Elevage du tilapia du Nile (*Oreochromis niloticus*) en système biofloc : suivi des paramètres du milieu et des performances zootechniques

Date soumission 03 avril 2023
Date acceptation 29 avril 2024

Ammar Dilmi[1,2], *Wahid Refes*[2]
dilmi80@gmail.com

Résumé

L'objectif de ce travail est le suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques du milieu d'élevage durant la phase de maturation, l'étude des performances de croissance et d'utilisation alimentaire chez le tilapia du Nile élevé en système biofloc (BFT) à des ratios carbone/azote (C/N) de 12 et 18. Les résultats de cette étude montrent que la phase de maturation du floc peut durer jusqu'à 6 semaines et qu'elle est caractérisée par des pics de concentrations d'ammonium et des nitrites, une diminution de l'alcalinité et une accumulation des matières en suspension. Les performances de croissance et d'utilisation alimentaire étaient similaires entre les tilapias élevés en eau claire et ceux en système BFT. Dans les groupes BFT, nous avons constaté une baisse de la croissance des tilapias en augmentant le ratio C/N de 12 à 18.
Globalement, le système BFT n'a pas d'effets négatifs sur les performances de croissance et d'utilisation alimentaire du tilapia.

Mots clés : Biofloc, tilapia, ratio C/N, performances zootechniques, paramètres du milieu.

Abstract

The aim of this work is to investigate the evolution of the water quality parameters during the maturation phase, and to evaluate the growth performance and feed utilization efficiency of Nile tilapia raised in a biofloc system (BFT) with carbon/nitrogen (C/N) ratios of 12 and 18. The results of this study indicate that the maturation phase of the biofloc can last up to 6 weeks and is characterized by peaks in ammonium and nitrite concentrations, a decrease in alkalinity, and an accumulation of suspended solids. Growth performance and feed utilization were similar between tilapia raised in clear water and those in BFT system. However, in the BFT groups, a decrease in tilapia growth is observed with increasing C/N ratio from 12 to 18.
Overall, the BFT system has no negative effects on the growth performance and feed utilization efficiency of tilapia.

Keywords: Biofloc, tilapia, C/N ratio, zootechnical performance, water quality.

[1] Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (CNRDPA), Bou-Ismail, Algérie.
[2] Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), Alger, Algérie.

1. Introduction

Le tilapia, poisson des eaux chaudes introduit en Algérie depuis 2002 (Seridi, 2011) représente un bon candidat pour le développement de l'aquaculture continentale en raison de sa croissance rapide, son adaptation à l'élevage à haute densité, sa résistance aux pathologies, son régime alimentaire omnivore et son faible coût de production (Prabu et al., 2019). Ce poisson constitue la principale espèce produite dans les systèmes aquacoles intégrés à l'agriculture, notamment dans les régions du sud de l'Algérie.

La pérennité de l'activité aquacole dans ces régions, nécessite une gestion rationnelle et judicieuse des ressources hydriques limitées. L'utilisation des techniques de production à faible consommation d'eau telles que les systèmes d'élevage avec recirculation d'eau pourrait contribuer au développement de la pisciculture du tilapia à grande échelle. L'intensification de la production nécessite également un traitement des rejets piscicoles chargés en matières organiques pour limiter les effets négatifs sur l'environnement.

La technologie Biofloc (BFT) est une technique durable sur le plan environnemental qui utilise des microorganismes bénéfiques pour absorber l'ammoniac et les nitrites générés par le processus métabolique des animaux aquatiques (Yu et al., 2023). Le système BFT peut fonctionner avec un faible taux de renouvellement d'eau (0.5 à 1% par jour) (Hargreaves, 2013), ce qui permet de minimiser les échanges avec le milieu extérieur et renforcer les mesures de biosécurité dans les fermes aquacoles.

Le tilapia est une espèce qui s'adapte bien à l'élevage en système BFT. Ce dernier impacte positivement les rendements de production, l'indice de conversion alimentaire ainsi que l'état sanitaire des poissons (Choo et Caipang, 2015).

La phase de maturation du biofloc « start-up phase » est caractérisée par des changements des paramètres du milieu, similaires à ceux des systèmes conventionnels de recirculation en aquaculture. La durée de cette phase dépend de plusieurs facteurs tels que la température, le taux de nourrissage et la diversité des microorganismes dans le milieu (Hargreaves, 2013). La manipulation du ratio carbone/azote (ratio C/N) dans le milieu par l'addition de quantités adéquates de source de carbone représente un élément clé dans le contrôle des paramètres du milieu dans le système BFT (Abakari et al., 2021).

Dans cette étude, nous nous avons procédé au suivi de l'évolution des paramètres physico-chimique dans le milieu BFT, durant la phase de « start-up » afin d'évaluer la durée nécessaire pour la maturation du floc. D'autre part, nous avons également étudié l'effet de la variation du ratio C/N sur les paramètres du milieu et les performances zootechniques du tilapia dans le but d'optimiser les conditions d'élevage dans ce système de production.

2. Matériel et méthodes

La partie expérimentale de cette étude a été réalisée au niveau de la station expérimentale de pisciculture marine (SEPM), rattachée au Centre National de Recherche et de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (CNRDPA) de Bou-Ismail.

2.1. Expérience 1 : Evolution des paramètres du milieu durant la phase de maturation du biofloc «start-up»

2.1.1. Dispositif expérimental

L'unité d'élevage comporte trois (3) bacs cylindro-coniques en polypropylène de 350 L de volume utile. Chaque bac est équipé d'un diffuseur d'air pour assurer l'aération et l'agitation du floc et d'un thermostat de 300 W pour maintenir la température autour de 25°C.

Des tilapias adultes d'un poids moyen de 139.8 ± 17.4 g ont été répartis à des densités de stockage initiales de 4, 6 et 11 individus sur les bacs d'élevage 1, 2 et 3 respectivement . Sur une période de 12 semaines, les poissons sont nourris à satiété, avec un aliment commercial de 03 mm à 30% de protéines. L'aliment est distribué à une fréquence de deux (2) fois par jour pendant 05 jours par semaine. Après le dernier repas, la mélasse de sucre est distribuée quotidiennement comme une source de carbone pour ajuster le ratio C/N à 20. La quantité de mélasse nécessaire est calculée selon la formule de Duy et Van Khanh (2018).

2.1.2. Suivi des paramètres du milieu

Les échantillons d'eau prélevés dans les bacs d'élevage sont filtrés à 0.45 µm et conservés à 4°C pour effectuer les analyses physico-chimiques. La température de l'eau, l'oxygène dissous et le pH sont mesurés cinq (05) fois par semaine, avec un multi-paramètre portable.

Les dosages de l'ammonium, les nitrites et de l'alcalinité sont effectués une fois par semaine selon Rodier et al. (2009).

Le volume du floc est déterminé une fois par semaine, selon la méthode décrite par Avnimelech et Kochba (2009). Un litre d'eau d'élevage est versé dans un cône Imhoff, maintenu en position vertical (figure.1). Le volume des matières décantées au fond du cône est déterminé après 20 minutes de sédimentation.

Figure 1. Mesure du volume de floc avec les cônes Imhoff

2.1.3 Performances zootechniques

A la fin de l'expérience, les poissons sont collectés et pesés individuellement pour estimer les performances de croissances et de l'utilisation de l'aliment selon les formules suivantes :

- Taux de survie :S (%) = (Nf / Ni) × 100
- Taux de croissance spécifique :TCS

(% / j) = 100 × [(Ln (PMf) – Ln (PMi)]/ t

-Indice de Conversion :IC = Poids total d'aliment distribué (kg)/ GB (kg)

Nf : Nombre final des poissons. Ni : Nombre initial des poissons. PMf : Poids moyen final des poissons. PMi : Poids moyen initial des poissons. t : temps en jour. GB : gain de biomasse

2.2. Expérience 2 : Effet du ratio C/N sur les paramètres du milieu et les performances zootechnique du tilapia

2.2.1. Dispositif expérimental

L'expérience s'est déroulée sur une période de 72 jours entre les mois de Mars et Mai 2018. L'unité expérimentale, comporte six (06) bacs en polypropylène de 350 L (figure 2). Quatre (04) bacs fonctionnent en système biofloc (BFT) et deux (02) bacs fonctionnent en système de recirculation d'eau (RAS). Chaque bac est équipé d'un thermostat de 500 W pour maintenir la température de l'eau autour de 26°C et de deux diffuseurs d'air pour assurer l'oxygénation et l'agitation du floc. Les bacs du système RAS sont dotés de dispositif de recirculation composé d'un bac de 1700 L contenant les substrats de filtration mécanique et biologique et un bac tampon de 1700 L, équipé d'une pompe de recirculation d'eau.

Les bacs du système BFT sont remplis à 30% d'eau riche en biofloc provenant de l'expérience précédente pour accélérer le développement initial du floc. Au total, 78 individus de tilapia d'un poids moyen d'un 59.5 ± 1.4 g sont répartis sur les six (6) bacs d'élevage à une densité de 13 individus par bac. Trois groupes expérimentaux sont testés en réplicas :

- Groupe BFT12 : Elevage en système biofloc avec un ratio C/N = 12

- Groupe BFT18 : Elevage en système biofloc avec un ratio C/N = 18

- Groupe contrôle (C) : Elevage en eau claire (en système RAS)

Les poissons sont nourris à satiété apparente, avec un aliment artificiel flottant de 03 mm à une fréquence de 3 fois par jour, pendant 06 jours par semaine. Dans les bacs des groupes BFT, le sucre blanc est rajouté quotidiennement pour ajuster le ratio C/N à 12 ou 18, selon Duy et Van Khanh (2018).

Figure 2. Bacs expérimentaux d'élevage du tilapia

2.2.2. Suivi des paramètres du milieu

La température de l'eau, l'oxygène dissous et le pH sont mesurés quotidiennement avec un multi-paramètre portable. L'ammonium, les nitrites et l'alcalinité de l'eau sont dosés deux fois par semaine selon Rodier et al. (2009). Les nitrates sont mesurés une fois par semaine en utilisant des kits colorimétriques (MQuant 1100200001). Le volume du floc est mesuré deux fois par semaine dans les bacs BFT en utilisant deux cônes Imhoff.

2.2.3. Performances zootechniques

A la fin de la période d'élevage (J72), les poissons sont comptés et pesés dans chaque bac pour déterminer les paramètres de

croissance et d'utilisation alimentaire selon les formules suivantes :

- Le taux de survie :S (%) = (Nf / Ni – P) × 100

- Le gain moyen quotidien du poids : GMQ (g/j) = (PMf – PMi) / t

- Taux de croissance relatif :TCR (%) = 100 × (PMf – PMi) / PMi

- Taux de croissance spécifique :TCS (% / j)= 100 × [(Ln (PMf) – Ln (PMi)]/ t

- Indice de Conversion :IC = Poids d'aliment distribué / gain en biomasse

Nf : Nombre final des poissons. Ni : Nombre initial des poissons. PMf : Poids moyen final des poissons. PMi : Poids moyen initial des poissons. t : temps en jour.

2.2.4. Analyse statistique

La comparaison des moyennes des paramètres du milieu et des paramètres zootechniques entre les trois régimes expérimentaux est effectuée en utilisant un test ANOVA-1, suivi par un test Tukey de comparaison multiple lorsque les différences sont significatives ($p<0.05$). L'homogénéité des variances et la normalité des variables sont vérifiée préalablement par les tests de Bartlett, Hartley et Cochran et de Shapiro-Wilk respectivement. Le traitement des données statistique est effectué à l'aide du logiciel STATISTICA 8.0.

3. Résultats et discussions

3.1. Expérience I

3.1.1. Evolution des paramètres du milieu

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques dans les 3 bacs d'élevage sont consignées dans le tableau 1. La température de l'eau varie entre 25 et 28°C, avec des valeurs moyennes autour de 26.6 °C. L'oxygène dissous reste au-dessus de 6 mg/L dans tous les bacs d'élevage. Le pH de l'eau varie entre 7.3 et 7.9, avec des valeurs moyennes supérieures à 7.5.

Les températures de l'eau et l'oxygène dissous ont été maintenues à des valeurs acceptables pour la croissance du tilapia et le développement du floc. Selon (Emerenciano et al. 2017), des températures au-dessous de 20°C et des teneurs en oxygène dissous au-dessous de 4 mg/ l peuvent affecter le développement microbien dans le milieu.

La diminution du pH et de l'alcalinité dans les bacs d'élevage est liée aux processus microbien de l'élimination des déchets azotés par les bactéries nitrifiantes et les bactéries hétérotrophes (Ebeling et al., 2006).

Tableau 1 : Valeurs moyennes des paramètres du milieu dans les 3 bacs d'élevage du tilapia durant la phase de Start-up

Paramètre	Bac1	Bac2	Bac3
T°C	26,68 ± 0,88	26,66±0,87	26,61±0,81
O_2 (mg/L)	6,89 ± 0,46	6,80±0,42	6,79 ± 0,46
pH	7,75 ± 0,06	7,69±0,15	7,60 ± 0,16
NH_4^+ (mg/L)	1,30 ± 1,33	2,04±1,88	2,35 ± 2,77
NO_2^- (mg/L)	1,89 ± 1,40	3,26±2,91	4,96 ± 4,41
ALK (mg/L)	131,7 ± 13,6	132,8±12,2	125,6± 21,6
VF (ml/L)	42,1 ± 38,3	37,1±32,8	47,8± 35,7

La figure 3 montre l'évolution des paramètres physico-chimiques de l'eau dans les 3 bacs d'élevage, durant les 11 semaines de l'expérience. Les concentrations d'ammonium augmentent rapidement dans le milieu au cours des 4 premières semaines, avec des pics dépassant les 9 mg/l dans le bac3. A partir de la 5ème semaine, les teneurs en NH_4^+ diminuent progressivement pour se stabiliser à des valeurs inférieures à 0.5 mg/l à la fin de l'expérience.

Dans les bacs1 et 2, les nitrites s'accumulent dans les 5 premières semaines, pour atteindre des pics supérieurs à 10 mg/l. Ensuite, les concentrations se stabilisent entre 3 et 4 mg/l entre la 7ème et la 10ème semaine et diminuent à des valeurs inférieures à 2 mg/l durant la dernière semaine de l'expérience. Les fluctuations des teneurs en NH_4^+ et NO_2^- sont moins importantes dans le bac1.

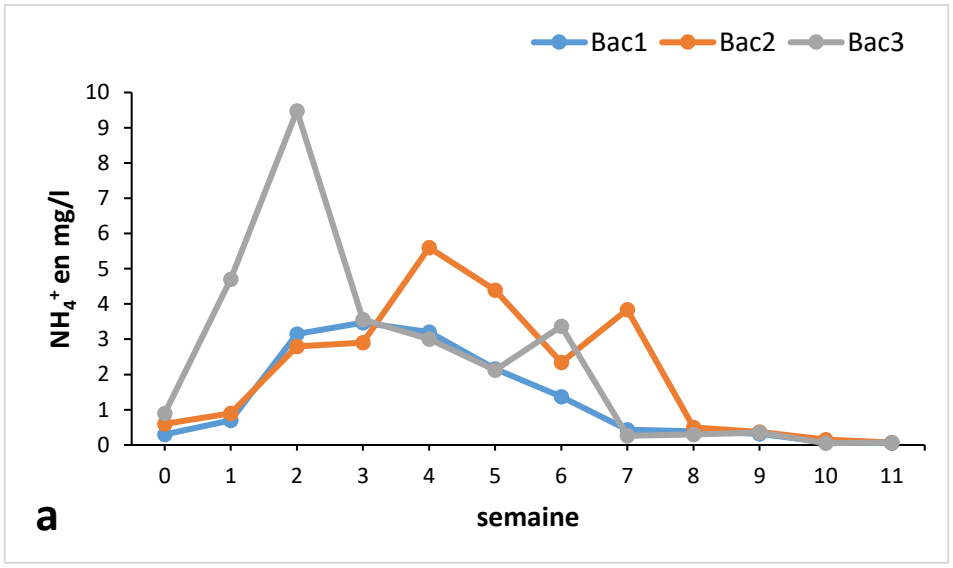
Selon (Hargreaves, 2013), les variations des paramètres du milieu BFT durant le « start-up » sont similaires aux systèmes de recirculation conventionnels, qui sont caractérisé par des pics de concentrations des NH_4^+ suivis par des pics d'NO_2^- au fur et à mesure que les différentes populations de bactéries se développent. La durée de « start-up » dépend de multiples facteurs tels que la température, le ratio C/N, le taux de nourrissage et la diversité des micro-organismes présentes dans le milieu (Hargreaves, 2013). Dans cette expérience, nous avons constaté la stabilisation des concentrations en déchets azotés à partir de la 6ème et la 7ème semaine, ce qui correspond à la durée de maturation du milieu biofloc. L'addition de la mélasse 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 constatées en système BFT, avec des pics de concentrations durant les premières semaines du développement du floc suivis par une diminution progressive (Luo et al., 2014; Ray & Lotz, 2014; Schveitzer et al., 2013; Xu et al., 2020).

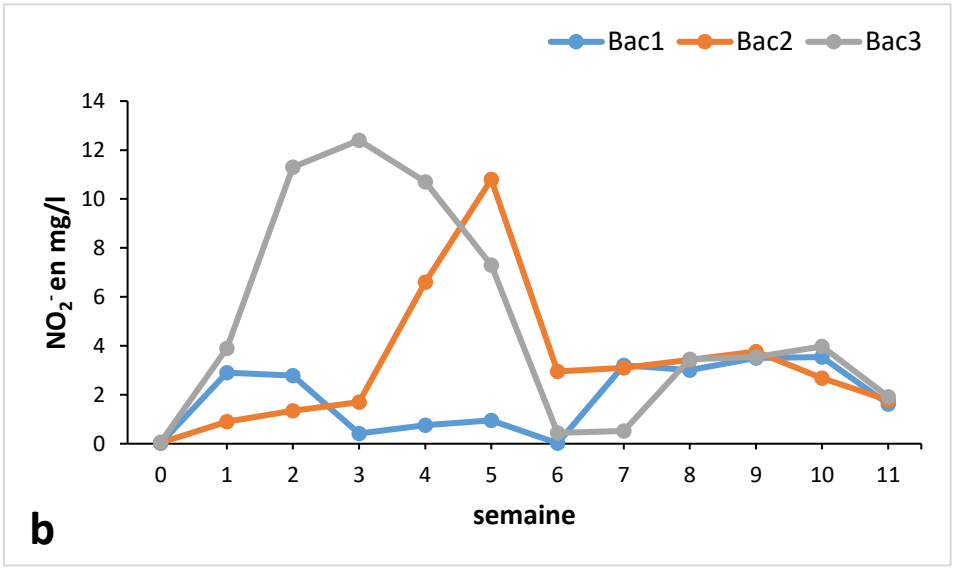
L'utilisation des carbohydrates simples tel que le sucre ou la mélasse durant la phase de démarrage du système BFT permet d'accélérer le développement des bactéries hétérotrophes et le processus d'assimilation de l'azote dans le milieu (Abakari et al., 2021; Gomes Vilani et al., 2016).

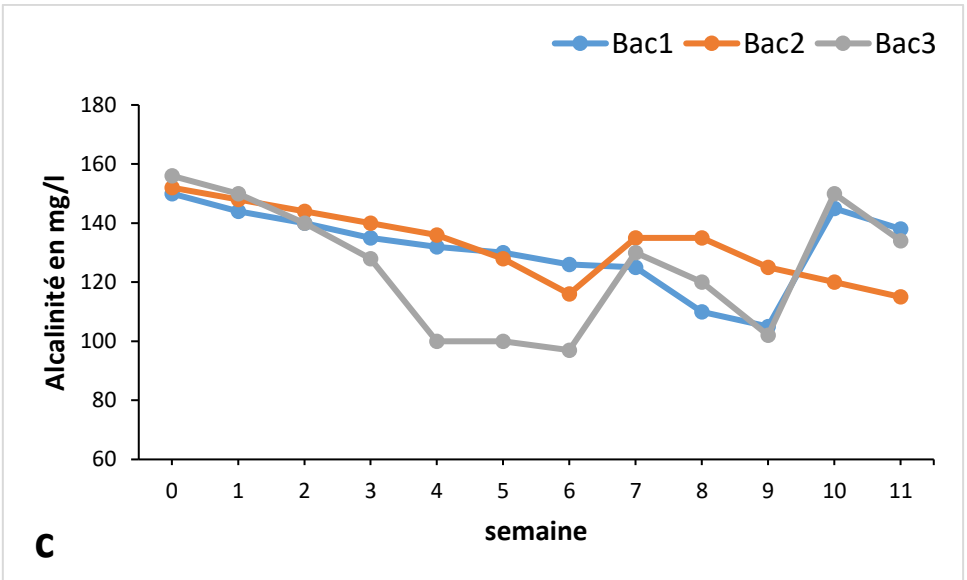
Le moyen le plus efficace pour éliminer les substances azotées toxiques est de favoriser la voie hétérotrophe d'assimilation microbienne par le maintien des ratios C/N appropriés dans le milieu d'élevage (Avnimelech, 1999). Durant la formation initiale du biofloc, l'application de ratios C/N élevés est nécessaire pour le développement et la stabilisation des communautés hétérotrophes dans le milieu BFT (Deng et al., 2020; Emerenciano et al., 2017).

Des concentrations de NH_4^+ et des NO_2^- plus élevées ont été enregistrées dans les bac1 et 2, par rapport au bac 3 à faible densité de stockage. Les déchets azotés sont générés par la dégradation des protéines alimentaires et leurs production est proportionnelle à la biomasse des poissons dans le milieu.

Le volume du floc augmente rapidement dans les bacs d'élevage pour atteindre des pics supérieurs à 100 ml/l entre la 6ème et la 8ème semaine de l'expérience. Ces valeurs sont supérieures aux teneurs optimales recommandées en élevage du tilapia qui sont situées entre 20 et 50 ml/l (Emerenciano et al., 2017).


Bac1
Bac2
Bac3
NH_4^+ en mg/l
semaine
a


Bac1
Bac2
Bac3
NO_2^- en mg/l
semaine
b


Bac1
Bac2
Bac3
Alcalinité en mg/l
semaine
c

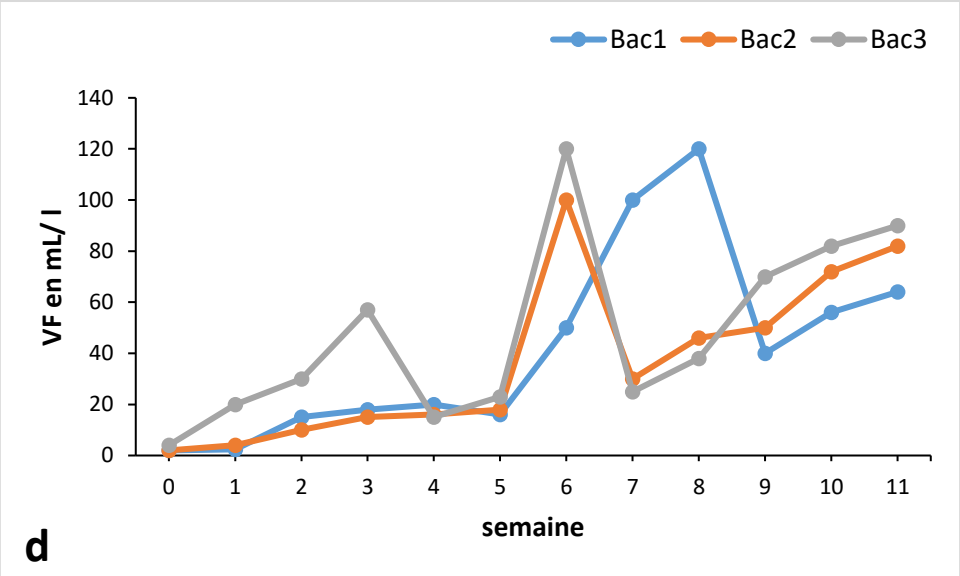


Figure 3. Evolution des paramètres du milieu dans les 3 bacs d'élevage au cours de la période de l'expérience : **(a)** NH_4^+ **(b)** NO_2^- **(c)** Alcalinité **(d)** Volume du floc

3.1.2. Performances zootechniques

Aucun cas de mortalité n'a été enregistré dans les 3 bacs d'élevage au cours de cette expérience. Le suivie de la croissance des poissons dans les 3 bacs d'élevage (tableau 2) montre que les poissons passent d'un poids moyen entre 134 et 145 g au début de l'expérience à des poids entre 170 et 200 g à la fin de l'expérience. Le taux de croissance le plus élevé est enregistré dans le bac1 (0,46 % / j) par rapport aux bacs 2 et 3 (0.34 et 0.25 % respectivement). Le meilleur indice de conversion alimentaire est enregistré dans le bac1.

L'augmentation de la biomasse des poissons durant la phase de maturation du floc a affectée négativement les performances zootechniques dans les bacs d'élevage. Le stress lié à l'accumulation des teneurs en substances azotés toxiques dans le milieu a provoqué une diminution de la croissance et de l'efficacité alimentaire des tilapias notamment dans le bac 3.

Les résultats de cette expérience montrent que l'application de faibles densités de stockage est préconisée en phase de démarrage du système BFT pour mieux contrôler les paramètres du milieu.

Tableau 2 : Performances zootechniques des tilapias élevés à 3 densités d'élevage en système BFT

	BAC1	BAC2	BAC3
Effectif	4	6	11
PMi (g)	145,8	134,7	140,4
PMf (g)	205,3	173,3	169,2
TCS % / j	0,46	0,34	0,25
IC	1,8	3,1	2,9
S %	100	100	100

3.2. Expérience II

Les valeurs moyennes des paramètres du milieu enregistrées au cours de cette expérience sont reportées dans le tableau 3. Nous n'avons pas trouvé de différences significatives entre les 3 groupes expérimentaux concernant la température, l'oxygène dissous et le pH de l'eau. Les valeurs de température et d'oxygène dissous restent dans la limite acceptable pour le bon développement du Tilapia (El-Sayed, 2006).

Les concentrations de NH_4^+ et de NO_2^- étaient plus élevées dans les groupes BFT par rapport au groupe C, avec des différences statistiquement significatives enregistrées pour les NO_2^- entre le groupe BFT12 et le groupe C. Les concentrations des nitrates étaient significativement différentes entre les 3 groupes, avec les valeurs les plus élevées enregistrées dans le groupe BFT12. Les plus faibles concentrations de substances azotées ont été enregistrées dans les bacs du groupe contrôle, ce qui indique l'efficacité du système de filtration mis en place.

En milieu biofloc, trois voies de conversion sont impliquées dans le processus d'élimination de l'azote ammoniacal : L'absorption par les algues photoautotrophes, la nitrification par les bactéries chimioautotrophes et l'assimilation par les bactéries hétérotrophes (Ebeling et al., 2006; Hargreaves, 2006).

Dans le groupe BFT12, les niveaux élevés des nitrites et des nitrates indiquent que la nitrification est le principal processus utilisé pour l'élimination des déchets azotés, avec dominance des bactéries autotrophes qui transforment l'azote ammoniacale en nitrites puis en nitrates. L'augmentation du rapport C/N à 18 dans le groupe BFT18 a favorisé le développement des bactéries hétérotrophes qui assimilent l'azote ammoniacal dans la biomasse microbienne, ce qui explique les faibles concentrations en nitrates dans ces groupes. Généralement, la dominance de la voie hétérotrophe d'absorption de l'azote dans les systèmes BFT est caractérisée par les faibles concentrations de nitrates (Kamilya et al., 2017; Ray & Lotz, 2014). Nos résultats appuient les travaux précédentes, indiquant que l'augmentation du rapport C/N favorise la dominance des bactéries hétérotrophes en système BFT (Liu et al., 2018; Silva et al., 2017; Xu et al., 2016). Xu et al. (2016), suggèrent que le milieu biofloc nettement hétérotrophe est atteint à des ratios C/N au-dessus de 18.

Globalement, les concentrations moyennes des substances azotés (NH_4^+, NO_2^- et NO_3^-) dans tous les groupes expérimentaux restent dans la plage acceptable pour la croissance du tilapia (Monsees et al., 2017; Webster & Lim, 2002). Ces résultats montrent que l'application d'un rapport C/N de 12 en système BFT est suffisante pour maintenir les concentrations des substances azotées à des niveaux acceptables en élevage du tilapia.

L'alcalinité de l'eau était significativement plus élevée dans le groupe BFT18, par rapport au groupes C et BFT12. Dans les systèmes d'élevage intensifs en circuits fermés, le processus de nitrification entraine la baisse de l'alcalinité ce qui provoque une diminution du pH dans le milieu (van Rijn et al., 2006). Les valeurs plus faibles de l'alcalinité dans le groupe BFT12 par rapport au groupe BFT18 sont dues à la contribution plus élevée des bactéries nitrifiantes dans le processus d'élimination de l'azote ammoniacal. Selon Ebeling et al.

(2006), pour chaque gramme d'ammonium converti en nitrate, 7,05 g d'alcalinité sont consommés par les bactéries nitrifiantes, tandis que la conversion de 1 g d'ammonium par les bactéries hétérotrophes consomme 3,57 g d'alcalinité.

Le volume du floc mesuré régulièrement dans les bacs BFT a été significativement plus élevé dans le groupe BFT18 par rapport au groupe BFT12.

L'augmentation des matières décantables avec l'élévation du rapport C/N est liée à l'augmentation de la biomasse microbienne résultante de la croissance des bactéries hétérotrophes. L'élimination de l'azote ammoniacal par les bactéries hétérotrophes produira 40 fois plus de biomasse bactérienne par rapport à l'élimination par les bactéries autotrophes (Ebeling et al., 2006; Xu et al., 2018).

Tableau 3 : Valeurs (moyenne ± écart-type) des paramètres physico-chimiques dans les bacs expérimentaux

	C	BFT 12	BFT 18
T°C	26,15 ± 0,02	25,79 ± 0,17	25,89 ± 0,07
DO mg/l	6,70 ± 0,18	6,85 ± 0,31	6,41 ± 0,14
pH	7,93 ± 0,05	7,91 ± 0,09	7,98 ± 0,03
NH_4^+	0,10 ± 0,02	0,53 ± 0,25	0,33 ± 0,21
NO_2^-	0,035 ± 0,02^a	0,44 ± 0,21^b	0,25 ± 0,10^{ab}
NO_3^-	21,1 ± 2,67^a	56,5 ± 4,32^b	32,4 ± 5,25^c
Alcalinité	156,33 ± 0,22^a	158,65 ± 2,044^a	171,65 ± 1,12^b
Volume floc	-	37,93 ± 4,08^a	43,40 ± 6,99^b

Les valeurs suivies lettres différentes dans la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

Les résultats de la comparaison des performances de croissance entre les 3 groupes expérimentaux sont résumés dans le tableau 4. L'analyse statistique montre que le poids moyen final et le gain moyen quotidien du poids (GMQ) étaient significativement supérieures dans les groupes BFT12 et C par rapport au groupe BFT18 ($p<0.05$). Par ailleurs, aucune différence significative n'a été trouvée pour le taux de croissance spécifique (TCS), le taux de croissance relatif (TCR) et l'indice de conversion alimentaire (IC) entre les 3 groupes. Les performances de croissance et d'efficience alimentaire étaient similaires entre les poissons issus du groupe BFT12 et le groupe contrôle. Des études précédentes n'ont pas trouvés également, d'effets significatifs du milieu BFT sur la croissance des tilapias (Alvarenga et al., 2017; Dilmi et al., 2021; Pérez-Fuentes et al., 2016; Widanarni et al., 2012). Ces résultats peuvent indiquer que les besoins nutritionnelles des poissons ont été satisfaits dans les deux systèmes d'élevage. D'autre part, plusieurs études ont indiquées l'amélioration des performances de croissance et de l'utilisation alimentaire du tilapia dans le système BFT par rapport aux systèmes classiques d'élevage (Azim & Little, 2008; Haraz et al., 2018; Hisano et al., 2019; Liu et al., 2018; Long et al., 2015; Luo et al., 2014; Mirzakhani et al., 2019). L'amélioration des performances de croissance et de l'efficacité alimentaire des poissons en système BFT est liée à l'amélioration de la qualité de l'eau et à l'utilisation de biofloc comme source supplémentaire de nourriture. Durant cette expérience, la contribution du floc dans

l'alimentation des poissons n'est pas mise en évidence.

Dans les bacs BFT, nous avons constaté la diminution de la croissance des tilapias en augmentant le ratio C/N de 12 à 18. Des études antérieures ont montré également la diminution des performances de croissance du tilapia en appliquant des ratios C/N supérieures à 15 en système BFT (Liu et al., 2018; Mirzakhani et al., 2019; Pérez-Fuentes et al., 2016). En élevage de la crevette *Litopenaeus vannamei*, des meilleurs TCS et IC ont été obtenus à des ratios C/N entre 9 et 12 par rapport aux ratios de 15 et 18 (Xu et al., 2016, 2018). Ces auteurs suggèrent que le milieu biofloc à faible rapport C/N dominé par les micro-algues et les bactéries autotrophes est plus bénéfique pour les crevettes par rapport au biofloc dominé par les bactéries hétérotrophes. L'augmentation du ratio C/N peut engendrer l'accroissement rapide de la biomasse microbienne, avec une élévation des matières en suspension et de la demande biologique en oxygène.

La diminution de la croissance des poissons dans le groupe BFT18 est due probablement à l'accumulation des matières en suspension dans le milieu. Généralement, des niveaux élevés de matières en suspension peuvent réduire la croissance et provoquer l'obstruction des branchies chez les poissons et les crevettes (Azim et Little, 2008; Schveitzer et al., 2013).

Tableau 4 : Performances de croissance et d'utilisation alimentaire des tilapias dans les trois groupes expérimentaux

	C	**BFT 12**	**BFT 18**
Poids moyen initial (g)	59,81 ± 2,23	59,38 ± 0,11	59,27 ± 2,12
Poids moyen final (g)	160,19 ± 1,36^{ab}	162,31 ± 9,79^{a}	138,13 ± 0,29^{b}
Taux de croissance spécifique (%/j)	1,37 ± 0,04	1,40 ± 0,09	1,18 ± 0,05
Gain moyen quotidien du poids (g/j)	1,39 ± 0,01^{a}	1,43 ± 0,14^{a}	1,10 ± 0,03^{b}
Taux de croissance relatif (%)	167,99 ± 7,72	173,33 ± 16,99	133,19 ± 7,85
Indice de conversion	1,18 ± 0,002	1,14 ± 0,10	1,29 ± 0,04
Taux de survie (%)	100 ± 0	100 ± 0	92,3 ± 0

Les valeurs suivies lettres différentes dans la même ligne sont significativement différentes (p<0,05).

4. Conclusions

Globalement, cette étude a montré que l'élevage en système BFT, nécessite une phase de préparation du milieu biofloc qui peut durer plus de 6 semaines. Cette phase est caractérisée par de fortes fluctuations des paramètres du milieu, notamment les concentrations en substances azotées, avant la formation du floc et la stabilisation des populations microbiennes dans le milieu.
Le ratio C/N dans le milieu d'élevage est un facteur clé dans le développement et le fonctionnement du système BFT.

L'élévation du ratio C/N est caractérisée par le passage d'un système BFT dominé par les bactéries nitrifiantes vers un système dominé par les bactéries hétérotrophes, avec des influences sur l'évolution des paramètres du milieu. Cette étude a montré qu'il est possible de baisser le ratio C/N jusqu'à 12, sans influencer négativement les performances de croissance et d'utilisation alimentaire du tilapia.

Références bibliographiques

Abakari, G., Luo, G., & Kombat, E. O. (2021). Dynamics of nitrogenous compounds and their control in biofloc technology (BFT) systems: A review. *Aquaculture and Fisheries*, *6*(5), 441-447.

Alvarenga, R. É., de Sales, S. C. M., de Brito , S. T., Santos, C. R., Corrêa, R. D. S., de Oliveira Alves, G. F., . . . Turra, E. M. (2017). Effects of biofloc technology on reproduction and ovarian recrudescence in Nile tilapia. *Aquaculture Research*, *48*(12), 5965-5972.

Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, *176*(3), 227-235.

Avnimelech, Y., & Kochba, M. (2009). Evaluation of nitrogen uptake and excretion by tilapia in bio floc tanks, using 15N tracing. *Aquaculture*, *287*(1), 163-168.

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), 29-35.

Choo, H. X., & Caipang, C. M. A. (2015). Biofloc technology (BFT) and its application towards improved production in freshwater tilapia culture. *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation*, *8*(3), 362-366.

Deng, M., Dai, Z., Senbati, Y., Li, L., Song, K., & He, X. (2020). Aerobic denitrification microbial community and function in zero-discharge recirculating aquaculture system using a single biofloc-based suspended growth reactor: Influence of the carbon-to-nitrogen ratio. *Frontiers in microbiology*, *11*, 1760.

Dilmi, A., Refes, W., & Meknachi, A. (2021). Effects of C/N Ratio on Water Quality, Growth Performance, Digestive Enzyme Activity and Antioxidant Status of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in Biofloc Based Culture System. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *22*(1).

Duy, N. T., & Van Khanh, L. (2018). Effect of molasses addition at different C: N ratios on growth and survival rate of spotted scat (*Scatophagus argus*) fingerling in biofloc system. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *8*(5), 452-459.

Ebeling, J. M., Timmons, M. B., & Bisogni, J. J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, *257*(1), 346-358.

El-Sayed, A.-F. M. (2006). *Tilapia culture*. Wallingford, UK: CABI Publishing.

Emerenciano, M., Martinez-Cordova, L. R., Martinez-Porchas, M., & Miranda-Baeza, A. (2017). Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Management in Aquaculture. Dans H. Tutu (Ed.), *Water Quality*. Rijeka (Croatie): IntechOpen.

Gomes Vilani, F., Schveitzer, 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.

Haraz, Y. G., El-Hawarry, W. N., & Shourbela, R. M. (2018). Culture Performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) raised in a bioflocbased intensive system. *Alexandria Journal for Veterinary Sciences*, *58*(1).

Hargreaves, J. A. (2006). Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquacultural Engineering*, *34*(3), 344-363.

Hargreaves, J. A. (2013). Biofloc production systems for aquaculture. *SRAC Publication*, *4503*.

Hisano, H., Barbosa, P. T., Hayd, L. A., & Mattioli, C. C. (2019). Evaluation of Nile tilapia in monoculture and polyculture with giant freshwater prawn in biofloc technology system and in recirculation aquaculture system. *International Aquatic Research*, *11*(4), 335-346.

Kamilya, D., Debbarma, M., Pal, P., Kheti, B., Sarkar, S., & Singh, S. T. (2017). Biofloc technology application in indoor culture of *Labeo rohita* (Hamilton, 1822) fingerlings: The effects on inorganic nitrogen control, growth and immunity. *Chemosphere*, *182*, 8-14.

Liu, G., Zhu, S., Liu, D., & Ye, Z. (2018). Effect of the C/N ratio on inorganic nitrogen control and the growth and physiological parameters of tilapias fingerlings, *Oreochromis niloticu* reared in biofloc systems. *Aquaculture Research*, *49*(7), 2429-2439.

Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., & Wu, F. (2015). Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, *448*, 135-141.

Luo, G., Gao, Q., Wang, C., Liu, W., Sun, D., Li, L., & Tan, H. (2014). 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.

Mirzakhani, N., Ebrahimi, E., Jalali, S. A. H., & Ekasari, J. (2019). Growth performance, intestinal morphology and nonspecific immunity response of Nile tilapia (Oreochromis niloticus) fry cultured in biofloc systems with different carbon sources and input C:N ratios. *Aquaculture*, *512*, 734235.

Monsees, H., Klatt, L., Kloas, W., & Wuertz, S. (2017). Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (Oreochromis niloticus L.) in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture Research*, *48*(7), 3482-3492.

Pérez-Fuentes, J. A., Hernández-Vergara, M. P., Pérez-Rostro, C. I., & Fogel, I. (2016). C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia Oreochromis niloticus raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture*, *452*, 247-251.

Prabu, E., Rajagopalsamy, C., Ahilan, B., Jeevagan, I. J. M. A., & Renuhadevi, M. (2019). Tilapia–an excellent candidate species for world aquaculture: a review. *Annual Research & Review in Biology*, 1-14.

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.

Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2009). *L'analyse de l'eau - 9e éd.: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer*. Paris (France) : Dunod.

Schveitzer, 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.

Seridi, F. (2011). *L'aquaculture en Algérie: évolution, état actuel et éssai d'analyse de durabilité* [Thèse de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba].

Silva, T. C. d., Rocha, J. D., Moreira, P., Signor, A., & Boscolo, W. R. (2017). Fish protein hydrolysate in diets for Nile tilapia post-larvae. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *52*, 485-492.

van Rijn, J., Tal, Y., & Schreier, H. J. (2006). Denitrification in recirculating systems: Theory and applications. *Aquacultural Engineering*, *34*(3), 364-376.

Webster, C. D., & Lim, C. (2002). *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*. Wallingford, UK: CABI Publishing.

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.

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.

Xu, W.-J., Morris, T. C., & Samocha, T. M. (2018). Effects of two commercial feeds for semi-intensive and hyper-intensive culture and four C/N ratios on water quality and performance of Litopenaeus vannamei juveniles at high density in biofloc-based, zero-exchange outdoor tanks. *Aquaculture*, *490*, 194-202.

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).

Yu, Y.-B., Choi, J.-H., Lee, J.-H., Jo, A.-H., Lee, K. M., & Kim, J.-H. (2023). Biofloc Technology in Fish Aquaculture: A Review. *Antioxidants*, *12*(2), 398.