الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Ahmed Zabana Relizane
Faculté des Sciences de la nature et de la vie
Département : Ecologie et Environnement

MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER en :

Ecologie

Intitulé

Valorisation de deux aliments (commercial, fabriqué) sur la croissance et la reproduction de Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*)

Présentée par :

Mlle : Kaid Ameur Khaoula

Mlle : Gadi Iméne

Devant les membres de jury :

Président : Mme HARMOUCHE. A	Maître assistant (A) (U. Relizane)
Encadreur : Mme BELKHEDIM. L	Maître de conférences (B) (U. Relizane)
Examinateur : Mme HAMAD. H	Maître de conférences (B) (U. Relizane)

Année universitaire : 2024/2025

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé la force, la patience et la persévérance tout au long de ce travail.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à **Madame BELKHEDIM L.**, Maître de Conférences **(B)** à l'Université de Relizane, pour son encadrement exemplaire, sa disponibilité constante, ses conseils avisés et sa bienveillance. Grâce à son accompagnement à la fois scientifique et humain, elle a su nous orienter, nous encourager et nous inspirer tout au long de cette étude. Sa rigueur, sa générosité et son ambition communicative ont marqué positivement notre parcours.

Nous exprimons également notre reconnaissance à **Madame HARMOUCHE A.**, Maître-Assistante **(A)**, présidente du jury, pour l'attention qu'elle a portée à notre travail, la qualité de ses remarques et son implication. Nos remerciements s'étendent à **Madame HAMAD H.**, Maître de Conférences **(B)**, pour son regard critique, sa patience et ses observations constructives.

Nos plus vifs remerciements vont à **Monsieur BENREKIA Mohammed**, responsable de la ferme aquacole d'Oued El Djemaa, pour son accueil, son suivi et son appui technique tout au long de la phase expérimentale.

Nous remercions chaleureusement **Madame Adjez Kheira**, cheffe du service de contrôle et de suivi, ainsi que **Monsieur Sameur Djilali**, Directeur de la pêche et de l'aquaculture de la wilaya de Relizane, pour leur soutien et la confiance qu'ils nous ont témoignée.

Nous exprimons également notre reconnaissance à l'ensemble de nos enseignants du département d'écologie et d'environnement pour la qualité de leur encadrement, leur dévouement et l'inspiration qu'ils nous ont apportée. Leur accompagnement a été précieux tout au long de notre formation.

Enfin, nous adressons nos remerciements à nos camarades de promotion pour leur amitié, leur entraide et leur présence constante. Et à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, nous disons : merci du fond du cœur.

Dédicace

À Ma chère maman

Merci pour tes sacrifices et tes efforts constants. Tu as toujours été là pour moi, m'accompagnant dans mes études et dans la vie. Ce travail est le fruit de ton amour inconditionnel et de ton soutien sans faille. Je te dédie ce travail avec toute ma reconnaissance.

À Mon cher papa,

Merci pour ta sagesse et ton soutien constant. Tu es celui qui m'a montré l'importance de l'effort et de la persévérance. Ce travail est aussi le tien, car il est né de tes enseignements et de tes sacrifices.

À mes frères et sœurs,

***À Souad**, pour son aide précieuse tout au long de ce mémoire. **À Fatima**, La femme forte et patiente, dont le soutien discret m'a toujours portée, même de loin.*

***À Amal**, ma sœur chère, pour ta douceur et ton appui réconfortant.*

***À Ayoub et Ahmed**, pour leur affection simple et sincère.*

***À mes compagnes de route, À Imane,** mon binôme de toujours, pour sa complicité, sa patience et ses efforts partagés jusqu'au bout. **À Kaouthar et Ikram**, mes sœurs de cœur, pour votre loyauté, votre bienveillance et votre présence lumineuse à chaque étape. Merci d'avoir embelli cette aventure par votre amitié sincère.*

À celui qui a toujours été là pour moi,

Ma Grâce Divine.** Merci pour ta présence constante, ton soutien silencieux et ton encouragement fidèle. Merci de ne jamais m'avoir laissée seule. Peu importent les mots, tu comprendras toujours**.

Et enfin, à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à faire de ce projet une réalité,
Je vous dis merci, du fond du cœur.
Je vous dis merci.

Khaoula

Dédicace

À ma mère adorée,

Pour sa tendresse, sa patience et ses prières qui m'ont toujours guidé(e). Ton amour inconditionnel est ma plus grande force.

À la mémoire de mon cher père,

Que Dieu lui accorde Sa miséricorde. Ce travail est le fruit de tes sacrifices et de tes valeurs, qui continueront de m'inspirer chaque jour.

À mes frères ***Mehdi*** *et* ***Reda,*** *et à ma chère sœur* ***Douaa,*** *merci pour votre soutien constant, vos encouragements et votre présence réconfortante.*

À mon amie et collègue ***Khaoula,*** *pour son soutien, sa gentillesse et les moments partagés tout au long de ce parcours.*

À ***moi-même****, pour avoir persévéré, cru en mes capacités et avancé malgré les épreuves.*

À Dieu*, source de sagesse, de force et de réussite. Sans Lui, rien n'aurait été possible.*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible,
Je vous dis merci.

Imène

Liste des Figures

Figure 01 : Production halieutique et aquacole mondiale.	**07**
Figure 02 : Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*), espèce cible de l'étude.	**12**
Figure 03 : *Lemna minor* une plante aquatique utilisée dans l'alimentation piscicole.	**14**
Figure 04 : *Moringa oleifera*, une plante d'intérêt en aquaculture.	**15**
Figure 05 : Carte de répartition administrative de la wilaya de Relizane.	**19**
Figure 06 : Évolution climatique de Relizane en **2024** : Température, précipitations et humidité relative.	**21**
Figure 07 : Carte de situation géographique de la zone d'étude.	**22**
Figure 08 : Les bassins de la ferme aquacole Oued El Djemaa. **(A)** : Bassin de rejet, **(B)** : Bassin de pré grossissement, **(C)** : Bassin de grossissement **(D)** : Serres écloserie.	**22**
Figure 09 : Carte de description de la ferme aquacole Oued El Djemaa.	**23**
Figure 10 : Équipement essentiels d'un aquarium.	**24**
Figure 11 : Contrôle de la croissance. **(A)** et **(B)** : Mesure de la taille des individus, **(C)** : Mesure du poids individuel.	**24**
Figure 12 : Les deux types d'aliments utilisés pour évaluer la croissance**.** (**A**) : Aliment fabriqué (**AF),** (**B**) : Aliment commercial **(AC).**	**25**
Figure 13 : Mesures biométriques des tilapias rouges mâles/femelles (longueur et poids)**.**	**26**
Figure 14 : Les aquariums **01** et **02** contient les poissons nourris avec L'aliment fabriqué **(AF)** et L'aliment commercial **(AC).**	**26**
Figure 15 : Les ingrédients (lentilles d'eau, moringa, mélange de la farine de poisson, le maïs et le son de blé) d'aliment fabriqué **(AF).**	**27**
Figure 16 : Fabrication d'aliment fabriqué **(AF).**	**28**
Figure 17 : Préparation du solution d'**EDTA** sous agitation magnétique chauffante.	**31**
Figure 18 : Composants de base pour la préparation du colorant : **(A)** bleu de Coomassie, **(B)** éthanol et **(C)** acide orthophosphorique.	**32**
Figure 19 : Processus d'élaboration de la solution colorante : **(A)** Agitation du mélange Ethanol –bleu de Coomassie suivie de : **(B)** l'incorporation de l'acide orthophosphorique.	**32**

Figure 20 : Étapes de préparation de l'échantillon musculaire d'*Oreochromis niloticus* pour l'analyse biochimique : **(A)** prélèvement, **(B)** broyage et **(C)** filtration.	**33**
Figure 21 : Visualisation comparative de la coloration obtenue selon les concentrations de protéines après l'ajout du réactif de Bradford, dans les échantillons des groupes **(A)** aliment fabriqué **(AF)** et **(B)** aliment commercial **(AC).**	**33**
Figure 22 : Lecture de l'absorbance à **595 nm** à l'aide d'un spectrophotomètre **Jenway 7410**.	**34**
Figure 23 : Extracteur Soxhlet.	**35**
Figure 24 : Variations du taux de survie des alevins **(%)** *Oreochromis niloticus* en fonction de deux types d'aliments.	**40**
Figure 25 : Variations du taux de survie des adultes **(%)** *Oreochromis niloticus* en fonction de deux types d'aliments.	**40**
Figure 26 : Variations du poids moyen des alevins *Oreochromis niloticus* durant la période d'étude.	**41**
Figure 27 : Variations du poids moyen des adultes *Oreochromis niloticus* durant la période d'étude.	**42**
Figure 28 : Variations du taux de croissance spécifique (**TCS**) des alevins *d'Oreochromis niloticus*.	**42**
Figure 29 : Variations du taux de croissance spécifique (**TCS**) des adultes *d'Oreochromis niloticus.*	**43**
Figure 30 : Variations du gain moyen de poids journalier **(GMPJ)** des alevins d'*Oreochromis niloticus.*	**44**
Figure 31 : Variations du gain moyen de poids journalier ***(*GMPJ*)*** des adultes d'*Oreochromis niloticus.*	**44**
Figure 32 : Variation du taux de conversion alimentaire **(TCA)** des alevins d'*Oreochromis niloticus.*	**45**
Figure 33 : Variation du taux de conversion alimentaire (**TCA**) des adultes d'*Oreochromis niloticus.*	**46**
Figure 34 : Évolution de la taille moyenne d'*Oreochromis niloticus* durant l'expérimentation.	**46**

Figure 35 : Le nombre d'alevins d'*Oreochromis niloticus* obtenus avec les deux régimes.	**47**
Figure 36 : Variations du taux de fécondation et d'éclosion des adultes d'*Oreochromis niloticus.*	**47**
Figure 37 : Comparaison des teneurs en protéines musculaires chez Oreochromis *niloticus* nourris avec un **(AC)** et un **(AF).**	**48**
Figure 38 : Comparaison des teneurs en lipides chez *Oreochromis niloticus* nourris avec un aliment commercial **(AC)** et un aliment fabriqué **(AF)** selon trois méthodes d'extraction.	**49**
Figure 39 : Représentation graphique de la droite d'étalonnage obtenue par régression linéaire.	**72**

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Comparaison entre aliments commerciaux et aliments fabriqués à base de *Moringa* et *Lemna.*	**17**
Tableau 02 : Le pourcentage des ingrédients utilisés dans les deux aliments **(AC)** et **(AF).**	**29**
Tableau 03 : Synthèse comparative des paramètres zootechniques des alevins et des adultes d'*Oreochromis niloticus* soumis à deux régimes alimentaires aliment commercial **(AC)** et aliment fabriqué **(AF)**.	**39**
Tableau 04 : les résultats statistiques comparatives des paramètres zootechniques (**Khi²**, **p-value**, **variance** et **moyenne**) entre alevins et adultes de Tilapia rouge.	**50**
Tableau 05 : Moyenne et variance des teneurs en protéines et lipides musculaires selon le type d'aliment.	**51**
Tableau 06 : Résultats du test de **Khi²** comparant les de teneur en protéines et en lipides entre les groupes **(AC)** et **(AF).**	**51**
Tableau 07 : Données de la gamme d'étalonnage pour la méthode de Bradford.	**70**
Tableau 08 : Données expérimentales du dosage des protéines musculaires chez *Oreochromis niloticus* – Groupe alimenté à l'aliment commercial **(AC).**	**71**
Tableau 09 : Données expérimentales du dosage des protéines musculaires chez *Oreochromis niloticus* – Groupe alimenté à l'aliment fabriqué **(AF).**	**72**
Tableau 10 : Résultats du test de **Khi²** comparant les teneurs en protéines entre les groupes **(AC)** et **(AF).**	**78**
Tableau 11 : Résultats du test de **Khi²** comparant les teneurs en lipides entre les groupes **(AC)** et **(AF)**	**78**

Liste des abréviations :

AC : Aliment Commercial.

AF : Aliment Fabriqué.

BSA : Bovine Serum Albumin.

cm : Centimètre.

Coomassie G-250 : Colorant utilisé dans la méthode de Bradford.

EDTA : Acide Éthylènediaminetétraacétique.

FAO : Food and Agriculture Organization.

g : Gramme.

g/j : Gramme par jour.

GCS : Geographic Coordinate System.

GMPJ : Gain Moyen de Poids Journalier.

HCl : Acide chlorhydrique.

Km² : Kilomètre carré.

L : Litre.

Ln : Logarithme népérien.

mg : Milligramme.

mg/ml : Milligramme par millilitre.

MPRH : Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques.

N : Nord (coordonnée géographique).

NaOH : Hydroxyde de sodium.

pH : Potentiel Hydrogène.

PNDA : Plan National de Développement de l'Aquaculture.

Q1, Q2, Q3, Q4 : Premier, Deuxième, Troisième, Quatrième quart expérimental.

RAS : Recirculating Aquaculture Systems (Système en circuit fermé).

TAT : Taux d'Accroissement en Taille.

TCA : Taux de Conversion Alimentaire.

TCS : Taux de Croissance Spécifique.

TF : Taux de Fécondation.

TS : Taux de Survie.

UV: Ultraviolet.

WGS 1984: World Geodetic System 1984.

°C : Degré Celsius.

% : Pourcentage.

Sommaire :

Résumé

Introduction 02

Chapitre I: Synthèse Bibliographique

I. Généralités sur l'aquaculture : 05

I.1. Définition et importance de l'aquaculture : 05

I.2. Objectifs et avantages de l'aquaculture : 05

I.3. État actuel de l'aquaculture mondiale : 07

I.3.1. Production aquacole globale : 07

I.3.2. La pisciculture comme branche majeure : 08

I.4. L'aquaculture en Algérie défis et opportunités : 09

I.4.1. Activités halieutiques et piscicoles en Algérie : 10

II. Le Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*) : 11

II.1. Présentation de l'espèce et importance économique : 11

II.2. Caractéristiques biologiques et morphologiques : 12

II.3. Reproduction et cycle de vie : 12

II.4. Alimentation et besoins nutritionnels : 13

III. Généralités sur les Lentilles d'eau (*Lemna minor*) : 13

III.1. Valeurs nutritionnelles et avantages pour l'aquaculture : 14

IV. Généralités sur le Moringa (*Moringa oleifera*) : 15

IV.1. Propriétés nutritionnelles et intérêt écologique : 16

V. Comparaison entre aliments commerciaux et fabriqués : 16

Chapitre II : Matériel et Méthodes

I. L'objectif de l'étude : 19

II. Présentation de la zone d'étude : 19

II.1. Description de la région de Relizane : 19

II.2. Situation géographique et climat : 20

II.3. Présentation de la ferme aquacole d'Oued El Djemaâ : 21

III. Protocole expérimental : 23

III.1. Structure des bassins et organisation des aquariums : 23

III.2. Mise en œuvre et suivi expérimental : 24

IV. Préparation des aliments : 27

IV.1. Composition de l'aliment fabriqué : 27

IV.2. Techniques de préparation et dosage des nutriments : 28
V. Suivi de la croissance et calcul des paramètres zootechniques : 29
VI. Analyses biochimiques (Protéines et Lipides) : 31
VI.1. Dosage des protéines de la chair du Tilapia : 31
VI.1.1. Mode opératoire : 31
VI.2. Dosage des lipides de la chair du Tilapia : 34
VI.2.1. Extraction par la méthode de Soxhlet : 34
VI.2.1.1. Mode opératoire:..... 35
VI.2.2. Extraction par la méthode de Folch (1957) : 36
VI.2.2.1. Protocole expérimental :..... 36
VI.2.3. Extraction par la méthode de Wolff et Castera-Rossignol (1987) : 36
VI.2.3.1. Mode opératoire :..... 36
VII. L'analyse des données : 37

Chapitre III : Résultats et Discussion

I. Paramètres de Croissance : 39
I.1. Taux de Survie : 40
I.2. Poids Moyen : 41
I.3. Taux de Croissance Spécifique (TCS) : 42
I.4. Gain moyen du poids journalier (GMPJ): 43
I.5. Taux de conversion alimentaire (TCA) : 45
I.6. Taille moyenne : 46
I.7. Le nombre d'alevins : 47
I.8. Taux de fécondation et taux d'éclosion : 47
II.Résultats des analyes biochimique : 48
II.1. Comparaison des teneurs en protéines musculaires : 48
II.2. Comparaison des teneurs en lipides musculaires : 48
III. Étude statistique : 49
III.1. Résultats d'analyse statistique des paramètres zootechniques : 49
III.2. Résultats d'analyse statistique des dosages en protéines et en lipides musculaires: 50
V. Discussion : 52
Conclusion : 58
Références bibliographiques : 59
Annexes : 68

Résumé :

Cette étude vise à évaluer l'efficacité d'un aliment naturel fabriqué localement **(AF)**, composé de moringa (*Moringa oleifera*) et de lentille d'eau (*Lemna minor*), comparé à un aliment commercial **(AC)**, sur la croissance et la reproduction du tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*). L'expérimentation s'est déroulée en deux phases complémentaires : une première étape a été réalisée avec un lot d'alevins pour suivre leur développement initial, suivie d'une seconde phase conduite avec des poissons sélectionnés de taille plus grande issus du premier lot, et ce, durant quatre mois sous conditions contrôlées, avec un taux d'alimentation équivalant à **5 %** du poids vif total par jour.

L'étude a porté sur plusieurs indicateurs zootechniques (gain de poids, taux de conversion alimentaire, taux de survie), reproductifs (dates de ponte, nombre d'alevins, taux de fécondation), et biochimiques (teneurs en protéines et lipides musculaires). Une étude statistique a été menée afin d'appuyer l'analyse des résultats obtenus.

Les résultats obtenus ont montré que l'aliment fabriqué a permis d'atteindre de meilleures performances, tant sur le plan de la croissance que de la reproduction, confirmant son efficacité en tant qu'alternative alimentaire écologique et économique.

Cette recherche met en évidence l'intérêt de valoriser les ressources naturelles locales à faible coût et à haute valeur nutritionnelle dans la formulation d'aliments aquacoles, contribuant ainsi à la promotion d'une aquaculture durable et adaptée aux réalités économiques de l'Algérie.

Mots-clés : *Oreochromis niloticus,* aliment fabriqué, aliment commercial, moringa, lentille d'eau.

Abstract:

This study aims to assess the effectiveness of a locally fabricated natural feed **(AF)**, based on moringa (*Moringa oleifera*) and duckweed (*Lemna minor*), compared to a commercial feed **(AC)**, on the growth and reproduction of red tilapia (*Oreochromis niloticus*). The experiment was conducted in two complementary phases: the first involved a batch of fry to monitor their initial development, followed by a second phase using selected larger individuals from the first group, over a four-month period under controlled conditions, with a daily feeding rate of **5%** of total body weight.

The evaluation focused on zootechnical indicators (weight gain, feed conversion ratio, survival rate), reproductive parameters (spawning dates, number of fries, fertilization rate), and biochemical composition (muscle protein and lipid content). A statistical study was conducted to support the analysis of the obtained results.

The results showed that the fabricated feed led to better overall performance in both growth and reproduction, highlighting its efficiency as an ecological and cost-effective alternative.

This study emphasizes the relevance of using low-cost, high-nutritional-value local resources in aquafeed formulation, contributing to the development of sustainable aquaculture practices tailored to Algeria's economic context.

Keywords: *Oreochromis niloticus*, fabricated feed, commercial feed, moringa, duckweed.

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية علف طبيعي مصنع محليًا، مكوَّن من المورينغا (*Moringa oleifera*) وعدس الماء (*Lemna minor*)، مقارنة بعلف تجاري، على النمو والتكاثر لدى سمك البلطي الأحمر (*Oreochromis niloticus*).

تمت التجربة عبر مرحلتين تكميليتين: الأولى استُخدمت فيها مجموعة من الزريعة لمتابعة التطور الأولي، ومن ثم تم اختيار عينات منها لاحقًا لاستكمال المرحلة الثانية بأسماك أكبر حجمًا، تحت ظروف شبه محكمة ولمدة أربعة أشهر، بنسبة تغذية تعادل **5%** من الوزن الحي الكلي يوميًا.

شمل التقييم مجموعة من المؤشرات الزووتقنية (الزيادة الوزنية، معامل التحويل الغذائي، نسبة البقاء)، ومؤشرات التكاثر (تواريخ التبويض، عدد الزريعة المنتجة، معدل الإخصاب)، إضافة إلى تحليل التركيب البيوكيميائي للعضلات (محتوى البروتينات والدهون). كما تم إجراء دراسة إحصائية لدعم تحليل النتائج.

وقد أظهرت النتائج أن العلف المصنع محليًا مكّن من تحقيق أداء أفضل من حيث النمو والخصوبة، مما يعكس كفاءته كبديل غذائي فعال وصديق للبيئة.

تُبرز هذه الدراسة أهمية اعتماد الموارد المحلية منخفضة التكلفة وعالية القيمة الغذائية في إنتاج أعلاف مائية، مما يفتح آفاقًا واعدة نحو استزراع مائي أكثر استدامة وتكيفًا مع التحديات الاقتصادية في الجزائر.

الكلمات المفتاحية : البلطي الأحمر، المورينغا، عدس الماء، علف مصنع، علف تجاري.

Introduction

Introduction :

L'aquaculture joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire mondiale en fournissant une source de protéines de haute qualité et accessibles à une population en constante augmentation. Avec la stagnation des captures de pêche, l'aquaculture est devenue une alternative durable, représentant plus de **50 %** de la production mondiale de poissons et de fruits de mer **(FAO, 2022)**. La croissance rapide de ce secteur repose sur l'amélioration des techniques d'élevage, notamment en matière de nutrition et de gestion de l'environnement.

L'Algérie, bien qu'encore en développement dans ce domaine, affiche un potentiel considerable en aquaculture. Ces dernières années, des efforts importants ont été fournis pour accroître la production et améliorer les performances des espèces élevées, notamment le Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*), une espèce prisée pour sa croissance rapide et sa tolérance à diverses conditions environnementales. Ce poisson constitue un excellent candidat pour le développement de l'aquaculture durable, notamment grâce à sa capacité d'adaptation et à sa productivité élevée **(El-Sayed, 2006)**.

Toutefois, la réussite de l'élevage de Tilapia rouge dépend fortement de la qualité de l'alimentation fournie, qui joue un rôle déterminant dans sa croissance et sa reproduction. Les régimes alimentaires doivent être équilibrés en nutriments essentiels, notamment en protéines et en lipides, pour garantir une croissance optimale et des performances reproductives satisfaisantes **(Kaushik et *al.*, 2004)**. En Algérie, l'accessibilité et la rentabilité des aliments aquacoles représentent un défi majeur, justifiant ainsi l'importance d'étudier et de comparer différentes sources alimentaires.

Le principal objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de deux types d'aliments un aliment fabriqué localement et un aliment commercial sur la croissance et la reproduction du Tilapia rouge. L'étude portera une attention particulière à l'analyse de la composition nutritionnelle des aliments, notamment leur teneur en protéines et en lipides, afin d'optimiser les performances zootechniques du Tilapia rouge.

Cette étude se divise en trois chapitres :

- **Chapitre 01 :** Ce chapitre présente un aperçu général de l'aquaculture, ses enjeux et son développement aux niveaux mondial et national. Il met en lumière les défis liés à l'élevage piscicole en Algérie et se focalise sur le Tilapia rouge, en décrivant ses caractéristiques biologiques, ses conditions de croissance et son importance en aquaculture.
- **Chapitre 02 :** Ce chapitre décrit les conditions d'expérimentation, y compris l'aménagement des bassins, les paramètres environnementaux et les protocoles d'alimentation. Il détaille également les méthodes utilisées pour mesurer la croissance et la reproduction des poissons, ainsi que l'analyse des protéines et des lipides.
- **Chapitre 03 :** Ce chapitre expose les performances des poissons en fonction des régimes alimentaires testés et présente les résultats du dosage des protéines et des lipides. Il propose également une comparaison avec d'autres études pour évaluer l'efficacité des aliments utilisés, et on termine avec une conclusion générale, suivi des références bibliographiques et des annexes.

Chapitre I

Synthèse Bibliographique

I. Généralités sur l'aquaculture :

I.1. Définition et importance de l'aquaculture :

L'aquaculture est définie comme l'élevage d'organismes aquatiques tels que les poissons, crustacés, mollusques et plantes aquatiques dans des environnements contrôlés ou semi-contrôlés **(FAO, 2022)**. Cette discipline regroupe plusieurs pratiques allant de la pisciculture à l'algoculture, visant à assurer une production durable tout en réduisant la pression exercée sur les ressources halieutiques naturelles **(Barnabé, 1990)**.

L'importance de l'aquaculture réside principalement dans son rôle crucial pour la sécurité alimentaire mondiale. Avec l'augmentation continue de la population humaine, la demande en produits aquatiques ne cesse de croître. L'aquaculture offre une solution viable pour répondre à cette demande tout en préservant les stocks de poissons sauvages qui subissent une surexploitation significative **(FAO, 2020).** Selon un rapport de la Banque Mondiale **(2018)**, l'aquaculture pourrait représenter plus de **60 %** de la production halieutique mondiale d'ici **2030**.

Outre son apport en termes de production alimentaire, l'aquaculture constitue une source de revenus essentielle pour de nombreuses communautés, en particulier dans les régions côtières et rurales des pays en développement. Elle génère des millions d'emplois directs et indirects et contribue à l'économie mondiale à travers les exportations de produits aquatiques **(FAO, 2018)**.

D'un point de vue environnemental, l'aquaculture présente des avantages et des défis. Lorsqu'elle est bien gérée, elle permet une production efficace avec une empreinte carbone réduite par rapport à l'élevage terrestre, tout en contribuant à la restauration des populations aquatiques par le repeuplement de certaines espèces **(Naylor et *al.*, 2021)**. Toutefois, des problèmes tels que la pollution des eaux et la transmission de maladies doivent être pris en compte pour assurer un développement durable de cette industrie **(Diana, 2009)**.

I.2. Objectifs et avantages de l'aquaculture :

L'aquaculture vise plusieurs objectifs fondamentaux qui la rendent essentielle pour l'avenir de la production alimentaire et la gestion durable des ressources halieutiques. Tout d'abord, elle contribue à l'augmentation de la production mondiale de produits aquatiques afin de répondre à la demande croissante en protéines de poisson **(FAO, 2022)**. En raison de la stagnation des captures

en milieu sauvage et de la pression exercée sur les stocks halieutiques, l'aquaculture s'est imposée comme une alternative viable pour garantir la sécurité alimentaire et réduire la dépendance aux pêches traditionnelles **(Naylor et *al*., 2021).**

Un autre objectif clé est l'amélioration de l'efficacité et de la durabilité des systèmes de production. L'aquaculture permet de produire du poisson avec un meilleur taux de conversion alimentaire comparé à l'élevage terrestre, ce qui signifie qu'elle nécessite moins de ressources pour produire la même quantité de protéines animales **(Diana, 2009)**. De plus, elle favorise le développement de nouvelles technologies comme l'aquaculture en circuit fermé et l'aquaponie, qui réduisent l'empreinte environnementale en limitant la consommation d'eau et en minimisant les rejets polluants **(FAO, 2020)**.

L'aquaculture contribue également à la conservation des espèces et la gestion des ressources naturelles. Elle permet le repeuplement de certaines espèces menacées et participe à la restauration des écosystèmes aquatiques **(Beveridge et *al*., 2013)**. De nombreuses initiatives de pisciculture durable visent à protéger les habitats naturels tout en garantissant une production responsable et traçable **(FAO, 2018)**.

En termes socio-économiques, l'aquaculture joue un rôle majeur dans la création d'emplois et le développement économique, en particulier dans les pays en développement où elle représente une source de revenus importante pour des millions de personnes **(Edwards, 2015)**. En favorisant l'essor de petites entreprises aquacoles et en encourageant les investissements dans ce secteur, elle participe activement à la lutte contre la pauvreté et au renforcement de la résilience des communautés côtières et rurales **(FAO, 2019)**.

Par ailleurs, l'aquaculture offre des opportunités de diversification alimentaire et de valorisation des ressources locales. Elle permet d'introduire de nouvelles espèces adaptées aux conditions environnementales locales et d'optimiser l'utilisation des ressources aquatiques sous-exploitées **(Tacon et Metian, 2013)**. Cette diversification joue un rôle clé dans l'amélioration des régimes alimentaires et l'accès à des produits aquatiques de haute qualité nutritionnelle.

Enfin, l'aquaculture contribue à la réduction de la pression sur les stocks de pêche sauvage en offrant une alternative durable et en diminuant l'impact de la surexploitation des océans **(Garlock et *al*., 2020).**

Une gestion responsable de cette activité permet d'assurer un équilibre entre production et préservation des écosystèmes marins et d'eau douce.

I.3. État actuel de l'aquaculture mondiale :

L'aquaculture est aujourd'hui un secteur clé dans la production mondiale de produits aquatiques, représentant plus de **50 %** des produits destinés à la consommation humaine **(FAO, 2022)**. Cette croissance rapide est due à la diminution des stocks de poissons sauvages, aux avancées technologiques et à la demande accrue en protéines de qualité **(Naylor et *al*., 2021).** L'Asie domine largement la production, tandis que d'autres régions, comme l'Amérique latine et l'Afrique, développent progressivement leurs infrastructures aquacoles **(Edwards et *al*., 2019).**

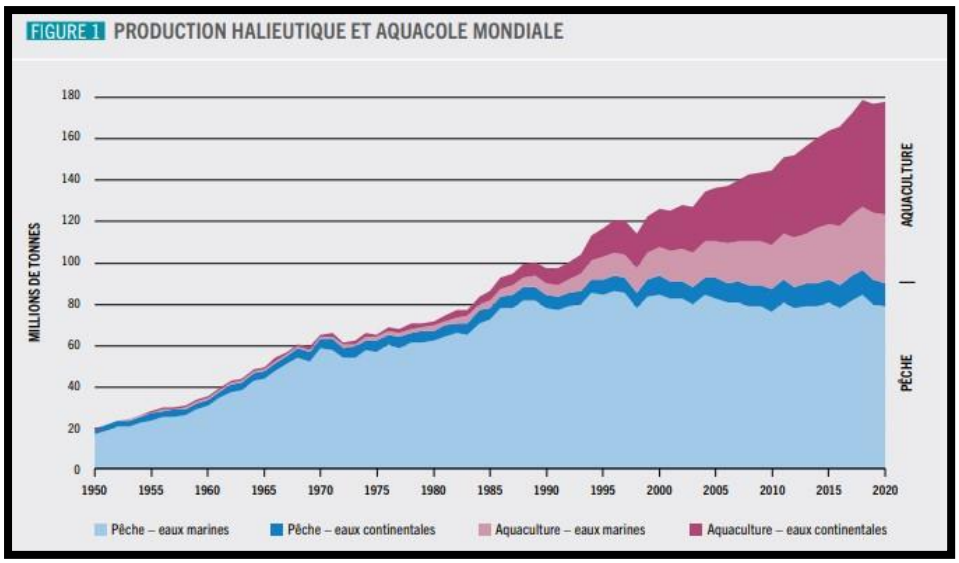


Figure 01 : Production halieutique et aquacole mondiale **(FAO, 2022)**.

I.3.1. Production aquacole globale :

La production aquacole mondiale a atteint plus de **120 millions de tonnes** en **2020**, englobant des espèces variées telles que les poissons, les mollusques et les crustacés **(FAO, 2022)**. La Chine reste le principal producteur, contribuant à plus de **58 %** de la production totale. D'autres pays asiatiques comme l'Inde, l'Indonésie et le Vietnam jouent également un rôle majeur.

L'aquaculture en eau douce est prédominante, représentant environ **60 %** de la production totale, avec des espèces comme le tilapia, les carpes et le poisson-chat **(Garlock et *al*., 2020)**.

L'aquaculture marine et côtière, incluant des espèces comme le saumon, le bar et la dorade, connaît également une expansion grâce aux technologies améliorant la gestion des environnements marins.

L'essor de la production aquacole repose sur plusieurs facteurs :

- L'intensification des pratiques d'élevage, permettant d'optimiser les rendements et de répondre à la demande croissante en produits aquatiques.
- L'amélioration des régimes alimentaires avec l'introduction d'alternatives aux farines de poisson afin de réduire la dépendance aux ressources marines **(Tacon et Metian, 2013)**.
- L'optimisation des conditions d'élevage, notamment grâce aux systèmes de contrôle automatisés et à l'aquaculture en circuit fermé **(Bostock et *al*., 2016)**.

Malgré cette croissance, des défis persistent, notamment la gestion durable des ressources en eau, la prévention des maladies et la pollution des milieux aquatiques liée aux rejets organiques **(Froehlich et *al*., 2018)**.

I.3.2. La pisciculture comme branche majeure :

La pisciculture représente environ **75 %** de la production aquacole mondiale, constituant ainsi la branche dominante du secteur **(FAO, 2022)**. Elle comprend l'élevage de poissons en eaux douces, saumâtres et marines, selon des systèmes adaptés aux espèces et aux conditions locales.

Les principales espèces élevées varient selon les régions :

- En Asie, la production est dominée par les carpes et le tilapia, qui sont des espèces résistantes et faciles à élever **(Edwards et *al*., 2019)**.
- En Europe et en Amérique du Nord, l'accent est mis sur l'élevage du saumon et du bar, avec des méthodes en cages marines ou en bassins à terre **(Naylor et *al*., 2021)**.
- En Afrique et en Amérique latine, le tilapia et le poisson-chat sont privilégiés pour leur adaptabilité aux conditions locales et leur croissance rapide **(FAO, 2020)**.

La pisciculture repose sur plusieurs types de systèmes de production :

- La pisciculture extensive, pratiquée en étangs naturels, avec peu d'intervention humaine et une faible densité d'élevage. Ce modèle est écologique mais peu productif **(Beveridge et *al*., 2013)**.
- La pisciculture semi-intensive, combinant un apport d'aliments complémentaires et une gestion modérée du milieu, permettant un bon compromis entre productivité et coûts **(Tacon et Metian, 2013)**.
- La pisciculture intensive, utilisant des bassins et des cages flottantes à forte densité, garantissant une production élevée mais nécessitant un contrôle rigoureux des paramètres de l'eau **(Froehlich et *al*., 2018)**.
- Les systèmes en circuit fermé **(RAS),** qui offrent une gestion optimisée des ressources et réduisent l'impact environnemental, bien qu'ils exigent un investissement initial conséquent **(Bostock et *al*., 2016)**.

La pisciculture joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire mondiale en fournissant des protéines animales accessibles et durables **(FAO, 2022)**. Elle soutient également l'économie locale en créant des emplois et en favorisant le développement des filières aquacoles dans les pays en développement **(Garlock et *al*., 2020)**.

I.4. L'aquaculture en Algérie défis et opportunités :

L'Algérie, avec son littoral de **1 600 km** et ses nombreuses ressources en eaux intérieures, possède un potentiel important pour le développement de l'aquaculture **(FAO,2022)**. Ce secteur est perçu comme un levier stratégique pour renforcer la sécurité alimentaire, diversifier l'économie et réduire la dépendance aux importations de produits halieutiques. Toutefois, malgré les efforts déployés, la production aquacole reste encore modeste par rapport aux capacités du pays **(MPRH, 2021)**.

Le gouvernement algérien a mis en place plusieurs programmes de soutien et incitations pour encourager le développement de l'aquaculture, notamment à travers le Plan National de Développement de l'Aquaculture **(PNDA)**. Ce plan vise à accroître la production aquacole à plus de **100 000 tonnes** à l'horizon **2030**, en mettant l'accent sur l'élevage en eaux marines et continentales **(MPRH, 2020)**.

L'aquaculture algérienne se heurte cependant à plusieurs défis :

- Manque d'infrastructures adaptées, notamment en matière d'écloseries et de stations d'élevage.
- Difficulté d'accès au financement, freinant l'investissement privé dans le secteur.
- Encadrement technique limité, nécessitant une formation plus approfondie des acteurs.
- Contraintes environnementales et réglementaires, liées à la gestion des ressources en eau et à la préservation des écosystèmes **(Bacha et *al*., 2021).**

Malgré ces obstacles, le secteur offre de nombreuses opportunités, notamment la diversification des espèces élevées, le développement de nouveaux marchés locaux et internationaux et l'intégration de technologies innovantes pour améliorer la productivité et la durabilité des exploitations aquacoles **(FAO, 2022).**

I.4.1. Activités halieutiques et piscicoles en Algérie :

Les activités halieutiques en Algérie reposent sur deux grandes filières : la pêche et l'aquaculture. Historiquement, la pêche maritime a toujours été prédominante, avec une production annuelle avoisinant les **100 000 tonnes (MPRH, 2021)**. Toutefois, face à la pression sur les stocks halieutiques, l'aquaculture apparaît comme une solution viable pour augmenter la production de poissons et répondre à la demande croissante.

L'aquaculture algérienne se décline en deux principales catégories :

- Aquaculture marine, concentrée sur l'élevage du bar (*Dicentrarchus labrax*) et de la dorade (*Sparus aurata*) dans des cages flottantes en Méditerranée. Plusieurs projets ont vu le jour, notamment dans les wilayas de Chlef, Tipaza, Mostaganem et Skikda **(MPRH, 2020).**
- Aquaculture continentale, axée principalement sur l'élevage de tilapia, carpe et poisson-chat africain, souvent intégrée aux systèmes agricoles pour une gestion optimisée de l'eau **(Bacha et *al*., 2021)**.

En plus des poissons, la conchyliculture commence à se développer avec la culture des huîtres et des moules, bien que cette activité reste encore à un stade expérimental dans plusieurs régions côtières **(FAO, 2022)**.

Pour stimuler ces activités, l'Algérie mise sur :

- L'extension des zones aquacoles et la création de nouvelles fermes marines et continentales.
- Le renforcement de la formation et de la recherche scientifique pour améliorer les techniques d'élevage.
- L'encouragement des partenariats avec des investisseurs étrangers pour apporter expertise et financement.

L'aquaculture en Algérie représente ainsi un secteur en développement avec un fort potentiel. Si les défis structurels et financiers sont surmontés, elle pourrait devenir un moteur clé pour l'économie halieutique du pays et un levier stratégique pour la sécurité alimentaire.

II. Le Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*) :

Le tilapia rouge est une espèce aquacole d'importance économique majeure, particulièrement prisée pour sa croissance rapide, sa tolérance aux conditions environnementales variées et sa forte rentabilité en pisciculture. Il est principalement élevé en Asie, en Amérique latine et en Afrique, où il constitue une source essentielle de protéines animales et une alternative durable à la pêche de capture. Sa capacité à prospérer dans une large gamme de températures, entre **15** et **35 °C**, ainsi que sa résistance aux faibles niveaux d'oxygène dissous, lui permettent d'être élevé dans différents systèmes de production, allant des bassins et cages flottantes aux circuits fermés optimisés **(FAO, 2022)**.

II.1. Présentation de l'espèce et importance économique :

L'intérêt croissant pour le tilapia rouge en aquaculture repose sur plusieurs facteurs. Sa chair maigre, sa texture ferme et son goût neutre facilitent son acceptation sur divers marchés, tandis que sa croissance rapide permet d'atteindre des tailles commercialisables en moins de six mois. Son coût de production relativement faible, combiné à un excellent indice de conversion alimentaire, en fait une espèce compétitive pour les producteurs cherchant à optimiser leur rendement **(El-Sayed, 2020)**. Grâce aux améliorations génétiques, certaines souches sélectionnées présentent une pigmentation rouge homogène, ce qui renforce leur attractivité commerciale, notamment en Asie et en Amérique latine, où les consommateurs préfèrent les poissons à coloration vive **(Ng & Romano, 2013)**.

Figure 02 : Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*), espèce cible de l'étude **(shutterstock, 2024).**

II.2. Caractéristiques biologiques et morphologiques :

Le tilapia rouge se distingue par un corps latéralement comprimé, une bouche terminale et des nageoires bien développées facilitant ses déplacements en milieu aquatique. Sa taille adulte varie généralement entre **30** et **50 cm**, avec un poids moyen de **500 g** à **2 kg** selon les conditions d'élevage. Son métabolisme efficace et sa capacité d'adaptation à différents régimes alimentaires en font une espèce robuste, capable de prospérer aussi bien en milieu naturel qu'en pisciculture intensive **(FAO, 2022)**.

II.3. Reproduction et cycle de vie :

L'espèce adopte un mode de reproduction basé sur l'incubation buccale maternelle, où la femelle conserve les œufs dans sa bouche pendant cinq à sept jours, offrant une protection accrue contre les prédateurs et garantissant un taux de survie plus élevé des larves. Une fois libérées, celles-ci se nourrissent d'abord du sac vitellin avant d'adopter une alimentation exogène composée de micro-organismes et de particules organiques. La maturité sexuelle est atteinte en cinq à six mois, permettant plusieurs cycles de reproduction par an. Afin d'optimiser la croissance et de contrôler la densité de population dans les bassins, l'élevage monosexuel, privilégiant les mâles, est souvent utilisé en pisciculture intensive, ces derniers affichant un meilleur rendement de croissance que les femelles **(El-Sayed, 2020)**.

II.4. Alimentation et besoins nutritionnels :

L'alimentation joue un rôle clé dans la performance de l'élevage du tilapia rouge, influençant directement sa croissance, son indice de conversion alimentaire et la qualité de sa chair. Son régime est formulé pour répondre à ses besoins spécifiques en nutriments :

- Les protéines, représentant **30 à 40 %** de l'alimentation, sont essentielles à la croissance musculaire et à l'optimisation du rendement pondéral.
- Les lipides, compris entre **5 et 10 %**, assurent un apport en acides gras essentiels, contribuant au développement cellulaire et au renforcement du métabolisme énergétique.
- Les glucides, constituant **20 à 30 %** de la ration, servent de source d'énergie principale et permettent d'éviter l'utilisation excessive des protéines à des fins énergétiques.
- Les vitamines et minéraux, dont la vitamine **C**, le zinc et le sélénium, jouent un rôle fondamental dans le renforcement du système immunitaire et la prévention des maladies.

L'évolution des pratiques aquacoles favorise aujourd'hui l'adoption d'alternatives durables aux farines de poisson, notamment les protéines végétales, les farines d'insectes et les sous-produits agricoles, afin de réduire l'impact environnemental de l'élevage tout en maintenant un niveau de croissance optimal **(Ng & Romano, 2013).**

III. Généralités sur les Lentilles d'eau (*Lemna minor*) :

Les lentilles d'eau, appartenant au genre *Lemna,* sont des plantes aquatiques flottantes flottant à la surface des eaux stagnantes ou faiblement courantes. Elles font partie de la famille des Araceae (anciennement Lemnaceae) et sont largement distribuées à travers le monde dans divers écosystèmes aquatiques. Leur croissance rapide, leur capacité à absorber les nutriments et à épurer l'eau, ainsi que leur forte teneur en protéines en font une ressource précieuse en aquaculture **(Leng, 1999)**.

Figure 03 : ***Lemna minor***, une plante aquatique utilisée dans l'alimentation piscicole **(Murray, 2019)**.

III.1. Valeurs nutritionnelles et avantages pour l'aquaculture :

Les lentilles d'eau sont considérées comme une source alternative prometteuse de protéines végétales dans l'alimentation des poissons. Leur composition nutritionnelle dépend des conditions de culture (qualité de l'eau, disponibilité des nutriments), mais elles contiennent généralement :

- Protéines brutes : **25** à **45 %** de la matière sèche, avec un profil en acides aminés équilibré proche de celui du soja **(Appenroth et *al*., 2017)**.
- Lipides : **4** à **7 %**, avec une proportion intéressante d'acides gras polyinsaturés bénéfiques pour la croissance des poissons **(Cheng & Stomp, 2009)**.
- Fibres : **5** à **15 %**, avec une digestibilité élevée chez les poissons omnivores comme le Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*) **(Leng, 1999)**.
- Minéraux : riches en calcium, phosphore, potassium et oligo-éléments essentiels **(Hasan & Chakrabarti, 2009).**

Les avantages des lentilles d'eau en aquaculture sont multiples :

- Alternative durable aux farines de poissons et de soja : leur production ne nécessite ni terres agricoles ni engrais chimiques excessifs, ce qui réduit leur empreinte écologique **(Leng, 1999)**.
- Amélioration de la qualité de l'eau : elles absorbent efficacement les nitrates, phosphates et métaux lourds, contribuant ainsi à l'épuration des bassins aquacoles **(Iqbal, 1999)**.

- Bonne appétence et digestibilité : leur incorporation dans les régimes alimentaires du Tilapia rouge a montré une croissance comparable à celle obtenue avec des sources protéiques conventionnelles **(El-Sayed, 2020)**.
- Coût réduit : leur culture est peu coûteuse et peut être réalisée localement, réduisant ainsi la dépendance aux importations d'aliments pour poissons **(Landolt, 2016)**.

IV. Généralités sur le Moringa (*Moringa oleifera*) :

Le *Moringa oleifera*, souvent appelé « arbre de vie » ou « arbre miracle », est une plante tropicale appartenant à la famille des Moringaceae**.** Originaire de l'Inde, il est aujourd'hui cultivé dans plusieurs régions tropicales et subtropicales en raison de ses nombreuses applications nutritionnelles, médicinales et agricoles **(Anwar et *al.*, 2007)**. En aquaculture, le moringa suscite un intérêt croissant comme alternative aux sources conventionnelles de protéines et comme complément alimentaire pour améliorer la croissance et la santé des poissons **(Gopalakrishnan et *al.*, 2016)**.

Figure 04 : *Moringa oleifera***,** une plante d'intérêt en aquaculture **(Moringa Project, 2022)**.

IV.1. Propriétés nutritionnelles et intérêt écologique :

Les feuilles de *Moringa oleifera* sont particulièrement riches en nutriments, ce qui en fait une ressource précieuse en alimentation animale et aquacole. Leur composition chimique révèle une teneur élevée en protéines, vitamines et minéraux essentiels :

- Protéines brutes : **25** à **30 %** de la matière sèche, avec un profil en acides aminés équilibré, notamment en lysine et méthionine **(Makkar & Becker, 1996)**.
- Lipides : **5** à **10 %**, avec une proportion intéressante d'acides gras insaturés bénéfiques pour la croissance des poissons **(Makkar et *al*., 2007)**.
- Fibres : **10** à **15 %**, contribuant à une meilleure digestion chez les poissons herbivores et omnivores **(Gopalakrishnan et *al*., 2016)**.
- Minéraux : riches en calcium, potassium, fer et magnésium, jouant un rôle clé dans le métabolisme des poissons **(Nouala et *al*., 2006)**.
- Vitamines : contient des niveaux élevés de vitamines **A**, **C** et **E**, qui possèdent des propriétés antioxydantes et immunostimulantes **(Sengupta & Gupta, 1970)**.

Outre ses qualités nutritionnelles, le moringa offre plusieurs avantages écologiques en aquaculture :

- Réduction de la dépendance aux farines de poisson et de soja : une alternative durable et plus accessible dans les pays en développement **(Becker, 2003)**.
- Effet antimicrobien naturel : des études ont montré que les extraits de moringa possèdent des propriétés antibactériennes et antifongiques, réduisant ainsi le risque de maladies dans les bassins aquacoles **(Fahey, 2005)**.
- Amélioration de la qualité de l'eau : les graines de moringa sont connues pour leur capacité de coagulation et de filtration de l'eau, ce qui pourrait être exploité dans les systèmes de recirculation en aquaculture **(Ndabigengesere et *al*., 1995)**.

V. Comparaison entre aliments commerciaux et fabriqués :

L'alimentation en aquaculture repose principalement sur des aliments commerciaux à base de farine de poisson et de soja. Cependant, ces aliments sont souvent coûteux et leur production a un impact environnemental important **(Tacon & Metian, 2008)**. À l'inverse, l'utilisation

d'alternatives végétales comme *Moringa oleifera* et *Lemna minor* offre plusieurs avantages nutritionnels et écologiques, Ce qui en fait une option intéressante pour l'élevage du tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*) **(Makkar & Becker, 1997).**

Tableau 1 : Comparaison entre aliments commerciaux et aliments fabriqués à base de ***Moringa*** *et* ***Lemna*** **.**

Critères	**Aliments commerciaux**	**Aliments fabriqués** ***(Moringa & Lemna***)
Teneur en protéines	**30-45 %** (farine de poisson, soja) **(Hardy, 2010)**.	**25-35 %** (*Moringa*), **35-43 %** (*Lemna*) **(Makkar & Becker, 1997)**.
Digestibilité	Très élevée, facilement assimilable **(NRC, 2011)**.	Bonne, améliorée par traitements thermiques **(Foidl et *al*., 2001)**.
Coût	Élevé en raison de l'importation des matières premières **(Tacon & Metian, 2008)**.	Faible, surtout en production locale **(Nouala et *al*., 2006)**.
Impact environnemental	Surexploitation des ressources halieutiques et déforestation **(Naylor et *al*., 2009)**.	Durable, nécessite moins de ressources **(Kou et *al*., 2018)**.
Teneur en acides gras	Riche en oméga-3 et oméga-6 **(Tacon & Metian, 2008).**	Contient des acides gras essentiels, mais en moindre quantité **(Foidl et *al*., 2001)**.
Effets sur la croissance	Favorise une croissance rapide **(Hardy, 2010).**	Bonnes performances, dépend du taux d'inclusion **(Anwar et *al*., 2007)**.
Effets sur la santé des poissons	Optimisé pour les besoins nutritionnels **(NRC, 2011).**	Améliore l'immunité grâce aux antioxydants et composés bioactifs (*Moringa*) **(Kou et *al.*, 2018).**

L'utilisation d'aliments fabriqués à partir de *Moringa* et *Lemna* permet de réduire les coûts de production, tout en offrant une alternative plus écologique aux farines animales. De plus ces ingrédients apportent des composés bioactifs bénéfiques pour la santé des poissons, améliorant leur résistance aux maladies et optimisant leur croissance **(Kou et *al*., 2018)**. Cependant, des ajustements dans les formulations alimentaires sont nécessaires afin de garantir une digestibilité optimale et une absorption efficace des nutriments **(Makkar & Becker, 1997) .**

Chapitre II

Matériel et Méthodes

I. L'objectif de l'étude :

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet de deux régimes alimentaires distincts, l'un commercial **(AC)**, et l'autre fabriqué **(AF)** à base d'ingrédients naturels tels que la poudre de (*Moringa oleifera)* et la lentille d'eau (*Lemna minor)* sur la croissance et la reproduction du Tilapia rouge *(Oreochromis niloticus*).

À travers cette expérimentation, il s'agira de comparer les performances zootechniques (gain de poids, taux de croissance, indice de conversion alimentaire), les indicateurs biochimiques (teneurs en protéines et lipides dans le muscle) ainsi que les paramètres de reproduction (pondaison, fécondation) chez les individus soumis aux deux régimes.

L'étude vise également à valoriser des ressources alimentaires locales et durables en aquaculture, en vue de proposer des alternatives économiques et écologiques aux aliments commerciaux standards.

II. Présentation de la zone d'étude :

II.1. Description de la région de Relizane :

La wilaya de Relizane, située au nord-ouest de l'Algérie, est un territoire stratégique d'environ **24 000 km²**. Elle est bordée au nord par la wilaya de Aïn Defla, à l'est par Tiaret, au sud par Saïda et à l'ouest par Mascara. Elle se trouve à environ **280 km** au sud-ouest d'Alger, ce qui en fait une région clé en termes de connectivité avec les autres grandes villes du pays **(Figure 05).**

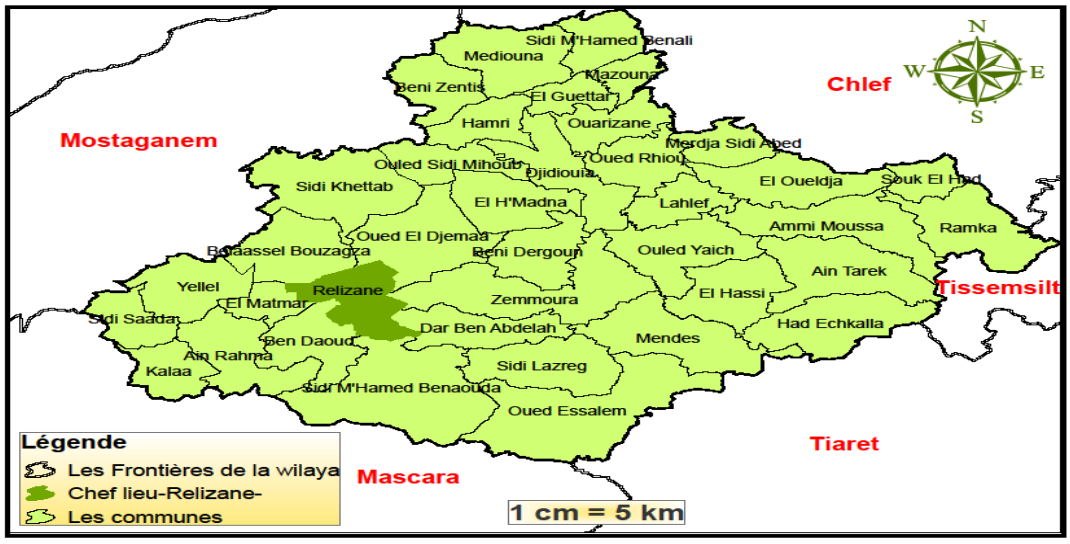


Figure 05 : Carte de répartition administrative de la wilaya de Relizane **(Laghouati, 2024).**

Relizane est traversée par le fleuve Chélif, l'un des plus longs fleuves d'Algérie, qui joue un rôle fondamental dans l'irrigation de la région. Le fleuve Chélif prend sa source dans les montagnes de l'Atlas Tellien et traverse plusieurs wilayas avant de se jeter dans la mer Méditerranée. Cette ressource en eau douce est cruciale pour les activités agricoles et aquacoles de la région, car elle permet de maintenir une irrigation continue dans les zones arides.

La région de Relizane est composée principalement de plaines fertiles, avec une topographie plate à légèrement vallonnée, favorisant l'agriculture. Les sols sont souvent riches en minéraux, Ce qui permet une large diversité de cultures, notamment des céréales, des légumes, et des fruits, mais aussi des activités liées à l'aquaculture grâce à la présence de vastes zones humides et de plans d'eau.

En termes d'écosystème, Relizane bénéficie d'une biodiversité relativement variée grâce à ses diverses zones humides et ses forêts. La région est aussi un lieu important pour la faune, particulièrement les oiseaux migrateurs, qui trouvent refuge dans les marais et les cours d'eau qui la traversent.

Relizane est une région à la fois agricole et aquacole, grâce à sa richesse en ressources en eau douce et à ses sols fertiles qui favorisent la production de divers types d'aliments et d'espèces aquatiques **(Boudjemaa et *al*., 2018)**.

II.2. Situation géographique et climat :

La wilaya de Relizane est située au cœur du bassin méditerranéen, entre les Hauts Plateaux et la côte méditerranéenne. La région bénéficie ainsi d'un climat de type méditerranéen semi-aride, caractérisé par des étés très chauds et secs et des hivers doux et pluvieux **(Figure 06).**

Coordonnées géographiques de la ville de Relizane :

- Latitude : **35.8695° N**.
- Longitude : **1.3340° E**.

La topographie de la région varie entre des zones de plaine et quelques collines, particulièrement dans les zones périphériques du fleuve Chélif. Le climat sec et chaud en été et doux en hiver constitue un facteur déterminant pour les activités aquacoles, car il crée un environnement propice pour l'élevage de poissons tels que le tilapia.

Les températures moyennes en été peuvent atteindre **40 °C**, ce qui fait de Relizane une région idéale pour l'élevage de poissons tolérants à des températures élevées. Les hivers, quant à eux, sont relativement doux, avec des températures moyennes oscillant entre **10 °C et 15 °C**. Ce type de climat permet une activité aquacole toute l'année, avec une gestion attentive de la température de l'eau dans les installations aquacoles.

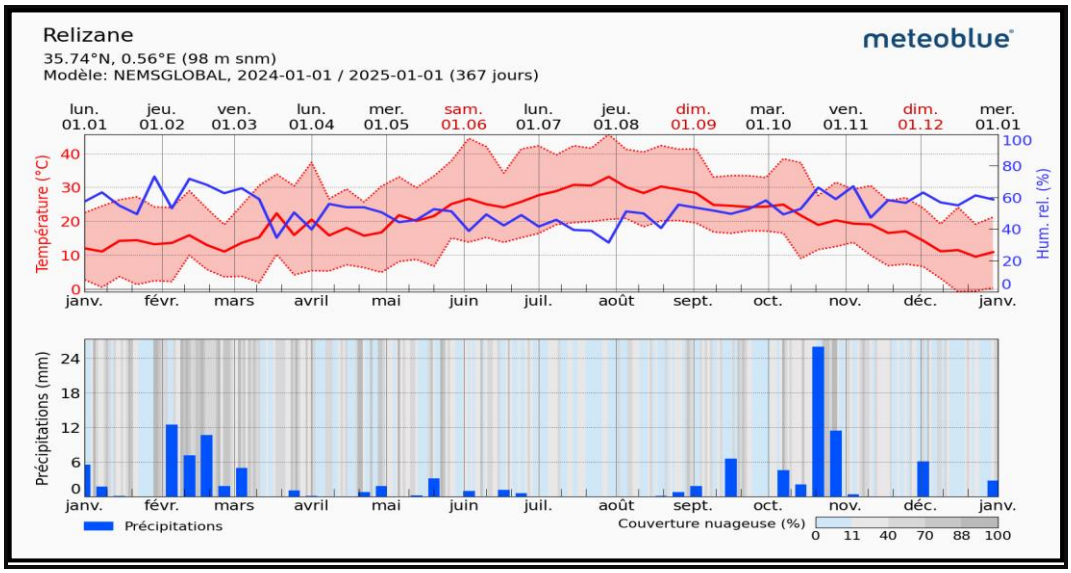


Figure 06 : Évolution climatique de Relizane en **2024** : Température, précipitations et humidité relative **(M.M.N, 2024).**

La précipitation annuelle varie entre **350 mm** et **500 mm**, les pluies étant concentrées en hiver. Cela permet un approvisionnement suffisant en eau pour les cultures et les installations aquacoles, malgré les périodes sèches estivales. En effet, la gestion des ressources en eau, à travers les bassins et canaux d'irrigation, constitue un pilier fondamental du développement des systèmes aquacoles dans la région.

La combinaison de l'eau douce en abondance et du climat méditerranéen sec et chaud fait de la région de Relizane un lieu favorable à l'aquaculture, notamment pour les espèces adaptées à des températures élevées comme le tilapia **(Lounis et *al*., 2016)**.

II.3. Présentation de la ferme aquacole d'Oued El Djemaâ :

La ferme aquacole d'Oued El Djemaâ, située dans la wilaya de Relizane, en Algérie, dispose d'une infrastructure moderne adaptée à l'élevage de plusieurs espèces de poissons.

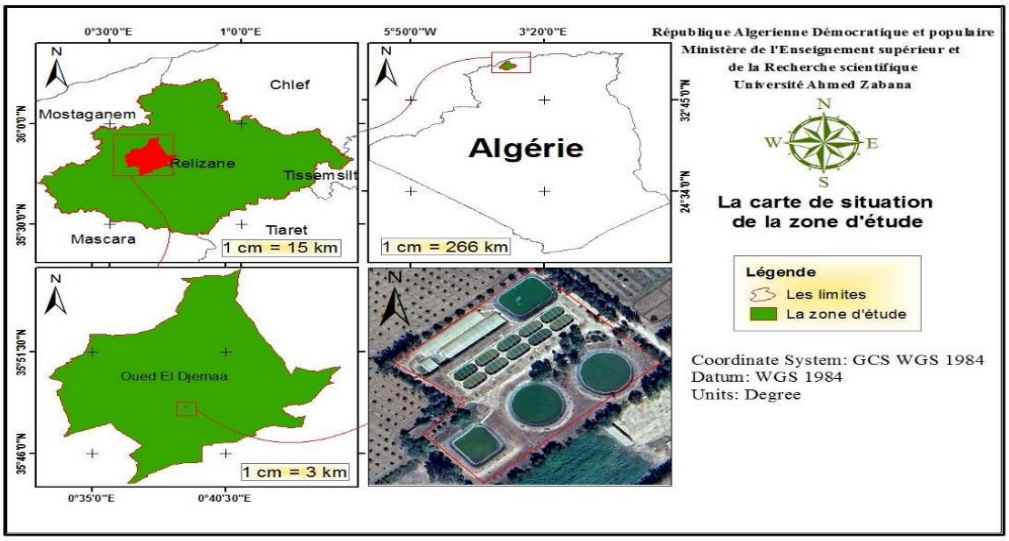


Figure 07 : Carte de situation géographique de la zone d'étude **(Laghouati, 2024).**

Elle comprend un bassin réservoir central de **900 m³**, construit en géomembrane et surélevé à **3 mètres** pour permettre l'alimentation en eau par gravité, éliminant ainsi l'usage de pompes électriques **(Figure 08).**

Figure 08 : Les bassins de la ferme aquacole Oued El Djemaa **(Laghouati, 2024)**.
(A) : Bassin de rejet, **(B)** : Bassin de pré grossissement, **(C)** : Bassin de grossissement, **(D)** : Serres écloserie.

La ferme possède des bassins de grossissement, incluant deux étangs circulaires en géo-membrane d'une capacité totale de **1500 m³**, ainsi que **10** bassins en béton **(Figure 08)** armé pour l'écloserie et le développement des jeunes poissons. De plus, **02** serres multi-chapelles abritent plusieurs bassins destinés à l'incubation et aux premières phases de croissance **(Figure 09).**

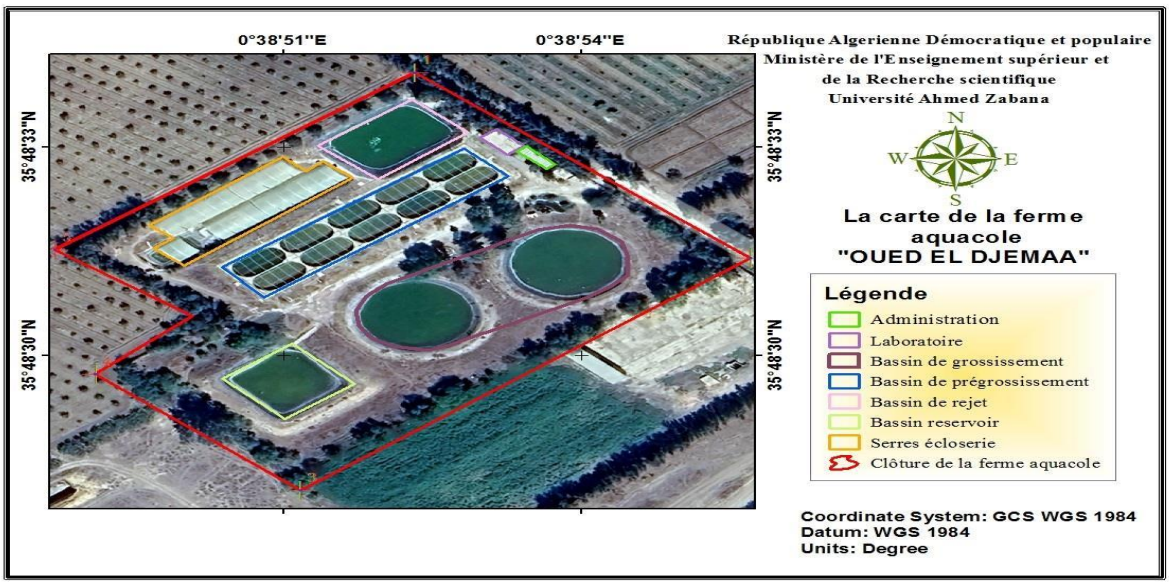


Figure 09 : Carte de description de la ferme aquacole Oued El Djemaa **(Laghouati, 2024).**

Outre le tilapia (spécifiquement le tilapia noir et le tilapia du Nil), la ferme élève également d'autres espèces comme le poisson-chat (*Clarias gariepinus*) et des poissons d'ornement tels que le poisson-coille. Ce large éventail d'espèces permet une gestion diversifiée et adaptée aux différentes demandes du marché.

III. Protocole expérimental :

III.1. Structure des bassins et organisation des aquariums :

L'expérience a été réalisée en utilisant **02** aquariums principaux et un réservoir supplémentaire. Chaque aquarium avait une dimension de **1 m** de longueur, **30 cm** de largeur et **50 cm** de profondeur, offrant ainsi un espace suffisant pour accueillir les poissons. Afin de garantir la fiabilité des résultats, le réservoir supplémentaire a été utilisé pour effectuer des comparaisons et affiner les données obtenues dans les aquariums principaux **(Figure 14).**

Avant d'introduire les poissons, les aquariums ont été soigneusement nettoyés avec du sel pour éliminer toute contamination et assurer une désinfection parfaite. Les vitres ont ensuite été essuyées avec une serviette propre pour garantir une transparence maximale de l'eau. La température de l'eau a été réglée à **27 °C**, et les aquariums ont fonctionné pendant **24 heures** avant l'introduction des poissons, afin de permettre une acclimatation optimale. L'entretien des aquariums a été réalisé régulièrement à l'aide d'un siphon, permettant ainsi de retirer les déchets organiques et de renouveler

partiellement l'eau. Chaque aquarium était équipé de thermostats pour maintenir une température constante à **27 °C**, et des pompes à air ont été installées pour garantir une bonne aération et maintenir la qualité de l'eau **(Figure 10).**

Figure 10 : Équipement essentiels d'un aquarium **(Gadi, 2025).**

III.2. Mise en œuvre et suivi expérimental :

L'expérimentation a été structurée sur une durée totale de **120 jours**, dans le but d'évaluer l'effet comparatif de deux régimes alimentaires un aliment commercial **(AC)** et un aliment fabriqué **(AF)** sur les performances zootechniques et reproductives du Tilapia rouge *(Oreochromis niloticus*).

Au cours des deux premiers mois de l'étude, correspondant à janvier et février, **80** alevins ont été répartis équitablement dans deux aquariums, avec **40** individus par unité. Le poids initial des alevins variait entre **3** et **3,05 g**, pour une biomasse totale comprise entre **120** et **122 g**.

(A) **(B)** **(C)**

Figure 11 : Contrôle de la croissance **(Younes, 2024)**.

(A) et **(B)** : Mesure de la taille des individus, **(C)** : Mesure du poids individuel.

Durant les **10** premiers jours, l'alimentation a été assurée exclusivement par de l'Artémia, distribuée **2** à **3** fois par jour, à raison de **5 %** du poids corporel total. Par la suite, les poissons ont été nourris selon deux régimes distincts :

-Aliment fabriqué (AF) : Ce type d'aliment a été préparé spécialement pour l'expérience. Il a été formulé pour répondre aux besoins nutritionnels spécifiques des poissons en croissance **(Figure 12).**

- **Aliment commercial (AC)** : Un aliment standard disponible sur le marché a été utilisé comme groupe témoin pour comparer l'efficacité de l'aliment expérimental en termes de croissance et de santé des poissons **(Figure 12).**

Administrés à raison de **5 %** du poids corporel, répartis-en **2** à **3** repas quotidiens. L'ajustement des rations a été effectué quotidiennement, en tenant compte du comportement Alimentaire et de la croissance.

(A) **(B)**

Figure 12 : Les deux types d'aliments utilisés pour évaluer la croissance **(Kaid, 2025)**.

(**A**) : Aliment fabriqué (**AF),** (**B**) : Aliment commercial **(AC).**

À la fin de cette première période, les poissons ayant atteint une taille et un poids adéquats ont été conservés dans les mêmes unités expérimentales, réaménagées pour la suite de l'étude.

La seconde phase, menée durant les mois de mars et avril, a porté sur les poissons devenus adultes. Chaque aquarium a été réorganisé pour accueillir **4** individus (**3** femelles et **1** mâle). Les femelles présentaient un poids compris entre **54** et **77 g**, avec une longueur totale de **12,5**

à **18 cm**, tandis que les mâles affichaient un poids variant de **244** à **270 g**, pour une taille allant de **23** à **25 cm**.

Figure 13 : Mesures biométriques des tilapias rouges mâles/femelles (longueur et poids) **(Gadi &Kaid, 2025).**

Figure 14 : Les aquariums **01** et **02** contient les poissons nourris avec L'aliment fabriqué (**AF**) et L'aliment commercial **(AC) (Gadi, 2025).**

Durant cette phase, les poissons adultes ont été nourris selon les mêmes modalités et régimes appliqués aux alevins, assurant ainsi une continuité méthodologique dans le protocole expérimental.

IV. Préparation des aliments :

La préparation des aliments constitue une étape clé dans cette étude, car elle influence directement la qualité de l'aliment destiné aux tilapias (*Oreochromis niloticus*). Le choix des ingrédients et les techniques de préparation ont été soigneusement définis pour garantir un apport nutritionnel optimal qui soutient la croissance et la reproduction des poissons dans des conditions contrôlées. Ce processus implique une sélection minutieuse des ingrédients, un dosage précis des nutriments et l'utilisation d'équipements spécialisés pour garantir l'homogénéité du mélange et la préservation de la qualité nutritionnelle des aliments.

IV.1. Composition de l'aliment fabriqué :

L'aliment fabriqué **(Figure 12)** dans le cadre de cette étude a été conçu pour répondre aux besoins nutritionnels spécifiques du tilapia rouge en optimisant l'apport en protéines, glucides et micronutriments. Sa formulation repose sur une combinaison équilibrée de **80 %** d'ingrédients de base, comprenant principalement la farine de poisson, le maïs et le son de blé. Ces matières premières ont été sélectionnées pour leur apport énergétique et leur digestibilité, garantissant ainsi une croissance optimale et une conversion alimentaire efficace.

Figure 15 : Les ingrédients (lentilles d'eau, moringa, mélange de la farine de poisson , le maïs et le son de blé) d'aliment fabriqué **(AF) (Kaid, 2025).**

À cette base ont été incorporés **10 %** de moringa et **10 %** de lentilles d'eau, des sources naturelles de nutriments essentiels. Le moringa, connu pour sa richesse en acides aminés, vitamines et antioxydants, contribue à renforcer le système immunitaire des poissons et à améliorer leur résistance aux stress environnementaux. Quant aux lentilles d'eau, elles apportent des protéines végétales de haute qualité ainsi que des minéraux favorisant un métabolisme équilibré **(Figure 15).**

Cette formulation a été élaborée en tenant compte des exigences nutritionnelles du tilapia rouge, afin d'assurer un développement harmonieux et une reproduction optimale tout au long de l'expérience.

IV.2. Techniques de préparation et dosage des nutriments :

La préparation des aliments a suivi une méthodologie rigoureuse pour garantir l'efficacité et l'homogénéité du mélange. Dans un premier temps, chaque ingrédient a été mesuré avec une balance de précision pour assurer des proportions exactes.

Les ingrédients de base tels que la farine de poisson, le maïs et le son de blé, ont été broyés à l'aide d'un moulin à farine. Quant au moringa et aux lentilles d'eau **(Figure 15)**, ils ont été broyés manuellement à l'aide d'un mixeur à herbes (ou moulin à main), afin d'obtenir une poudre fine. Après cela, les poudres ont été filtrées pour éliminer les impuretés et garantir la pureté des ingrédients.

Une fois les poudres obtenues, elles ont été soigneusement mélangées pour garantir une répartition homogène des nutriments. Ensuite, de l'eau a été ajoutée progressivement pour former une pâte légèrement humide. Une fois la pâte obtenue, elle a été extrudée à l'aide d'une extrudeuse pour former des granulés de taille uniforme. Ces granulés ont été laissés à sécher naturellement dans l'air libre pendant environ **deux heures**, assurant ainsi la préservation de la qualité nutritionnelle et une bonne conservation **(Figure 16).**

Figure 16 : Fabrication d'aliment fabriqué **(AF) (Gadi, 2025).**

Tableau 02 : Le pourcentage des ingrédients utilisés dans les deux aliments **(AC)** et **(AF).**

Ingrédients	Pourcentage (%) D'aliment (AF)	Pourcentage (%) D'aliment (AC)
Farine de poisson	**25**	**20**
Soja en poudre	**25**	**30**
Maïs en poudre	**15**	**30**
Son de Blé	**15**	**19**
Moringa en poudre	**10**	**/**
Lentilles d'eau en poudre	**10**	**/**
Multivitamines	**/**	**1**

V. Suivi de la croissance et calcul des paramètres zootechniques :

A) Poids moyen initial (Pmi) : Pmi (g) = Biomasse initiale (g) / Nombre initial de poisson.

B) Poids moyen final (Pmf) : **Pmf (g) = Biomasse finale (g) / Nombre final de poisson.**

C) Taux de survie (TS) :

Ce taux a permis de connaître l'effet de la substitution sur la suivie des poissons**.**

TS en **% = (Nombre d'individu en fin d'expérimentation / Nombre d'individu initial) x 100.**

D) Taux d'accroissement en taille (TAT) :

Indique l'augmentation linéaire de la taille corporelle des poissons au cours de l'expérimentation. Dans cette étude, ce taux a été calculé de manière linéaire, en mesurant la différence directe entre la taille moyenne finale et la taille moyenne initiale de chaque période. Formule :

TAT (cm) = Taille finale – Taille initiale.

E) Gain moyen de poids journalier (GMPJ) :

Ce coefficient permet d'évaluer l'efficacité des aliments utilisés sur la croissance des poissons. Il se traduit par la formule suivante :

GMPJ en g/j = Gain de poids / Durée de l'expérimentation.

F) Taux de croissance spécifique (TCS) :

Le **TCS** donne la vitesse instantanée de croissance des poissons. Il s'exprime par la formule suivante **:**

TCS en % / j = [Ln (Pmf (g)) - Ln (Pmi (g))] x 100 / Durée d'expérimentation.

G) Taux de conversion alimentaire (TCA) :

Ce coefficient permet d'évaluer l'efficacité des aliments utilisés pour la croissance des poissons.

TCA = Quantité d'aliment distribuée (g) / Gain de poids (g).

H) Date de ponte :

Correspond à la date où les femelles ont commencé à pondre, indiquant le début de l'activité reproductive.

I) Nombre d'alevins :

Nombre total d'alevins obtenus après éclosion des œufs.

J) Taux de fécondation (TF):

Représente le pourcentage des ovules qui ont été effectivement fécondés après la ponte. C'est un indicateur essentiel de la réussite de la reproduction chez les poissons. Il est calculé par la formule suivante :

Taux de fécondation (%) = (Nombre d'œufs fécondés / Nombre total d'œufs) × 100.

K) Taux d'éclosion :

Mesure le pourcentage des œufs fécondés qui parviennent à éclore pour donner des larves viables. Il traduit l'efficacité de l'incubation et la viabilité embryonnaire. Formule de calcul :

Taux d'éclosion (%) = (Nombre de larves écloses / Nombre d'œufs fécondés) × 100.

VI. Analyses biochimiques (Protéines et Lipides) :

VI.1. Dosage des protéines de la chair du Tilapia :

Le dosage des protéines selon la méthode de Bradford repose sur une réaction colorimétrique utilisant le Bleu de Coomassie **G-250**. Ce colorant interagit avec les résidus basiques des protéines (arginine, lysine, histidine) ainsi qu'avec certains résidus hydrophobes. Lorsqu'il est libre en solution, il est rouge/marron **(λ ≈ 465–470 nm)**, mais en se liant aux protéines, il devient bleu **(λ max = 595 nm)**. L'intensité de la coloration bleue est proportionnelle à la concentration en protéines. Cette méthode est simple, rapide et sensible pour le dosage protéique **(Bradford, 1976)**.

VI.1.1. Mode opératoire :

✓ Préparation de la solution d'**EDTA 0,02 M : 7,4448 g** d'**EDTA** sont dissous dans de l'eau distillée, puis le volume est ajusté à **1 litre.**

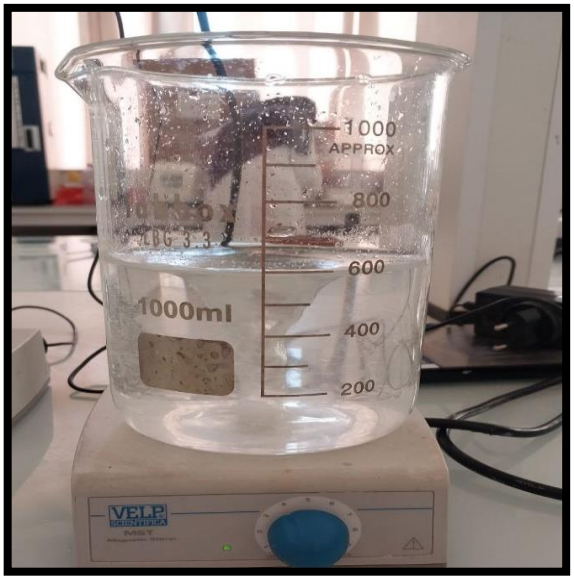
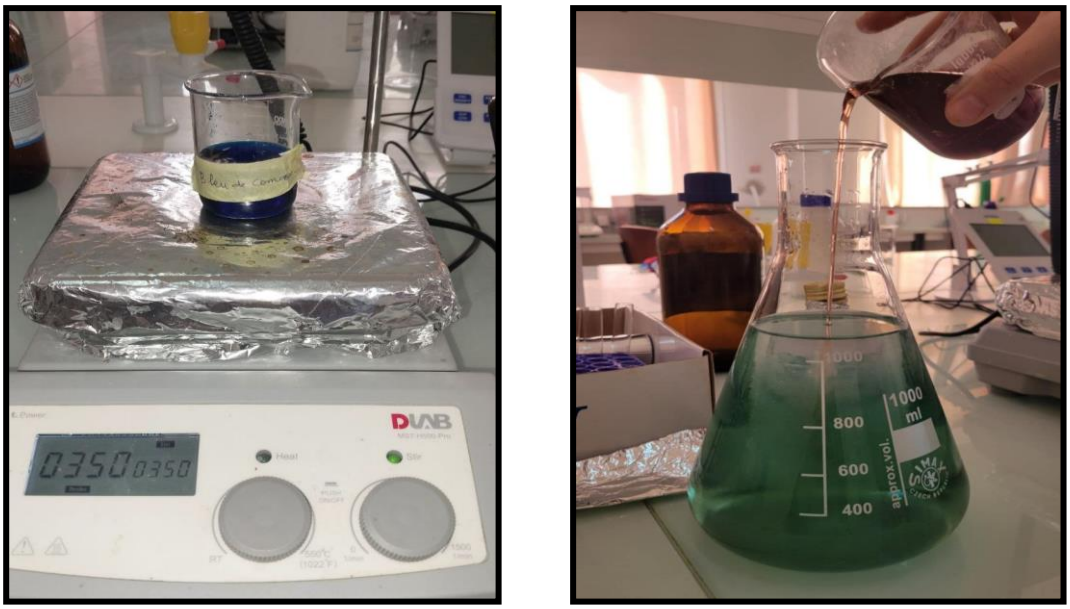


Figure 17 : Préparation du solution d'**EDTA** sous agitation magnétique chauffante **(Gadi, 2025)**.

✓ Préparation du réactif de Bradford : **0,1 g** de Bleu de Coomassie **G-250** est dissous dans **50 ml** d'éthanol **(95 %)** sous agitation pendant **2 h**, puis on ajoute **100 ml** d'acide orthophosphorique **(85 %)** et on complète à **1 litre** avec de l'eau distillée. La solution est filtrée et conservée à **4 °C** à l'abri de la lumière.

(A) **(B)** **(C)**

Figure 18 : Composants de base pour la préparation du colorant : **(A)** bleu de Coomassie, **(B)**éthanol et **(C)** acide orthophosphorique. **(Kaid, 2025).**



(A) **(B)**

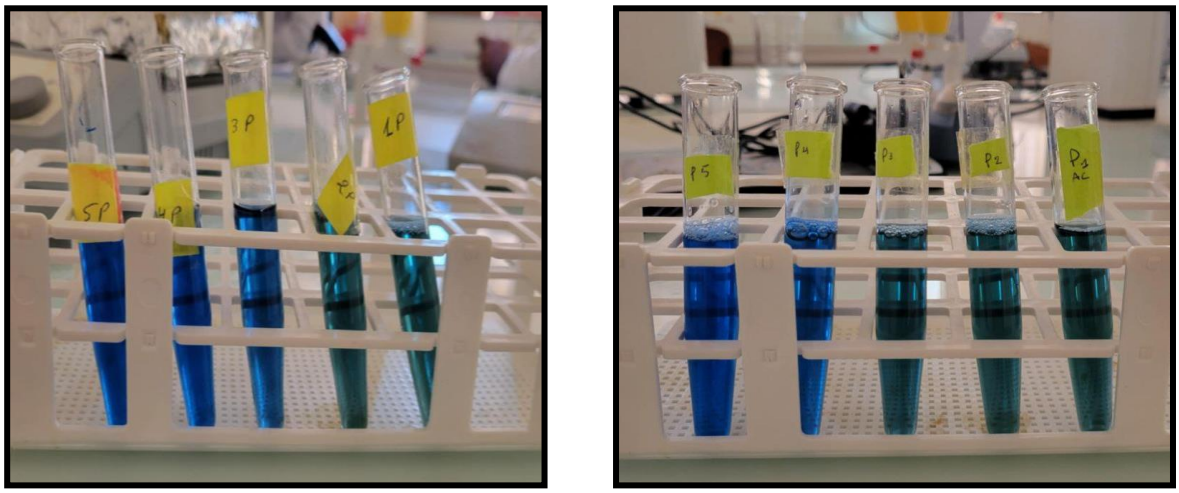
Figure 19 : Processus d'élaboration de la solution colorante : **(A)** Agitation du mélange Ethanol –bleu de Coomassie suivie de :**(B)** l'incorporation de l'acide orthophosphorique **(Gadi, 2025)**.

✓ Préparation de l'homogénat : **200 mg** de tissu musculaire congelé (prélevé sur deux individus, un par régime alimentaire) sont homogénéisés dans un mortier avec **8 ml** de solution d'**EDTA**. Le broyage est effectué dans un bain de glace pour éviter la dénaturation des protéines.

(A) **(B)** **(C)**

Figure 20 : Étapes de préparation de l'échantillon musculaire d'*Oreochromis niloticus* pour l'analyse biochimique : **(A)** prélèvement, **(B)** broyage et **(C)** filtration **(Kaid, 2025)**.

✓ Dosage : **0,1 ml** de l'homogénat est prélevé et mélangé à **5 ml** de réactif de Bradford. Le mélange est agité puis incubé pendant **5 minutes** à température ambiante.



(A) **(B)**

Figure 21 : Visualisation comparative de la coloration obtenue selon les concentrations de protéines après l'ajout du réactif de Bradford, dans les échantillons des groupes

(A) aliment fabriqué (**AF)** et **(B)** aliment commercial (**AC) (Gadi, 2025)** .

✓ Lecture de l'absorbance à **595 nm** à l'aide d'un spectrophotomètre, en utilisant un blanc comme référence.

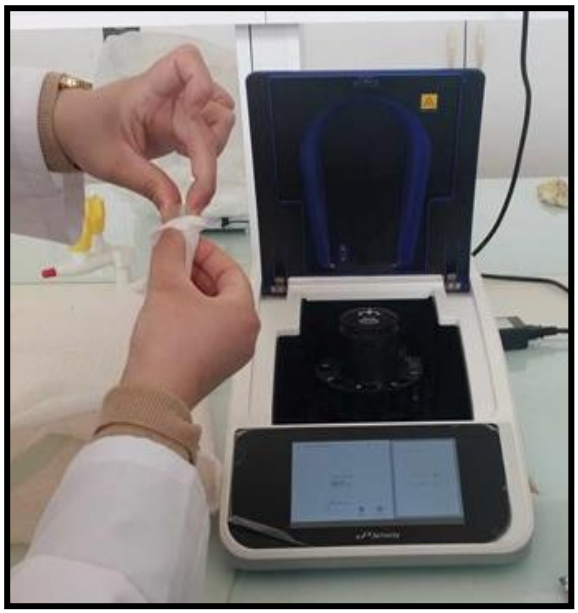


Figure 22 : Lecture de l'absorbance à **595 nm** à l'aide d'un spectrophotomètre **Jenway 7410 (Kaid, 2025)**.

✓ La concentration en protéines est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage **(Annexe 01)** préparée avec de l'albumine **(BSA)** à **1 mg/ml** traitée dans les mêmes conditions.

Calcul :

La concentration en protéines **(mg/ml)** est déduite directement de la courbe d'étalonnage en fonction de l'absorbance lue à **595 nm**. Les résultats sont exprimés en **mg** de protéines par **g** de tissu frais.

VI.2. Dosage des lipides de la chair du Tilapia :

VI.2.1. Extraction par la méthode de Soxhlet :

Tous les réactifs doivent être de qualité analytique reconnue. L'eau utilisée doit être de l'eau distillée, les seuls réactifs utilisés sont l'oxyde di-éthylique, et le sulfate de sodium anhydre. La méthode normalisée de Soxhlet **(AOAC, 1990) (Annexe 02)** est une méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse qui utilise une extraction à reflux dans un montage généralement en verre, où l'échantillon préalablement broyé est placé dans une cartouche de

cellulose, elle-même placée dans un tube rempli de solvant. L'appareil utilisé est l'extraction de type Soxhlet avec la cartouche d'extraction **(Figure 23)**.

Figure 23 : Extracteur Soxhlet **(Kaid, 2025).**

VI.2.1.1. Mode opératoire :

✓ Ouverture des robinets est nécessaire afin d'éliminer la pression d'eau.

✓ Montage des accessoires indispensables pour l'extraction, à savoir les siphons, les cartouches et les ballons.

✓ Une fois fait, on verse dans chaque siphon **200 ml** du solvant d'extraction : l'hexane.

✓ On met en marche l'appareil et on ajuste la température à **100 °C**, et une fois que l'hexane, qui se trouve à l'intérieure des ballons est atteint son point d'ébullition, on baisse la température à **60 °C**.

✓ Laissés refroidir les ballons à température ambiante.

✓ Passés à l'évaporateur rotatif pendant **20 min** à une température entre **40** et **60 °C**, afin d'évaporer l'hexane et récupérer uniquement la matière grasse.

✓ Une fois refroidi à température ambiante, les ballons sont pesés à l'aide d'une balance analytique, et l'extrait final est mis dans des flacons en obscurité.

Calcul :

La teneur en matière grasse totale de l'échantillon est calculée ainsi :

$$\textbf{Matière grasse \%} = 100 \times (M2 - M0) / M1$$

M0 : *Masse en gramme du ballon vide,* ***M1 :*** *Masse en gramme de la prise d'essai,* ***M2*** *: Masse en gramme de ballon après extraction et séchage.*

VI.2.2. Extraction par la méthode de Folch (1957) :

L'extraction des lipides a été réalisée selon la méthode classique de **Folch et *al*. (1957),** en utilisant un mélange de solvants organiques polaire et apolaire **(Annexe 02)**.

VI.2.2.1. Protocole expérimental :

- ✓ Peser **1 g** de tissu musculaire homogénéisé dans un tube propre et sec.
- ✓ Ajouter **20 ml** d'un mélange chloroforme/méthanol et homogénéiser vigoureusement à l'aide d'un vortex pendant **1** à **2 minutes**.
- ✓ Laisser reposer ou centrifuger à **3000 tr/min** pendant **10 minutes** pour séparer les phases.
- ✓ Ajouter environ **4 ml** d'eau distillée ou de solution saline **(NaCl 0,9 %)** pour favoriser la séparation biphasique.
- ✓ Récupérer soigneusement la phase organique (inférieure), contenant les lipides extraits.
- ✓ Évaporer le solvant à l'étuve **(60 °C)** ou sous vide jusqu'à séchage complet.
- ✓ Peser le résidu lipidique à l'aide d'une balance analytique.

Calcul :

Teneur en lipides (%) = (Masse de l'échantillon (g)/Masse des lipides (g))×100.

VI.2.3. Extraction par la méthode de Wolff et Castera-Rossignol (1987) :

Dans la méthode de Wolff et Castera-Rossignol **(1987)**, les lipides sont extraits avec le mélange solvant hexane/isopropanol **(Annexe 02)**.

VI.2.3.1. Mode opératoire :

- ✓ Un échantillon de **100 g** est mélangé avec (**200 ml** d'Isopropanol + **200 ml** d'Hexane).
- ✓ Une macération à froid pendant **24h** à une température ambiante **(25 °C)**.
- ✓ Filtration sous vide d mélange**.**
- ✓ Une évaporation de la solution afin de récupérer les lipides du solvant par un rot à vapeur.

Calcul :

La teneur en matière grasse totale de l'échantillon est calculée ainsi :

$$\textbf{Matière grasse \%} = 100 \times (M2 - M0) / M1$$

$M0$ *: Masse en gramme du ballon vide,* $M1$ *: Masse en gramme de la prise d'essai,* $M2$ *: Masse en gramme de ballon après extraction et séchage.*

VII. L'analyse des données :

L'analyse des données a été effectuée à l'aide du logiciel Excel **(version 2021)**, en calculant les moyennes, les variances, et en appliquant le test du **Khi²** pour l'évaluation statistique des résultats **(Annexe 03)**.

Chapitre III

Résultats et Discussion

I. Paramètres de Croissance :

Les performances zootechniques du Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus)* ont été suivies sur une période expérimentale de quatre mois, répartie en deux phases de **60 jours** chacune : la première dédiée aux alevins, la seconde aux adultes issus du même élevage. Deux régimes alimentaires ont été testés aliment commercial **(AC)** et aliment fabriqué (**AF)**.

Le **Tableau 03** présente une synthèse des principaux paramètres de croissance et de reproduction mesurés chez les alevins et les adultes, incluant le poids, la taille, le **(GMPJ)**, le **(TCS)**, le **(TCA)**, ainsi que les indicateurs de reproduction (date de ponte, nombre d'alevins, taux de fécondation et d'éclosion).

Tableau 03 : Synthèse comparative des paramètres zootechniques des alevins et des adultes d'*Oreochromis niloticus* soumis à deux régimes alimentaires aliment commercial **(AC)** et aliment fabriqué **(AF)**.

Paramètre	Alevins		Adultes	
	(AC)	(AF)	(AC)	(AF)
Taux de survie (%)	82,5	97,5	75	100
Poids initial (g)	3	3,05	109	129,5
Poids final moyen (g)	22,6	26,54	127,53	160,58
Taille initiale (cm)	2	2	—	—
Taille finale (cm)	7,5	11	18	21
Biomasse initiale (g)	120	122	436	518
Biomasse finale (g)	746	1035	510,12	642,32
Gain moyen de poids (g)	19,6	23,49	18,53	31,08
Gain moyen de poids journalier (g/j)	0,33	1,1	1,23	2,07
Taux de croissance spécifique (%)	1,22	1,78	1,8	2,3
Taux de conversion alimentaire (g)	2,49	0,7	3	2,1
Date de ponte	—	—	Jour 40	Jour 30
Nombre d'alevins	—	—	45	86
Taux de fécondation (%)	—	—	8,6	15,8
Taux d'éclosion (%)	—	—	60	85,1

I.1. Taux de Survie :

Le taux de survie du Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*) a été évalué tout au long des deux phases expérimentales. Chez les alevins **(Figure 24)**, il a été déterminé après chaque pesée lors des contrôles successifs. Les résultats montrent un taux de survie satisfaisant, atteignant **97,5 %** dans le groupe nourri avec l'aliment fabriqué **(AF)**, contre **82,5 %** dans le groupe témoin **(AC)**.

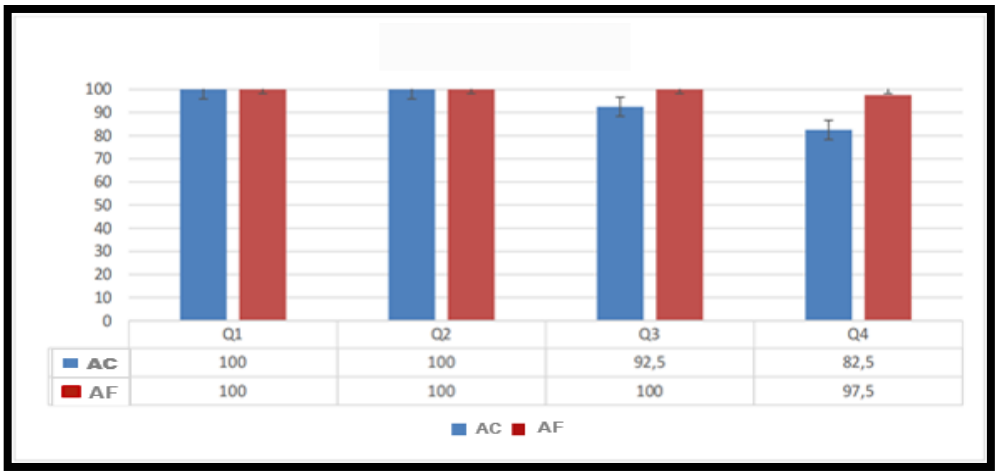


Figure 24 : Variations du taux de survie des alevins **(%)** *Oreochromis niloticus* en fonction de deux types d'aliments.

Chez les adultes **(Figure 25)**, un suivi similaire a été réalisé à chaque étape de contrôle. À la fin de l'expérimentation, un taux de survie de **100 %** a été enregistré dans le groupe **(AF)**, tandis que le groupe **(AC)** a présenté un taux réduit de **75 %**. Ces données traduisent une meilleure résistance et adaptation des poissons nourris avec le régime fabriqué **(AF)**.

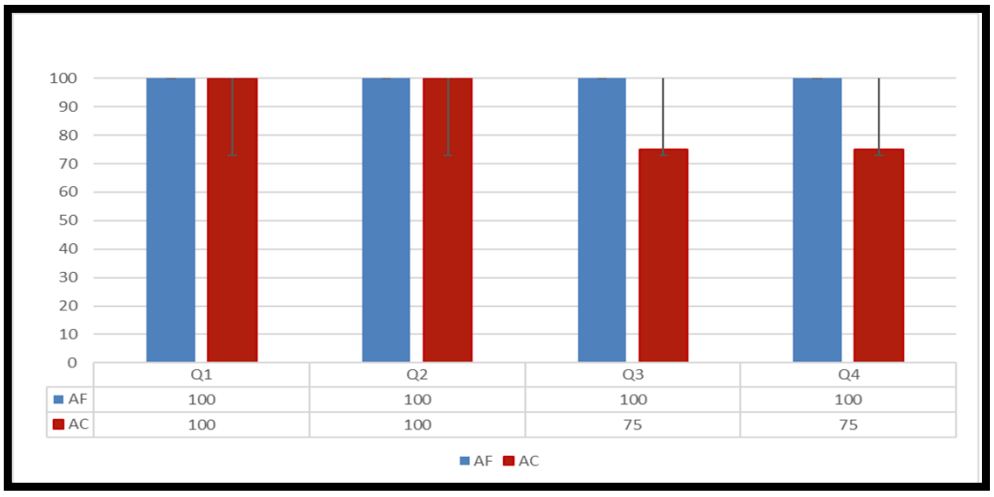


Figure 25 : Variations du taux de survie des adultes **(%)** *Oreochromis niloticus* en fonction de deux types d'aliments.

I.2. Poids Moyen :

Le poids moyen d'*Oreochromis niloticus* a été suivi tout au long des deux phases expérimentales. Chez les alevins, les poids initiaux étaient de **3 g** pour le lot recevant l'aliment commercial **(AC)** et de **3,05** g pour celui nourri avec l'aliment fabriqué **(AF)**.

À la fin de cette phase, les poids moyens ont atteint respectivement **22,6 g** pour **(AC)** et **26,54 g** pour **(AF)**, avec un gain moyen de poids de **19,6 g** pour **(AC)** et **23,49 g** pour **(AF)** (**Tableau 03**). L'évolution du poids s'est révélée similaire au départ entre les deux régimes, mais une croissance plus marquée a été observée dès la première quinzaine chez les poissons nourris avec le régime fabriqué (**Figure 26**).

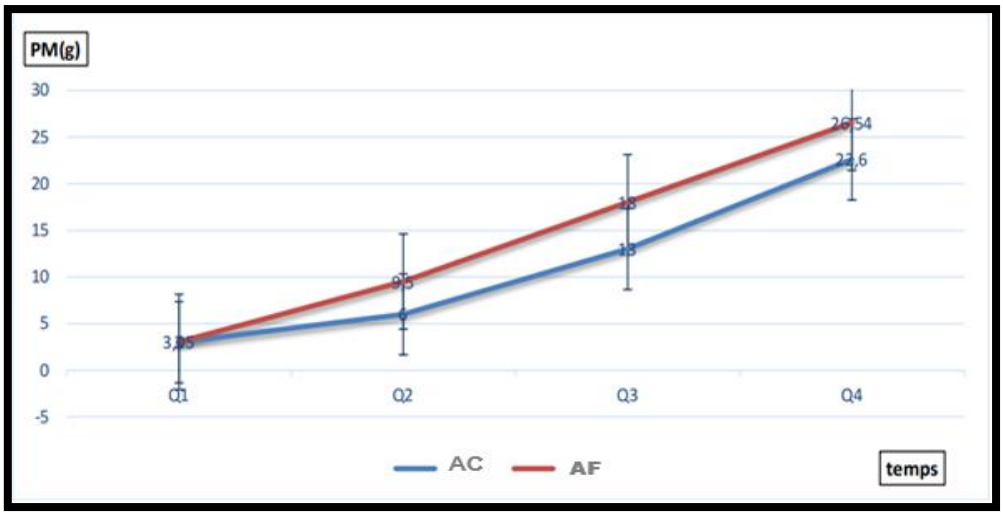


Figure 26 : Variations du poids moyen des alevins *Oreochromis niloticus* durant la période d'étude.

Dans la phase adulte, l'évolution du poids moyen des Tilapia rouges montre une nette différence entre les deux groupes alimentaires au cours des quatre quinzaines de l'expérimentation. Les poissons nourris avec l'aliment fabriqué **(AF)** présentent des valeurs plus élevées et une progression constante, passant de **137 g à 160,58 g** entre **Q1** et **Q4**. En comparaison, ceux nourris avec l'aliment commercial **(AC)** enregistrent une croissance plus faible, avec des poids allant de **114 g à 127,53 g** sur la même période.

Cette dynamique, illustrée dans la **Figure 27**, reflète l'effet positif et soutenu du régime fabriqué sur la croissance pondérale, tant chez les alevins que chez les adultes.

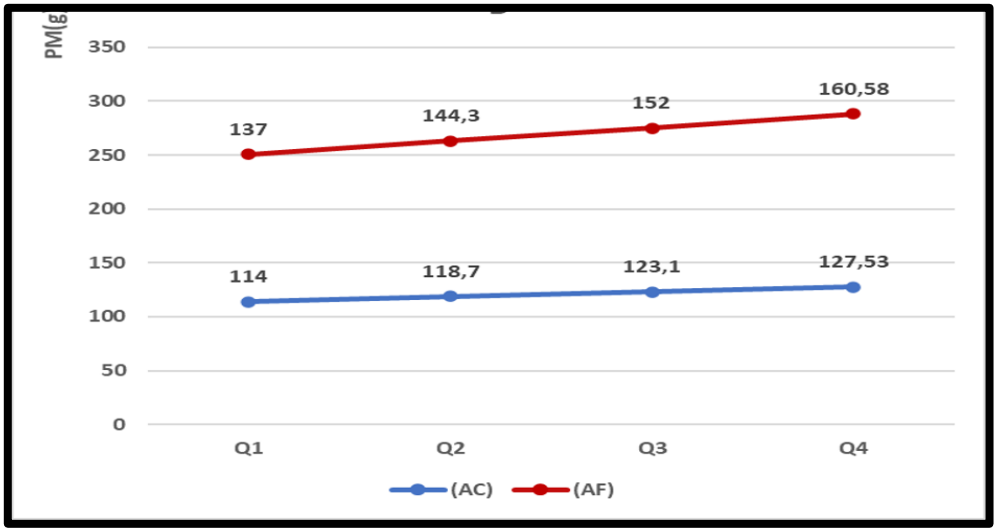


Figure 27 : Variations du poids moyen des adultes *Oreochromis niloticus* durant la période d'étude.

I.3. Taux de Croissance Spécifique (TCS) :

Le taux de croissance spécifique **(TCS)** a été évalué tout au long de l'expérimentation pour les deux stades de développement. Chez les alevins **(Figure 28)**, les résultats montrent une évolution globalement similaire entre les régimes testés, avec des différences significatives selon les périodes.

Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au cours des première et deuxième quinzaine, atteignant **5,62 %** pour le groupe **(AF)** et **2,81 %** pour le groupe **(AC)**. À l'inverse, les taux les plus faibles ont été observés en **Q3 (1,59 %** pour **(AF))** et en **Q4 (1,22 %** pour **(AC))**. La moyenne globale du **(TCS)** était de **3,49 %** pour **(AF)** contre **3,36 %** pour **(AC)**.

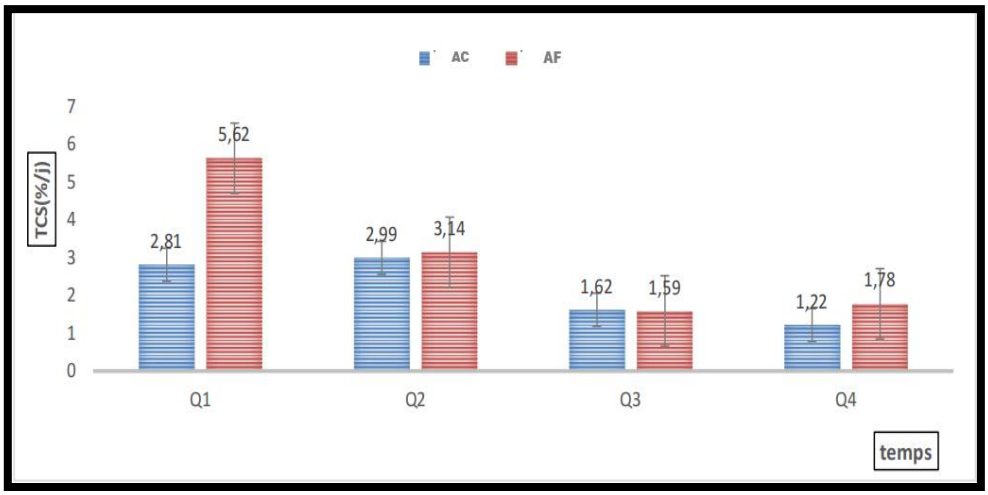


Figure 28 : Variations du taux de croissance spécifique **(TCS)** des alevins *d'Oreochromis niloticus.*

Chez les adultes (**Figure 29),** Variations du taux de croissance spécifique **(TCS)** des adultes *d'Oreochromis niloticus* une évolution progressive et différenciée du **(TCS)** a été observée entre les deux groupes. Le groupe **(AF)** démarre avec une valeur élevée de **3,50 %** au **Q1**, contre **2,80 %** pour **(AC)**. Une légère baisse s'observe au fil des périodes pour les deux régimes : **3,10 %** (**AF**) et **2,40 % (AC)** au **Q2**, **2,60 % (AF)** et **2,00 % (AC)** au **Q3**, puis **2,30 % (AF)** et **1,80 % (AC)** en **Q4**.

Cette dynamique confirme un rythme de croissance plus stable et plus soutenu chez les poissons nourris avec l'aliment fabriqué, tandis que le régime commercial montre une décroissance progressive des performances.

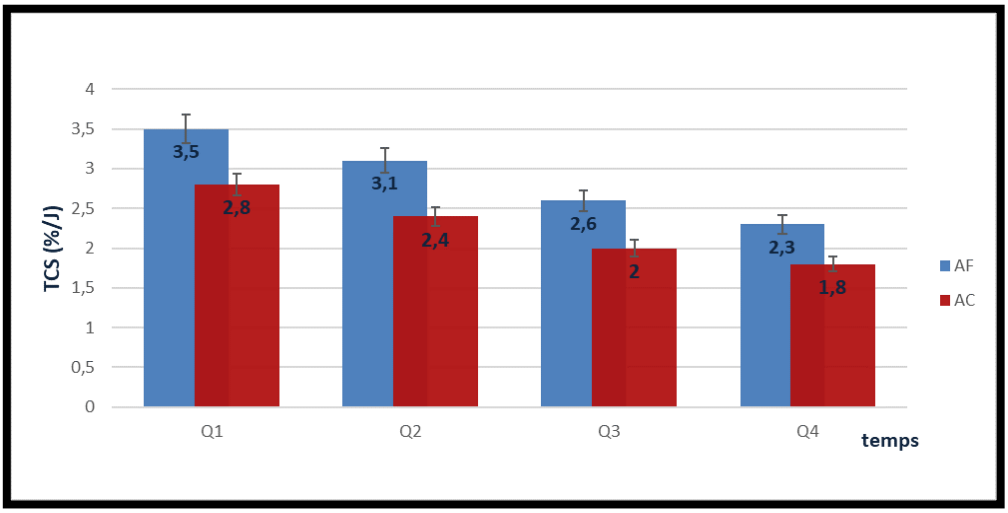


Figure 29 : Variations du taux de croissance spécifique (**TCS**) des adultes *d'Oreochromis niloticus.*

I.4. Gain moyen du poids journalier (GMPJ) :

Le gain moyen de poids journalier **(GMPJ)** a été suivi tout au long de l'expérimentation afin d'évaluer l'efficacité des deux régimes alimentaires testés. Chez les alevins, les résultats montrent une variation du **(GMPJ)** entre **0,33 g/j** pour le groupe commercial **(AC)** et **1.1 g/j** pour le groupe fabriqué **(AF)** (**Tableau 03**).

La valeur la plus faible a été enregistrée durant la première quinzaine avec **0,15 g/j** pour **(AC)** et **0,2 g/j** pour **(AF)** (**Figure 31**). Deux pics significatifs ont été observés chez les poissons nourris avec **(AF)**, atteignant **0,89 g/j** et **1,1 g/j** respectivement aux deuxièmes et quatrièmes quinzaines. Chez **(AC),** le **(GMPJ)** maximal a été noté en troisième quinzaine avec **0,68 g/j**.

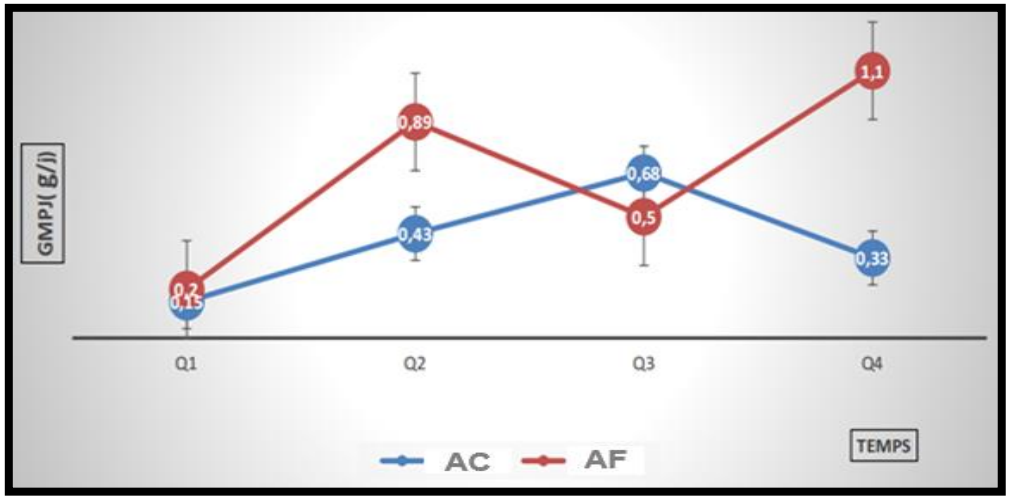


Figure 30 : Variations du gain moyen de poids journalier **(GMPJ)** des alevins *d'Oreochromis niloticus.*

Chez les adultes **(Figure 31)**, le régime **(AF)** a permis d'obtenir un **(GMPJ)** constamment supérieur à celui du régime **(AC)** durant les quatre périodes d'évaluation. Lors de la première période **(Q1)**, le **(GMPJ)** était de **1,6 g/j** pour le régime **(AF)**, contre **1 g/j** pour le régime **(AC)**. Ce différentiel s'est accentué au **Q2** avec une valeur de **1,85 g/j** pour **(AF)** contre **1,15 g/j** pour **(AC)**. En **Q3**, le régime **(AF)** a atteint **2 g/j**, tandis que **(AC)** a enregistré **1,2 g/j**.

Enfin, au **Q4**, la tendance s'est maintenue avec un **(GMPJ)** de **2,07 g/j** pour **(AF)**, contre **1,23 g/j** pour **(AC)**. Ces résultats illustrent la supériorité du régime fabriqué **(AF)** en matière de croissance pondérale journalière chez les adultes.

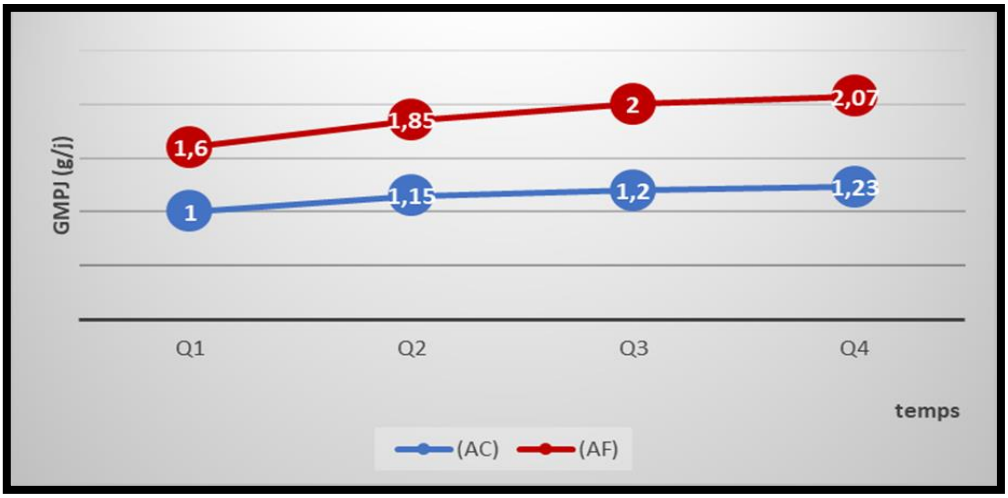


Figure 31 : Variations du gain moyen de poids journalier **(GMPJ)** des adultes *d'Oreochromis niloticus.*

I.5. Taux de conversion alimentaire (TCA) :

Le taux de conversion alimentaire **(TCA)** des poissons nourris avec le régime fabriqué s'est révélé significativement meilleur que celui enregistré chez les poissons recevant le régime **(AF)**. En effet, le **(TCA)** du lot témoin est de **2.49 g**, tandis que celui du lot fabriqué est de **0.7g** (**Tableau 03**).

Toutefois, l'analyse des variations temporelles du **(TCA)** n'indique aucune différence significative. Chez le lot commercial, les valeurs oscillent entre **0,7 g** au cours de la quatrième quinzaine et **3,3 g** durant la troisième quinzaine. Pour le lot fabriqué, le **(TCA)** varie de **1,35 g** (**3e quinzaine**) à un maximum de **5,78 g** (**2e quinzaine**) (**Figure 32**).

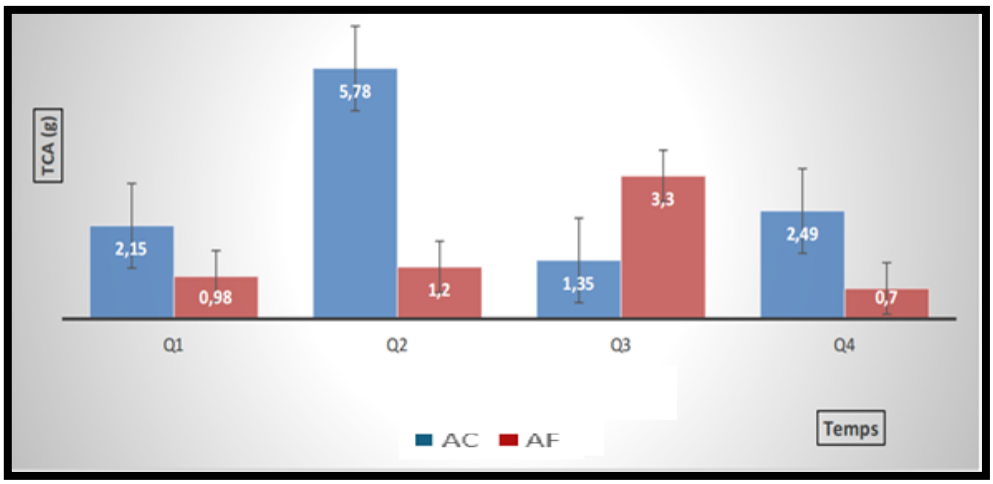


Figure 32 : Variation du taux de conversion alimentaire **(TCA)** des alevins d'*Oreochromis niloticus.*

Chez les adultes (**Figure 33**), les résultats montrent que le **(TCA)** des poissons nourris avec le régime fabriqué **(AF)** est globalement meilleur que celui du régime commercial **(AC)**. En **Q1**, les valeurs sont de **2.9 g** pour **(AF)** et **4.1 g** pour **(AC)**. En **Q2**, le **TCA** est de **2.6 g** pour **(AF)** contre **3.7 g** pour **(AC)**. En **Q3**, **(AF)** enregistre un **(TCA)** de **2.3 g**, tandis qu'**(AC)** atteint **3.3 g**.

Enfin, en **Q4**, le **(TCA)** est de **2.1 g** pour **(AF)** contre **3 g** pour **(AC)**. Ces données mettent en évidence une tendance constante à une meilleure conversion alimentaire avec le régime **(AF)**, bien que les variations temporelles ne montrent pas toujours de différences significatives marquées.

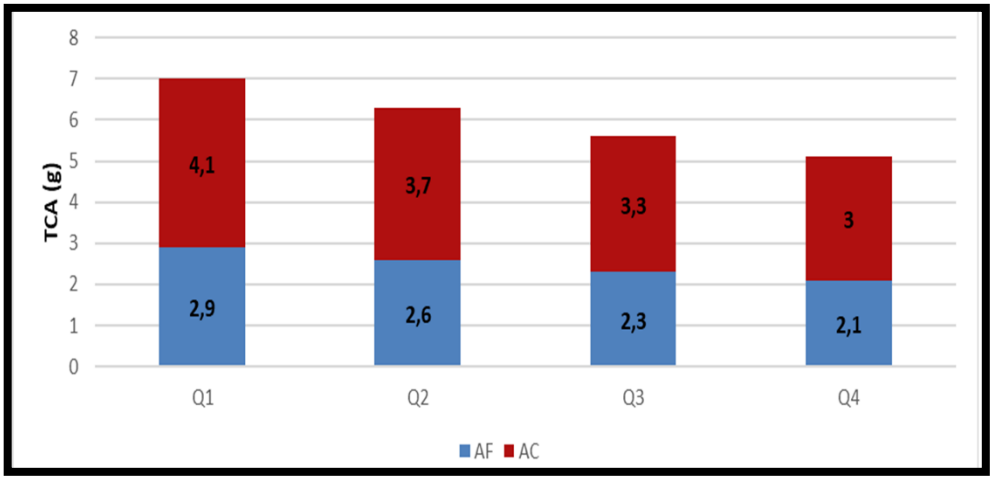


Figure 33 : Variation du taux de conversion alimentaire **(TCA)** des adultes *d'Oreochromis niloticus*.

I.6. Taille moyenne :

Dès le début de l'expérimentation, une différence de taille moyenne a été observée entre les deux groupes d'adultes d'*Oreochromis niloticus*, avec un avantage net pour le régime fabriqué **(AF).** Cette différence s'est maintenue tout au long des quatre périodes, le groupe **(AF)** atteignant une moyenne de **18,23 cm** au **Q4**, contre **16,43 cm** pour le groupe **(AC)**.

L'évolution progressive observée reflète l'effet bénéfique du régime (**AF)** sur la croissance en longueur des poissons.

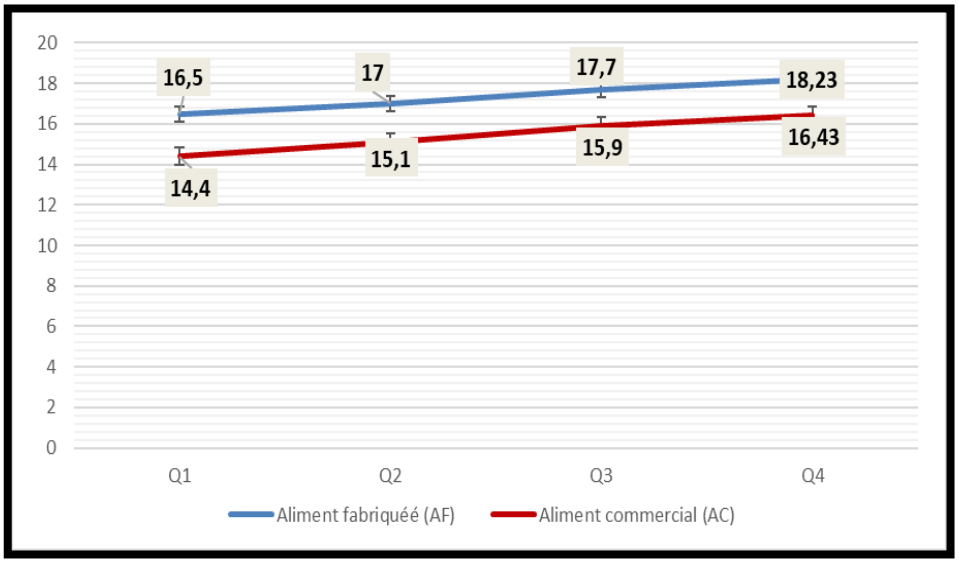


Figure 34 : évolution de la taille moyenne des *Oreochromis niloticus* durant l'expérimentation.

I.7. Le nombre d'alevins :

Le régime **(AF)** présente un nombre d'alevins plus élevé, avec une valeur de **86**, tandis que le régime **(AC)** affiche un nombre d'alevins de **45**.

Ce graphique **(Figure 35)**. Met en évidence une différence significative dans la production d'alevins entre les deux régimes, suggérant une meilleure performance du régime **(AF)** en termes de reproduction ou de survie des jeunes poissons.

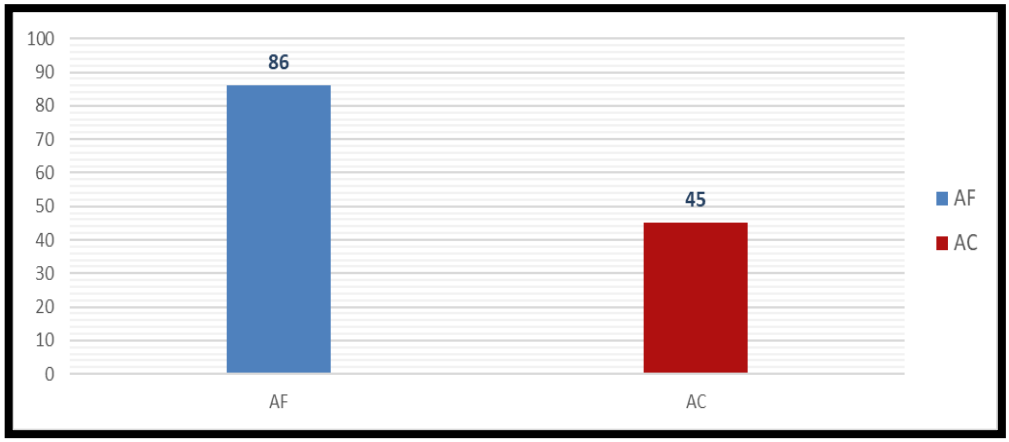


Figure 35 : Le nombre d'alevins d'*Oreochromis niloticus* obtenus avec les deux régimes.

I.8. Taux de fécondation et taux d'éclosion :

Le taux de fécondation est de **15,80 %** pour le groupe **(AF)** et de **8,50 %** pour le groupe **(AC)**. En ce qui concerne le taux d'éclosion, le groupe **(AF)** affiche un taux de **85,10 %**, tandis que le groupe **(AC)** présente un taux de **60 %**. Ces résultats indiquent que le groupe **(AF)** a de meilleures performances tant au niveau de la fécondation que de l'éclosion par rapport au groupe **(AC)**.

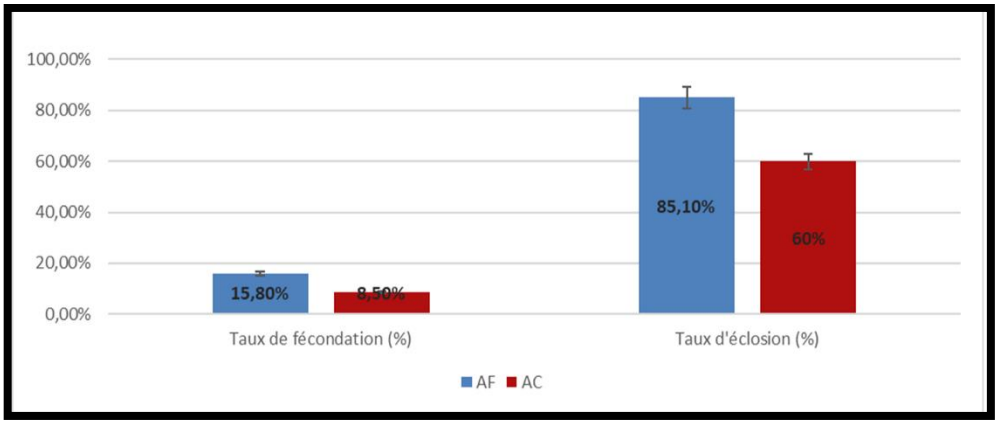


Figure 36 : variations du taux de fécondation et d'éclosion des adultes d'*Oreochromis niloticus.*

II. Résultats des analyses biochimique :

II.1. Comparaison des teneurs en protéines musculaires :

Les teneurs en protéines des deux types d'aliments ont été évaluées à partir de cinq échantillons. Les résultats obtenus montrent que l'aliment fabriqué (**AF**) présente des concentrations en protéines légèrement plus élevées que l'aliment commercial **(AC)** dans l'ensemble des échantillons testés.

Cette différence devient plus marquée à partir du quatrième échantillon, où l'**(AF)** atteint **0,91 mg/ml** contre **0,66 mg/ml** pour l'**(AC)**. À la cinquième mesure, les concentrations sont respectivement de **1,25 mg/ml** pour l'**(AF)** et de **1,08 mg/ml** pour l'**(AC)**. Ces valeurs indiquent une meilleure teneur protéique globale dans l'aliment fabriqué.

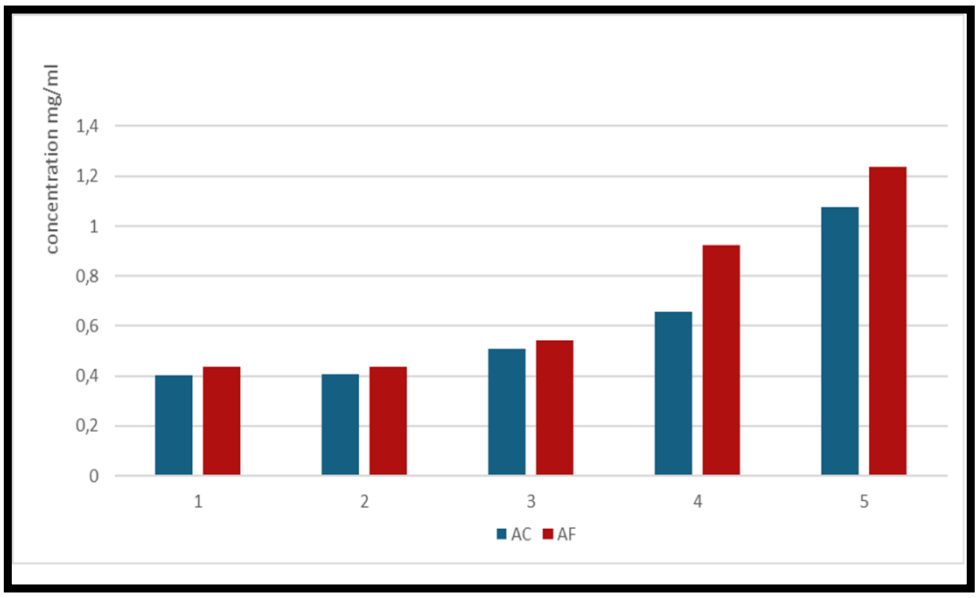


Figure 37 : Comparaison des teneurs en protéines musculaires chez *Oreochromis niloticus* nourris avec un **(AC)** et un **(AF).**

II.2. Comparaison des teneurs en lipides musculaires :

La comparaison des teneurs en lipides extraites selon trois méthodes (Floch, Wolff et Soxhlet) **(Annexe 02)** révèle une différence marquée entre les deux types d'aliments testés. L'aliment fabriqué **(AF)** présente systématiquement des taux plus élevés que l'aliment commercial **(AC),** quelle que soit la méthode utilisée.

Par la méthode de Floch, la teneur en lipides de l'**(AF)** atteint environ **7,3 %**, contre **4,2 %** pour l'**(AC)**. Avec la méthode de Wolff, on observe **6,9 %** pour l'**(AF)** et **3,8 %** pour l'**(AC)**. Enfin, la méthode de Soxhlet donne **6,7 %** pour l'**(AF)** contre **3,5 %** pour l'**(AC)**.

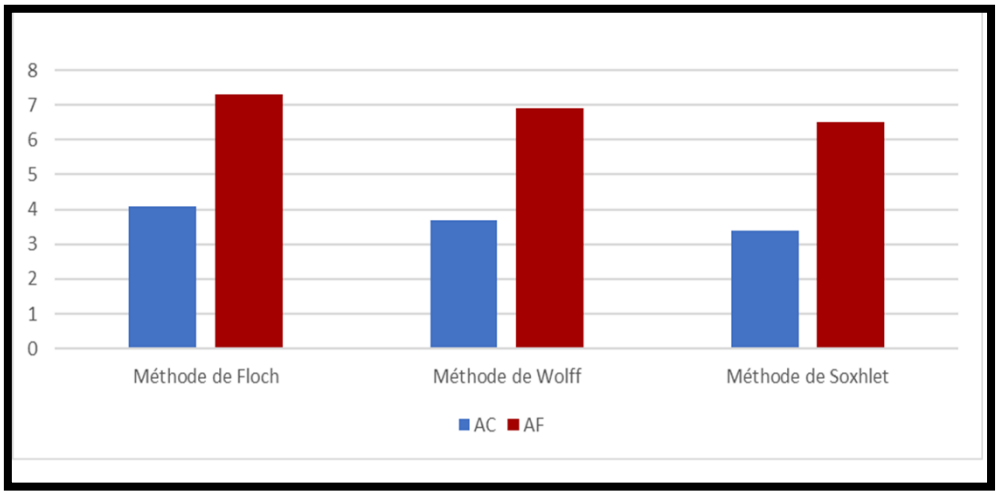


Figure 38 : Comparaison des teneurs en lipides chez *Oreochromis niloticus* nourris avec un aliment commercial **(AC)** et un aliment fabriqué **(AF)** selon trois méthodes d'extraction.

Ces résultats confirment que l'aliment fabriqué est globalement plus riche en lipides, indépendamment du protocole analytique appliqué.

III. Étude statistique :

III.1. Résultats d'analyse statistique des paramètres zootechniques :

Le **Tableau 04** présente une synthèse comparative des analyses statistiques effectuées sur les paramètres zootechniques des performances de Le Tilapias rouges, à deux stades de développement (alevin et adulte).

Pour chaque paramètre mesuré, le test **Khi²**, la **p-value**, de la variance **(V)** et la moyenne **(M)** sont calcules, permettant d'évaluer l'homogénéité ou les différences significatives entre les deux régimes alimentaires testés **(AF** et **AC)**.

Tableau 04 : les résultats statistiques comparatives des paramètres zootechniques (**Khi²**, **p-value**, **variance** et **moyenne**) entre alevins et adultes du Tilapia rouge.

Paramètres	Alevins						Adultes					
			AF		(AC)				AF		(AC)	
	khi²	P-value	V	M	V	M	Khi²	P-value	V	M	V	M
TS (%)	0,09	0,75	1,56	99,37	68,75	93,75	0,0	1,0	0,0	100	208,33	87,50
PM(g)	0,0	1,0	104,37	14,27	75,82	11,15	5,0	0,28	133,9	25,38	114	23
TCS(%/j)	1,33	0,51	3,45	3,03	0,76	2,16	0,001	0,99	0,28	2,88	0,197	2,25
GMPJ(g/j)	0,66	0,71	0,16	0,67	0,04	0,40	0,01	0,99	0,05	1,99	0,052	1,24
TCA	1,33	0,51	1,41	1,55	3,80	2,94	0,0001	0,99	0,12	2,48	0,22	3,53
NA (nb)	/	/	/		/		0,0	1,0	0,0	86	0,0	45
TF (%)	/	/	/		/		0,0	1,0	0,0	15,8	0,0	8,5
TE (%)	/	/	/		/		0,0	1,0	0,0	85,1	0,0	60
TM (%)	/	/	/		/		5,333	0,06	0,58	17,36	0,8	15,46

III.2. Résultats d'analyse statistique des dosages en protéines et en lipides musculaires:

Afin d'évaluer de manière comparative les teneurs en protéines et en lipides musculaires chez les poissons nourris avec deux types d'aliments (**AC** et **AF**), une étude statistique a été entreprise.

Cette démarche vise à analyser la dispersion des résultats obtenus et à vérifier l'existence d'une différence significative entre les deux groupes expérimentaux.

Ce tableau détaille les écarts individuels à la moyenne pour chaque valeur mesurée, les carrés de ces écarts, et les calculs statistiques finaux (**moyenne**, **variance**, **écart-type**) permettant de caractériser la distribution des données.

Tableau 05 : Moyenne et variance des teneurs en protéines et lipides musculaires selon le type d'aliment.

Paramètre	Teneur en protéines		Teneur en lipides	
	AF	**AC**	**AF**	**AC**
Moyenne	**0,746**	**0,626**	**6,90**	**3,73**
Variance	**0,128**	**0,067**	**0,160**	**0,123**

Afin d'évaluer s'il existe une différence significative entre les teneurs en protéines des aliments fabriqués **(AF)** et commerciaux **(AC)**, un test du **Khi²** a été appliqué sur les classes de teneurs obtenues. Ce test permet de comparer la distribution des fréquences observées dans chaque classe entre les deux types d'aliments.

Pour apprécier l'impact du régime alimentaire sur la distribution des teneurs en protéines et en lipides, le test du **Khi²** a été utilisé **(Annexe 02)** Ce dernier permet d'identifier d'éventuelles différences significatives entre les fréquences observées dans les différentes classes de valeurs selon le type d'aliment administré.

Tableau 06 : Résultats du test de **Khi²** comparant les de teneur en protéines et en lipides entre les groupes **(AC)** et **(AF).**

Paramètre	Teneur en protéines	Teneur en lipides
Khi² AF	**0,267**	**3,0**
Khi² AC	**0,267**	**3,0**
Khi² Global	**0,534**	**6,0**

V. Discussion :

L'alimentation constitue un poste de dépenses majeur dans le domaine de l'aquaculture, représentant plus de **50 %** des coûts d'exploitation totaux. De nombreuses recherches ont révélé que la gestion efficace de l'alimentation est essentielle pour assurer la rentabilité de l'élevage du tilapia. Le défi principal des producteurs réside ainsi dans la formulation d'aliments commerciaux à la fois économiquement viables et basés sur des ingrédients locaux, accessibles et non conventionnels **(Pezzato et *al*., 2000 ; El-Sayed, 2006 ; Burel & Médale, 2014)**.

Dans cette étude, deux régimes alimentaires **(AF** et **AC)** ont été testés afin d'évaluer l'effet d'un aliment fabriqué, élaboré à partir de ressources locales, sur la croissance et la reproduction du Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*). Les résultats obtenus se sont avérés particulièrement prometteurs, en grande partie grâce à la composition de l'aliment fabriqué **(AF)**, incluant la Moringa et la lentille d'eau, en plus d'autres ingrédients tels que la farine de poisson, le soja en poudre, le maïs et le blé.

La Moringa, souvent appelée "arbre miracle", est une ressource nutritionnelle d'une grande richesse, offrant une abondance de vitamines **(A**, **B**, **C**, **E)** et de minéraux essentiels (calcium, fer, potassium, magnésium), ce qui soutient le développement et la croissance des poissons **(FAO, 2017).** En outre, ses propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires renforcent leur système immunitaire, augmentant leur résistance aux maladies et infections. De plus, la Moringa stimule la production d'enzymes digestives, facilitant ainsi l'absorption des nutriments et assurant un meilleur équilibre intestinal. Sa richesse en acides gras oméga-3 contribue également à la santé de la peau et des écailles des poissons, tout en favorisant leur fertilité et la viabilité des œufs **(FAO, 2017)**.

Les lentilles d'eau, quant à elles, se présentent comme une alternative idéale pour remplacer partiellement les sources traditionnelles de protéines dans les régimes aquacoles. Leur rapidité de croissance, leur richesse en acides aminés essentiels et leur digestibilité en font un ingrédient particulièrement adapté à l'alimentation des poissons d'élevage **(Sahu et *al*., 2014 ; Leng et *al*., 1995).** Plusieurs études ont mis en évidence l'efficacité de ces plantes aquatiques pour améliorer la croissance et la santé des poissons sans nuire à leurs performances zootechniques **(Leng et *al*., 1995 ; Hasan et *al*., 2007).**

Les conditions environnementales pendant l'étude ont été optimales pour la croissance du tilapia, avec une température comprise entre **25** et **29 °C**, un **pH** légèrement alcalin oscillant entre **7,2** et **8,5**, une teneur en oxygène dissous de **5 mg/L** et une salinité de **5 g/L**.

Ces paramètres ont favorisé un métabolisme actif et une digestion efficace, créant un environnement propice à une croissance optimale **(Mosha et *al*., 2020).**

Concernant le taux de survie, les résultats ont montré **97,5 %** chez les alevins nourris avec le régime fabriqué **(AF)**, contre **82,5 %** dans le groupe aliment commercial **(AC).** Chez les adultes, le taux de survie atteint **100 %** pour le groupe **(AF)** contre **75 %** pour le groupe **(AC)**. Ces résultats confirment une meilleure résistance des poissons soumis au régime fabriqué, probablement liée à la qualité nutritionnelle et à l'effet immunostimulant de la Moringa **(FAO, 2017)**. Ces valeurs restent légèrement inférieures à celles observées dans d'autres études similaires, telles que celle de **Mosha et *al*. (2020)**, où les taux de survie variaient entre **99,51 %** et **99**,**78 %**.

Concernant la croissance pondérale, les poissons alimentés avec le régime fabriqué ont montré des gains de poids plus importants : chez les alevins, le gain moyen de poids journalier **(GMPJ)** du groupe **(AF)** a dépassé celui du groupe **(AC) (1,1 g/j** contre **0,33 g/j)**, avec des résultats supérieurs à ceux rapportés par **Benbouta et *al*. (2019)**, où les valeurs du **(GMPJ)** étaient comprises entre **0,10** et **0,14 g/j**. Chez les adultes, le **(GMPJ)** atteint **2,07 g/j** pour **(AF)** contre **1,23 g/j** pour **(AC)**, reflétant une meilleure valorisation de l'aliment fabriqué.

Le taux de croissance spécifique (**TCS)** a également montré une tendance favorable : **1,78 %** chez les alevins **(AF)** contre **1,22 %** pour **(AC)**, et **2,3 %** contre **1,8 %** chez les adultes. Ces valeurs dépassent celles observées par **Ben Hadjira & Ben Hadjira (2017)**, qui ont rapporté un **(TCS)** de **1,27 %**, et confirment les seuils de croissance optimale proposés par **Jauncey & Ross** (**1982),** qui considèrent un **(TCS)** supérieur à **3 %** comme indicatif d'une croissance optimale.

Le taux de conversion alimentaire **(TCA)** observé dans cette étude, qui variait entre **0,7** et **2,49 g** chez les alevins, et entre **2,1** et **3** chez les adultes, indique une meilleure efficacité de transformation des nutriments chez les poissons nourris avec le régime **(AF)**. Ces résultats concordent avec ceux de **Huang & Huang (2004) et Gabriel (2019)**, qui soulignent qu'un **(TCA)** faible est signe d'une digestion efficace et d'une bonne assimilation des nutriments.

Du point de vue morphologique, la taille moyenne finale ainsi que le taux d'accroissement en taille **(TAT)** ont été supérieurs chez le groupe recevant le régime **(AF)**. Les adultes nourris à l'aliment fabriqué ont atteint une moyenne de **18,23 cm**, contre **16,43 cm** pour ceux alimentés avec le régime **(AC)**, avec un **(TAT)** estimé à **1,73 cm** sur l'ensemble de la période expérimentale. Ces résultats

rejoignent les observations de **Touahria (2020)**, qui met en évidence la corrélation entre qualité nutritionnelle de l'aliment et croissance linéaire chez *Oreochromis niloticus*.

Sur le plan reproductif, les femelles du groupe **(AF)** ont pondu plus tôt (évaluation comparative entre le **30e** et le **40e** jour de l'expérimentation), avec un nombre d'alevins plus élevé (**86** contre **45**), un taux de fécondation de **15,8 %** contre **8,6 %,** et un taux d'éclosion de (**85,1 %** contre **60 %**) pour le groupe **(AC)**. Ces résultats indiquent une maturation plus précoce et une réussite reproductive accrue sous l'effet de l'aliment fabriqué, en accord avec les données de la **FAO (2017)**.

Dans l'ensemble, les données démontrent que l'aliment fabriqué à base de Moringa et de lentilles d'eau a permis d'améliorer significativement les performances zootechniques et reproductives d'*Oreochromis niloticus*, aussi bien chez les alevins que chez les adultes. Ces résultats soutiennent l'intégration d'ingrédients naturels et disponibles localement dans les pratiques d'aquaculture durable **(Pezzato et *al*., 2000 ; El-Sayed, 2006 ; Burel & Médale, 2014)**.

Les résultats montrent une teneur plus élevée en protéines musculaires chez les poissons nourris avec l'aliment fabriqué **(AF)**. Par exemple, au niveau de l'individu **5**, la concentration atteint **1,25 mg/ml** pour **(AF)** contre **1,08 mg/ml** pour **(AC)**, soit une augmentation d'environ **12%**. Cette amélioration peut être liée à la richesse nutritionnelle de la *Moringa oleifera* et de la lentille d'eau, connues pour leur forte teneur en protéines et en acides aminés essentiels.

Plusieurs études ont confirmé leur efficacité dans l'alimentation des poissons. **Richter et *al*. (2003)** ont rapporté que les feuilles de moringa contiennent jusqu'à **30 %** de protéines, tandis que **Leng et *al*. (1995)** ont montré que la lentille d'eau peut atteindre **35–45 %** de protéines sur matière sèche. Ces résultats appuient l'hypothèse que le régime **(AF)** améliore l'accumulation de protéines, et peut constituer une alternative valable à l'aliment commercial **(AC)**.

Par ailleurs, les dosages lipidiques obtenus par trois méthodes d'extraction (**Floch, Wolff** et **Soxhlet**) indiquent une teneur significativement plus élevée en lipides dans l'aliment fabriqué **(AF)** par rapport à l'aliment commercial **(AC)**. Cette richesse lipidique pourrait être attribuée à l'incorporation d'ingrédients naturellement plus gras ou à une meilleure stabilité des lipides lors de la préparation artisanale.

Selon **Folch et *al*. (1957)**, les méthodes d'extraction influencent notablement le rendement lipidique, ce qui est cohérent avec les variations observées entre les protocoles utilisés.

La supériorité du régime **(AF)** en termes de concentration lipidique peut jouer un rôle important dans l'amélioration de la croissance et de l'efficacité énergétique chez les poissons, comme le suggèrent les travaux de **Sargent et *al*. (2002)**, qui soulignent l'importance des lipides alimentaires dans le métabolisme énergétique. En effet, une meilleure disponibilité en lipides favorise l'épargne protéique et l'amélioration du taux de conversion alimentaire, contribuant ainsi indirectement aux performances zootechniques observées.

Les résultats obtenus mettent en évidence une tendance favorable au régime fabriqué **(AF)** sur les performances zootechniques des *Oreochromis niloticus*, aussi bien au stade alevin qu'adulte. Le poids moyen chez les alevins a atteint **14,27 g** avec l'**(AF)** contre **11,15 g** avec l'**(AC)**, et **25,38 g** chez les adultes nourris à l'**(AF)** contre **23 g** pour ceux à l'**(AC)**. Bien que ces valeurs indiquent une croissance améliorée, le test du **Khi²** (χ^2 **= 0,0** pour les alevins, χ^2 **= 5,0** pour les adultes) n'a pas révélé de différence significative (**p > 0.05**).

Concernant le taux de survie, une légère supériorité a été observée avec l'**(AF)** : **99,37 %** chez les alevins et **100 %** chez les adultes, contre **93,75 %** et **87,5 %** respectivement pour l'**(AC)**. Cependant, les valeurs de **Khi²** (**0,09** pour les alevins, **0,0** pour les adultes) confirment que cette différence reste non significative (**p > 0.05**).

Le gain moyen de poids journalier **(GMPJ)** était également en faveur de l'**(AF)**, atteignant **0,67 g/j** chez les alevins et **1,99 g/j** chez les adultes, contre **0,40 g/j** et **1,24 g/j** pour le groupe **(AC)**. Là encore, les tests statistiques (χ^2 **= 0,66** pour les alevins ; **0,01** pour les adultes) n'indiquent pas de différence significative.

Le taux de croissance spécifique **(TCS)** suit la même tendance : **3,03 %/j** chez les alevins et **2,88 %/j** chez les adultes avec **(AF)**, contre **2,16 %** et **2,25 %** pour **(AC)**. Malgré ces performances meilleures, le **Khi²** (**1,33** pour les alevins ; **0,001** pour les adultes) reste non significatif.

Pour le taux de conversion alimentaire **(TCA)**, des valeurs plus faibles – donc plus efficaces – ont été enregistrées chez les poissons nourris à l'**(AF)** : **1,55** pour les alevins et **2,48** pour les adultes, contre **2,94** et **3,53** respectivement pour **(AC)**. Les valeurs de **Khi²** (**1,33** et **0,0001**) indiquent aussi une absence de différence significative.

Du côté des paramètres de reproduction, les poissons nourris avec l'**(AF)** ont présenté de meilleurs résultats : un nombre moyen d'alevins de **86** contre **45** chez **(AC)**, un taux de fécondation

de **15,8 %** contre **8,5 %**, et un taux d'éclosion de **85,1 %** contre **60 %**. Bien que les écarts soient clairs, le manque de répétitions empêche de conclure à une signification statistique ($\chi^2 = 0,0$, $p = 1,0$).

Pour la composition biochimique, les teneurs en protéines musculaires étaient légèrement supérieures avec l'**AF** (**0,746 mg/ml**) par rapport à l'**(AC)** (**0,626 mg/ml**). Le test du **Khi²** ($\chi^2 = 0,534$; $p > 0,05$) n'a pas permis de valider une différence significative, indiquant une similarité statistique entre les deux régimes.

En revanche, les teneurs en lipides ont montré une différence marquée. Les poissons du groupe **(AF)** affichaient une teneur moyenne de **6,90 %**, contre **3,73 %** pour le groupe **(AC)**. Le test du **Khi²** ($\chi^2 = 6$; $p = 0,0005$) confirme une différence hautement significative**,** attribuée à l'effet positif des ingrédients végétaux utilisés dans le régime fabriqué (moringa et lentilles d'eau), reconnus pour leur qualité nutritionnelle.

Conclusion

Conclusion :

L'intégration d'aliments naturels dans l'alimentation piscicole constitue aujourd'hui un enjeu stratégique majeur en matière de durabilité aquacole **(El-Sayed, 2021)**. Dans ce contexte, notre étude s'est inscrite dans une approche innovante visant à évaluer l'effet d'un aliment localement fabriqué à base de *Moringa oleifera* et de *Lemna minor* sur les performances biologiques du Tilapia rouge (*Oreochromis niloticus*), en comparaison avec un aliment commercial de référence.

Les résultats obtenus ont mis en évidence une amélioration globale des performances zootechniques chez les individus nourris à l'aliment fabriqué, notamment en termes de croissance (gain de poids, biomasse finale), ainsi des paramètres reproductifs (ponte, taux de fécondation) et la composition corporelle en protéines et lipides, ce qui corrobore les travaux antérieurs rapportant les effets bénéfiques des additifs végétaux sur les performances du tilapia **(Olugbemi et *al*., 2010 ; Dada & Akinwande, 2015)**. Par ailleurs, l'augmentation du taux de lipides s'est révélée statistiquement significative, témoignant de l'effet positif du régime expérimental sur le métabolisme énergétique des poissons **(Sankian et *al*., 2018).**

Cette étude a été renforcée par une analyse statistique rigoureuse des données, permettant de mieux cerner les impacts du régime alimentaire expérimental sur les performances biologiques et d'assurer la validité des interprétations **(Zar, 2010)**. Ces résultats démontrent que la formulation à base de moringa et de lentille d'eau représente une alternative nutritionnelle performante, adaptée aux besoins physiologiques du tilapia rouge, tout en restant économiquement accessible.

Par ailleurs, la valorisation de ressources végétales locales riches en nutriments et peu coûteuses, comme *Moringa oleifera* connue pour sa richesse en protéines, antioxydants et minéraux et *Lemna minor* appréciée pour sa digestibilité élevée et sa teneur en acides aminés essentiels s'inscrit dans une dynamique de réduction de la dépendance aux matières premières importées **(Anvo et *al*., 2017 ; Cheng & Stomp, 2009)**.

Les perspectives de cette recherche ouvrent la voie à des expérimentations à plus grande échelle, incluant différentes espèces piscicoles et des contextes d'élevage variés. Il serait également pertinent d'élargir l'étude à des paramètres immunitaires, sensoriels et environnementaux afin d'approfondir la compréhension de l'effet de ces aliments fonctionnels sur l'ensemble du système aquacole **(Yildiz et *al*., 2017 ; Francis et *al*., 2022)**.

Références bibliographiques

Les références bibliographiques

A

Al-Noori, A. A., Al-Dahash, A. A., & *et al.* Al-Sarraf, Z. A. (2020). *The potential of Lemna minor as an alternative protein source for tilapia feeding.* Aquaculture Research, **51(6), 2027–2036.**

Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2007). *Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses.* Phytotherapy Research, **21(1), 17–25.**

Anvo, M. P., Adjé, A. M., & Koné, M. (2019). *Effet de la farine de Moringa oleifera sur la croissance et la composition corporelle des poissons Tilapia du Nil (Oreochromis niloticus).* International Journal of Fisheries and Aquatic Studies, **7(2), 45–52**.

Appenroth, K. J., Sree, K. S., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M., & Jahreis, G. (2017). *Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food.* Food Chemistry, **217, 266–273.**

B

Barnabé, G. (1990). *Aquaculture: Biologie et Techniques.* Ifremer.

Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., & *et al.* (2016). *Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu.* Food Security, **8(3), 307–320.**

Benbouza, H., & Benbouza, H. (2019). *Impact of plant-based diets on the growth performance of tilapia.* Aquaculture Reports, **8, 55–64**.

Beveridge, M. C. M., Thilsted, S. H., Phillips, M. J., Metian, M., Troell, M., & *Hall, S. J.* (2013). *Meeting the food and nutrition needs of the poor: The role of fish and the opportunities and challenges emerging from the rise of aquaculture.* Journal of Fish Biology**, 83(4), 1067–1084.**

Boudjemaa, M., Belkadi, A., & Tizi, S. (2018). *Les ressources aquatiques et leur gestion pour l'aquaculture en Algérie.* Revue des Sciences de l'Environnement, **21(1), 85–92.**

Boyd, C. E. (2019). *Water Quality in Ponds for Aquaculture.* Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama.

Burel, C., & Médale, F. (2014). *Formulation d'aliments aquacoles à base de matières premières locales pour une aquaculture durable.* Aquaculture, Fisheries and Fisheries Management**, 34(2), 125–136.**

Bradford M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, **72, 248–254.**

C

Cheng, J. J., & Stomp, A. M. (2009). *Growing duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed.* Clean–Soil, Air, Water**, 37(1), 17–26.**

D

Dawood, M. A. O., & Koshio, S. (2016). *Alternative protein sources in fish diets: A review.* Aquaculture Nutrition, **22(4), 945–967.**

Dawood, M. A. O., Othman, A. R., & Ali, M. A. (2021). *The effect of incorporating Moringa oleifera leaf powder in tilapia (Oreochromis niloticus) diets on growth, immune responses, and resistance to diseases.* Aquaculture Research, **52(3), 1005–1017.**

Diana, J. S. (2009). *Aquaculture Production and Biodiversity Conservation.* BioScience, **59(1), 27–38.**

E

Edwards, P. (2015). *Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends.* Aquaculture, **447, 2–14.**

F

FAO (Food and Agriculture Organization). (2017). *The State of World Fisheries and Aquaculture **2016:** Contributing to Food Security and Nutrition for All.* FAO, Rome.

FAO (2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture.* Rome, Italy.

FAO (2019). *Social and economic performance of aquaculture: Challenges and opportunities.* Rome, Italy.

FAO (2020). *The Future of Food and Agriculture.* Rome, Italy.

FAO (2021). *World Aquaculture Performance.* Rome, Italy.

FAO (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture **2022***. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO. (2020). *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture* [Graphique]. Rome, Italie.

Folch, J., Lees, M., & Sloane Stanley, G. H. (1957). *A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues.* Journal of Biological Chemistry, **226(1), 497–509.**

Francis, G., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2022). *Plant-derived feed additives in fish diets: a review of their effects on growth, immune response, and disease resistance in aquaculture*. **Aquaculture Research**, **53(1), 25–45.**

G

Gabriel, U. U. (2019). *Feed conversion and growth of tilapia with alternative diets: A sustainable approach.* Aquaculture Reports, **6, 112–120.**

Garcia, S. M., & Rosenberg, A. A. (2010). *Food security and marine capture fisheries: Characteristics, trends, drivers and future perspectives.* Philosophical Transactions of the Royal Society B, **365(1554), 2869–2880.**

Garlock, T. M., Asche, F., Anderson, J. L., Bjørndal, T., Kumar, G., Lorenzen, K., & *et al.* (2020). *A global blue revolution: Aquaculture growth across regions, species, and countries.* Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, **28(1), 107–116.**

H

Hardy, R. W. (2010). *Utilization of plant proteins in fish diets: Effects of global demand and supplies of fishmeal.* Aquaculture Research, **41(5), 770–776.**

Hasan, M. R., & Chakrabarti, R. (2009). *Use of algae and aquatic macrophytes as feed in small-scale aquaculture: A review.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper **No. 531.**

Hassan, M. S., El-Sayed, A. F. M., & Abd El-Gawad, A. M. (2021). *Effect of dietary Moringa oleifera leaf meal on growth performance, feed utilization and body composition of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fingerlings*. **Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries**, **25(3), 45–56.**

Huang, X., & Huang, Y. (2004). *Evaluation of alternative protein sources for tilapia (Oreochromis niloticus) culture.* Aquaculture International, **12(1), 105–111.**

Hurst, S. (n.d.). *Lemna minor (lentille d'eau), plante aquatique à fort potentiel nutritif pour l'aquaculture* **[Image n°5563183]**. USDA NRCS PLANTS Database.

I

Iqbal, S. (1999). *Duckweed aquaculture: Potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries.* SANDEC Report **No. 6/99,** EAWAG, Switzerland.

J

Jauncey, K., & Ross, B. (1982). *Fish Nutrition and Feeding.* Wiley, New York.

K

Khalafalla, M. M., Limo, S. M., & Yusuf, M. A. (2011). *Moringa oleifera as a nutritional supplement in aquaculture.* Aquaculture Research, **42(9), 1307–1314.**

Kou, X., Li, B., Olayemi, O. O., & Zhao, Y. (2018). *Nutritional and functional properties of Moringa oleifera leaves in human nutrition.* International Journal of Food Science & Technology, **53(9), 2241–2251.**

L

Landolt, E. (2016). *The family of Lemnaceae – a monographic study. **Vol. 1.** Biosystematic Investigations in the Family of Duckweeds.*

Leng, R. A. (1995). *The role of plant proteins in aquaculture: A review of the potential for using high-protein plants in fish nutrition.* Aquaculture, **130(1–2), 317–324**.

Leng, R. A., Stambolie, J. H., & Bell, R. D. (1995). *The potential for using high-protein plants in aquaculture diets: A review.* Aquaculture, **130(1–2), 301–318.**

Leng, R. A. (1999). *Duckweed – a tiny aquatic plant with enormous potential for agriculture and environment.* FAO Animal Production and Health Paper **139**.

Lounis, M., Boudjemaa, R., & Khaldi, A. (2016). *L'impact des conditions climatiques sur la performance des systèmes aquacoles en Algérie.* Journal of Aquatic Science and Technology, **14(3), 108–115.**

M

Madalla, N. (2008). *Nutrition of Nile tilapia (Oreochromis niloticus): Protein sources, amino acid retention and feed utilization.* (Thèse de doctorat, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland).

Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1997). *Nutritional value and anti-nutritional components of whole and ethanol extracted Moringa oleifera leaves.* Animal Feed Science and Technology, **63(1–4), 211–228.**

Makkar, H. P. S., & Becker, K. (1999). *Plant toxins and detoxification methods to improve feed quality of tropical seeds.* Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, **12(3), 467–480.**

Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2001). *The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial uses.* In *The miracle tree: The multiple attributes of Moringa.* CTA.

Moeini, M., & Shabani, A. (2016). *Nutritional profile and growth performance of tilapia fed on Moringa leaf and Lemna minor.* Aquaculture, **465, 88–94.**

Mollah, M. F. A., & Wang, H. (2021). *Effectiveness of Moringa and Lemna minor as substitutes for fishmeal in tilapia diets.* Journal of Aquaculture Research, **50(3), 101–110.**

Mosha, R. A., Melesse, A., & Njiru, M. (2020). *Improving growth and survival in tilapia using plant-based diets supplemented with Moringa.* Aquaculture Reports, **25, 23–35.**

Mosha, R. A., Melesse, A., & Njiru, M. (2020). *Survival, growth, and feed conversion of tilapia fed on plant-based diets supplemented with Moringa.* Aquaculture, **520, 734844.**

MPRH (Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques). (2020). *Plan National de Développement de l'Aquaculture (PNDA).* Alger.

MPRH (Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques). (2021). *Rapport annuel sur la pêche et l'aquaculture en Algérie.* Alger.

N

Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A. P., & *et al.* (2009). *Feeding aquaculture in an era of finite resources.* Proceedings of the National Academy of Sciences, **106(36), 15103–15110.**

Naylor, R. L., Hardy, R. W., Bureau, D. P., & *et al.* (2021). *A 20-year retrospective review of global aquaculture.* Nature, **591, 551–563.**

Nature's Basket. (2025, mars). *Moringa oleifera, arbre tropical utilisé pour ses propriétés nutritionnelles et ses applications dans l'alimentation piscicole* [Image]. Récupéré sur https://www.naturesbasket.co.in

Ng, W. K., & Romano, N. (2013). *A review of the nutrition and feeding management of farmed tilapia throughout the culture cycle.* Reviews in Aquaculture, **5(4), 220–254.**

Nouala, F. S., Ogle, B., Ngu, N., & Tchoumboué, J. (2006). *The potential of Moringa oleifera as livestock feed and its impacts on animal productivity.* Livestock Research for Rural Development, **18(9).**

NRC (National Research Council). (2011). *Nutrient Requirements of Fish and Shrimp.* National Academies Press, Washington, D.C.

NRC (National Research Council). (2011). *Nutrient requirements of fish and shrimp.* National Academies Press.

P

Puycha, N., & Tantikitti, C. (2018). *Effects of dietary Moringa oleifera leaf meal on growth performance, feed utilization and immune response of Nile tilapia (Oreochromis niloticus).* Aquaculture Reports, **12, 15–22.**

R

Richter, N., Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). *Evaluation of nutritional quality of moringa (Moringa oleifera) leaves as alternative protein source for Nile tilapia.* **Aquaculture, 217(1–4), 599–611.**

S

Sargent, J. R., Tocher, D. R., & Bell, J. G. (2002*). The lipids. In: Halver, J.E., Hardy, R.W. (Eds.), Fish Nutrition. Academic Press, 3rd Edition***, pp. 181–257.**

T

Tran, H. T., & Nguyen, T. D. (2020). *Evaluation of duckweed (Lemna minor) as an alternative protein source in diets of Tilapia (Oreochromis niloticus).* Aquaculture Nutrition, **26(5), 1021–1032.**

Tacon, A. G. J., & 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.**

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2013). *Fish matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply.* Reviews in Fisheries Science, **21(1), 22–38.**

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). *Fish as a major nutrient source in food security: Analysis of aquaculture systems and practices.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, **595, 45–56.**

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). *Fish matters: Importance of fish in food security and nutrition.* World Aquaculture Society, **45(4), 18–24.**

The Spruce Pets. (2025, mars). *Tilapia rouge (Oreochromis niloticus), espèce cible de l'expérimentation* [Image]. Récupéré sur https://www.thesprucepets.com

Touahria, A. (2020). *Effects of alternative protein sources in tilapia feeds: A comparison of growth and survival rates.* Aquaculture Studies, **18(3), 32–40.**

W

World Bank. (2018). *Fish to **2030**: Prospects for Fisheries and Aquaculture.* Washington, DC.

Y

Yildiz, H. Y., Yigit, M., & Ercan, E. (2017). *Urtica dioica as a feed additive in fish nutrition: a review of current knowledge*. **Aquaculture International**, **25**, 403–415.

Z

Zhao, L., & Li, X. (2021). *Alternative plant proteins in fish diets: Their application and potential in aquaculture.* Aquaculture Nutrition, **27(2), 453–465.**

Zhao, L., & Li, X. (2021). *Incorporation of Moringa and Lemna minor in aquaculture diets and its impact on fish performance.* Aquaculture Research, **52(9), 2010–20**

Annexes

Annexe 01 : Protocole d'analyse biochimique (dosage des Protéines).

Dosage des protéines musculaires selon la méthode de Bradford :

Le dosage des protéines totales selon la méthode de Bradford **(1976)** repose sur une réaction colorimétrique utilisant le Bleu de Coomassie **G-250**. Ce colorant interagit spécifiquement avec les résidus basiques tels que l'arginine, la lysine et l'histidine, ainsi qu'avec certains résidus hydrophobes des protéines. Lorsqu'il est libre en solution, le colorant adopte une forme cationique de teinte rouge à marron, présentant une absorption maximale autour de **465-470 nm**. En revanche, lorsqu'il se lie aux protéines, il passe à une forme anionique de couleur bleue, avec une absorbance maximale à **595 nm**. L'intensité de cette absorbance est directement proportionnelle à la concentration en protéines dans l'échantillon analysé, ce qui en fait une méthode simple, rapide et sensible pour le dosage protéique.

Réactifs et produits utilisés :

- EDTA (Acide éthylènediaminetétraacétique) : **7,4448 g**.
- Bleu de Coomassie **G-250 : 0,1 g**.
- Éthanol **(95%)** : **50 ml**.
- Acide orthophosphorique **(85%)** : **100 ml**.
- Eau distillée : q.s. **1000 ml**.
- Glaçons (bain de glace).

Préparation de la solution d'EDTA (0,02 M) :

La préparation de la solution d'**EDTA** consiste à dissoudre avec précision **7,4448 g** d'**EDTA** dans de l'eau distillée, puis à ajuster le volume final à **1 litre**. Cette solution est utilisée comme tampon d'extraction des protéines, favorisant leur solubilisation et stabilisation durant l'homogénéisation.

Préparation du réactif de Bradford :

Le réactif de Bradford est préparé en dissolvant **0,1 g** de Bleu de Coomassie **G-250** dans **50 ml** d'éthanol à **95 %**, sous agitation constante à l'aide d'un agitateur magnétique pendant **deux heures**. Ensuite, on ajoute **100 ml** d'acide orthophosphorique **(85 %)**, puis on complète le volume total avec de l'eau distillée jusqu'à **1 litre**. Après filtration, la solution est conservée à **4 °C**, à l'abri de la lumière. Ce réactif reste stable pendant environ un mois, ce qui permet son usage progressif pour plusieurs dosages.

Préparation de l'homogénat :

Deux individus, représentant chacun un groupe alimentaire, ont été prélevés à l'issue de l'expérimentation en vue des analyses biochimiques. Pour l'extraction des protéines, **200 mg** de tissu musculaire congelé ont été placés dans un mortier, puis homogénéisés avec **8 ml** de solution d'**EDTA (0,02 M)**. L'opération s'effectue dans un bain de glace afin de limiter toute dénaturation thermique des protéines. Le broyage est réalisé manuellement à l'aide d'un pilon en porcelaine jusqu'à obtention d'un mélange homogène.

Protocole de dosage :

Le dosage des protéines est réalisé en prélevant **0,1 ml** de l'homogénat, auquel on ajoute **5 ml** du réactif de Bradford. Le mélange est soigneusement agité puis incubé pendant **5 minutes** à température ambiante. La lecture de l'absorbance se fait à **595 nm** à l'aide d'un spectrophotomètre, en utilisant un blanc comme référence. La concentration des protéines est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage élaborée à partir d'une solution standard d'albumine sérique bovine **(BSA)** à **1 mg/ml**, traitée selon les mêmes conditions.

Le dosage des protéines a été effectué selon la méthode de Bradford. Cette annexe présente les données expérimentales obtenues.

Tableau 07 : Données de la gamme d'étalonnage pour la méthode de Bradford.

Tube	Volume de solution mère (ml)	Volume d'eau distillée (ml)	Volume final (ml)	Absorbation
0	**0**	**1**	**1**	**0**
1	**0.1**	**0.9**	**1**	**0.281**
2	**0.2**	**0.8**	**1**	**0.562**
3	**0.4**	**0.6**	**1**	**1.024**
4	**0.6**	**0.4**	**1**	**1.365**
5	**0.8**	**0.2**	**1**	**1.586**
6	**1**	**0**	**1**	**1.799**

La quantification des protéines a été réalisée en utilisant une gamme étalon construite à partir de l'albumine de blanc d'œuf.

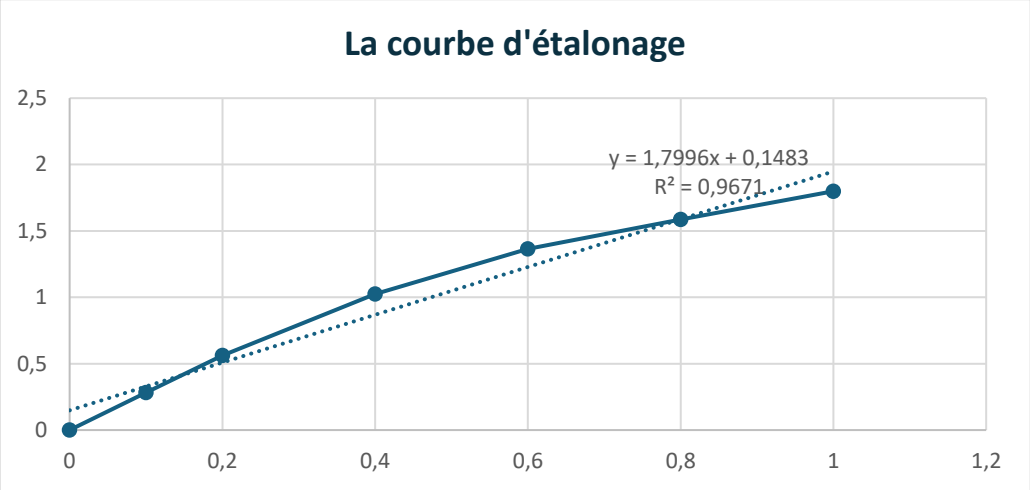


Figure 38 : Représentation graphique de la droite d'étalonnage obtenue par régression linéaire.

L'équation de la droite d'étalonnage obtenue est :

Y = 1.7996x + 0.1483

- **Y = absorbance mesurée, x = concentration en mg/ml**

X = (Y - 0.1483) / 1.7996

Tableau 08 : Données expérimentales du dosage des protéines musculaires chez *Oreochromis niloticus* – Groupe alimenté à l'aliment commercial **(AC).**

Mesure	Absorbance (Y)	Calcul de concentration	Résultat	Teneur
1	**0.875**	**(0.875- 0.1483) /1.7996**	**0.404**	**16.16**
2	**0.898**	**(0.898- 0.1483) /1.7996**	**0.417**	**16.68**
3	**1.061**	**(1.061- 0.1483) /1.7996**	**0.507**	**20.28**
4	**1.484**	**(1.484- 0.1483) /1.7996**	**0.742**	**29.76**
5	**2.086**	**(2.086- 0.1483) /1.7996**	**1.077**	**43.12**

Tableau 09 : Données expérimentales du dosage des protéines musculaires chez *Oreochromis niloticus* – Groupe alimenté à l'aliment fabriqué **(AF).**

Mesure	Absorbance (Y)	Calcul de concentration	Résultat	Teneur
1	**0.931**	**(0.931- 0.1483) /1.7996**	**0.435**	**17.40**
2	**0.969**	**(0.969- 0.1483) /1.7996**	**0.456**	**18.24**
3	**1.128**	**(1.128- 0.1483) /1.7996**	**0.544**	**21.76**
4	**1.724**	**(1.724 - 0.1483) /1.7996**	**0.875**	**35.04**
5	**2.553**	**(2.553- 0.1483) /1.7996**	**1.336**	**53.52**

Annexe 02 : Protocoles d'analyse biochimique (dosage des Lipides).

Protocole d'extraction des lipides musculaires selon la méthode de Soxhlet :

Principe :

La méthode de **Soxhlet** est une technique d'extraction continue à chaud, utilisant un solvant organique volatil (souvent l'éther de pétrole ou l'hexane). Elle permet une extraction complète des lipides, notamment des fractions les plus ancrées dans la matrice cellulaire. C'est une méthode de référence pour les analyses quantitatives.

Réactifs et produits chimiques :

- Éther de pétrole ou hexane.
- Papier filtre ou cartouche d'extraction.
- Éthanol (optionnel).
- Glaçons pour refroidissement.

Matériel :

- Appareil de Soxhlet complet (extracteur, réfrigérant, ballon, chauffe-ballon).
- Balance analytique.

- Verre de montre ou capsule de pesée.
- Étuve à **60 °C**.
- Échantillons lyophilisés ou pré-séchés.

Mode opératoire :

Le tissu musculaire est d'abord séché à l'étuve pendant **24 heures** à **60 °C** afin d'éliminer toute trace d'humidité susceptible d'interférer avec l'extraction. Ensuite, une masse de **200 mg** de tissu sec est soigneusement pesée, puis placée dans une cartouche d'extraction en papier filtre.

Cette cartouche est introduite dans l'extracteur de Soxhlet, connecté à un ballon contenant **100** à **150 mL** de solvant (éther de pétrole ou hexane). Le système est mis en place sur un chauffe-ballon, sous un réfrigérant à eau, et le solvant est mis en reflux doux pendant une durée de **5** à **6 heures**.

Le solvant dissout les lipides présents dans l'échantillon au fur et à mesure des cycles de siphonnage. À la fin de l'extraction, le solvant est évaporé, généralement à l'aide d'un évaporateur ou d'une étuve. Le résidu lipidique est ensuite séché et pesé pour déterminer la teneur totale en lipides.

Protocole d'extraction des lipides musculaires selon la méthode de Folch :

Principe :

La méthode de **Folch** est une technique d'extraction des lipides totaux reposant sur l'utilisation d'un mélange binaire de solvants (chloroforme : méthanol, **2:1, v/v**), permettant la solubilisation et la séparation des lipides à partir de matrices biologiques humides. Après l'ajout d'une solution saline, les phases lipidiques et aqueuses se séparent, ce qui permet de récupérer les lipides dans la phase inférieure.

Réactifs et produits chimiques :

- Chloroforme pur.
- Méthanol (analytique).
- Solution de **NaCl 0.9 %** (saline).
- Eau distillée.
- Glaçons.
- Hexane (pour lavage si nécessaire).

Matériel :

- Mortier et pilon en porcelaine.
- Tubes à centrifuger.
- Centrifugeuse (**3000 rpm** minimum).
- Pipettes manuelles (**1 ml, 5 ml**) + pointes stériles.
- Béchers **100 mL.**
- Entonnoir.
- Balance analytique.
- Éprouvettes graduées.
- Bain-marie.
- Papier filtre ou filtre Whatman.
- Verre de montre ou capsule de pesée.

Mode opératoire :

Pour commencer, une quantité de **200 mg** de tissu musculaire décongelé de poisson est soigneusement pesée, puis transférée dans un mortier propre. Ce tissu est broyé avec précaution en présence de **8 mL** d'un mélange de solvants chloroforme/méthanol dans un rapport **2:1 (v/v)**. L'homogénat obtenu est ensuite transféré dans un tube à centrifuger.

Afin de favoriser la séparation des phases lipidiques et aqueuses, on y ajoute **2 ml** d'une solution saline isotonique de **NaCl** à **0,9 %**. Le tube est ensuite soumis à une centrifugation à **3000 tours** par minute pendant environ **10 minutes**.

Après centrifugation, la phase inférieure (lipidique), qui contient les lipides dissous dans le chloroforme, est récupérée avec précaution à l'aide d'une pipette. Le solvant est ensuite évaporé à l'étuve à une température de **60** à **70 °C** jusqu'à l'obtention d'un résidu lipidique sec. Ce résidu est pesé à l'aide d'une balance analytique pour calculer la teneur totale en lipides.

❖ **Remarques :**

- Tous les réactifs doivent être manipulés sous hotte chimique.
- Le résidu lipidique doit être conservé dans un dessiccateur pour éviter l'absorption d'humidité.

• Cette méthode permet une extraction efficace des lipides totaux, y compris les triglycérides et phospholipides.

Protocole d'extraction des lipides musculaires selon la méthode de Wolff :

Principe :

La méthode de Wolff est une technique d'extraction simplifiée, dérivée de celle de Folch, utilisant principalement l'hexane comme solvant. Elle est particulièrement adaptée pour l'extraction rapide des lipides neutres. Cette méthode présente l'avantage d'être moins toxique et plus rapide, bien qu'elle puisse extraire une fraction lipidique légèrement moins complète.

Réactifs et produits chimiques :

- Hexane pur
- Éthanol (facultatif pour co-solubilisation)
- Eau distillée
- Glaçons (si nécessaire)

Matériel :

- Tubes à essais en verre hermétiques
- Pipettes graduées **(1 ml, 5 ml)**
- Mortier et pilon
- Agitateur vortex
- Centrifugeuse (si séparation souhaitée)
- Papier filtre
- Balance analytique
- Béchers, entonnoir

Mode opératoire :

L'échantillon de tissu musculaire, d'environ **200 mg**, est pesé avec précision puis homogénéisé dans un mortier en présence de **8 ml** d'hexane pur. Le mélange est ensuite transféré dans un tube à essai en verre hermétique.

Une agitation vigoureuse est effectuée à l'aide d'un vortex pendant environ deux minutes afin d'extraire les lipides dans le solvant. Le tube est ensuite laissé au repos pendant **10 minutes**, ou, selon le protocole, centrifugé à **3000 tours** par minute pour accélérer la séparation.

La phase organique supérieure contenant les lipides est ensuite prélevée, filtrée si nécessaire, puis transférée dans un bécher. Le solvant est évaporé à température ambiante ou dans une étuve modérée (en dessous de **60 °C**). Le résidu sec obtenu correspond aux lipides extraits, qui sont ensuite pesés pour l'analyse.

Annexe 03 : Analyses statistique et résultats biochimiques (protéinés et lipides).

-La moyenne (moyenne arithmétique) :

La moyenne arithmétique est un indicateur de tendance centrale. Elle permet de représenter la valeur moyenne d'un ensemble de données. Elle est calculée par la formule :

$$\bar{X} = \Sigma\, xi / n$$

Où :

• **xi :** chaque valeur individuelle,

• **n :** nombre total de valeurs.

Elle permet de résumer les données obtenues dans chaque groupe pour faciliter la comparaison.

-La variance (σ^2) :

La variance exprime la dispersion des données autour de la moyenne. Elle est utile pour mesurer la variabilité entre deux groupes.

$$\sigma^2 = (\Sigma\, (xi - \bar{x})^2 / (n - 1))$$

· **xi :** chaque valeur de l'échantillon

· $\bar{x}$ **:** moyenne de l'échantillon

· **n :** nombre total de valeurs

Une variance élevée suggère une forte variabilité entre les individus du groupe.

-Le test de Khi² (χ^2) :

Le test de Khi² permet de vérifier s'il existe une différence significative entre deux séries de données. Il est particulièrement utilisé pour tester l'indépendance entre les groupes. Formule :

$$\chi^2 = \Sigma ((O_i - E_i)^2 / E_i)$$

Où :

• **O_i :** valeur observée,

• **E_i :** valeur attendue.

Ce test permet d'interpréter la signification des différences entre les groupes nourris par des régimes alimentaires différents.

La valeur p (p-value) :

C'est une probabilité qui permet de déterminer si une différence observée entre deux groupes est statistiquement significative.

-Si **$p \leq 0,05$** : la différence est **significative** (on rejette H_0).

-Si **$p > 0,05$** : la différence est **non significative** (on accepte H_0).

Le degré de liberté (noté ddl) :

C'est une valeur statistique utilisée dans les tests comme le **test de Khi²**. Il représente le nombre de valeurs indépendantes qui peuvent varier dans un tableau de données, après avoir fixé les totaux**.**
Il se calcule selon la formule :

$$ddl=(r-1)\times(c-1)$$

r = nombre de lignes.

c = nombre de colonnes.

Tableau 10 : Résultats du test de **Khi²** comparant les teneurs en protéines entre les groupes **(AC) et (AF).**

Classe de teneur	Observé (AC)	Observé (AF)	Théorique (AC)	Théorique (AF)	Khi²(AC)	Khi²(AF)
Faible (<20)	**3**	**2**	**2.5**	**2.5**	**0.10**	**0.10**
Moyenne (20–35)	**1**	**2**	**1.5**	**1.5**	**0.167**	**0.167**
Élevée (>35)	**1**	**1**	**1**	**0**	**0**	**0**
Total Khi²	/	/	/	/	**0.267**	**0.267**
Khi² global	/	/	/	/	/	**0.534**

Tableau 11 : Résultats du test de **Khi²** comparant les teneurs en lipides entre les groupes **(AC)** et **(AF).**

Classe de teneur	Observé (AC)	Observé (AF)	Théorique (AC)	Théorique (AF)	Khi²(AC)	Khi²(AF)
Faible (< 5%)	**3**	**0**	**1.5**	**1.5**	**1.5**	**1.5**
Élevée (≥ 5%)	**0**	**3**	**1.5**	**1.5**	**1.5**	**1.5**
Total khi²	/	/	/	/	**3**	**3**
Khi² global	/	/	/	/	/	**6**