 \pm 0,6	1,67 \pm 0,61
IV (g.j ⁻¹)	0,98 \pm 0,02	0,98 \pm 0,01	0,98 \pm 0,02	0,98 \pm 0,02
CEP	4,83 \pm 1,76	4,79 \pm 1,02	4,12 \pm 1,69	4,75 \pm 1,74
K	3,04 \pm 0,35	2,76 \pm 0,32	3,1 \pm 0,32	3,01 \pm 0,34
TCE	3,78 \pm 0,68 ^c	2,03 \pm 0,2 ^{ab}	1,94 \pm 0,59 ^a	2,89 \pm 0,69 ^b

¹ Sur chaque ligne, les moyennes affectées par des lettres différentes, sont significativement différentes ($P < 0,05$), test de Tukey. L'absence de lettre a, b, c et d sur une même ligne indique une absence de différence significative ($P > 0,05$)

III.2.3. Performances de croissance

Alors que, les valeurs globales de la performance de croissance d'*O. niloticus* nourris pendant huit semaines avec les quatre aliments tests sont présentées comme un poids vivant moyen (\pm ES) (Tableau 25) et illustrées graphiquement dans la Figure 21. Les courbes de croissance pondérale ont gardé une allure ascendante au cours de l'expérience nutritionnelle avec un poids moyen initial de $3,87 \pm 0,63$ g. Le poids moyen des individus recevant l'aliment A₀ a atteint $8,33 \pm 1,01$ g, suivi des lots recevant les aliments A₃ et A₁ ($8,02 \pm 2,59$ g et $7,81 \pm 1,47$ g, respectivement). Alors que, le poids moyen des poissons nourris avec l'aliment A₂ a enregistré la valeur moyenne la moins élevée de $7,42 \pm 1,94$ g.

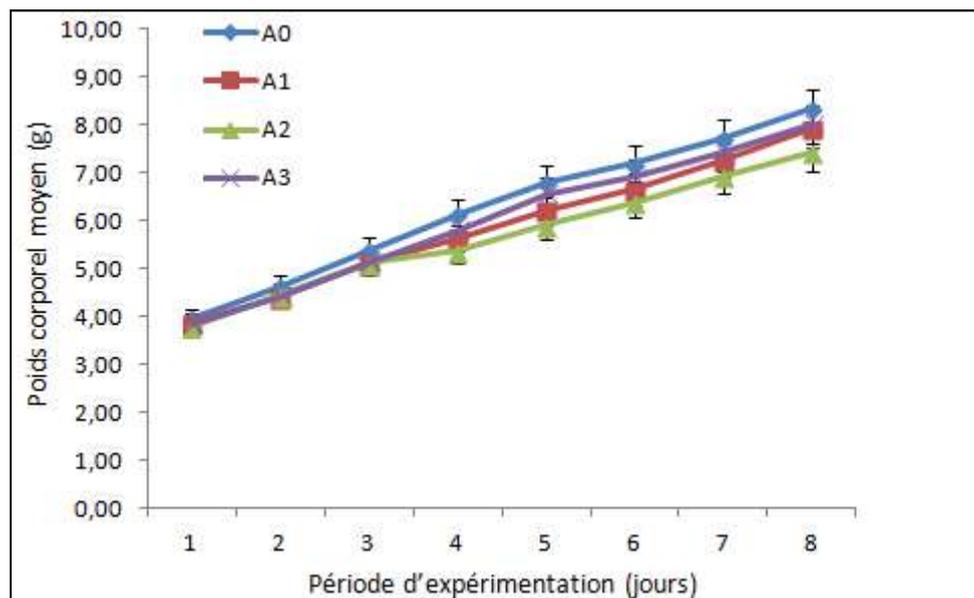


Figure 21. Performance de croissance d'*O. niloticus* nourris des régimes alimentaires d'essai II pendant huit semaines

Durant les premières semaines d'élevage, la croissance a été homogène jusqu'à la troisième semaine dans les traitements d'essai, exceptée celle du régime A₀ (témoin). Où, la courbe de croissance des alevins nourris avec l'aliment A₀ a enregistré une sensible augmentation durant toute la période d'essai par rapport aux autres traitements. Cependant, la croissance des poissons nourris avec le régime A₃ a connue une nette augmentation qui a frôlé celle du régime A₀ à partir de la troisième semaine.

Par contre, la croissance des poissons recevant le régime A₂ a montré une baisse sensible à partir de la même semaine, mais dans la semaine qui suivait le cours a repris son parcours normale de celui des autres régimes mais à moindre importance. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été signalée entre les aliments d'essai pour les valeurs moyennes.

Le gain de poids quotidien (GPQ), variant entre 0,1 et 0,09 g. Les poissons recevant les aliments A₀ et A₃ ont eu le gain le plus élevé, tandis que la valeur la moins élevée a été enregistrée chez poissons des groupes A₁ et A₂. Ainsi, les poissons recevant l'aliment A₀ ont eu le taux de croissance spécifique (TCS) le plus élevé ($1,77 \pm 0,58\%$ jour⁻¹) suivis des poissons recevant les aliments A₃ et A₁ ($1,74 \pm 0,54$ et $1,67 \pm 0,37\%$ jour⁻¹, respectivement). Alors que, le lot A₂ a enregistré le taux le moins faible ($1,6 \pm 0,53\%$ jour⁻¹) (Tableau 25). Statistiquement, les résultats entre la performance de croissance et les régimes ne sont pas différents du début jusqu'à la fin de l'expérience.

III.2.4. Indices d'utilisation des aliments

Les données sur l'alimentation et l'efficacité nutritive des poissons d'élevage sont présentées dans le Tableau 25, ci-dessus. Pour les lots recevant l'aliment A₀ (témoin) et les aliments tests A₁ et A₃, le TCA est compris entre 1,67 et 1,7 kg de nourriture sèche par kg de poids frais produit. Pour le lot nourri avec le régime A₂, le TCA est de 1,45 et ne diffère des autres régimes. La consommation d'aliments (IV) pour poissons par régime au cours de l'expérience a permis d'observer une forte similitude avec une consommation moyenne en gramme par jour de $0,98 \pm 0,003$. Le CEP parmi tous les régimes et les valeurs se sont étendues de 0,49 à 0,63 entre A₁ et A₃, respectivement. ANOVA ($P > 5\%$) ne montre pas de différence significative entre les régimes et les résultats des valeurs moyennes.

III.2.5. Relation longueur-poids et facteur de condition (K)

La régression linéaire des moindres carrées log poids total (Pt) sur log longueur total (Lt) (c.-à-d. $\log Pt = b \log Lt + \log a$) calculée pour les régimes témoin A₀ et les autres régimes tests A₁, A₂ et A₃ sont indiquées dans les figures 22 à 25.

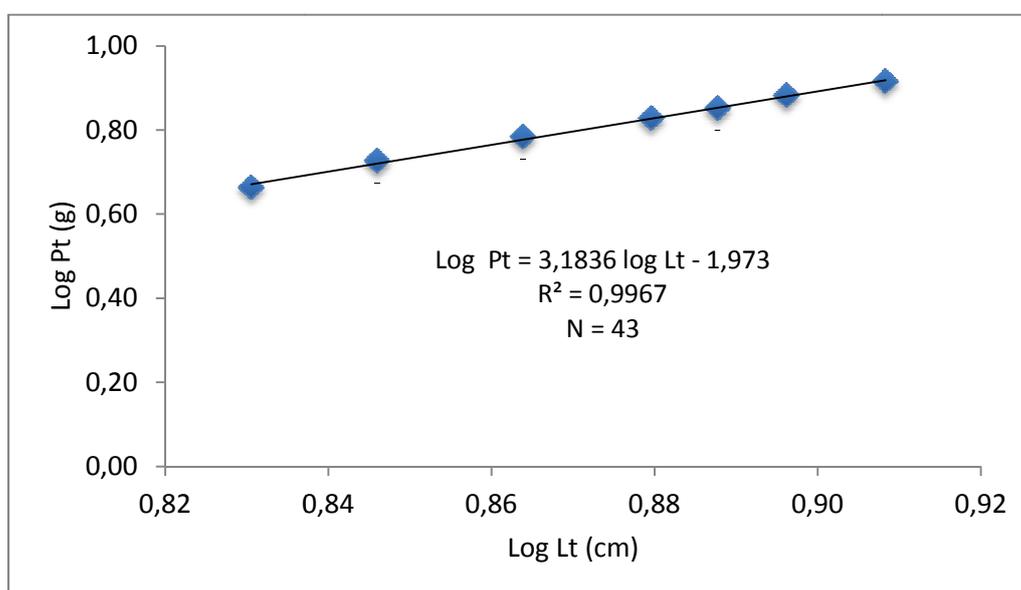


Figure 22. Relation longueur-poids d'*O. niloticus* nourri avec le régime A₀

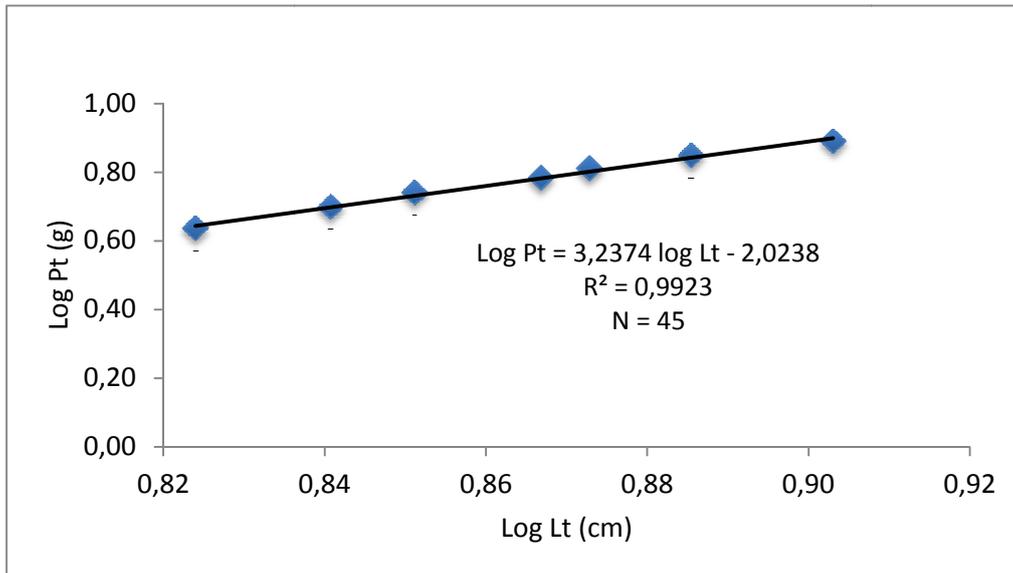


Figure 23. Relation longueur-poids d'*Oreochromis niloticus* nourri avec le régime A₁

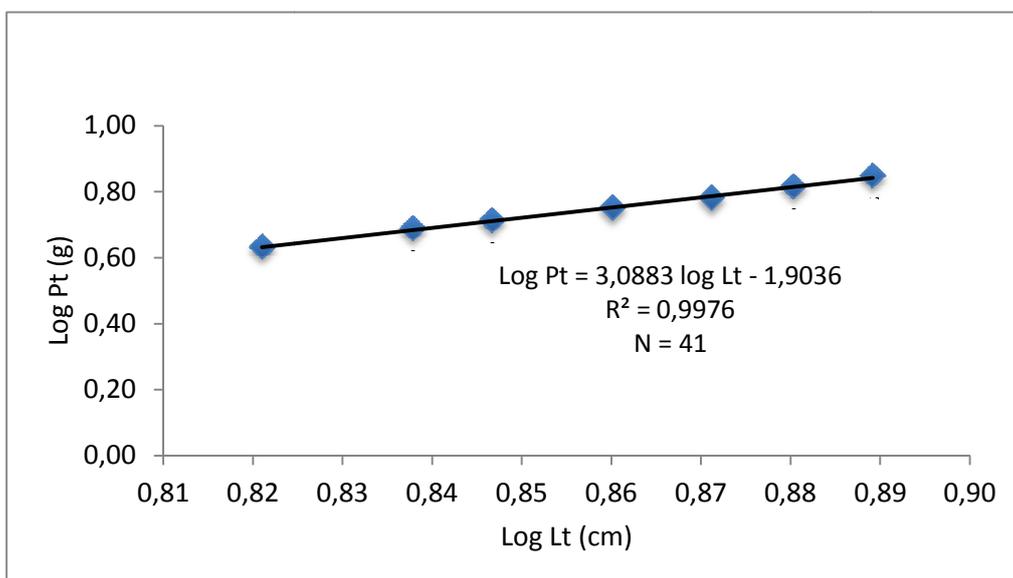


Figure 24. Relation longueur-poids d'*Oreochromis niloticus* nourri avec le régime A₂

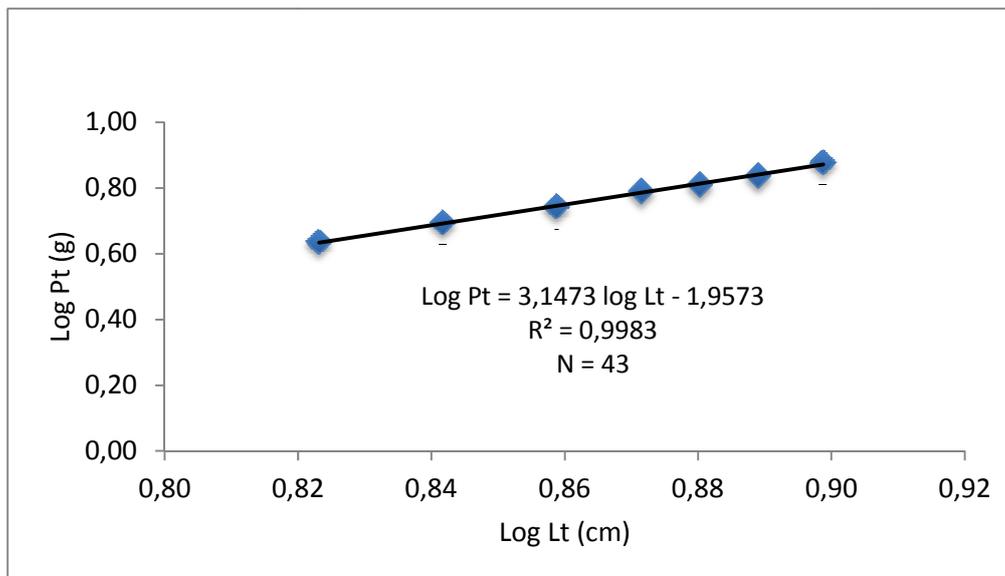


Figure 25. Relation longueur-poids d'*Oreochromis niloticus* nourri avec avec le régime A₃

Les relations longueur-poids des poissons dans la deuxième expérience sont illustrées dans le Tableau 26. Les valeurs du coefficient de régression obtenues en ordre décroissant pour les régimes (A₂, A₃, A₀ et A₁) ont été légèrement supérieures à 3 (3,09, 3,15, 3,18 et 3,24, respectivement). Toutes les valeurs r^2 sont supérieures à 90% et les relations longueur-poids sont significativement fortes ($P < 0,05$).

Tableau 26. Relation longueur-poids, coefficient de régression et paramètres du facteur de condition d'*O. niloticus* nourris avec les régimes en pré-grossissement II

Aliment	N	Lt (moyen ± ES) (cm)		Pt (moyen ± ES) (g)		r^2	a	b	K
		Initiale	Finale	Initial	Final				
A ₀	43	6,59±0,21	8,11±0,35	3,96±0,41	8,33±1,01	0,996	0,0116	3,18	3,04
A ₁	45	6,56±0,33	7,98±0,46	3,88±0,64	7,81±1,44	0,992	0,0095	3,24	2,76
A ₂	41	6,46±0,44	7,79±0,6	3,79±0,74	7,42±1,94	0,997	0,0125	3,09	3,1
A ₃	43	6,54±0,42	7,97±0,8	3,86±0,73	8,02±2,59	0,998	0,011	3,15	3,01

Dans l'essai II, les groupes de poissons soumis aux différents traitements ont indiqué une tendance de croissance isométrique indiquée par le coefficient de croissance qui voisine 3. L'état de bien-être des poissons nourris avec les régimes est bon, comme l'indique le facteur de condition calculé ($K > 1$) (Tableau 26). Il n'y a pas de différence significative dans le facteur de condition (K) des poissons nourris avec les différents groupes diététiques.

III.2.6. Composition corporelle d'*O. niloticus*

Les résultats des analyses biochimiques des poissons nourris avec les quatre régimes expérimentaux sont représentés dans le Tableau 27. Les teneurs corporelles en protéines ont montré qu'il n'existe de différence significative ($P < 0,05$) avec tous les régimes comparativement à l'échantillon de départ. Les moyennes les plus élevées sont enregistrées chez les poissons nourris avec l'aliment A₀ et A₃ ($34,38 \pm 0,28$ et $34,08 \pm 0,61\%$, respectivement), suivies du groupe de poissons recevant l'aliment A₁ ($33,06 \pm 0,25\%$). En revanche, les valeurs les plus faibles sont enregistrées chez le groupe de poissons qui s'alimentait avec l'aliment A₁ ($32,12 \pm 0,42\%$). Le contenu lipidique corporel semble par contre être plus nettement influencé par le taux d'incorporation de FTM, les valeurs les plus élevées sont obtenues avec le régime A₁ ($16,12 \pm 0,3\%$), alors que le régime A₃ donne des valeurs plus faibles ($11,54 \pm 0,18\%$).

Tandis que, les teneurs en eau relatives à la carcasse des poissons de fin d'expérience ont augmenté de manière significative ($P < 0,05$) de $70,95 \pm 0,3\%$ (A₀) à $73,31 \pm 0,34\%$ (A₁). En ce qui concerne les résultats du teneur en cendre qui ne semblent pas statistiquement affectés par les traitements alimentaires.

Tableau 27. Composition biochimique de la carcasse des poissons en début et fin d'expérience II. Les résultats sont exprimés en (moyenne \pm ES) de trois répétitions¹

Composition (%)	Etat Initial	Etat final (Régimes alimentaires)			
		A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
Teneur en eau	70,68	$70,95 \pm 0,3^a$	$73,31 \pm 0,34^b$	$72,98 \pm 0,29^b$	$71,56 \pm 0,12^a$
Protéines	33,88	$34,38 \pm 0,28^c$	$33,06 \pm 0,25^b$	$32,12 \pm 0,42^a$	$34,08 \pm 0,61^c$
Lipides	11,06	$11,69 \pm 0,23^a$	$16,12 \pm 0,3^c$	$13,94 \pm 0,16^b$	$11,54 \pm 0,18^a$
Cendres	34,02	$34,35 \pm 0,84$	$32,12 \pm 0,6$	$33,7 \pm 0,63$	$33,73 \pm 0,96$

¹Les moyens dans la même ligne avec des lettres différentes sont significativement différents ($P < 0,05$)

III.2.7. Coûts d'aliments et rentabilité

Le prix du kg d'aliment a été déterminé à partir du prix des matières premières disponibles sur le marché local et du pourcentage d'incorporation de différents ingrédients dans la formulation. Les coûts par kilogramme d'aliment sont de 200, 110, 130 et 140 DZD, respectivement pour l'aliment témoin A₀ et les aliments tests A₁, A₂ et A₃. Ces coûts sont relativement liés au coût de la quantité totale d'aliments ingérés pour produire un kilogramme de poissons (Tableau 17). Les coûts d'alimentation ont été considérablement réduits avec le remplacement partiel de la farine de poisson dans les régimes alimentaires.

La Figure 26 ci-dessous, montre que TCE a suivi le même cours que les coûts d'alimentation, et par rapport au témoin A₀ ($3,78 \pm 0,68$), les valeurs de TCE des régimes tests ont diminué de manière significative ($P < 0,05$). Ces valeurs varient entre $1,94 \pm 0,59$ à $2,89 \pm 0,69$ (Tableau 25).

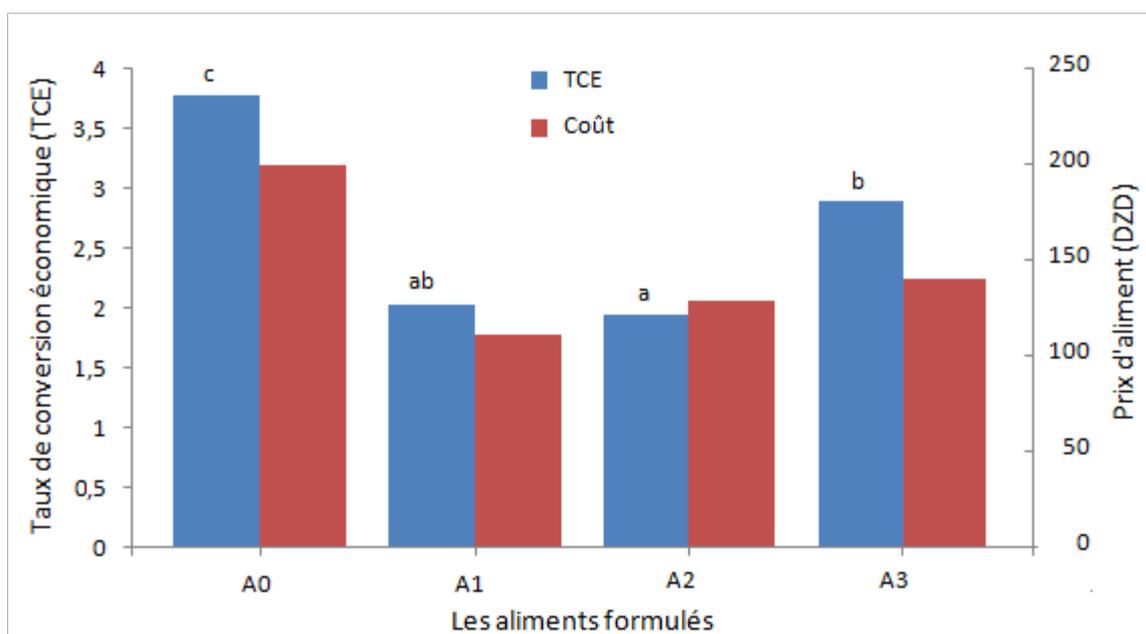


Figure 26. Taux de conversion économique et coûts des régimes alimentaires d'essai II

III.2.8. Contrôle de la qualité d'eau

La plage de valeurs des paramètres de la qualité des eaux dans les divers groupes diététiques au cours de la période d'essai de croissance est indiquée dans l'Annexe IV, tandis que le résumé de la fourchette de résultats statistiques (maximum et minimum) et des valeurs (moyenne \pm ES) est indiqué dans le Tableau 28. En général, tous les paramètres de la qualité d'eau se trouvent dans la plage appropriée pour le tilapia du Nil (Stickney, 1979; Popma et Masser, 1999; Suresh, 2003; Hussain, 2004; Swann, 2007; Nabil et Gamal, 2010).

Tableau 28. Résumé de l'analyse des paramètres de la qualité d'eau d'élevage pour les divers traitements alimentaires durant les 56 jours d'essai II

Paramètres	Maximum	Minimum	Moyenne	Ecart-type
Température (°C)	28,57	28,18	28,37	0,04
Oxygène dissous (mg/l)	5,8	4,98	5,5	0,07
Salinité (ppm)	2,12	2,04	2,08	0,01
pH	7,22	6,95	7,11	0,04
Ammonium (mg/l)	0,11	0,02	0,06	0,007
Nitrate (mg/l)	0,52	0,29	0,43	0,006
Nitrite (mg/l)	0,08	0,02	0,03	0,004

Les valeurs moyennes des paramètres de l'eau ont subi en général une faible variation pendant toute la période d'étude. Dans l'ensemble la température a oscillé entre 28,18 et 28,57°C avec une moyenne maintenue à $28,37 \pm 0,04$ °C.

Les concentrations d'oxygène dissous enregistrées, variaient entre 4,98 et 5,8 mg/l avec une moyenne globale de $5,5 \pm 0,07$ mg/l, tandis que celle de salinité a été maintenue à 2,08 ppm. Les valeurs du pH varient peu et se situent entre 6,95 et 7,22 avec une moyenne globale de $7,11 \pm 0,04$. De plus, le test de Tukey révèle qu'il n'existe pas de différence significative entre les différents lots ($p < 5\%$) et les valeurs moyennes mesurées.

La teneur de l'ammonium a varié entre 0,02 et 0,11 mg/l, tandis que celle en nitrates a varié entre 0,29 et 0,52 mg/l et les en nitrites ont été maintenue entre 0,02 et 0,08 mg/l pour tous les traitements. Ces écarts théoriques n'ont toutefois pas pu montrer qu'il existe une différence significative entre les traitements ($P > 0,05$) pour ces paramètres mesurés.

Chapitre IV

Discussion

CHAPITRE IV : Discussion

IV.1. Utilisation et détermination de la composition nutritionnelle des aliments

Cette étude a tenté de remplacer partiellement la farine de poisson par des combinaisons de différents taux de protéines végétales et animales dans le but d'améliorer l'utilisation des sources de protéines de substitution dans l'alimentation d'*O. niloticus*. Les résultats obtenus ont montré que la croissance des alevins d'*Oreochromis niloticus* nourris avec les trois aliments (A_1 , A_2 et A_3) est équivalente à celle nourris de l'aliment témoin (A_0). Ceci est en accord avec les résultats obtenus par [Fashina-Bombata & Balogun \(1997\)](#), [Adesulu & Mustapha \(2000\)](#), [Ajani *et al.* \(2004\)](#) et [Ogunji *et al.* \(2008\)](#). Cela implique que les différents ingrédients alimentaires seraient plus digestes et facilement assimilables par les poissons. [Kóprücü & Özdemir \(2005\)](#) indiquent que la digestibilité d'un aliment dépend de la nature des ingrédients utilisés. Ils mentionnent que des ingrédients peuvent paraître d'excellentes sources de nutriments, mais de faible valeur nutritive. Or, une augmentation du niveau d'inclusion, mais à des proportions raisonnables dans l'aliment, peut induire une économie d'utilisation des protéines chez les poissons, sans altérer la qualité de cet aliment.

Bien que la farine de poisson soit l'ingrédient alimentaire le plus largement utilisé comme source de protéines animales et acceptée pour sa plus grande composition en protéines et en acides aminés essentiels; il est assez cher que les sources disponibles de protéines végétales ([Vechklang *et al.*, 2011](#)). Dans la culture du tilapia, il y a une augmentation progressive de la dépendance à l'utilisation de différentes sources alternatives de protéines dans la formulation des aliments pour réduire les coûts de production des aliments. Divers scientifiques ont recommandé différentes sources de protéines rentables pour la préparation des aliments afin d'obtenir une croissance optimale des poissons ([Tacon et Metian, 2008](#); [Kaushik et Troell, 2010](#)). Pour formuler un aliment efficace et peu coûteux, des ingrédients végétaux et animaux sont utilisés pour répondre aux besoins en protéines de la farine de poisson. Cependant, peu de nutritionnistes de poissons ont accordé plus d'attention à la réduction du coût des régimes artificiels en remplaçant la FP par des ingrédients non conventionnels combinés à partir de sources de protéines végétales et animales. La combinaison de différentes sources de protéines non conventionnelles telles que FLM et FTM à différentes niveau d'inclusion ayant été utilisée dans cette étude pour répondre aux besoins en protéines et en acides aminés du régime alimentaire du tilapia du Nil.

Il s'avère que ces ingrédients ont un fort potentiel d'inclusion dans les régimes alimentaires des poissons en raison de leurs compositions nutritionnelles et de l'absence de concurrence en tant qu'aliments humains. Et cela a un avantage sur le plan économique, d'être cultivés par les pisciculteurs eux-mêmes et par conséquent, être accessibles et disponibles localement.

IV.1. Taux de survie

La mortalité des poissons n'a pas été affectée par les traitements et le taux de survie se situe au dessus de 98% tout au long de la période d'étude. Le taux de survie élevé montre que les conditions d'élevage ont été bien adaptées aux alevins de tilapia (Abdel-Tawwab *et al.*, 2010; Ighwela *et al.*, 2011). Ces résultats observés confirmeraient aussi la bonne qualité et la valeur nutritionnelle des aliments testés. En effet, les rares mortalités ont été dues au stress à la manipulation car les morts sont souvent enregistrés deux à trois jours après chaque contrôle. Bien entendu, nos résultats sont très satisfaisants par rapport au taux (80%) obtenu par (Mohapatra and Patra, 2013) qui ont rapporté que 15% de *Lemna minor* pourrait remplacer partiellement la FP dans l'alimentation des alevins de *Cyprinus carpio* et de Medard *et al.* (2018) qui ont obtenu moins de 90% du taux de survie chez les alevins d'*O. niloticus* nourris avec des régimes à base de farine de vers de terre et d'asticots. Cependant, ils sont inférieurs au taux (100%) obtenu par Ali *et al.* (2015) lorsque la FP a été substituée par la farine d'asticots dans l'alimentation des alevins d'*O. niloticus*. Le même pourcentage a été trouvé par Francis *et al.* (2020), lors des essais de remplacer la FP par de farines animales terrestres localement disponibles dans l'alimentation des juvéniles de tilapia du Nil. Tous les groupes de poissons ont accepté les régimes d'essai sans effets néfastes sur les performances de croissance et l'utilisation des nutriments.

IV.2. Performances de croissance

Le gain de poids journalier (GPQ), le taux de croissance spécifique (TCS), le ratio de conversion alimentaire (TCA), la quantité d'aliments volontairement ingérée (IV) et le ratio d'efficacité protéique (CEP) dans tous les groupes de poissons soumis aux différents aliments tests n'ont montré aucune différence significative ($P > 0,05$) par rapport à l'aliment témoin (A_0). Même si ce dernier n'a exclusivement que des protéines animales brutes de FP en comparaison avec les autres régimes. Cela confirme l'observation faite par Santiago et Lovell (1988), selon laquelle les poissons n'ont pas d'exigence spécifique pour les protéines brutes en soi, mais qu'ils ont plutôt besoin de la bonne combinaison d'acides aminés essentiels.

Les besoins en acides aminés essentiels peuvent être satisfaits par l'utilisation d'un équilibre des protéines végétales et animales, et si nécessaire, par l'inclusion d'acides aminés synthétiques dans l'alimentation complète (Jauncey & Ross, 1982). Une carence en acides aminés indispensable peut entraîner une croissance réduite et une mauvaise conversion des aliments pour animaux (Wilson et Halver, 1986; Halver et Hardy, 2002). Le cas que l'on n'a pas observé dans les résultats des deux expériences de la présente étude.

Par conséquent, satisfaire les exigences indispensables en acides aminés d'une espèce est la plus grande importance dans la préparation d'une alimentation équilibrée. Ce qui vient d'être éventuellement confirmé qu'au niveau des d'acides aminés indispensables, les aliments tests présentent un profil si proche de celui de l'aliment témoin. Cette observation suggère qu'*O. niloticus* fonctionne mieux lorsqu'on lui donne un régime alimentaire contenant les besoins complets en acides aminés indispensables (Santiago et al., 1988). Ainsi que, la croissance est fortement liée à la prise alimentaire et à la capacité des poissons à utiliser les aliments ingérés (Carter & Houlihan, 2001) et surtout le niveau réduit de facteurs antinutritionnels (FAN). Quoique sommaire, les meilleures valeurs TCS enregistrées étaient chez les poissons nourris avec le régime A₀ et A₃ avec une valeur de (2,8 ± 1,3 et 3,04 ± 0,97 %/j) dans l'essai I et (1,77 ± 0,58 et 1,74 ± 0,54 %/j) dans le second, respectivement. Les valeurs TCS enregistrés dans la présente étude sont comparables à celles obtenues par Muin et al. (2017). En effet, ces auteurs n'ont pas observé de différence de TCS chez les fingerlings d'*O. niloticus* nourri avec des aliments dont l'un contenait la farine de poisson, et les autre contenant de différents niveaux de farine d'asticots (*Hermetia illucens*). Nos résultats sont toutefois intéressants comparativement aux données rapportées par plusieurs auteurs pour des régimes incorporant plus de 25 % d'ingrédients sources de protéines non conventionnelles.

IV.3. Indices d'utilisation des aliments

Le taux de conversion alimentaire, qui est considéré comme un indicateur clé de la qualité des aliments pour poissons car il évalue l'utilisation et l'absorption des aliments, avec un faible TCA indiquant une meilleure utilisation des aliments pour poissons, minimisant ainsi le gaspillage d'aliments (Opiyo et al., 2014). Les valeurs TCA (1,25-1,32) observés respectivement chez les groupes de poissons soumis aux régimes A₀ et A₃ dans l'essai I ont montré que les poissons utilisaient bien la nourriture par rapport aux autres groupes de poissons. Il en est de même, pour les valeurs de TCA (1,67-1,7) dans l'essai II.

Néanmoins, les TCA de 1,5 à 2 sont considérés comme une « bonne » croissance pour la plupart des espèces de poissons (Carter & Houlihan, 2001). De plus, ces dernières valeurs concordent avec les plages signalées chez *O. niloticus* allant de 1,43 à 2,3 (Opiyo *et al.*, 2014).

Au regard des valeurs obtenues, l'ingéré volontaire ne présente pas de différences significatives au niveau de la consommation des aliments. En apparence, aucun des aliments testés ne présente de caractère répulsif (inappétence). La différence de croissance des poissons peut être expliquée, soit par la variation de l'ingéré volontaire, soit par la différence dans l'efficacité d'utilisation des aliments.

Concernant le coefficient d'efficacité protéique, qui est un indicateur de la qualité de la teneur en protéines des aliments pour animaux et des valeurs CEP élevées sont généralement requises pour une meilleure utilisation alimentaire des poissons. Dans la présente étude, l'écart entre les valeurs trouvées nous fait penser que les protéines brutes des aliments testés (A_1 , A_2 et A_3) sont moins valorisées que celles de l'aliment témoin (A_0); qui sont qualifiées isoprotéiques dans les deux expériences d'alimentation. Les valeurs CEP allaient de $(0,49 \pm 0,25)$ à $(0,63 \pm 0,21)$ dans l'essai I, ce qui est inférieur à ceux rapportés par d'autres chercheurs travaillant sur le tilapia. Contrairement dans l'essai II, des valeurs CEP plus élevées de $(4,12 \pm 1,69)$ à $(4,83 \pm 1,76)$ que celles qui ont été rapportées par Maina *et al.* (2002) et Ogunji *et al.* (2008) pour les tilapias nourris avec un régime avec FM remplacé par de la farine d'asticots. Le CEP pour les poissons dans tous les traitements est moins élevé dans l'essai I que dans l'essai II. Cela est probablement tributaire du type d'aliments utilisés (sous forme pulvérulente), comme l'a fait remarqué Campbell (1978), la forme pulvérulente augmente non seulement les possibilités de pertes quantitatives mais aussi de déséquilibres qualitatives en raison de démêlage et du lessivage des composés hydrosolubles (vitamines, minéraux).

IV.4. Relation longueur-poids et facteur de condition (K)

Afin de connaître l'état de santé des poissons dans le système au début et à la fin de l'étude d'alimentation, une relation longueur-poids et un facteur de condition ont été effectués, qui ont fourni des informations indirectes sur la croissance, la nutrition et l'état de santé des poissons (Cifuentes *et al.*, 2012). En général, L'analyse statistique a montré que le coefficient de régression obtenu à partir des relations longueur-poids indique une croissance symétrique entre tous les groupes tous au long de notre étude, et par conséquent un bon état

physiologique. L'importance d'analyser cette relation au début et à la fin de l'étude est qu'il faut s'assurer que les poissons sont entrés dans le système en bonne santé et que les différents traitements alimentaires n'affectent pas la croissance, l'utilisation d'aliments et la qualité d'eau.

On dit que la croissance est allométrique positive lorsque le poids d'un organisme augmente plus que la longueur ($b > 3$) et l'allométrique négative lorsque la longueur augmente plus que le poids ($b < 3$) (Wootton, 1992). Les valeurs logarithmiques de « b » dans l'essai I (2,5-2,74) ont indiqué que tous les poissons de l'installation ont subi une croissance allométrique négative, ce qui implique que le poisson devient plus mince à mesure qu'il augmente de poids (Chakravarty, 2016). Le résultat de la première expérience est comparable aux conclusions d'autres chercheurs qui ont travaillé sur la croissance du tilapia du Nil. Yimer *et al.* (2015) ont signalé un coefficient de régression allant de 2,76 à 2,86 dans une expérience de comparaison de souches dans un système de culture en étang. Cela est également conforme au rapport d'Abdulkarim *et al.* (2019) qui ont signalé une croissance allométrique négative chez *O. niloticus* nourris avec deux régimes alimentaires différents. Cependant, cette conclusion contredit les conclusions d'Abdulkarim et Jabir (2013) qui ont rapporté une croissance allométrique positive chez *O. niloticus*. Néanmoins, dans l'essai II, les coefficients « b » étaient légèrement supérieurs à 3, montrant que les alevins de tilapia du Nil d'avoir tendance à une croissance isométrique (entre 3,09 à 3,24) dans tous les traitements diététiques. Des études menées sur la même espèce ont rapporté des valeurs similaires de 3,17 (Gullian-Klanian & Arámburu-Adame, 2013); 3,1 (Anani & Nunoo, 2016); 3,3 (Ondhoro *et al.*, 2019). Ces valeurs se situent dans la fourchette (2,5 – 3,5) recommandée par Prasad et Anvar (2007) comme idéales pour de nombreuses espèces de poissons.

D'autre part, l'estimation du facteur de condition (K) a été réalisée, qui est un bon paramètre qui montre le bien-être des poissons dans leur habitat naturel ou en aquaculture (Tesfahun, 2018) car il est considéré comme une mesure de facteurs biologiques et écologiques pour leurs conditions d'alimentation (Nehemia *et al.*, 2012). Il doit être proche ou supérieur à 1 pour les poissons d'élevage (Olufeagba *et al.*, 2016). Les valeurs de K d'*O. niloticus* nourris avec les quatre régimes expérimentaux sont comprises entre (1,68-1,84) dans l'essai I et (2,76-3,1) dans le second, indiquant que tous les poissons sont en bon état à la fin de notre étude. Ces valeurs sont conformes aux conclusions de Kwasi *et al.* (2016) et Abdulkarim *et al.* (2019). Cela pourrait être attribué à l'alimentation acceptable et appétissante ainsi que la bonne qualité de l'eau d'élevage.

IV.5. Composition corporelle d'*O. niloticus*

La composition de la carcasse est déterminée par la teneur en eau, protéines, graisses et cendres du poisson (Love, 1980) et cela peut être considéré comme un bon indicateur de son état physiologique et de sa santé (Saliu *et al.*, 2007). La présente étude a montré des changements dans la composition chimique du tilapia du Nil semblent liés à la variation des régimes alimentaires. Dans cette étude, les traitements diététiques ont affecté la composition corporelle finale des poissons dans les deux expériences. Parmi tous les teneurs corporelles analysées, il n'y a eu que les teneurs en cendre qui n'ont pas été affectées par les traitements diététiques.

La composition biochimique de la carcasse des poissons recevant les régimes A₀ et A₃ a eu plus de protéines retenues dans le corps à la fin des expériences de cette étude. Cela suggère que le rapport (4: 2 de FLM et FTM) utilisé dans l'alimentation représente la bonne proportion nutritionnelle. Par conséquent, une confirmation de la bonne qualité peut être vue aussi dans la réduction de la teneur corporelle en matières grasses des poissons des deux mêmes régimes par rapport au résultat de la teneur corporelle initiale en matières grasses des poissons. Cela indique que les alevins d'*O. niloticus* nourris avec les aliments A₁ et A₂ contenant un niveau élevé de FTM ne seront pas utilisés efficacement pour la croissance, mais augmenteront le dépôt de lipides. Nos résultats sont corroborés avec ceux de Medard *et al.* (2018) sur des tilapias du Nil nourris avec un régime à base de farines de vers de terre et d'asticots.

La teneur en eau des carcasses a été significativement plus élevée chez les poissons nourris avec les régimes A₀ et A₃ que chez ceux recevant les régimes A₁ et A₂. Par contre, l'inverse est vrai pour la teneur en grasse corporelle. La FAO (1999) a déclaré que la teneur en eau et en grasse des filets de poisson est inversement proportionnelle, ce qui a été clairement démontré dans la présente étude. Nos résultats sont généralement cohérents avec ceux obtenus par Valente *et al.* (2006) sur des juvéniles de *Dicentrarchus labrax* nourris avec un régime alimentaire à base d'algues rouges (*Gracilaria cornea*) et Richter *et al.* (2003) sur *O. niloticus* recevant de régimes contenant du moringa (*Moringa oleifera*). Siddhuraju et Becker (2001) ont également signalé une augmentation significative du niveau d'humidité du corps entier de la carpe commune après s'être nourrie de régimes contenant des protéines végétales.

IV.6. Coût d'alimentation et rentabilité

Le TCE des groupes de poissons nourris avec l'aliment témoin (A_0) a été bien supérieur à ceux des autres aliments tests. La farine et l'huile de poisson sont trop chères sur le marché international (FAO, 2014). La production de larves de ténébrions et de farine de lentilles d'eau est moins chère, d'où un coût/kg d'aliment formulé est moins faible. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ali *et al.* (2015) et Medard *et al.* (2018), ayant conclu que la substitution partielle de la farine de poisson par celle d'insectes (asticot, ver de terre) incluse dans le régime alimentaire d'*O. niloticus* pourrait réduire les coûts et maximiser les bénéfices. D'autre part, ils sont en désaccord avec ceux de Nguyen (2013) qui a observé que, bien que l'utilisation de régimes alimentaires agricoles semblent être l'option la moins coûteuse, mais ils sont moins efficaces en termes de croissance et de TCE. Néanmoins, il n'y a pas eu de différences significatives entre la croissance, l'efficacité alimentaire et les paramètres de la qualité d'eau pour poissons et les traitements alimentaires. L'aliment A_3 semble à valoriser au mieux les intrants locaux, tout en maintenant la composition biochimique de la carcasse des poissons à un niveau proche de l'échantillon de départ en comparaison avec l'aliment témoin (A_0). Cela suggère que l'utilisation de ce régime alimentaire réduira le coût de production du tilapia du Nil et, par conséquent, augmentera la marge bénéficiaire de l'éleveur de poissons et profitera énormément aux petits et moyens agriculteurs qui constituent actuellement la majorité des pisciculteurs en Algérie.

IV.7. Contrôle de la qualité d'eau

La température, le pH, l'oxygène dissous et la salinité en aquaculture sont des conditions qui peuvent affecter le développement du poisson et compromettre la qualité de l'eau. C'est pourquoi un suivi de ces facteurs physico-chimiques de l'eau d'élevage a été réalisé. Par conséquent, on peut observer que la température dans tous les traitements de la présente étude a été maintenue entre 27,2 et 28,57 °C, ce qui correspond à la plage de température optimale pour un bon développement du tilapia, selon Ebeling *et al.* (2006) et Ndour *et al.* (2011). Les résultats de cette étude sont comparables à ceux obtenus par Sarr *et al.* (2013) avec des intervalles de (13,5 – 33°C) et (24 – 35°C). D'autre part, une gamme de pH de 6,95 à 7,3 a été enregistrée, dont les valeurs sont acceptables pour la culture du tilapia du Nil (El-Shrerif & El-Feky, 2009; Bahnasawy *et al.*, 2009). Les travaux d'Abou *et al.* (2007) ont montré qu'*O. niloticus* peut vivre dans les eaux à pH compris entre 5 et 11.

De plus, l'oxygène dissous est l'un des facteurs les plus importants pour la survie des poissons, la prise alimentaire, la croissance et le métabolisme (Tran-Duy *et al.*, 2012), en particulier dans un système d'aquaculture intensif. Ainsi, le tilapia dans cette étude n'a jamais été compromis par l'absence d'oxygène, où les concentrations sont généralement élevées de 4,6 à 6,1 mg/l. Enfin, la salinité a présenté des valeurs faibles selon les exigences de l'espèce, cependant elle coïncidait avec celle rapportée par Thabet (2017) avec des valeurs comprises entre 2 et 2,12 ppm chez *O. niloticus* élevé en eau géothermale. La qualité de l'eau appropriée maintenue dans tous les traitements diététiques au cours de la présente étude pourrait être attribuée à l'élimination par siphonage des fèces et déchets alimentaires lors du processus de renouvellement quotidien d'eau d'élevage à 30%. Cette observation est conforme aux conclusions d'Ofori (2001) qui a signalé que le risque de détérioration de la qualité de l'eau et une réduction associée de la croissance des poissons et est améliorée lorsque l'accumulation de matière organique est réduite au minimum.

La teneur en ammonium a varié entre 0,02 mg/l et 0,11 mg/l, tandis que celles de nitrates et de nitrites ont varié respectivement, entre 0,29 mg/l et 0,52 mg/l, et 0,02 mg/l et 0,08 mg/l pour tous les traitements de l'étude. Ces petits écarts ont toutefois pu montrer qu'il existe une forte homogénéité entre les traitements pour ces paramètres mesurés. Des valeurs d'ammonium, nitrate et nitrite supérieures aux nôtres ont été aussi rapportées par (Fiogbé *et al.*, 2009). La source unique d'approvisionnement en eau de tous les aquariums est donc à la base de la similarité des valeurs des paramètres mesurés dans l'installation d'élevage. Dans l'ensemble, les paramètres de l'eau n'ont pas eu d'influences sur la croissance des alevins élevés.

Conclusion et perspectives

L'objectif majeur poursuivi par cette étude est le plus grand défi auquel est confrontée l'aquaculture en Algérie. Il implique essentiellement d'identifier parmi les aliments formulés à partir d'intrants locaux, un qui soit zootechniquement, économiquement et écologiquement intéressant.

À l'issue de cette étude, des résultats encourageants, nous ont permis de déduire que :

- Cette étude indique qu'un mélange de protéines végétales et animales comprenant FLM et FTM à différents niveaux d'inclusion, pourrait remplacer partiellement la farine de poisson sans avoir d'effets néfastes sur la croissance, l'utilisation des aliments et la qualité de l'eau d'élevage.
- D'après cette étude, FLM et FTM sont des ingrédients alimentaires acceptables pour *O. niloticus*. La plupart des traitements diététiques ont été bien digérés et appétissants pour les poissons mais avec la connaissance au préalable des niveaux tolérables.
- La composition nutritionnelle de la carcasse des poissons a été affectée par les traitements diététiques. Cependant, l'augmentation du niveau d'inclusion de FTM a entraîné un taux élevé en graisses brutes et corrélativement les teneurs en protéines et en eau diminuent.
- L'analyse économique a indiqué que les sources de protéines de substitution sont moins chères que la farine de poisson. Les régimes contenant du niveau d'inclusion convenable de protéines animales et végétales sont économiquement meilleurs par rapport au régime contenant une plus grande quantité de farine de poisson.

Dans l'ensemble, la présente étude a souligné l'importance de l'utilisation d'intrants locaux dans l'alimentation du tilapia *O. niloticus* en phase de prégrossissement. Le groupe d'alevins nourri avec l'aliment A₃ présente des performances zootechniques nettement proches que celles du groupe soumis à l'aliment témoin A₀. Par ailleurs, une telle substitution a contribué à une réduction moyenne des charges liées à l'alimentation à 26,65%. L'aliment mis au point dans notre étude présente l'avantage d'être localement disponible, relativement moins onéreux et accessible aux pisciculteurs.

Dans les travaux futurs, la formulation d'un bon aliment nécessite davantage de travaux de recherche pratiques complémentaires. Ces travaux devront s'orienter vers d'autres mesures et analyses supplémentaires, selon les points suivants :

- Les résultats de ce travail sont importants, mais ils doivent être suivis sur une longue période de temps et à grande échelle pour garantir leur fiabilité dans les conditions d'élevage de production.
- L'étude de digestibilité des deux essais de croissance s'est concentrée sur les protéines et ces dérivés uniquement, mais il est nécessaire d'étudier les autres nutriments, à savoir les lipides, les fibres et ses dérivés, ainsi les oligo éléments. Ceci est dû au fait; les informations sur la digestibilité pourraient faciliter l'utilisation de substitutions d'ingrédients alimentaires pour les aliments formulés à moindre coût chez *O. niloticus* pour l'aquaculture.
- Force est de souligner que les aliments mis au point retenus pourraient être nettement améliorés s'il étaient présentés sous forme extrudés et adaptés à la taille de la bouche du poisson pour éviter les pertes d'aliment dans l'eau.
- Les nouveaux ingrédients alimentaires utilisés doivent subir un traitement supplémentaire afin d'assurer une manipulation optimale pour la fabrication d'aliments pour poissons et un contrôle continu de la qualité.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

1. **Abarike, E. D., Edward, A. O., Attipoe, F. Y. K. (2013).** Growth and economic performance of fingerlings of *Oreochromis niloticus* fed on different non-conventional feeds in out-door hapas at Akosombo in Ghana. *AJAR*, 8(26): 3384-3391.
2. **Abdel-Tawwab, M., Ahmad, M. H., Khattab, Y. A., Shalaby, A. M. (2010).** Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture*, 298(3-4), 267-274.
3. **Abdel-Tawwab, M., Hagra, A. E., Elbaghdady, H. A. M., Monier, M. N. (2015).** Effects of dissolved oxygen and fish size on Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.): growth performance, whole-body composition, and innate immunity. *Aquaculture International*, 23(5): 1261-1274.
4. **Abdulkarim, B., Jabir, S.N. (2013).** Length-weight relationship and condition factor of three fish species from Konar Are Dam, Rimi Local Government, Katsina State, Nigeria. *Biol and Environ Sci J for the Trop*, 10(3): 32-37.
5. **Abdulkarim, B., Suleiman, M., Taofik, A.B., Abdulkadir, B. (2019).** Growth performance of juveniles *Oreochromis niloticus* (Nile Tilapia) reared in concrete tanks with two different diets. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 7(5): 490-496.
6. **Abdullah, A., Ramli, R., Ridzuan, M. S. M., Murni, M., Hashim, S., Sudirwan, F., ... Amal, M. N. A. (2017).** The presence of Vibrionaceae, Betanodavirus and Iridovirus in marine cage-cultured fish: Role of fish size, water physicochemical parameters and relationships among the pathogens. *Aquaculture Reports*, 7: 57-65.
7. **Abou, Y., Fiogbé, E.D, Micha, J-C. (2007).** A preliminary assessment of growth and production of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., Fed Azolla - based-diets in Earthen Ponds. *Journal of Applied Aquaculture*, 19(4): 55-69.
8. **Abowei, J.F.N., Ekubo, A.T. (2011).** A Review of Conventional and Unconventional Feeds in Fish Nutrition. *Journal of Pharmacology and Toxicology*, 2(4): 179-191.
9. **Adámková, A., L. Kouřimská, M. Borkovcova, M. Kulma., J. Mlcek. (2016).** Nutritional values of edible coleopteran (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio* and *Alphitobius diaperinus*) reared in the Czech Republic. *Potravinarstvo* 10: 663–671.

10. **Adesulu, E.A., Mustapha, A.K. (2000).** Use of housefly maggots as a fishmeal replacer in tilapia culture: A recent vogue in Nigeria. In *5th International Symposium on Tilapia Aquaculture, Rio de Janeiro, Brazil* (Vol. 1, p. 138).
11. **Agbo, N.W. (2008).** Oilseed meals as Dietary Protein Sources for juvenile Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L). PhD Thesis. University of Stirling, Stirling, UK.
12. **Agbo, N.W., Madalla, N., Jauncey, K. (2011).** Effects of dietary cottonseed meal protein levels on growth and feed utilization of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *J Appl. Sci. Environ. Management.*, 15: 235-239.
13. **Ajani, E.K., Nwanna, L.C., Musa, B.O. (2004).** Replacement of fishmeal with maggot meal in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *World Aquaculture*, 35: 52-54.
14. **Alegbeleye, W. O., Obasa, S. O., Olude, O. O., Otubu, K., Jimoh, W. (2012).** Preliminary evaluation of the nutritive value of the variegated grasshopper (*Zonocerus variegatus* L.) for African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell. 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*, 43(3): 412-420.
15. **Ali, A. E., Mekhamar, M. I., Gadel-Rab, A. G., Osman, A. G. (2015).** Evaluation of growth performance of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* fed *Piophilha casei* Maggot Meal (Magmeal) diets. *American Journal of Life Sciences*, 3(6-1): 24-29.
16. **Altum, T., E. Sarihan (2008).** Effect of fresh water and seawater on the growth, total testosterone levels, testis development of tilapia. *J. Anim Vet. Adv.*, 7(6): 657-662.
17. **Anani, F.A., Nunoo, F.K.E. (2016).** Relation longueur-poids et facteur de condition du tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus* nourri avec un régime de tilapia fabriqué à la ferme et commercial. *Journal international des pêches et des études aquatiques*, 4: 647-650.
18. **Ansal, M.D., Dhawan, A, Kaur., V.I. (2010).** Duckweed based bio-remediation of village ponds : An ecologically and economically viable integrated approach for rural development through aquaculture. *Livest. Res. Rural Dev.*, 22:129.
19. **AOAC. (2000).** Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International, *Edn17, Association of Official Analytical Chemist, Gaithersburg, MD, USA Association of Analytical Communities.*
20. **APHA, AWWA, WEF. (1998).** Standard Methods for the Examination of Water and Waste water. 20th Edition, American Public Health Association, Washington.
21. **Attipoe, F.Y.K, Nelson, F.K., Abban, E.K. (2009).** Evaluation of three diets formulated from local agro-industrial by-products from production of *Oreochromis niloticus* in earthen ponds. *Ghana J Agric Sci.*, 42: 185-191.

22. **Azaza, M.S. (2004).** Tolérance à la température et à la salinité chez le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus* L., 1758) en élevage dans les eaux géothermales du sud tunisien, Master de la Faculté des Sciences de Tunis., 110 p.
23. **Azaza, M. S., Mensi, F., Abdelmouleh, A., Kraiem, M. M. (2005).** Elaboration d'aliments secs pour le tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (L., 1758) en élevage dans les eaux géothermales du sud-tunisien. *Bull. Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*, 32: 23-30.
24. **Azaza, M. S., Dhraïef, M. N., Kraiem, M. M. (2008).** Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. *Journal of thermal Biology*, 33(2): 98-105.
25. **Bahnasawy, M., Khidr, A. A., Dheina, N. (2009).** Seasonal variations of heavy metals concentrations in mullet, *Mugil cephalus* and *Liza ramada* (Mugilidae) from Lake Manzala, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 13(2): 81-100.
26. **Bardach, J.E., Ryther, J.H., McLarney, W.D. (1972).** Aquaculture: The farming and husbandry of freshwater and marine organisms. Wiley-Interscience, New York and London, 868 p.
27. **Barroso, F.G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M.-J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., Pérez-Bañón, C. (2014).** The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture*, 422-423: 193–201.
28. **Basudha, C., Vishwanath, W. (1997).** Formulated feed based on aquatic weed Azolla and fish meal for rearing medium carp *Osteobrama belangeri* (Valenciennes). *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 12(3): 155-164.
29. **Bowen, S. H. (1982).** Feeding, digestion and growth- Qualitative considerations. In R. S. Pullin & R. H. Lowe-McConnel (Eds), *The Biology and Culture of Tilapias*. ICLARM. Metro Manila, Philippines, 141–156.
30. **Bednárová, M., Borkovcová, M., Komprda, T. (2014).** Purine derivate content and amino acid profile in larval stages of three edible insects. *J Sci Food Agric.*, 94: 71–6.
31. **Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., Rotolo, L., ... Gasco, L. (2015).** Tenebrio molitor meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science*, 14(4): 4170.

32. **Béné, C., Hersoug, B., E.H. Allison, E.H. (2010).** Not by Rent Alone: Analysing the Pro-Poor Functions of Small-Scale Fisheries in Developing Countries. *Dev. Policy Rev.* 28(3): 325–358.
33. **Beveridge, M. C. M. (eds.). (2000).** Tilapias: Biology and Exploitation. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Netherlands. 42 pp.
34. **Beveridge, M., Phillips, M. Dugan, P., Brummett, R. (2010).** Barriers to aquaculture development as a pathway to poverty alleviation and food security: Policy coherence and the roles and responsibilities of development agencies. OECD Work- shop, 12– 16 April 2010, Paris, France.
35. **Beverton, R. J. H., Holt, S. J. (1996).** On The Dynamics of Exploited Fish Populations. Chapman and Hall. London, 533 p.
36. **Bilale, A. M., Teklie, A. T. (2017).** Evaluation of growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1752) with supplementary feeding of brewery waste in concrete ponds at Tehuledere district, Amhara Region, Ethiopia. *Int. J of Fish. and Aqua. Stud.* 5(4): 295-299.
37. **Bœuf, G., Payan, P. (2001).** How should salinity influence fish growth?. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 130(4): 411-423.
38. **Borghesi, R. Portz, L. Oetterer, M., Cyrino, J.E.P. (2007).** Apparent digestibility coefficient of protein and amino acids of acid, biological and enzymatic silage for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutr.*, 14: 242– 248.
39. **Bouali, M., Zrafi, I., Mouna, F., Bakhrouf, A. (2012).** Pilot study of constructed wetlands for tertiary wastewater treatment using duckweed and immobilized microalgae. *Afr. J. Microbiol. Res.*, 6(31): 6066-6074.
40. **Boussou, C. K., Aliko, G. N., Yoboué, N. A., Konan, F. K., Ouattara, M., Gourène, G. (2017).** Effect of Replacement of Fish Meal by Soybean Meal on Growth of *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) Juvenile under High Temperature Treatment for Masculinization. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, 5(1): 30-36.
41. **Boyd, C. E. (1998).** Pond water aeration systems. *Aquacultural engineering*, 18(1): 9-40.
42. **Bui Xuan Men; Yamasaki, S. (2005).** Use of water hyacinth as partial supplements in diets of growing crossbred common ducks. Proceedings of the Workshop on the technology Development for Livestock Production, JIRCAS - CTU. 83-90.

43. **Burr, G.S., Wolters, W.R., Barrows, F.T., Hardy, R.W. (2012).** Replacing fishmeal with Blends of alternative proteins on growth performance of 63 rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and early or late stage juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 334– 337: 110– 116.
44. **Campbell, D. (1978).** Formulation des aliments destinés à l'élevage de *Tilapia nilotica* (L.) en cages dans le Lac de Kossou. Côte d'Ivoire. Rapport technique n° 46, Département des pêches FAO, 26 p.
45. **Carter, C. G., Houlihan, D. F. (2001).** Protein synthesis. *Fish physiology*, 20: 31-75.
46. **Chakravartty, D. M. (2016).** Grow-out performance, length-weight relationship and variation in condition of all male Nile tilapia from low saline fertilize earthen ponds of Indian Sundarbans. *International Journal of Biology Research*, 1: 28-33.
47. **Chaturvedi, K.M.M., Langote, D.S., Asolekar, R.S. (2003).** Duckweed-fed fisheries for treatment of low strength community waste water. WWWTM Newsletter-Asian Institute of Technology, India.
48. **Chimits P. (1957).** The tilapias and their culture. A second review and bibliography. FAO Fish. Bull. 10(1): 1-24.
49. **Chowdhury, M. K., Bureau, D. P. (2009).** Predicting body composition of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Asian Fisheries Science*, 22(2): 597-605.
50. **Cifuentes, R., González, J., Montoya, G., Jara, A., Ortiz, N., Piedra, P., Habilt, E. (2012).** Relación longitudpeso y factor de condición de los peces nativos del río San Pedro (cuenca del río Valdivia, Chili). *Gayana*, 76: 101-110.
51. **Collins S.A., Overland M., Skrede A., 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: 85-100.
52. **Culley, D.D., E.A. Epps. (1973).** Use of duckweeds for waste water treatment and animal feed. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 45: 337–347.
53. **Dabrowska, H., Gunther, K.-D., Meyer-Burgdorff, K. (1989).** Interaction between dietary protein and magnesium level in tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 76: 277-291.
54. **Dagne, A., Degefu, F., Lakew, A. (2013).** Comparative growth performance of mono-sex and mixed-sex Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in pond culture system at Sebeta, Ethiopian. *International Journal of Aquaculture*, 3.

- 55. Dalla Valle, A.Z., Iriti, M., Faoro, F., Berti, C., Ciappellano, S. (2008).** In vivo prion protein intestinal uptake in fish. *Apmis*, 116, 173–180.
- 56. Daniel, N. (2017).** Status of aquaculture with respect to nutrition and feed. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 5(1): 333-345.
- 57. De Azevedo, R. V., de Oliveira, K. F., Flores-Lopes, F., Teixeira-Lanna, E. A., Takishita, S. S., Tavares-Braga, L. G. (2015).** Responses of Nile tilapia to different levels of water salinity. *Latin American journal of aquatic research*, 43(5): 828-835.
- 58. De Silva, S.S., & Anderson, T.A. (1995).** Fish nutrition in aquaculture. 319 London: Chapman and Hall.
- 59. Dey, M.M. (2001).** Tilapia production in South Asia and the Far East. pp 17-27. In Subasinghe, S. and Singh, T. (eds.), Proceedings of the Tilapia 2001. International Technical and Trade Conference on Tilapia. INFOFISH, Kuala Lumpur, Malaysia.
- 60. DGPA. (2018).** Pêche et aquaculture en Algérie, situation et enjeux économiques. Séminaire organisé dans le cadre du projet du ministère de l'agriculture et de développement rurale et de la pêche sur la planification du développement de l'aquaculture. Tunisie. Octobre. 2018.
- 61. Djissou, A. S., Ochiai, A., Koshio, S., Fiogbé, E. D. (2017).** Effect of total replacement of fishmeal by earthworm and *Azolla filiculoides* meals in the diets of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) reared in concrete tanks. *Indian J. Fish*, 64(1): 31-36.
- 62. Ebeling, J.M., Timmons, M.B., Bisogni, J.J. (2006).** Analyse technique de la stoechiométrie de l'élimination photoautotrophe, autotrophe et hétérotrophe de l'azote ammoniacal dans les systèmes d'aquaculture. *Aquaculture*, 257: 346-358.
- 63. Edwards, P., Allan, G.L. (2004).** Feeds and feeding for inland aquaculture in the Mekong region countries. ACIAR Technical Reports, 136.
- 64. El-Sayed, A. F. (1992).** Effects of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling and adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research*, 23(2): 167-173.
- 65. El-Sayed, A.F.M. (2004).** Protein Nutrition of Farmed Tilapia: Searching for Unconventional Sources. In: Bolivar, R.B., Mair, G.C. and Fitzsimmons, K., (Eds.) 'New Dimensions on Farmed Tilapia' Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture 12-16 September 2004, pp. 364-378. Manila, Philippines: ISTA Publications.

- 66. El Sayed, A. F. ., Mamdouh, K. (2004).** Effects of photoperiod on the performance of farmed Nile tilapia *Oreochromis niloticus*: I. Growth, feed utilization efficiency and survival of fry and fingerlings, *Aquaculture*, 231: 393-402.
- 67. El-Sayed, A.F.M. (2006).** Tilapia culture in salt water: Environmental requirements, nutritional implications and economic potentials. Eighth Symposium on Advances in Nutritional Aquaculture. November 15– 17, Nuevo Leon, Mexico. University Press, Ithaca, N.Y. 288p.
- 68. El-Shafai, S. A. ; El-Gohary, F. A. ; Verreth, J. A. J. ; Schrama, J. W. ; Gijzen, H. J. (2004).** Apparent digestibility coefficient of duckweed (*Lemna minor*), fresh and dry for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquacult. Res.*, 35 (6): 574-586.
- 69. El-Sherif, M. S., El-Feky, A. M. I. (2009).** Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings. I. Effect of pH. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(3): 297-300.
- 70. Fagbenro, O.A., Akande, T.T., Fapounda, O.O. (2003).** Use of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) seed meal as a soybean meal replacer in practical diets for fingerlings of African catfish (*Clarias gariepinus*). Proceeding of the third international Conference on African Fish and Fisheries, Cotonou, Benin, 10-14 November, Ed J. Snoeks, P. Laleye and P. Vandewalle pp. 73-79.
- 71. FAO. (1999).** World Production of Fish, Crustaceans and Mollusks by Major Fishing Areas. Fisheries Information Data and Statistics Unit (FIDI), Fisheries Department, FAO, Rome. 33p.
- 72. FAO. (2006).** FAO Fisheries & Aquaculture - Vue générale du secteur aquacole national - Algérie. Division des pêches et de l'aquaculture. 10 pp.
- 73. FAO. (2009).** Gender, Equity and Rural Employment. Division Economic and Social Development Department Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, FAO. 16 pp.
- 74. FAO. (2010).** The State of World Fisheries and Aquaculture. Department Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, FAO. 197 pp.
- 75. FAO/WHO. (2011).** Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation on the Risks and Benefits of Fish Consumption. FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 978. Rome, FAO. 50 pp.
- 76. FAO. (2012a).** The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome, Italy, 230 pp.

- 77. FAO. (2012b).** The State of Food Insecurity in the World. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome, 145 pp.
- 78. FAO. (2014).** The State of World Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO, Rome, 223 pp.
- 79. FAO. (2016).** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, Contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. FAO, Rome, 224 pp.
- 80. FAO. (2018).** Yearbook 2018. FAO Annuaire des Statistiques des pêches et de l'aquaculture. Rome, 110 pp.
- 81. FAO. (2020).** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020, La durabilité en action, L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. FAO, Rome, 247 pp.
- 82. Faruk, M. A. R., Mausumi, M. I., Anka, I. Z., Hasan, M. M., Mausumi, M. I. (2012).** Effects of temperature on the egg production and growth of monosex Nile tilapia *Oreochromis niloticus* Fry. *Bangladesh Research Publication Journal*, 7: 367-377.
- 83. Fashina-Bombata, H.A., O. Balogun. (1997).** The effect of partial or total replacement of fish meal with maggot meal in the diet of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry. *Journal of Prospects in Science*, 1: 178–181.
- 84. Fiogbé, E.D., Kestemont, P. (2003).** Optimum daily ration for Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared at its optimum growing temperature. *Aquaculture*, 216 (1-4): 243–252.
- 85. Fiogbé, E. D., Micha, J. C., Van Hove, C. (2004).** Use of natural aquatic fern *Azolla microphylla* as a main component in food for the omnivorous phytoplanktonphagous tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *J. Appl. Ichth.*, 20: 517-520.
- 86. Fiogbé, E.D., Akitikpa, B., Magloire Accodji, J-M. (2009).** Essais de mise au point de formules alimentaires à base d'azolla (*Azolla microphylla* Kaulf) et de sous-produits locaux pour la pisciculture rurale du tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 3(2): 398-405.
- 87. Fitzsimmons, K. (1997).** Introduction to tilapia nutrition. In: Fitzsimmons, K., (Ed.) *Tilapia Aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, pp 9-12. Ithaca, N. Y.: Northeast Regional Agricultural Engineering Service Publication, No. NRAES 106.

- 88. Fitzsimmons, K. (2005).** Tilapia culture. pp. 563-590. *In* A. Kelly and J. Silverstein (eds), *Aquaculture in the 21 Century*. American Fisheries Society, Maryland. 643 pp.
- 89. Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K. (2001).** Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199(3-4): 197-227.
- 90. Glencross, B.D., Booth, M., Allan, G.L. (2007)** A feed is only as good as its ingredients – a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquacult. Nutr.*, 13(1): 17-34.
- 91. Goopy, J.P., Murray, P.J. (2003).** A review on the role of duckweed in nutrient reclamation and as a source of animal feed. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16: 297-305.
- 92. Guillaume, J., Choubert, G. (1999).** Digestive physiology and nutrient digestibility in fishes. *In*: Nutrition and feeding of fish and crustaceans. Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P. and Mettaille, R. (editors) Springer-Praxis. pp 27-56.
- 93. Gullian-Klanian, M., Arámburu-Adame, C. (2013).** Performance des alevins de tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* dans un système d'aquaculture en recirculation hyper-intensif avec un faible échange d'eau. *Journal latino-américain de recherche aquatique*, 41: 150-162.
- 94. Güroy, B., ğ ahin, Ğ., Ka yalı , S ., Mantoĝlu, S ., Canan, B., Me rrifield, D. L., Davies, S. J., Güroy, D. (2012).** Evaluation of feed utilization and growth performance of juvenile striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) fed diets with varying inclusion levels of corn gluten meal. *Aquacult. Nutr.*, 1– 9.
- 95. Hall, F., Jones, O., O'Haire, M., Liceaga, A. (2017).** Functional properties of tropical banded cricket (*Grylloides sigillatus*) protein hydrolysates. *Food Chem.*, 224: 414-422.
- 96. Halver, J.E., Hardy, R.W. (2002).** Fish Nutrition. *In*: Sargent, J.R., Tocher, D.R. and Bell, G., Eds., *The Lipids*, 3rd Edition, Academic Press, California, 182-246.
- 97. Hammouda, O., Gaber, A., Abdel-Hameed, M. S. (1995).** Assessment of the effectiveness of treatment of wastewater-contaminated aquatic systems with *Lemna gibba*. *Enzyme and Microbial Technology*, 17(4): 317-323.
- 98. Hansen, A. C., HEMRE, G. I., Karlsen, Ø., Koppe, W., Rosenlund, G. (2011).** Do plant-based diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) need additions of crystalline lysine or methionine?. *Aquaculture Nutrition*, 17(2): e362-e371.

99. **Hardy, R. W. (2006).** Worldwide Fishmeal production outlook and the use of alternative protein meals for aquaculture. In: VIII International Symposium on Aquaculture Nutrition, Nov 15- 17, Universidad Autonoma de Leon, Monterrey, Leon, Mexico.
100. **Hardy, R. W. (2008).** Farmed fish diet requirements for the next decade and implications for global availability of nutrients. *Alternative protein sources in aquaculture diets*, 1-15.
101. **Hardy, R.W. (2010).** Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquacult. Res.*, 41(5): 770– 776.
102. **Hassan, M.R., Hecht, S. T., De Silva, S.S., Tacon, A.D.J. (2007).** Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development. FAO Technicalpaper 497, FAO Rome, pp: 512.
103. **Hassan, M.R., Wakil, U. B., & Gamawa, A. I. (2017).** Effects of cassava leaf meal on growth performance and nutrient utilization of African Catfish in the semi-arid zone of Nigeria. *International Journal of Science and Technology*, 6(2): 689-693.
104. **Houlihan, D., T. Bouiard, T., Jobling, M. (2001).** Food intake in fish. Iowa State University Press, Blackwell Sci. Ltd., pp 418.
105. **Hussain, M.G. (2004).** Farming of tilapia: Breeding plans, mass seed production and aquaculture techniques. Dhaka, Bangladesh: Momin Offset Press. 149 pp.
106. **IBM SPSS STATISTIC. (2013).** IBM SPSS STATISTIC program, version 22.0 statistical software packages. IBM corporation, Chicago, Illinois.
107. **Ighwela, K. A., Ahmed, A. B., Abol-Munafi, A. B. (2011).** Condition factor as an indicator of growth and feeding intensity of Nile tilapia fingerlings (*Oreochromis niloticus*) feed on different levels of maltose. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 11(4): 559-563.
108. **Ingrosso, L., Novoa, B., Dalla Valle, A. Z., Cardone, F., Aranguren, R., Sbriccoli, M., ... Pocchiari, M. (2006).** Scrapie infectivity is quickly cleared in tissues of orally-infected farmed fish. *BMC Veterinary Research*, 2(1): 1-7.
109. **Iqbal, K. J., Qureshi, N. A., Ashraf, M., Rehman, M. H. U., Khan, N., Javid, A., ... Majeed, H. (2012).** Effect of different salinity levels on growth and survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(4): 919-932.
110. **Jabir, M.A.R., Razak, S., Vikineswary, S. (2012).** Chemical composition and nutrient digestibility of super worm meal in red tilapia juvenile. *Pak Vet J.*, 32: 489–493.

111. **Jackson, A. (2009).** Fish in–fish out (FIFO) ratios explained. *Aquaculture Europe* 34 (3):5–10.
112. **Jafri, A. K., Jafri, D. K., Khan, M. A., Anwar, M. F., Hassan, A., Fanullah, E. R. (1992).** On the use of locally available feed stuffs in formulated fish feeds. Proximate composition and gross energy content. *Aquaculture research needs for 2000 AD*, 143-151.
113. **Jauncey, K., Ross, B. (1982).** A guide to tilapia feeds and feeding. University of Stirling, Scotland, 111 pp.
114. **Jauncey, K. (1993).** Advances in freshwater fish nutrition. *In* Feed Production Tomorrow. Victam International Leiden. The Netherlands pp 16-41.
115. **Jauncey, K. (1998).** Tilapia Feeds and Feeding. Pisces Press Ltd, Stirling, Scotland, 241pp.
116. **Jauncey, K. (2000).** Nutritional requirements. pp 327-375. *In* M.C.M. Beveridge and B.J. McAndrew (eds.) *Tilapias: Biology and Exploitation*. Kluwer Academic Publishers, Great Britain.
117. **Jobling, M., 1994.** Fish Bioenergetics. Chapman & Hall, London, 294 pp.
118. **Jimoh, W.A., Fagbenro, O.A., Adeparusi, E.O. (2010).** Digestibility coefficients of Processed jackbean meal, *Cannavalia ensiformis* (L.) DC for Nile tilapia,
119. **Journey, W. K., Skillicorn, P., Spira, W. (1991).** Duckweed aquaculture: A new aquatic farming system for developing countries (No. 10004, p. 1). The World Bank.
120. **Kaushik, S. A. C. H. I., Troell, M. (2010).** Taking the fish-in fish-out ratio a step further. *Aquaculture*, 35(1).
121. **Kawarazuka, N., Béné, C. (2011).** The potential role of small fish species in improving micronutrient deficiencies in developing countries: building evidence. *Pub. Health. Nutr.*, 14(11): 1927-1938.
122. **Kawai, H., Uehara, M. Y., Gomes, J. A., Jahnel, M. C., Rossetto, R., Alem S, P., ... Grieco, V. M. (1987).** Pilot-scale experiments in water hyacinth lagoons for wastewater treatment. *Water science and technology*, 19(10): 129-173.
123. **Kone, T., Teugels, G. G. (2003).** Food habits of brackish water tilapia *Sarotherodon melanotheron* in riverine and lacustrine environments of a West African coastal basin. *Hydrobiologia*, 490(1): 75-85.

124. **Kóprücü, K., Özdemir, Y. (2005).** Apparent digestibility of selected feed ingredients for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 250: 308-316.
125. **Koumi, A. R., Atse, B. C., Kouame, L. P. (2009).** Utilization of soya protein as an alternative protein source in *Oreochromis niloticus* diet: Growth performance, feed utilization, proximate composition and organoleptic characteristics. *African Journal of Biotechnology*, 8(1).
126. **Kroeckel, S., Harjes, A.-G.E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., Schulz, C. (2012).** When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute - Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364(2): 345– 352.
127. **Krogdahl, A., Penn, M., Thorsen, J., Refstie, S., Bakke, A.M. (2010).** Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: an update on recent 69 findings regarding responses in salmonids. *Aquaculture Res.*, 41(3): 333– 344.
128. **Krome, C. (2014).** Studies on the suitability of *Jatropha curcas* kernel meal as an alternative protein source in diets of carp (*Cyprinus carpio*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*). University of Stirling.
129. **Kumar, M., Puri, A. (2012).** A review of permissible limits of drinking water. *Indian journal of occupational and environmental medicine*, 16(1): 40.
130. **Kurien, J. (2004).** Fish trade for the people: Toward understanding the relationship between international fish trade and food security. Report of the study on the impact of international trade in fishery products on food security, Food and Agriculture Organization and Royal Norwegian Ministry of Foreign Affairs.
131. **Kwasi, A.O., Stephen, A., Peter, V.S. (2016).** Growth Performance, Feed Utilization and Sensory Characteristics of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* Fed Diets with High Inclusion Levels of Copra Meal. *J of Anim Res and Nutri.*, 1(4:18):1-7.
132. **Lauzanne, L. (1988).** Régimes alimentaires des principales espèces de poissons de l'archipel oriental du lac Tchad, ORSTOM, pp18-23.
133. **Legendre, M., Trebaol, L. (1996).** Efficacité de l'incubation buccale et fréquence de ponte de *Sarotherodon melanotheron* (Rüppel, 1851) en milieu d'élevage (lagune Ebrié, Côte d'Ivoire). Pullin RSV, Lazard J, Legendre M, Amon Kotias JB, Pauly D (eds). Le troisième symposium international sur le tilapia en aquaculture. In ICLARM conf. Proc (Vol. 41, p. 630).

134. **Leng, R. A., Stambolie, J. H., Bell, R. E. (1995).** Duckweed- A potential high protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*. (7) 1: 36.
135. **Likongwe, J. S., Stecko, T. D., Stauffer Jr, J. R., Carline, R. F. (1996).** Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus). *Aquaculture*, 146(1-2): 37-46.
136. **Lim, C.E., Webster, C.D. (2006).** Nutrient Requirements. pp. 469-501. *In* C.E. Lim and C.D. Webster (eds.) *Tilapia Biology, Culture, and Nutrition*. Food Products Press, New York, 678 pp.
137. **Lim, C.E., Webster, C.D., Lee, C.S. (2008).** Alternative protein sources in aquaculture diets. The Haworth Press, Taylor and Francis Group. (Editors: Chhorn Lim, Carl D. Webster, Cheng-Sheng Lee) United State and Canada.
138. **Love, R. M. (1980).** Biological factors affecting processing and utilization. *In Advances in fish science and technology: papers presented at the Jubilee conference of the Torry Research Station, Aberdeen, Scotland, 23-27 July 1979, edited by JJ Connell and staff of Torry Research Station*. Farnham, Surrey, England, Fishing News Books, 1980.
139. **Lovell, R.T. (1988).** Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand Reinhold, New York, NY 260 pp.
140. **Lovell, R.T. (1998).** Nutrition and Feeding of Fish. 2nd edition. Kluwer Academic Publishers, Boston, London. 267 pp.
141. **Lowe-McConnell, R.H. (1982).** Tilapia in fish communities. *In*: Pullin R.S.V. and Lowe-McConnell R.H. Eds: *The biology and culture of tilapias*. ICLARM Conference Proceedings, 7, Manila, Philippines, 83-114.
142. **Lucas, J.S., Southgate, P.C. (2012).** Farming aquatic animals and plants. John Wiley and Sons, Chichester, UK, 648 pp.
143. **Luo, Z., Liu, C. X., Wen, H. (2012).** Effect of dietary fish meal replacement by canola meal on growth performance and hepatic intermediary metabolism of genetically improved farmed tilapia strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, reared in fresh water. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43(5): 670-678.
144. **Malcolm, C., Beverdije, H., McAndrew, B. (2000).** Tilapias: biologie and exploitation. Institute of aquaculture. *University of stirling, Scotland*. Kluwer Academic Publishers, 185 p.

145. **Maina, J.G., Beames, R.M., Higgs, D., Mbugua, P.N., Iwama, G., Kisia, S.M. (2002).** Digestibility and feeding value of some feed ingredients fed to tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research*, 33: 853-862.
146. **Mair, G. C. (2000).** Genetics in tilapia culture. In Subasinghe S and Singh T (editors), *Tilapia 2000: Tilapia: production, marketing and technology developments: Proceedings of the Tilapia 2001 International Technical and Trade Conference on Tilapia*. Kuala Lumpur, Malaysia, 136-148.
147. **Mancini, S., Medina, I., Iaconisi, V., Gai, F., Basto, A., Parisi, G. (2018).** Impact of black soldier fly larvae meal on the chemical and nutritional characteristics of rainbow trout fillets. *Animal*, 12: 1672–1681.
148. **Masumoto, T., Ruchimat, T., Ito, Y., Hosokawa, H., Shimeno, S. (1996).** Amino acid availability values for several protein sources for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Aquaculture*, 146(1-2): 109-119.
149. **Mbagwu, I. G., Adeniji, H. A. (1988).** The nutritional content of duckweed (*Lemna pauciscostata* Hegelm) in the kainji lake area, Nigeria. *Aquatic Botany*, 29: 357-366.
150. **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 cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquaculture Nutrition*, 7(3):189-200.
151. **McAndrew, B. J. (2000).** Evolution, phylogenetic relationship and biogeography. In: BEVERIDGE, M. C. M.; MCANDREW, B. J. *Tilapias: Biology and exploitation*. Netherlands: Kluwer Academic Publisher, p. 1-28.
152. **Médale, F., Kaushik, S. (2009).** Les sources protéiques dans les aliments pour les poissons d'élevage. *Cahiers Agricultures*, 18(2-3): 103-111.
153. **Médale, F., Le Boucher, R., Dupont-Nivet, M., Quillet, E., Aubin, J., Panserat, S. (2013).** Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage. *INRA Productions animales*, 26(4): 303-315.
154. **Medard, G. B. A. I., BAMBA, Y., OUATTARA, M., OUATTARA, A., Kouakou, Y. A. O. (2018).** Substitution of the fish meal by the earthworm and maggot meal in the feed of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in freshwater. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 10(6): 77-85.
155. **Mélard, C. (1986).** Les bases biologiques de l'élevage du Tilapia du Nil, *Cah. Ethol. Appl.*, 6 (3), 224 p.

156. **Men, B.X., Ogle, B., Lindberg, J.E. (2001).** Use of Duckweed as a Protein Supplement for Growing Ducks. *Anim. Sci.*, 14(12): 1741-1746.
157. **Miao, W.M., Liang, M.Q. (2007).** Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in China. pp. 141-190. In M.R. Hasan, T. Hecht, S.S. De Silva and A.G.J. Tacon (eds.) Study and Analysis of Feeds and Fertilizers for Sustainable Aquaculture Development. FAO Fisheries Technical Paper. No. 497. Rome, FAO.
158. **Mirea, C., Cristea, V., Grecu, I. R., Dediu, L. (2013).** Influence of different water temperature on intensive growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) in a recirculating aquaculture system. *Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Seria Zootehnie*, 60: 227-231.
159. **Mohapatra, S. B., Patra, A. K. (2013).** Effect of partial replacement of fishmeal with duck weed (*Lemna minor*) feed on the growth performance of *Cyprinus carpio* fry. *IOSR-JAVS*, 4: 34-37.
160. **Moriarty, D.J.W., Moriarty, C.M. (1973).** Quantitative estimation of the daily ingestion of phytoplankton by *Tilapia nilotica* and *Haplochromis nigripinnis* in Lake George. *J. Zool. Lond.*, 171: 15-23.
161. **Moutou, K. A., Panagiotaki, P., Mamuris, Z. (2004).** Effects of salinity on digestive protease activity in the euryhaline sparid *Sparus aurata* L.: a preliminary study. *Aquaculture Research*, 35(9): 912-914.
162. **Mozaffarian, D., Rimm, E.B. (2006).** Fish intake, contaminants, and human health: Evaluating the risks and the benefits. *JAMA*, 296(15): 1885– 1899.
163. **Muin, H., Taufek, N.M., Kamarudin, M.S., Razak, S.A. (2017).** Growth performance, feed utilization and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed with different levels of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) maggot meal diet. *Iran. J. Fish. Sci.*, 16 (2): 567–577.
164. **Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C., Clay, J., ... Troell, M. (2000).** Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*, 405(6790): 1017-1024.
165. **Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M. (2009).** Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America PNAS*(36): 15103– 15110.
166. **Ndour, I., Le Loc'h, F., Thiaw, O. T., Ecoutin, J. M., Laë, R., Raffray, J., ... de Morais, L. T. (2011).** Étude du régime alimentaire de deux espèces de Cichlidae en situation contrastée dans un estuaire tropical inverse d'Afrique de l'Ouest (Casamance,

- Sénégal) Title: Study of the diet of two species of Cichlidae in contrasting situation in a West African (Casamance, Senegal) inverse tropical estuary. *Journal des Sciences Halieutiques et Aquatiques*, 4: 120-133.
167. **Negesse, T., Makkar, H.P.S., Becker, K. (2009).** Nutritive value of some non-conventional feed resources of Ethiopia determined by chemical analyses and an in vitro gas method. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 154(3-4): 204-217.
168. **Nehemia, A., Maganira, J.D., Rumisha, C. (2012).** Relation longueur-poids et facteur de condition des espèces de tilapia cultivées dans des étangs marins et d'eau douce. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3: 117-124.
169. **Ng, W.K., Chong C.Y. (2004).** An overview of lipid nutrition with emphasis on alternative lipid sources in tilapia feeds. pp. 241-248. In R.G. Bolivar, G.C. Mair and K. Fitzsimmons (eds.) Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, Manila, Philippines.
170. **Ngamsaeng, A., Thy, S., Preston, T.R. (2004).** Duckweed (*Lemna minor*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*) as protein supplements for ducks fed broken rice as the basal diet. *Livest. Res. Rural Dev.*, 16: 16.
171. **New, M. B. (1987).** Feed and feeding of fish and shrimp. A manual on the preparation of compound feeds for shrimp and fish in aquaculture. FAO, Rome, Italy.
172. **Ng, W. K., Liew, F. L., Ang, L. P., Wong, K. W. (2001).** Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*, 32: 273-280.
173. **Nguyen, T. P. (2013).** On-farm feed management practices for striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) in Mekong River Delta, Viet Nam. *On-farm feeding and feed management in aquaculture*, 241-267.
174. **NRC. (1993).** Nutrient requirement of fish. National Research Council, Academy of Sciences, National Academy Press, Washington D.C. 114 pp.
175. **NRC. (2011).** Nutrient requirements of fish and shrimp. *National Research Council of the National Academies* Washington, D.C (U.S.). 363 pp.
176. **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.

177. **Ofojekwu, P.C., Ejike, C. (1984).** Growth response and feed utilisation in the tropical cichlid *Oreochromis niloticus* (Linn.) fed on cottonseed-based artificial diets. *Aquaculture*, 42(1): 27-36.
178. **Ofori, J.K. (2001).** Effects of on-farm residues on pond water quality, productivity and fish growth in an aquaculture ecosystem in Ghana. PhD. Thesis. Kumasi.
179. **Ogello, E.O., Munguti, J.M., Sakakura, Y., Hagiwara, A. (2014).** Complete Replacement of Fish Meal in the Diet of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)
180. **Ogunji, J. O., Kloas, W., Wirth, M., Neumann, N., Pietsch, C. (2008).** Effect of housefly maggot meal (magmeal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 92(4): 511-518.
181. **Olsen, R. L., Hasan, M. R. (2012).** A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends Food Sci. Technol.*, 27(2): 120-128.
182. **Olufeagba, S. O., Okomoda, V. T., Shaibu, G. (2016).** Embryogenesis and early growth of pure strains and hybrids between *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) and *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840). *North Am. J. Aquacult.*, 78(4): 346-355.
183. **Olurin, K. B., Aderibigbe, O. A. (2006).** Length-weight relationship and condition factor of pond reared juvenile *Oreochromis niloticus*. *World journal of Zoology*, 1(2), 82-85.
184. **Ondhoro, C.C., Ndugwa, M., Boma, P., Byaruhanga, C., Egau, G., Okullo, P. (2019).** Densité de peuplement, relation longueur-poids et état du tilapia du Nil dans des cages flottantes basées sur des barrages de vallée dans la sous-région semi-aride de Karamoja en Ouganda. *Journal international d'écologie et de gestion des ressources naturelles*, 4: 35-41.
185. **Opiyo, M.A., Githukia, C.M., Munguti, J.M., Charo-Karisa, H. (2014).** Growth performance, carcass composition and profitability of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fed commercial and on-farm made fish feed in earthen ponds. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 1: 12-17.
186. **Oron, G., Porath, D., Wildschut, L.R. (1986).** Waste water treatment and renovation by different duckweed species. *J. Environ. Eng.* (Reston, VA), 112: 247-263.
187. **PAF. (2011).** Partnership of African Fisheries (PAF) Aquaculture working group: Strategic review on Aquaculture feeds and feed supply.

- 188. Pauly, D., Moreau, J., Prein, M. (1988).** A comparison of overall growth performance of *Tilapia* in open waters and aquaculture. 469-479. In: R.S.V. Pullin et al: The Second International Symposium on tilapia in Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p.
- 189. Peet, M., Stokes, C. (2005).** Omega-3 fatty acids in the treatment of psychiatric disorders. *Drugs*, 65(8):1051– 1059.
- 190. Philippart, J.C1., Ruwet, J.C. (1982).** Ecology and distribution of tilapias. In: The biology and culture of tilapias (Pullin et Lowe Mc Connell, Eds.). ICLARM Conférence Proceedings, 7, Manila, Philippines, 15-59.
- 191. Piedecausa, M. A., Mazón, M. J., García, B. G., Hernández, M. D. (2007).** Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpsnout seabream (*Diplodus puntazzo*). *Aquaculture*, 263(1-4), 211-219.
- 192. Pillay, T.V.R., Kutty, M.N. (2005).** Aquaculture principles and practices (2nd edition). *Blackwell Publishing Ltd, 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK.*
- 193. Popma, T., Masser, M. (1999).** Tilapia: Life history and biology. SRAC (Southern Regional Aquaculture Center) Publication No. 283.
- 194. Prasad, G., Anvar, P.H. (2007).** Length-weight relationship of a cyprinid fish *puntius filamentosus* from Chalakude River. *Kerala, Zoos' Print Journal*, 22 (3): 2637-2638.
- 195. Pullin, R.S.V., Lowe-McConnell, R.H. (eds.). (1982).** The biology and culture of tilapias. International Centre for Living aquatic Resource Management, Manila, Philippines. 432 pp.
- 196. Pullin R. S. V. (1996).** World tilapia culture and its future prospects: 1-16. In: Pullin R S V, Lazard J, Legendre M, Amon Kothias J. B and Pauly. D (editors) The Third International Symposium on Tilapia in Aquaculture ICLARM Conference Proceedings 41, 575p.
- 197. Refstie, S., Olli, J. J., Standal, H. (2004).** Feed intake, growth, and protein utilisation by post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) in response to graded levels of fish protein hydrolysate in the diet. *Aquaculture*, 239(1-4), 331-349.
- 198. Refstie, S., Glencross, B., Landsverk, T., Sørensen, M., Lilleeng, E., Hawkins, W., Krogdahl, Å. (2006).** Digestive function and intestinal integrity in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed kernel meals and protein concentrates made from yellow or narrow-leaved lupins. *Aquaculture*, 261(4): 1382–1395.

199. **Richter, N., Siddhuraju, P., Becker, K. (2003).** Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture*, 217(1-4), 599-611.
200. **Ricker, W.E. (1973).** Linear regressions in fishery research. *Journal of Fisheries Research. Board Can.*, 30:409-434.
201. **Ricker, W.E. (1979).** Growth Rates and Models. In: Anonymous *Fish Physiol* pp. 677-743. New York: Academic Press.
202. **Rodrigues, A.M., Oliveira, J.F.S. (1987).** Treatment of wastewaters from the tomato concentrate industry in high rate algal ponds. *Water Sci. Technol.*, 19:43-49.
203. **Rojas, J.U. (2002).** Use of coffee pulp as feed ingredient for tilapia culture. Wageningen University.
204. **Rola, W.R., Hasan, M.R. (2007).** Economics of aquaculture feeding practices: a synthesis of case studies undertaken in six Asian countries. In M.R. Hasan (ed.). *Economics of aquaculture feeding practices in selected Asian countries*, pp. 1–31. FAO Fisheries Technical Paper No. 505. Rome, FAO. 205 pp.
205. **Roos, N., Wahab, M.A., Chamnan, C., Thilsted, S.H. (2007).** The role of fish in food-based strategies to combat vitamin A, calcium and mineral deficiencies in developing countries. *J. Nutr.*, 137:1106-1109.
206. **Ruel, M.T., Garrett, J.L., Haddad, L. (2008).** Rapid urbanization and the challenges of obtaining food and nutrition security. pp 639 – 656 in *Nutrition and Health in Developing Countries*. R.D. Semba and M. W. Bloem, eds. Humana Press, Totowa, NJ.
207. **Rumsey, G.L. (1993).** Fish meal and alternate sources of protein in fish feeds; update 1993. *Fisheries* 18:14–19.
208. **Rumpold, B. A., Schlüter, O. K. (2013).** Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition & food research*, 57(5), 802-823.
209. **Rusoff, L. L., Blakeney, E.W., Culley, D. D. (1980).** Duckweeds (Lemnaceae): A potential source of protein and amino acids. *Journal of Agriculture Food and Chemistry*, 28: 848-850.
210. **Rust, M.B., Barrows, F.T., Hardy, R.W., Lazur, A., Naughten, K., Silverstein, J. (2011).** The Future of Aquafeeds. NOAA/USDA Alternative Feeds Initiative.

211. **Ruwet, J.C., Voss, J., Hanon, L., Micha, J.C. (1975).** Biologie et élevage des Tilapias. Symposium FAO/CPCA sur l'aquaculture en Afrique, Accra, Ghana, 30 septembre au 6 octobre 1975, 27 p.
212. **Sadiku, S.O.E., Jauncey, K. (1995).** Soybean flour - poultry meat meal blend as dietary protein source in practical diets of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus*. *Asian Fish. Sci.*, 8:159-167.
213. **Saliu, J.K., Joy, O., Catherine, O. (2007).** Condition factor, fat and protein content of five fish species in Lekki Lagoon, Nigeria. *Life Science J.*, 4: 54-57.
214. **Sanchez-Muros, M.-J., Barroso, F.G., F. Manzano-Agugliaro. 2014.** Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. *J. Clean. Prod.*, 65:16–27.
215. **Santiago, C. B., Lovell, R. T. (1988).** Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *The journal of nutrition*, 118(12): 1540-1546.
216. **Sarr, S.M, Kabré, A.J.T, Niass, F. (2013).** Régime alimentaire du mullet jaune (*Mugil cephalus*, Linnaeus, 1758, Mugilidae) dans l'estuaire du Fleuve Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 71: 5663-5672.
217. **Sealey, W.M., Gaylord, T.G., Barrows, F.T., Tomberlin, J.K., McGuire, M.A., Ross, C., St-Hilaire, S. (2011).** Sensory Analysis of Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*, Fed Enriched Black Soldier Fly Prepupae, *Hermetia illucens*. *J. World Aquac. Soc.*, 42: 34–45.
218. **Shetty, P. (2009).** Incorporating nutritional considerations when addressing food insecurity. *Food Secur.*, 1(4): 431-440.
219. **Shi, W., Wang, L., Rousseau, D.P., Lens, P.N. (2010).** Removal of estrone, 17alpha-ethinylestradiol, and 17beta-estradiol in algae and duckweed-based wastewater treatment systems. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 17(4): 824-33.
220. **Shiau, S.Y. (2002).** Tilapia, *Oreochromis* spp. pp. 273-292. In C.D. Webster and C.E. Lim (eds.) *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*. CABI Publishing, Oxfordshire, 418.
221. **Shiau, S.Y., Su, L.W. (2003).** Ferric citrate is half as effective as ferrous sulfate in meeting the iron requirement of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *J. Nutr.*, 133: 483-488.
222. **Siddhuraju, P., Becker, K. (2001).** Preliminary nutritional evaluation of Mucuna seed meal (*Mucuna pruriens* var. utilis) in common carp (*Cyprinus carpio* L.): an assessment by growth performance and feed utilisation. *Aquaculture*, 196(1-2): 105-123.

- 223. Siemianowska, E., Kosewska, A., Aljewicz, M., Skibniewska, K. A., Polak-Juszczak, L., Jarocki, A., Jedras, M. (2013).** Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food.
- 224. Sitasit, P., Sitasit, V. (1977).** Comparison in the production of *Tilapia nilotica* Linn. fed with protein from different sources [in Thailand].
- 225. Skillicorn, P., Spira, W., Journey, W. (1993).** A new aquatic farming system for developing countries. The World Bank Group, 76.
- 226. Sogbesan, O. A., Ajuonu, N., Musa, B. O., Adewole, A. M. (2006).** Harvesting techniques and evaluation of maggot meal as animal dietary protein source ‘Heteroclaris’ in outdoor concrete tanks. *World J. Agric. Sci.*, 2(4): 394–402.
- 227. Sogbesan, O.A., Ugwumba, A.A.A. (2008).** Nutritional values of some non-conventional animal protein feedstuffs used as fishmeal supplement in aquaculture practices in Nigeria. *Turk J Fish Aquat Sci*, 8: 159–164.
- 228. Spinelli, J. (1980).** Chapter 12. Unconventional Feed Ingredients for Fish Feed. In *Aquaculture Development And Coordination Programme*. Seattle, Washington.
- 229. Steiner-Asiedu, M., Lied, E., Lie, O., Nilsen, R., Julshamn, K. (1993).** The nutritive value of sun-dried pelagic fish from the Rift Valley in Africa. *J. Sci. and Agric. and Food*, 63: 439– 443.
- 230. St-Hilaire, S., Sheppard, D.C., Tomberlin, J.K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M.A., Mosley, E.E., Hardy, R.W., Sealey, W. (2007).** Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. World Aquac. Soc.*, 38(1): 59–67.
- 231. Stickney, R.R. (1979).** Principles of Warmwater Aquaculture. New York, USA: Wiley- Interscience.
- 232. Stickney, R.R. (1997).** Tilapia updates 1996. *World Aquaculture*, 28:20-25.
- 233. Sultana, T., Siddique, A., Sultana, S., Mahboob, S., Al-Ghanim, K., Ahmed, Z. (2017).** Fish scales as a non-lethal tool of the toxicity of wastewater from the River Chenab. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(3): 2464-2475.
- 234. Suresh, V. (2003).** Tilapias. In: Lucas, J.S. and Southgate, P.C., (Eds.) *Aquaculture: Farming of Aquatic Animals and Plants*, pp 321-345. Oxford, UK: Blackwell Publishing.

- 235. Swann, L. (2007).** A Fish Farmer's guide to understanding Water Quality. Aquaculture Network Information Centre (AquaNIC).
- 236. Tacon, A.G.J. (1987).** The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp – A Training Manual. 1. The Essential Nutrients. FAO Field Document No. 2, Brazil, 117 pp.
- 237. Tacon, A.G.J. (1992).** Nutritional fish pathology. Morphological signs of nutrient deficiency and toxicity in farmed fish. FAO Fisheries Technical Paper. No. 330. Rome, FAO. 75 pp.
- 238. Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Subasinghe, R.P. (2006).** Use of fishery resources as feed inputs for aquaculture development: trends and policy implications. FAO Fisheries Circular No. 1018, Rome, FAO. 99 pp.
- 239. Tacon, A. G., Metian, M. (2008).** Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4): 146-158.
- 240. Tacon, A.G.J., Hasan, M.R., Metian, M. (2011).** Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans: trends and prospects. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 564. Rome, FAO. 87 pp.
- 241. Tesfahun, A. (2018).** Aperçu de la relation longueur-poids, du facteur de condition et de la taille à la première maturité du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (L.) dans différents plans d'eau d'Éthiopie : une revue. *Journal plus vert des sciences biologiques*, 8: 21-28.
- 242. Thabet, R. (2017).** Étude comparative de l'élevage du Tilapia du Nil "*Oreochromis niloticus*" entre les eaux douces et géothermales en Tunisie (Doctoral dissertation, éditeur inconnu).
- 243. Thilsted, S.H., Roos, N., Hassan, N. (1997).** The role of small indigenous fish species in food and nutrition security in Bangladesh. *NAGA, ICLARM Quarterly*, 20(3-4): 82–84.
- 244. Tran-Duy, A., Van Dam, A. Schrama, J.W. (2012).** Consommation alimentaire, croissance et métabolisme du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) en relation avec la concentration en oxygène dissous. *Recherche en aquaculture*, 43: 730-744.
- 245. Trewavas, E. (1983).** Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History). London. 583 pp.
- 246. Valente, L. M. P., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E. F., Pinto, I. S. (2006).** Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria*

- cornea as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture*, 252(1): 85-91.
247. **Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P. (2013).** Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
248. **Vechklang, K., Boonanuntanasarn, S., Ponchunchoovong, S., Pirarat, N., Wanapu, C. (2011).** The potential for rice wine residual as an alternative protein source in a practical diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the juvenile stage. *Aquaculture Nutrition*, 17(6): 685-694.
249. **Vincke, M. (1969).** Compte-rendu d'activité années. *Division des Recherches piscicoles, Tananarive, Madagascar*, 56-63.
250. **Watanabe, T. (2002).** Strategies for further development of aquatic feeds. *Fisher. Sci.*, 68(2): 242–252.
251. **Welker, T., Barrows, F., Overturf, K., Gaylord, G., Sealey, W. (2016).** Optimizing zinc supplement-entation levels of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed practical type fishmeal-and plant-based diets. *Aquaculture nutrition*, 22(1): 91-108.
252. **Willett, D. (2005).** Duckweed-based wastewater treatment systems: Design aspects and integrated reuse options for Queensland conditions. Queensland Department of Primary Industries and Fisheries. DPI & F Publication's Brisbane.24 pp.
253. **Wilson, R. P., Halver, J. E. (1986).** Protein and amino acid requirements of fishes. *Annu. Rev. Nutr.*, 6: 225–244.
254. **Wilson, R.P. (1991).** Amino acid nutrition of fish: A new method of estimating requirement values. In: *Proceedings of the 12th US-Japan Symposium on Aquaculture Nutrition*, October 1991, Newport, Oregon, pp. 49-54.
255. **Wilson, R.P. (2002).** Amino acids and proteins. In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), *Fish Nutrition*. Academic Press, New York, NY, pp. 143–179.
256. **Winfrey, R.A., Stickney, R.R. (1981).** Effect of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea*. I. *Nutr.* 111, 6, 1001-1012.
257. **Wong, P.K., Chan, K.Y. (1990).** Growth and value of *Chlorella salina* grown on highly saline sewage effluent. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 30 (3–4): 334-250.
258. **Wootton, R.J. (1992).** *Fish Ecology: Tertiary Level Biology*. Blackie, London.

- 259. Yildirim, Ö.; Acar, Ü.; Türker, A.; Sunar, M. C.; Kesbic, O. S. (2014).** Effects of replacing fish meal with peanut meal (*Arachis hypogaea*) on growth, feed utilization and body composition of Mozambique tilapia fries (*Oreochromis mossambicus*). *Pakistan J. Zool.*, 46 (2): 497-502.
- 260. Yimer, A., Dagne, A., Tadesse, Z. (2015).** Effects of Feed Additives (premix) on Growth Performance of *Oreochromis Niloticus* (L, 1758) in Concrete Pond, Sebeta Ethiopia. *Journal of African Development*, 5: 16-36.
- 261. Yudkin, J. (1985).** The penguin encyclopedia of nutrition, New York, Viking, pp 121.
- 262. Zamal, H., Barua, P., Uddin, B., Islam, K. S. (2008).** Application of ipil-ipil leaf meal (IILM) as feed Ingredient for Monosex tilapia fry (*oreochromis niloticus*): In terms of growth and economics. *Aquaculture Asia*, 13(2): 31-33.
- 263. Zmora, O., Richmond, A. (2004).** Microalgae for Aquaculture: Microalgae Production for Aquaculture. In: Richmond, A. (eds.): Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Oxford, pp. 365–379.

Annexes

Annexes**Annexe I**

Composition biochimique en acides aminés essentiels (AAE) des régimes alimentaires pour les alevins de Tilapia en pré-grossissement I.

AAE (g/100g MS)*	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	Besoin de <i>O. niloticus</i> **
Lysine	2,32	2,27	2,27	2,24	1,43
Valine	1,98	1,47	1,15	1,13	0,78
Leucine	3,19	3,04	3,12	3,24	0,95
Histidine	1,16	0,96	0,95	1,16	0,48
Arginine	2,87	2,47	2,45	2,48	1,18
Threonine	1,78	1,78	1,73	1,93	1,05
Iseulocine	1,44	1,43	1,39	1,33	0,87
Methionine+Cysteine	1,01	0,85	0,9	1,09	0,91
Tryptophane	0,8	0,74	0,72	0,83	0,28
Phénylalanine	1,86	1,71	1,68	1,63	1,56

* Nombre d'échantillons considéré (n = 3)

** Besoin en AAE, selon Santiago et Lovell (1988).

Annexe II

Composition biochimique en acides aminés essentiels (AAE) des régimes alimentaires pour les alevins de Tilapia en pré-grossissement II.

AAE (g/100g MS)*	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃	Besoin de <i>O. niloticus</i> **
Lysine	1,73	1,77	1,8	1,76	1,43
Valine	1,88	1,48	1,18	1,14	0,78
Leucine	3,04	3,05	3,19	3,25	0,95
Histidine	1,1	0,96	0,98	1,16	0,48
Arginine	2,71	2,47	2,56	2,51	1,18
Threonine	1,7	1,42	1,76	1,92	1,05
Iseulocine	1,38	1,43	1,41	1,32	0,87
Methionine+Cysteine	0,98	0,86	0,82	0,87	0,91
Tryptophane	0,76	0,71	0,86	0,84	0,28
Phénylalanine	1,74	1,72	1,69	1,63	1,56

* Nombre d'échantillons considéré (n = 3)

** Besoin en AAE, selon Santiago et Lovell (1988).

Annexe III

Plage de paramètres de la qualité chimique de l'eau d'élevage pour les divers traitements diététiques pendant le 1^{er} essai de croissance.

	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
Température (°C)	27,33 – 28,48	27,2 – 27,25	27,2 – 28,05	27,4 – 28,05
Oxygène dissous (mg/l)	4,6 – 6,1	5,5 – 5,9	5,53 – 5,7	5,39 – 6
Salinité (ppm)	2,06 – 2,1	2,08 – 2,1	2,06 – 2,1	2,06 – 2,1
pH	7,07 – 7,3	7,05 – 7,2	6,99 – 7,25	7,0 – 7,18
Ammonium (mg/l)	0,03 – 0,06	0,03 – 0,05	0,03 – 0,06	0,03 – 0,06
Nitrate (mg/l)	0,36 – 0,51	0,35 – 0,43	0,34 – 0,44	0,36 – 0,46
Nitrite (mg/l)	0,02 – 0,07	0,02 – 0,05	0,02 – 0,05	0,02 – 0,07

Annexe IV

Plage de paramètres de la qualité chimique de l'eau d'élevage pour les divers traitements diététiques pendant le 2^{ème} essai de croissance.

	A ₀	A ₁	A ₂	A ₃
Température (°C)	28,22 – 28,35	28,31 – 28,55	28,18 – 28,55	28,32 – 28,57
Oxygène dissous (mg/l)	4,98 – 5,8	5,44 – 5,8	5 – 5,6	5,35 – 5,68
Salinité (ppm)	2,05 – 2,12	2,07 – 2,1	2,05 – 2,1	2,04 – 2,1
pH	7,12 – 7,22	7,06 – 7,21	6,95 – 7,14	7,05 – 7,16
Ammonium (mg/l)	0,02 – 0,08	0,02 – 0,09	0,03 – 0,11	0,02 – 0,1
Nitrate (mg/l)	0,3 – 0,52	0,34 – 0,51	0,31 – 0,49	0,29 – 0,51
Nitrite (mg/l)	0,02 – 0,05	0,02 – 0,08	0,02 – 0,04	0,02 – 0,06

Annexe V



ISSN: 2230-9799

Vol. 12, Issue 5 Page 683-691

<http://www.sajeb.org>

REGULAR ARTICLE

The positive impact of partial substitution of fish meal by a meal mixture of duckweed and mealworm larvae on the diets of Nile tilapia fry (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758)

Merah Abderezak^{1*}, Sekour Makhoulouf², and Guezoul Omar²¹Scientific and Technical Research Centre for Arid Areas (CRSTRA), Biophysical Station of Touggourt, Ouargla, Algeria²Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Ouargla, Ouargla, Algeria

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 29 May 2022

Revised: 4 Jul 2022

Accepted: 3 Aug 2022

*Corresponding Author:

Email: merah.bm23@gmail.com

Telephone:

Keywords: Carcass composition, Diets, Feed cost, Feed utilization, Growth performance

ABSTRACT

In order to promote aquaculture in the south of the country, and specifically, to reduce the cost of feeding farmed fish, this study was carried out to evaluate the effect of partial replacement of fishmeal with a mixture of duckweed meal (DWM) and mealworm larvae (WLM) on growth performance, feed utilization and carcass composition of Nile tilapia. Eight-week feeding experiment was conducted on fry of *O. niloticus* (average initial weight: 0.87 ± 0.23 g). Four isoproteic diets ($38.52 \pm 0.11\%$ crude protein) comprising control diet D_0 and three test diets (D_1 to D_3) were formulated and tested in triplicates. To satisfy EAA requirements in test diets, the ratios 1: 5; 2: 4; 4: 2 between DWM and WLM were used respectively in partial replacement for fishmeal. No significant differences ($P > 0.05$) were observed in survival, growth and feed utilization. On the other hand, the compositions of the carcasses showed strong significant differences ($P < 0.05$) except ash contents. The carcass lipid increased proportionally with the inclusion of WLM, but the reverse was true for the moisture content. However, the high contents of retained proteins were obtained in the ratios 0: 0 and 4: 2 between D_0 and D_3 . It is concluded that fishmeal could be replaced by a meal mixture of DWM and WLM up to the proportion (4: 2, respectively) in the feed of *O. niloticus* without adverse effects on growth and nutrient utilization and most importantly, reduce the cost of production up to 29.8% which would have a positive impact on post-feeding and therefore the financial management of an aquaculture farm.

1. Introduction

Over the past few decades, human populations have increased dramatically around the world. As a result, the demand for food, especially nutritionally and economically adequate sources of protein, has also increased. Fish production has played an important role, contributing to an alternative and economically viable source of protein, especially in

developing countries, where other sources of animal protein are expensive or not generally available to the population (Naylor et al., 2000).

In 2018, fisheries and aquaculture provided the world with around 179 million tonnes of fish, around 22.2% of fish catches (54% wild catches and 46% aquaculture) are diverted from human consumption for produce fishmeal, a source of

protein for animal feed (FAO, 2020). With the continued expected growth of the aquaculture sector, the demand for fishmeal will continue to increase, which will negatively impact pelagic fish as they are the main source of fishmeal (Tacon and Metian, 2008; Luo et al., 2012). Animal feed accounts for 60-80% of the total cost of production, with the protein ingredient accounting for around 70% of the total cost of the feed (Swanepoel et al., 2010; Lucas and Southgate, 2012). Especially, the post nutrition which represents the most important cost of fish production. But this last, depends on fishmeal as the main protein ingredient in fish feed due to its high protein content, well-balanced amino acid and fatty acid composition, digestibility and high palatability (El-Saidy and Gaber, 2004; Imorou Toko et al., 2008; Abarike et al., 2013).

In Algeria, aquaculture production has grown significantly in recent years from 351 tonnes in 2000 to 4 200 tonnes in 2018 from freshwater aquaculture alone (DGPA, 2018). And this following a clear new policy, designed to stimulate local production, because of the availability of a large potential for geothermal water in the south of country favorable of continental fish farming (including tilapia), one of the most promising fish in freshwater farming. However, the lack of adequate local food and the high cost of imported food constitute a handicap for the development of this activity. It is therefore necessary to formulate low cost fish feed from locally available ingredients that are economically beneficial for fish farmers (Chakrabarty et al., 1973; Jafri et al., 1992). Several authors (El-Sayed, 1992; Yousif et al., 1994; Fiogbe et al., 2004; Azaza et al., 2006; Hansen et al., 2011; Gangdhar et al., 2014; Hassan et al., 2017) have emphasized the need to direct research on the use of cheaper and readily available sources of plant protein without reducing nutritional quality of the feed. But to become a suitable

alternative to fishmeal, a candidate ingredient must be possessed of the previously mentioned characteristics. In this regard, no one could agree to using only vegetable protein to replace fishmeal in the fish diet, especially in omnivorous fish.

In recent years, insects have received a lot of attention as a potential source of protein for animal feed. Some studies have reported the potential of mealworm larvae as an alternative ingredient in aquaculture production, the ability to grow and reproduce easily, and high feed conversion efficiency (Van Huis et al., 2013; Makkar et al., 2014). In addition, high levels of essential fatty acids (linoleic), as well as essential amino acids (lysine, methionine and threonine) make it a nutrient of high biological value (Jajić et al., 2020). Likewise, duckweed (*Lemna minor*), a small aquatic plant widely used as animal feed, possibly due to its high and fast growth rate associated with the high protein content (Skillicorn et al., 1993), with a good essential amino acid profile, lysine and methionine, than most plant proteins and which more closely resembles animal proteins (Hillman et Culley., 1978; Journey et al., 1991; Chowdhury and Bureau, 2009). Numerous studies have confirmed the appropriateness of feeding duckweed to fish in aquaculture (Hassan and Edwards, 1992; Leng et al., 1995; Yilmaz et al., 2004; Effiong et al., 2009; Asimi et al., 2018). From this context, the current work aims to determine the effect of the partial replacement of fishmeal by a mixture of various proportions of duckweed meal and mealworm larvae on the growth of Nile tilapia fry under laboratory feeding conditions.

2. Materials and Methods

2.1. Preparation of experimental diets

Proportion (%) of ingredients used in the composition of the experimental diets is shown in Table 1. The conventional ingredients used in this

Composition (% DM ¹)	FM	SBM	WBM	DWM	WLM	CSM
Dry matter	93	92.48	90.73	92.23	92.37	89.6
Crude protein	75.39	45.98	13.88	29.71	51.47	2.49
Crude lipid	3.95	1.9	4.48	1.05	25.34	0.92
Crude fibre	1.55	6.5	13.59	12.21	11.69	4.2
Ash	11.05	6.84	8.79	25.28	3.26	0.33
NFE ²	1.06	31.26	49.99	23.98	0.61	81.66
Calcium (g.kg ⁻¹)	4.34	0.36	0.2	4.97	0.25	0.02
Phosphorus (g.kg ⁻¹)	2.8	0.71	1.1	0.51	0.76	0.13
Gross energy (kJ.g ⁻¹) ³	19.03	16.67	13.48	11.35	21.60	14.93

Table 1: The chemical composition of the testing reagents used in the formulation and preparation of tested diets.

¹Results show the mean ($n = 3$) as % dry matter. ²Nitrogen-free extract = 100% = (% lipid + % moisture + % protein + % fiber + % ash). ³Calculated using the factors: carbohydrate, 4.1 kcal 100 g⁻¹; protein, 5.5 kcal 100 g⁻¹ and, lipids, 9.1 kcal 100 g⁻¹ (New, 1987), and transformed to kJ using the factor 4.184.

study are fishmeal *Sardinella aurita* (FM) prepared as described by Tarhouni et al. (2015), soybean meal (SBM), wheat bran (WBM) and Corn starch (CSM) which were sourced from the local market. Duckweed *L. minor* (DWM) were harvested from the rearing ponds of the study station and the freshly collected quantities were immediately dried and stored. As for mealworm larvae (WLM), which were carried out according to Siemianowska et al. (2013); after successful rearing of insects *T. molitor* at the study station.

Four diets isoproteinic (38.52%) intended for the feeding of Tilapia in the pregrowth phase. To meet the nutritional requirements, especially satisfy EAA requirements in the tested diets, the ratios (1:5; 2:4; 4:2) between duckweed and *T. molitor* larvae meal were used respectively to partially substitute for fishmeal (Tab.2).

	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃
Ingredients used in diet (%)	Control			
Duckweed meal	0	50	100	200
Mealworm larval meal	0	250	200	100
Fishmeal	270	100	120	150
Soybean meal	300	300	300	300
Wheat bran meal	250	140	100	100
Corn starch	120	120	120	90
Baker's yeast	10	10	10	10
CMV ¹	20	20	20	20
Soybean oil	30	10	30	30
Ratio ²	0 : 0	1 : 5	2 : 4	4 : 2
Biochemical composition (% DM)				
Crude protein	38.65	38.39	38.5	38.55
Crude lipid	5.91	9.13	9.68	7.32
Crude fibre	6.33	8.1	7.52	7.69
NFE ³	31.95	28.03	27.22	27.14
Calcium (g.kg ⁻¹)	1.21	0.8	1.2	1.92
Phosphorus (g.kg ⁻¹)	1.21	0.83	0.87	0.97
Gross energy (kJ.g ⁻¹) ³	16.63	17.12	17.21	16.31
Diet cost (DZD.kg ⁻¹) ⁴	220	130	140	150

Table 2: The formulation (g/kg as fed) and composition (%) of experimental diets.

¹Vitamin premix (mg or UI.kg⁻¹) : Vit A, 400000 UI, Vit D3, 14000; Vit E, 75000 ; B1, 83.30 mg; Vit K3, 119.85 mg; Choline, 12000 UI.

Mineral premix (mg.kg⁻¹) : Fe, 1.7 g ; Cu, 0.1 g ; Mn, 3.2 g ; Zn, 1.35 g ; I, 0.06 g ; Se, 0.0067 g ; Co, 0.0020 g ; P, 0.091 g ; Ca, 0.27 g ; N, 0.36 g.

²Nitrogen-free extract = 100% = (% lipid +% moisture +% protein +% fiber +% ash).

³Calculated using the factors: carbohydrate, 4.1 kcal 100 g⁻¹; protein, 5.5 kcal 100 g⁻¹ and, lipids, 9.1 kcal 100 g⁻¹ (New, 1987), and transformed to kJ using the factor 4.184.

⁴The price estimate is based on the cost of conventional raw materials.

⁵ Ratio between Duckweed meal and Mealworm larval meal.

To prepare diets, the dry ingredients were finely ground (approximately 400 µm) using a mortar grinder (Retsch® RM200), then weighed and mixed homogeneously. Soybean oil, CMV (mineral-vitamin complex) and binder have been added. Then 45% distilled water was poured into the mixture to form a homogeneous paste. The dough was then pressed in a meat grinder (Clatronic FW3506) fitted with a 3.0 mm die plate, resulting in spaghetti-shaped filaments. These are oven dried (BINDER, Germany) at 45 °C for 48 hours, fragmented to the desired size, bagged and stored at - 4 °C until distribution.

2.2. Experimental procedure

This study was carried out at the experimental station of the biophysical environment of Oued Righ (CRSTRA) in Touggourt in the wilaya of Ouargla (south-eastern Algeria). Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry were obtained from the fish breeding experimental station (CNRDPA) in Hassi Benabdallah (Ouargla). The fish were stored in a 500 L polyethylene tank for 7 days before the start of the experiment to acclimatize them to the new farming conditions.

A total of 180 *O. niloticus* fry, with an initial mean weight of 0.87 ± 0.23 g (mean weight ± SD) were weighed individually and distributed randomly in 12 glass aquariums of 80 L useful volume, i.e. 15 fish per aquarium, thus forming four triplicate treatments each corresponding to a diet. Fish were fed with experimental diets four times daily (8:00, 11:00, 14:00 and 17:00 h), six days a week. The ration has been set between 10 and 12% of body weight per day according to reports by Fiogbe and Kestemont (2003). Every seven days, the fish are counted and weighed to the nearest 0.1 g per aquarium to determine the biomass and adjust the ration.

In order to maintain the water quality parameters throughout the experimental period within the acceptable range for the cultivation of Nile tilapia (Djissou et al., 2017). The culture water was changed daily at 30%, before the first feeding, after siphoning the aquariums, to eliminate faeces; the aquariums were carefully cleaned and completely rinsed with each control fishing. The pH, dissolved oxygen, and temperature were taken three times a day using a multiparameter (HANNA HI 9829). Ammonium (NH₄⁺), nitrite (NO₂⁻) and nitrate (NO₃⁻) were measured at weekly intervals, and carried out by spectrophotometry on the same day of the

water sample. The following mean values (\pm SD) of rearing water quality were recorded: pH 7.12 \pm 0.02; oxygen 5.62 \pm 0.10 mg.L⁻¹; temperature 27.64 \pm 0.13 °C; NH₄⁺ 0.04 \pm 0.01 mg.L⁻¹; NO₂⁻ 0.04 \pm 0.01 mg.L⁻¹; NO₃⁻ 0.4 \pm 0.04 mg.L⁻¹). A photoperiod of 12 h light, 12 h dark (8:00 - 20:00 hours) was used.

2.3. Chemical analysis

Biochemical analysis (proteins, lipids, moisture, fiber and ash) were carried out in triplicate according to the standard methods of the AOAC (2000) on feedstuffs samples, experimental diets and carcass fish before and after experimental period. The proportion of EAA of the different experimental diets are presented in Table 3. All of these amino acid analysis were determined in triplicate with high performance liquid chromatography (HPLC, Nexera - XR, Shimadzu, IL, Japan) as per Flogbe (2009).

EAA	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃	<i>O. niloticus</i> requirement**
Lysine	2.32	2.27	2.27	2.24	1.43
Valine	1.98	1.47	1.15	1.13	0.78
Leucine	3.19	3.04	3.12	3.24	0.95
Histidine	1.16	0.96	0.95	1.16	0.48
Arginine	2.87	2.47	2.45	2.48	1.18
Threonine	1.78	1.78	1.73	1.93	1.05
Isoleucine	1.44	1.43	1.39	1.33	0.87
Methionine+Cysteine	1.01	0.85	0.9	1.09	0.91
Tryptophane	0.8	0.74	0.72	0.83	0.28
Phenylalanine	1.86	1.71	1.68	1.63	1.56

Table 3: Essential amino acids (EAA) composition of the experimental diets (% of dry diet) after analysis*.

*Number of sampling Analysis (n = 3)

**AAE requirement, according to Santiago and Lovell (1988)

2.4. Determination of growth parameters

Following parameters calculated from the data were: Survival rate (SR) = [(N_f / N_i) × 100], specific growth rate (SGR) = 100 ΔT⁻¹ Ln (FBW / IBW), daily weight gain (DWG) = (FBW - IBW) / ΔT, feed conversion rate (FCR) = (dry matter feed intake) / (body weight gain), feed intake (FI) = gram dry matter/day/diet, protein efficiency ratio (PER) = (body weight gain) / (protein fed intake) and economic conversion ratio (ECR) = Feed cost × FCR. The symbols in the equations are as the follows : N_i and N_f : the initial and the final total number of fish ; ΔT : number of days of feeding trial; FBW and IBW : are final and initial body weight (g); Feed cost : the cost of feed required to produce 1 kg of

biomass. The cost of each experimental feed was determined on the basis of the cost of the ingredients used for its manufacturing.

2.5. Statistical Analysis

The data were subjected to one-way analysis of variance (ANOVA 1) to test the effect of diet as a factor and to see the difference between groups. Tukey's HSD test was done to determine the significant differences among the treatment groups. IBM[®]-SPSS 22.0 software was used for the statistical analysis and all tests were used with the threshold of probability of 5%.

3. Results

3.1. Water quality

There were no significant differences in water quality parameter among the treatments during the experimental period. Water quality parameters were within the acceptable range for Nile tilapia growth (Djissou et al., 2017).

3.2. Growth performance and feed intake

The average weight of the fish per diet followed a continuous increase throughout the experiment (Fig. 1). The obtained data at the end of the experiment showed that the final mean weights of the fish vary between 2.51 \pm 0.54 g for the batch fed with D₁ and 3.01 \pm 0.6 g for those received D₃.

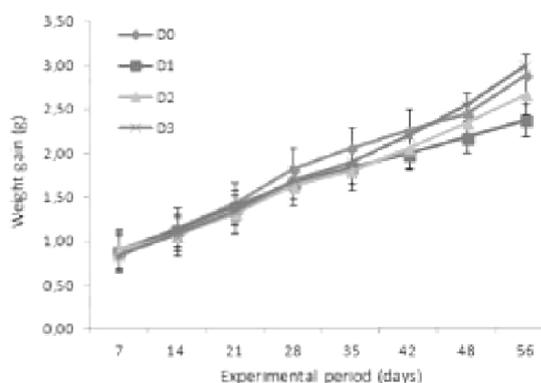


Figure 1: Growth of *O. niloticus* fed with different experimental diets

Tukey's test showed that there is no significant differences ($P > 0.05$) between the final mean weights of the different diets (Tab. 4). All of the fish accepted their rations and fed normally during all periods of the experiment.

Fish mortality was recorded in all replicates of treatments, but there was no significant differences

Abderezak et al., South Asian J Exp Biol; 12 (5): 683-691; 2022

Variables	Diets			
	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃
IBW (g)	0.89 ± 0.24	0.88 ± 0.25	0.89 ± 0.23	0.84 ± 0.28
FBW (g)	2.89 ± 0.51	2.51 ± 0.54	2.54 ± 0.77	3.01 ± 0.6
SR (%)	98.52 ± 1.69	98.54 ± 2.09	98.52 ± 1.69	98.03 ± 2.82
DWG (g/ind/day)	0.29 ± 0.08	0.21 ± 0.04	0.25 ± 0.05	0.31 ± 0.05
SGR (%.day ⁻¹)	2.8 ± 1.3	2.37 ± 1.19	2.62 ± 0.8	3.04 ± 0.97
FCR	1.25 ± 0.45	1.04 ± 0.41	1.19 ± 0.26	1.32 ± 0.36
FI (g.day ⁻¹)	1.5 ± 0.29	1.35 ± 0.19	1.38 ± 0.28	1.45 ± 0.31
PER	0.59 ± 0.25	0.49 ± 0.25	0.56 ± 0.16	0.63 ± 0.21
ECR	2.42 ± 0.81 ^b	1.06 ± 0.33 ^a	1.36 ± 0.33 ^a	1.7 ± 0.48 ^{ab}

Table 4: Growth performance of *Oreochromis niloticus* fed with four diets during 56 days of experimentation. Values (mean ± SD, n = 3)

IBW, initial body weight; FBW, final body weight; SR, survival rates; DWG, daily weight gain; SGR, specific growth rate; FCR, feed conversion ratio; FI, feed intake; PER, protein efficiency ratio; ECR economic conversion ratio;

^{ab}Mean values within each row not sharing common superscripts are significantly different ($P < 0.05$, 1-Way ANOVA).

Componet (%)	Initial	Final (fish fed diet)			
	fish	D ₀	D ₁	D ₂	D ₃
Moisture	70.01 ± 0.17	69.64 ± 0.14 ^a	72.6 ± 0.15 ^d	71.87 ± 0.12 ^c	70.42 ± 0.17 ^b
Crude protein	22.48 ± 0.14	22.31 ± 0.17 ^c	19.65 ± 0.14 ^a	21.65 ± 0.15 ^b	22.36 ± 0.1 ^c
Crude fat	5.24 ± 0.15	5.34 ± 0.14 ^a	9.09 ± 0.14 ^d	7.62 ± 0.14 ^c	6.15 ± 0.16 ^b
Ash	7.48 ± 0.08	7.49 ± 0.11	7.73 ± 0.14	7.61 ± 0.13	7.55 ± 0.09

Table 5: Carcass composition (% wet weight) of *O. niloticus* fry fed the experimental diets. Values (mean ± SD) of triplicate groups¹.

¹On each line, the values (means ± SD, n = 3) affected by different letters are significantly different ($P < 0.05$), Tukey's test. The absence of letters a, b, c and d on the same line indicates an absence of significant difference ($P > 0.05$).

and no diet-related mortality was observed during the entire period of the experiment (56 days). The calculated SGR vary between $2.37 \pm 1.19\%$ in fish fed with D₁ and $3.04 \pm 0.97\%$ in those fed with D₃, without significant differences between the different batches of diets. The means of daily weight gain (DWG), feed conversion rate (FCR), feed intake (FI), and protein efficiency ratio (PER), were similar for all diets.

3.3. Carcass composition of *O. niloticus* fry

The chemical composition of *O. niloticus* fry at the end of feeding experiments is shown in Table 5. Analysis showed that there is significant differences ($P < 0.05$) between the carcass protein content of fish fed with different experimental diets. The crude carcass protein was higher in fish fed with D₀ and D₃ ($22.31 \pm 0.17\%$ and $22.36 \pm 0.1\%$, respectively), followed by groups of fish fed with D₂ ($21.65 \pm 0.15\%$). In contrast, the lowest values were obtained in group of fish fed with D₁ ($19.65 \pm 0.14\%$).

The lipid composition of carcass were significantly affected ($P < 0.05$), and there was a general tendency to increase carcass lipid content with increasing inclusion levels of WLM. These values ranged from $5.34 \pm 0.14\%$ (D₀) to $9.09 \pm 0.14\%$ (D₁). While, the relative water contents of the fish at the

end of the experiment increased significantly ($P < 0.05$) from $69.64 \pm 0.14\%$ (D₀) to $72.6 \pm 0.15\%$ (D₁). As regards the ash contents, they increased but no significant difference ($P > 0.05$) was demonstrated.

The costs per kilogram of feed (FC) were 220, 130, 140 and 150 DZD, respectively for diets D₀, D₁, D₂ and D₃. These costs are relatively related to the cost of the total amount of different feed used to produce one kilogram of fish fry (Tab. 2). Feed costs were reduced significantly with the partial replacement of fishmeal in diets. The ECR followed the same trend as the feed costs, and compared to the control diet D₀ (2.42 ± 0.81), the ECR values of the different tested diets decreased significantly ($P < 0.05$). These values ranged from 1.06 ± 0.33 (D₁) to 1.7 ± 0.48 (D₃) (Tab. 4).

4. Discussion

The selection of feed ingredients is one of the most important factors in the formulation and commercial production of quality supplementary feeds for any aquatic species (Zamal et al., 2008; Koumi et al., 2009; Vechklang et al., 2011). Although fishmeal is a feed ingredient widely used as a source of animal protein and accepted for its greater composition of protein and essential amino acids; it is quite expensive than the available sources of vegetable protein (Vechklang et al.,

2011). In tilapia cultivation, there is a gradual increase in dependence on the use of different alternative sources of protein in feed formulation to reduce feed production costs. Various scientists have recommended different sources of cost-effective protein for feed preparation in order to achieve optimum growth of fish (Tacon and Metian, 2008; Kaushik and Troell, 2010). To formulate an effective and inexpensive feed, plant and animal ingredients are used to meet, fully or partially, the protein requirements of fishmeal. However, few fish nutritionists have paid more attention to reducing the cost of artificial diets by replacing FM with unconventional ingredients combined from plant and animal protein sources. The combination of unconventional protein sources such as WLM and DWM with different proportions was used in this study to meet the protein and amino acid requirements of Nile tilapia diet.

Fish mortality was not affected by the experimental diets and the survival rate was above 98%. Indeed, the recorded survival rate could be attributed to the manipulations during the biometric checks; this was because the mortalities occurred the day after the growth checks. This probably because the protein quality of the formulated feed with unconventional alternative ingredients has been well accepted by fish. Of course, our results are very satisfactory compared to those of Medard et al. (2018) who obtained less than 90% of the survival rate *O. niloticus* juveniles fed with diets based on earthworm (*E. eugeniae*) and maggot meal. Also than those obtained (80%) by (Mohapatra and Patra, 2013) in a diet consisting 15% duckweed meal used as a partial replacement for fish meal in the diet of common carp (*Cyprinus carpio*) fry. However, they are lower than the result obtained (100%) by Ali et al. (2015) when FM was substituted by maggot meal in diet of *O. niloticus* fingerlings. All groups of fish accepted the tested diets in which the fishmeal was partially replaced with a mixture of duckweed and mealworm larvae meal. The results of replacing FM with DWM and WLM meal clearly showed that the tested diets did not have a negative effect on growth performance and feed efficiency in this fish. Indeed, the daily weight gain (DWG), specific growth rate (SGR), feed conversion ratio (FCR) et protein efficiency ratio (PER) of all groups of fish fed with D₁, D₂ and D₃ showed no significant differences ($P > 0.05$) with respect to D₀. However, this seems to depend on the level of inclusion of the ingredients used and the composition of

nutrients. This would indicate good digestibility and bioavailability of protein for optimal increase and growth. Thus, we can allow ourselves to think that the amino acid profiles of the proteins of the different experimental diets meet the tolerance standards of this species (Santiago and Lovell, 1988). In this study, the ECR of fish that fed with the control diet was higher than that of the tested diets. Fishmeal and fish oil are too expensive on the international market (FAO, 2014). The production of mealworm larvae and duckweed meal is less expensive, resulting in lower cost.kg⁻¹ of formulated feed. These results agree with those obtained by Ali et al. (2015) and Medard et al. (2018) who concluded that the partial substitution of fish meal by insect meal (maggot and earthworm) included in the diet of *O. Niloticus* could reduce costs and maximize profits.

The carcass composition is determined by the moisture, protein, fat and ash content of fish (Love, 1980) and this might considered as a good indicator of its physiological state and health (Saliu et al., 2007). The present study showed variations in the chemical composition of Nile tilapia which appear to related to variation in diets. In total, the carcass composition of fish showed the variation of the nutritional values of the tested feed, especially in the inclusion levels of DMW and WLM. In any nutritional study, protein requirements are a major priority because it is the only nutrient needed in greatest amounts for growth and development and also the most expensive in feed formulation (Lovell, 1989).

The composition of fish fry fed with D₀ and D₃ had more protein retained in the body at the end of the experiment. This demonstrated that the ratio (4: 2 for DMW/WLM) had the right proportion. Therefore, a confirmation of the good quality follows the similarity of the fat content with that of the results of the starting samples on fish fry carcasses. In addition, the carcass protein level is low in fish fed with D₁ and D₂ compared to other groups. This indicated that *O. niloticus* fry could use the crude lipid supplied by WLM in diets. These results also indicated that the formulated feed from WLM at a high level would not be used effectively for the growth of *O. niloticus* fry, but increased lipid deposition. These results are corroborated with those of Medard et al. (2018) on Nile tilapia fed on diet based of earthworm meal and maggot meal. Carcass moisture content was significantly higher in fish fed with D₀ and D₃ diets

than those fed on diets D₂ and D₃, and was inversely related to body fat. FAO (1999) stated that the moisture and fat contents of fish fillets are inversely related, which was clearly demonstrated in the present study. Our results were generally consistent with the results of Valente et al. (2006) on *Dicentrarchus labrax* juveniles fed on diets based of red seaweed (*Gracilaria cornea*) and Richter et al. (2003) on *O. niloticus* fed with diets containing moringa (*Moringa oleifera*).

5. Conclusion

This study found that the ratio (4: 2 for DWM and WLM) can partially replace fishmeal in the feed of *O. niloticus* fry without adverse effects on growth, feed utilization and carcass composition. Especially, reduce the cost of feeding fish to 13.53%. This also allows the reduction of loads related to the feeding of Tilapia to 29.8%. These results should be monitored over a long period of time and on a large scale to ensure their reliability under production rearing conditions.

Acknowledgements

Authors like to address thanks the Algerian National Fund for Scientific Research and Technological Development (FNRSdT) for its invaluable support.

References

Abarike ED, Edward AO, Attipoe FYK (2013) Growth and economic performance of fingerlings of *Oreochromis niloticus* fed on different non-conventional feeds in out-door hapas at Akosombo in Ghana. *African Journal of Agricultural Research* 8 (26): 3384–3391. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.593>

Ali AE, Mekhamar MI, Gadel-Rab AG, Osman AGM (2015) Evaluation of Growth Performance of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* Fed *Plaphila Casei* Maggot Meal (Maggotmeal) Diets. *American Journal of Life Sciences* 3 (6-1): 24–29. <https://doi.org/10.11648/j.ajls.s.2015030601.14>

AOAC (2000) Official methods of analysis, 17th Edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.

Asimi OA, Khan IA, Bhat TA & Husain N (2018) Duckweed (*Lemna minor*) as a plant protein source in the diet of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7(3): 42–45.

Azaza MS, Mensi F, Imouri Toko I, Dhraief MN, Abdelmouleh A, Brini B, Kraïem MM (2006) Effets de l'incorporation de la farine de tomate dans l'alimentation du tilapia du nil (*Oreochromis niloticus*, L., 1758) en élevage dans les eaux géothermales du sud Tunisien. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologie de la mer, Salammbô* 33 : 47–58.

Chakrabharti RD, Murthy DS, Sen PR, Chatterjee DK (1973) Preliminary observations in the usefulness of silkworm pupae feed

for fingerling of Indian major carps and common carp. *Journal of the Inland Fisheries Society of India* 3:117–118.

Chowdhury MK, Bureau DP (2009) Predicting body composition of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Asian Fisheries Science* 22 :597–605. <http://dx.doi.org/10.33997/j.afs.2009.22.2.022>

DGPA (2018) Pêche et aquaculture en Algérie, situation et enjeux économiques. Séminaire organisé dans le cadre du projet du ministère de l'agriculture et de développement rurale et de la pêche sur la planification du développement de l'aquaculture. Tunisie. Octobre. 2018.

Djissou AS, Ochiai A, Koshio S, Fiogbé ED (2017) Effect of total replacement of fishmeal by earthworm and *Azolla filiculoides* meals in the diets of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) reared in concrete tanks. *Indian Journal of Fisheries* 64(1): 31–36. <http://dx.doi.org/10.21077/ijf.2017.64.1.55317-05>

Effiong BN, Sanni A, Fakunle JO (2009) Effect of partial replacement of fish meal with duckweed (*Lemna paucicostata*) meal on the growth performance of *Heterobranchius longifiliis* fingerlings. *Report and Opinion* 1(3): 76–81.

El-Saidy DMSD, Gaber MM (2004) Use of cottonseed meal supplemented with iron for detoxification of gossypol as a total replacement of fish meal in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. *Aquaculture Research* 35(9): 859–865. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2004.01077.x>

El-Sayed AF (1992) Effects of substituting fish meal with *Azolla pinnata* in practical diets for fingerling and adult Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquaculture Research* 23(2): 167–173. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1992.tb00607.x>

FAO (1999) World Production of Fish, Crustaceans and Mollusks by Major Fishing Areas. Fisheries Information Data and Statistics Unit (FIDI), Fisheries Department, FAO, Rome. 33p.

FAO (2014) The State of World Fisheries and Aquaculture. Fisheries and Aquaculture Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO, Rome, Italy, 223 pp. Retrieved from <https://www.fao.org/3/i3720e/i3720e.pdf>

FAO (2020) La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. La durabilité en action. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO, Rome, Italy, 247 pp. Retrieved from <https://doi.org/10.4060/ca9229fr>

Fiogbe E, Kestemont P (2003) Optimum daily ration for Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared at its optimum growing temperature. *Aquaculture* 216(1-4): 243–252. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00409-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00409-X)

Fiogbe ED (2009) Variation of whole body amino acid profile in Eurasian perch *Perca fluviatilis* L. reared in an inorganic fertilised pond. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 3 (1): 117-124.

Fiogbe ED, Micha JC, Van Hove C (2004) Use of natural aquatic fern *Azolla microphylla* as a main component in food for the omnivorous phytoplanktophagous tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Applied Ichthyology* 20(6): 517–520. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2004.00562.x>

Gangadhar B, Sridhar N, Saurabh S, Raghavendra CH, Hemaprasanth KP, Raghunath MR, Jayasankar P (2014) Growth response of *Cirrhinus mrigala* fry to azolla (*Azolla pinnata*)-incorporated diets. *Fishery Technology* 51(3): 156–161.

Hansen AC, Hemre GI, Karlsen Ø, Koppe W, Rosenlund G (2011) Do plant-based diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) need

- additions of crystalline lysine or methionine?. *Aquaculture Nutrition* 17(2): 362-371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00770.x>
- Hassan MS, Edwards P (1992) Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrhiza*) as feed for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 104(3-4): 315-326. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90213-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90213-5)
- Hassan MS, Wakil UB, Gamawa AI (2017) Effects of cassava leaf meal on growth performance and nutrient utilization of African Catfish in the semi-arid zone of Nigeria. *International Journal of Science and Technology* 6(2): 689-693.
- Hillman WS, Culley DD (1978) The use of duckweed [*Lemna gibba*, in water treatment, as feed crops, and in energy-efficient farming]. *American Scientist* 66:442-451.
- Imorou Toko I, Fiogbe ED, Kestemont P (2008). Determination of appropriate age and stocking density of vundu larvae, *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes 1840) at the weaning time. *Aquaculture Research* 39(1): 24-32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01857.x>
- Jafri AK, Jafri DK, Khan MA, Anwar MF, Hassan A, Fanullah ER (1992) On the use of locally available feed stuffs in formulated fish feeds. Proximate composition and gross energy content. *Aquaculture research needs* for 143-151.
- Jajić I, Popović A, Urošević MI, Krstović S, Petrović M, Guljaš D, Samardžić M (2020) Fatty and amino acid profile of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Biotechnology in Animal Husbandry* 36 (2): 167-180. <https://doi.org/10.2298/BAH2002167>
- Journey WK, Skillicorn P, Spira W (1991) Duckweed aquaculture : A new aquatic farming system for developing countries. Emana Technical Department, World Bank. 68 pp.
- Kaushik SJ, Troell M (2010) Taking the fish-In Fishout ratio a step further. *Aquaculture* 35: 15-7.
- Koumi AR, Atse BC, Kouame LP (2009) Utilization of soya protein as an alternative protein source in *Oreochromis niloticus* diet : Growth performance, feed utilization, proximate composition and organoleptic characteristics. *African Journal of Biotechnology* 8(1): 091-097. <https://doi.org/10.4314/AJB.V8I1.59743>
- Leng RA, Stambolie JH, Bell R (1995) Duckweed - a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development* 7(1): 36-51.
- Love RM (1980) The chemical biology of fishes. Academic Press, IL, London, UK. 943 pp. Retrieved from <https://doi.org/10.1002/iroh.19810660627>
- Lovell RT (1989) Nutrition and feeding of fish. Van Nostrand Reinhold, New York, USA. 260 pp. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4757-1174-5>
- Lucas JS, Southgate PC (2012) *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants*. Wiley-Blackwell, West Sussex, UK, pp. 1-648.
- Luo Z, Liu CX, Wen H (2012) Effect of dietary fish meal replacement by canola meal on growth performance and hepatic intermediary metabolism of genetically improved farmed tilapia strain of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, reared in fresh water. *Journal of the World Aquaculture Society* 43(5): 670-678. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00601.x>
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P (2014) Review: State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 197:1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Medard Gbai, BAMBA Y, OUATTARA M, OUATTARA A, Kouakou YAO (2018) Substitution of the fish meal by the earthworm and maggot meal in the feed of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* reared in freshwater. *International Journal of Fisheries and Aquaculture* 10(6): 77-85. <https://doi.org/10.5897/IJFA2018.0682>
- Mohapatra S B & Patra A K (2013) Effect of partial replacement of fishmeal with duck weed (*Lemna minor*) feed on the growth performance of *Cyprinus carpio fry*. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science* 4:34-37.
- Naylor RL, Goldberg RJ, Primavera JH, Kautsky N, Beveridge MC, Clay J, Troell M (2000) Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405(6790): 1017-1024. <https://doi.org/10.1038/35016500>
- New MB (1987) Feed and feeding of fish and shrimp. A manual on the preparation of compound feeds for shrimp and fish in aquaculture. *Aquaculture Development and Coordination Programme ADCP/REP/87/26*, F.A.O., Rome, 275p.
- Ogunji JO, Kloas W, Wirth M, Neumann N, Pietsch C (2008) Effect of housefly maggot meal (maggot) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 92(4):511-518. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00745.x>
- Richter N, Siddhuraju P, Becker K (2003) Evaluation of nutritional quality of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves as an alternative protein source for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquaculture* 217(1-4): 599 - 611. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00497-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00497-0)
- Saliu JK, Joy O, Catherine O (2007) Condition factor, fat and protein content of five fish species in Lekki Lagoon, Nigerian Journal of Life Sciences 4(2) : 54-57.
- Santiago CB and Lovell RT (1988) Amino acid requirements for growth of Nile tilapia. *Journal of Nutrition* 118(12): 1540-1546. <https://doi.org/10.1093/jn/118.12.1540>
- Siemianowska E, Kozewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jedras, M (2013) Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Journal of Agricultural Science* 4:287-291. <https://doi.org/10.1016/j.as.2013.46041>
- Skillicorn P, Spira W, Journey W (1993) Duckweed aquaculture: a new aquatic farming system for developing countries. Washington DC, USA. 92 pp.
- Swanepoel F, Stroebel A, Moyo S (2010) The role of livestock in developing communities: enhancing multifunctionality. Cape Town, South Africa. 207 pp.
- Tacon AG, Metian M (2008) Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285(1-4): 146-158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.08.015>
- Tarhouni A, Djendoubi N, Amri F, Elbour M, Sadok S, Mihoubi BN (2015). Mise au point d'un procede intégré de valorisation de la sardine : effet de la température et du blanchiment sur la valeur nutritionnelle et la qualité microbiologique des produits finis. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologie de la mer, Salammbô* 42:69-71.
- Valente LMP, Gouveia A, Rema P, Matos J, Gomes EF, Pinto IS (2006) Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture* 252(1): 85-91. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.052>

Abderezak et al., South Asian J Exp Biol; 12 (5): 683-691; 2022

Van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P (2013) Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171), Food and agriculture organization of the united nations (FAO). Rome, Italy. 201 pp. <https://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>

Vechklang K, Boonanuntanasarn S, Ponchunchoovong S, Pirarat N, Wanapu C (2011) The potential for rice wine residual as an alternative protein source in a practical diet for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at the juvenile stage. *Aquaculture Nutrition* 17(6): 685–694. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00870.x>

Yilmaz E, Akyurt İ & Günel G (2004) Use of Duckweed, *Lemna*

minor, as a Protein Feedstuff in Practical Diets for Common Carp, *Cyprinus carpio*, Fry. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 4(2):105–109.

Yousif OM, Alhadhrami GA, Pessaraki M (1994) Evaluation of deshydrated alfalfa and salt bush (*Atriplex*) leaves in diets for Tilapia (*Oreochromis aureus* L.). *Aquaculture* 126(3-4): 341–347.

Zamal H, Barua P, Uddin B, Islam KS (2008) Application of ipil-ipil leaf meal (IILM) as feed ingredient for Monosex tilapia fry (*Oreochromis niloticus*): In terms of growth and economics. *Aquaculture Asia* 13:31–33.



ABOUT THE JOURNAL: SAJEB (eISSN: 2230-9799) is a peer-reviewed, open-access and online journal aimed at advancement and rapid dissemination of scientific knowledge generated by the highly motivated researchers in the field of biological sciences through publication of high-quality original research and critical up-to-date review articles covering all the aspects of biological sciences. Every year, it publishes six issues. SAJEB has received Global Impact Factor (GIF)-2015, 0.765; Index Copernicus Value-2015, 93.0 and NAAS (ICAR)-India 2017 rating, 4.79. SAJEB has been included in the ISI master list of journals of Thomson Reuters under Zoological Record. The SAJEB is also covered by CABI (UK), AGRICOLA, NLM catalogue, CAS (ACS, USA), DOAJ, Journal TOCs (ICBL, Edinburgh), Directory of research Journals Indexing (DRJI) and Indian Science Abstracts (ISA, NISCAIR). SAJEB is a member of CrossRef.