

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Science de la Mer
Option : AQUACULTURE
Thème :**

**Evaluation d'une production piscicole dans un système
d'alimentation associé**

Présenté par : **MOUSSAOUI Riham**

Soutenu le 26 Septembre 2022, devant le jury composé de :

Mme. MEKHAZNI F.	Maitre-Assistant 'A'	Présidente
Mme. MESLEM N.	Maitre de Conférences 'B'	Promotrice
Mme. CHABET DIS C.	Maitre de recherche 'CNRDPA'	Examinatrice
M. LOURGUOUI H.	Maitre de Conférences 'B'	Examineur

Promotion : 2022

Dédicace

A ma chère mère

A mon père bien-aimé

A mes sœurs Doria & Rodina

A mes frères Abdellah & Youcef Islem

A Jedi Said

A Hbibha " Allah yarhamha "

A Khali " Allah yarhmou "

A Jedi & Jida "Allah yarhamhoum"

A Cecylia

A Sarah & Noussaiba

A Fatima & Imene

À tous ceux que j'aime ...

Remerciement

Tout d'abord, je remercie Dieu de m'avoir donné force et aide, et mes chers parents de m'avoir toujours soutenu.

Je tiens à remercier ma promotrice Mme. Meslem Nabila pour sa supervision, ses conseils précieux et sa confiance.

Je remercie énormément madame la présidente MEKHAZNI Fouzia d'avoir accepté la présidence de ma soutenance.

J'adresse mes sincères remerciements à Mme CHABET DIS Chalabia et M. LOURGUIOUI Hichem d'avoir aimablement accepté d'examiner et d'apporter ses remarques à ce modeste travail

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma gratitude à M. SALHI Fouad et M. AIT OUAMER. Karim les ingénieurs de la ferme aquacole «Garden Aqua» ainsi que Amou Djalloul, qui m'ont donné leur temps, leurs efforts et leurs connaissances pour m'aider.

Je tiens également à remercier M. BENALI Tarik, le gérant du «SARL AQUA PRO», qui nous a fourni les alevins du Tilapia, et M. NOURI Tayeb pour son aide et les précieuses informations qu'il m'a données.

Un autre merci va vers Mme. GUEROUMI Houda l'ingénieur de laboratoire de biologie moléculaire et Mme AILANE Fadila de m'avoir aidé scientifiquement et pratiquement.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué à ce travail de près ou de loin.

Table des matières

Liste des acronymes.....	5
Liste des figures	6
Liste des tableaux	7
Introduction	9
I. Généralités.....	11
I.1. Aquaculture des Tilapias	11
I.1.1. Production mondiale	11
I.1.2. Production nationale	11
I.2. Tilapia rouge	12
I.2.1. Description générale de l'espèce.....	12
I.2.2. Taxonomie et nomenclature	12
I.2.3. Tilapia monosexé	13
I.2.4. Exigences environnementales	13
I.2.4.1. Température.....	13
I.2.4.2. L'Oxygène dissous	14
I.2.4.3. La salinité	14
I.2.4.4. Concentration en ions d'hydrogène	14
I.2.4.5. Ammoniac et nitrites	14
I.2.4.6. Physiologie digestive de Tilapia.....	14
I.2.5. Alimentation du Tilapia	15
I.2.5.1. Besoins en protéines.....	15
I.2.5.2. Besoins en lipides	15
I.2.5.3. Utilisation de glucides.....	15
I.2.5.4. Besoins en vitamines.....	15
I.2.6. Sources alternatives d'alimentation pour la pisciculture.....	16
I.3. L'Azolla	17
I.3.1. Description générale de l'espèce.....	17
I.3.2. Taxonomie de l'espèce.....	18
I.3.2.1. Diversité d'Azolla	18
I.3.2.2. Hiérarchie taxonomique.....	18
I.3.3. Distribution géographique	18
I.3.4. Reproduction et mode de dispersion.....	19
I.3.5. Production d'Azolla.....	19
I.3.6. Exigences environnementales	19
I.3.7. Composition biochimique	20

I.3.8. Domaine d'utilisation	20
II. Matériel et méthodes	22
II.1. Présentation de SARL Garden Aqua	22
II.2. Culture et suivi de l'Azolla	23
II.3. Elevage et suivi des alevins	24
II.3.1. Obtention et acclimatation des alevins	24
II.3.2. Préparation des aquariums et régimes alimentaires	25
II.3.3. Ration et fréquence de nourrissage	26
II.3.4. Mensurations en taille et en poids	27
II.3.5. Qualité de l'eau d'élevage	27
II.3.5.1. Hygiène et prophylaxie.....	27
II.3.5.2. Paramètres physico- chimiques	27
II.4. Analyses biochimiques de l'Azolla	28
II.4.1. Extraction et dosage des protéines	28
II.4.1.1. Application de la méthode	28
II.4.1.2. Calcul du taux des protéines.....	30
II.4.1.3. Extraction de la matière grasse	30
II.4.1.4. Calcul du taux de lipides	30
II.4.2. Détermination de la matière sèche (MS)	31
II.4.3. Détermination de la matière minérale (MM)	31
II.5. Performances zootechniques	32
II.6. Analyses statistiques	32
III. Résultats et discussion	34
III.1. Evolution et croissance d'Azolla	34
III.2. Résultats des analyses biochimiques d'<i>Azolla caroliniana</i>	37
III.3. Caractéristiques physico-chimiques du milieu d'élevage	38
III.4. Croissance des alevins de Tilapia rouge	41
Conclusion	48
Références bibliographiques :	50

Liste des acronymes

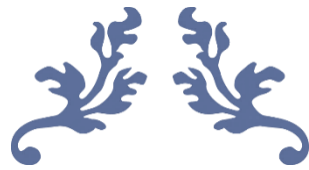
- ENSSMAL : Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral
- AZ : Azolla fraîche
- AL : Aliment granulé
- AZs : Azolla séchée
- *O. niloticus* : *Oreochromis niloticus*
- *A. caroliniana* : *Azolla caroliniana*
- g : gramme
- ml : millilitre
- l : litre
- cm : centimètre
- mg/L : milligramme par litre
- pH : potentiel d'hydrogène
- °C : degrés Celsius
- O₂ dissous : Oxygène dissous
- Pm : Poids moyen
- Tm : Taille moyenne
- LT : Longueur Totale

Liste des figures

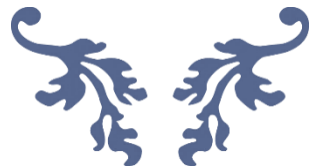
Figure I.1.1 Carte de répartition des fermes aquacoles de Tilapia en Algérie [Elaboration personnelle : ArcGIS, MPPH, 2022]	11
Figure I.2.1 Morphologie externe de Tilapia rouge hybride <i>Oreochromis sp</i> (Présent travail) ...	12
Figure I.3.1 profil vertical d'Azolla (a) ; tapis vert d'Azolla (b), feuilles d'A. caroliniana sous la loupe binoculaire (c)	17
Figure II.1.1 Etang d'élevage sous serre en plastique (Garden Aqua, 2022)	22
Figure II.2.1 Désinfection d'Azolla (à gauche), Bassin d'Azolla recouvert de plastique (à droite)	23
Figure II.2.2 Récolte d'Azolla (A), mise en séchage (B), Azolla après séchage (C)	24
Figure II.3.1 Arrivée des alevins transportés dans des sacs en plastique (à gauche), alevins en quarantaine (à droite)	25
Figure II.3.2 Lots d'aquarium utilisés durant l'expérience.....	25
Figure II.3.3 Mesure de poids (à gauche) et de taille (à droite).....	27
Figure II.3.4 Sondes multiparamétriques utilisées pour les mesures de température, oxygène et pH.....	28
Figure II.4.1 Distillation du minéralisât (à gauche), titrage et mesure du pH (à droite).....	29
Figure II.4.2 Les principales étapes de l'extraction des lipides	30
Figure II.4.3 Four à moufle (à gauche), refroidissement de creusé qui contient la matière organique dans le dessiccateur (à droite)	31
Figure III.1.1 Changements de température enregistrés au niveau du bassin culture d'Azolla	34
Figure III.1.2 Azolla de couleur rouge (à gauche) ; différence de longueur et de ramification des racines (à droite).....	34
Figure III.1.3 Mortalité partielle des feuilles d'Azolla	35
Figure III.1.4 Attaque des feuilles d'Azolla par des parasites	35
Figure III.3.1 Valeurs de température moyennes des quatre aquariums prises durant la période d'élevage.....	38
Figure III.3.2 Teneurs moyennes en oxygène dissous enregistrées au niveau des quatre aquariums durant la période d'élevage	38
Figure III.3.3 Valeurs moyennes de pH enregistrées au niveau des quatre aquariums durant la période d'élevage	39
Figure III.4.1 Evolution en poids moyens (Pm) des monosexes de Tilapia rouge alimentée par les quatre régimes	42
Figure III.4.2 Evolution en tailles moyennes (LT) des monosexes de Tilapia rouge alimentée par les quatre régimes.....	42
Figure III.4.3 Nuage de points montrant la relation Longueur totale-poids chez les monosexes mâles de Tilapia rouge nourris par quatre régimes différents.....	43

Liste des tableaux

Tableau I.2-1 Sources alternatives de protéines utilisées dans l'alimentation du poisson	16
Tableau I.3-1 Répartition géographique mondiale (CARRAPIÇO et al., 2000 ; KANNAIYAN et KUMAR, 2006).....	18
Tableau I.3-2 Variation des composants biochimiques d'Azolla.....	20
Tableau II.3-1 Répartition des alevins monosexes mâles de Tilapia rouge en aquariums et les régimes alimentaire distribués (AL, AZ, AL+AZ, AZs).....	26
Tableau II.5-1 Paramètres zootechniques étudiés (Pmf : poids moyen initial ; Pmi : poids moyen final ; NPi : nombre de poissons initial ; NPf : nombre de poissons final).....	32
Tableau III.2-1 Résultats biochimiques d'Azolla caroliniana	37
Tableau III.3-1 Les résultats de dosage des sels nutritifs au niveau des quatre aquariums	40
Tableau III.4-1 Paramètres zootechniques des géniteurs d'Oreochromis sp.....	41



Introduction



INTRODUCTION

Introduction

L'expansion de l'industrie aquacole dans le monde s'est accompagnée d'une augmentation couplée du coût des aliments aquacoles, qui à son tour a également conduit à l'introduction de stratégies alternatives pour remplacer les ingrédients alimentaires traditionnels par des ingrédients non conventionnels moins chers (HOSSAIN et *al.*, 2016).

L'identification d'aliments alternatifs qui minimiseront remarquablement les dépenses de productivité des protéines animales devient une priorité en tenant compte de l'empreinte environnementale (NASEEM et *al.*, 2020).

L'importance croissante du Tilapia en tant que candidat à l'aquaculture rend nécessaire de comprendre ses préférences alimentaires dans son habitat naturel, afin de lui préparer des régimes alimentaires adaptés et appropriés aux conditions d'élevage (El-SAYED, 2006).

Environ 50 espèces de macrophytes aquatiques sont répertoriées comme nourriture pour les poissons herbivores, directement ou indirectement. Il est important de noter que ces macrophytes peuvent être utilisés comme composants de l'alimentation des poissons et remplacer les aliments commerciaux coûteux en raison de leur profil nutritif potentiel (MANDAL et *al.*, 2010).

Cette étude vise à évaluer l'effet de la macrophyte Azolla, qui est une fougère aquatique flottante doublant sa biomasse en 3-10 jours (HASAN et *al.*, 2009), comme alternative alimentaire totale ou complémentaire à l'aliment commercial, sur le développement de la croissance des alevins monosexes du Tilapia rouge hybride.

Cette étude comprend trois chapitres :

- ⇒ Le premier est consacré à révéler les caractéristiques les plus importantes du poisson Tilapia et de l'*Azolla caroliniana*.
- ⇒ Le deuxième porte sur la description et l'explication des différentes méthodologies appliquées à cette étude.
- ⇒ Le troisième présente les résultats principaux retenus, notamment la réponse des alevins monosexes du Tilapia rouge aux différents régimes testés et l'évolution de leur croissance.

Au final, l'étude se conclut par des recommandations et des perspectives sur le sujet traité.



Généralités



GENERALITES

I. Généralités

I.1. Aquaculture des Tilapias

I.1.1. Production mondiale

L'aquaculture est le domaine qui connaît une production animale croissante dont 52% de poisson destiné à la consommation humaine est issu de l'aquaculture (FAO, 2020). La production aquacole de Tilapia provient principalement d'Asie, avec une production supplémentaire d'Afrique et des Amériques. Le Tilapia du Nil est l'espèce la plus prédominante avec 4,6 millions de tonnes produites en 2019 (FAO, 2021).

I.1.2. Production nationale

L'industrie aquacole algérienne connaît actuellement une croissance de la production. Depuis la création du Ministère des Pêches et des Productions Halieutiques (MPPH) en 2000, plusieurs plans et programmes de développement ont été créés et plusieurs projets aquacoles privés ont été lancés dans divers domaines d'activité. D'après le MPPH, 39 fermes aquacoles de Tilapia sont fonctionnaires au niveau national en année 2022 (Figure I.1.1) .

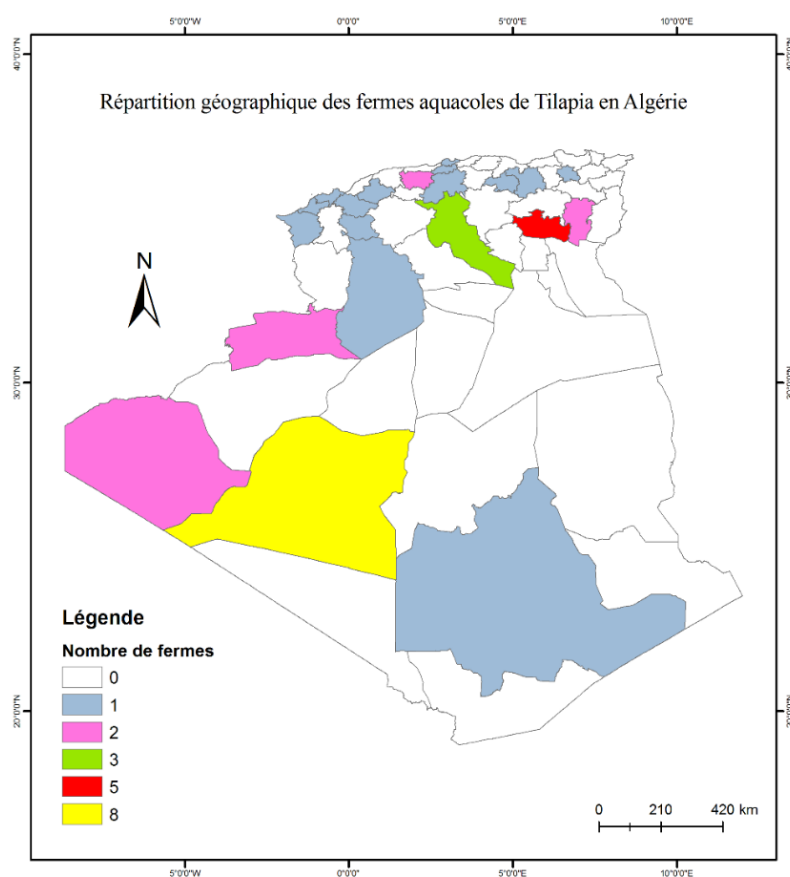


Figure I.1.1 Carte de répartition des fermes aquacoles de Tilapia en Algérie

[Elaboration personnelle : ArcGIS, MPPH, 2022]

GENERALITES

I.2. Tilapia rouge

I.2.1. Description générale de l'espèce

Le Tilapia est un poisson d'eau douce appartenant à la famille des Cichlidae. Originaires d'Afrique, les poissons appartenant à cette famille ont été introduits dans de nombreuses régions tropicales, subtropicales et tempérées du monde au cours de la seconde moitié du 20ème siècle (PILLAY et KUTTY, 2005).

Le Tilapia rouge (Figure I.2.1) comme tous les Tilapias présente une forme de corps assez conventionnelle, comprimée latéralement et profonde. Le corps est recouvert d'écaillés cycloïdes relativement grandes, qui ne se délogent pas facilement (ROSS, 2000).

Les nageoires dorsale et anale ont des épines dures et des rayons mous. Les nageoires pectorales et pelviennes sont grandes et plus antérieures dans une configuration avancée. Ce caractère confère au poisson un grand contrôle de la nage et des manœuvres (ROSS, 2000).

Le Tilapia rouge est généralement issu de *O. mossambicus* ou *O. hornorum* x *O. niloticus* ou *O. aureus*. La reproduction des descendants n'aboutit généralement pas à une reproduction fidèle à la couleur (WEBSTER et LIM, 2006).



Figure I.2.1 Morphologie externe de Tilapia rouge *Oreochromis sp* (Présent travail)

I.2.2. Taxonomie et nomenclature

Tilapia est le nom commun appliqué à trois genres et plus de 70 espèces de la famille des Cichlidae : *Oreochromis*, *Sarotherodon* et *Tilapia*. La classification taxonomique du Tilapia est encore confuse et fait l'objet de changements constants. Cela est principalement dû à la similitude et au chevauchement de leurs caractéristiques morphologiques et de l'hybridation naturelle entre espèces (EL-SAYED, 2006).

GENERALITES

La hiérarchie taxonomique de Tilapia rouge selon GUNTHER (1889) est la suivante :

- Embranchement : Chordata (Haeckel, 1874)
- Sous-embranchement : Vertebrata (Linnaeus, 1758)
- Classe : Actinopteri (Klein, 1885)
- Ordre : Perciformes
- Famille : Cichlidae (Bonaparte, 1835)
- Genre : Oreochromis (Günther, 1889)
- Espèce : *Oreochromis sp*

I.2.3. Tilapia monosexé

Une grande attention a été accordée à l'élevage monosexé du Tilapia au cours des deux dernières décennies en raison du taux de croissance élevé, de la haute tolérance aux conditions environnementales sévères et la résistance au stress et aux maladies, de la grande homogénéité de taille à la récolte ainsi d'une meilleure qualité et apparence de la chair (EL-SAYED, 2006).

La production du Tilapia monosexé est faite par le tirage manuel, l'inversion sexuelle hormonale, l'hybridation interspécifique, l'androgénèse et la triploïdie (HERRERA et CRUZ, 2001).

Le développement de la technologie mâle YY implique une série d'étapes de féminisation et de test de descendance pour déterminer le génotype d'un poisson par la sex-ratio de sa progéniture (HERRERA et CRUZ, 2001).

I.2.4. Exigences environnementales

L'introduction de Tilapia par l'empoissonnement dans les plans naturels ou la culture dans les cages, les étangs et les bassins, nécessite la prise en compte de leurs conditions environnementales y compris les paramètres physiques et chimiques ainsi que les facteurs biologiques.

I.2.4.1. Température

Les Tilapias sont des poissons thermophiles et sont connus pour tolérer une large gamme de températures de l'eau. La gamme de température pour le développement normal, la reproduction et la croissance du tilapia est d'environ 20 à 35 °C, selon l'espèce de poisson, avec une gamme optimale d'environ 25-30 °C (BALARIN et HALLER, 1982 ; CHERVINSKI, 1982 ; PHILIPPART et RUWET, 1982). Le Tilapia tolérerait des températures allant jusqu'à 40°C, mais les maladies et les mortalités induites par le stress sont problématiques lorsque les températures dépassent 37°C ou 38°C (ALLANSON et NOBLE, 1964 ; WOHLFARTH et HULATA, 1983).

GENERALITES

I.2.4.2. L'Oxygène dissous

L'oxygène dissous est l'un des facteurs environnementaux limitant affectant l'alimentation, la croissance et le métabolisme des poissons (EL-SAYED, 2006). Les espèces de tilapia d'élevage courantes peuvent survivre à des niveaux d'oxygène dissous à l'aube inférieurs à 0,5 mg/L (WEBSTER et LIM, 2006). La fluctuation de l'oxygène dissous est affectée par la photosynthèse, la respiration et la fluctuation journalière.

I.2.4.3. La salinité

Le Tilapia a tendance à être euryhalin et tolère une large gamme de salinités (STICKNEY R. K., 1986 ; SURESH et LIN, 1992). Des rapports font état de niveaux de tolérance dépassant 100 ppm de salinité et il a été supposé que le tilapia est originaire du milieu marin et a envahi l'eau douce (STICKNEY, et GATLIN, 2022).

I.2.4.4. Concentration en ions d'hydrogène

Le Tilapia semble mieux se développer dans une eau proche de la neutralité ou légèrement alcaline (WEBSTER et LIM, 2006).

I.2.4.5. Ammoniac et nitrites

La toxicité de l'ammoniac est étroitement corrélée au pH. Lors de l'augmentation du pH au-dessus de la neutralité, l'ammoniac total passe de la forme ionique (NH_4) à la forme gazeuse toxique non ionisée (NH_3) ; la concentration augmente également avec l'augmentation de la température (SÖDERBURG, 1997). Le niveau létal de NH_3 est d'environ 2,3 mg/l, le niveau de nitrites (NO_2) toléré est d'environ 2,1 mg/l (BALARIN et HALLER, 1982). L'ammoniac non ionisé commence à réduire l'appétit du Tilapia à des concentrations aussi faibles que 0,08 mg/l (WEBSTER et LIM, 2006).

I.2.4.6. Physiologie digestive de Tilapia

Les Tilapias sont généralement herbivores, omnivores, macrophages et phytophages. Leurs habitudes et préférences alimentaires dépendent de l'espèce et de sa taille, de l'heure de la journée, de la photopériode, de la profondeur de l'eau et de la situation géographique (EL-SAYED, 2006).

Le système digestif des Tilapias est caractérisé par certaines modifications reflétant les types d'aliment qu'ils ingèrent. Il est relativement simple et non spécialisé, consistant en un œsophage très court relié à un petit estomac en forme de sac et un intestin très long et enroulé, qui peut atteindre jusqu'à 7 à 13 fois la longueur totale du poisson (CAULTON, 1976 ; BALARIN et HATTON, 1979).

GENERALITES

I.2.5. Alimentation du Tilapia

L'Alimentation est la composante la plus coûteuse en industrie aquacole. Sa réussite est basée sur la bonne gestion de l'aliment qui doit répondre aux besoins du poisson en protéines, lipides, glucides, vitamines et minéraux.

I.2.5.1. Besoins en protéines

Les besoins en protéines du Tilapia dépendent, entre autres, de la taille ou de l'âge du poisson et de la source de protéines. Au stade larvaire, les Tilapias en particulier le Tilapia du Nil ont besoin d'environ 35 à 45 % de protéines pour une performance de croissance maximale (SIDDIQUI *et al.*, 1988 ; EL-SAYED et TESHIMA, 1992). Pour les juvéniles de Tilapia, les besoins en protéines varient de 30 à 40 %, tandis que les Tilapias adultes ont besoin de 20 à 30 % de protéines. Les géniteurs de Tilapia ont besoin de 35 à 45 % de protéines pour une reproduction optimale, efficacité de frai et une croissance et survie des larves (GUNASEKERA *et al.*, 1996 ; EL-SAYED *et al.*, 2003).

I.2.5.2. Besoins en lipides

D'une manière générale, le Tilapia a besoin d'environ 10 à 15% de lipides pour une performance de croissance, selon DE SILVA *et al.* (1991). Le Tilapia rouge (*O. niloticus* x *O. mossambicus*) a besoin de 18 % de lipides. Cependant les éleveurs de Tilapia utilisent souvent des valeurs lipidiques plus faibles entre 6 et 8 % (EL-SAYED, 2006).

I.2.5.3. Utilisation de glucides

Le Tilapia peut utiliser efficacement jusqu'à 35 à 40 % de glucides digestibles (ANDERSON *et al.* 1984 ; EL-SAYED et GARLING, 1988). De plus, l'augmentation des glucides alimentaires entraîne une épargne des protéines pour la croissance (EL-SAYED, 2006).

I.2.5.4. Besoins en vitamines

Il a été rapporté que le Tilapia peut ne pas avoir besoin de certaines vitamines, car le poisson est capable de les synthétiser. LOVELL et LIMSUWAN (1982) et SUGITA *et al.* (1990) ont constaté que la supplémentation alimentaire en vitamine B₁₂ n'est pas requise par le Tilapia. Ils ont suggéré que ces poissons peuvent synthétiser cette vitamine dans leurs voies digestives au moyen des micro-organismes intestinaux.

GENERALITES

I.2.6. Sources alternatives d'alimentation pour la pisciculture

La recherche scientifique est orientée vers la valorisation des sources végétales ou animales pour trouver des alternatives de sources non durables ou des additifs aux aliments aquacoles. Nous mentionnons ci-dessous les sources les plus importantes testées dans l'alimentation des poissons.

Tableau I.2-1 Sources alternatives de protéines utilisées dans l'alimentation du poisson

Micro-algues (ARAGÃO et al., 2022)	<ul style="list-style-type: none">- <i>Spirulina maxima</i>- <i>Spirulina platensis</i>- <i>Chlorella sp</i>- <i>Scenedesmus sp</i>
Algues (VALERIA et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none">- <i>Ascophyllum nodosum</i>- <i>Arthropira platensis</i>- <i>Gracilaria cornea</i>- <i>Ulva pertrusa</i>
Plantes terrestres (OLASUNKANMI, et al. 2021)	<ul style="list-style-type: none">- <i>Moringa oleifera</i>- <i>Gliricidia sepium</i>- <i>Leucaena leucocephala</i>- <i>Ipomoea batatas</i>
Plantes aquatiques (OLASUNKANMI, et al. 2021)	<ul style="list-style-type: none">- <i>Eichhornia crassipes</i>- <i>Lemna sp</i>- <i>Azolla sp</i>- <i>Wolffia sp</i>
Insectes (VALERIA et al., 2018)	<ul style="list-style-type: none">- <i>Tenebrio molitor</i>- <i>Musca domestica</i>- <i>Hermetia illucens</i>

GENERALITES

I.3. L'Azolla

I.3.1. Description générale de l'espèce

Le genre *Azolla* représente des fougères d'eau douce hétérospores flottant librement à la surface de l'eau avec des racines submergées qui vivent en symbiose avec *Anabaena azollae*, une cyanobactérie fixant l'azote atmosphérique (HASAN et al., 2009). Ce genre comprend un large éventail d'espèces de fougères aquatiques flottantes qui poussent dans les écosystèmes d'eau douce tropicaux, subtropicaux et tempérés (TEMMINK et al., 2018).

Azolla caroliniana, connue aussi par la fougère d'eau ou velours d'eau, ne mesure que 5 à 10 mm de hauteur et flotte à la surface de l'eau dans des eaux stagnantes ou à courant lent. La plante se propage rapidement via des cours d'eau et couvre de vastes étendues d'eau. Sur ses pétioles ramifiés et horizontaux se trouvent de minuscules feuilles avec des poils papillaires sur leur surface supérieure pour repousser l'eau, qui se chevauchent de manière écailleuse (STAECK, 2022).

L'importance de la culture de l'Azolla réside dans le fait qu'elle est associée en symbiose avec la cyanophycée qui fixe suffisamment d'azote atmosphérique pour assurer la croissance rapide de la plante, dont le complexe *Azolla-Anabaena* offre une source d'engrais azotés organique (FAO et PNUD, 1981).

L'Azolla peut avoir d'importants impacts nocifs et irréversibles sur les zones humides car elle peut modifier la faune et la flore locales (SAX et al., 2005 ; OLDEN et VANDER ZANDEN, 2008). En outre, ils peuvent réduire la qualité écologique en modifiant les propriétés biologiques chimiques et physiques des écosystèmes aquatiques (BOETS et al., 2009).

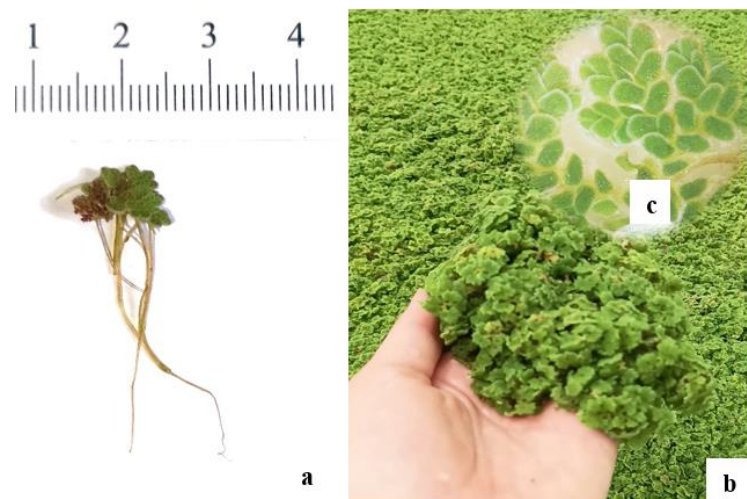


Figure I.3.1 Profil vertical d'Azolla (a) ; Tapis vert d'Azolla (b), Feuilles d'*A. caroliniana* sous la loupe binoculaire (c) (Présent travail)

GENERALITES

I.3.2. Taxonomie de l'espèce

I.3.2.1. Diversité d'Azolla

Le genre *Azolla* peut être divisé en deux sous-genres :

- Rhizosperma, composée de deux espèces, *Azolla nilotica* et *Azolla pinnata*.
- Euazolla, composée de cinq espèces, *Azolla caroliniana*, *Azolla filiculoides*, *Azolla mexicana*, *Azolla microphylla*, et *Azolla rubra*.

Il est à noter que cette classification fait encore débat (DE VRIES, 2018).

I.3.2.2. Hiérarchie taxonomique

- Règne : Plantae
- Embranchement : Tracheophyta
- Classe : Polypodiopsida
- Ordre : Salviniales
- Famille : Salviniaceae
- Genre : *Azolla*
- Espèce : *Azolla caroliniana* (Willd, 1810)

I.3.3. Distribution géographique

Des écosystèmes aquatiques tels que les eaux stagnantes, les étangs, les fossés, les canaux ou les rizières peuvent être couverts de façon saisonnière par un tapis d'*Azolla* associé à d'autres espèces végétales flottantes (KANNAIYAN et KUMAR, 2006) (Tableau I.3-1).

Tableau I.3-1 Répartition géographique mondiale (CARRAPIÇO et al., 2000 ; KANNAIYAN et KUMAR, 2006)

Sous-genre	Espèces	Origine et distribution
Euazolla	<i>A.filiculoides</i>	Sud de l'Amérique du sud et Ouest de l'Amérique du Nord jusqu'à l'Alaska
	<i>A.caroliniana</i>	Est de l'Amérique du Nord, Amérique centrale, Caraïbes, Mexique et Antilles
	<i>A.mexicana</i>	Nord de l'Amérique du Sud jusqu'à la Colombie-Britannique et vers l'est jusqu'à l'Illinois
	<i>A.microphylla</i>	Ouest et Nord de l'Amérique du Sud jusqu'au Sud du Nord Amérique et Antilles
Rizosperma	<i>A.pinnata</i>	Afrique tropicales et Afrique austral, Asie du Sud Est, Japon et Australie
	<i>A.nilotica</i>	Afrique centrale, haut Nil Soudan, Ouganda, Tanzanie, Congo et Namibie

GENERALITES

I.3.4. Reproduction et mode de dispersion

La multiplication de l'Azolla dans la nature et en culture se fait entièrement par reproduction végétative. Cependant, la reproduction sexuée, qui est essentielle à la survie de la population lors de conditions défavorables temporaires, se produit également. Lorsque les frondes de l'Azolla atteignent une certaine taille selon l'espèce et l'environnement, généralement 1 à 2 cm de diamètre, les tiges secondaires plus anciennes se détachent de la tige principale suite à la formation d'une couche d'abscission, donnant ainsi naissance à de nouvelles frondes. C'est le mode de multiplication le plus habituel (HASAN *et al.*, 2009).

Au moment de la reproduction sexuée, il se forme sous la fougère à la place du lobe inférieur de la feuille des spores mâles (mégaspores) et des spores femelles (microspores) qui constituent des formes de survie de l'Azolla. La fécondation des gamètes redonne naissance à une plantule qui rejoint la surface de l'eau (REYNAUD et FRANCHE, 1985).

I.3.5. Production d'Azolla

Une méthode simple de pépinière d'Azolla pour sa multiplication à grande échelle a été décrite par SHERIEF et JAMES (1994). Le champ pour une pépinière d'Azolla doit être soigneusement préparé et nivelé uniformément. Il est divisé en différentes parcelles par des digues et des canaux d'irrigation appropriés. L'eau est manipulée à une profondeur de 10 cm. Dix kg de fumier frais de bovin mélangé à 20 L d'eau sont saupoudrés dans chaque parcelle et un inoculum d'Azolla de 8 kg est introduit dans chaque parcelle. Du superphosphate (100 g) est appliqué en trois doses fractionnées à intervalles de quatre jours comme engrais de couverture. Pour lutter contre les insectes, des granulés de furadoine à 100 g/parcelle sont appliqués sept jours après l'inoculation. Quinze jours après l'inoculation, l'Azolla est récoltée. En une seule récolte, on obtient 40-55 kg d'Azolla fraîche par parcelle.

I.3.6. Exigences environnementales

Une bande d'eau ne dépassant pas quelques centimètres de profondeur favorise la croissance car elle fournit une bonne nutrition minérale, les racines n'étant pas trop éloignées du sol, et aussi parce qu'elle réduit les effets du vent (VAN HOVE, 1989).

D'après SHERIEF et JAMES (1994), la température de l'eau favorable à la multiplication rapide de l'Azolla se situe généralement entre 18 et 26 °C.

L'Azolla peut survivre dans une eau dont le pH varie de 3,5 à 10, la croissance optimale se produisant à un pH de 4,5 à 7,0. WATANABE *et al.* (1977) ont rapporté que la croissance de l'Azolla était optimale à un pH de 5,5.

GENERALITES

L'Azolla peut supporter une salinité allant jusqu'à 10 ppm (HASAN et al., 2009), mais HALLER et al., (1974) ont signalé que la croissance d'*A. caroliniana* cesse à environ 1,3 ppm et que des concentrations plus élevées entraînent la mort.

L'Azolla a besoin de 25 à 50 % de plein soleil pour sa croissance normale ; une légère ombre est bénéfique à sa croissance dans les conditions de terrain. La production de biomasse diminue fortement à une intensité lumineuse inférieure à 1 500 lux (LIU et al., 2008).

L'Azolla peut se développer en plusieurs couches, bien que la couche supérieure vire au rouge à cause de l'ensoleillement intense, la couche inférieure reste verte, la croissance multicouche d'Azolla augmente sa densité et minimise le travail de récolte (FUZHOU, 1987).

I.3.7. Composition biochimique

L'Azolla se présente sous forme fraîche, séchée ou ensilée. Sa composition biochimique dépend de l'espèce, de conditions écologiques et de la phase de croissance.

Tableau I.3-2 Variation des composants biochimiques d'Azolla

Protéine brute	13-30
Matière grasse brute	4,4-6,3
Hémicellulose	9,8-17,9
Cellulose	5,6-15,2
Lignine	9,3-34,8
Cendres	9,7-23,8

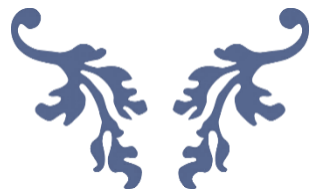
Source : (AYYAPPAN, 2000)

I.3.8. Domaine d'utilisation

Selon Roy (2016), l'Azolla est utilisée comme biofertilisant dans la culture du riz. Elle entre comme complément nutritionnel pour le bétail pour une variété d'animaux comme les bovins, les chèvres, les lapins, les poulets et les poissons. Cependant, son potentiel en tant qu'aliment pour l'homme est moins connu. Elle est utilisée dans la remise en état des sols salins, et dans la production de biogaz grâce à sa fermentation anaérobique. Elle est utilisée aussi dans la lutte contre les moustiques car un épais tapis d'Azolla sur la surface de l'eau peut empêcher leur reproduction et leur émergence.



Matériel & méthodes



MATERIEL & METHODES

II. Matériel et méthodes

L'objectif de ce présent travail est de faire un essai de culture d'*Azolla* et son incorporation dans le régime alimentaire des alevins d'*Oreochromis sp* en évaluant son effet sur ses performances de croissance. L'expérience a duré 93 jours au niveau de la ferme aquacole Garden Aqua.

II.1. Présentation de SARL Garden Aqua

L'expérimentation a été réalisée pendant une durée de 10 semaines à Garden Aqua qui est une ferme aquacole et éclosionnaire continentale, filiale de la pépinière « Garden », créée en 2017, située dans la commune de Chéraga, wilaya d'Alger. Elle génère plus de vingt espèces dont quatre destinées à la consommation et le reste à l'ornement, citons *Oreochromis sp*, *Clarias gariepinus*, *Cyprinus carpio*, *Carassius carassius*, *Carassius auratus*, *Poecilia reticulata*.

La ferme dispose d'infrastructures et équipements comprenant :

- Un laboratoire et bureau du personnel.
- Salle d'incubation.
- Salle d'alevinage.
- Batteries d'aquariums.
- '2' Etangs sous serre n°1 et 2 en géo-membrane de 5m x 40m x 1m avec un volume d'eau de 200m³.
- '7' Bassins circulaires sous serre n°3 de 5m de diamètre, 1m de profondeur avec volume d'eau de 10m³.
- '8' Bassins circulaire en plastique sous serre n°4 de 3m de diamètre 0,6m de profondeur avec un volume d'eau de 4m³.
- '4' Etangs sous serre en géo-membrane de 6m x 24m x 1m avec un volume d'eau de 80m³.
- '2' Etangs extérieurs en géo-membrane de 4m x 10m x 1m avec un volume d'eau de 40m³.
- Bassin de décantation D1 : 2m x 2m x 2.5m avec un volume d'eau de 10m³.
- Bassin de décantation D2 : 2m x 2m x 2m avec un volume d'eau de 8m³.
- Bassin de décantation D3 : 2m x 2m x 3m avec un volume d'eau de 12m³.



Figure II.1.1 Etang d'élevage sous serre en plastique (Présent travail)

MATERIEL & METHODES

II.2. Culture et suivi de l'Azolla

La biomasse d'Azolla générée en tant que sous-produit est actuellement sous-utilisée et pourrait potentiellement bénéficier à l'industrie des aliments aquacoles en remplaçant la protéine de farine de poisson irréalisable et coûteuse à un certain niveau (SHARIFAH et *al.*, 2022).

Le recours à la culture d'Azolla était une nécessité absolue afin d'assurer son abondance et donc la possibilité de l'utiliser dans notre expérience comme aliment de base ou associé pour les alevins monosexes du Tilapia rouge. La souche d'Azolla destinée à la culture a été acquise auprès d'une ferme agricole locale à la wilaya d'Ain Defla. Pour fournir un milieu avec des conditions appropriées pour une croissance optimale d'Azolla, nous avons suivi les étapes ci-dessous comme essai de culture d'Azolla.

- Préparation du bassin d'élevage : un bassin blanc (bassin de suivi) placé sous serre de 4,15m² rempli d'eau fraîche avec une profondeur de 15 cm avant 24h d'ensemencement.
- Désinfection d'Azolla : Faire tremper 1 kg d'Azolla dans une solution de permanganate de potassium à 3g/L pendant 60 min (ARIZAL, 2010) (Figure II.2.1).
- Ensemencement d'Azolla : Après rinçage, on coupe les fougères délicatement entre les mains pour stimuler leur croissance et on les met en surface du bassin blanc en le recouvrant en plastique (Figure II.2.1) afin de protéger l'Azolla contre la basse température, l'ensemencement a été fait aussi sur les surfaces des bassins d'alevins du carpe koï, des bassins de décantation et sur un étang à l'extérieur afin d'évaluer la croissance d'Azolla dans des différents milieux.
- Fertilisation : un sac de biofertilisant (fumier de bovins) a été mis dans le bassin blanc dans le but de fournir les nutriments essentiels à la croissance.
- Renouvellement d'eau : l'eau du bassin blanc était renouvelée tous les 10 jours avec un mélange d'eau de poisson et de l'eau fraîche.



Figure II.2.1 Désinfection d'Azolla (à gauche), Bassin d'Azolla recouvert de plastique (à droite)
(Présent travail)

MATERIEL & METHODES

- Récolte, séchage et broyage : après rinçage et égouttage d'Azolla récoltée, est mise au séchage à l'air libre pendant 3-4 jours, ensuite le broyage par un broyeur (Moulinex-1000W).

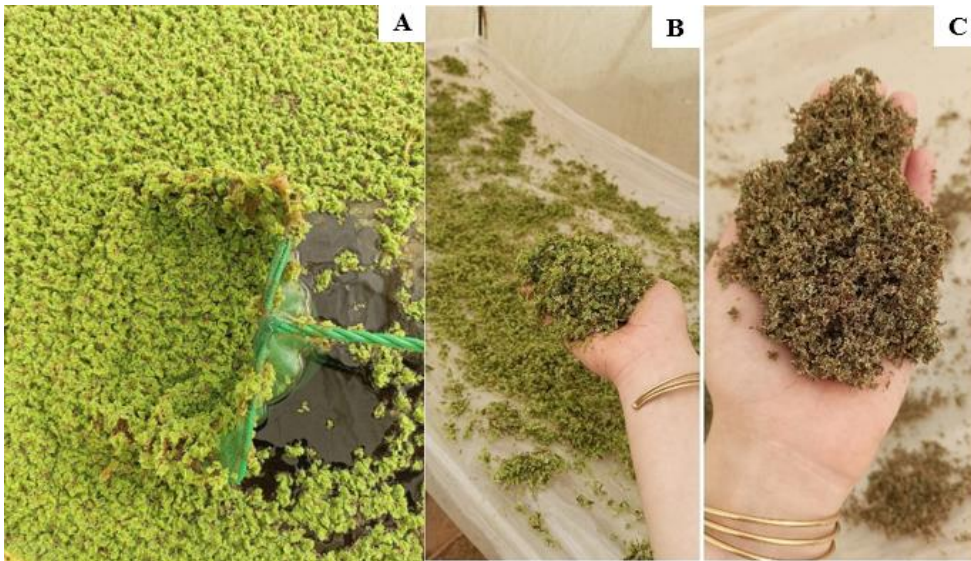


Figure II.2.2 Récolte d'Azolla (A), mise en séchage (B), Azolla après séchage (C)

(Présent travail)

II.3. Elevage et suivi des alevins

II.3.1. Obtention et acclimatation des alevins

Les monosexes mâles de Tilapia rouge ont été fournis par SARL AQUA PRO située à Aïn Oussara, wilaya d'El Djelfa. La commercialisation de Tilapia rouge monosexes a commencé fin d'année 2021 après avoir importé la technologie de géniteurs monosexes d'une société néerlandaise.

Le transport des alevins a été fait dans des sacs en plastique en ajoutant de l'oxygène pur (Figure II.3.1). Aucune mortalité n'a été enregistrée.

Le transfert des alevins des sacs en plastique vers les aquariums de quarantaine s'est fait par une thermorégulation, les aquariums étaient pré-équipés contenant le bleu de méthylène (solution mère) comme antifongique avec une concentration de 1mL/L, et le NaCl comme désinfectant avec une concentration de 3g/L (Figure II.3.1).

MATERIEL & METHODES



Figure II.3.1 Arrivée des alevins transportés dans des sacs en plastique (à gauche), alevins en quarantaine (à droite)

Un changement d'eau régulier été fait avec une eau à température maintenue entre 24-26°C.

Après avoir constaté le bon comportement des alevins notamment la réponse à l'alimentation, une durée de 5 jours été suffisante pour assurer leur acclimatation.

II.3.2. Préparation des aquariums et régimes alimentaires

Dans l'objectif d'évaluer l'efficacité de l'Azolla par rapport à l'aliment granulé de marque Aller Aqua (ALLER TIL-PRO SANA 2mm) (voir annexe I) sur la croissance des alevins monosexes de Tilapia hybride rouge, quatre aquariums identiques (38 cm x 48 cm x 53,5 cm) ont été utilisés avec un volume d'eau immergée de 87,4L. L'oxygène a été apporté au niveau des aquariums par des diffuseurs, un filtre mécanique a été utilisé pour la filtration et quatre thermostats (XILONG XL-999) de capacité (200 W) ont été placés à partir de la 5^{ème} semaine d'expérience (

Figure II.3.2).



Figure II.3.2 Lots d'aquarium utilisés durant l'expérience

MATERIEL & METHODES

Au total, 80 alevins monosexes mâles de *Oreochromis* sp avec une biomasse initiale de 1933g ont été répartis dans les quatre lots d'aquariums à raison de 20 alevins par aquarium.

Au cours de l'expérience, quatre régimes alimentaires ont été testés, les alevins du 1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} aquarium (Aqua 1, 2, 3 et 4) ont été nourris respectivement par l'aliment commercial (AL) (Aquarium témoin), l'Azolla fraîche (AZ), l'aliment commercial et l'Azolla fraîche (AL +AZ), l'aliment commercial et l'Azolla séchée et broyée (AL+ AZs) comme le montre le Tableau II.3-1.

Tableau II.3-1 Répartition des alevins monosexes mâles de Tilapia rouge en aquariums et les régimes alimentaire distribués (AL, AZ, AL+AZ, AZs)

	Aqua 1 (témoin)	Aqua 2	Aqua 3	Aqua 4
Nombre d'individus initial	20	20	20	20
Poids moyen initial (g)	22,3 ± 3,37	23,3 ± 4,88	25 ± 6,29	26,05 ± 5,09
Taille initiale moyenne (cm)	10,36 ± 0,60	10,47 ± 0,87	10,81 ± 0,89	10,65 ± 0,65
Régimes alimentaires	AL	AZ	AL+AZ	AL+ AZs

II.3.3. Ration et fréquence de nourrissage

La suralimentation entraîne une pénurie d'oxygène, surtout par temps chaud, et augmente la demande biologique en oxygène (FERKET et al., 2011). Selon EL-SAIDY et GABER (2005), une bonne gestion de l'alimentation, y compris une fréquence de nourrissage appropriée, peut réduire la suralimentation et maximiser l'efficacité. La sous-alimentation, en revanche, est une cause de retard de croissance et de mortalité élevée des poissons, ce qui constitue une perte pour les entreprises piscicoles (EL-SAIDY et GABER, 2005 ; RICHE et al., 2004).

Selon JAUNCEY et ROSS (1982), la ration journalière a été fractionnée en quatre repas et distribuée à 9h,11h,13h et 15h. Une ration de 3% de la biomasse initiale a été appliqué au début de l'expérience selon la table de nourrissage (voir annexe I). Cette dernière a été réajustée en fonction de la température et de biomasse totale calculée après chaque mesure.

La ration alimentaire journalière a été calculée selon la formule suivante :

$$Ra (g/j) = P_{moy} * Tn * N$$

Ra : ration alimentaire journalière ;

N : Nombre total d'individus ;

P_{moy} = Poids moyen des poissons (g) ;

Ta : Taux de nourrissage.

MATERIEL & METHODES

La ration journalière des lots d'aquariums alimentés par l'Azolla et l'aliment, été divisée en deux entre les aliments granulés, l'Azolla fraîche et l'Azolla séchée (50% AL + 50% AZ) pour le 3^{ème} aquarium et (50% AL + 50 % AZs) pour le quatrième aquarium.

L'Azolla fraîche (rincée et égouttée) et l'Azolla séchée ont été distribuées manuellement en surface des différents aquariums.

II.3.4. Mensurations en taille et en poids

Des contrôles de croissance pondérale et linéaire (longueur totale) ont été effectués tous les 15 jours sur tous les individus en utilisant une balance électrique (OHAUS, FD15H) et un ichtyomètre (Figure II.3.3).



Figure II.3.3 Mesure de poids (à gauche) et de taille (à droite)

II.3.5. Qualité de l'eau d'élevage

Les paramètres de l'eau d'élevage qui influent sur la santé et la croissance des poissons doivent être respectés en maintenant les conditions optimales recommandés.

II.3.5.1. Hygiène et prophylaxie

Afin de minimiser les problèmes de la qualité d'eau d'élevage, un renouvellement d'eau journalier équivalant à $\frac{1}{4}$ de volume total de chaque aquarium a été effectué ainsi qu'un siphonage du fond des aquariums. L'entretien des aquariums a été fait chaque 15 jours en nettoyant les parois et les équipements des aquariums pour éviter le colmatage des diffuseurs et des filtres.

II.3.5.2. Paramètres physico- chimiques

Les valeurs de température, d'oxygène dissous et de pH ont été prises deux fois par jour (matin et après-midi) en utilisant 2 sondes multiparamétriques (OHAUS-STARTER 300D) (Figure II.3.4).

MATERIEL & METHODES



Figure II.3.4 Sondes multiparamétriques utilisées pour les mesures de température, oxygène et pH

Des prélèvements d'eau des quatre aquariums durant les deux dernières semaines d'expérience ont été fait pour les analyses des déchets azotées (nitrites, nitrates et ammonium). Elles ont été réalisées au niveau de la station de la recherche de l'ENSSMAL à Sidi Fredj par la méthode spectrale en suivant le protocole de dosage d'AMINOT et CHAUSSEPIED,1983.

II.4. Analyses biochimiques de l'Azolla

Les analyses biochimiques sur l'Azolla séchée ont été faites au niveau du laboratoire de biologie moléculaire de l'ENSSMAL afin de déterminer la composition biochimique d'Azolla. Ces analyses ont compris le dosage des protéines et des lipides, la détermination de la matière sèche et de la matière minérale.

II.4.1.Extraction et dosage des protéines

Selon la méthode de référence (Kjeldahl, 1883) (AKROUR-AISSOU, 2020. Manuel des travaux pratiques Nutrition-Alimentation,4^{ème} année Aquaculture) (voir annexe II).

L'extraction et le dosage des protéines est basée essentiellement sur :

- La digestion ou la minéralisation de l'échantillon ;
- La distillation de l'ammoniac ;
- Le titrage de l'ammoniac.

II.4.1.1. Application de la méthode

A. Minéralisation

Cette première étape a été effectuée à l'aide d'un appareil de minéralisation « Inkjel » équipé d'une plaque chauffante, un thermostat, un porte matras, un collecteur de fumées et un piègeur de fumées (Figure II.4.1).

MATERIEL & METHODES

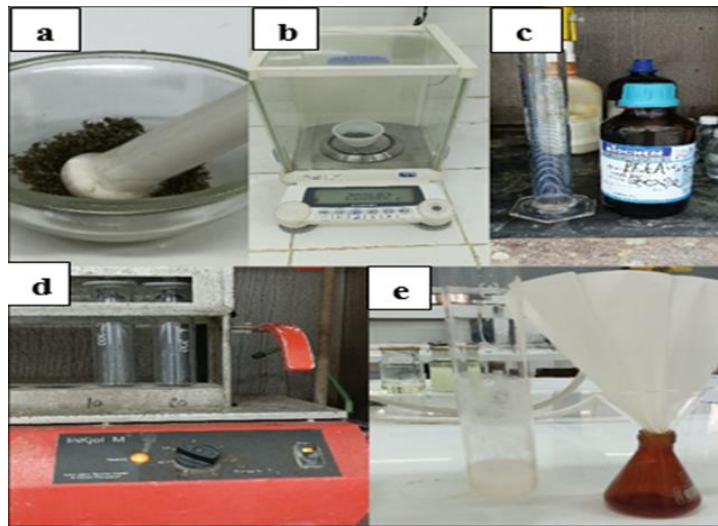


Figure II.4.1 Minéralisation de l'Azolla séchée et filtration de minéralisât

(a : broyage manuel d'AZ séchée ; b : pesage de 2g d'AZ séchée ; c : quantification de l'acide sulfurique ; d : chauffage au « Inkjel » jusqu'à l'obtention de couleur limpide ; e : filtration et dilution du minéralisât)

B. Distillation

Cette étape a été réalisée à l'aide de distillateur « Behr, Labor – Technik », dans le but de recueillir à la fin la solution finale « le distillat » (l'ammoniaque entraîné à la vapeur) plus l'acide borique (Figure II.4.1).

C. Titrage

L'objectif de cette étape est d'obtenir le pH initial d'acide borique par le titrage de la solution finale obtenue par une solution d'acide chlorhydrique à 0,2N.



Figure II.4.1 Distillation du minéralisât (à gauche), titrage et mesure du pH (à droite)

MATERIEL & METHODES

II.4.1.2. Calcul du taux des protéines

Le taux de protéines est calculé selon l'équation suivante :

$$\% \text{ Protéines} = \frac{2,803 * V * 100}{1000 * m} * F$$

X : quantité d'azote dans 100g d'échantillon.

F : facteur dépendant du type d'aliment analysé = 6,25

V : volume d'HCl (mL).

m : le poids de l'échantillon (g).

II.4.1.3. Extraction de la matière grasse

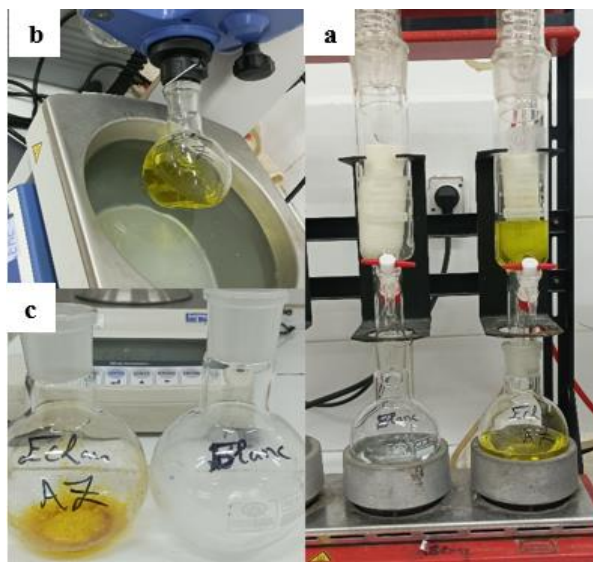


Figure II.4.2 Les principales étapes de l'extraction des lipides

(a : extraction en continu de lipides par l'éther éthylique ; b : concentration des lipides dans le rota-vapeur ; c : pesage des ballons après séchage à l'étuve)

L'extraction solide-liquide par le dispositif « Soxhlet » est une méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse dans les aliments solides déshydratés. C'est une méthode gravimétrique, puisqu'on pèse l'échantillon au début et la matière grasse à la fin de l'extraction (Figure II.4.2) suivant le protocole dans l'annexe III.

II.4.1.4. Calcul du taux de lipides

La matière grasse (MG) extraite est calculée selon la formule suivante :

$$\% \text{ Lipides} = \frac{P - P_0}{m} * 100$$

MATERIEL & METHODES

P_0 : Poids du ballon rempli après séchage à l'étuve et refroidissement dans le dessiccateur (g) ;

P : Poids du ballon vide (g) ;

m : Poids d'AZ séchée (g).

II.4.2. Détermination de la matière sèche (MS)

La détermination du taux d'humidité a été faite selon la méthode AOAC (2000). L'échantillon a été initialement pesé (P_0) puis séché dans l'étuve à 105°C pendant 24h et enfin refroidi dans un dessiccateur et pesé de nouveau (P_1).

Le pourcentage d'humidité a été calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ Humidité} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} * 100$$

II.4.3. Détermination de la matière minérale (MM)



Figure II.4.3 Four à moufle (à gauche), refroidissement de creusé qui contient la matière organique dans le dessiccateur (à droite)

La minéralisation de l'échantillon (P_0) a été fait à 550 °C pendant 2h dans un four à moufle (Figure II.4.3), afin de déstructurer toute la matière organique contenue dans l'échantillon qui a été refroidis par la suite dans un dessiccateur.

Le pourcentage des cendres a été calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ Cendre} = \frac{P_0 - P_1}{P_0}$$

MATERIEL & METHODES

II.5. Performances zootechniques

Afin d'évaluer les performances d'élevage des quatre lots expérimentaux, les indicateurs suivants ont été calculés (Tableau II.5-1).

Tableau II.5-1 Paramètres zootechniques étudiés (Pmf : poids moyen initial ; Pmi : poids moyen final ; NPi : nombre de poissons initial ; NPf : nombre de poissons final)

Gain de Biomasse (GB)	Biomasse finale – Biomasse initiale
Gain de poids moyen (GPM)	Poids final (g) – Poids initial (g)
Gain de poids journalier (g/j)	Gain de poids moyen/Durée de l'élevage
Taux de croissance spécifique (TCS)	$TCS = \frac{\ln(Pmf) - \ln(Pmi)}{\text{Durée de l'expérience (jours)}} \times 100$
Taux de survie (TS)	$TS = (NPf / NPi) \times 100$

Source : (AVIT *et al.*, 2014)

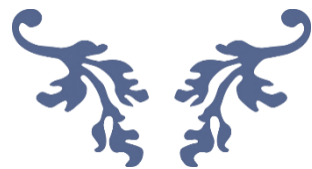
II.6. Analyses statistiques

A la fin de l'expérience les moyennes des paramètres biométriques (poids et longueur totale) ont été comparés statistiquement par le test-t de Student, afin de savoir si les moyennes des poids et des tailles finales des individus de l'aquarium témoin et des autres aquariums sont significativement différentes au point de vue statistique, en proposant deux hypothèses (H_0 : les poids et les tailles moyennes de l'aquarium témoins et des autres régimes sont égales et H_1 : qui suggère qu'elles sont différentes).

Pour la relation de croissance entre la longueur totale $W = a * L^b$ (LE CREN, 1951) le test de régression linéaire a été utilisé pour trouver les coefficients a et b (W= poids (g), L= longueur (cm), a = le coefficient lié à l'environnement du poisson et b = pente logarithmique ou le coefficient de croissance relative). La valeur du coefficient b permet d'évaluer la croissance. La croissance est dite isométrique lorsque le coefficient b est statistiquement égal à 3. Lorsqu'elle est statistiquement différente de 3 ($b < 3$ ou $b > 3$), on parle de croissance allométrique (OLUGBENGA et OLOKO, 2013).



Résultats & discussion



RESULTATS & DISCUSSION

III. Résultats et discussion

III.1. Evolution et croissance d'Azolla

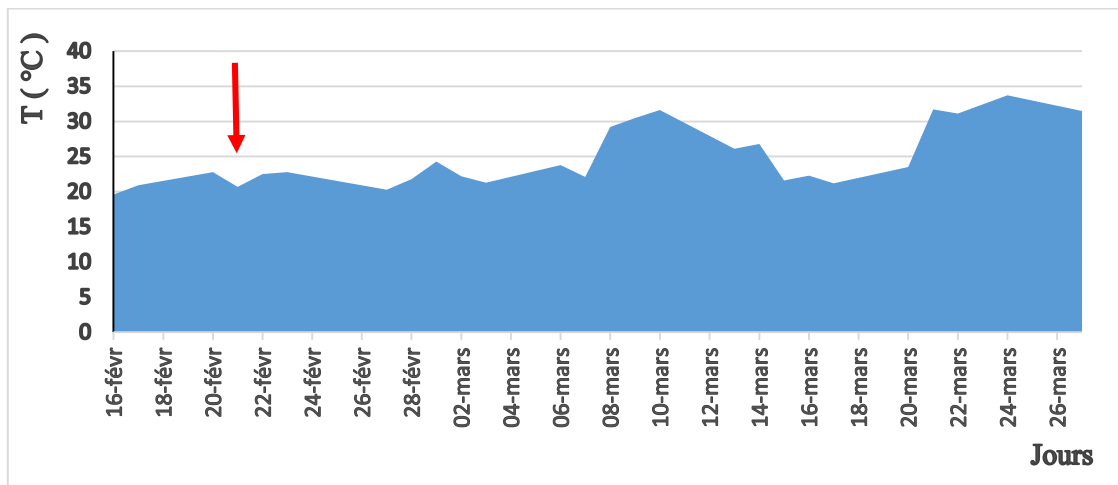


Figure III.1.1 Changements de température enregistrés au niveau du bassin culture d'Azolla

Pendant la période d'étude (39 jours), les fluctuations de température varient entre 19,6 et 33,7°C avec une température moyenne de $24,8^{\circ}\text{C} \pm 4,28$. La Figure III.1.1 montre que la température n'était pas stable même en présence d'un thermostat qui a été placé dans le bassin d'élevage à partir du cinquième jour de l'expérience (mentionné avec la flèche rouge, Figure III.1.1).

L'aspect extérieur de l'Azolla a évolué au cours du temps, et selon le milieu, une variation de couleur des feuilles d'Azolla de vert au rouge (Figure III.1.2 à gauche) a été observée aussi bien au niveau des bassins extérieurs et profonds. La Figure III.1.2 (à droite) montre la différence de longueur et de ramification des racines remarqué chez l'Azolla ensemencée en surface des bassins d'alevins de carpe koï et celle de bassin blanc, où l'Azolla cultivée dans le bassin blanc se distinguait des autres par ses racines courtes et peu ramifiées

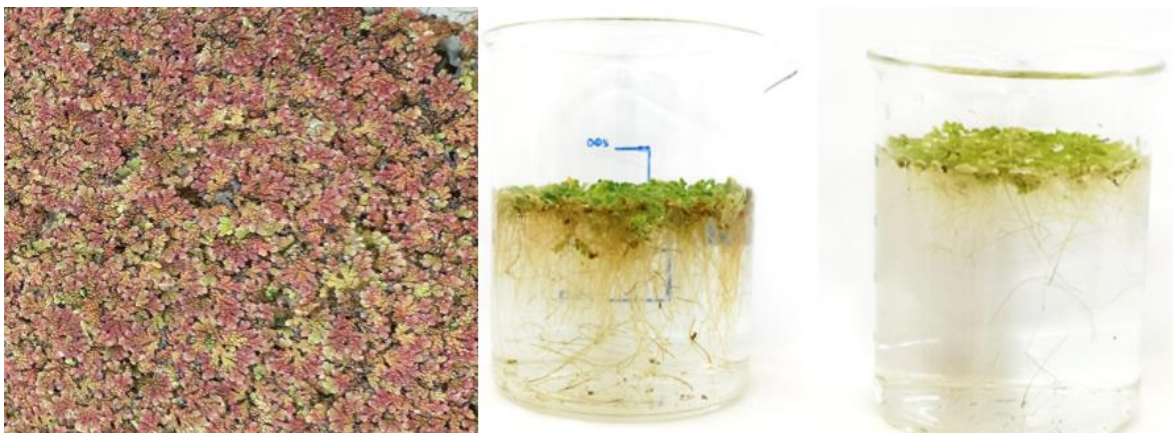


Figure III.1.2 Azolla de couleur rouge (à gauche) ; différence de longueur et de ramification des racines (à droite) (Présent travail)

RESULTATS & DISCUSSION

Après 22 jour, l'Azolla recouvrait complètement la surface de bassin blanc, une augmentation de masse de 2,25 kg a été constaté, soit une biomasse totale de 3,25 kg.



Figure III.1.3 Mortalité partielle des feuilles d'Azolla (Présent travail)

L'Azolla ensemencé au niveau des différents bassins (alevins de koï, bassin de décantation et étangs externes), présentait une croissance lente. Il faut noter que la non-récolte entraîne la mort de certaines parties du tapis d'Azolla (Figure III.1.3).

Un poids 80 g d'Azolla séchée a été récupéré à partir d'un kilogramme d'Azolla fraîche après l'avoir rincer, égouter, sécher et broyer. Après 35 jours de culture de l'Azolla au niveau du bassin blanc, on a remarqué que la couleur des feuilles de l'Azolla commençait à jaunir et que certaines feuilles virait au brun noir, ce qui entraînait la perte de la fraîcheur de l'Azolla. Après plusieurs observations faites sur des échantillons de cette dernière, il s'est avéré qu'elle a été attaqué par des insectes (Figure III.1.4), par la suite la culture s'est arrêtée au niveau de ce bassin (bassin de suivi).



Figure III.1.4 Attaque des feuilles d'Azolla par des parasites (Présent travail)

RESULTATS & DISCUSSION

A. caroliniana tolère des températures minimales de [$<0-10^{\circ}\text{C}$], maximales allant jusqu'à 45°C , et optimales entre 20 et 30°C (CAGAUAN et PULLIN, 1991 modifié par HASAN et al., 2009).

Les valeurs de la température fourni pour la croissance d'Azolla en bassin blanc lors de l'expérience répondent favorablement aux besoins de l'Azolla.

Le virage de couleur des frondes du vert au rouge, s'explique par l'exposition directe au soleil de l'Azolla ensemencée en étang externe. Cette variation peut également être un symptôme de carence en phosphore (en raison de la présence du pigment anthocyanine) (HASAN et al., 2009).

La différence de longueur des racines d'Azolla remarqué peut-être expliqué par la quantité suffisante (racines courtes et moins ramifiées) ou insuffisante (racines longues et ramifiées) des nutriments.

La croissance lente de l'Azolla cultivée en bassins extérieurs s'explique par les fluctuations météorologiques survenus en février et mars (exposition directe au soleil), en plus du manque important de nutriments en particulier le phosphore (P) qui est le principal nutriment limitant la croissance d'*Azolla sp* (SADEGHI et al., 2013 ; TEMMINK et al., 2018).

La mort de certaines parties de l'Azolla en raison de la surpopulation souligne la nécessité d'une récolte quotidienne de l'Azolla pour s'assurer que toute partie du tapis bénéficie du milieu de culture.

Bien que la croissance de l'Azolla dans les bassins d'alevins de koï a été lente, nous avons remarqué quelques changements au niveau de ces bassins, notamment un taux de mortalités d'alevins réduit, contrairement aux bassins similaires qui n'étaient pas ensemencé d'Azolla, ce qui explique que l'Azolla joue un rôle antiseptique.

L'Azolla a également fourni un abri aux alevins au niveau des racines, réduisant ainsi le cannibalisme dans le bassin.

Les insectes qui s'attaquaient à l'Azolla n'ont pas été identifié, mais il est fort probable qu'ils appartiennent à l'ordre des Coléoptère comme *Stenopelmus rufinasus* qui est un ennemi naturel de l'Azolla (HILL, 1998).

Il est à noter que le sac de fumier peut être à l'origine de la prolifération de ces insectes dans le bassin d'autant plus que ce sac n'a été retiré qu'après avoir confirmé la présence du problème.

La culture d'Azolla nécessite la mise à disposition de conditions appropriées avec la nécessité de choisir la saison pour le début de la culture.

RESULTATS & DISCUSSION

III.2. Résultats des analyses biochimiques d'*Azolla caroliniana*

Les résultats de l'analyse biochimique de l'*A.caroliniana* sont représentés dans le Tableau III.2-1

Tableau III.2-1 Résultats biochimiques d'*Azolla caroliniana*

	Présent travail	Valeurs théoriques (KÖSESAKAL et YILDIZ, 2019)
Protéines (%)	2,71	19,7
Lipides (%)	3	4,1
Taux de cendres (%)	24,05	18,2
Taux d'humidité (%)	86,88	-

Les teneurs en protéines (2,71%) de l'*Azolla caroliniana* séchée sont relativement faibles par rapport de ceux trouvés (19,7 %) par KÖSESAKAL et YILDIZ (2019), alors que les teneurs en lipides (3%) ne sont pas très loin des valeurs théoriques (4,1 %). Le taux de cendres du présent travail (24,05%) est plus élevé de 18,2% avec un taux d'humidité élevé.

La composition chimique des espèces d'*Azolla* varie selon les écotypes, les conditions écologiques et la phase de croissance (HASAN et al., 2009), cela peut expliquer la faible teneur en protéines.

RESULTATS & DISCUSSION

III.3. Caractéristiques physico-chimiques du milieu d'élevage

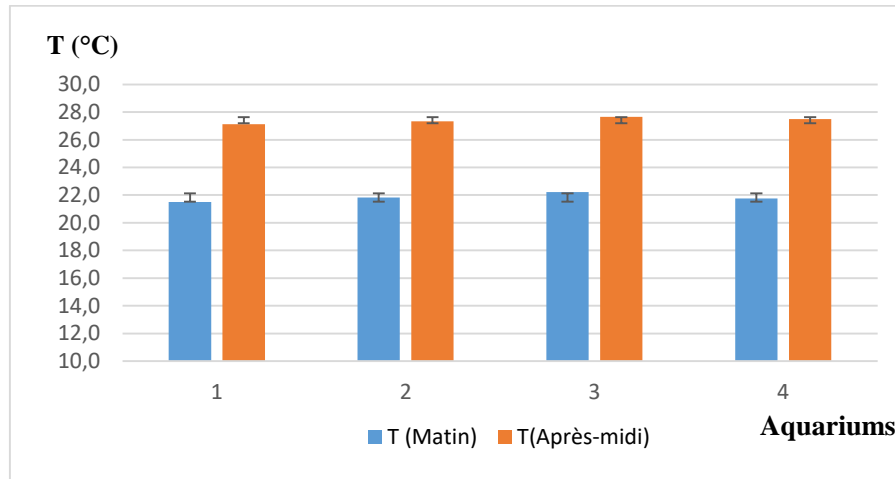


Figure III.3.1 Valeurs de température moyennes des quatre aquariums prises durant la période d'élevage

Les valeurs de température moyennes des quatre aquariums varient respectivement entre [14,5-33,7°C], [14,6-33,6°C], [15-34,1°C], [15,6-34,6°C]. Ces valeurs sont très proches en valeurs avec une légère différence (Figure III.3.1).

La température a progressivement changé au cours de la journée avec des températures basses notamment de la mi-mars aux premières semaines d'avril. Ceci était due à l'absence des thermostats placés dans les aquariums. A partir du vingt-huitième jour de l'expérimentation, les poissons étaient donc exposés aux variations de température de l'environnement extérieur.

Les valeurs de températures ont augmenté en après-midi à partir de la mi-avril. Par conséquent, les thermostats ont été retirés ainsi que quelques panneaux plastiques supérieurs et latéraux des serres (début du mois de mai).

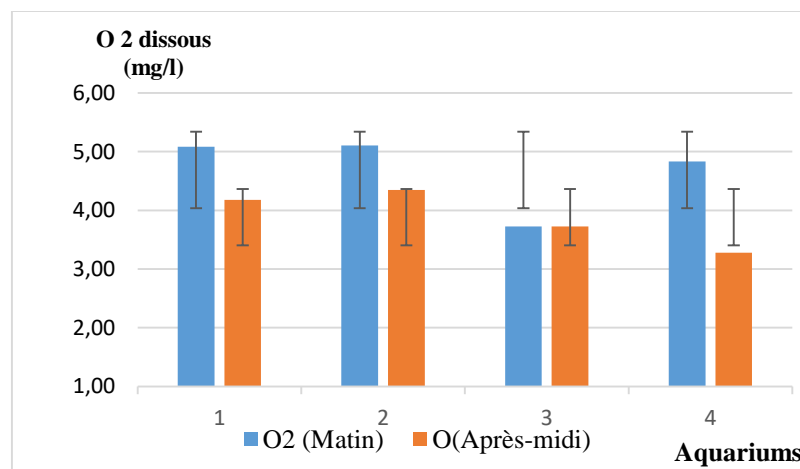


Figure III.3.2 Teneurs moyennes en oxygène dissous enregistrées au niveau des quatre aquariums durant la période d'élevage

RESULTATS & DISCUSSION

Les températures moyennes prises en après-midi sont inclut dans la gamme optimale de croissance et de reproduction du tilapia qui est entre 25 et 30 ° C (BALARIN et HALLER, 1982 ; CHERVINSKI, 1982 ; PHILIPPART et RUWET, 1982).

Quant à l'oxygène dissous, les valeurs dans les quatre aquariums varient respectivement entre [1,34-11,7 mg/L], [1,32-10,84 mg/L], [0,99-10,84 mg/L] et [0,81-9,7 mg/L].

Les concentrations en oxygène dissous ont diminué au cours de la journée. Les concentrations les plus élevés ont été enregistrés le matin et les plus bas l'après-midi (Figure III.3.2).

Les concentrations moyennes d'oxygène mesurées le matin et l'après-midi sont généralement proches l'une de l'autre, mais il convient de noter que les concentrations les plus faibles ont été enregistrées dans le 3^{ème} et le 4^{ème} aquarium.

Les concentrations d'oxygène les plus élevées ont été enregistrées le matin avec des températures basses, tandis que les niveaux d'oxygène les plus bas ont été généralement enregistrés l'après-midi lorsque la température était élevée et supérieure à 30°C, surtout au niveau du 3^{ème} et du 4^{ème} aquarium.

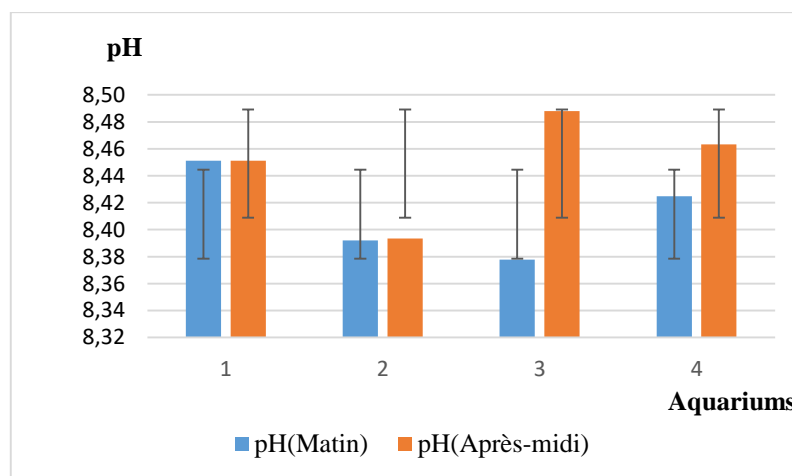


Figure III.3.3 Valeurs moyennes de pH enregistrées au niveau des quatre aquariums durant la période d'élevage

Toutes les valeurs de pH relevées dans les quatre aquariums variaient respectivement entre [7,34-9,29], [7,56-8,94], [7,56-9] et [7,34-9,1].

Les concentrations moyennes en ions hydrogène des quatre aquariums (Figure III.3.3) sont très proches les unes des autres avec des valeurs peu alcalines et valeurs tolérés par le Tilapia (WEBSTER et LIM, 2006).

RESULTATS & DISCUSSION

Les résultats de dosage des sels nutritifs des quatre aquariums sont représentés dans le Tableau III.3-1.

Tableau III.3-1 Les résultats de dosage des sels nutritifs au niveau des quatre aquariums

Aqua 1 (AL)			
Sel nutritifs	Minimum	Maximum	Moyenne
Nitrates (mg/L)	3,03	4,32	3,86
Nitrites (mg/L)	1,74	1,96	1,86
Ammonium (mg/L)	0,12	1,65	0,82
Aqua 2 (AZ)			
Sel nutritifs	Min	Max	Moyennes
Nitrates (mg/L)	1,08	4,21	3,42
Nitrites (mg/L)	0,49	1,94	1,41
Ammonium (mg/L)	0,21	1,80	1,05
Aqua 3 (AL+AZ)			
Sel nutritifs	Min	Max	Moyennes
Nitrates (mg/L)	2,41	4,25	3,66
Nitrites (mg/L)	1,03	1,96	1,66
Ammonium (mg/L)	1,41	1,70	1,53
Aqua 4 (AL+AZs)			
Sel nutritifs	Min	Max	Moyennes
Nitrates (mg/L)	1,52	4,27	3,60
Nitrites (mg/L)	0,74	1,97	1,69
Ammonium (mg/L)	0,24	1,63	0,93

Ces concentrations sont essentiellement influencées par la température, le pH, la qualité d'eau d'élevage ainsi que le type d'aliment distribué, ce qui affecte par la suite les performances de croissance des poissons.

Malgré que les échantillons analysés ont été pris lors d'une période où la température été élevé et le taux de renouvellement d'eau a été réduit, en remarquant que les concentrations de nitrates (NO₃) et d'ammonium (NH₄) sont les plus élevées ça relève que le degré de toxicité est moins important, les concentrations de nitrites et de nitrates n'ont pas dépasser le seuil critique pour *Oreochromis sp* qui est de 5 mg/L et de 500 mg/L respectivement (Malcolm et al., 2000).

L'absence d'un mécanisme approprié de filtration et de renouvellement d'eau, ainsi que le manque d'équipements pour surveiller le développement du cycle de l'azote, en particulier des substances toxiques pendant l'expérience, n'ont pas permis d'obtenir des résultats expressifs sur la qualité de l'eau tout au long de la période expérimentale.

RESULTATS & DISCUSSION

III.4. Croissance des alevins de *Tilapia rouge*

Les paramètres zootechniques ont été calculés à la fin de l'expérience (Tableau III.4-1).

Tableau III.4-1 Paramètres zootechniques des géniteurs d'*Oreochromis sp*

Paramètres zootechniques	Régimes distribués			
	AL	AZ [**]	AL + AZ [*]	AL + AZs [*]
Taux de survie (%)	80%	75%	80%	95%
Poids moyen initial (g)	22,3 ± 3,37	23,3 ± 4,88	25 ± 6,29	26,05 ± 5,09
Poids moyen final (g)	38,38 ± 6,67	25,13 ± 4,55	36,88 ± 9,14	38 ± 6,70
Taille moyenne initiale (cm)	10,36 ± 0,60	10,47 ± 0,87	10,81 ± 0,89	10,65 ± 0,65
Taille moyenne finale (cm)	13,1 ± 0,81	12,03 ± 0,78	13,08 ± 1,2	13,38 S ± 0,9
Poids total initial (g)	446	466	500	521
Poids total final (g)	614	377	590	722
GPM (g)	16,08	1,83	11,88	11,95
GPJ (g/j)	0,24	0,03	0,177	0,178
TCS (%)	0,81	0,12	0,58	0,56

(GPM : Gain du poids moyen (%) ; GPJ : Gain du poids journalier (%) ; TCS : Taux de croissance spécifique (%)
 [**] : différence significative (H_0 rejetée) ; [*] : différence non significative (H_1 rejetée))

Le taux de survie est maximal pour le régime (AL + AZs) avec 95% et minimal pour le régime (AZ) avec 75%.

Les poids moyens ont évolué dans le temps en fonction de l'alimentation distribuée sur les quatre aquariums (Figure III.4.1) jusqu'à atteindre une valeur maximale (38,38 g) chez les alevins de l'aquarium témoin (AL).

En comparant le poids total initial et final, il nous apparaît clairement qu'il y a une légère augmentation dans tous les aquariums à l'exception du 2^{ème} (AZ) qui a marqué une perte de poids dès la première pesée.

Les résultats les plus élevés obtenus pour le gain de poids moyen (GPM), le gain de poids quotidien (GPD) et le taux de croissance spécifique (TCS), ont été enregistrées pour l'aquarium témoin (AL), et les plus bas pour le 2^{ème} lot alimenté uniquement par l'*Azolla* naturelle (AZ), tandis que le 3^{ème} et 4^{ème} aquarium ont presque les mêmes valeurs (Figure III.4.1)

RESULTATS & DISCUSSION

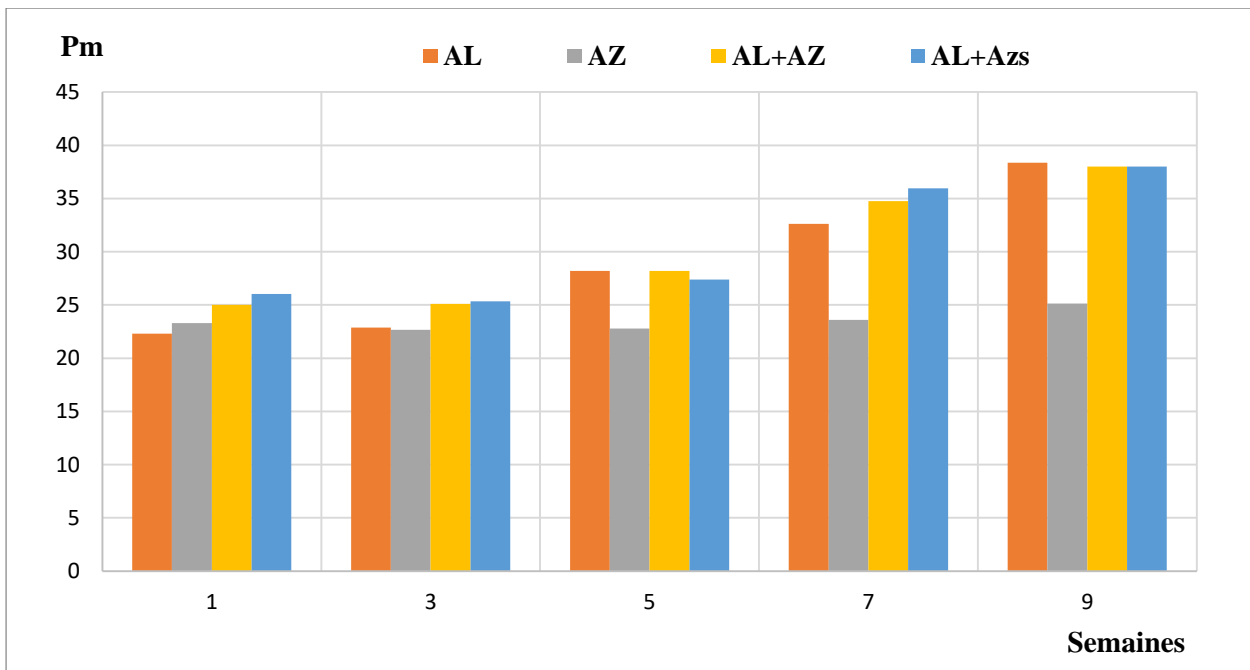


Figure III.4.1 Evolution en poids moyens (Pm) des monosexes de Tilapia rouge alimentée par les quatre régimes

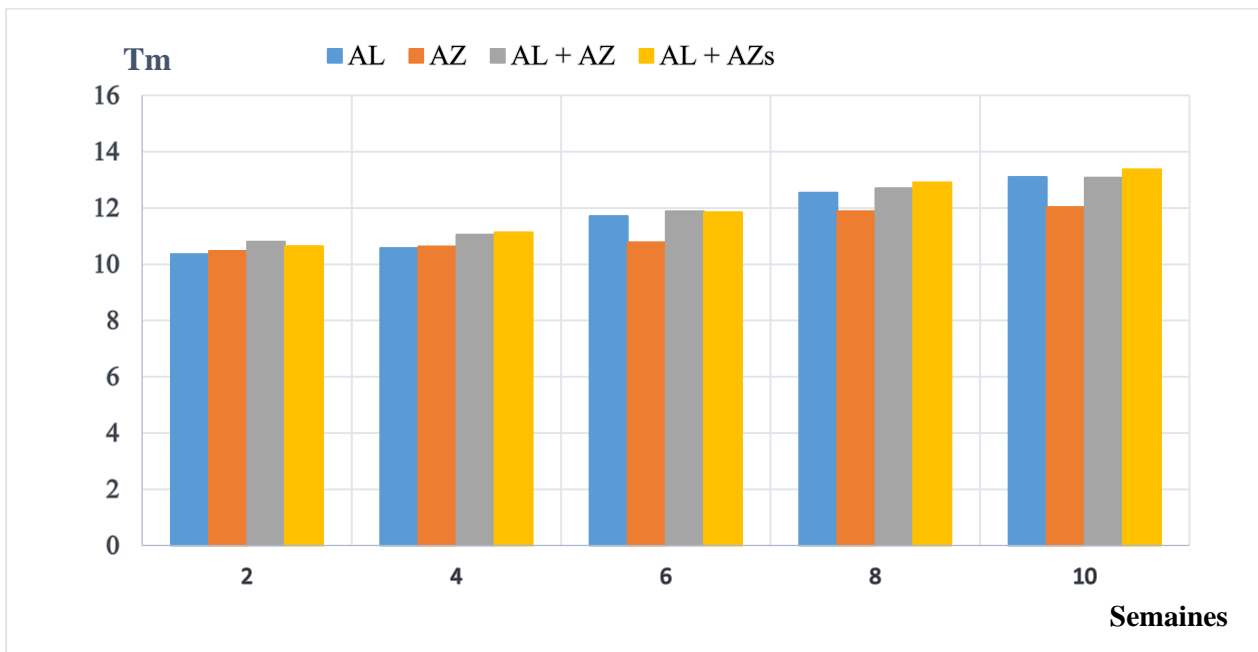


Figure III.4.2 Evolution en tailles moyennes (LT) des monosexes de Tilapia rouge alimentée par les quatre régimes

La longueur totale moyenne des alevins étaient de $10,57 \pm 0,20$ au début de l'expérience, elle a continué à évoluer progressivement jusqu'à atteindre une taille moyenne maximale de 13,38 cm au niveau du 4^{ème} aquarium alimenté par l'aliment commercial et l'Azolla séchée (Figure III.4.2).

RESULTATS & DISCUSSION

L'application du test-t de Student a montré qu'elle existe une différence significative entre les individus d'*Oreochromis sp* alimentés par l'*Azolla* fraîche (AZ) et ceux de l'aquarium témoin (AL) (H_0 rejetée), et que les individus alimentés par les régimes (AL+AZ) et (AL+AZs) ont une croissance statistiquement non significative par rapport au aquarium témoin (AL) (H_1 rejetée).

- Relation de croissance entre les longueurs et le poids

La Figure III.4.3 représente la relation de croissance entre la longueur totale et le poids chez les alevins mâles de *Tilapia* rouge alimentés par les quatre régimes. Dans la relation longueur totale-poids, les coefficients de corrélations obtenus sont positifs et élevés et sont respectivement de 0,933, 0,623, 0,940, 0,858. Les constantes d'allométries b (2,20, 1,67, 2,57 et 2,22) déterminées sont statistiquement inférieures à 3 traduisant ainsi une croissance en longueur plus importante qu'en poids.

Les courbes de la Figure III.4.1 traduisent une perte de poids moyen au cours des deux premières semaines dans les quatre lots. Cela est dû au fait que les alevins renoncent à se nourrir en raison des basses températures. Les alevins du tilapia ajustent leur métabolisme (consommation de nourriture) selon le changement de l'environnement.

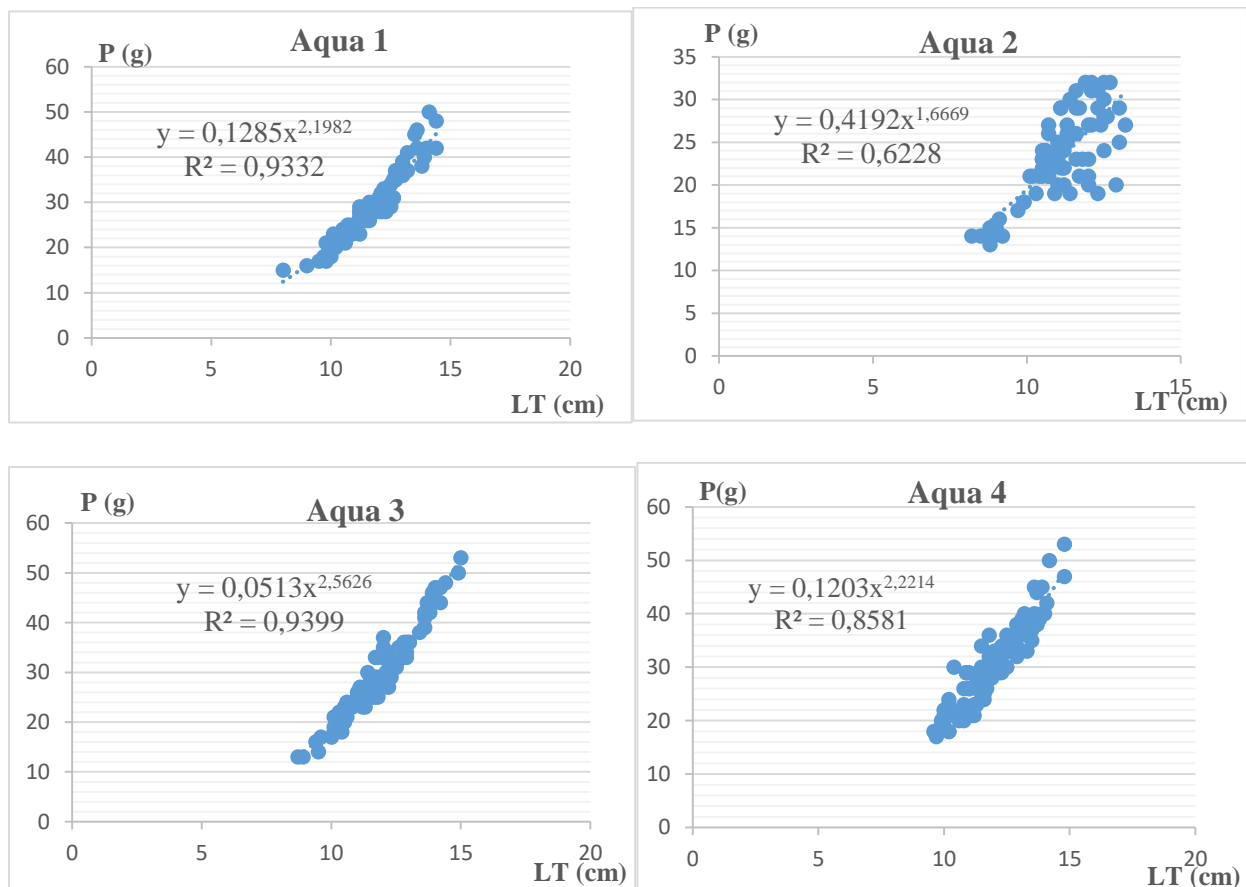


Figure III.4.3 Nuage de points montrant la relation Longueur totale-poids chez les monosexes mâles de *Tilapia* rouge nourris par quatre régimes différents

RESULTATS & DISCUSSION

Les alevins du 2^{ème} aquarium (AZ) ont continué à perdre du poids jusqu'au 21 jours, en raison de la non acceptation d'Azolla fraîche comme aliment (car ils étaient alimentés par l'aliment artificiel avant l'expérience). Après un mois d'expérience et malgré une alimentation à satiété, ils n'ont pas gagné du poids, d'où un indice de conversion à la fin de l'expérience très élevé (17,25) et un gain de biomasse (GB) de 57g seulement.

Selon les études expérimentales d'ALMAZAN et al. (1986), ANTOINE et al. (1986), MICHA et al. (1988), des mortalités ou une croissance négative sont enregistrées lorsque les poissons sont nourris exclusivement avec de l'Azolla fraîche.

Au regard des valeurs obtenues, les paramètres zootechniques des alevins alimentés seulement par l'Azolla naturelle montrent une baisse des performances, ce qui peut être expliqué par l'augmentation de la teneur en eau, l'abaissement des teneurs lipidiques corporelles et aussi la rétention énergétique (ANTOINE *et al.*, 1987).

COLE et VAN LUNEN (1994) ont constaté que des niveaux inadéquats d'acides aminés essentiels entraînaient une dépression de la prise alimentaire et de la croissance. Les carences en un ou plusieurs acides aminés sont connues pour limiter la synthèse des protéines, la croissance ou les deux.

Les résultats obtenus par le régime 100% Azolla (taux élevé), sont similaires aux résultats d'ALMAZAN et al. (1986), l'auteur montre que les performances de croissance diminuent et que l'indice de conversion croît avec l'augmentation de l'inclusion de l'Azolla dans l'alimentation.

Les alevins nourris par des régimes mixtes à 50% de granulés et 50% d'Azolla fraîche ou séchée (Aqua 3 et Aqua 4) ont enregistré un gain du poids journalier supérieur à celles de l'aquarium témoin.

A la fin de l'expérience, un gain de la biomasse de 215g a été calculé pour le 4^{ème} aquarium (AL+AZs), et qui est plus élevé de celui du 1^{er} (AL) et du 3^{ème} aquarium (AL+AZ), 205g et 113g respectivement, cela indique que l'alimentation à base d'Azolla séchée et mieux que celle à base d'Azolla fraîche.

Les alevins du 1^{er} aquarium alimenté par des granulés (37% de protéines), ont présenté un indice de conversion égale à 1,98 qui est supérieur à celui donné par la table de nourrissage, ceci confirme que la qualité de l'eau a eu un impact sur les performances de croissance, sachant que nous avons supposé que la quantité d'aliment

RESULTATS & DISCUSSION

distribuée était totalement consommée par les poissons, ce que nous n'avons pas pu vérifier.

Il convient de noter qu'au début de 56ème jours, la présence d'œufs dans le 1er aquarium (AL) a été observée ainsi qu'une incubation buccale d'œufs chez une femelle de 27 g dans le 2ème aquarium (AZ). Ceci peut expliquer la baisse des performances de croissance et l'effet de la température sur la maturité et l'inversement sexuel.

Oreochromis niloticus est connu pour sa maturité sexuelle précoce qui peut intervenir dès 03-04 mois dans certains élevages : des individus de 30 g et de 8 cm peuvent se reproduire (BALARIN et HALLER, 1982). La reproduction est fonction des conditions du milieu et de la densité des individus.

La température est un facteur environnemental majeur affectant le développement sexuel, son effet sur la sex-ratio varie selon les espèces apparentées. Chez les cyprinidés et les cichlidés comme le tilapia du Nil, les hautes et basses températures interviennent respectivement dans le masculinisation et la féminisation des poissons (BAROILLER et al., 1999).

Les résultats de l'analyse statistique (ANOVA) appliquée sur l'évolution des poids et des tailles des quatre aquariums ont montré que l'effet des trois régimes (AL), (AL+AZ), (AL+AZs) sur les alevins est statistiquement non significatif. Cela montre que la substitution de 50% d'aliment artificiel par 50% d'Azolla naturelle ou séchée a influencé positivement sur les performances de croissance des alevins monosexes males de Tilapia rouge.

Selon la relation de croissance entre les longueurs totales et les poids corporels chez les alevins d'*Oreochromis sp* alimentés par les quatre régimes, nous avons constaté une croissance allométrique plus prononcée en faveur de la taille (longueur totale).

HASAN et al., (2009) ont noté que le mélange d'Azolla avec certains sous- produits agricoles tels que le son de riz, l'utilisation de sous-produits fermentescibles tels que les levures ou l'ajout d'enzymes purifiées, pourraient améliorer l'ingestion et la digestibilité.

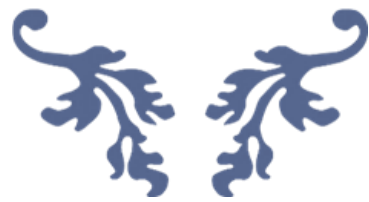
L'Azolla a une forte teneur en eau, ce qui a un impact sur son utilisation, par conséquent dans cette recherche, il a été déterminé d'utiliser des déshydratés (farine) pour réduire les volumes à utiliser dans l'alimentation (GANGADHAR *et al.*, 2015 ; PEREZ *et al.*, 2014 et RADHAKRISHNAN *et al.*, 2014).

RESULTATS & DISCUSSION

L'utilisation de macrophytes flottants peut représenter une alternative intéressante pour le remplacement partiel des aliments commerciaux dans la pisciculture à petite échelle. Un remplacement raisonnable, généralement moins de 30% de la nourriture commerciale, par l'Azolla et d'autres macrophytes, peut réduire de manière significative les coûts économiques et l'impact environnemental des poissons omnivores dans l'aquaculture sans ou avec un impact minimal sur la croissance des poissons comme soulignés par de nombreux auteurs (ABDEL-TAWWAB, 2006 ; ABOU, FIOGBE et MICHA, 2007).



Conclusion



CONCLUSION

Conclusion

L'objectif de cette expérience était de connaître et d'évaluer l'effet de la fougère d'eau *A. caroliniana* en tant que substitut total ou complémentaire à l'aliment commercial sur le développement de la croissance des alevins monosexes mâles du Tilapia rouge hybride.

L'étude a été faite à travers l'expérimentation de quatre régimes alimentaires distribués sur quatre aquariums, misent en élevage à la ferme aquacole « Garden Aqua » à Chéraga, Alger.

Pour assurer la production abondante d'*Azolla*, il faut tenir compte du fait que le milieu soit approprié et présente les caractéristiques écologiques et les besoins nutritionnels de l'espèce, en plus d'assurer une protection contre les agents pathogènes.

A travers les résultats obtenus, il a été confirmé que le recours à l'*Azolla* fraîche comme aliment unique pour les alevins monosexes mâles de Tilapia rouge n'a pas donné de résultats satisfaisants. Cet aliment a causé la perte en poids du poisson, surtout au début de l'expérience, les alevins étant habitués auparavant à l'aliment commercial. Par contre, l'introduction de 50% d'*Azolla* (fraîche ou séchée) en complément à l'aliment commercial a enregistré des résultats très proches de ceux enregistrés au niveau d'aquarium témoin (AL).

Le Tilapia est connu par son régime alimentaire omnivore et sa capacité d'utiliser des sources protéiques variées. Cela signifie qu'il est possible de s'appuyer sur des aliments qui ne contiennent pas de farine de poisson et de les remplacer par des aliments à base de matières premières d'origine végétale.

Au final, nous pouvons confirmer que l'étude de l'effet de l'alimentation sur une production piscicole nécessite un environnement approprié avec du matériel d'élevage adapté aux caractéristiques et aux besoins des poissons étudiés afin que les différents changements soient insignifiants devant le facteur d'alimentation variable.

Le recours à la recherche des alternatives aux ingrédients coûteux des aliments pour poissons est devenu une nécessité absolue. L'orientation vers des sources d'origine végétale comme l'*Azolla* présente une solution qui va minimiser le coût élevé des aliments dans la production aquacole grâce à ses proportions importantes de protéines. En plus de son impact environnemental positif, l'utilisation des farines végétales préserve les risques de divers polluants d'origine microbienne, chimique et toxique, ce qui encourage la valorisation et l'adaptation de ces ressources aux besoins des poissons.



*Références
bibliographiques*



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques :

- **ABDEL-TAWWAB, M. et al., (2005).** Effect of crowding stress on some physiological functions of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* fed different protein levels. *Int. J. Zool. Res.*, 1 : pp 41-47.
- **ABOU, Y., FIOGBÉ, E.D., MICHA, J.-C., (2007).** Effets de la densité de peuplement sur la croissance, le rendement et la rentabilité de l'élevage du Tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*, nourri au régime Azolla, dans des étangs en terre. *Aqua. Res.*, 38 : pp 595-604.
- **SALLANSON, B.R., NOBLE, R.G., (1964).** La tolérance de Tilapia mossambica (Peters) aux hautes températures. *Transactions de la société américaine des pêches.* 93 (4) : pp 323-332.
- **ALMAZAN, G.S., al., (1986).** *Azolla pinnata* en tant que composant alimentaire du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus*. pp 523-528. Dans J.L. Maclean, L.B. Dizon & L.V. Hosillos, éd. Le premier asiatique Forum de la pêche. Manille, Société asiatique des pêches
- **AMINOT, A., CHAUSSEPIED, M., (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Éditions Jouve, CNEXO, Paris, p 395.
- **ANDERSON, J. et al., (1984).** Effets des glucides et des fibres alimentaires sur le tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture.* 37 (4) : pp 303-314.
- **ANTOINE, T. et al., (1986).** Comparative appetency for Azolla of *Cichlasoma* and *Oreochromis* (Tilapia). *Aquaculture,* 53 : pp 95-99.
- **ANTOINE, T. et al., (1987).** Comparaison de la croissance et de la composition chimique d'*Oreochromis* (Tilapia) *niloticus* L. et de *Cichlasoma* (*Theraps*) *melanurum* Gth. Nourris avec Azolla. *Aquaculture.* 66(2) : pp 181–196.
- **AOAC, 2000.** Méthodes officielles d'analyse 13^{ème} édition. Association of official Analytical Chemist: Washington, DC.
- **ARAGÃO, C. et al., (2022).** Protéines alternatives pour l'alimentation des poissons : implications au-delà de la croissance. *Animaux.* 12 (9).
- **ARCTOS, (2022).** Détails de la taxonomie : *Azolla caroliniana*. Disponible à l'adresse : <https://arctos.database.museum/name/Azolla%20caroliniana>. [Consulté le 10 Juin 2022].
- **ARIZAL, A., (2010).** Teneur en azote (N) dans l'*Azolla pinnata* cultivée dans l'eau avec différents niveaux de P. Institut agricole. Bogor.
- **AVIT et al., (2014).** Paramètres environnementaux du grossissement de *Oreochromis niloticus* (Linne, 1758) (cichlidae, perciformes) en association avec le riz Djoukèmin (*Oryza sativa*) en étang. *Recherche sur l'élevage pour le développement rural.* 26 (7).
- **AYYAPPAN, S., (2000).** Technologie microbienne pour l'aquaculture. Manuel de formation MIRCEN sur la microbiologie aquatique et les maladies microbiennes. Cifa, Bhubaneswar, Inde. pp 1-16.
- **BALARIN, J.D., HALLER, R.D., (1982).** L'élevage intensif de tilapia en bassins, raceways et cages. *In* : MUIR, J.F. et ROBERTS, R.J. Progrès récents en aquaculture. Londres. Croom Helm. vol.1: pp 267–355.
- **BALARIN, J.D., HATTON, J.P., (1979).** "Tilapia : un guide de leur biologie et de leur culture en Afrique". Université de Stirling, Unité de pathobiologie aquatique, Stirling. pp 174.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **BAROILLER, J.-F., GUIGUEN, Y., FOSTIER, A., (1999).** Aspects endocriniens et environnementaux de la différenciation sexuelle chez les poissons. *Sciences de la vie cellulaire et moléculaire* 55 : pp 910–931.
- **BOETS, P. et al., (2009).** Présence de l'écrevisse envahissante *Procambarus clarkia* (Girard, 1852) en Belgique (Crustacea : Cambaridae). *Revue Belge de Zoologie*. 139 : pp 173–176.
- **CAGAUAN, A.G., PULLIN, R.S.V., (1991).** Azolla en aquaculture : Passé, présent et futur. pp 104-130. *In* : HASAN, M., CHAKRABARTI, R., (2009). Utilisation d'algues et de macrophytes aquatiques comme aliments dans l'aquaculture à petite échelle : un bilan. Document technique de la FAO sur les pêches et l'aquaculture. N° 531. Rome, FAO. p 123.
- **CARRAPICO, F., TEIXEIRA, G., DINIZ, A., (2000).** Azolla : comme biofertilisant en Afrique. *Journal des sciences agricoles*, XXIII : pp 120-138.
- **CAULTON, M. S., (1976).** L'importance de la préparation alimentaire pré-digestive chez *Tilapia rendalli* Boulanger lorsqu'il se nourrit de macrophytes aquatiques. *Trans. Rhod. Sci. Assoc.* 57 : pp 22-28.
- **CHERVINSKI, J., (1982).** Physiologie environnementale des tilapias. 119-128. *In* : PULLIN, R.S.V. et LOWE McConnell, R.H. La biologie et la culture des *Tilapia*. Actes de conférence I.C.L.A.R.M, Manila, Philippines. p 432.
- **COLE, D.J.A., VAN LUNEN, T.A., (1994).** Modèles d'acides aminés idéaux. pp 99-112. *In* : J.P.I. D'Mello, éd., *Acides aminés dans la nutrition des animaux de ferme*. Édinburgh, l'agriculture écossaise Collège.
- **DE SILVA, S.S., RASANTHI, M., GUNASEKERA, K.F, (1991).** Interactions entre différents niveaux de protéines alimentaires et de lipides chez les jeunes tilapias rouges : Preuve de l'épargne des protéines. *Aquaculture*. 95 (3–4) pp 305-318.
- **DE VRIES, S., (2018).** Réponse de l'acide jasmonique et salicylique chez la fougère *Azolla filiculoides* et son cyanobionte. *Plante, cellule et environnement*. 41(11) : pp 2530-2548.
- **EL-SAIDY, A.M., GABER, M.A., (2005).** Effet des niveaux de protéines alimentaires et des taux d'alimentation sur les performances de croissance, les caractéristiques de production et la composition corporelle du tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus* (L.) cultivé dans des bassins en béton. *Recherche en aquaculture* (36) : pp 163–171.
- **El-Sayed, A.F., GARLING, D.L. Jr., (1988).** Rapports glucides/lipides dans l'alimentation des alevins de *Tilapia zillii*. *Aquaculture*. 73 (1-4) pp 157-163.
- **EL-SAYED, A.-F.M., (2006).** Culture du *Tilapia*. CABI, 2006. 1^{ère} édition. p 277.
- **EL-SAYED, A.M., TESHIMA, S., (1992).** Besoins protéiques et énergétiques du tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*, alevins. *Aquaculture*. 103 : pp 55-63.
- **EL-SAYED, A.M., MANSOUR, C.R., EZZAT, A.A., (2003).** Effets du niveau de protéines alimentaires sur les performances de frai des géniteurs de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) élevés à différentes salinités de l'eau. *Aquaculture*. 220 : pp 619-632.
- **FAO et PNUD, (1981).** Chine, multiplication de l'Azolla et technologie de la production artisanale de biogaz: rapport sur le voyage d'étude FAO/PNUD en République populaire de Chine : 21 Mai-11 Juin 1978. p 80.
- **FAO, (2020).** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020. La durabilité en action. Rome. p 244. [En ligne]. Adresse URL : <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **FAO, (2021).** Statistiques des pêches et de l'aquaculture. Production aquacole mondiale 1950-2019 (FishstatJ). In : Division des pêches de la FAO [en ligne]. Rome. Mise à jour 2021. In : Tang, K.F.J., Bondad-Reantaso, M.G., et al., (2021). Manuel de stratégie sur la maladie virale du lac Tilapia. Circulaire de la FAO sur les pêches et l'aquaculture n° 1220. Rome, FAO.
- **FERKET, P., STARK, C, BORSKI R., (2011).** Stratégies d'alimentation et de formulation des aliments pour réduire les coûts de production de la culture du tilapia. Rapports techniques. pp 202-226.
- **FUJIAN ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES, (1987).** Azolla Utilization: Proceedings of the Workshop on Azolla Use, Fuzhou, Fujian, China. Int. Rice Res. Inst., 1987. Int. p 296.
- **GANGADHAR, B. et al., (2015).** Effet des régimes incorporés à l'azolla sur la croissance et la survie de *Labeo fimbriatus* pendant l'élevage des alevins aux alevins. Cogent Alimentation & Agriculture.
- **GUNASEKERA, RM, SHIM, KF., LAM, TJ., (1996).** Effet du niveau de protéines alimentaires sur les performances de reproduction et la composition en acides aminés des œufs de Tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture 146 (1-2) : pp 121-134.
- **HALLER, W.T., SUTTON D. L., BARLOWE W. C., (1994).** Effets de la salinité sur la croissance de plusieurs macrophytes aquatiques Ecologie, 55(4) : pp 891-894.
- **HASAN, M., CHAKRABARTI, R., (2009).** Utilisation d'algues et de macrophytes aquatiques comme aliments dans l'aquaculture à petite échelle : un bilan. Document technique de la FAO sur les pêches et l'aquaculture. N° 531. Rome, FAO. p 123.
- **HERRERA, A.A., CRUZ, R.R., Programme de sélection génétique des poissons Manipulation génétique pour le projet d'amélioration du tilapia, (2001).** Biologie du développement du tilapia Super male YY (*Oreochromis niloticus*) : histogenèse du système reproducteur. Sciences Dilimans, (1) : pp 33-40.
- **HILL, M.P., (1998).** Cycle biologique et gamme d'hôtes de laboratoire de *Stenopelmus rufinasus*, un ennemi naturel de l'*Azolla filiculoides* en Afrique du Sud. BioControl. 43 (2) : pp 215-224.
- **HOSSAIN et al., (2016).** Efficacité des produits liés aux nucléotides sur la croissance, la chimie du sang, le stress oxydatif et l'expression des gènes du facteur de croissance des juvéniles de dorade rose, *Pagrus major*. Aquaculture. 464 : pp 1- 8.
- **JAUNCEY, K., ROSS, B., (1982).** Un guide des aliments et de l'alimentation du tilapia. Institut d'aquaculture, Université de Stirling, Stirling.
- **JOSEPH, A., SHERIEF, P.S., JAMES, T., (1994).** Effet de différents niveaux d'inclusion alimentaire d'*Azolla pinnata* sur la croissance, la conversion alimentaire et la composition musculaire d'*Ectoplas suratensis*.
- **KANNAIYAN, S., KUMAR, K., (2006).** Biodiversité d'*Azolla* et de son symbiote algal, *Anabaena azollae*. Autorité nationale de la biodiversité, Chennai, Tamil Nadu, Inde. Bulletin scientifique (2) : pp 1-31.
- **KÖSEKAL, T., YILDIZ, M., (2019).** Performances de croissance et profil biochimique d'*Azolla pinnata* et d'*Azolla caroliniana* cultivé sous serre. Arch Biol Sci. 71(3) : pp 475-482.
- **LE CREN, (1951).** La relation longueur-poids et le cycle saisonnier du poids et de l'état des gonades chez la perche, *Perca fluviatilis*. Tourillon d'écologie animale, 20, pp 201-219.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **LIU, X. et al., (2008).** Recherche sur certaines fonctions d'*Azolla* dans le système CELLS. *Acta Astronautica*. 63 (7–10) : pp 1061-1066.
- **LOVELL, R.T., LIMSUWAN, T., (1982).** Synthèse Intestinale et Non-Essentialité Alimentaire de la Vitamine B 12 pour *Tilapia nilotica*. *Transactions de l'American Fisheries Society*. 11 : pp 485-490.
- **MALCOLM, C., BEVERIDJE, H., McANDREW, B. J., (2000).** Tilapias : biologie and exploitation. Institute of aquaculture. Université de Stirling, Ecosse. Éditeurs académiques Kluwer : p 185.
- **MANDAL, et al., (2010).** Diversité des macrophytes aquatiques en tant que composants de l'alimentation humaine et animale aux poissons herbivores - un bilan. *Indien J. Fish.*, 57(3) : pp 65-73.
- **MICHA, J.C., et al., (1988).** Croissance, capacité d'ingestion, appétence comparative et composition biochimique d'*Oreochromis niloticus* et *Tilapia rendalli* nourri à l'*Azolla*. pp 347-355. *In*: R.S.V. Pullin, T. et al., édés. Le deuxième symposium international sur le tilapia à Aquaculture, Manille, actes de la conférence ICLARM.
- **MNHN, OFB [Ed]. 2003-2022.** Inventaire national du patrimoine naturel (INPN). Disponible à l'adresse URL : <https://inpn.mnhn.fr>. [Consulté le 15 Mai 2022].
- **NASEEM, S., et al., (2020).** Perspectives sur l'utilisation des macrophytes comme ingrédient alimentaire pour les poissons dans l'aquaculture future. *Revue aquaculture*, pp 1–19.
- **OLASUNKANMI, J. et al. (2021).** Ressources alimentaires alternatives en aquaculture : Le rôle des plantes sous-utilisées - un bilan. Série de conférences IOP Sciences de la Terre et de l'environnement. IOP Publishing.
- **OLDEN, J.D., VANDER ZANDEN, J., (2008).** Un cadre de gestion pour prévenir la propagation secondaire des espèces aquatiques envahissantes. *Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques* 65(7) : pp 1512-1522.
- **OLUGBENGA E., OLOKO, L.R.T., (2012).** Schémas de croissance, sex-ratio et estimations de la fécondité chez le crabe bleu (*Callinectes amnicola*) de la rivière Yewa, au sud-ouest du Nigeria. *Progress dans la vie et la technologie* 7 : pp 24 – 34.
- *Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*. *REDVET*. 15(5) : pp 1-10.
- **PÉREZ, Y., (2014).** Inclusion de farine de *Lemna perpusilla* pour nourrir les alevins *Oreochromis mossambicus* x *Oreochromis niloticus*. *REDVET*. 15(5) : pp 1-10.
- **PHILIPPART, JC., RUWET, JC., (1982).** Chapitre : Écologie et Distribution des Tilapias. *In* : PULLIN et LOWE McConnell, R.H. La biologie et la culture des Tilapias. Actes de la conférence ICLARM, pp 15-59.
- **PILLAY, T.V.R., KUTTY, M.N., (2005).** Principes et pratiques de l'aquaculture. [En ligne]. 2^{ème} édition. Blackwell Publishing Ltd. p 640.
- **RADHAKRISHNAN, S. et al., (2014).** Remplacement de la farine de poisson par *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* et *Azolla pinnata* sur les activités antioxydantes non enzymatiques et enzymatiques de *Macrobrachium rosenbergii*. *Journal de zoologie fondamentale et appliquée*. 67 (1) : pp 25-33.
- **REYNAUD, P.A., FRANCHE, C., (1985).** *Azolla pinnata* var. Africain : de la biologie moléculaire aux applications agronomiques = De la biologie moléculaire à l'utilisation comme engrais vert. p 15.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **RICHE M. et al., (2004).** Effet de la fréquence d'alimentation sur la consommation, la croissance et l'efficacité du tilapia juvénile (*Oreochromis niloticus*). Journal d'aquaculture de Palestine colonisée. 56(4) : pp 247–255.
- **ROSS, LG., (2000).** Physiologie et énergétique de l'environnement. In : BEVERIDGE, M., MCANDREW, BJ., 2000. Tilapias : biologie et exploitation. Série Poissons et pêcheries, vol. 25. [En ligne]. 1^{ère} édition. Springer Dordrecht.
- **ROY, D. C., PAKHIRA, M.C., BERA S., (2016).** Un bilan de la biologie, de la culture et de l'utilisation de l'Azolla. Avancées en sciences de la vie. 5 (1) : pp 11-15.
- **SADEGHI et al., 2013.** Un bilan de certains facteurs écologiques affectant la croissance des Azolla sp. Caspienne J. Env. Sci. 11(1) : pp 65 - 76.
- **SAX, D.F., KINLAN, B. P., SMITH, C.F., (2005).** Un cadre conceptuel pour comparer les assemblages d'espèces dans les habitats indigènes et exotiques. Oikos 108(3) : pp 457 – 464
- **SHARIFAH et al., (2022).** Azolla élevée dans les eaux usées de l'aquaculture comme protéine alimentaire alternative partielle pour le poisson-chat *Pangasius*. Recherche environnementale.
- **SHERIEF, P.M., JAMES, T., (1994).** Valeur nutritive de la fougère d'eau Azolla pour les poissons. Carillons de pêche.14 :p 14.
- **SIDDIQUI, A.Q., HOWLADER, M.S., ADAM, A.A., (1988).** Effets des niveaux de protéines alimentaires sur la croissance, la conversion alimentaire et l'utilisation des protéines chez les alevins et les jeunes tilapias du Nil, *Oreochromis niloticus*. Aquaculture. 70 : (1-2) : pp 63-73.
- **SÖDERBURG, R.W., (1997).** Facteurs influant sur la croissance et la production des poissons. In : Egna, H.S., Boyd, C.E., (1997). Dynamique de l'aquaculture en étang. 1^{ère} édition. Presse du CRC. p 472.
- **STAECK, L., (2022).** Fascination du fleuve Amazone : ses habitants, ses animaux, ses plantes. Springer Berlin Heidelberg. p 348.
- **STICKNEY R. K., (1986).** Pisciculteur progressiste. Tilapia tolerance of saline waters: bilan. 48 : (3) pp 161-167.
- **STICKNEY, R.R., GATLIN, D.M., (2022).** Aquaculture, 4th Edition: An Introductory Text. CABI. p 361.
- **SUGITA, H., MIYAJIMA, C., DEGUCHI, Y., (1990).** La capacité de production de vitamine B12 des bactéries intestinales isolées du tilapia et de la barbus de rivière. Nippon Suisan Gakkaishi. 56 (4) : p 701.
- **SURESH, A.V., LIN, C.K., (1992).** Élevage de tilapia en eaux salines : bilan. 106 : (3-4) pp 201-226.
- **TEMMINK, R.JM., et al., (2018).** Azolla le long d'un gradient de phosphore : réponse de croissance diphasique liée aux traits diazotrophes et à la chlorose ferrique induite par le phosphore. Rapports scientifiques 8(1) : p 4451.
- **VALERIA, C.R. et al., (2018).** Tendances actuelles des aliments alternatifs pour la pisciculture : un bilan. Conférence.
- **VAN HOVE, C., 1989.** Azolla et ses utilisations polyvalentes avec un accent sur l'Afrique. Rome, FAO. p 53.
- **WATANABE, I. et al., (1977).** Utilisation de Complexe Azolla -Anabaena comme engrais azoté pour le riz. Série de documents de recherche de l'IRRI, 11 : pp 1-15.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **WEBSTER, CD., LIM, C., (2006).** Tilapia: Biology, Culture, and Nutrition. CRC Press. p 704
- **WOHLFARTH, G.W., HULATA, G., (1983).** Génétique appliquée du Tilapia. ICLARM. 2^{ème} édition étudié et révisé, 6, p 26.



Annexes



ANNEXES

Annexe I : Fiche technique d'aliment utilisé



Aliment de pré-grossissement



DÉCLARATION

	2 ans
Protéine brute (%)	37
Matière Grasse brute (%)	10
DNA (%)	36,0
Cendres (%)	5,5
Fibres (%)	3,5
P (%)	1,0
Energie brute (MJ)	19,5
Energie Digestible (MJ)	15,3

FICHES TECHNIQUES

La composition détaillée apparaît sur l'étiquette

farine de poisson, farine de sang, huile de poisson, huiles végétales, les huiles animales transformées, produits céréaliers, protéines animales transformées, protéines végétales, sous-produits marins, vitamines et minéraux.

TAUX DE NOURISSAGE

Kg d'aliments par 100 kg de biomasse par jour

Poissons (g)	MM	Température de l'eau (°C)					
		22	24	26	28	30	32
10-50	2 mm	3,78	3,48	4,17	4,64	4,17	3,71
30-70	2 mm	3,20	3,85	3,42	3,0	3,42	3,04

IMPACT ENVIRONNEMENTAL EN FONCTION DE L'INDICE DE CONVERSION

Données pour 100 kg de poissons produits

	2 ans		
Indice de conversion	1	1,1	1,2
N totale (kg)	0,47	0,52	0,57
N dissous (kg)	2,7	3,24	3,79
P totale (kg)	0,28	0,31	0,34
P dissous (kg)	0,24	0,3	0,37

IMPACT ENVIRONNEMENTAL MESURÉ EN CO₂-EQ

Les chiffres sont équivalents CO₂

	2 ans
CO ₂ -Eq. avec changement d'allocation des terres	1,03-1,45
CO ₂ -Eq. sans changement d'allocation des terres	0,85-0,95

13/05/2022

ANNEXES

Annexe II :

Extraction et dosage des protéines :

Principe : La méthode s'effectue en trois étapes :

- Digestion ou minéralisation de l'échantillon ;
- Distillation de l'ammoniac ;
- Titration de l'ammoniac.

Mode opératoire :

- **Minéralisation :** elle permet de dénaturer les protéines (casser les liaisons) et de libérer les acides aminés ensuite transformer l'azote organique en azote minéral.

Elle est effectuée à l'aide d'un appareil de minéralisation « InKjel » équipé d'une plaque chauffante, un thermostat un porte matras, un collecteur et un piègeur de fumées.

Dans un matras de Kjeldahl, on met :

- 2g d'Azolla séchée, 7g de sulfate de sodium Na_2SO_4 , 5g de sélénium Se, et 1 ml de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 60 %, 10 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4), et 2 à 3 petits morceaux de pierre ponce.
- On agite et on place le matras dans le dispositif de minéralisation.
- On chauffe doucement et progressivement jusqu'à l'apparition des fumées noires.
- On poursuit le chauffage durant 6h, jusqu'à l'obtention d'une couleur limpide. A la fin de minéralisation on laisse les matras refroidir.
- **Filtration et dilution du minéralisât :**
 - Après refroidissement des matras, on filtre chaque minéralisât dans un erlenmeyer. On lave les matras et on filtre aussi cette eau de rinçage.
 - On ajuste à 100 ml avec l'eau distillé.
 - On transvase les minéralisats filtrés et dilués dans les erlenmeyers colorés en bruin à bouchon, étiquetés et on les conserve au réfrigérateur à 4°C.
- **Distillation :**
 - On prélève dans un matras de Kjeldahl 20 ml du minéralisât filtré et dilué pour la distillation. Ensuite en place le matras dans l'appareil de distillation « Behr, Labor-Technik ».
 - A l'aide d'un bouton on ajoute 40 ml de soude (NaOH) à 40% dans le matras et on débute la distillation.
 - On recueille le distillat (ammoniac entainé à la vapeur) dans un erlenmeyer de collecte, contenant 20 ml d'acide borique à 4%, dont le pH a été préalablement déterminé.
 - On continue la distillation jusqu'à obtenir 100 ml de solution (acide borique + ammoniac entrainé à la vapeur), l'opération dure de 5 à 10 min. On prélève de nouveau le pH.
- **Titration**
 - On rajoute au distillat obtenu, 10 gouttes de la solution d'indicateur de « Tashiro ».
 - On titre directement la solution obtenue par une solution d'acide borique.
- **Le calcul**

Le taux de protéines est calculé selon l'équation suivante :

$$\% \text{ Protéines} = \frac{2,803 * V * 100}{1000 * m} * F$$

ANNEXES

X : quantité d'azote dans 100g d'échantillon.

F : facteur dépendant du type d'aliment analysé = 6,25

V : volume d'HCl (mL).

m : le poids de l'échantillon (g).

Annexe III :

Extraction et dosage de la matière grasse (les lipides)

L'extraction solide-liquide par le dispositif « Soxhlet » est une méthode de référence utilisée pour la détermination de la matière grasse dans les aliments solides déshydratés. C'est une méthode gravimétrique, puisqu'on pèse l'échantillon au début et la matière grasse à la fin de l'extraction.

Mode opératoire :

- Peser chaque ballon vide, soit P_0 ce poids ;
- Peser environ 2g d'Azolla séchée et broyée dans une cartouche tarée. Soit m ce poids
- Placer les ballons dans l'appareil de Soxhlet (sur la plaque chauffante) et déposer les cartouches dans les matras ;
- Ajouter 160 ml d'éther-éthylique dans chaque matras jusqu'à ce qu'il se déverse dans le ballon les matras ;
- Allumer l'appareil à une température de 100°C jusqu'à l'ébullition, ensuite réduire la température de sorte à maintenir l'ébullition stable (60°C) ;
- Garder le même rythme pendant 2 h, afin de dissoudre tous les lipides présents dans chaque échantillon ;
- Eteindre l'appareil et laisser refroidir les ballons ;
- Concentrer les échantillons de lipides contenus dans les ballons dans un rota-vapeur à 40°C et à une vitesse de rotation de 6 à 7 tours / min, pour récupérer le solvant ;
- Sécher les ballons dans l'étuve à 37°C, puis les refroidir dans un dessiccateur ;
- Peser les ballons remplis, soit P ce poids.

Calcul :

La matière grasse (MG) extraite est calculée selon la formule suivante :

$$\% \text{ Lipides} = \frac{P - P_0}{m} * 100$$

Résumé :

Cette étude a pour but d'évaluer l'effet de l'introduction de la macrophyte *Azolla caroliniana* dans l'alimentation des alevins monosexes mâles du Tilapia rouge hybride. Cette expérience a duré 93 jours, au cours desquels la culture d'*Azolla* a été expérimentée dans de nombreux milieux, ensuite, avec ou sans association de l'aliment commercial à l'*Azolla*, les alevins ont été alimentés par quatre régimes : AL (100%), AZ (100%), AL (50%) +AZ (50%), AL (50%) + AZs (50%). Le poids et la taille (LT) ont été mesurés tous les 15 jours, les résultats des paramètres zootechniques calculés à la fin de l'expérience, ont montré que la dépendance à l'*Azolla* dans l'alimentation du Tilapia rouge n'a pas obtenu de résultats satisfaisants, et que la contribution de l'*Azolla* (fraîche/séchée) à 50% du ration total a donné des résultats similaires à ceux de l'aquarium témoin AL (100%).

Mots clés : *Oreochromis sp* ; *Azolla caroliniana* ; Tilapia rouge ; monosex ; Aquaculture

المخلص :

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم تأثير إدراج النبات السرخسي أزولا كارولينيانا في النظام الغذائي لصغار البلطي الأحمر الهجين وحيد الجنس (ذكور). استغرقت هذه التجربة 93 يوماً، حيث تم تجريب استزراع الأزولا في العديد من الأوساط، و من ثم تمت تغذية صغار البلطي باتباع أربع أنظمة غذائية مع إدخال الأزولا كمكاملة للعلف التجاري أو بدونها، علف تجاري (100%)، أزولا طازجة (100%)، علف تجاري (50%) + أزولا طازجة (50%)، علف تجاري (50%) + أزولا مجففة (50%). وقد أظهرت الأرقام النهائية أن الاعتماد على الأزولا لوحدها في تغذية البلطي الأحمر لم يحقق نتائج مرضية، في حين أن إدراج نسبة 50% من الأزولا (طازجة أم مجففة) من إجمالي النظام الغذائي أعطى نتائج مماثلة لتلك المتحصل عليها في الحوض الشاهد (علف تجاري 100%).

الكلمات المفتاحية : البلطي الأحمر، وحيد الجنس، تربية المائيات، *Oreochromis sp*، *Azolla caroliniana*

Abstract:

The aim of this study was to evaluate the effect of including *Azolla caroliniana* fern in the diet of monosex hybrid Red Tilapia young (male). This experiment lasted 93 days, during which *Azolla* culture was tried in many media, and then the young Tilapia were fed by following four diets with or without the introduction of *Azolla* as a supplement to commercial feed, AL (100%), AZ (100%), AL (50%) + AZ (50%), AL (50%) + AZs (50%). The final numbers showed that relying on *Azolla* alone in feeding red tilapia did not achieve satisfactory results, while the inclusion of 50% of *Azolla* (fresh or dried) from the total diet gave results similar to those obtained in the control tank (100% commercial feed).

Key words: *Oreochromis sp*; *Azolla caroliniana*; Red Tilapia; Monosex; Aquaculture