

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'études en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur et De Master en Sciences de la Mer et du diplôme Start-up

Option : Aquaculture

Thème :

Elevage du tilapia en système biofloc : effet de différentes sources de carbone sur les paramètres du milieu et les performances zootechniques

Présenté par : *TEBAILI Nesrine*

Soutenu le : 16/07/2023 devant le jury composé de :

Mme. DJAHNIT N.	Maître de conférences « classe B »	ENSSMAL	Président
Mme. MESLEM N.	Maître de conférences « classe B »	ENSSMAL	Promotrice
M. DILMI A.	Chercheur	CNRDPA	Co-prompteur
M. LOURGIOUI H	Maître de conférences « classe B »	ENSSMAL	Examineur
Mme. FELLAH H.	Membre incubateur	ENSSMAL	Examineur
M.MIHOUBI B.	Maitre formateur	ANAD	Examineur

2022/2023

Remercîments

Au nom de la Grâce divine,

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dieu, source de toute sagesse et de toute inspiration, qui m'a accompagné tout au long de ce parcours académique, de m'avoir donné l'audace pour dépasser toutes les difficultés et permis de mener à bien ce travail. Au nom du Dieu le clément et le miséricordieux louange à ALLAH le tout puissant.

Chers membres du jury,

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers vous, Madame Djahnite, en tant que présidente du jury, ainsi que Messieurs Lourguioui et Mihoubi et Madame Fellah, les examinateurs, pour avoir consacré votre temps et votre expertise à l'évaluation de mon mémoire.

À ma promotrice, Mme Meslem,

Je tiens à vous remercier pour votre expertise, votre soutien inconditionnel et votre précieuse guidance tout au long de ce mémoire de fin d'étude. Votre engagement envers ma réussite académique et votre patience dans l'encadrement de mes recherches ont été d'une valeur inestimable. Merci pour votre confiance et votre disponibilité.

À mon co-promoteur, M. Dilmi,

Je souhaite exprimer ma gratitude pour votre précieuse contribution à ce mémoire. Votre expertise dans le domaine de l'aquaculture et vos conseils avisés ont enrichi mon travail de manière significative. Votre soutien constant, vos encouragements et votre disponibilité ont été essentiels à ma progression. Je vous suis reconnaissante pour votre investissement et votre contribution à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers M. Mezouar pour sa précieuse contribution à mon mémoire de fin d'études. Grâce à son engagement, ses encouragements et à son soutien inconditionnel, j'ai pu mener à bien mes recherches et atteindre mes objectifs.

Au personnel et aux ingénieurs de laboratoire de l'ENSSMAL,

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à tous les membres du personnel et aux ingénieurs de laboratoire de l'ENSSMAL, en particulier à M. Heniche Hassen, M. Matouk Youcef, Mme Reface, M. Mustapha, Mme Amina, Mme Houda, M. Boudjellel, et à toute autre personne qui a pensé de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Votre professionnalisme et votre dévouement ont été exemplaires, et je suis reconnaissante d'avoir pu bénéficier de votre expertise.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers toute personne qui, de près ou de loin, a contribué à la réalisation de ce travail. Vos encouragements, vos conseils et votre soutien moral ont été des éléments précieux qui m'ont poussée à donner le meilleur de moi-même.

Que cette reconnaissance témoigne de ma profonde gratitude envers chacun d'entre vous. Votre contribution a été essentielle à la réussite de ce mémoire de fin d'étude, et je vous en suis infiniment reconnaissante.

Dédicace

*"Chaque accomplissement est le fruit d'un travail acharné et d'un soutien inconditionnel".
Dans cette quête de savoir et d'excellence, je me permets de dédier ces mots à tous ceux qui
ont joué un rôle essentiel dans ma vie et dans la réalisation de ce modeste travail.*

Cher Papa,

C'est avec une profonde reconnaissance que je commence par te dédier ces mots empreints d'amour et de gratitude. Ta présence bienveillante, ton soutien inconditionnel et ton dévouement constant ont été les fondations solides sur lesquelles j'ai intégré mon parcours de vie. Tu as été mon modèle, mon guide et mon inspiration, m'encourageant à toujours donner le meilleur de moi-même. Tes conseils avisés, ta sagesse et ta confiance en moi ont été des moteurs essentiels dans la réalisation de ce travail. Merci d'avoir été mon roc, mon pilier, et de m'avoir montré que rien n'est impossible quand on croit en soi.

À ma chère Maman,

Je tiens à exprimer ma gratitude infinie pour ton amour inconditionnel, ta bienveillance et ton soutien constant. Tes encouragements, ta douceur et tes sacrifices ont été les éléments clés qui m'ont permis de surmonter les obstacles et d'atteindre mes objectifs. Tu as toujours cru en moi, même dans les moments de doute, et tu as été ma plus grande admiratrice. Merci d'avoir été ma lumière et mon étoile tout au long de ce parcours. Je suis et je serai toujours reconnaissante d'avoir une mère aussi aimante que toi.

À mon frère Rayane et ma sœur Aida,

Vous êtes mes compagnons de vie, mes alliés indéfectibles et mes sources infinies de joie. Ensemble, nous avons grandi, partagé des moments précieux et augmenté des défis, rémunéré des souvenirs qui resteront à jamais gravés dans mon cœur. Merci d'avoir été là à chaque étape de ma vie, et d'avoir été mes soutiens les plus précieux.

À mes deux meilleures amies, Nawel et Lina,

Vous êtes plus que des amis, vous êtes ma famille choisie. Vos conseils avisés, votre soutien inconditionnel et votre amitié sincère ont été un véritable baume pour mon esprit. Merci d'avoir toujours cru en moi et d'avoir partagé cette aventure avec moi. Nos échanges, nos rires et nos moments de complicité ont été des sources de motivation et de réconfort indéniables. Je suis reconnaissante de vous avoir dans ma vie.

Enfin, je tiens à remercier chaleureusement tous mes camarades de la promotion de l'aquaculture(#Aquafamily) en particulier Aymen, Ismail et Meriem. Vous avez été une source d'inspiration mutuelle, de partage de connaissances et de soutien tout au long de ce parcours académique exigeant. Nos discussions passionnées, nos collaborations fructueuses et notre esprit d'équipe ont permis de créer une atmosphère d'apprentissage enrichissante. Votre présence a rendu cette expérience mémorable.

Que cette dédicace

reflète l'immense gratitude que je ressens envers chacun d'entre vous. Votre soutien, votre amour et votre amitié ont été des trésors inestimables qui ont illuminé mon chemin. Que nos liens perdurent et que nos chemins perdurent de se croiser, car ensemble, nous sommes plus forts.

Avec toute ma reconnaissance et ma sincérité,

Nesrine

Liste des figures

Figure 1: Production aquacole mondiale de poissons d'eau douce.....	4
Figure 2: Principaux pays producteurs de tilapia d'élevage en 2020 (FAO,2022).....	6
Figure 3: Carte de répartition géographique des fermes d'élevage du tilapia du Nil en Algérie en 2020 (Moussaoui,2022).....	8
Figure 4: Caractéristiques morphologiques spécifiques d'O.niloticus (Hocine, 2017).....	11
Figure 5: Caractéristiques morphologiques spécifiques de la Papille génitale d'O.niloticus...	17
Figure 6: Processus biologique dans les bioflocs(Martha et al. 2014).....	22
Figure 7: Processus de génération du biofloc.....	28
Figure 8: Etapes expérimentales pour la préparation du sirop de dattes(Madani and Seddiki, 2019).....	31
Figure 9: Laboratoire expérimental.....	35
Figure 10: Mélasse de sucre.....	36
Figure 11: Poudre de caroube.....	36
Figure 12: Mélasse de datte.....	36
Figure 13: Un individu d'Oreochromis. sp.....	38
Figure 14: Aquariums expérimentaux.....	39
Figure 15: Oxymètre portable (WTW).....	40
Figure 16: Multi paramètres portable (HANNA).....	40
Figure 17: Cônes d'Imhoff.....	40
Figure 18: Mesure de l'alcalinité par titration d'acide.....	42
Figure 19: Echantillonnage pour le dosage des sels nutritifs.....	43
Figure 20: Alevin d'O.niloticus au début de l'expérience.....	43
Figure 21: Aquarium témoin munie du système de filtration.....	44
Figure 22: Schéma explicatif du dispositif expérimental.....	45
Figure 23: Dispositif de filtration.....	46
Figure 24: Dilution des échantillons.....	49
Figure 25: Ensemencement des boites de pétrie.....	50
Figure 26: Dénombrement de la FMAT.....	50
Figure 27: Pesée des individus.....	51
Figure 28: Suivi de la température durant la phase maturation du biofloc.....	57

Figure 29: Suivi du pH et de l'alcalinité durant la phase de maturation du biofloc Les trois flèches rouges représentent les dates d'ajout de bicarbonate de sodium (01/03 ;02/03 ;03/03)	58
Figure 30: Suivi des substances azotées durant la phase de maturation du biofloc	60
Figure 31: Suivi du volume du floc durant la phase de maturation du biofloc	61
Figure 32: Suivi de la température durant la phase expérimentale	63
Figure 33: Suivi du pH durant la phase expérimentale	64
Figure 34: Suivi de l'alcalinité durant la phase expérimentale	65
Figure 35: Suivi des substances azotées durant la phase expérimentale	66
Figure 36: Suivi du volume du floc durant la phase expérimentale	67
Figure 37: Suivi des MES durant la phase expérimentale	68
Figure 38: Suivi de la FMTA	70
Figure 39: Suivi des paramètres zootechniques des alevins de tilapia durant les 23 premiers jours d'élevage	73
Figure 40: Suivi des paramètres zootechniques des alevins de tilapia durant les 52 jours d'élevage	77

Liste des tableaux

Tableau 1: Production mondiale des principales espèces aquacole (FAO, 2022)	5
Tableau 2: Besoins en protéines pour le tilapia du Nil en fonction du poids (Lazard, 2007) ...	13
Tableau 3: Besoins théorique en lipides du tilapia du Nil (Lazard, 2007).....	14
Tableau 4: Besoins théoriques en glucides et en fibres du tilapia du Nil(Lazard, 2007).....	14
Tableau 5: Besoins quantitatifs en acides aminés essentiels du tilapia du Nil(Fegbenro,2000) in (Rechidi, 2018).....	15
Tableau 6: Limites de tolérance et préférendum physico-chimiques du tilapia du Nil(Kestemont, 1989).....	19
Tableau 7: Valeurs moyennes de quelques paramètres physico-chimique enregistrés dans différents bioflocs(Emerenciano et al. 2017)	25
Tableau 8: Composition nutritionnelle du biofloc	27
Tableau 9 : Valeurs nutritionnelles moyennes de 100g de mélasse(USDA, 2018)in(Zerouali and Hamami, 2019)	30
Tableau 10:Composition biochimique du sirop de dattes(Boudjniba, 2015) in (Abaibia and Rachedi, 2018)	32
Tableau 11: Valeurs moyennes de la composition brute de la poudre de caroube(M. Kamal E.et al., 2013)	33
Tableau 12: Dilution de la solution de glucose	37
Tableau 13 : Paramètres physico-chimiques pour l'élevage du tilapia en système biofloc.....	48
Tableau 14: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques durant la phase maturation du biofloc.....	56
Tableau 15: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques durant la phase expérimentale	62
Tableau 16: Valeurs moyenne des paramètres microbiologique durant la phase expérimentale	69
Tableau 17: Performances zootechniques des tilapias après 23 jours de l'élevage	71
Tableau 18: Performances zootechniques des tilapias après 52 jours d'élevage.....	74

Liste des abréviations

- AAT : Azote ammoniacal total
- ALC : Alcalinité
- ANOVA : Analyse de la variance
- BFT : Biofloc technology
- °C : Degrés Celsius
- CAR : Caroube
- C/N : ratio carbone/azote
- CNRDPA : Centre National de Recherche et du Développement de la Pêche et de l'aquaculture
- ENSSMAL : Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et l'aménagement du littorale
- FAO : Organisation mondiale pour l'alimentation et l'agriculture
- FD : Facteur de dilution
- Fig. : Figure
- FV : Floc Volume
- GB : Gain de biomasse
- GPM : Gain de Poids Moyen
- GMQ : Gain Moyen Quotidien
- IC : Indice de conversion alimentaire
- L : Litre
- MES : Matières en suspension
- MEL : Mélasse de sucre
- MED : Mélasse de datte
- MPPH : Ministère de la Pêche et des Productions Halieutiques
- NH₃: Ammoniac
- NH₄⁺: Ammonium
- NO₂⁻ : Nitrites
- NO₃⁻ : Nitrates
- ONS : Office National des Statistiques
- PM : Poids moyen individuel

- Pmi : Poids moyen initial
- Pmf : Poids moyen final
- PVC : Polyvinyle chloride
- RAS : Systèmes de recirculation aquacole (Recirculating aquaculture system)
- S (%) : Taux de survie
- Tab : Tableau
- TCR : Taux de croissance relatif
- TCS : Taux de croissance spécifique
- USD : Dollars américain
- V : Volume

REMERCIEMENT	2
DEDICACE	3
LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES ABREVIATIONS	8
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1	3
GENERALITES	3
1. APERÇU SUR L'AQUACULTURE MONDIALE	4
2. APERÇU SUR LA PRODUCTION MONDIALE DU TILAPIA	4
3. AQUACULTURE EN ALGERIE	6
4. APERÇU GENERAL SUR L'AQUACULTURE DU TILAPIA EN ALGERIE	7
5. MODELE BIOLOGIQUE : TILAPIA DU NIL	9
5.1 <i>Présentation de l'espèce</i>	9
5.2 <i>Distribution géographique</i>	9
5.3 <i>Morphologie</i>	10
5.4 <i>Systematique</i>	11
5.5 <i>Régime alimentaire</i>	12
5.6 <i>Besoins nutritionnels</i>	12
5.7 <i>Biologie et écologie de l'espèce</i>	15
6. SYSTEME BIOFLOC	21
6.1 <i>Définition et principe de fonctionnement</i>	21
6.2 <i>Types de biofloc</i>	23
6.3 <i>Facteurs de développement du biofloc</i>	23
6.4 <i>Rapport C/N dans le biofloc</i>	25
6.5 <i>Composition nutritionnelle du biofloc</i>	26
6.6 <i>Processus de génération du biofloc</i>	27
6.7 <i>Forces et faiblesses du biofloc</i>	29
7. SOURCES DE CARBONE UTILISEES	29
7.1 <i>Mélasse de sucre</i>	29
7.2 <i>Mélasse de dattes</i>	30
7.3 <i>Caroube</i>	32
CHAPITRE 2	34
MATERIELS ET METHODES	34

1.	LIEU ET PERIODE	35
2.	PHASE D'INVESTIGATION	35
3.	DOSAGE DES CARBOHYDRATES.....	36
4.	PHASE DE PREPARATION DU MILIEU BIOFLOC (MATURATION).....	38
4.1	<i>Matériel biologique</i>	38
4.2	<i>Dispositif expérimental et régimes</i>	39
4.3	<i>Suivi des paramètres physicochimiques de l'eau</i>	40
4.3.1	Température et potentiel d'hydrogène pH	40
4.3.2	Oxygène dissous	40
4.3.3	Volume du floc	40
4.3.4	Alcalinité	41
4.3.5	Sels nutritifs.....	43
5.	PHASE EXPERIMENTALE : EFFET DE L'UTILISATION DE DIFFERENTES SOURCES DE CARBONE SUR LES PERFORMANCES D'ELEVAGE DU TILAPIA.....	43
5.1	<i>Matériel biologique</i>	43
5.2	<i>Dispositif expérimental et régimes</i>	44
5.3	<i>Suivi des paramètres du milieu</i>	45
5.3.1	Suivi des paramètres physico-chimiques	45
5.3.2	Suivi des paramètres microbiologiques	49
5.4	<i>Suivi des paramètres zootechniques</i>	51
5.5	<i>Saisie, traitement et analyse des données</i>	54
CHAPITRE 3		55
RESULTATS ET DISCUTIONS		55
1.	TENEURS EN GLUCIDES	56
2.	PHASE DE PREPARATION DU MILIEU BIOFLOC (MATURATION).....	56
3.	PHASE EXPERIMENTALE	62
3.1	<i>Paramètres du milieu</i>	62
3.1.1	Paramètres physicochimiques	62
3.1.2	Paramètres microbiologiques.....	69
3.2	<i>Suivie des paramètres zootechniques</i>	71
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES		78
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		81

Introduction

L'aquaculture joue un rôle de plus en plus crucial dans la production alimentaire mondiale, contribuant à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pression exercée sur les ressources halieutiques sauvages. Selon les statistiques de la FAO, la production aquacole mondiale a connu une croissance significative au cours des dernières décennies, avec un taux annuel moyen de croissance de 5 % entre 1994 et 2015. La production aquacole mondiale d'espèces animales a progressé de 2,7 % en 2020 par rapport à 2019 (FAO, 2022). Cette expansion est principalement due à l'élevage intensif de différentes espèces, dont le tilapia (FAO, 2020).

La croissance du secteur est due aux nouvelles avancées technologiques dans la production de poissons, telles que l'hybridation, le génie génétique, les régimes formulés et la technologie du biofloc (BFT) dans différents systèmes d'élevage tels que les étangs, les cages, les réservoirs et les systèmes de recirculation (FAO, 2012).

Le concept scientifique et pratique de la technologie du biofloc (BFT) a été développé au milieu des années 1990 par (Chamberlain & Hopkins, 1994) et par Avnimelech et al. (1994). Le BFT est un système aquacole qui se concentre sur une utilisation plus efficace des nutriments avec un échange d'eau minimal ou nul (Widanarni et al., 2012a). Le concept de la technologie du biofloc repose sur l'ajout d'une source externe de carbone dans l'environnement d'élevage, combiné à une aération intensive pour favoriser le développement d'agrégats microbiens en suspension. Ces agrégats sont composés d'un mélange de bactéries, de microalgues, de zooplancton et de particules organiques (Dauda, 2020). Les populations bactériennes jouent un rôle essentiel dans le contrôle de la qualité de l'eau en éliminant les substances azotées.

De plus, le biofloc peut servir de source de nourriture pour les espèces aquacoles telles que les crevettes et le tilapia (Khanjani&Sharifinia, 2020) et peut contribuer à améliorer les mesures de biosécurité dans les systèmes de production aquacole (Ahmad et al., 2017). En effet, l'aquaculture utilisant la technologie du biofloc, offre une solution à deux problèmes majeurs. Il combine l'élimination des nutriments de l'eau avec la production de biomasse microbienne, qui peut être utilisée in situ par les espèces d'élevage comme source de nourriture supplémentaire (De Schryver et al., 2008).

Aujourd'hui, le tilapia, également connu sous le nom de "poulet aquatique", est devenu l'étoile montante de l'aquaculture, avec de nombreuses exploitations qui débutent et d'autres qui se développent à mesure que la consommation augmente dans le monde entier (FAO, 2012). Elle est l'une des espèces qui peut bien se développer dans le système biofloc (Durigon et al., 2020). Sa capacité à se nourrir en filtrant l'eau lui permet d'ingérer les bioflocs en suspension,

et en raison de sa robustesse et de sa croissance rapide, elle est adaptée aux systèmes intensifs (Avnimelech, 2014).

Les régions du Sud de l'Algérie bénéficient d'un climat propice à l'élevage d'espèces adaptées aux eaux chaudes tel que le tilapia. Ces zones disposent de précieuses ressources en eaux souterraines qui peuvent être exploitées pour l'aquaculture. Cependant, une grande partie de cette ressource provient d'aquifères fossiles non renouvelables (Saker & Bouhoun, 2007), ce qui nécessite une gestion rationnelle et responsable afin d'assurer un développement durable de l'aquaculture. La technologie BFT qui représente une technique d'élevage à faible consommation d'eau, pourrait constituer une alternative pour le développement de l'aquaculture du tilapia dans ces régions.

Dans le cadre de la maîtrise de cette technologie et l'optimisation des conditions liées à l'application de cette technique dans les systèmes de production aquacole en Algérie, notre étude repose sur l'essai d'élevage du tilapia du Nil en système Biofloc, en utilisant différentes sources de carbone d'origine locale (Caroube, Mélasse de sucre, Mélasse de datte), évaluant ainsi l'effet de ces dernières sur les paramètres du milieu et les performances zootechniques de l'espèce.

Les principaux points traités dans le cadre de ce travail sont :

- Réaliser une synthèse bibliographique sur cette nouvelle technologie aquacole qui est le système biofloc.
- Etudier l'évolution des paramètres du milieu durant la phase de maturation du biofloc.
- Comparer les performances zootechniques du tilapia entre l'élevage en système biofloc et l'élevage en système de recirculation d'eau.
- Tester l'efficacité d'utilisation de différents produits agricoles locaux comme sources de carbone dans le système biofloc.

Chapitre 1

Généralités

1. Aperçu sur l'aquaculture mondiale

L'aquaculture mondiale est une industrie en pleine expansion, jouant un rôle crucial dans la sécurité alimentaire et la fourniture de protéines essentielles à une population mondiale croissante. La production totale de l'aquaculture était constituée en 2020 de 87,5 millions de tonnes d'animaux d'origine aquatique, principalement destinés à l'alimentation humaine, 35,1 millions de tonnes d'algues pour des usages alimentaires et non alimentaires, 700 tonnes de coquillages et de perles d'ornement, pour un total de 122,6 millions de tonnes en poids vif, soit une augmentation de 6,7 millions de tonnes par rapport à 2018 (115,9 millions de tonnes) (FAO, 2022).

En effet, la production mondiale de l'aquaculture continentale s'est élevée à 54,4 millions de tonnes en 2020, ce qui représente 44,4 pour cent de la production aquacole mondiale totale. La Chine a maintenu sa position dominante dans l'aquaculture mondiale, représentant 56,7 pour cent de la production des animaux aquatique et 59,5 pour cent de la production des algues aquatiques (Fig.1). Cette situation est similaire à celle de ces dernières années (FAO, 2022).

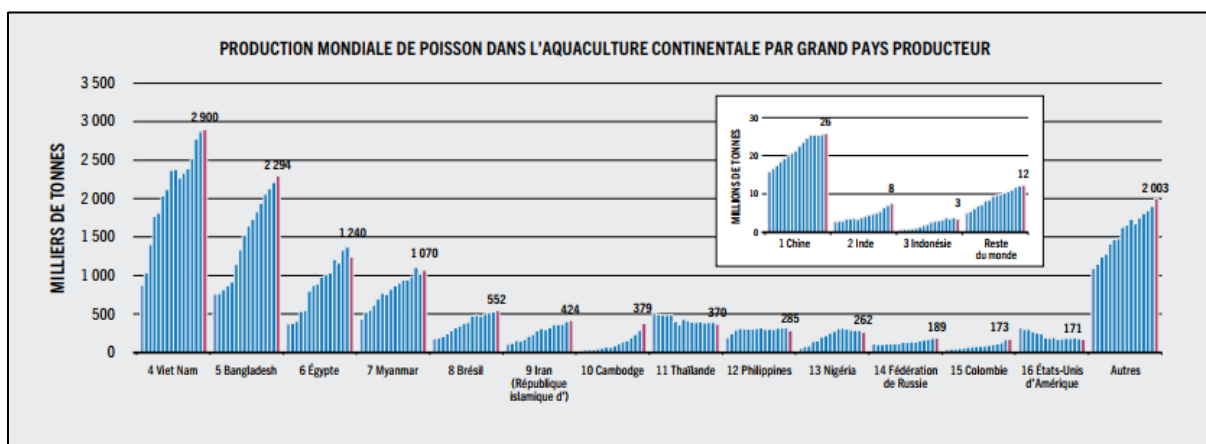


Figure 1: Production aquacole mondiale de poissons d'eau douce par grand pays producteur 2005-2022 (FAO, 2022)

2. Aperçu sur la production mondiale du Tilapia

Avec une production de 4,4 millions de tonnes en 2020 (Tab.1), le tilapia du Nil se positionne au troisième rang après la carpe herbivore et la carpe argentée, représentant 9% de la production de l'aquaculture continentale mondiale (FAO, 2022).

Tableau 1: Production mondiale des principales espèces aquacole (FAO, 2022)

	2000	2005	2010	2015	2020	Part du total,2020
(Milliers de tonnes, poids vif)						
Poissons – aquaculture continentale						
Carpe herbivore (<i>Ctenopharyngodonidellus</i>)	2 976,50	3 396,60	4 213,10	5 315,00	5 791,50	11,8
Carpe argentée (<i>Hypophthalmichthysmolitrix</i>)	3 034,70	3 690,00	3 972,00	4 713,60	4 896,60	10
Tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i>)	1 001,50	1 721,30	2 637,40	4 000,90	4 407,20	9,00
Carpe commune (<i>Cyprinus carpio</i>)	2 410,40	2 666,3	3 331	4 025,8	4 236,3	8,6
Catla (<i>Catla catla</i>)	602,30	1 317,5	2 526,4	2 313,4	3 540,3	7,2
Carpe à grosse tête (<i>Hypophthalmichthysnobilis</i>)	1 438,90	1 929,5	2 513,6	3 109,1	3 187,2	6,5
Carassius spp.	1 198,50	1 798,2	2 137,8	2 644,1	2 748,6	5,6
Silure requin (<i>Pangasianodon hypophthalmus</i>)	113,20	411,2	1 749,4	2 083,2	2 520,4	5,1
LabéoRoho (<i>Labeo rohita</i>)	733,90	1 435,9	1 133,2	1 785,3	2 484,8	5,1
Clarias spp.	48,80	149,5	343,3	923,7	1 249	2,5
Tilapias nca (<i>Oreochromis spp.</i>)	123,90	199,3	449,6	926,9	1 069,9	2,2
Carpe de Wuchang (<i>Megalobrama amblycephala</i>)	445,90	477,2	629,2	723,2	781,7	1,6
Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	340,40	360	464,7	546,5	739,5	1,5
Carpe noire (<i>Mylopharyngodon piceus</i>)	149,00	280	409,5	541,2	695,5	1,4
Achigan à grande bouche (<i>Micropterus salmoides</i>)	0,20	140,3	179,5	321,5	621,3	1,3
Sous-total – 15 principales espèces	14 618,20	19 973,5	26 689,7	33 976,3	38 970,1	79,3
Sous-total – autres espèces	3 546,60	4 260,1	6 337,7	8 535,7	10 150,4	20,7
Total	18 164,70	24 233,60	33 027,40	42 512,00	49 120,50	100

Les caractéristiques biologiques du tilapia en font d'elle une espèce adaptable à de nombreux environnements et types d'élevage. Les premiers producteurs au niveau mondial sont la Chine et l'Indonésie (Fig.2). La production européenne du tilapia s'élève en moyenne à environ 420 tonnes par an (depuis 2010), mais une diminution significative de la production a été enregistrée en 2019 et 2020.

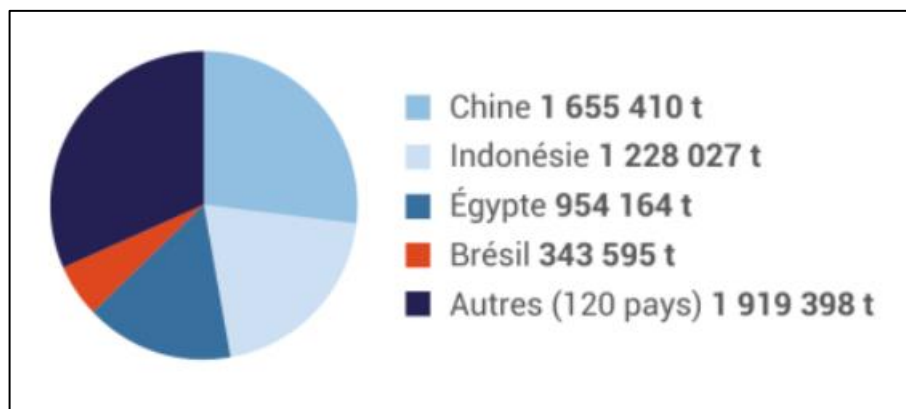


Figure 2: Principaux pays producteurs de tilapia d'élevage en 2020 (FAO,2022)

3. Aquaculture en Algérie

L'aquaculture en Algérie est relativement récente. Elle a vu le jour à la fin du 19^{ème} siècle. Selon le biologiste français « Novella », les premiers essais furent en 1880 au niveau de l'embouchure d'Arzew (FAO, 2004).

Historiquement, le développement de l'aquaculture en Algérie peut se résumer comme suit (MPRH, 2005) :

- En 1921 : Création de la station d'aquaculture et de pêche de Bousmail, avec pour objectif la détermination des meilleurs sites pour la conchyliculture et la pisciculture.
- En 1937 : Création de la station d'alevinage de Ghrib en vue d'empoissonner massivement les barrages de Ghrib et de l'Oued Fodda.
- En 1947 : Création de la station de Mazafran, dans l'optique de repeuplement des plans d'eaux en poissons d'eau douce et de mener des recherches hydrobiologiques.
- En 1973 : Mise en valeur du lac El-Mellah, pour l'installation des tables conchylicoles.
- En 1983/1984 : Premiers travaux de réalisation d'une écloserie de loup au lac El-Mellah.

- En 1989 : Implantation d'une éclosérie mobile à Harreza (Ain Defla) pour la reproduction des carpes (capacité de production de 10 millions de larves). Une autre éclosérie de carpes à double capacité que la première a été implantée à Mazafran.
- En 1991 : Valorisation de l'infrastructure hydrique par la pisciculture.
- En 2000 : Création d'un comité national autour du sujet « Aquaculture en Algérie » ; ce qui a abouti à des résultats importants du point de vue perspectives, avec l'établissement du Plan National du Développement de l'Aquaculture en Algérie PNDA.
- En 2001 : Début de la première campagne d'élevage d'alevins, ainsi qu'une exploitation plus ample des sites aquatiques à travers le territoire national (côtiers, intérieur, Saharien).
- De 2007 à 2009 : Reproduction et empoissonnement de 500 000 alevins de tilapia et mulet ont été effectués par le CNRDPA.

4. Aperçu général sur l'aquaculture du tilapia en Algérie

Depuis la création du Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques en 2000, plusieurs plans et programmes de développement ont été élaborés permettant ainsi le démarrage de plusieurs projets privés d'aquaculture dans différentes filières d'activité.

En 2001, l'Office National de Développement et de Production Aquacole « O.N.D.P.A » et les responsables de l'instance Egyptienne des ressources halieutiques sont parvenues à introduire le tilapia en Algérie (Belaroui, 2022).

En 2013, des opérations de reproductions contrôlées du tilapia ont été effectuées par le CNRDPA. Les alevins obtenus ont été distribués aux agriculteurs dans le cadre de l'intégration de la pisciculture à l'agriculture, avec approvisionnement de plus de 152 exploitations agricoles en alevins du tilapia par l'ensemencement de leurs bassins d'irrigation (FAO, 2014).

L'objectif fixé pour le tilapia consiste en la concrétisation des nouveaux projets pour atteindre une production de 5000 tonnes en 2024(AE, 2023).

Cependant il convient de noter que l'élevage du tilapia en Algérie est encore relativement nouveau et que des études supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les pratiques d'élevage et améliorer les rendements. D'après le MPPH, 39 fermes aquacoles de tilapia sont fonctionnaires au niveau national en 2022 (Fig. 3).

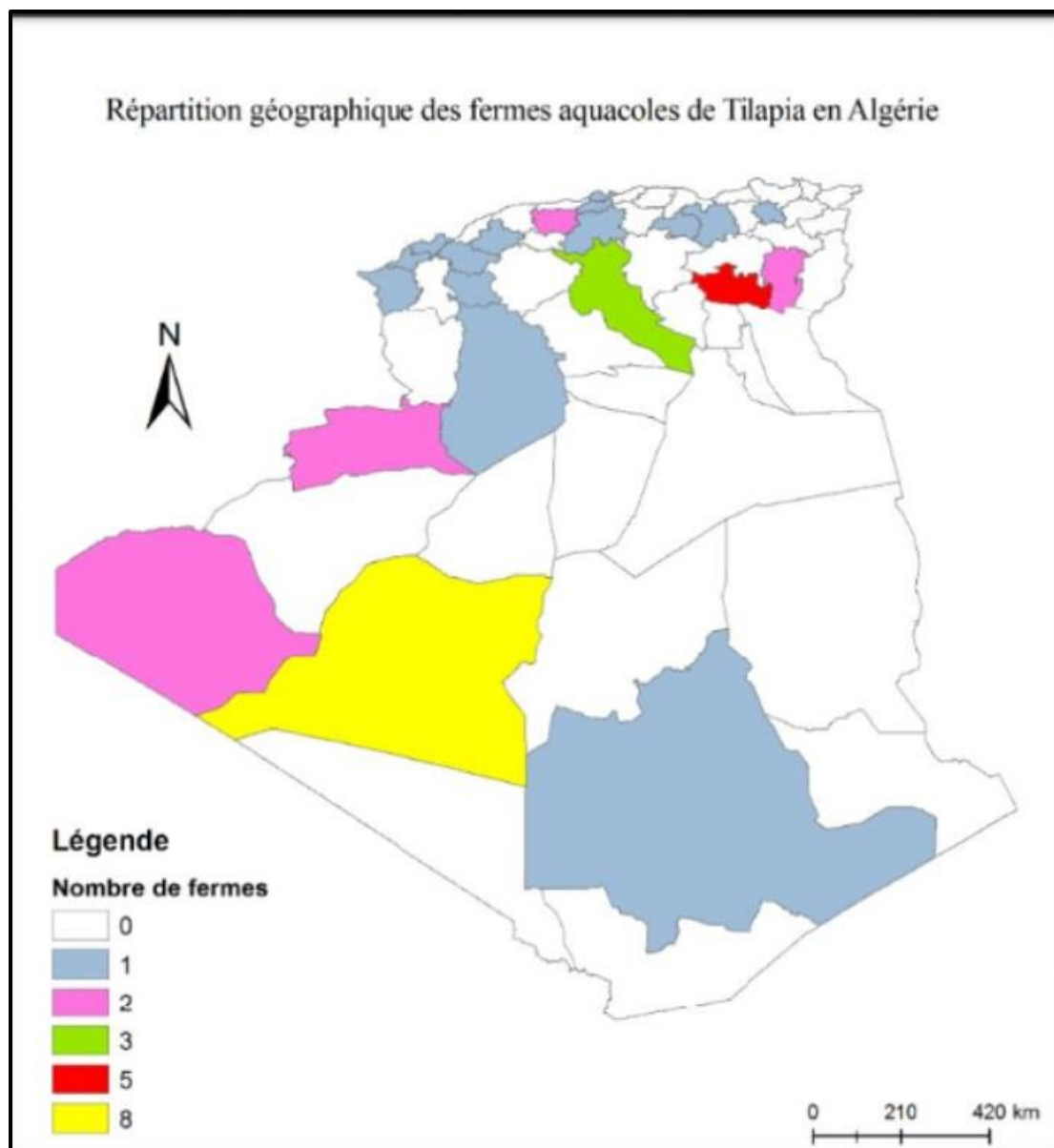


Figure 3: Carte de répartition géographique des fermes d'élevage du tilapia du Nil en Algérie en 2020 (Moussaoui, 2022)

5. Modèle biologique : Tilapia du Nil

5.1 Présentation de l'espèce

Le terme « Tilapia » est généralement utilisé pour faire référence à un groupe important d'espèces élevées à des fins commerciales, appartenant à la famille des Cichlidés. Il regroupe trois genres différents originaire d'Afrique, qui se distinguent par leur mode d'incubation des œufs et la garde parentale apportées aux progénitures : le genre *Tilapia* regroupe des espèces pondueuses sur substrat, le genre *Sarotherodon* comprend des espèces à incubation buccale et garde biparentale et le genre *Oreochromis* est constitué d'espèces à incubation buccale maternelle (Trewavas, 1983).

Le seul genre ayant démontré jusqu'à présent un potentiel aquacole est le genre **Oreochromis**.

Trois espèces font aujourd'hui l'objet d'élevage à une échelle significative : *Oreochromis niloticus*, *Oreochromis mossambicus* et *Oreochromis aureus* (Lazard, 2009) in (Belaroui, 2022)

5.2 Distribution géographique

Le tilapia est un poisson d'eau douce originaire d'Afrique où il est présent dans les eaux douces depuis l'Égypte jusqu'en Afrique du Sud. Selon Trewavas (1983), il existe une grande diversité d'espèces de tilapia en Afrique. De plus, certains auteurs comme El-Sayed (2006) ont évoqué l'existence d'hybrides et de sous-espèces.

Le tilapia a été introduit dans de nombreuses régions du monde pour la production aquacole, en raison de sa résistance aux conditions environnementales difficiles et de sa croissance rapide. Winemiller et al. (2005) ont étudié les communautés de poissons dans le bassin du Rio Negro en Amazonie, où le tilapia a été introduit et est devenu une espèce envahissante.

En Afrique du Nord, le tilapia (*Oreochromis mossambicus* et *Tilapia zillii*) a été introduit dans les années 1960 dans les eaux douces algériennes pour la production aquacole (Ben Salah, 2022).

En Asie, le tilapia est largement cultivé et a été introduit dans les eaux douces de nombreux pays, notamment la Chine, les Philippines, le Bangladesh, l'Inde et le Vietnam (Lévêque et al., 1992). En Amérique latine, le tilapia a été introduit pour la production aquacole, notamment au Brésil, en Colombie, en Équateur et au Pérou (FAO, 1988).

En résumé, le tilapia est originaire d'Afrique et se trouve dans les eaux douces de nombreux pays d'Afrique du Nord et d'Afrique subsaharienne. Il a été introduit dans de nombreuses régions du monde pour la production aquacole et il est aujourd'hui largement cultivé.

5.3 Morphologie

La morphologie du Tilapia (*Oreochromis niloticus*) a été largement étudiée en raison de son importance économique pour l'aquaculture et la pêche.

Le Tilapia du Nil a une forme ovale et comprimée latéralement, avec une tête large et une bouche protractile (El-Sayed, 2006), adaptée à son régime alimentaire principalement herbivore (Paugy et Lévêque, 2003), et avec une ligne latérale bien marquée (Fig. 4).

Les écailles du Tilapia du Nil sont de forme ovale et disposées en rangées longitudinales. Elles sont recouvertes d'un mince film de mucus pour réduire la friction dans l'eau et protéger la peau contre les parasites et les infections. La densité des écailles varie en fonction de la zone du corps, avec une densité plus élevée sur les parties les plus exposées aux prédateurs (Chervinsky, 1961).

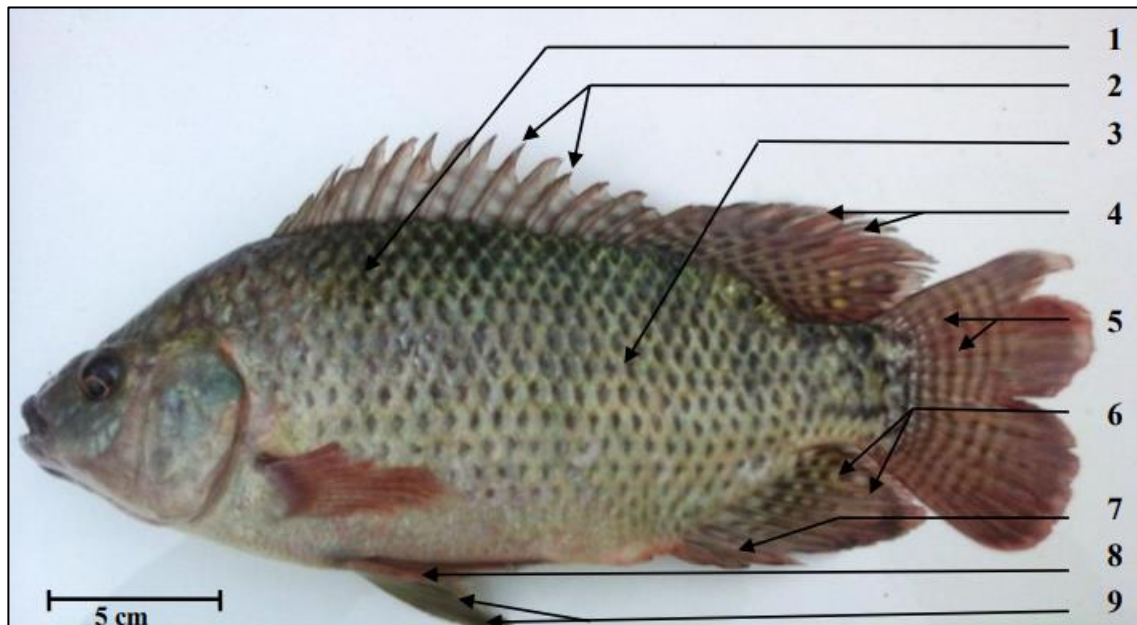
On distingue chez le tilapia 5 types de nageoires qui sont :

- Une **nageoire dorsale** longue et comporte 13 à 16 épines et 11 à 14 rayons mous. Elle intervient dans l'équilibre : elle assure la stabilité du poisson et lui permet de maintenir la position verticale. Cette action est complétée par la nageoire anale ;
- Une **nageoire anale** courte, avec trois épines et 09 à 11 rayons mous qui intervient dans l'équilibre : elle participe à la stabilité du poisson avec la nageoire dorsale ;
- Une **nageoire caudale** en forme de lobe qui permet une bonne manœuvrabilité et une propulsion efficace (Balon, 2004), ainsi des Bandes verticales régulières noires existent sur la nageoire caudale (Trewavas, 1983).
- Une paire de **nageoires pelviennes** ou **abdominales** qui interviennent dans l'équilibre et la nage lente. Elles assurent aussi les changements de direction et le freinage ;
- Une paire de **nageoires pectorales** qui interviennent dans l'équilibre, la nage lente, les changements de direction et le freinage.

La couleur du tilapia du Nil varie du gris argenté au brun olive, avec des taches sombres sur les nageoires. Selon Oussiad (2022), les tilapias peuvent présenter des variations de couleur selon les habitats, la qualité de l'eau et l'âge de l'individu. Ils peuvent également avoir des marques

distinctives sur les nageoires et les flancs, qui sont utilisées pour identifier les différentes sous-espèces.

Figure 4: Caractéristiques morphologiques spécifiques d'*O.niloticus* (Hocine, 2017)



1 : 1^{ère} ligne latérale ; 2 : Rayons épineux de la nageoire dorsale ; 3 : 2^{ème} ligne latérale ; 4 : Rayons mous de la nageoire dorsale ; 5 : Bandes verticales claires et noires sur la nageoire caudale ; 6 : Rayons mous de la nageoire anale ; 7 : Rayons épineux de la nageoire anale ; 8 : Rayon dur de la nageoire pelvienne ; 9 : Rayons mous de la nageoire pelvienne

5.4 Systématique

La position systématique adoptée est celle proposé par (Trewavas, 1983)

Règne	Animal
Embranchement	Vertébrés
Super classe	Poissons
Classe	Osteichthyens
Sous-classe	Actinoptérygiens
Super-ordre	Téléostéens
Ordre	Perciformes
Famille	Cichlidés
Genre	<i>Oreochromis</i>
Espèce	<i>Oreochromis niloticus</i> (Linné, 1758)

5.5 Régime alimentaire

Le régime alimentaire du tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) varie selon son âge, sa taille et les conditions environnementales (Pompa et Masser, 1999). Les tilapias juvéniles se nourrissent principalement de plancton et d'organismes aquatiques minuscules tels que les rotifères et les cladocères (Tacon et al., 2002). A mesure que les tilapias grandissent, leur alimentation devient plus diversifiée et ils commencent à consommer des matières végétales et animales plus grosses telles que les algues, les insectes aquatiques, les crustacés et les petits poissons (El-Sayed, 2006).

Le tilapia du Nil est considéré comme un poisson omnivore opportuniste, car il peut utiliser une large gamme de sources alimentaires pour survivre (Nelson, 2006). Les tilapias peuvent ajuster leur régime alimentaire en fonction de la disponibilité des aliments dans leur environnement ainsi que les saisons et les cycles de reproduction (Thabet, 2017).

En aquaculture, les tilapias sont généralement nourris avec des aliments commerciaux contenant des protéines, des lipides, des vitamines et des minéraux (Tacon et al., 2002). Cependant, il est également possible de nourrir les tilapias avec des aliments naturels tels que les algues, les légumes et les déchets organiques. Les aliments végétaux peuvent représenter jusqu'à 70% du régime alimentaire des tilapias car ils sont capables de digérer efficacement les glucides complexes présents dans les plantes (Nelson, 2006).

La qualité de l'alimentation des tilapias a un impact direct sur leur croissance et leur développement. Une alimentation insuffisante ou inadaptée peut entraîner un retard de croissance, une diminution de la qualité de la viande et une susceptibilité accrue aux maladies (Jauncey et Ross 1982).

Il est donc important de surveiller l'alimentation des tilapias en aquaculture pour assurer une croissance maximale et une santé optimale.

5.6 Besoins nutritionnels

Le Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) est une espèce de poisson qui est largement élevée en aquaculture pour sa chair. Pour optimiser la croissance et la santé de ces poissons, il est important de fournir une alimentation équilibrée qui répond à leurs besoins nutritionnels.

Plusieurs études ont été menées pour déterminer les besoins nutritionnels du tilapia du Nil. En effet, il existe 3 groupes majeurs de matières organiques qui influent sur la croissance et qui

doivent répondre aux besoins nutritionnels du tilapia : les protéines, les lipides et les glucides (El-Sayed, 2006; Jauncey et Ross, 1982).

5.6.1 Protéines

Le tilapia du Nil a besoin d'un apport protéique élevé dans son alimentation pour une croissance et un développement optimal (Tab.2). Les niveaux recommandés de protéines varient de 30 à 40 % de la ration alimentaire (Lazard, 2007).

Tableau 2: Besoins en protéines pour le tilapia du Nil en fonction du poids (*Lazard, 2007*)

Poids(g)	Quantité (%)
0 à 0,5	50
0,5 à 10	35-40
10 à 35	30-35
35g à la taille marchande	25-30
Géniteurs	30

5.6.2 Lipides

Les lipides sont une source importante d'énergie pour le tilapia du Nil et sont essentiels pour le développement des membranes cellulaires et la croissance des tissus. Les niveaux recommandés de lipides varient de 5 à 10 % de la ration alimentaire (Beveridge & McAndrew, 2000) (Tab.3).

Tableau 3: Besoins théorique en lipides du tilapia du Nil (Lazard, 2007)

Poids en (g)	Quantité (%)
0 à 0,5	10
0,5 à 10	10
10 à 35	6-10
35g à la taille marchande	6
Géniteurs	8

5.6.3 Glucides

Les glucides sont également une source d'énergie importante pour le Tilapia du Nil, mais ils sont moins importants que les protéines et les lipides. Les niveaux recommandés de glucides varient de 25 à 35 % de la ration alimentaire (Tab.4) (Lazard, 2007).

Tableau 4: Besoins théoriques en glucides et en fibres du tilapia du Nil(Lazard, 2007)

Poids (g)	Quantité de glucides (%)	Quantité de fibres (%)
0 à 0,5	25	8
0,5 à 10	25	8
10 à 35	25	8-10
35g à la taille marchande	25	8-10
Géniteurs	25	8-10

5.6.4 Vitamines et minéraux

Le tilapia du Nil a besoin d'une variété de vitamines et de minéraux pour une croissance et un développement optimal. Les vitamines les plus importantes incluent la vitamine C, la vitamine E, la thiamine et la riboflavine. Les minéraux les plus importants comprennent le calcium, le phosphore et le magnésium (Chervinsky, 1961).

5.6.5 Acides aminés

Le tilapia du Nil a besoin d'une variété d'acides aminés pour une croissance et un développement optimal. Les acides aminés les plus importants incluent la lysine, la méthionine, la thréonine et la valine (Tab.5) (Fegbenro,2000) in (Rechidi, 2018).

Tableau 5: Besoins quantitatifs en acides aminés essentiels du tilapia du Nil(Fegbenro,2000) in (Rechidi, 2018)

Acide Aminé Essentiel	Besoin minimum (%)
Tyrosine (Tyr)	1,6
Arginine (Arg)	4,1
Histidine (His)	1,5
Thréonine (Thr)	3,3
Valine (Val)	3,0
Leucine (Leu)	4,3
Isoleucine (Iso)	2,6
Méthionine (Met)	1,3
Cystéine (Cys)	2,1
Phénylalanine (Phe)	3,2
Tryptophane (Try)	0,6

5.7 Biologie et écologie de l'espèce

5.7.1 Croissance

Le Tilapia du Nil peut atteindre une taille de 60 cm mais en général, les individus mesurent entre 20 et 40 cm (Paugy et Lévêque ,2003), avec un poids maximal qui peut atteindre 4 kg, mais généralement la plupart des individus pèsent entre 500 g et 1,5 kg.

O. niloticus est connu pour sa croissance rapide et présente un indice de croissance plus performant (IC = 1,8) que les autres espèces de tilapia (Pauly et al.1988)

Sa durée de vie est relativement courte (4 à 7 ans), sa vitesse de croissance est extrêmement variable selon les milieux. D'une façon générale, la croissance des tilapias varie énormément d'une espèce à l'autre et d'une population à l'autre. Cette variation est liée à la disponibilité des ressources alimentaires, à la structure démographique des populations, à la sélectivité des captures et/ou de la prédation et à la taille de la retenue (Ouattaraet al. 2009)

Une autre grande caractéristique d'*O.niloticus* concerne son dimorphisme sexuel de croissance. A maturité, les individus mâles présentent une croissance nettement plus rapide que les femelles et atteignent une taille nettement supérieure. Ainsi, les mâles peuvent atteindre une taille de 38 cm pour 2 kg alors que les femelles ne dépassent pas 28 cm pour 950 g (Fabrice, 2011).

Cependant la taille commerciale des tilapias est relativement faible : 200g à 300g (Lazard, 2007).

5.7.2 Reproduction

Oreochromis niloticus est une espèce de poisson connue pour sa maturité sexuelle précoce. Dans certains élevages, les individus peuvent atteindre une maturité sexuelle dès l'âge de 4 mois avec un poids de 30g et une taille de 8cm. Cette précocité de reproduction, combinée à une courte période de latence réfractaire entre les pontes (6 à 11 pontes par an) et une forte résilience, en font une espèce intéressante pour la reproduction contrôlée (Baroiller et Jalabert, 1989)

Cependant le sexage est basé sur l'observation des caractéristiques morphologiques externes de l'individu, telles que la forme de la papille génitale, la taille et la forme des nageoires et la coloration de la peau. Chez les tilapias, la papille génitale est souvent utilisée pour déterminer le sexe. Chez les mâles, la papille génitale est plus longue et pointue, tandis que chez les femelles, elle est plus courte et plus arrondie (Fig. 5). Les mâles ont également des nageoires dorsale et anale plus longues et pointues que les femelles, tandis que les femelles ont souvent une coloration plus claire et une tête plus petite (Kestemont, 1989). Le Tilapia du Nil est un poisson nidificateur. Après la fécondation des œufs, la femelle les reprend dans sa cavité buccale pour les incuber et les protéger pendant la durée d'incubation. En élevage intensif, la production d'alevins de tilapia du Nil est généralement réalisée en utilisant des géniteurs préalablement stockés et conditionnés. Les œufs fécondés sont récupérés de la bouche des femelles et sont ensuite incubés dans des dispositifs artificiels (Fessehayé et al., 2006).

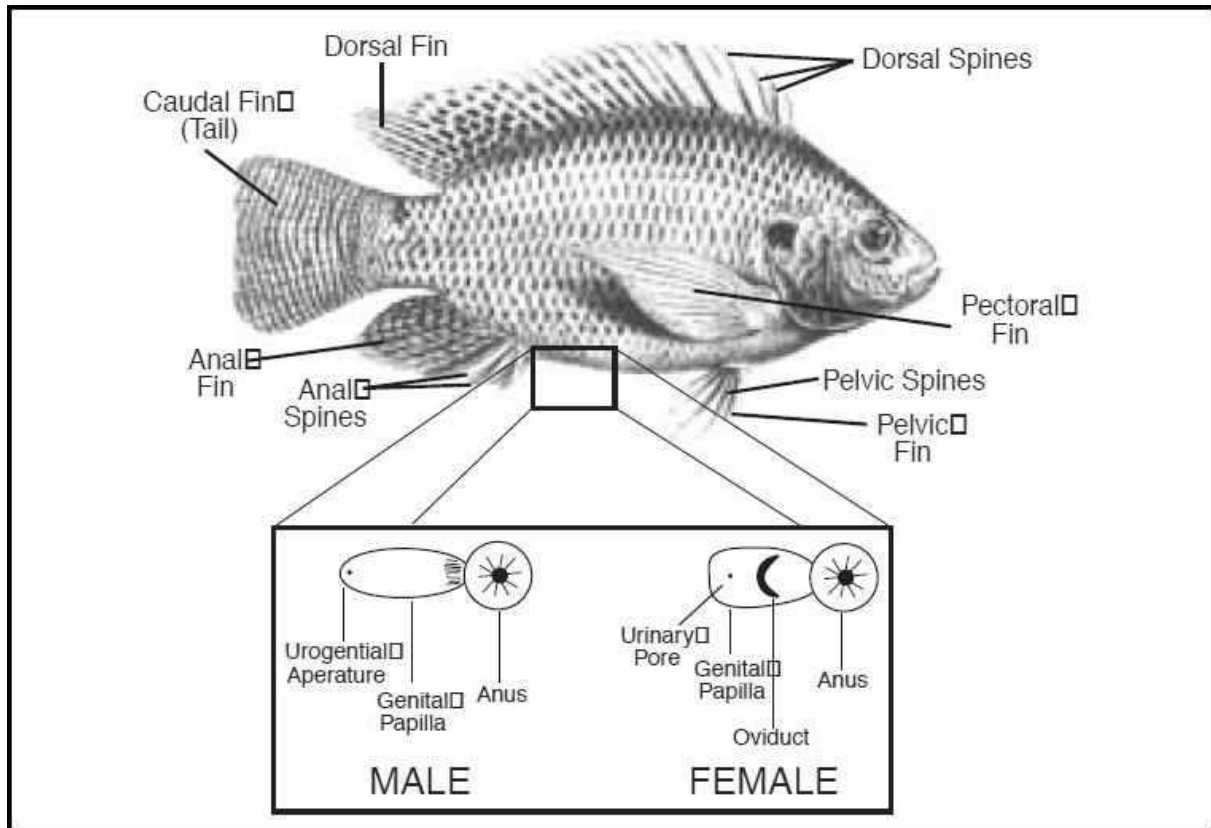


Figure 5: Caractéristiques morphologiques spécifiques de la Papille génitale d'*O. niloticus* (Pompa & Masser, 1999)

5.7.3 Fécondité

La fécondité absolue est définie comme étant le nombre d'œufs fraîchement récupérés de la cavité buccale d'une femelle. Or, chez les tilapias, comme chez les autres poissons, cette fécondité augmente avec la taille des femelles. Ainsi, selon Mélard (1986) in (Lazard & Legendre, 1996), la fécondité absolue minimale observée est de 340 ovules pour une femelle de 26g et la fécondité maximale est de 3500 ovules pour une femelle de 550g. Aussi, Dhraief et al (2010) ont prouvé que ce paramètre augmente en fonction de la longueur des femelles. En revanche, Mélard (1986) in (Lazard et Legendre 1996) a montré que la fécondité relative (exprimée en nombre d'œufs fécondés ou d'alevins produits/kg de femelle) varie en sens inverse du poids moyen des femelles du tilapia.

5.7.4 Exigences écologiques

Le tilapia du Nil est connu pour sa capacité d'adaptation à une large gamme de conditions environnementales et présente une écologie complexe qui lui permet de s'adapter à divers habitats et conditions environnementales. Il peut survivre dans des habitats divers, tels que les

lacs, les rivières, les étangs et les réservoirs, avec des variations de température, de salinité et de qualité de l'eau.

En effet, *O. niloticus* est une espèce euryèce ou eurytope qui s'adapte aux larges variations des facteurs écologiques, pouvant ainsi coloniser des milieux extrêmement différents (Thabet, 2017).

Dans son habitat naturel, cette espèce peut supporter des températures comprises entre 14 et 31 °C, avec une plus grande plage de tolérance thermique observée en laboratoire allant de 7 à 41°C pendant plusieurs heures. Toutefois, leur préférendum thermique de croissance et de reproduction se situe entre 22 et 28°C (Kraïem et Azaza, 2007).

Cette espèce peut survivre dans des conditions de faible oxygénation, de l'ordre de 0,1 mg/l mais son développement n'est favorisé qu'à partir de 3 mg/l. Par ailleurs, elle supporte des gammes de pH allant de 5 à 11, cependant elle préfère les milieux neutres à légèrement basiques, avec un pH variant de 7 à 8 (Alhassane, 2004).

Tableau 6: Limites de tolérance et préférendum physico-chimiques du tilapia du Nil(Kestemont, 1989)

Paramètres	Limites de tolérance	de Remarques
Température (C°)	6.7-42	Valeurs extrêmes lors d'acclimatation progressive
	21-30	Températures requises pour le développement des caractères sexuels secondaires, la reproduction et la croissance
Oxygène(mg/l)	0,1	Survie quelques heures en respiromètre
	< 25% de saturation	Réduction dans la vitesse de croissance
	2-4%	Valeurs recommandés
pH	5 -11	Limites de tolérance
	7-8	Valeurs recommandées pour l'élevage
Turbidité (mg/l)	Tolérance forte	Action indirecte via la productivité de l'étang
	> 13.000	Hyperplasie des branchies
NH3-N (mg/l)	> 2,3	Valeurs létales au-delà
	< 0.5	Affectations des branchies et mortalité si chute d'oxygène ou manipulations fréquentes des poissons
NO2-N (mg/l)	< 2.1	Concentration létale (CL 50) au-delà de 2.1 mg/l.

5.8 Systèmes d'élevage du tilapia

De façon schématique, trois systèmes de production aquacole du tilapia peuvent être identifiés (Lazard, 2009) :

5.8.1 Pisciculture « vivrière rurale »

Il s'agit d'étangs, très largement répandus en zone tropicale, gérés de façon « extensive ». Dans ces étangs, la production de l'élevage est très hétérogène en taille et en poids. L'alimentation (ou plutôt la fertilisation) est faible en quantité et de faible valeur alimentaire (déchets de l'exploitation agricole et déchets ménagères). Le rendement de ce type d'exploitation est de 0,5 à 2 t de tilapia /ha par an.

5.8.2 Pisciculture artisanale de « petite production marchande »

Les systèmes correspondant à ce type sont généralement semi-intensifs et sont omniprésents en Asie où le tilapia y remplace progressivement les carpes. L'élevage se fait en étangs ou en cages flottantes. L'aliment utilisé est constitué d'un ou de plusieurs sous-produits agricoles tel que le son de riz ainsi qu'une faible proportion de farine d'origine animale (farine de poisson principalement). La taille commerciale des poissons produits est relativement faible (200 à 300 g). Les rendements de ce type de pisciculture en étangs et en cage varient respectivement de 10 à 15 t/ha par an et de quelques dizaines de kg/m³ par an.

5.8.3 Aquaculture industrielle du tilapia

Elle correspond à des systèmes généralement intensifs ou hypertensifs à forte intensité capitaliste avec une production de poissons de grande taille (> 500 g) destinée aux marchés urbains et internationaux. Ces systèmes sont caractérisés par l'utilisation de souches performantes et d'un aliment composé. Le tilapia qui est commercialisé aux Etats-Unis, au Japon ou en Europe provient essentiellement de ce type de pisciculture. Le rendement des étangs gérés de façon intensive atteint plusieurs dizaines de tonnes par hectare par an et jusqu'à 200 kg/m³ par an celui des race ways ou des cages.

6. Système biofloc

Les systèmes d'aquaculture intensive sont utilisés pour produire efficacement des biomasses denses de poissons ou de crevettes. Une caractéristique intrinsèque de ces systèmes est l'accumulation rapide de résidus alimentaires, de matières organiques et d'espèces azotées inorganiques toxiques (Avnimelech, 2007). L'ammoniac est l'un des déchets azotés inorganiques les plus courants dans un système d'aquaculture, qui peut menacer gravement le bien-être des espèces cultivées (Fajrin et al., 2020). Il existe donc un besoin urgent d'une technologie peu coûteuse et respectueuse de l'environnement pour une adoption à grande échelle dans les systèmes de production aquacoles pour l'élimination des déchets. C'est pourquoi un système alternatif efficace, respectueux de l'environnement et à faible coût opérationnel a été établi et appelé "Technologie Biofloc (BFT)" (Nisar et al., 2022).

6.1 Définition et principe de fonctionnement

Les bioflocs sont des agrégats (flocs) d'algues, de bactéries, de protozoaires et d'autres types de matières organiques particulières telles que les excréments et les aliments non consommés (Hargreaves, 2013).

Le système biofloc a été initialement développé pour des productions non polluantes et rentables afin d'améliorer l'environnement notamment dans les zones où l'eau est rare. Il s'agit d'une alternative prometteuse pour une production aquatique durable. Dans ce système, des bactéries sont utilisées pour convertir les déchets de poissons en biomasse (biofloc), améliorant finalement la qualité de l'eau grâce à l'ajout d'une source de carbone supplémentaire dans le système aquacole. En conséquence, l'utilisation d'eau est minimisée, contribuant ainsi à une meilleure gestion des ressources hydriques (El-sayed, 2022). Ces biomasses microbiennes se développent sur les aliments non consommés, les excréments de poissons et les produits azotés inorganiques entraînant l'élimination des composants indésirables de l'eau (Vasava et al., 2020). Le biofloc peut servir de source complète de nutrition pour les organismes aquatiques, tout en contenant certains composés bioactifs qui améliorent les mécanismes de croissance, de survie et de défense. Il constitue également une nouvelle approche pour la gestion sanitaire en aquaculture en stimulant le système immunitaire inné des animaux. Le floc microbien est bénéfique et ses composés dérivés, tels que les acides organiques, le polyhydroxyacétate et le polyhydroxybutyrate, peuvent résister à la croissance d'autres agents pathogènes, servant, ainsi de probiotique naturel et d'immunostimulant. Cette technologie est utile pour maintenir des

paramètres de qualité de l'eau à un niveau optimal dans un système sans échange d'eau, contribuant ainsi à prévenir l'eutrophisation et le rejet d'effluents dans le milieu environnant (Panigrahi et al., 2019). Sur le plan fonctionnel, le BFT repose sur un processus hétérotrophe dans lequel les aliments non consommés, les matières fécales et les nutriments en excès sont convertis en bioflocs comestibles, également appelés protéines à cellule unique (SCP). Les SCP sont liés de manière lâche par le mucus bactérien pour former des amas flottants visibles qui servent de source de nutriments pour les poissons ou les crevettes d'élevage. Dans un système BFT efficace, le coût de l'alimentation des poissons est réduit de 30 % car chaque granulé est essentiellement consommé deux fois (c'est-à-dire sous forme de granulés frais et sous forme de SCP), ce qui conduit à une productivité et une rentabilité élevées de l'aquaculture (Ogello et al., 2021).

Donc la technologie est économiquement viable, écologiquement durable et socialement acceptable.

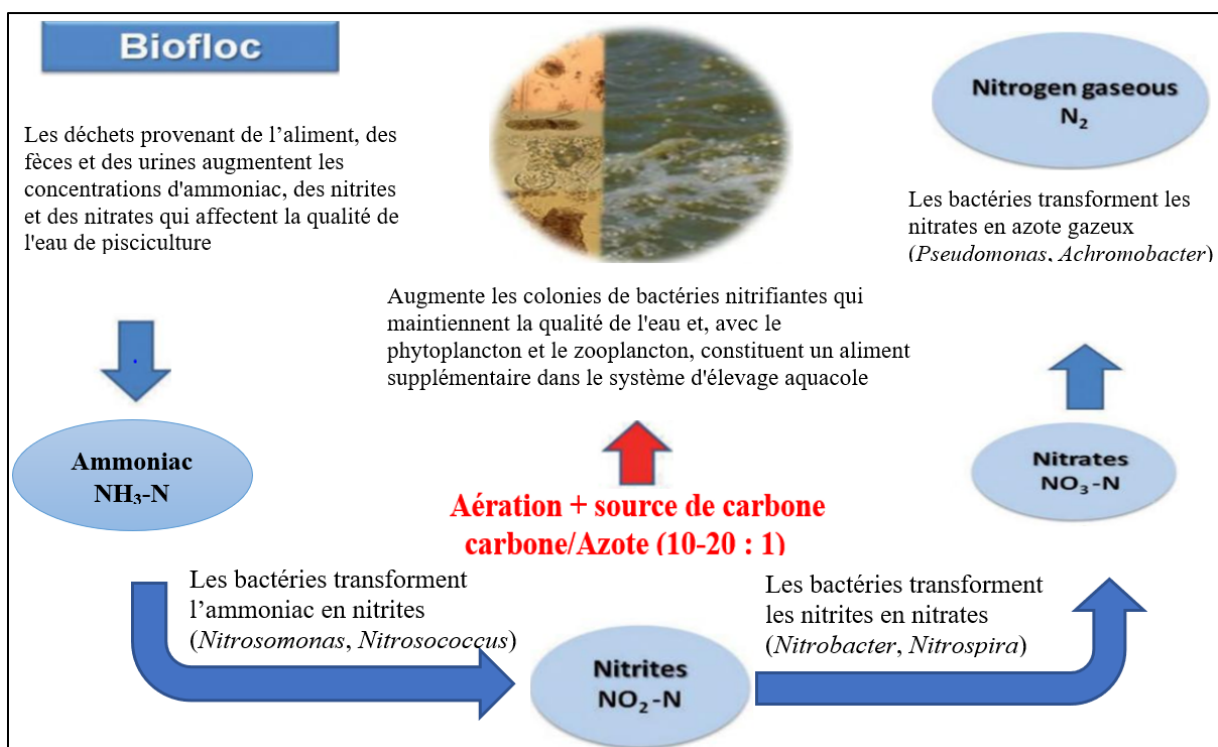


Figure 6: Processus biologique dans les bioflocs(Martha et al. 2014)

6.2 Types de biofloc

Les systèmes Biofloc deviennent de plus en plus populaires en aquaculture en raison de leurs avantages tels que la réduction des échanges d'eau, l'amélioration de l'utilisation des nutriments et l'augmentation des rendements. Cependant, il convient de noter que seuls quelques types de systèmes bioflocs ont été utilisés en aquaculture commerciale ou évalués en recherche. Les deux types de base les plus couramment utilisés sont les systèmes exposés à la lumière naturelle et ceux qui ne le sont pas (Hargreaves, 2013). Il existe deux types de base de systèmes biofloc :

6.2.1 Le Green water Biofloc

Les systèmes « Green-water » biofloc utilisent la lumière naturelle pour favoriser la croissance des algues et d'autres micro-organismes, créant ainsi un milieu complexe qui contrôle la qualité de l'eau. Ce type de système est généralement utilisé dans des étangs ou des réservoirs extérieurs pour la culture de crevettes ou de tilapia (Choo & Caipang, 2015), ou dans des raceways pour la culture de crevettes dans des serres. La plupart des systèmes biofloc utilisés dans le commerce sont des systèmes à eau verte (Hargreaves, 2013).

6.2.2 Le brown-waterbiofloc

Les systèmes biofloc à eau brune, quant à eux, n'utilisent pas la lumière naturelle et reposent uniquement sur des processus bactériens pour contrôler la qualité de l'eau. Ces systèmes sont généralement installés dans des bâtiments fermés tels que des raceways ou des bassins et fonctionnent comme des systèmes fermés.

6.3 Facteurs de développement du biofloc

Le fonctionnement du biofloc peut être influencé par plusieurs facteurs notamment la concentration de nutriments dans l'eau, la composition de la nourriture et la densité de population des organismes d'élevage. Pour préserver un environnement biofloc sain, il est important de contrôler ces facteurs et de maintenir un équilibre entre les bactéries hétérotrophes et autotrophes (Emerenciano et al. 2013)

En général :

- Les agrégats (Assemblage hétérogène de substances ou d'éléments qui adhèrent solidement entre eux) sont plus gros et plus denses à des températures plus élevées (Krishna & Van Loosdrecht, 1999) et à des teneurs en oxygène dissous plus élevées (Wilén & Balmér, 1999).

- L'agitation intense perturbe les agrégats, réduisant la taille moyenne des floccs (De Schryver et al., 2008).
- Les taux de pompage élevés à travers de petits orifices réduisent la taille des floccs (Samocha, 2019).
- Une faible teneur en oxygène dissous favorise les bactéries filamenteuses (Martins et al. 2003).
- Le pH affecte le flocc directement (chaque espèce a sa plage optimale) et indirectement par ses relations avec l'alcalinité, le carbone inorganique et l'ammoniac (Samocha, 2019).
- Les charges organiques élevées favorisent un développement plus rapide (jusqu'à ce que d'autres facteurs deviennent limitants).
- La lumière affecte l'abondance des organismes photoautotrophes dans les floccs, tels que les cyanobactéries, les algues vertes, les diatomées, les dinoflagellés, les rhodophytes, etc. Seul le bioflocc maintenu dans l'obscurité est dépourvu de microorganismes photoautotrophes (Samocha, 2019).

L'abondance des microorganismes photoautotrophes diminue généralement avec le temps dans les systèmes exposés à la lumière, car l'augmentation des concentrations de floccs réduit la pénétration de la lumière (Prangnell et al., 2016).

Cependant le tableau 7 présente les valeurs moyennes de quelques paramètres physico-chimiques enregistrés dans les biofloccs (Emerenciano et al. 2017).

Tableau 7: Valeurs moyennes de quelques paramètres physico-chimique enregistrés dans différents bioflocs(Emerenciano et al. 2017)

Paramètres	Plages idéales observées	Observations
Oxygène dissous	>4,0 mg/l (idéal) >60% de la saturation	Pour la respiration et la croissance normale des poissons, crevettes et microbiote
Température	28 à 30°C (intervalle idéal pour les espèces tropicales)	Les basses températures (<20°C) pourraient affecter le développement microbien
pH	6,8 à 8,0	Les valeurs inférieures <7 pourraient affecter le processus de nitrification
Salinité	Selon les espèces élevées	Il est possible de générer du biofloc de 0 à 50 ppt
TAN	<1mg/l (valeur idéale)	Les valeurs de toxicité dépendent du pH
Nitrite	<1mg/l (valeur idéale)	Paramètre critique (difficile à contrôler). Une attention particulière doit être portée pour le niveau de protéines des aliments, la salinité et l'alcalinité
Nitrate	0,5 à 20 mg/l	Dans cet intervalle, ils sont généralement non toxiques pour les animaux d'élevage
Ortho phosphates	0,5 à 20 mg/l	Dans cet intervalle, ils sont généralement non toxiques pour les animaux d'élevage
Alcalinité	>100 mg/l	Des valeurs élevées d'alcalinité aideront l'assimilation de l'azote par les bactéries hétérotrophes.
Concentration des solides décantables	5-20 ml/l pour les alevins de tilapia ; 20-50 ml/l pour les juvéniles et adultes de tilapia	Des niveaux élevés de solides décantables contribueront à la consommation de l'oxygène dissous par les communautés hétérotrophes et le colmatage des branchies
Solides en suspension totaux (TSS)	< 500 mg/l	Identique à celle des solides décantables

6.4 Rapport C/N dans le biofloc

Au sein d'un système biofloc, l'apport de carbone sous forme de carbohydrates permet le développement efficace des bactéries hétérotrophes qui transforment l'azote présent dans le

biofloc en protéines microbiennes et contrôlent la teneur en ammoniac (Hargreaves 2013; Choo et Caipang 2015).

Par conséquent, il est essentiel de maintenir le rapport C/N à un niveau optimal compatible avec le développement des bactéries hétérotrophes. Les valeurs de C/N varient selon que le biofloc soit en début de fonctionnement (12-20:1) ou en plein fonctionnement (6:1) (Emerenciano et al. 2017). L'apport important de carbone au démarrage du biofloc permet le développement rapide et la stabilisation des bactéries dans le milieu (Panigrahi et al. 2019; Hargreaves 2013) ont montré que pour un aliment contenant 30 à 35 % de protéines, le rapport C/N se situe autour de 9 à 10:1. Toute augmentation de ce rapport à 12-15:1 est favorable pour le contrôle de la teneur en ammoniac par les bactéries hétérotrophes qui auront suffisamment de substrat pour se développer. Choo et Caipang (2015) ont utilisé un rapport C/N de 16 :1 en élevage des alevins d'*O. niloticus* dans le système BFT, avec utilisation s'un aliment contenant 35 % de protéines brutes. Selon Avnimelech (2007), l'utilisation du glucose comme source de carbone avec un rapport C/N d'au moins 10:1 permet l'absorption complète d'environ 10 mg de $N-NH_4^+$ /l par les microorganismes. Ce même rapport de 10:1 permet l'élimination de la plus grande partie de l'azote inorganique présent dans les infrastructures de production de crevettes par le biofloc (Fontenot et al. 2007;Luo et al. 2014).

Cependant, Emerenciano et al. (2017) proposent respectivement des rapports optimaux de 12 :1 et 15 à 20 :1 pour une bonne élimination de l'azote présent dans le système de production par le biofloc. En plus de NH_4^+ , il a été démontré qu'un rapport suffisant de C/N permet d'éliminer d'autres substances toxiques comme les nitrites (NO_2^-) dans les systèmes bioflocs (Avnimelech, 2005).

Le point critique du rapport C/N où les bactéries hétérotrophes surpasseront les bactéries nitrifiantes est variable selon les sources de carbone organique (Michaud et al., 2006). Selon Crab et al. (2012) et Hargreaves (2013), l'activité des bactéries hétérotrophes dans les systèmes BFT est plus rapide lorsqu'on utilise des glucides simples (saccharose, dextrose, glycérol...)

6.5 Composition nutritionnelle du biofloc

Les bioflocs contiennent les principaux éléments nutritifs (protéines, lipides, fibres, énergies, vitamines, d'autres éléments minéraux, etc.) qui se trouvent généralement dans un aliment artificiel pour les tilapias ou pour les crevettes (Hargreaves, 2013). Le tableau 6 résume les compositions nutritionnelles du biofloc selon différents auteurs.

Tableau 8: Composition nutritionnelle du biofloc

Références	Protéines %	Lipides %	Fibres %	Cendre %
Webster and Lim (2002)	50		4	7
Azim and Little (2008)	38	3	6	12
Widanarni et al. (2012)	39-48	12-24	3-4	25-28
Hargreaves (2013)	25-50	0.5-15		
Shyne Anand et al. (2013)	23.3	3.53		31.98
Rostika (2014)	50.6-53.5	1.9-2.6	3.8-4	7.4-7.5

Selon Jauncey and Ross (1982), la composition optimale du biofloc pour les tilapias est de 25 à 50% de protéines brutes, 6 à 10% de lipides bruts et 25% de glucides digestifs.

6.6 Processus de génération du biofloc

Selon Nisar et al. (2022) il existe trois approches de génération du biofloc (Fig.7) :

6.6.1 Approche de transition naturelle

Dans cette approche, les microorganismes autotrophes sont générés par l'ajout d'engrais, d'aliments pour poissons/crustacés et d'autres ingrédients. Ces microorganismes autotrophes sont ensuite remplacés par les communautés hétérotrophes en ajoutant une source de carbone et en maintenant le rapport C : N (12-15 :1). Les inconvénients de cette approche sont qu'elle est chronophage et que la simple transition de la dominance des autotrophes vers la dominance des hétérotrophes prend plusieurs jours.

6.6.2 Approche d'inoculation

L'idée principale de cette technique est d'inoculer l'eau de culture de biofloc nouvellement créée après avoir évalué la compatibilité de la culture précédente en termes de disponibilité de nutriments et de qualité de l'eau. Les produits fermentés de la source de carbone (son de riz, mélasse, etc.) doivent être aérés avec l'eau de source pendant au moins 24 à 48 heures pour

produire du biofloc (Zemor et al., 2019). Enfin, la masse de biofloc cultivée précédemment est séchée et développée sous forme de poudre. Cette poudre est ensuite stockée et dissoute avec la source de carbone à ajouter sous forme de produits fermentés. L'avantage de cette approche par rapport à la transition naturelle est qu'elle permet de gagner du temps ; par conséquent, le biofloc peut être généré en très peu de temps.

6.6.3 Approche de personnalisation

Cette méthode de production de biofloc est la plus perfectionnée, car elle implique la combinaison de probiotiques dans le système pour un environnement plus sain. Différents micro-organismes (probiotiques ou microalgues) sont capables d'induire une meilleure production aquacole en modulant le système immunitaire. Ainsi, le besoin d'alternatives naturelles et de stimulateurs de croissance est devenu important pour une aquaculture plus saine.

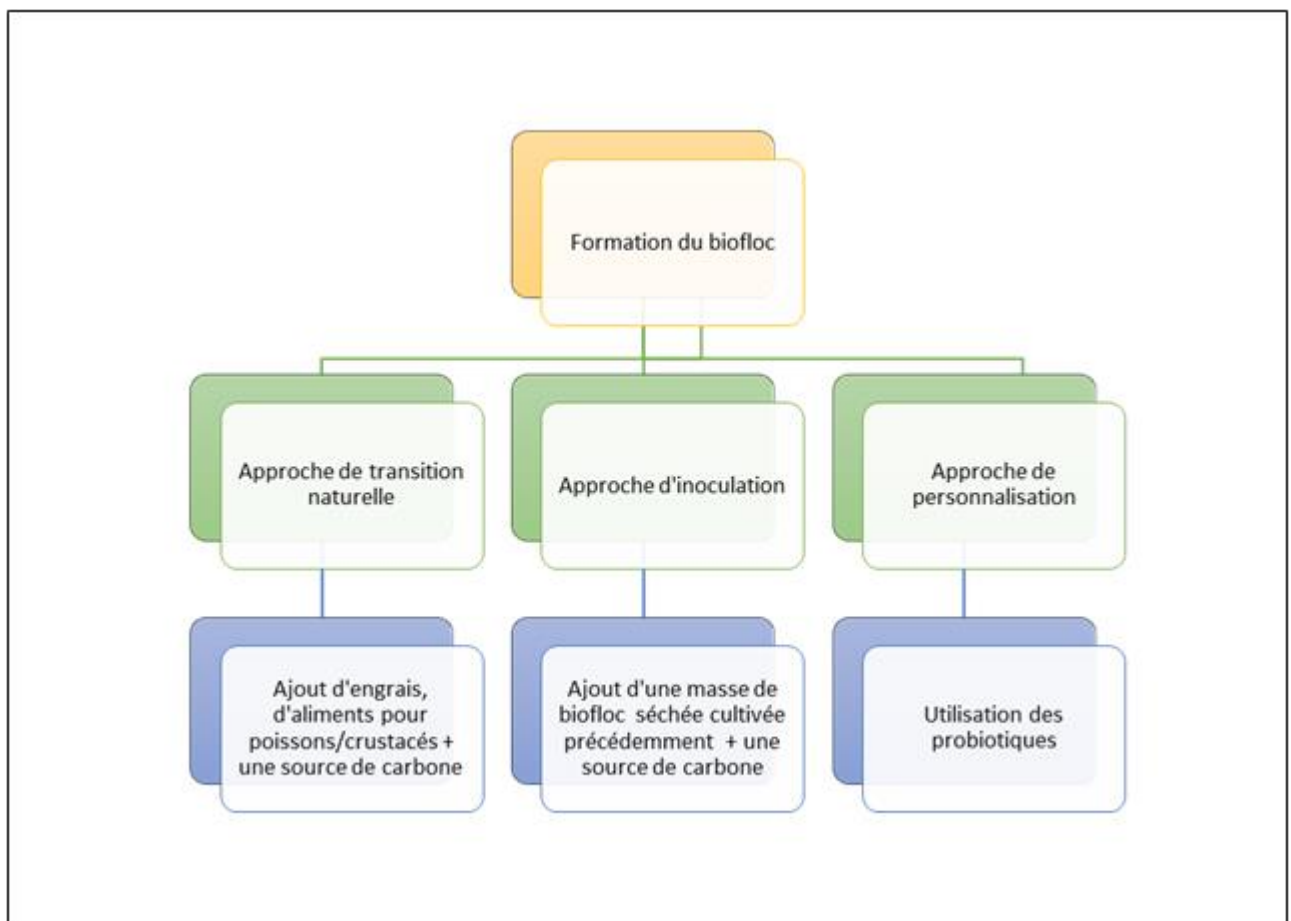


Figure 7: Processus de génération du biofloc

6.7 Forces et faiblesses du biofloc

6.7.1 Forces du Biofloc

- Le système Biofloc permet une réduction significative de l'utilisation de l'eau douce et des rejets d'effluents dans l'environnement, ce qui en fait une technique plus écologique et plus durable que les systèmes d'aquaculture traditionnels (Crab et al., 2012).
- Il peut améliorer la qualité de l'eau en éliminant les nutriments inorganiques tels que l'ammoniac, le nitrite et le nitrate, et en recyclant les nutriments organiques (Avnimelech, 2007).
- Les bioflocs servent de source d'alimentation pour les crevettes et les poissons, exigeant ainsi la nécessité de nourrir les animaux avec des aliments commerciaux défavorisés (Emerenciano, 2013).
- Le biofloc peut également favoriser la croissance des animaux en fournissant une source de protéines et d'acides aminés (Trewavas, 1983).

6.7.2 Faiblesses du Biofloc

- Le biofloc peut augmenter les coûts d'exploitation car il nécessite des équipements supplémentaires pour maintenir les bioflocs en suspension et pour contrôler la qualité de l'eau.
- Un temps de démarrage assez long (au moins 4 semaines) est nécessaire pour la mise en place du biofloc (Hargreaves, 2013).
- Les conditions environnementales telles que la température et la salinité, peuvent affecter la formation et la qualité du biofloc, ce qui peut entraîner des pertes de production (Emerenciano et al. 2017).

7. Sources de carbone utilisées

7.1 Mélasse de sucre

La mélasse est un bas produit de raffinage de couleur brun foncé obtenue à partir du sucre roux de canne, après refonte, épuration, décoloration, concentration et cristallisation du sirop. L'intérêt de la mélasse réside dans sa teneur en sucre résiduel et sa valeur énergétique (Adel and Tebbach, 2016). La mélasse contient de la vitamine B et des minéraux (calcium, potassium, fer, cuivre...), ce qui n'est pas le cas du sucre blanc cristallisé (Zerouali and Hamami, 2019). Elle est utilisée pour nourrir les levures et les bactéries dans des fermenteurs.

Tableau 9 : Valeurs nutritionnelles moyennes de 100g de mélasse(USDA, 2018)in(Zerouali and Hamami, 2019)

Apport énergétique		Minéraux et oligo-éléments	
Calories	290 kcal	Calcium	205 mg
Joules	1213 kJ	Fer	4.72 mg
Principaux composants		Magnésium	242 mg
Sucres totaux	74.73 g	Phosphore	31 mg
Amidon	0.01 g	Potassium	1464 mg
Fibres alimentaires	0 g	Sodium	37 mg
Protéines	0 g	Vitamines	
Lipides	0.1 g	Vitamine B3 (ou PP)	0.930 mg
Eau	21.87 g	Vitamine B6	0.670 mg

7.2 Mélasse de dattes

La mélasse des dattes (sirop de dattes), une denrée alimentaire également connue localement sous le nom de « Rob AT-Tamr » ou « Dibs » dans le monde arabe (Mimouni, 2015) in ((Boudarsa & Daoui, 2021)

Le sirop de datte est un produit naturel fabriqué à partir de certaines variétés de dattes locales. Ce produit épais-foncé a une couleur brune et un goût plus doux que celui du sirop de saccharose avec une bonne valeur nutritive (Mimouni & Siboukeur, 2011).

Pour préparer ce sirop, les dattes sont cuites dans de l'eau puis le mélange est filtré afin d'enlever les noyaux. Ensuite, le jus extrait est concentré par cuisson à feu doux jusqu'à obtenir un sirop (Hachemi & Zouhani, 2015).

Le sirop de dattes est riche en glucides (Tab. 10), sels minéraux, composés phénoliques et en teneur moyenne de flavonoïdes (Madani & Seddiki, 2019).

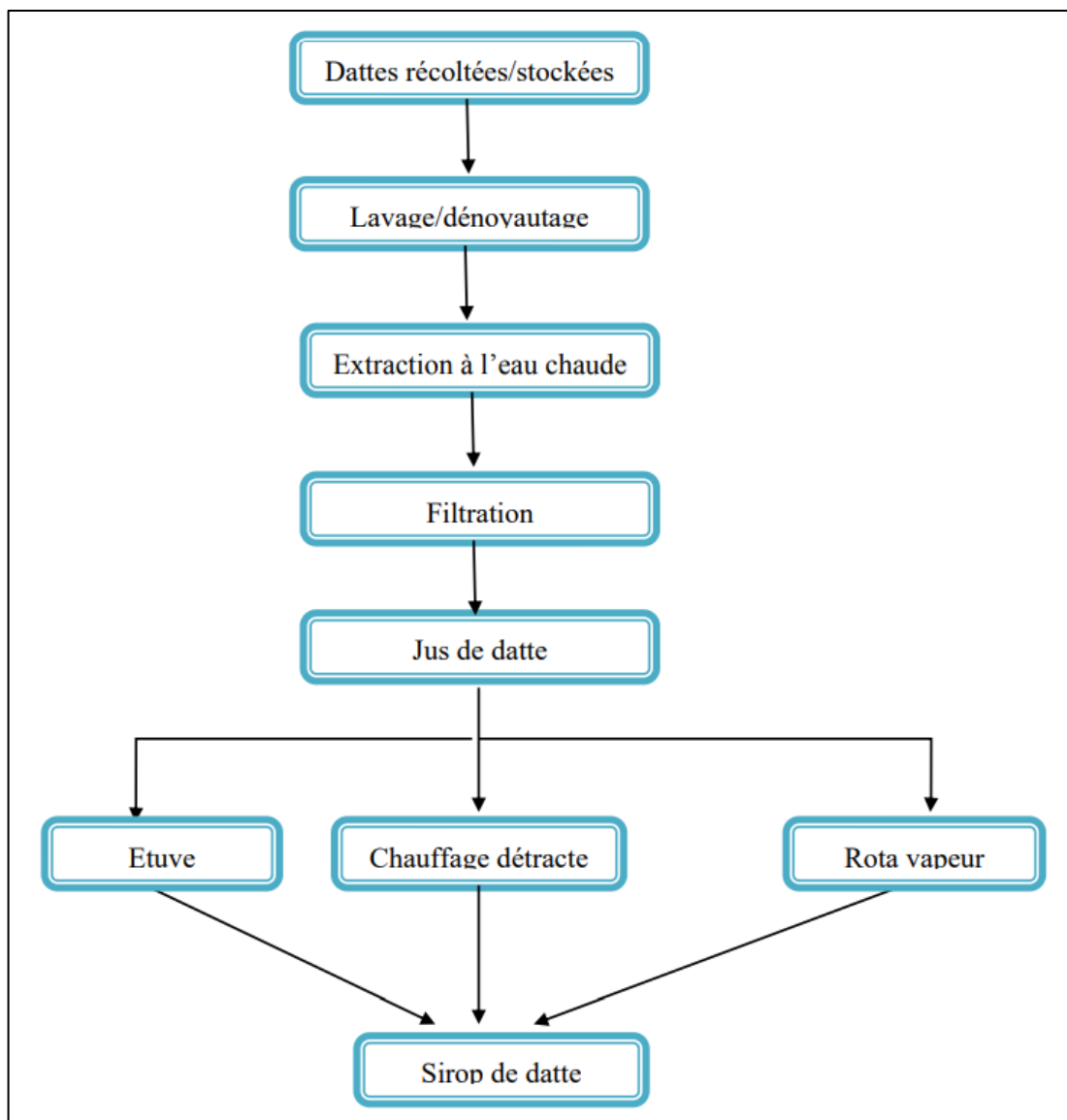


Figure 8: Etapes expérimentales pour la préparation du sirop de dattes(Madani and Seddiki, 2019)

Tableau 10:Composition biochimique du sirop de dattes(Boudjniba, 2015) in (Abaibia & Rachedi, 2018)

Paramètres	Abdelfata, 1990	Ibrahim et Khalil, 1997
Teneur en eau (%)	25.00	24.80
Sucres réducteurs (glucose et fructose) (%)	90.40	81.50
Sucres non réducteurs (saccharose) (%)	05.60	4.90
Sucres totaux (%)	96.00	86.40
Protéines (%)	0.50	2.10
Éléments minéraux (%)	01.83	6.60
Acidité	0.17	0.20
Vitamines A, vitamines du groupe B	+	+

7.3 Caroube

La caroube est principalement composée de la pulpe et des graines qui représentent respectivement 90% et 10% de son poids total. La composition chimique de la pulpe dépend de plusieurs facteurs à savoir, son origine, l'environnement, les conditions de stockage et l'époque de la récolte (Mtalai, 2021).

La poudre de caroube avait été considérée comme un complément alimentaire dans diverses cultures et elle était consommée pour sa comestibilité et sa délicatesse(Bouhrem, 2019).

Tableau 11: Valeurs moyennes de la composition brute de la poudre de caroube(M. Kamal E.et al., 2013)

Composition chimique	%
Humidité	5.29
Protéines	6.43
Cendres	3.16
Fibres brute	7.30
Glucides	75.92
Gras brute	1.99

Chapitre 2

Matériels et méthodes

1. Lieu et période

Les expériences de cette étude ont été réalisées au sein de l'Ecole Supérieure des Sciences de la Mer et l'Aménagement du Littoral « ENSSMAL », dans le laboratoire de chromatographie nouvellement réaménagé en laboratoire d'aquaculture (Fig. 9), pour une durée de 6 mois.



Figure 9: Laboratoire expérimental

L'étude a été réalisée en deux phases expérimentales :

- La phase de préparation du milieu biofloc (maturation) qui s'est étalée du 16 janvier au 23 mars 2023
- La phase de comparaison des traitements (expérience proprement dite) qui s'est déroulée du 25 mars au 26 mai 2023.

2. Phase d'investigation

La phase expérimentale a été précédée par une phase d'investigation pour le choix de produits locaux qui peuvent être valorisés comme des sources de carbone, pour être comparés à une source de carbone généralement utilisée dans les systèmes BFT, qui est la mélasse de sucre (MEL).

Les dattes et la caroube, produits agricoles riches en glucides et présentant un fort potentiel de production en Algérie, ont été choisis dans cette étude.

La mélasse de datte (MED) utilisée dans cette expérience provient de la wilaya de Biskra. Ce produit est fabriqué de manière traditionnelle. Les dattes sont cuites dans de l'eau, puis filtrées et pressées pour extraire un jus concentré. Après une cuisson à feu doux, la mélasse de datte est obtenue.

En ce qui concerne la caroube (CAR), la poudre utilisée dans l'étude provient de la Wilaya de Médéa. Nous avons effectué des essais de fabrication du sirop de caroube à partir de cette poudre, en utilisant des méthodes traditionnelles (cuisson de la poudre de caroube dans l'eau puis filtration du mélange. Le jus extrait est concentré par cuisson à feu doux jusqu'à obtention d'un sirop). Les résultats n'étaient pas satisfaisants, le liquide obtenu n'étant pas homogène. La poudre de caroube a été utilisée telle quelle pour la réalisation de ces expériences.



Figure 12: Mélasse de datte



Figure 11: Poudre de caroube



Figure 10: Mélasse de sucre

3. Dosage des carbohydrates

Afin de déterminer la teneur en carbone dans les trois sources de carbone utilisées, nous avons effectué un dosage des carbohydrates. Généralement les carbohydrates contiennent environ 44% de carbone (Rouwenhorst et al., 1991).

Principe

Les glucides sont déterminés selon la méthode de Dubois et al. (1956) dont le principe repose sur le fait que l'acide sulfurique concentré provoque à chaud, le départ de plusieurs molécules d'eau à partir des oses. Cette déshydratation s'accompagne par la formation d'un hydroxyméthyl furfural (HMF) dans le cas d'hexose et d'un furfural dans le cas d'un pentose.

Ces composés se condensent avec le phénol pour donner des complexes colorés (jaune-oronge). L'intensité de la coloration est proportionnelle à la concentration des oses. La densité optique est mesurée à 490 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Mode opératoire

Préparation de la courbe d'étalonnage

Tableau 12: Dilution de la solution de glucose

Volume solution glucose en ml	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Volume eau distillée en ml	0.8	0.6	0.4	0.2	0
Concentration en mg/L	20	40	60	80	100

- Dans une série de tubes à essai, on met : à 1 ml des solutions glucose est rajouté 1 ml de phénol (5%) suivi rapidement par l'addition de 5 ml d'acide sulfurique. Le tout est mélangé au vortex.
- Les tubes sont incubés dans un bain marie à 100°C pendant 5 minutes puis refroidis à la température ambiante et à l'obscurité pendant 30 min.
- La lecture à 490 nm est effectuée par spectrophotomètre.

Préparation des échantillons

- Dans une série de tubes à essai, sont mis 100 mg d'échantillon et 5 ml de H₂SO₄ 0.5 M.
- Les tubes sont placés dans un bain marie à 100°C pendant 3 heures puis refroidis à température ambiante.
- Les solutions sont neutralisées par l'addition des carbonates de sodium (solide) jusqu'à arrêt de l'effervescence.
- Le volume est porté à 100 ml avec agitation.
- Un volume de 0.1 de chaque échantillon est prélevé dans un tube à essai, puis le volume est complété à 1 ml par l'eau distillée
- Un volume de 1 ml de phénol (5%) est ajouté suivi rapidement par l'addition de 5 ml d'acide sulfurique.

- Après agitation, les tubes sont incubés dans un bain marie à 100°C pendant 5 minutes puis refroidis à température ambiante dans l'obscurité pendant 30 min.
- Lecture de la densité optique à 490 nm au spectrophotomètre.

4. Phase de préparation du milieu biofloc (maturation)

L'objectif de cette phase est de préparer un milieu biofloc stable pour le lancement de la deuxième expérience qui consiste à la comparaison des traitements.

4.1 Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé durant la phase de stabilisation (maturation) est le tilapia rouge *Oreochromis sp.* Des individus adultes d'un poids moyen de $66 \pm 23,33$ g provenant de la serre d'aquaculture de l'ENSSMAL ont été utilisés durant cette phase (Fig. 13).



Figure 13: Un individu d'*Oreochromis. sp*

4.2 Dispositif expérimental et régimes

Le dispositif expérimental est composé de six aquariums de 170 litres chacun, fonctionnant en système fermé et constituant le système Biofloc (Fig. 14).



Figure 14: Aquariums expérimentaux

Les six aquariums sont munis d'une résistance (300w) et de deux diffuseurs d'air.

Cette phase consistait à une mise en charge des poissons dans les aquariums d'élevage et la préparation du milieu bio floc. Dans chaque aquarium, sont rajoutés 50 ml d'eau issue d'un plan d'eau naturel et 1 litre d'eau issue des bassins d'élevage du tilapia (eau riche en microorganismes). Une ration quotidienne de sucre blanc comme source de carbone est rajoutée pour permettre le développement du biofloc.

Quatre individus du tilapia rouge ont été introduits dans chaque aquarium avec une biomasse totale de 265g et un poids moyen de $67 \pm 28,26$ g. Au total, 24 tilapias ont été mis en charge dans six aquariums avec une biomasse totale de 1585g.

Les poissons sont nourris à satiété trois fois par jours pendant 5 jours par semaine, avec des granulés locaux (Pet Food, Khmiss El Khechna).

Cette phase a duré neuf semaines soit du 16 janvier au 23 mars 2023.

4.3 Suivi des paramètres physicochimiques de l'eau

4.3.1 Température et potentiel d'hydrogène pH

Ces deux paramètres ont été mesurés quotidiennement avec un multi paramètres portable à sondes (marque HANNA instruments) (Fig.16).

4.3.2 Oxygène dissous

L'Oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un oxymètre portable (marque WTW) (Fig.15).



Figure 16: Multi paramètres portable (HANNA)



Figure 15: Oxymètre portable (WTW)

4.3.3 Volume du floc

La détermination du volume de floc est réalisée deux fois par semaine, à l'aide de cônes d'Imhoff illustrés dans la Figure 17. Ces cônes de 1 L de volume, sont équipés de graduations extérieures qui permettent de mesurer le volume des solides se déposant au fond du cône. La durée de décantation est fixée à 20-30 minutes. Lorsque le volume du floc dépasse les 50 ml/L, un système de décantation est mis en fonctionnement pour réduire les teneurs en matières décantables. Le système consiste à désactiver le système d'aération des aquariums pendant 20 minutes, le floc sédimenté au fonds des aquariums est éliminé par siphonage.



Figure 17: Cônes d'Imhoff

4.3.4 Alcalinité

L'alcalinité de l'eau est analysée une fois par semaine selon la méthode décrite par (Rodier et al., 2009).

Principe

Le dosage de l'alcalinité totale de l'eau est basé sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré.

Mode opératoire

Détermination du TA

- Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole conique ou un bécher.
- Ajouter 2 gouttes de solution alcoolique de phénol phtaléine.
- Une coloration rose doit se développer. Dans le cas contraire le TA est nul.
- L'acide sulfurique est ensuite versé (0,02N) doucement dans la fiole à l'aide d'une burette ; puis le tout est agité jusqu'à la décoloration complète de la solution (pH = 8,3).

Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

Détermination du TAC (Titre alcalimétrique complet)

- Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration.
- Ajouter quelques gouttes de solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle.
- Titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à la disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la coloration rose (pH = 4,5).

Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO₂ qui pourrait entraîner une élévation du pH de virage.

Soit V' le volume d'acide 0,02N versé depuis le début du dosage.

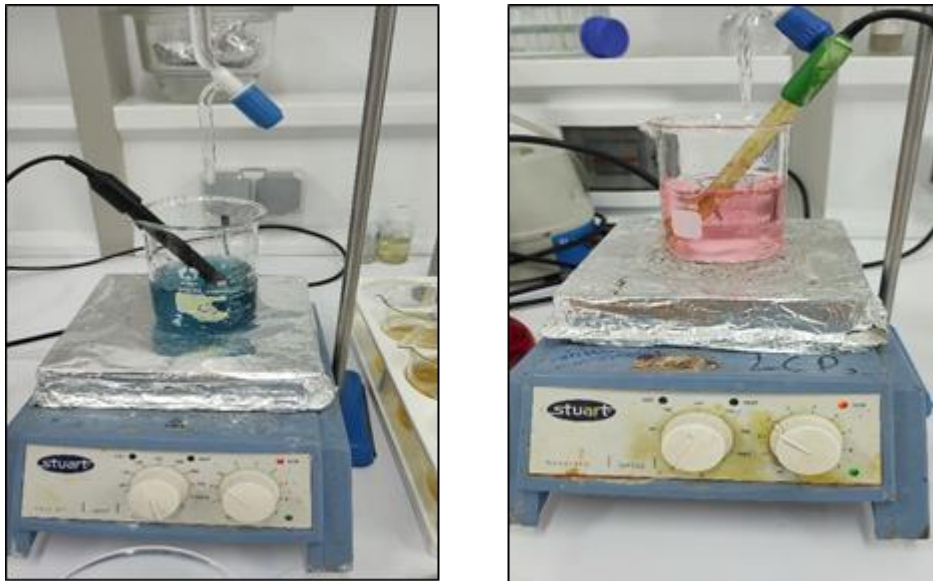


Figure 18: Mesure de l'alcalinité par titration d'acide

Expression des résultats

✚ TA :

- V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1°f correspond à 10 mg de carbonate de calcium).

✚ TAC :

- V' exprime le titre alcalimétrique complet en degrés français (1°f correspond à 10 mg de carbonate de calcium).

4.3.5 Sels nutritifs

Chaque semaine, un échantillon de chaque aquarium est envoyé au laboratoire ECOSYSMAR de la station de Sidi Feredj de l'ENSSMAL, où l'analyse des sels nutritifs (nitrite, nitrate, ammonium) est effectuée selon la méthode SKALAR (fig.19).



Figure 19: Echantillonnage pour le dosage des sels nutritifs

5. Phase expérimentale : Effet de l'utilisation de différentes sources de carbone sur les performances d'élevage du tilapia

5.1 Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé durant la phase expérimentale est la tilapia grise *Oreochromis niloticus*. Des alevins d'un poids moyen de 3.53 ± 1.14 g provenant du CNRDPA sont utilisés durant cette phase (Fig. 20).



Figure 20: Alevin d'O.niloticus au début de l'expérience

5.2 Dispositif expérimental et régimes

Le dispositif expérimental est le même qui a été utilisé durant la phase de préparation du milieu biofloc (maturation) (section 3.2). Les six aquariums de 170 litres chacun, fonctionnant en système fermé, ainsi que deux aquariums de 166 litres qui ont été rajouter, alimentés en eau en circuit semi fermé, avec un système de filtration (Fig. 21).

Les six bacs de 170 litres, indépendants constituent le système BFT et les deux bacs de 166 litres constituent le contrôle RAS.

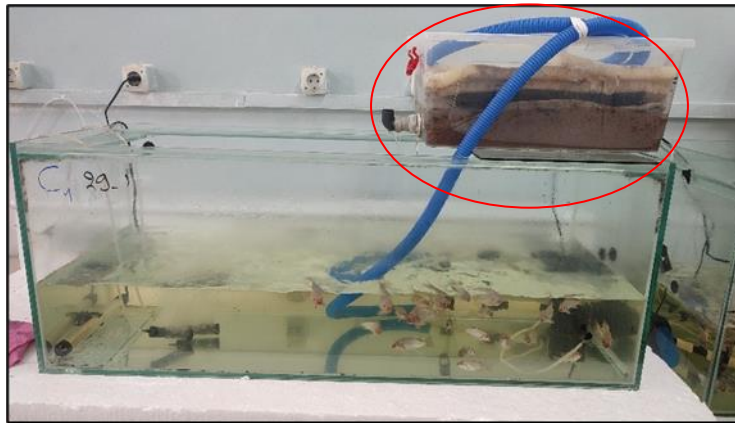


Figure 21: Aquarium témoin munie du système de filtration

Les aquariums des traitements BFT (Fig. 22) sont inoculés avec 30 L d'eau riche en biofloc issue des aquariums de l'expérience précédente (aquariums A1, A2, A3 et A4). Le volume des aquariums est complété à 100 L par de l'eau douce.

Les aquariums du groupe témoins sont remplis 45 jours avant le début de l'expérience soit le 12/02/2023. Le système de filtration biologique est activé par addition d'une quantité d'aliment de tilapia, pour assurer le développement des bactéries nitrifiantes sur le substrat de filtration avant l'introduction des poissons.

Les poissons sont nourris à une ration de 6%, deux fois par jours pendant 5 jours par semaine, avec des granulés locaux (Pet Food, Khmiss El Khechna).

Dans les aquariums des traitements BFT, les sources de carbone sont ajoutées quotidiennement après le dernier repas dans les aquariums correspondants pour maintenir le ratio C/N à 15.

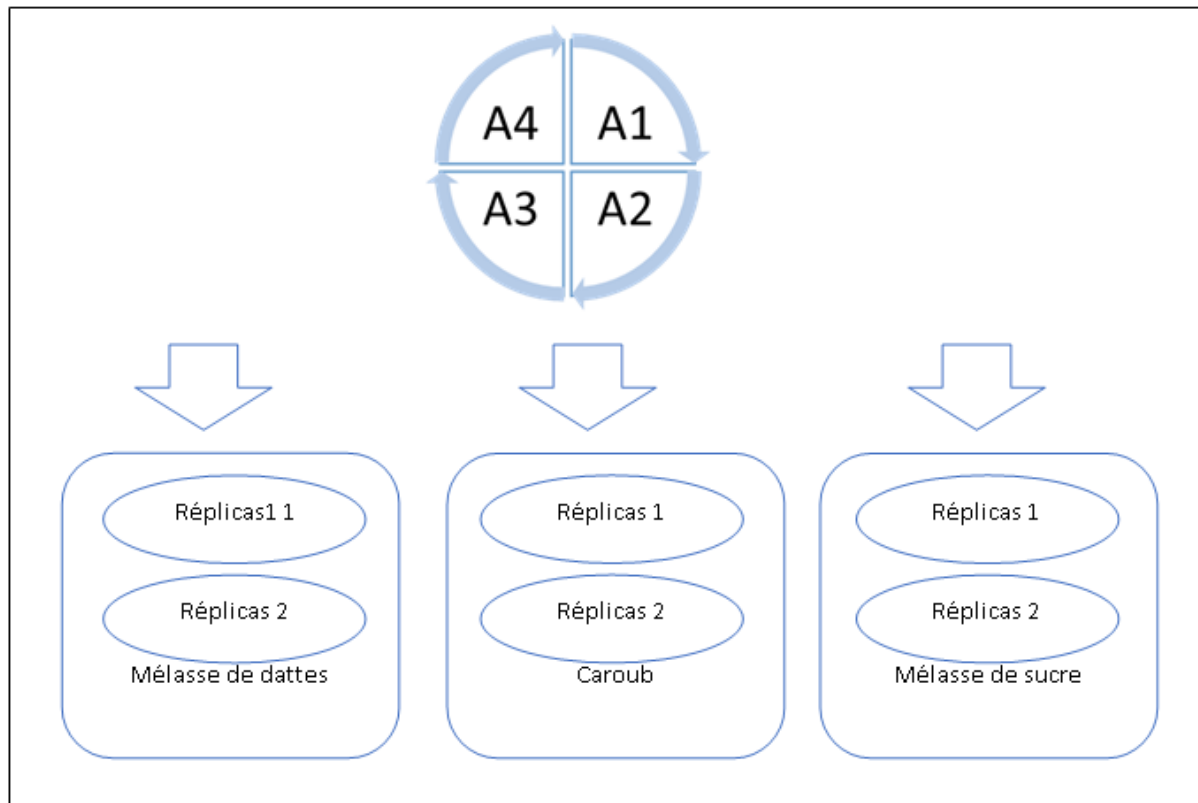


Figure 22: Schéma explicatif du dispositif expérimental

5.3 Suivi des paramètres du milieu

5.3.1 Suivi des paramètres physico-chimiques

Au cours de l'expérimentation, les paramètres physico-chimiques des traitements sont mesurés à des fréquences différentes selon le type de paramètre. La température, l'oxygène dissous et le pH sont mesurés quotidiennement. L'alcalinité, les concentrations d'ammoniac, de nitrites, de nitrates sont mesurées une fois par semaine selon les protocoles décrits dans la section (2.3), ainsi que les matières en suspension selon le protocole décrit dans la section (4.3.1.1).

Les matières solides des bioflocs (flocs) ont été quantifiées en décantant un litre de biofloc de chaque bac dans un cône d'Imhoff pendant 30 minutes.

5.3.1.1 Matières en suspension (MES)

Les MES sont analysées une fois par semaine selon la méthode de filtration de Rodier et al. (2009).

Principe

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle.

Mode opératoire

- Laver le disque de filtration à l'eau distillée, le sécher (105 °C) jusqu'à masse constante, puis le peser à 0,1 mg près après passage au dessiccateur.
- Mettre le disque sur l'équipement de filtration.
- Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression.
- Verser l'échantillon (V) sur le filtre.
- Rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser avec 10 ml d'eau permutée.
- Faire passer sur le filtre cette eau de lavage.
- Laisser essorer le filtre puis sécher à 105 °C.
- Laisser refroidir au dessiccateur et peser à 0,1 mg près jusqu'à masse constante.

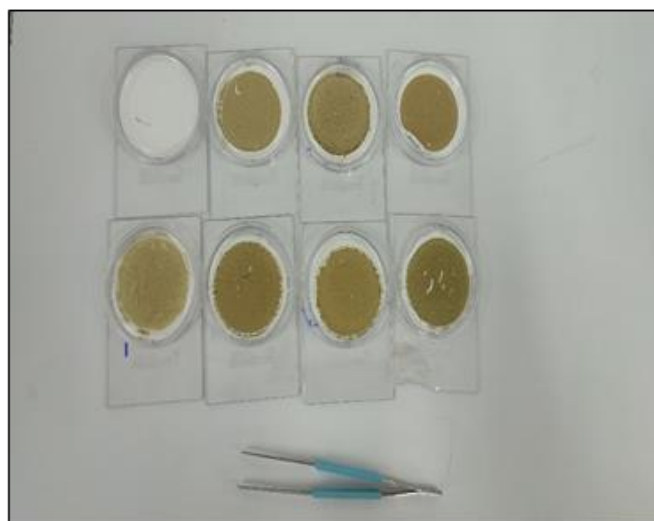


Figure 23: Dispositif de filtration

Expression des résultats

La teneur de l'eau en matières en suspension (mg/L) est donnée par l'expression :

$$[MES] = \frac{(M1 - M0) \times 1000}{v} \times D$$

M₀ = masse du disque filtrant avant utilisation (mg).

M₁ = masse du disque filtrant après utilisation (mg).

V = volume d'eau utilisé (ml).

D = facteur de dilution

Tableau 13 : Paramètres physico-chimiques pour l'élevage du tilapia en système biofloc

Paramètres	Valeurs cibles	Fréquence de mesure	Méthode utilisée
Température (°C)	25-28	1x/jour	Multi paramètres
Oxygène (mg/l)	>5	1x/jour	Oxymètre
pH	7-8	1x/jour	Multi paramètres
Alcalinité (mg/l CaCO₃)	100-150		Titrage par acide
NH₄⁺ / NH₃ (mg/l)	<0.2	1x/semaine	
NO₂⁻(mg/l)	<2		
NO₃⁻(mg/l)	<20		
Solides en suspension (mg/l)	200-500 (Max 1000)	1x/semaine	Filtration
Concentration en solides décantables (ml/l)	25-50	2x/semaine	Cônes d'Imhoff

5.3.2 Suivi des paramètres microbiologiques

Les analyses microbiologiques dans l'eau d'élevage ont été effectuées une fois par semaine.

5.3.2.1 Dénombrement de la flore mésophile totale

Principe

La flore mésophile aérobie totale est un indicateur sanitaire qui permet d'évaluer le nombre d'UFC présentes dans un produit ou sur une surface. Ce dénombrement se fait à 30°C.

La technique des dilutions figure dans la norme AFNOR NF V 08 010 de mars 1996 (qui remplace la norme AFNOR NF V 08 1310 de juin 1982). C'est un procédé consistant à obtenir une solution finale de concentration inférieure que celle de départ.

Mode opératoire

Dilution

- En milieu aseptique, on prélève 1 ml de la solution mère et on le met dans un tube qui contient 9 ml d'eau distillée, (10^{-1}) avec une homogénéisation par la suite.

Un millilitre du tube est prélevé avec une pipette graduée et transversé dans un autre tube contenant 9 ml d'eau distillée afin de réaliser une dilution au 10^{-2}

L'opération est renouvelée en changeant de pipette et en versant de nouveau 1 ml dans un nouveau tube d'eau distillée, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la concentration en bactéries devienne relativement faible. Les tubes sont homogénéisés entre chaque dilution.

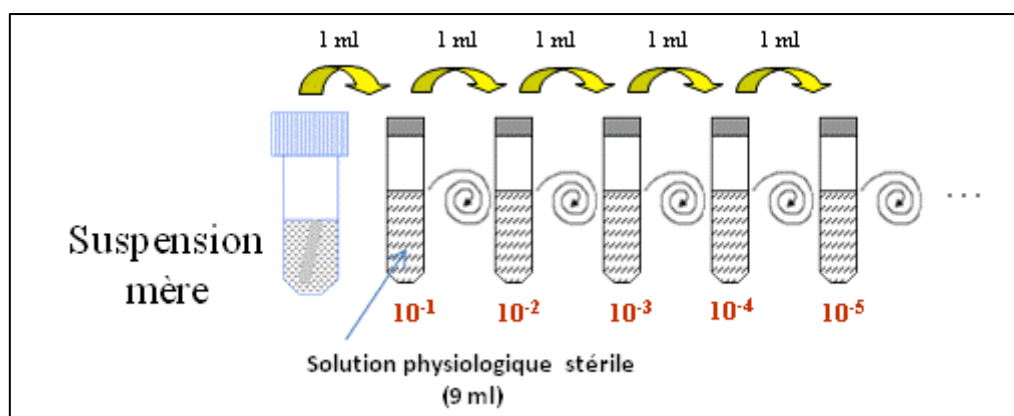


Figure 24: Dilution des échantillons

Ensemencement en profondeur

-Transférer 1 ml de chaque dilution décimale successivement dans des boîtes de Pétri stériles (fig.25).

-Couler 15 ml du milieu PCA, faites des mouvements en 8 sur la paillasse, laisser solidifier.

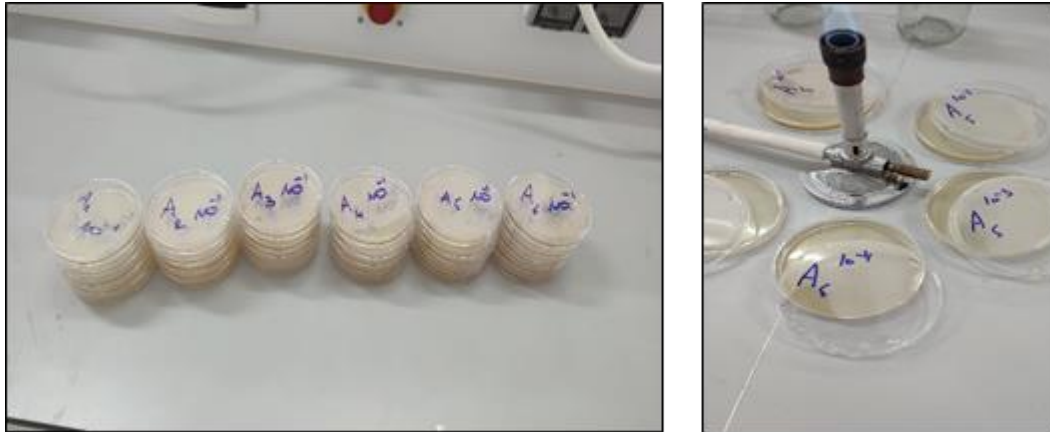


Figure 25: Ensemencement des boîtes de pétrie

-Incuber à 30°C pendant 72H

-Dénombrer les colonies petites et blanches caractéristiques de la Flore Mésophile Aérobie Totale (FMAT)

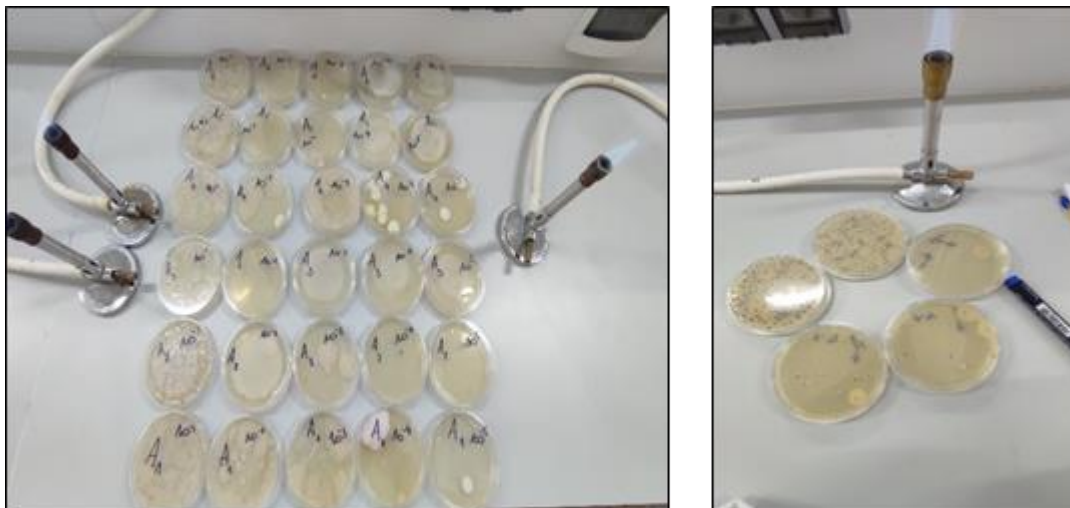


Figure 26: Dénombrement de la FMAT

✚ Expression des résultats

Le nombre de micro-organismes par ml de produit est calculé à partir des boîtes retenues à l'aide de la formule suivante :

$$N = \frac{\sum \text{colonies}}{V \text{ml}(n1 + 0.1n2)d1}$$

N : nombre d'UFC par gramme ou par ml de produit initial.

Colonie : sommes des colonies de deux boîtes de dilutions successives interprétables.

V_m : volume de solution déposée (1 ml)

d : facteur de la première dilution retenue.

n1: nombre de boîtes considérées à la 1^{ère} dilution retenue

n2: nombre de boîtes considérées à la 2^{ème} dilution retenue

5.4 Suivi des paramètres zootechniques

Tout au long de l'expérience, il y avait un apport journalier de la ration alimentaire suivant les régimes (source de carbone). Un contrôle de poids et du nombre de poissons dans chaque aquarium était effectué toutes les trois semaines. Les poissons ont été pesés individuellement au moyen d'une balance (Fig. 27).



Figure 27: Pesée des individus

Les paramètres zootechniques suivants ont été calculés pour chaque traitement après la récolte des données selon les formules suivantes (Kamilya et al., 2017):

5.4.1 Poids moyen initial (pmi)

$$PMi = \frac{\text{Biomasse initiale (g)}}{\text{Nombre initial de poissons}}$$

5.4.2 Poids moyen final (Pmf)

$$PMf = \frac{\text{Biomasse finale (g)}}{\text{Nombre final de poissons}}$$

5.4.3 Ration et fréquence de nourrissage

Les poissons des trois régimes ont été alimentés quotidiennement et manuellement 2 à 3 fois par jour. La ration alimentaire quotidienne (**Ra**) a été calculée selon la formule suivante :

$$Ra \left(\frac{g}{j} \right) = \frac{(Pmoy \times Tr)}{100 \times Nt}$$

Ra : Ration alimentaire quotidienne

Pmoy : Poids moyen individuel

Tr : Taux de rationnement

Nt : Nombre total d'individus dans chaque aquarium

5.4.4 Gain de Poids Moyen (GPM)

Le gain de poids moyen permet d'évaluer la croissance pondérale des poissons pendant un temps donné. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$GPM(g) = \text{Poids final (g)} - \text{Poids initial (g)}$$

5.4.5 Taux de croissance spécifique (TCS)

Ce coefficient permet d'évaluer le poids gagné par le poisson chaque jour, en pourcentage de son poids vif.

$$TCS = \frac{\ln(Pmf) - \ln(Pmi)}{\text{Durée de l'expérience(jours)}} * 100$$

Pmf: PoidsMoyen final (g)

Pmi: PoidsMoyen initial (g)

5.4.6 Gain Moyen Quotidien (GMQ) :

Exprimé en g/poisson/j, cet indice permet d'apprécier le gain de poids journalier des poissons en élevage. Il est déterminé à partir de la relation ci-dessous :

$$GMQ \left(\frac{g}{j} \right) = \frac{Pmf(g) - Pmi(g)}{\text{Durée de l'expérience(jours)}}$$

Pmf: Poids Moyen final (g)

Pmi: Poids Moyen initial (g)

5.4.7 Indice de Conversion d'aliment (IC) :

L'indice de Conversion de l'aliment (IC), indique l'efficacité d'utilisation de l'aliment et permet de mesurer l'efficacité de la conversion d'un aliment en chair de poisson. C'est le rapport entre l'aliment ingéré et le gain du poids moyen. Il est calculé non seulement en fonction de la nature de l'aliment, mais aussi en considérant la quantité ingérée :

$$IC = \frac{\text{Quantité d'aliment distribué (g)}}{\text{biomasse finale - biomasse initiale (g)}}$$

5.4.8 Taux de survie

$$\text{Taux de survie} = \frac{\text{Nombre initial des poissons}}{\text{Nombre final des poisson}} * 100$$

5.5 Saisie, traitement et analyse des données

Le logiciel Excel a servi pour l'organisation des données, les calculs et la réalisation des graphiques. Les résultats sont présentés sous forme de moyennes \pm écart-types. L'analyse statistique des résultats de cette étude consiste à comparer les moyennes des différents paramètres étudiés entre les quatre traitements expérimentaux. L'homogénéité des variances et la normalité des données ont été vérifiées par les tests de Bartlett et de Shapiro-Wilk respectivement. La comparaison des moyennes entre les groupes expérimentaux a été effectuée par le test d'analyse de la variance (ANOVA-1), suivi du test post-hoc de Scheffé lorsque des différences sont observées ($p < 0.05$), afin de comparer les moyennes deux à deux. L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel STATISTICA version 6.

Chapitre 3

Résultats et discussions

1. Teneurs en glucides

La teneur en glucides dans la mélasse de sucre est de 68 %, ce qui correspond à 29.95 % de carbone.

La teneur en glucides dans la mélasse de datte est de 67%, ce qui correspond à 29.44% de carbone.

La teneur en glucides dans la caroube est de 66 %, ce qui correspond à 29.19% de carbone.

2. Phase de préparation du milieu biofloc (maturation)

Au début de cette expérience, le lancement du biofloc a été réalisé dans six aquariums expérimentaux. Cependant, seulement quatre d'entre eux ont connu une formation de biofloc. Il a été observé que les 2 aquariums où le floc n'a pas pu se développer étaient des aquariums récemment acquis au laboratoire. Il est probable que ces aquariums aient été fabriqués en utilisant une colle silicone fongicide, contenant des éléments toxiques pour les microorganismes aquatiques, ce qui a entravé le développement du floc. Par conséquent, l'expérience s'est poursuivie exclusivement dans quatre aquariums.

Les valeurs moyennes de ces paramètres dans les 4 aquariums d'élevage sont consignées dans le tableau 14.

Tableau 14: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques durant la phase maturation du biofloc

	A1	A2	A3	A4
T (°C)	26.62±0.55	26.52±0.96	26,50±0.73	26.53±087
pH	7,46±0,23	7.50±0.19	7.46±0.22	7.46±0.2
NH₄⁺ (mg/l)	0,32±0,17	0,34±0,16	0,32±0,08	0,46±0,12
NO₂⁻ (mg/l)	0,54±0,70	0,69±0,80	0,73±0,76	0,69±0,80
NO₂⁻ (mg/l)	2,68±3,60	3,15±3,78	3,25±3,36	3,14±3,76
CaCO₃ (mg/l)	111±33,62	115±40,31	109±68	108,6±28,86
FV (ml/l)	40±15.58	45.30±25	43.56±18.90	46.23±22.5

Concernant la température de l'eau, les quatre aquariums ont présenté des valeurs similaires les unes des autres. Les variations de température sont relativement minimales, ce qui indique une stabilité thermique dans les aquariums d'élevage (fig.28). Selon Emerenciano et al., (2017), des températures inférieures à 20°C et des teneurs en oxygène dissous au-dessous de 4 mg/L peuvent avoir un impact négatif sur le développement microbien dans le milieu biofloc.

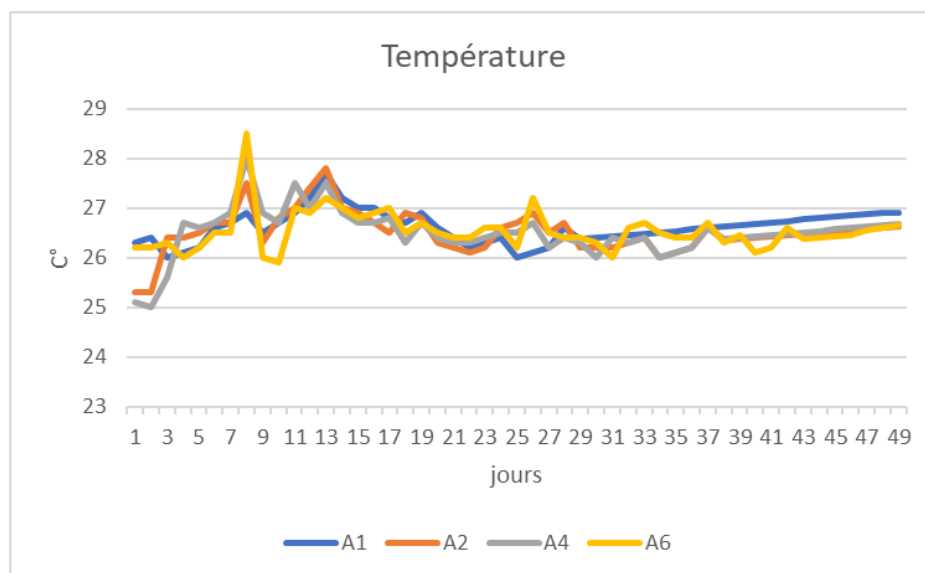


Figure 28: Suivi de la température durant la phase maturation du biofloc

En ce qui concerne le pH, tous les aquariums ont présenté des valeurs proches de la neutralité, avec des moyennes comprises entre $7,46 \pm 0,23$ et $7,50 \pm 0,22$. Ces valeurs sont considérées comme favorables à la croissance et à la santé des poissons ainsi qu'au développement des micro-organismes du biofloc, comme le suggère l'étude de Felix and Menaga (2021).

Les résultats de l'alcalinité montrent des valeurs moyennes allant de $108 \pm 28,86$ à $115 \pm 40,31$ mg/l, qui se situent dans la gamme optimale pour l'élevage du tilapia (Alhassane, 2004). Cependant, une diminution du pH et de l'alcalinité dans les aquariums d'élevage a été observée à partir de la troisième semaine de l'expérience (fig.29). Cette baisse est étroitement liée aux processus microbiens de dégradation des déchets azotés par les bactéries nitrifiantes et les bactéries hétérotrophes (Ebeling et al., 2006). Cette diminution a été rapidement corrigée en ajoutant du bicarbonate de sodium.

Dans le contexte du milieu biofloc, il est essentiel de maintenir des réserves d'alcalinité dans l'eau, car lorsque ces réserves sont épuisées, le pH de l'eau peut diminuer brusquement, ce qui inhibe le fonctionnement des bactéries, notamment les bactéries nitrifiantes (Hargreaves, 2013). L'auteur préconise de maintenir l'alcalinité à des niveaux supérieurs à 100 mg/L dans le système BFT, en ajoutant du bicarbonate de sodium ou en procédant au renouvellement partiel de l'eau.

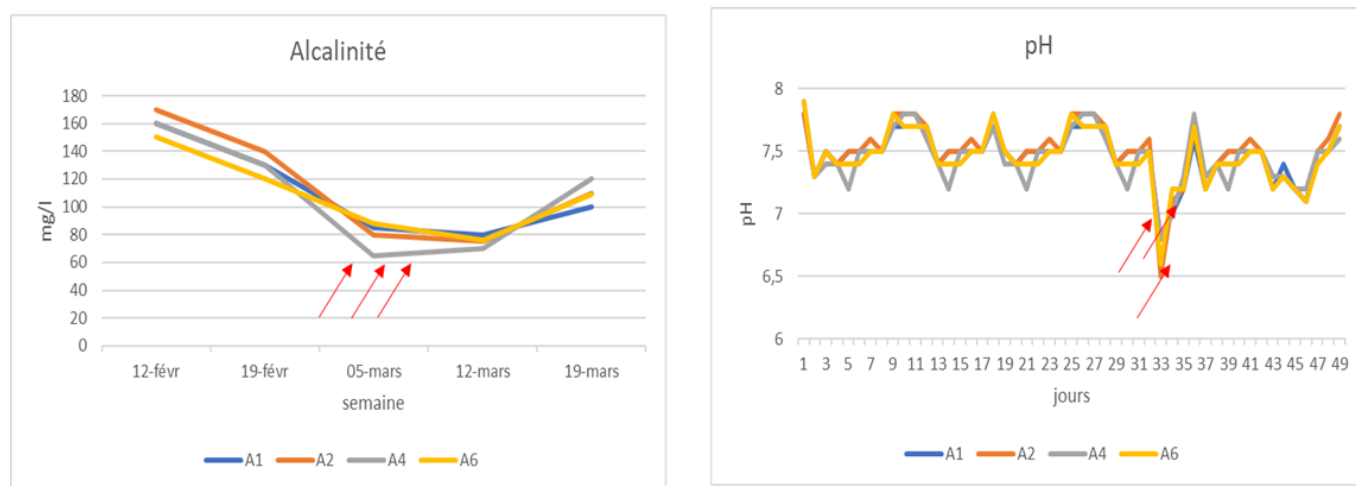


Figure 29: Suivi du pH et de l'alcalinité durant la phase de maturation du biofloc Les trois flèches rouges représentent les dates d'ajout de bicarbonate de sodium (01/03 ;02/03 ;03/03)

L'évolution des concentrations en substances azotées révèle des pics de concentration observés entre la deuxième et la quatrième semaine (fig.30), suivie d'une diminution progressive des concentrations. Les résultats obtenus sont cohérents avec ceux rapportés par Hargreaves (2013), qui a observé des variations similaires des paramètres dans le milieu BFT durant la phase de démarrage, avec des pics de concentration d'ammonium suivis de pics de nitrites au fur et à mesure du développement des différentes populations de bactéries.

En ce qui concerne les concentrations de NH_4^+ , les résultats montrent des valeurs moyennes allant de $0,32 \pm 0,17$ à $0,46 \pm 0,12$ mg/l. Les niveaux d'ammonium restent relativement bas dans tous les régimes, ce qui indique une bonne gestion de l'ammonium dans les aquariums d'élevage. Les concentrations moyennes de NO_2^- varient de $0,54 \pm 0,70$ à $0,73 \pm 0,76$ mg/l, et les concentrations moyennes de NO_3^- varient de $2,68 \pm 3,60$ à $3,25 \pm 3,36$ mg/l. Ces valeurs indiquent des niveaux acceptables de ces composés dans les aquariums d'élevage (tableau 1). Cependant, l'accumulation de nitrites indique une oxydation incomplète de l'ammoniac en nitrate, ce qui suggère que la quantité de bactéries n'était pas suffisante pour contrôler les concentrations de ces composés, ce qui est cohérent avec les résultats de Xu et al (2020) qui ont

également observé des pics de concentration des nitrites pendant la phase de démarrage du biofloc suivie d'une diminution une à deux semaines plus tard. L'oxydation complète du nitrite en nitrate n'a été observée qu'à la quatrième semaine. Ebeling et al (2006) ont rapporté que dans les cultures avec un rapport C:N élevé, la production de bactéries hétérotrophes est élevée, et l'utilisation de réservoirs de décantation pour réduire les MES peut éliminer les bactéries nitrifiantes en raison de leur taux de croissance plus faible.

En revanche il est important de noter qu'au sein des systèmes BFT, le moyen le plus efficace pour éliminer les substances azotées toxiques consiste à favoriser la voie hétérotrophe d'assimilation microbienne, par le maintien de rapports C/N appropriés au sein du milieu d'élevage (Avnimelech, 2007).

En effet, durant la phase initiale de formation du biofloc, l'application de ratios C/N élevés revêt une importance capitale, en favorisant le développement et à la stabilisation des communautés hétérotrophes au sein de ces systèmes BFT (M. G. C. Emerenciano et al., 2017). L'ajout du sucre blanc à un ratio C/N de 20 a favorisé le développement initial du floc. Des tendances similaires des variations des teneurs en produits azotés sont observées dans les systèmes BFT, avec des pics de concentrations pendant les premières semaines du développement du floc, qui est suivis par une diminution progressive (Schweitzer et al., 2013; Luo et al., 2014; Ray and Lotz, 2014; Xu et al., 2020).

L'utilisation de glucides simples tel que le sucre pendant la phase de démarrage du système BFT permet d'accélérer le développement des bactéries hétérotrophes et le processus d'assimilation de l'azote dans le milieu (Gomes Vilani et al., 2016). Timmons et al. (2002) ont rapporté que même de faibles concentrations de TAN et de NO₂-N sont toxiques pour la plupart des espèces aquacoles et, par conséquent, il est essentiel de contrôler l'ammoniac et les nitrites à des concentrations faibles tout en minimisant les échanges d'eau.

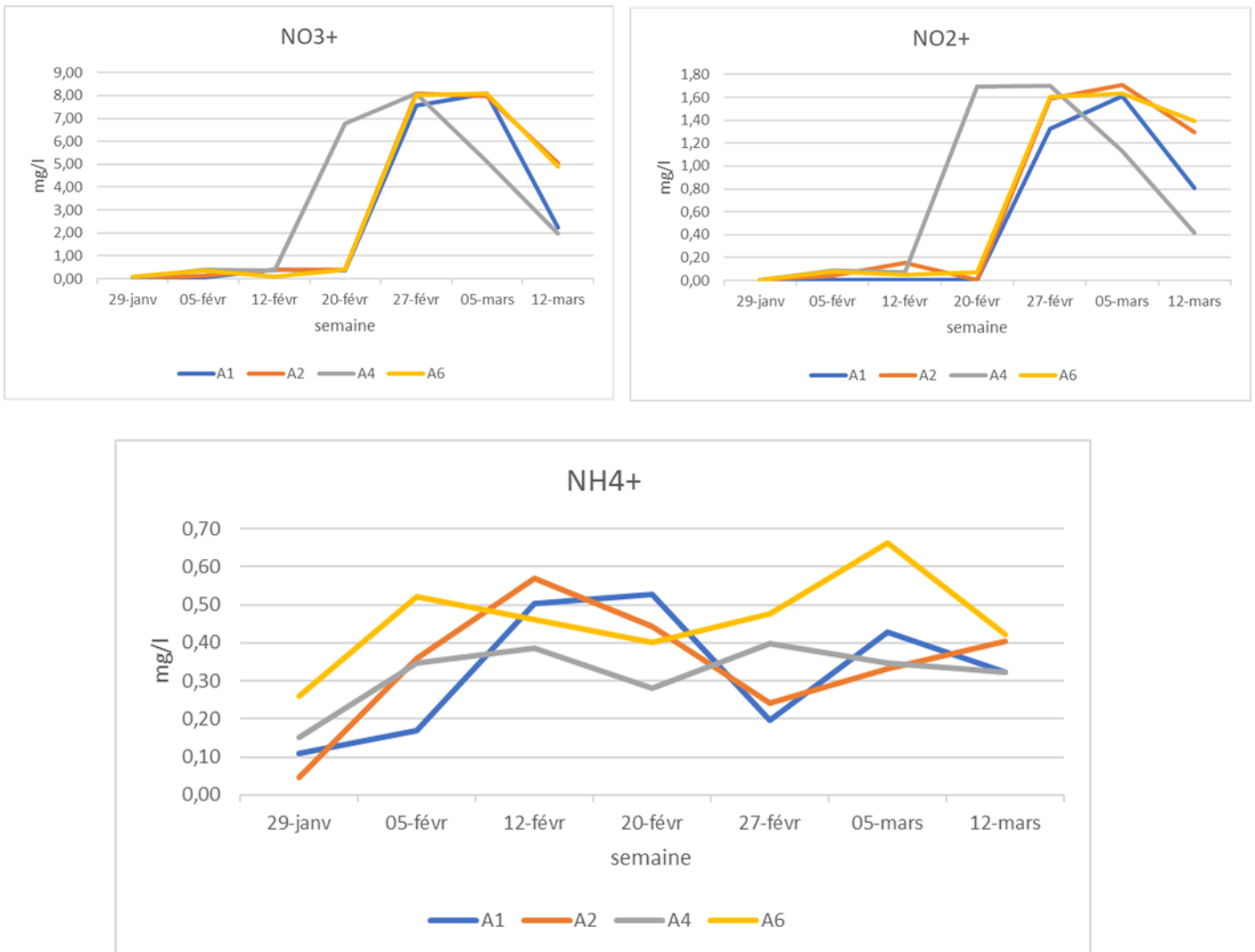


Figure 30: Suivi des substances azotées durant la phase de maturation du biofloc

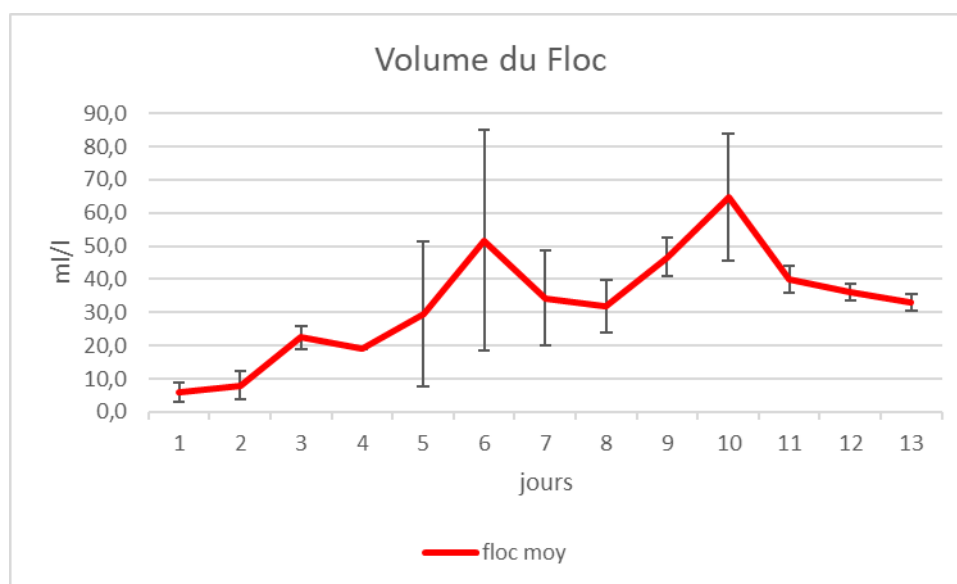


Figure 31: Suivi du volume du floc durant la phase de maturation du biofloc

Le volume de floc présente des moyennes comprises entre $40 \pm 15,58$ ml/l et $46,23 \pm 22,5$ mg/l dans les quatre aquariums, avec des pics dépassant les 50 ml/l, suivi par le lancement du système de décantation afin de l'ajuster à des valeurs optimales recommandées en élevage de tilapia pour le volume de floc, qui sont comprises entre 20 et 50 ml/L selon Emerenciano et al. (2017).

L'augmentation des matières en suspensions dans le milieu biofloc est étroitement liée avec l'augmentation du rapport C/N qui favorise la prolifération des bactéries hétérotrophes et contribue au développement du floc. Les matières en suspension favorisent également le développement des protozoaires capables de consommer les bactéries hétérotrophes et utilisent l'oxygène tout en libérant de l'ammoniac et du dioxyde de carbone. Cela contribue à la réduction de l'assimilation de l'azote inorganique dans les bassins (LEKANG et Odd-Ivar 2013), ce qui pourrait expliquer les pics de concentrations en nitrites et en ammonium observés.

En résumé, les résultats des paramètres physico-chimiques indiquent des conditions favorables dans les aquariums d'élevage de tilapia pendant la phase de maturation du biofloc. Les valeurs de température, de pH, de concentrations de NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- et de CaCO_3 se situent dans des plages acceptables pour la croissance et la santé des poissons recommandé par (El-Sayed, 2006).

3. Phase expérimentale

3.1 Paramètres du milieu

3.1.1 Paramètres physicochimiques

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques enregistrés durant la phase expérimentale sont résumées dans le tableau 12.

Tableau 15: Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques durant la phase expérimentale

Paramètres	CAR	MEL	MED	Témoins	Valeur- p
T (°C)	26,18±0,08 a	26,4±0,18 a	25,95±0,10 a	26,18±0,08 a	0,09
pH	7,54±0,01 a	7,63±0,06 a	7,65±0,05 a	7,71±0,02 a	0,06
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,30±0,04 a	0,23±0,02 a	0,28±0,08 a	0,13±0,03 a	0,08
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,62±0,16 a	1,10±0,08 b	1,02±0,06 ab	0,65±0,06 a	0,01
NO ₃ ⁻ (mg/l)	1,16±0,66 a	1,41±0,79 a	1,28±0,40 a	0,53±0,04 a	0,48
CaCO ₃ (mg/l)	96,58±8,89 a	126,43±13,13 a	128,22±9,60 a	169,23±1,12 b	0,01
MES (mg/l)	265,93±9,19 a	258,07±1,92 a	288,14±61,42 a	6,87±0,22 b	0,00
FV (ml/l)	37,03±3,45 a	33,83±3,91 a	39,03±1,20 a		0,36

NB : Les valeurs suivies de lettres différentes dans la même ligne sont significativement différentes ($p < 0.05$).

Le teste ANOVA 1 montre qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les régimes et le témoin en termes de température, pH, NH₄⁺ et NO₃⁻ ($p > 0,05$).

La température a été relativement élevée dans tous les aquariums et varié d'une façon similaire durant toute l'expérience, globalement entre 24°C et 27.5°C (fig.32). Ces valeurs sont situées dans la plage de température optimale (20 et 35 °C) pour la reproduction et la croissance des tilapias (El-Sayed 2006).

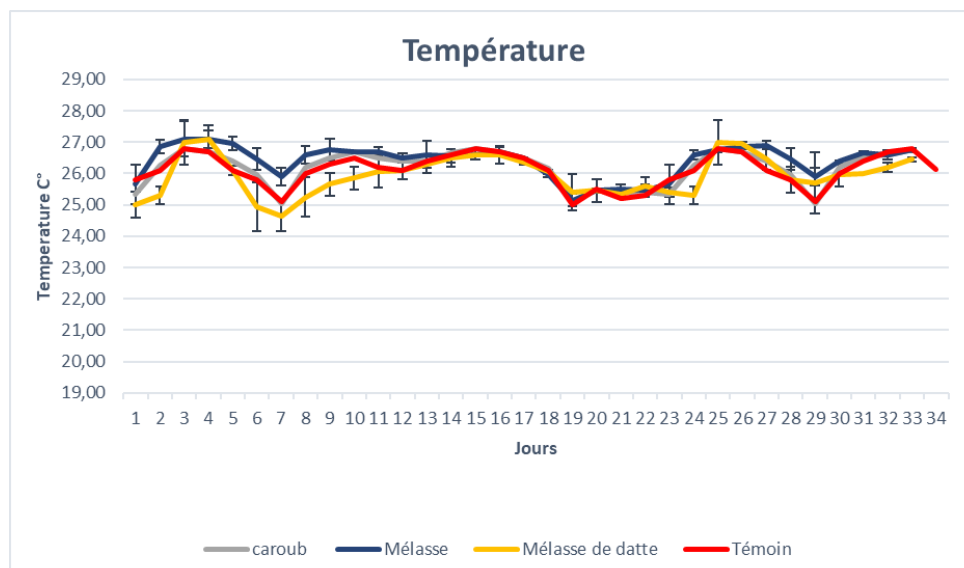


Figure 32: Suivi de la température durant la phase expérimentale

Les mesures de la concentration d'oxygène dissous ont montré des variations allant de 5 mg/l à 8 mg/l pour tous les régimes étudiés. Les niveaux d'oxygène étaient supérieurs à 5 mg/l dans tous les régimes, ce qui correspond au niveau minimum recommandé par WilénetBalmér, (1999). Ces valeurs assurent le bon développement de la communauté microbienne, car elles ont été maintenues au-dessus des besoins des bactéries hétérotrophes et autotrophes, comme suggéré par Timmons et Ebling, (2010).

Il convient de noter que la concentration d'oxygène dissous était plus faible dans le système biofloc par rapport au groupe témoin, en raison de la présence de microorganismes qui consomment une quantité importante d'oxygène.

D'après l'observation de la courbe d'évolution du pH (fig.33), on constate que la variation du pH était relativement similaire dans les 3 régimes biofloc, avec des valeurs situées entre 7.07 et 7.83 pour le traitement « Caroube » ; entre 7.10 et 7.92 pour le traitement « mélasse de sucre » et entre 7.17-7.94 pour le traitement « mélasse de datte ». Dans le groupe témoin, le pH varie entre 7.55 et 7.75.

Les baisses de pH observées durant l'expérience dans les trois régimes biofloc pourraient être attribuées à la demande en ions carbonate et bicarbonate par la communauté microbienne pour son développement, ce qui entraîne une consommation d'alcalinité et par conséquent, une diminution du pH (Ebeling et al., 2006). Malgré cette réduction du pH dans le milieu, il demeure dans la plage optimale pour le tilapia grâce aux corrections effectuées par l'addition de bicarbonate de sodium, conformément aux recommandations d'El-Sayed, (2006).

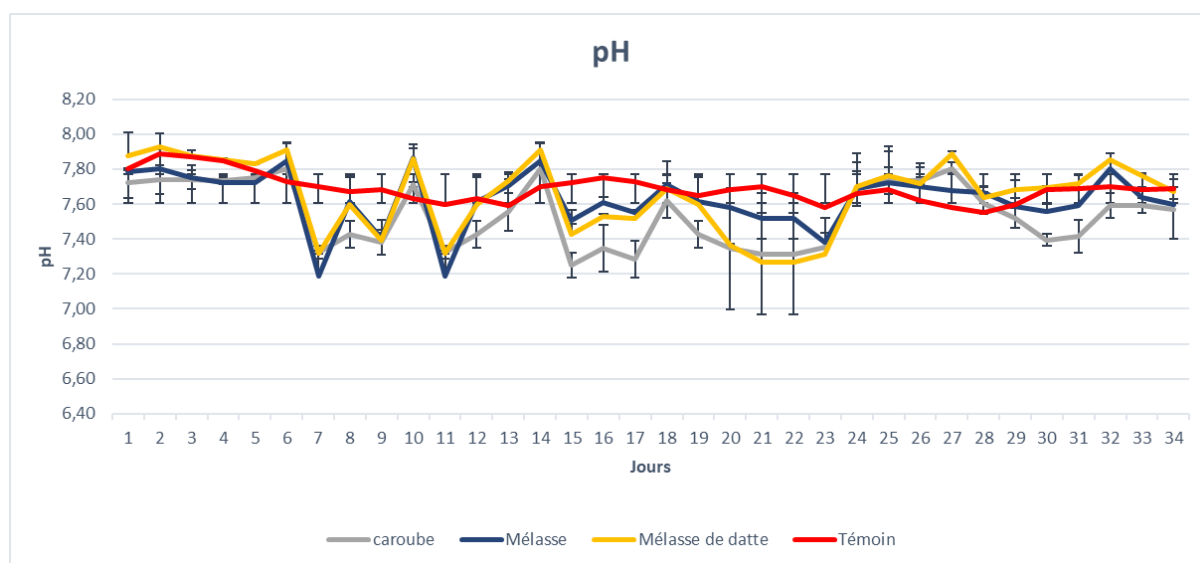


Figure 33: Suivi du pH durant la phase expérimentale

On remarque une diminution progressive de l'alcalinité de l'eau dans les trois régimes biofloc (fig.34) atteignant des valeurs inférieures à 100 mg/L dans le traitement du Caroub à la cinquième semaine de l'expérience. Ces diminutions ont été corrigées par l'ajout de bicarbonate de sodium. Cependant la concentration moyenne de l'alcalinité de l'eau dans le groupe témoin (169.23 mg/l) était significativement plus élevée par rapport à celles des trois régimes BFT ($p < 0.05$). L'alcalinité a été maintenue à des valeurs relativement stables dans le groupe témoin grâce au renouvellement régulier d'eau.

La diminution de l'alcalinité dans les régimes BFT est due à sa consommation par les bactéries hétérotrophes et nitrifiantes dans le processus de dégradation de l'azote ammoniacale.

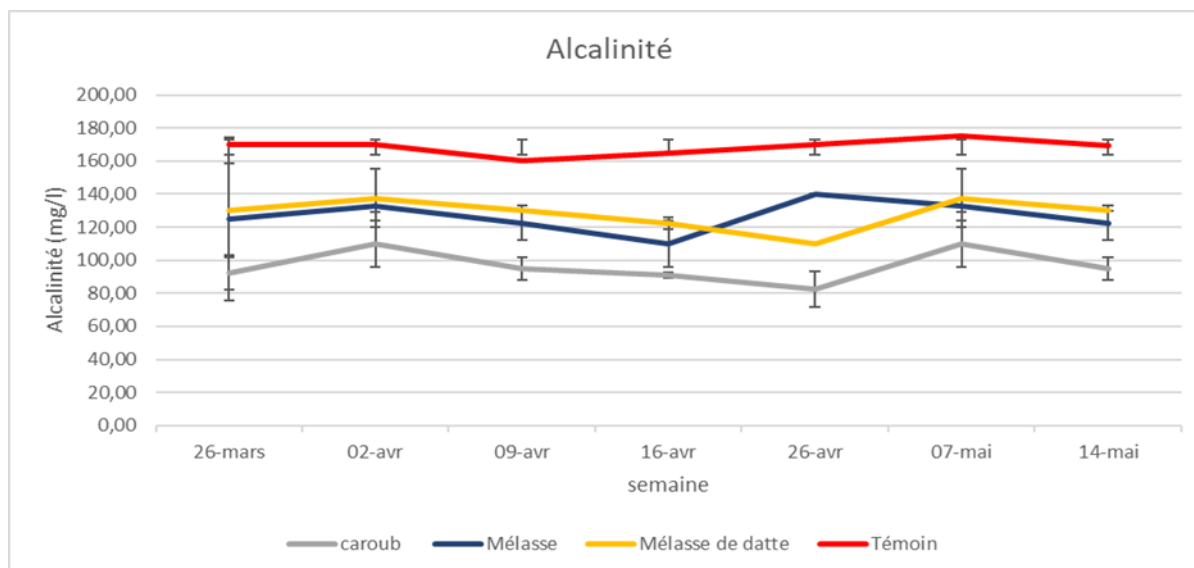


Figure 34: Suivi de l'alcalinité durant la phase expérimentale

Les figures 35 montrent l'évolution des composés azotés en fonction du temps pendant la phase expérimentale. Les fluctuations des concentrations des substances azotées (NH_4 , NO_2 et NO_3) sont plus marquées dans les groupes utilisant le système biofloc (BFT) par rapport au groupe témoin. Les concentrations des nitrates et d'ammonium étaient relativement plus élevée dans les trois régimes BFT par rapport à ceux enregistrés dans le groupe témoin, mais les différences n'étaient pas statistiquement significatives ($p > 0.05$). Cependant les concentrations moyennes de nitrites étaient significativement plus faibles dans les groupes témoin et CAR (avec des valeurs moyennes de 0.65 mg/l et 0.62 mg/l respectivement) par rapport aux groupes MEL et MED ayant des valeurs moyennes de 1.10 mg/l et 1.02 mg/l respectivement.

Les concentrations de nitrites ont suivi une évolution similaire à celles de l'ammonium, avec des pics de concentrations à la quatrième semaine de l'expérience atteignant des valeurs de 3.28 mg/l pour les NO_2^- et 0.65 mg/l pour les NH_4^+ dans le régime de la mélasse de sucre. Ce pic est probablement dû à la réduction du ratio C/N de 20 : 1 à 015 : 1 à partir de la troisième semaine. Cela peut être attribué aussi au rendement plus élevé des bactéries hétérotrophes dans la dégradation des déchets azotés par rapport aux bactéries autotrophes qui ont une vitesse de croissance plus lente (Ebeling et al., 2006).

Les faibles concentrations de substances azotées enregistrées dans le groupe témoin, peuvent témoigner l'efficacité du dispositif de filtration mis en place. Ce dispositif de filtration comprend un compartiment contenant des couches d'éponges synthétiques utilisées pour la filtration mécanique, ainsi qu'un substrat de filtration biologique.

Dans l'ensemble, les concentrations moyennes des produits azotés relevées au cours de cette expérience demeurent dans la plage considérée comme acceptable pour l'élevage du tilapia, conformément aux recommandations d'El-Sayed (2006) (TAN : <0,5 mg/L ; Nitrites :< 0,2 mg/L Nitrites :< 30 mg/L).

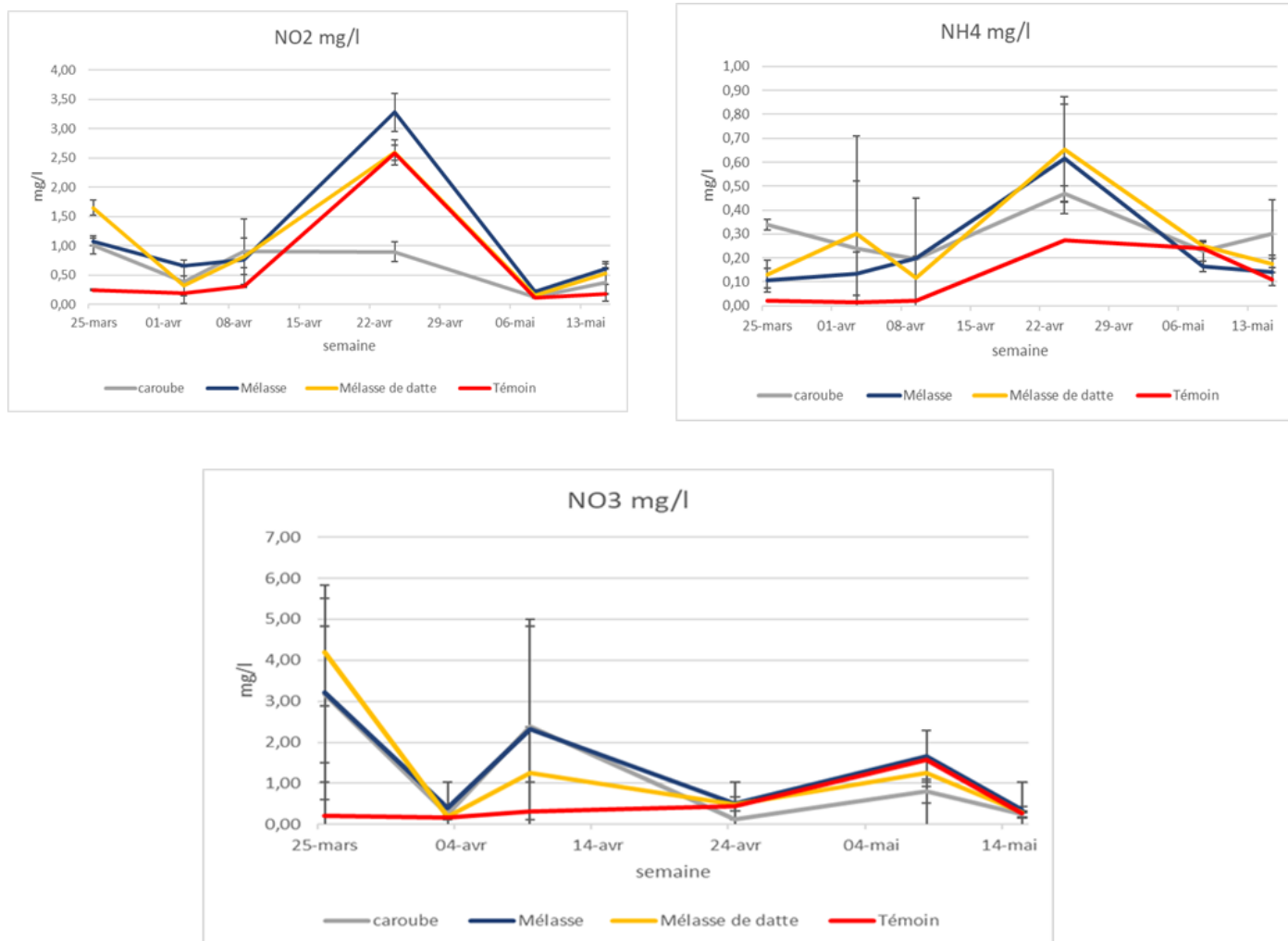


Figure 35: Suivi des substances azotées durant la phase expérimentale

Le volume du floc dans les trois régimes varie de façon similaire entre les 3 traitements BFT, comme le montre la figure 36, et ne présente pas de différence significative ($p > 0.05$). Le volume du floc augmente progressivement pour atteindre des niveaux de concentrations dépassant les 60 ml/L. Toutefois, l'application du système de décantation a permis de réduire le volume du biofloc dans les aquariums d'élevage en éliminant les excès de matières en suspension.

L'évolution des matières en suspension était semblable dans les trois régimes BFT et ne présentait pas des fluctuations importantes (fig.37), ce qui est probablement attribué au fait que l'analyse était effectuée chaque début de semaine (les dimanches), seulement 2 jours après la mise en fonctionnement du système de décantation (les jeudis). Les teneurs en MES étaient significativement plus élevées dans les groupes BFT par rapport au groupe témoin ($p < 0.05$). Globalement, les MES ont été maintenues dans la plage acceptable pour l'élevage du tilapia : < 500 mg/l, selon les recommandations d'Alhassane (2004).

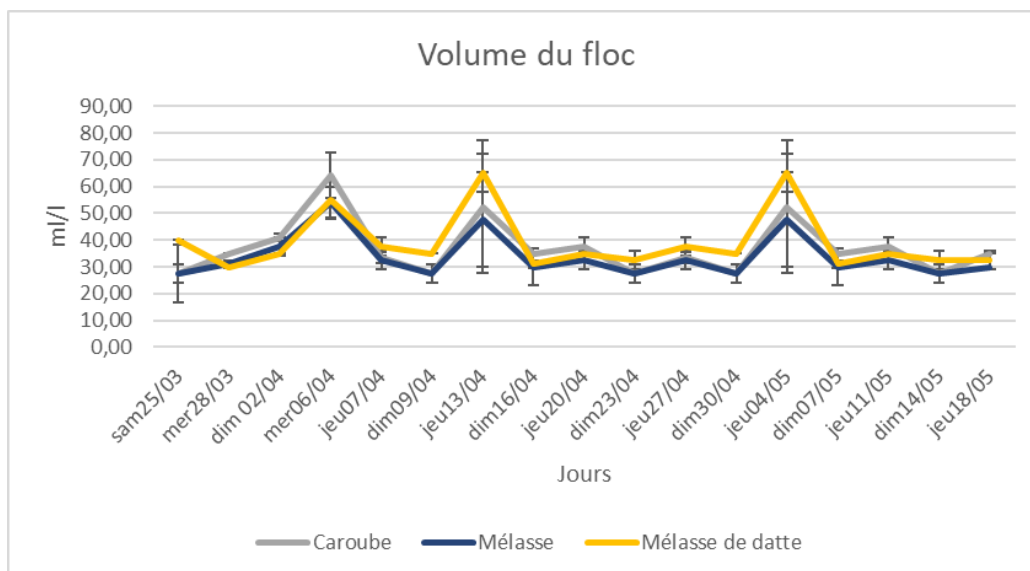


Figure 36: Suivi du volume du floc durant la phase expérimentale

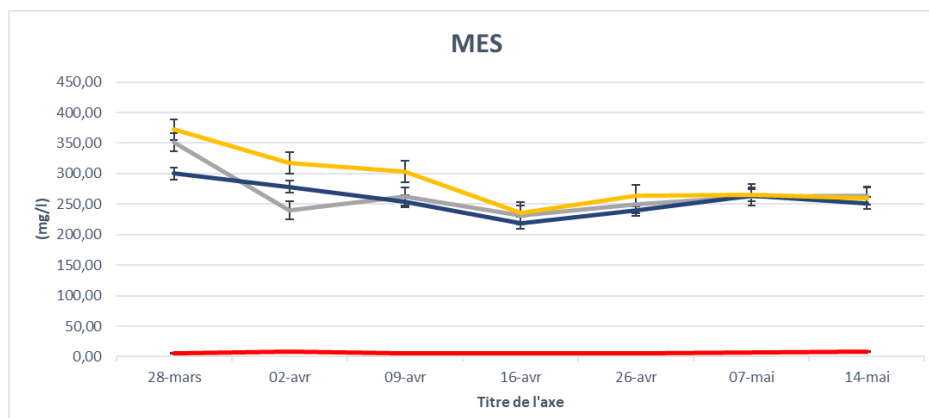


Figure 37: Suivi des MES durant la phase expérimentale

En général, les valeurs des paramètres chimiques de l'eau ont montré une diminution au fil du temps pour tous les traitements. L'ajout de sources de carbone organique dans les aquariums expérimentaux a favorisé la croissance des bactéries hétérotrophes, ce qui a entraîné une augmentation de la fixation de l'azote et une diminution de l'ammoniac et des nitrites, améliorant ainsi la qualité de l'eau (Luo et al., 2014a). Bien qu'aucune différence significative n'ait été observée entre les traitements biofloc et le témoin pour la plus part des paramètres de la qualité de l'eau, ce qui est en accord avec les résultats de Nootong et al (2011) et El-Husseiny et Soaudy (2018).

L'application de la technique biofloc a permis d'améliorer la qualité de l'eau en réduisant les niveaux de NH_4^+ , NO_2 dans les étangs d'élevage de carpes en augmentant le rapport C:N (Wang et al., 2015). En effet, plusieurs chercheurs ont constaté que l'application de la technologie du biofloc permet de maintenir la qualité de l'eau de culture à des niveaux optimaux pour l'espèce, sans nécessité de changer l'eau (Wasiolesky et al., 2006 ; Avnimelech, 2009 ; Ekasari et al., 2015). Des observations similaires ont été faites par Prajith (2012) en élevage des crevettes.

Une étude précédente portant sur l'utilisation de la farine de blé et de la farine de maïs comme sources de carbone pour la production de biofloc à petite échelle chez le tilapia d'eau douce, a montré une variabilité des niveaux d'ammoniac, de nitrate et de nitrite après l'ajout de ces sources de carbone (Caipang et al., 2015). Cependant, une autre recherche a montré que la capacité du BFT à contrôler la qualité de l'eau dans le système de culture et les propriétés nutritionnelles des flocons sont influencées par le type de source de carbone utilisée pour produire les flocons (Crab, 2010).

Des études supplémentaires sont nécessaires pour confirmer comment ces types de sources de carbones peuvent influencer les fluctuations des déchets azotés. Jusqu'à ce que de telles expérimentations approfondies soient réalisées, aucune conclusion définitive ne peut être avancée concernant la meilleure source de carbone qui pourrait aider à atténuer l'apparition de niveaux élevés de déchets azotés dans le système BFT d'eau douce pour le tilapia (Caipang et al., 2015).

3.1.2 Paramètres microbiologiques

Nous avons évalué la concentration de FMAT (Flore Mésophile Aérobie Totale) dans l'eau des différents régimes de biofloc, à savoir la caroube, la mélasse de sucre, la mélasse de datte et le groupe témoin (fig.38).

Les résultats ont révélé que le groupe caroube présentait une concentration moyenne de FMAT de 13 305,59 UFC/ml, tandis que le groupe mélasse de sucre avait une concentration moyenne de 22 757,98 UFC/ml et le groupe mélasse de datte affichait une concentration moyenne de 20 849,96 UFC/ml (Tab.16). Les différences observées entre ces régimes n'étaient pas statistiquement significatives ($p > 0,05$).

Tableau 16: Valeurs moyenne des paramètres microbiologique durant la phase expérimentale

Paramètres	CAR	MEL	MED	Témoins	P value
FMAT (UFC/ml)	13305,59±1895,51 a	22757,98±3683,35 a	20849,96±8629,50 a		0,33

NB : Les valeurs suivies de lettres différentes dans la même ligne sont significativement différentes ($p < 0.05$).

En comparaison, le groupe témoin avait une concentration de FMAT très négligeable pour cela, l'analyse n'a pas été mesurée dans cette étude. Cela peut être dû à l'absence de supplémentation en carbone dans ce groupe, ce qui limite la croissance et le développement des communautés microbiennes.

Ces résultats montrent que l'utilisation de différentes sources de carbone, telles que la caroube, la mélasse de sucre et la mélasse de datte, n'a pas eu d'impact significatif sur la concentration de FMAT dans le système biofloc.

Globalement, nous avons constaté une augmentation régulière de la concentration des bactéries dans le milieu d'élevage dans les différents groupes BFT, ce qui est un indicateur du

développement du floc, favorisé par l'addition quotidienne des sources de carbone. Cette croissance de la biomasse bactérienne explique l'accumulation des matières en suspension dans le milieu d'élevage. Cela est en accord avec les résultats de Chamberlain and Hopkins (1994) et De Schryver et al (2008), qui indiquent que la croissance bactérienne augmente lorsque la source de carbone, telle que le son de blé ou la cellulose, est dispersée à la surface de l'eau de l'étang avec une aération continue à un rapport C:N optimal de 15:1. Il convient de noter que d'autres paramètres microbiologiques, tels que la diversité microbienne, la présence de pathogènes spécifiques et la stabilité du système, pourraient également être importants pour évaluer l'impact des différentes sources de carbone sur la santé et la performance des poissons. Les résultats obtenus par Wei et al. (2020) ont montré que la source de carbone n'influence pas seulement la structure et la composition de la communauté microbienne, mais également le nombre de bactéries pathogènes *Vibrio*. Ces résultats indiquent une adaptation des microbes aux différentes sources de carbone. Des études supplémentaires seraient nécessaires pour explorer ces aspects plus en détail.

En conclusion, les résultats des paramètres microbiologiques dans notre étude ne montrent pas de différences significatives entre les régimes à base de caroube, de mélasse de sucre et de mélasse de datte en termes de concentration de FMAT. Cela suggère que ces différentes sources de carbone n'ont pas eu d'effet majeur sur la composition microbienne du système biofloc.

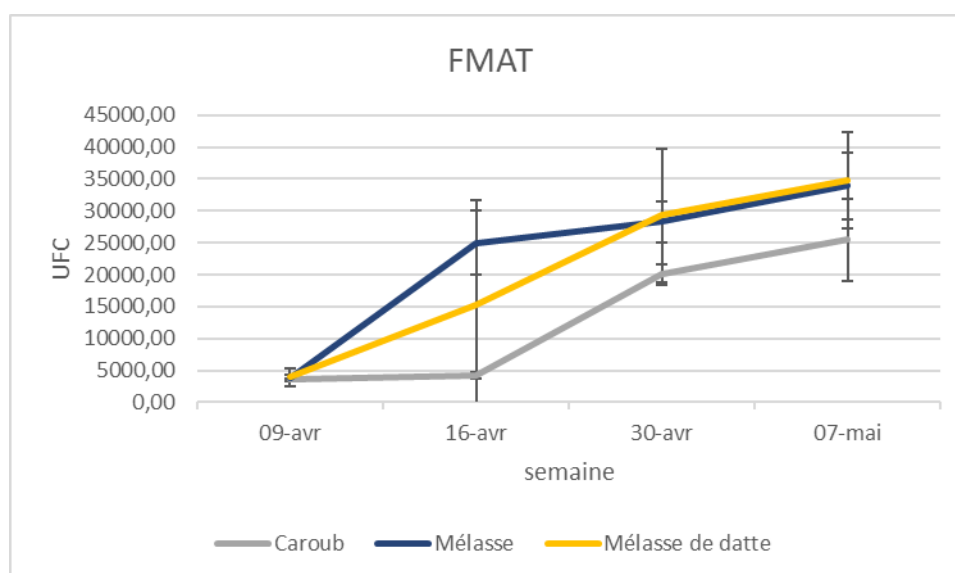


Figure 38: Suivi de la FMAT

3.2 Suivre des paramètres zootechniques

Les résultats des performances zootechniques des alevins de tilapia durant les 23 premiers jours de l'expérience sont consignés dans le tableau 17.

Tableau 17: Performances zootechniques des tilapias après 23 jours de l'élevage

	CAR	MEL	MED	Témoin	Valeur de P
Pmi (g)	3,53±00	3,53±00	3,53±00	3,53±00	
Pmf (g)	5,70±0,18	6,28±0,88	5,93±0,03	5,26±0,4	0,34
Ra (g/j)	6,35	6,35	6,35	6,35	
GPM (g)	2,16±0,17	2,74±0,88	2,40±0,03	1,73±0,41	0,34
TCS (% /j)	2,08±0,13	2,48±0,61	2,25±0,02	1,72±0,34	0,32
GMQ (g/j)	0,09±0,01	0,12±0,04	0,10±0,00	0,08±0,02	0,34
IC	1,60±0,17	1,32±0,39	1,46±0,02	2,46±0,44	0,06
TS (%)	100	100	100	100	

Au début de l'expérience, les poissons de chaque régime présentaient un poids moyen initial similaire, avec une valeur de Pmi d'environ 3,53 g, ce qui indique une homogénéité des groupes expérimentaux et une bonne comparabilité des conditions de départ.

Concernant la croissance des poissons après 23 jours d'élevage, le régime utilisant la mélasse de sucre a enregistré le poids moyen final le plus élevé, avec une valeur de Pmf d'environ 6,28±0,88 g. Cette différence n'était pas statistiquement significative par rapport aux autres régimes BFT et au groupe témoin. Les taux de croissance spécifique et les gains moyens quotidiens ont également suivi une tendance similaire, avec des valeurs de TCS d'environ 2,48% par jour et des GMQ d'environ 0,12 g par jour, sans différences statistiquement significatives entre les différents régimes étudiés. Cela suggère que les différentes sources de carbone, telles que la caroube, la mélasse de sucre et la mélasse de datte, n'ont pas eu un impact significatif sur la croissance des poissons durant les 23 premiers jours de l'étude.

Cependant, une observation intéressante concerne l'indice de conversion d'aliment (IC), qui a été nettement amélioré dans le régime de la mélasse de sucre, avec une valeur d'environ 1,32, par rapport au régime témoin qui avait un IC d'environ 2,46, mais cette différence n'a pas atteint une signification statistique. Cette amélioration indique une utilisation plus efficace de l'aliment dans le régime de la mélasse de sucre, probablement en raison des propriétés particulières de

cette source de carbone. Ces résultats suggèrent que l'utilisation de la mélasse de sucre pourrait être une option prometteuse pour optimiser l'efficacité alimentaire dans l'élevage du tilapia en système biofloc.

Par ailleurs, une constatation positive est que le taux de survie des poissons était élevé et identique dans tous les régimes, atteignant 100%. Cela démontre l'efficacité globale du système biofloc utilisé dans cette étude pour maintenir de bonnes conditions pour les poissons, indépendamment de la source de carbone utilisée.

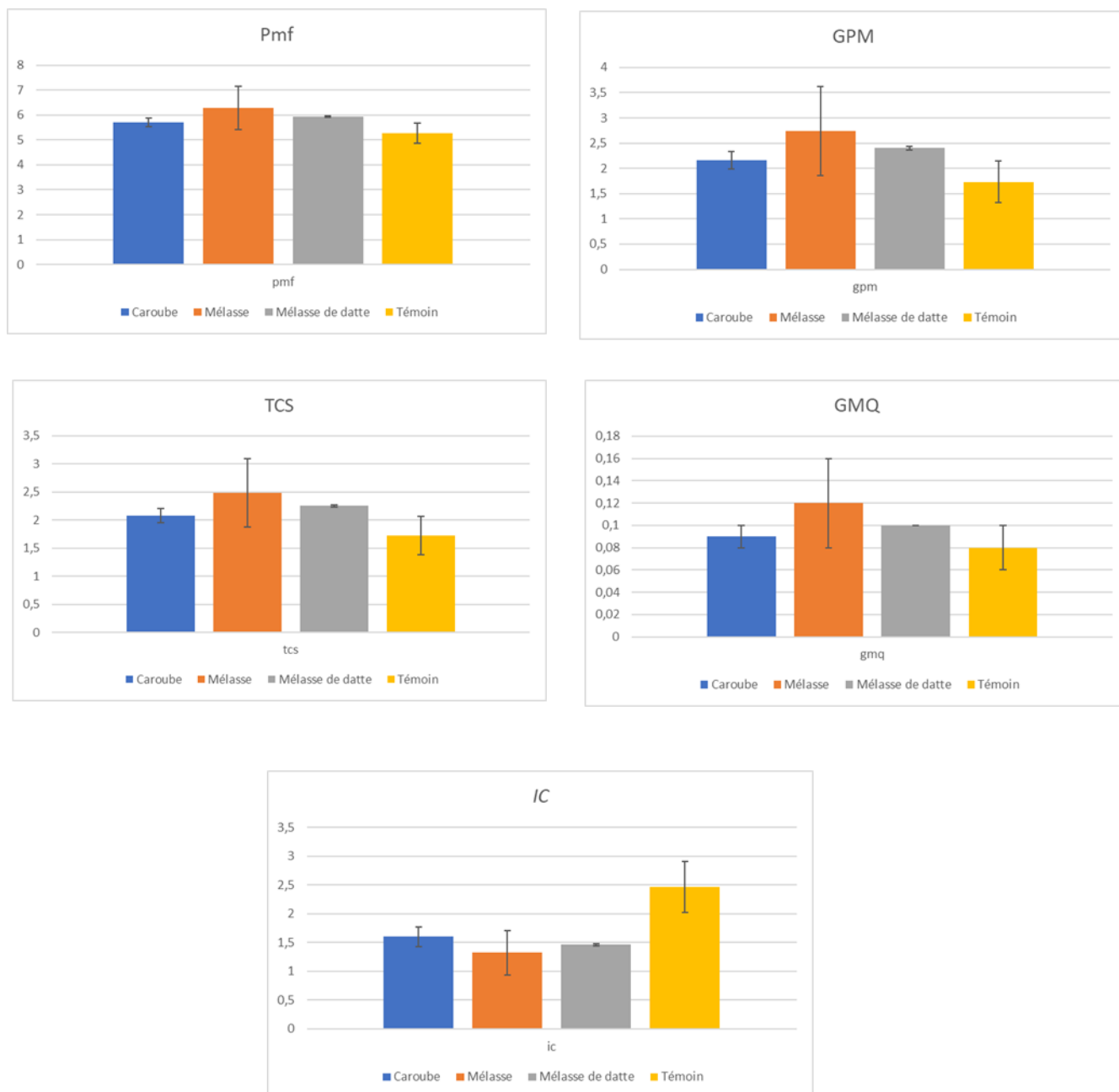


Figure 39: Suivi des paramètres zootechniques des alevins de tilapia durant les 23 premiers jours d'élevage

L'analyse des paramètres zootechniques sur une période de 52 jours dans les différents régimes d'élevage du tilapia en système biofloc a révélé des différences significatives (Tab.18).

Tableau 18: Performances zootechniques des tilapias après 52 jours d'élevage

	CAR	MEL	MED	Témoin	P value
Pmi (g)	3,53±00	3,53±00	3,53±00	3,53±00	
Pmf (g)	10,29±0,09 a	10,88±0,66 a	10,50±0,59 a	8,24±0,19 b	0,01
Ra (g/j)	6,35	6,35	6,35	6,35	
GPM (g)	6,76±0,09 a	7,34±0,66 a	6,97±0,59 a	4,70±0,19 b	0,01
TCS (% /j)	2,06±0,02 a	2,16±0,12 a	2,10±0,11 a	1,63±0,04 b	0,01
GMQ (g/j)	0,13±0,00 a	0,14±0,01 a	0,13±0,00 a	0,09±0,00 b	0,01
IC	1,34±0,05 a	1,24±0,08 a	1,36±0,04 a	2,16±0,21 b	0,00
TS (%)	100	100	93	90	

NB : Les valeurs suivies de lettres différentes dans la même ligne sont significativement différentes ($p < 0.05$).

Les poissons ont atteint un poids moyen final de 10,29 g dans le groupe caroube, de 10.88 g dans le groupe mélasse de sucre et de 10.5 dans le groupe mélasse de datte. En revanche, les poissons du groupe témoin ont atteint un poids moyen final significativement plus faible par rapport aux groupes BFT, avec une valeur de 8,24 g (fig.40). Ces résultats indiquent que l'utilisation du système biofloc a amélioré significativement la croissance du tilapia.

De plus, le gain de poids moyen (GPM) a suivi une tendance similaire, où les poissons ont enregistré un GPM de 6,76 g dans le groupe CAR, de 7,34 g dans le groupe MEL et de 6,97 g dans le groupe MED. Les poissons du régime témoin ont présenté un GPM significativement plus faible, avec une valeur de 4,70 g.

Le taux de croissance spécifique (TCS) et le gain moyen quotidien (GMQ) ont suivi la même tendance. Les poissons élevés dans le régime de la caroube ont affiché un TCS de 2,06% par jour et un GMQ de 0,13 g/jour, ceux du groupe de la mélasse de sucre ont atteint un TCS de 2,16% par jour et un GMQ de 0,14 g/jour et les poissons du groupe de la mélasse de datte ont obtenu un TCS de 2,10% par jour et un GMQ de 0,13 g/jour. En revanche, les poissons du groupe témoin ont présenté des valeurs significativement inférieures, avec un TCS de 1,63% par jour et un GMQ de 0,09 g/jour (fig.40). Ces résultats confirment que l'utilisation de sources de carbone telles que la caroube et les mélasses favorise une croissance plus rapide et un gain de poids plus élevé chez les poissons.

L'indice de conversion d'aliment (IC) a également montré des différences significatives entre les régimes biofloc et le témoin. Les poissons élevés dans le biofloc alimenté avec la caroube comme source de carbone ont présenté un IC de 1,34, tandis que ceux du régime de la mélasse de sucre ont obtenu un IC de 1,24 et ceux avec la mélasse de datte ont enregistré un IC de 1,36. En revanche, les poissons du régime témoin ont affiché un IC significativement plus élevé, avec une valeur de 2,16. Ces résultats montrent que l'utilisation du système BFT a permis d'améliorer la conversion alimentaire chez les juvéniles du tilapia. Plusieurs études ont montré l'amélioration de l'efficacité alimentaire chez les tilapias élevés dans le système biofloc (El-Husseiny et Soaudy, 2018 ;Panigrahi et al., 2019 ;García-Ríos et al., 2019 ;Felix and Menaga, 2021). Cette amélioration est attribuée à l'utilisation du floc comme source d'alimentation complémentaire pour des poissons (Khanjani et al., 2021). D'autres facteurs indirects peuvent influencer également la conversion alimentaire chez les poissons en système biofloc telles que la stimulation de l'activité des enzymes digestives (Luo et al., 2014 ;Liu et al., 2015); (Yu et al., 2020 ; Sontakke et al., 2021) par les microorganismes du biofloc et les influences sur la composition de la microflore intestinale qui pourraient avoir des effets positifs sur l'utilisation alimentaire Xu et al., 2016).

Enfin, les taux de survie (TS) étaient de 100 % pour tous les régimes, ce qui indique les bonnes conditions du déroulement des expériences.

En conclusion, l'utilisation du système BFT à différentes sources de carbone (mélasse, caroube ou dattes) en élevage du tilapia a des effets positifs sur la croissance, le gain de poids, le taux de croissance spécifique et l'efficacité alimentaire des tilapias. Les résultats obtenus dans cette étude sont cohérents avec d'autres travaux scientifiques qui ont également montré des améliorations similaires des performances zootechniques des poissons grâce à l'utilisation du système biofloc, notamment en l'élevage du tilapia, car il favorise une production élevée, contrôle la qualité de l'eau et recycle les aliments dans la même unité d'élevage (García-Ríos et al., 2019). Cependant nos résultats montrent que le choix de la source de carbone n'a pas d'effet significatif sur les performances zootechniques du tilapia, ce qui est en accord avec les résultats de Silva et al (2017) qui ont montré que les performances de croissance du tilapia du Nil dans le système biofloc (BFT) fertilisé avec différentes sources de carbone organique n'étaient pas significativement différentes entre les traitements. Une autre étude réalisée par El-Husseiny and Soaudy (2018) ont révélés les mêmes résultats ou le système biofloc avec différentes sources de carbone a surpassé le système témoin dans tous les paramètres, mais aucune différence

significative n'a été observée entre les traitements biofloc en ce qui concerne les performances du tilapia.

Ces résultats fournissent des informations précieuses pour l'optimisation de l'élevage du tilapia en système biofloc en utilisant des sources de carbone alternatives, mais il convient de noter que divers éléments peuvent interagir de manière concomitante en vue d'exercer une influence sur les performances d'élevage au sein d'un système de traitement des bioflocs (BFT). Parmi ces facteurs figurent notamment le choix de la source de carbone, le rapport carbone/azote (C/N), l'éclairage et la densité de peuplement. Il convient de prendre en compte ces différents paramètres dans l'élaboration d'une stratégie d'élevage optimale en système BFT, afin d'optimiser les rendements et de favoriser la santé et la croissance des organismes élevés. Une compréhension approfondie de ces facteurs et de leurs interactions est essentielle pour parvenir à des résultats satisfaisants dans le domaine de l'aquaculture en système BFT (Oliveira et al., 2022).



Figure 40: Suivie des paramètres zootechniques des alevins de tilapia durant les 52 jours d'élevage

*Conclusions et
perspectives*

La technologie du biofloc (BFT) suscite un intérêt croissant en aquaculture en tant qu'outil stratégique, permettant d'améliorer la conversion alimentaire, la biosécurité et le recyclage des eaux d'élevage. L'aspect significatif du BFT est l'aquaculture à haute densité de stockage avec un échange d'eau minimal. Il permet non seulement d'améliorer la qualité de l'eau d'un système en éliminant l'azote inorganique toxique, mais il sert également de complément alimentaire approprié et de source de probiotiques pour les espèces cultivées (Nisar et al., 2022).

Notre étude avait pour but de contribuer à l'évaluation de l'effet de plusieurs sources de carbone locales sur l'évolution des paramètres du milieu ainsi que sur les performances zootechniques du tilapia du Nil.

Cette étude a révélé que l'élevage en système BFT requiert une phase préliminaire de préparation du milieu biofloc, dont la durée peut atteindre environ 6 à 7 semaines. Cette phase se caractérise par d'importantes variations des paramètres du milieu, notamment les concentrations en substances azotées, avant la formation du floc et la stabilisation des populations microbiennes dans le milieu. Cependant, il est possible de réduire la durée de cette phase en inoculant le système avec une eau provenant d'autres bassins d'élevage en système BFT.

Ainsi les résultats de la présente étude ont montré que le système biofloc a assuré un meilleur contrôle de la qualité de l'eau et a amélioré les performances de croissance du tilapia par rapport au témoin. En revanche et contrairement à nos attentes, la variation de la source de carbone n'a pas influencé les performances d'élevage.

Nous pouvons donc conclure que la poudre de caroube et les dattes peuvent être utilisées en système BFT comme une source alternative du carbone afin de remplacer la mélasse et le sucre, sans effets négatifs sur les paramètres du milieu et les performances de croissances du tilapia.

Ces sources de carbone sont disponibles localement, bien que leurs prix restent relativement plus élevés par rapport à la mélasse. Il serait possible d'exploiter les sous-produits issus de la fabrication des produits alimentaires à base des dattes ou de caroube. Il est possible également de valoriser les produits de qualité inférieure qui ne sont pas utilisés dans l'alimentation humaine, notamment dans les régions du Sud où la production de dattes est importante.

Il existe plusieurs domaines de recherche qui pourraient approfondir nos connaissances sur la technologie BFT. Parmi ceux-ci figurent l'étude de la qualité nutritionnelle du biofloc, la diversification des sources de carbone utilisées, l'application de ce système à d'autres espèces

d'intérêt aquacole, l'évaluation des effets sur la qualité organoleptique des produits et l'utilisation du floc dans l'alimentation des poissons.

Cependant le biofloc peut être considéré comme une solution très prometteuse qui offre une réponse adaptée à la problématique de l'utilisation limitée des ressources hydriques en Algérie, en particulier dans les zones sahariennes.

*Références
bibliographiques*

- Abaibia, H., Rachedi, H. (2018).** *Caractérisation nutritionnels et morphologiques de trois variétés de dattes : « Deglet-Nour », « Mech-Degla », « Ghars ».* [Mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem].
- Adel, K., Tebbache, K. (2016).** *Elaboration d'un matériau adsorbant à base de mélasse de sucre et application.* [Mémoire de Master, Université A. MIRA - Béjaïa].
- AE, R. (2023).** Pêche : Augmentation de la production à 142.000 tonnes d'ici à 2024. *Algerie Eco.*
- Ahmad, I., Babitha Rani, A. M., Verma, A. K., Maqsood, M. (2017).** Biofloc technology : An emerging avenue in aquatic animal healthcare and nutrition. *Aquaculture International*, 25(3), 1215-1226. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0108-8>
- Alhassane, M. (2004).** *Optimisation de la production d'alevins et de la croissance par le contrôle de la reproduction chez le Tilapia (Pisces, Cichlidae) Oreochromis niloticus (Linneaus, 1758) : Cas des élevages en étangs et en cages flottantes dans la vallée du fleuve Niger au Niger (Niger)* [Thèse de doctorat, EPHE]. <https://agritrop.cirad.fr/596384/>
- Avnimelech, Y. (2007).** Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264(1-4), 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025>
- Avnimelech, Y. (2009).** Biofloc technology. A practical guide book. The World Aquaculture Society. *Aquaculture*, 3(176), 227-235.
- Avnimelech, Y. (2014).** *Biofloc Technology—A Practical Guidebook.* WAS - World Aquaculture Society.
- Azim, M. E., Little, D. C. (2008).** The biofloc technology (BFT) in indoor tanks : Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1-4), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.036>
- Balon, E. K. (2004).** About the oldest domesticates among fishes. *Journal of Fish Biology*, 65(s1), 1-27. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2004.00563.x>
- Baroiller, J.-F., Jalabert, B. (1989).** Contribution of research in reproductive physiology to the culture of tilapias. *Aquatic Living Resources*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.1051/alr:1989013>

- Belaroui, A. (2022).** *Evaluation de la qualité Organoleptique, Hygiénique et Nutritionnelle du Tilapia (Oreochromis sp.) de deux fermes aquacoles.* [Mémoire de fin d'étude]. ENSSMAL.
- Ben Salah, H. (2022).** *Synthèse d'études sur la valorisation de substituants d'origine végétale dans l'alimentation aquacole Et enquête sur la pisciculture dans la Wilaya de Biskra* [Mémoire de Master]. Université Mohamed Khider de Biskra.
- Beveridge & McAndrew. (2000).** *Tilapias : Biology and Exploitation* (Vol. 1-25). Springer Science & Business Media.
- Boudarsa, N., & Daoui, N. (2021).** *Caractérisation chimique et biologique de la mélasse des dattes.* [Mémoire de Master]. Université des frères Mentouris, Constantine 1.
- Bouhrem, I. (2019).** *Le caroubier : Valorisation et utilisation industrielle* [Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem].
- Caipang, C. M. A., Choo, H. X., Bai, Z., Huang, H., & Lay-yag, C. M. (2015).** Viability of sweet potato flour as carbon source for the production of biofloc in freshwater culture of tilapia, *Oreochromis sp.* *International Aquatic Research*, 7(4), 329-336.
<https://doi.org/10.1007/s40071-015-0117-7>
- Chamberlain, G. W., & Hopkins, S. J. (1994).** Reducing water use and feed cost in intensive ponds. *World aquaculture*, 25.
- Chervinsky, J. (1961).** *Laboratory experiments on the growth of Tilapia nilotica in various salt concentration*, pp 8-14.
- Choo, H. X., & Caipang, C. M. A. (2015).** Biofloc technology (BFT) and its application towards improved production in freshwater tilapia culture. *AAFL Bioflux*, 8(3), 362-366.
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012).** Biofloc technology in aquaculture : Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356-357, 351-356.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- Dauda, A. B. (2020).** Biofloc technology : A review on the microbial interactions, operational parameters and implications to disease and health management of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 1193-1210. <https://doi.org/10.1111/raq.12379>

De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., & Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology : The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3-4), 125-137.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.02.019>

Dhraief, M. N., Azaza, M. S., & Kraiem, M. M. (2010). Etude de la reproduction du tilapia du nil. *Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (INSTM)*, 37.

Ebeling, J., Timmons, M., & Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257, 346-358.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

Ekasari, J., Rivandi, D. R., Firdausi, A. P., Surawidjaja, E. H., Zairin, M., Bossier, P., & Schryver, P. de. (2015). Biofloc technology positively affects Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) larvae performance. *Aquaculture*, 441, 72-77.

El-Husseiny, O. M., & Soaudy, M. (2018). *Complexity of carbon sources and the impact on biofloc integrity and quality in tilapia (Oreochromis niloticus) tanks.* 11(3).

El-sayed, A. (2022). Use of biofloc technology in shrimp aquaculture : A comprehensive review, with emphasis on the last decade. *Reviews in Aquaculture*, 13.

<https://doi.org/10.1111/raq.12494>

El-Sayed, A.-F. M. (2006). *Tilapia culture.* CABI Pub.

Emerenciano, M. G. C., Martínez-Córdova, L. R., Martínez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc Technology (BFT) : A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. In H. Tutu (Éd.), *Water Quality.* InTech. <https://doi.org/10.5772/66416>

Emerenciano, M., Gaxiola, G., & Cuzo, G. (2013). Biofloc Technology (BFT) : A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In M. D. Matovic (Éd.), *Biomass Now Cultivation and Utilization.* InTech. <https://doi.org/10.5772/53902>

Fabrice, K. (2011). *CTOP TOGO Manuel de formation en production alevins et de gestion de ferme piscicole.*

Fajrin, A., Utomo, N. P., Ekasari, J., & Nuryati, S. (2020). Evaluation of health status and meat quality of dumbo catfish *Clarias gariepinus* maintained using the biofloc system. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 19(2), 190-198. <https://doi.org/10.19027/jai.19.2.190-198>

- FAO. (1988).** *Introductions internationales d'espèces aquatiques continentales.*
- FAO. (2004).** *The State of Food Insecurity in the World.*
- FAO. (2012).** *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture—2012.*
- FAO. (2020).** *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2020.* FAO.
- FAO. (2022).** *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022.* FAO.
- Felix, S., & Menaga, M. (2021).** *Applied Aquaculture Biofloc Technology* (1^{re} éd.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003242611>
- Fessehaye, Y., Kabir, M., Bovenhuis, H., & Komen, H. (2006).** Prediction of cannibalism in juvenile *Oreochromis niloticus* based on predator to prey weight ratio, and effects of age and stocking density. *Aquaculture* 255 (2006) 1-4, 255.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.11.033>
- Fontenot, Q., Bonvillain, C., Kilgen, M., & Boopathy, R. (2007).** Effects of temperature, salinity, and carbon : Nitrogen ratio on sequencing batch reactor treating shrimp aquaculture wastewater. *Bioresource Technology*, 98(9), 1700-1703.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.07.031>
- García-Ríos, L., Miranda-Baeza, A., Coelho-Emerenciano, M. G., Huerta-Rábago, J. A., & Osuna-Amarillas, P. (2019).** Biofloc technology (BFT) applied to tilapia fingerlings production using different carbon sources : Emphasis on commercial applications. *Aquaculture*, 502, 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.057>
- Gomes Vilani, F., Schweitzer, R., da Fonseca Arantes, R., do Nascimento Vieira, F., Manoel do Espírito Santo, C., & Quadros Seiffert, W. (2016).** Strategies for water preparation in a biofloc system : Effects of carbon source and fertilization dose on water quality and shrimp performance. *Aquacultural Engineering*, 74, 70-75.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2016.06.002>
- Hachemi, H., & Zouhani, L. (2015). *Détermination des apports en substances bioactives et évaluation de l'activité antioxydante d'umiel de dattes.pdf* [Mémoire de Master, Université A. MIRA - Bejaia].
- Hargreaves, J. A. (2013).** *Biofloc Production Systems for Aquaculture.*

- Hocine, N. E. H. (2017).** *Evaluation de la qualité organoleptique, hygiénique et nutri.pdf* [Mémoire de Master, Faculté : Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre; Université khemis miliana].
- Jauncey, & Ross. (1982).** *A guide to tilapia feed and feeding.*
- Kamal, Y., Moshera, E.-M., & Hend M., A. (2013).** Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia Siliqua L.*). *Food and Public Health*, 3(6), 304-308.
<https://doi.org/10.5923/j.fph.20130306.06>
- Kamilya, Debbarma Mitila, & Pal Prasenjit. (2017).** Biofloc technology application in indoor culture of *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) fingerlings : The effects on inorganic nitrogen control, growth and immunity ScienceDirect. *Chemosphere*, 182.
- Kestemont, P. (1989).** Les Méthodes de Production d'Alevins de *Tilapia nilotica*. *Population (French Edition)*, 5(4), 764. <https://doi.org/10.2307/1523706>
- Khanjani, M. H., Alizadeh, M., & Sharifinia, M. (2021).** Effects of different carbon sources on water quality, biofloc quality, and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings in a heterotrophic culture system. *Aquaculture International*, 29(1), 307-321. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00627-9>
- Kraïem, M. M., & Azaza. (2007).** *Etude de la tolérance a la température et a la salinité chez le tilapia du Nil Oreochromis niloticus (L.) élevé dans les eaux géothermales du sud tunisien.* 34.
- Krishna, C., & Van Loosdrecht, M. C. M. (1999).** Effect of temperature on storage polymers and settleability of activated sludge. *Water Research*, 33(10), 2374-2382.
[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00445-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00445-X)
- Lazard, J. (2007). *LE TILAPIA.*
- Lazard, J. (2009). La pisciculture des tilapias. *Agriculture*, 18(2), 174-182.
<https://doi.org/10.1684/agr.2009.0305>
- Lazard, J., & Legendre, M. (1996).** *La reproduction spontanée du tilapia : Une chance ou un handicap pour le développement de l'aquaculture africaine ?*

- Lévêque, C., Paugy, D., & Teugels, G. G. (Éds.). (1992). *Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest Tome2*. Musée royal de l'Afrique centrale ; Editions de l'ORSTOM.
- Liu, F., Guo, B., Wang, F., Zhang, D., Dong, S., Zhang, B. (2015).** Effect of different thermal regimes on glucose, enzymes involved in glycolysis and HSP70 of *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 46(7), 1707-1720. <https://doi.org/10.1111/are.12328>
- Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., Tan, H. (2014a).** Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture*, 422-423, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.023>
- Madani, R., Seddiki, R. (2019).** *Comparaison des différents types d'extraction de sirop de datte.pdf* [Mémoire de Master]. Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- Martha, P. H.-V., Carlos, I., & Jorge, A. (2014).** Biofloc, a Technical Alternative for Culturing Malaysian Prawn *Macrobrachium rosenbergii*. In H.-V. Martha (Éd.), *Sustainable Aquaculture Techniques*. InTech. <https://doi.org/10.5772/57501>
- Martins, A. M. P., Heijnen, J. J., & van Loosdrecht, M. C. M. (2003).** Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 62(5-6), 586-593. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1384-6>
- Michaud, L., Blancheton, J. P., Bruni, V., & Piedrahita, R. (2006).** Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacultural Engineering*, 34(3), 224-233. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.07.005>
- Mimouni, Y., & Siboukeur, O. (2011).** Etude des propriétés nutritives et diététiques des sirops de dattes extraits par diffusion, en comparaison avec les sirops à haute teneur en fructose (isoglucoses), issus de l'industrie de l'amidon. *Annales des Sciences et Technologie*, 3(1).
- MPRH. (2005).** *Aquaculture en Algérie*.
- Mtalai, S. (2021).** *Caractérisation pomologique et biochimique des caroubes de la région de Mekkès et Khénifra* [Mémoire de Master]. Université de Sidi Mohamed Ben Abdallah.
- Nelson, J. S. (2006).** *Fishes of the world* (4th ed). John Wiley.

- Nisar, U., Peng, D., Mu, Y., Sun, Y. (2022).** A Solution for Sustainable Utilization of Aquaculture Waste : A Comprehensive Review of Biofloc Technology and Aquamimicry. *Frontiers in Nutrition*, 8, 791738. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.791738>
- Nootong, K., Pavasant, P., & Powtongsook, S. (2011).** Effects of Organic Carbon Addition in Controlling Inorganic Nitrogen Concentrations in a Biofloc System. *Journal of the World Aquaculture Society*, 42. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2011.00472.x>
- Ogello, E. O., Outa, N. O., Obiero, K. O., Kyule, D. N., Munguti, J. M. (2021).** The prospects of biofloc technology (BFT) for sustainable aquaculture development. *Scientific African*, 14, e01053. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01053>
- Oliveira, L. K., Wasielesky, W., Tesser, M. B. (2022).** Fish culture in biofloc technology (BFT) : Insights on stocking density carbon sources, C/N ratio, fish nutrition and health. *Aquaculture and Fisheries*. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2022.08.010>
- Ouattara, I. N., Iftime, A., Antipa, G. (2009).** *Âge et croissance de deux espèce de cichilidea : Oreochromis niloticus (LINNAEUS, 1758) et Sarotherodon melanotheron (RÜPPELL, 1852) du lac de Barrage d'Ayamé (Cote d'ivoire, Afrique de l'OUEST).* 313-324.
- Panigrahi, A., Otta, Subhendu. K., KK.Vijayan, CP.Balasubramanian, Jayanthi, M., R.Saraswathy, Kannappan, S., Rekha, P. N., Ravisankar, T., Dayal, J. S., Vasagam, K. P. K., Anand, P. S., Kumar, S., Sandeep, K. P., Vinay, T., Sudheer, N. S., Biju, I. F., Aravind, R. (2019).** *Biofloc Technology for Nursery and Growout Aquaculture.*
- Paugy, D., Lévêque, C. (2003).** *Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest, vol. 1 & 2 Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris.*
- Pauly, MOREAU, PREIN. (1988).** *A comparision of overall growth performance of Tilapia in open waters and aquaculture.* WorldFish.
- Pompa, T., Masser, M. (1999).** *Tilapia : Life History and Biology.*
- Prajith. (2012).** *Application of Biofloc Technology (BFT) in the nursery rearing and farming of giant freshwater prawn, Macrobrachium rosenbergii (deMan).*
- Prangnell, D. I., Ali, A. S., Browdy, C. L., Castro, L. F., Zimba, P. V., Laramore, S. E., Samocho, T. M. (2016).** *Some Limiting Factors in Superintensive Production of Juvenile*

- Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in No water exchange, Biofloc dominated Systems. *Journal of the World Aquaculture Society*. <https://doi.org/10.1111/jwas.12275>
- Ray, A. J., Lotz, J. M. (2014).** Comparing a chemoautotrophic-based biofloc system and three heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate sources. *Aquacultural Engineering*, 63, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.10.001>
- Rechidi. (2018).** *Alimentation des poissons Tilapia au stade juvénile à base d'un aliment fabriqué avec des ressources locales*. ENSSMAL.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., Brunet, R. (2009).** *L'analyse de l'eau—9ème édition—Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer (9e édition)*. Dunod.
- Rostika, R. (2014).** The reduction feed on shrimp vaname (*Litopenaeus vannamei*) replaced by the addition biofloc in Ciamis District. *Research Journal of Biotechnology*, 9, 56-59.
- Rouwenhorst, R. J., Jzn, J. F., Scheffers, W. A., van Dijken, J. P. (1991).** Determination of protein concentration by total organic carbon analysis. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 22(2), 119-128. [https://doi.org/10.1016/0165-022x\(91\)90024-q](https://doi.org/10.1016/0165-022x(91)90024-q)
- Samocha, T. M. (2019).** *Sustainable biofloc systems for marine shrimp*. Academic Press : Elsevier.
- Schweitzer, R., Arantes, R., Costódio, P. F. S., Do Espírito Santo, C. M., Arana, L. V., Seiffert, W. Q., & Andreatta, E. R. (2013).** Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering*, 56, 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.04.006>
- Shyne Anand, P., Kohli, M. P. S., Dam Roy, S., Sundaray, J. K., Kumar, S., Sinha, A., Pailan, G., & Munilkumar, S. (2013).** Effect of dietary supplementation of periphyton on growth performance and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*. *Aquaculture*, 392–395, 59-68. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.01.029>
- Sontakke, R., Tiwari, V. K., Kurcheti, P., Asanaru Majeedkutty, B. R., Ande, M. P., & Haridas, H. (2021).** Yam-based biofloc system improves the growth, digestive enzyme activity, bacterial community structure and nutritional content in milkfish (*Chanos chanos*). *Aquaculture Research*, 52(7), 3460-3474. <https://doi.org/10.1111/are.15190>

Tacon, A. g. j., Cody, J. j., Conquest, L. d., Divakaran, S., Forster, I. p., & Decamp, O. e. (2002). Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition*, 8(2), 121-137. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2002.00199.x>

Thabet, R. (2017). *Étude comparative de l'élevage du Tilapia du Nil « Oreochromis niloticus » entre les eaux douces et géothermales en Tunisie—Sécheresse info*. Institut Supérieur de Pêche et d'Aquaculture de Bizerte - Tunisie.

Timmons, & Ebling. (2010). *Recirculating Aquaculture* (2^e éd.). Cayuga Aqua Ventures.

Trewavas, E. (1983). *Tilapiine fishes of the genera Sarotherodon, Oreochromis, and Danakilia* (Vol. 1983). British Museum (Natural History).
<https://doi.org/10.5962/bhl.title.123198>

Wang, G., Yu, E.-M., Xie, J., Yu, D., Li, Z., Luo, W., Qiu, L., & Zheng, Z. (2015). Effect of C/N ratio on water quality in zero-water exchange tanks and the biofloc supplementation in feed on the growth performance of crucian carp, *Carassius auratus*. *Aquaculture*, 443. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.015>

Wasielesky, W., Atwood, H., Stokes, A., & Browdy, C. L. (2006). Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258(1), 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>

Webster, & Lim. (2002). *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. CABI

Wei, Y., Wang, A., & Liao, S. (2020). Effect of different carbon sources on microbial community structure and composition of ex-situ biofloc formation. *Aquaculture*, 515, 734492. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734492>

Widanarni, Ekasari, J., & Maryam, S. (2012). Evaluation of Biofloc Technology Application on Water Quality and Production Performance of Red Tilapia *Oreochromis sp.* Cultured at Different Stocking Densities. *HAYATI Journal of Biosciences*, 19(2), 73-80. <https://doi.org/10.4308/hjb.19.2.73>

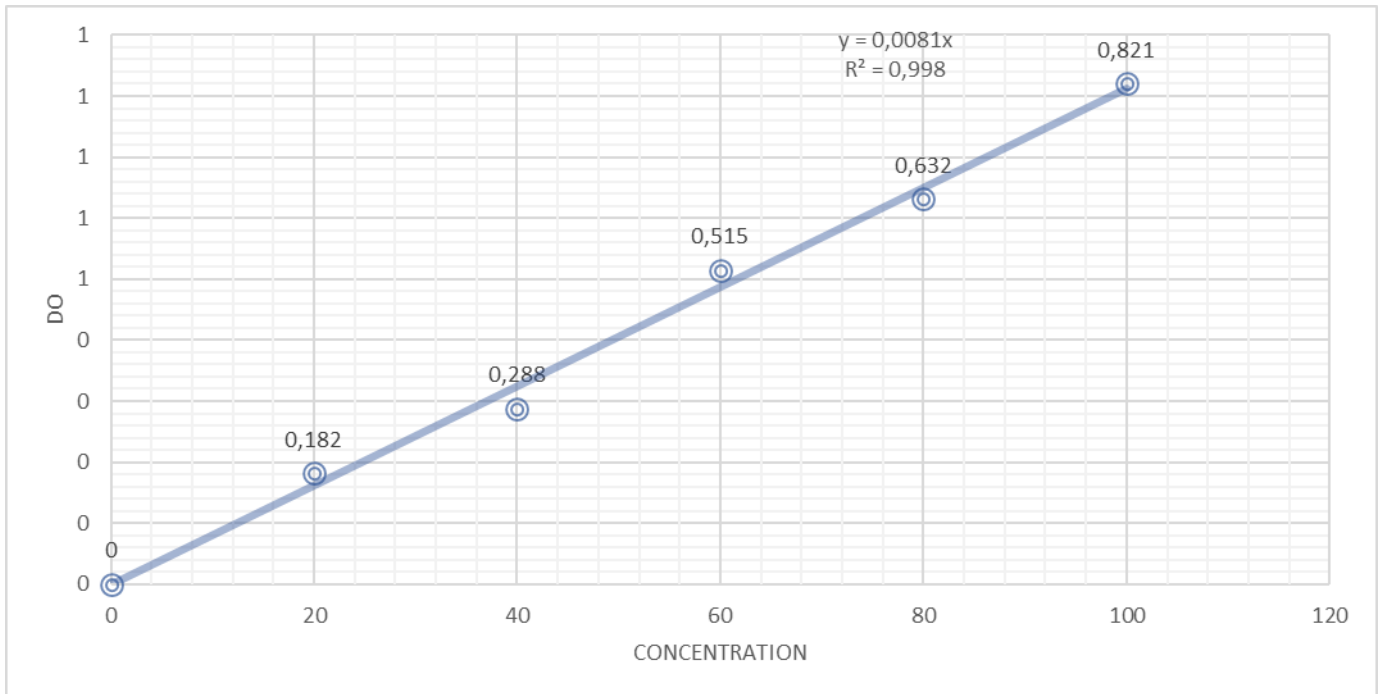
Wilén, B.-M., & Balmér, P. (1999). The effect of dissolved oxygen concentration on the structure, size and size distribution of activated sludge flocs. *Water Research*, 33(2), 391-400. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00208-5)

- Winemiller, K., Layman, C., Arrington, D., & Jepsen, D. (2005).** Body size and trophic position in a diverse tropical food web. *Ecology*, 86, 2530-2535. <https://doi.org/10.1890/04-1098>
- Xu, W., Xu, Y., Su, H., Hu, X., Yang, K., Wen, G., & Cao, Y. (2020).** Characteristics of Ammonia Removal and Nitrifying Microbial Communities in a Hybrid Biofloc-RAS for Intensive *Litopenaeus vannamei* Culture : A Pilot-Scale Study. *Water*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/w12113000>
- Xu, W.-J., Morris, T. C., & Samocha, T. M. (2016).** Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system. *Aquaculture*, 453, 169-175. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.11.021>
- Yu, Z., Li, L., Zhu, R., Li, M., Duan, J., Wang, J.-Y., Liu, Y.-H., & Wu, L.-F. (2020).** Monitoring of growth, digestive enzyme activity, immune response and water quality parameters of Golden crucian carp (*Carassius auratus*) in zero-water exchange tanks of biofloc systems. *Aquaculture Reports*, 16, 100283. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100283>
- Zemor, J. C., Wasielesky, W., Fóes, G. K., & Poersch, L. H. (2019).** The use of clarifiers to remove and control the total suspended solids in large-scale ponds for production of *Litopenaeus vannamei* in a biofloc system. *Aquacultural Engineering*, 85, 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2019.03.001>
- Zerouali, A., & Hamimi, H. (2019). *Valorisation de la mélasse de canne à sucre pour la production du bioéthanol.pdf* [Mémoire de fin d'étude, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem].

Annexes

Annexe 1

Courbe d'étalonnage du dosage des glucides



Annexe 2 :***BMC projet innovant*****BIOF-AQUA ; création d'une ferme écologique et durable d'élevage de tilapia en sursème biofloc**

L'Algérie, riche en ressources naturelles, offre un immense potentiel pour le développement de l'aquaculture durable. Dans ce contexte, notre projet qui est dans le cadre de AQUA-TECH vise à créer une ferme d'élevage de tilapia en utilisant un système biofloc alimenté avec une source de carbone locale qui est le sirop de datte. Le système biofloc est une méthode innovante qui favorise la production de poissons tout en minimisant les impacts environnementaux. Cette présentation mettra en évidence la problématique actuelle de l'aquaculture en Algérie et proposera une solution durable et rentable pour répondre à cette demande croissante en protéines de poisson.

L'Algérie, en particulier dans les zones sahariennes, fait face à des défis importants liés à la disponibilité limitée des ressources hydriques. La rareté de l'eau est un obstacle majeur pour le développement de l'agriculture et de l'élevage dans ces régions. De plus, l'intensification de la production agricole et aquacole, notamment l'élevage intensif de tilapia, peut entraîner une utilisation excessive de l'eau, aggravant ainsi la pression sur les ressources hydriques déjà limitées ainsi qu'une pollution de l'eau et une dégradation de l'écosystème aquatique. Cette situation crée une problématique critique en matière de sécurité alimentaire et de durabilité.

Notre solution innovante de ferme d'élevage de tilapia en système biofloc alimenté avec le sirop de datte offre une réponse adaptée à la problématique de l'utilisation limitée des ressources hydriques en Algérie, en particulier dans les zones sahariennes où la source de carbone utilisé (sirop de datte) est aussi très disponible.

L'entreprise va commercialiser son produit dans la région du Sud (distribution régionale) pour les clients suivants :

- Les mandataires (revendeurs)
- Les détaillant
- Les restaurants

- Les transformateurs
- Les collectivités publiques (établissements d'enseignements, hôpitaux...)

Approche économique :

1. Coûts des infrastructures

	Montant	Durée d'amortissement (ans)	Amortissement (DA/an)
Terrain	2000000		
Réalisation et équipement de forage	1200000	10	120000
Hangar	10800000	20	540000
Bâtiment administratif et écloserie	5000000	20	250000
Installation électrique	103000	5	20600
Bassins en béton 10 m3	600000	20	30000
Bassins en béton 150 m3	400000	20	20000
Bacs carré en polyester	180000	5	36000
Aquariums	30000	5	6000
Bassins circulaire 10m3	1440000	10	144000
Bassins circulaire 30m3	2400000	10	240000
Chaudière industrielle	5500000	10	550000
Chambre froide	2500000	10	250000
Totale	30153000		2206600

2. Coûts des équipements :

	Montant	Durée d'amortissement (ans)	Amortissement (DA/an)
Matériel de transport et conditionnement	2730000	5	546000
Tuyauterie PVC	517070	10	51707
Équipement mécanique et hydraulique	1214000	10	121400
Matériel d'analyse de laboratoire	100000	5	20000
Matériels de pêche	91560	5	18312
Totale	4652630		757419



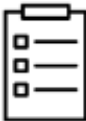




3. Coûts de fonctionnement :

	Montant (DA)	Montant (DA)/3lots
Main d'œuvre	5846640	
Cheptel géniteurs	1280000	
Aliment	8321812,2	24965436,6
Sirop de datte	373752	1121256
Produits de traitement	177800	533640
Energie	646097	
Fournitures divers	500000	
Total		34893069,6

4. Bénéfice du projet :

	Montant (DA)
Coûts de fonctionnement	34893069,6
Amortissement globale	2206600
Valeur marchande	400
Prix de vente/ année	60000000
Bénéfice / année 150 tonnes	22900330,4

BMC

<p>Partenaires clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'ANAD/ ASF • Ministère de la pêche et de l'aquaculture • Ministère de commerce • Vendeurs d'aliment de poisson • Banques 	<p>Activités Clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Production et vente de poissons • Production et vente du biofloc • Service après-vente <p>Ressources clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concession • Financement • Equipement • RH 	<p>Propositions de valeur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produit de meilleur qualité nutritionnelle • Protection de l'environnement • Sécurité et tracabilité • Réduction des coûts • Innovation et collaboration 	<p>Relation Client</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resaux sociaux • Face à face • Service clientèle <p>Canaux</p> <p>Sur le plan régional :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Poissonnier • Point de vente • Vente directe au niveau de la ferme • Service en ligne 	<p>Clients</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les mandataires (revendeurs) • Les détaillant • Les restaurants • Les transformateurs • Les collectivités publiques (établissements d'enseignements, hôpitaux...) <p>Fermes aquacoles d'eau douce</p> 
<p>Coûts</p> <p>Coûts d'infrastructure (30 153 000 DZD) Coûts d'équipements (4 652 630 DZD)</p> <p>Coûts de fonctionnement (34 893 069 DZD)</p>  <p>Total : 34 893 069 DZD</p>		<p>Revenus</p> <p>Vente de poisson</p> <p>Vente du biofloc</p>  <p>Total : 60 000 000DZD</p>		

ملخص

نهجًا مبتكرًا (BFT) تلعب الاستزراع السمكي دورًا حاسمًا في إنتاج الغذاء على المستوى العالمي، وتقدم تكنولوجيا البايوفلوك لتربية الأنواع المائية بكفاءة واستدامة. ركزت هذه الدراسة على تقييم مصادر الكربون المحلية المختلفة (مسحوق الخروب، شراب السكر، وشراب التمر) في نظام البايوفلوك لتربية سمك التيلابيا النيلي في الجزائر.

أظهرت النتائج أن نظام البايوفلوك يتطلب مرحلة تحضيرية، ولكن بمجرد تأسيسه، يعمل على تحسين جودة المياه وأداء نمو سمك التيلابيا بشكل ملحوظ مقارنة بالنظام التقليدي لإعادة تدوير المياه. علاوة على ذلك، تبين أن مصادر الكربون المحلية تعتبر بدائل جيدة لشراب السكر والمولاس، دون أن يكون لها أي تأثير سلبي على المعايير البيئية والأداء الزراعي.

تقدم هذه النتائج آفاقاً واعدة لزيادة اعتماد تكنولوجيا البايوفلوك في الاستزراع السمكي، خاصة في المناطق القاحلة التي تعاني من قلة الموارد المائية. يمكن أن تساهم استغلال المنتجات الجانبية الغذائية المستمدة من التمور أو الخروب في دعم استدامة هذا النهج

لكلمات المفتاحية

معدل كربون/ازوت، البلطي النيلي، كسب الكتلة الحيوية، مؤشر التحويل،

Résumé

L'aquaculture joue un rôle crucial dans la production alimentaire mondiale, et la technologie du biofloc (BFT) offre une approche novatrice pour un élevage intensif et durable des espèces aquacoles. Cette étude s'est concentrée sur l'évaluation des différentes sources de carbone locales (poudre de caroube, mélasse de sucre et mélasse de dattes) dans le système BFT pour l'élevage du tilapia du Nil en Algérie.

Les résultats ont montré que le système BFT nécessite une phase préparatoire, mais une fois établie, il améliore significativement la qualité de l'eau et les performances de croissance du tilapia par rapport au système de recirculation d'eau traditionnel. De plus, les sources de carbone locales se sont révélées être des alternatives viables à la mélasse et au sucre, sans impact négatif sur les paramètres du milieu et les performances zootechniques.

Ces découvertes offrent des perspectives prometteuses pour l'utilisation accrue du BFT dans l'aquaculture, notamment dans les régions arides où les ressources hydriques sont limitées. L'utilisation de sous-produits alimentaires à base de dattes ou de caroube pourrait contribuer à la durabilité de cette approche.

Mots clés : systèmes biofloc, Rapport C/N, Tilapia du Nil, source de carbone, gain de biomasse, indic de conversion.

Abstract

Aquaculture plays a crucial role in global food production, and the biofloc technology (BFT) offers an innovative approach for intensive and sustainable farming of aquaculture species. This study focused on evaluating different local carbon sources (carob powder, sugar molasses, and date molasses) in the BFT system for the Nile tilapia farming in Algeria.

The results showed that the BFT system requires a preparatory phase, but once established, it significantly improves water quality and tilapia growth performance compared to the traditional water recirculation system. Furthermore, the local carbon sources proved to be viable alternatives to molasses and sugar, without any negative impact on environmental parameters and zootechnical performance.

These findings provide promising prospects for increased adoption of BFT in aquaculture, especially in arid regions with limited water resources. The utilization of food by-products derived from dates or carob could contribute to the sustainability of this approach.

Key words: biofloc systems, C/N ratio, Nile Tilapia, carbon source, biomass gain, conversion indicator.