

Survie, croissance et comportement social des juvéniles de poisson-chat africain *Clarias gariepinus* dans des systèmes aquaponiques non-cyclés

Jude KIFUFU GAFIDJI FIDJI^{1,2*}, Gaétan KALALA BOLOKANGO¹, Patrick MAFWILA KINKELA¹
et Honoré KIATOKO MANGEYE¹

¹ Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Zootechnie,
BP 117 Kinshasa IX, RD Congo

² Université Baptiste au Congo de Kikongo, Faculté des Sciences Agronomiques,
Département de Zootechnie, BP 4728 Kinshasa II, RD Congo

(Reçu le 20 Septembre 2024 ; Accepté le 12 Novembre 2024)

* Correspondance, courriel : kifufufidji@gmail.com

Résumé

La présente étude évalue la possibilité de réaliser un cyclage azoté de nouveaux systèmes aquaponiques avec les poissons comme source d'ammoniaque suivant un empoissonnement progressif. L'expérimentation a porté sur 960 juvéniles de *Clarias gariepinus* ($8,87 \pm 1,64$ g) associés à la culture d'amarante (*Amaranthus viridis*) selon le dispositif complètement randomisé. Les poissons répartis préalablement en 8 lots de 120 individus ont été ensemencés dans les unités aquaponiques en différentes fréquences d'empoissonnement avec un écart de 7 jours entre empoissonnement générant 4 traitements : T₁₂₀ (une fréquence), T₆₀ (deux fréquences), T₄₀ (trois fréquences) et T₃₀ (quatre fréquences). Chaque traitement a été répété deux fois. Les résultats obtenus ont montré que la teneur en NH₄⁺/NH₃ et NO₂⁻ de l'eau a évolué dans le temps suivant la fréquence d'empoissonnement. Leur proportion élevée (>1 mg/l) avec un pH et une température élevés ont entraîné la mortalité totale des poissons des T₁₂₀ et T₆₀. L'évaluation de la croissance a révélé un effondrement de poids durant les premières semaines. A la fin de l'essai, le gain de poids (0,24 et 0,23 g/jour) et le taux de croissance spécifique (1,73 et 1,70 %/jour) respectivement pour les T₄₀ et T₃₀ n'ont pas été significatifs ($p > 0,05$). Le facteur de condition K le plus élevé (0,43) illustre les mauvaises conditions dans lesquelles les poissons ont vécu. Ces résultats montrent que même chargés progressivement, les poissons ne sont pas une meilleure source d'ammoniaque pour un cyclage de l'azote des nouveaux bassins aquaponiques dans les conditions spécifiques de la République Démocratique du Congo.

Mots-clés : empoissonnement progressif, cyclage azoté, Biofiltration, Aquaponie, RD Congo.

Abstract

Survival, growth and social behavior of juvenile of African catfish *Clarias gariepinus* in non-cycling aquaponic systems

The present study evaluates the possibility of carrying out nitrogen cycling of new aquaponic systems with fish as a source of ammonia following a progressive stocking. The experiment involved 960 juveniles of *Clarias gariepinus* (8.87 ± 1.64 g) associated with amaranth (*Amaranthus viridis*) culture according to the completely randomized design with two replicates. The fish previously divided into 8 batches of 120 individuals were stocked in the aquaponic units in different stocking frequencies with a difference of 7 days between stocking generating 4 treatments: T₁₂₀ (one frequency), T₆₀ (two frequencies), T₄₀ (three frequencies) and T₃₀ (four frequencies). The results obtained show that the NH₄⁺/NH₃ and NO₂⁻ content of the water has evolved over time according to the frequency of stocking. Their high proportion (> 1 mg/L) with high pH and temperature resulted in total mortality of T₁₂₀ and T₆₀ fish. The growth assessment revealed a collapse in weight during the first few weeks. At the end of the trial, the weight gain (0.24 and 0.23 g/day) and the specific growth rate (1.73 and 1.70 %/day) for T₄₀ and T₃₀ respectively were not significant ($p > 0.05$). The highest condition factor K (0.43) illustrates the poor conditions in which the fish lived. These results show that even when gradually loaded, fish are not a better source of ammonia for nitrogen cycling in new aquaponic tanks under the specific conditions of the Democratic Republic of Congo.

Keywords : *progressive fish stocking, nitrogen cycling, biofiltration, aquaponics, DR Congo.*

1. Introduction

En République Démocratique du Congo (RDC) particulièrement dans les zones urbaines, les poissons jouent un rôle nutritionnel majeur dans l'alimentation de la population [1]. Cependant, l'insuffisance de la production locale pour résorber la forte demande intérieure impose au pays de recourir continuellement aux importations des poissons qui représentent plus de 48,5 % des denrées animales importées [2]. Certes, la RDC dispose d'un important potentiel halieutique et aquacole non exploité, estimé à 700.000 tonnes de poissons par an, des vastes étendues marécageuses et des vallées hydrographiques à topographie convenable au développement des activités de pisciculture en étangs pour la production des poissons [3 - 5]. Mais, le développement intensif de la pêche est à décourager tout comme la production piscicole intensive suivant le système classique en étangs. Ces pratiques soulèvent actuellement des questions pertinentes relatives à leur durabilité environnementale. Il s'avère dorénavant que les potentialités halieutiques et aquacoles de la RDC soient fortement limitées pour être exploitées en vue de couvrir les besoins en poissons de la population toujours en croissance. Recourir aux importations est une perte de devises, et ne garantit pas non plus la souveraineté ni l'indépendance alimentaires d'un pays [6, 7]. La RDC doit en conséquence envisager d'autres voies de production durable pour assurer la fourniture des produits alimentaires. L'aquaponie représente actuellement au monde la meilleure alternative de production durable des ressources alimentaires saines et près du consommateur [8]. Elle est l'une des techniques prometteuses entièrement écologique considérée comme une réponse efficace pour assurer la production tant des poissons que des légumes dans le respect de l'environnement [9]. Outre la valorisation des effluents d'élevage, l'aquaponie permet la réduction considérable de la consommation en eau de production [10, 11] qui est constamment réutilisée grâce à la filtration mécanique et biologique [12]. Mais si la filtration mécanique est réalisable impeccablement dès la conception du système aquaponique, tel n'en est pas le cas de la filtration biologique. Connue sous le nom de nitrification, le processus de filtration biologique fait intervenir deux catégories de bactéries qui convertissent les déchets métaboliques azotés toxiques dissous dans l'eau. Il suit un rythme régulier appelé cycle de l'azote

qui est le processus le plus important qui crée un environnement de croissance sain pour les communautés vivantes en aquaponie [13]. Cependant, les bactéries nitrifiantes s'installent très lentement dans le système aquaponique pouvant aller jusqu'à 8 semaines. De plus, leur installation n'est pas automatique, il faut les inoculer ou les attirer en leur offrant une source d'ammoniaque et un substrat adéquat de développement [13, 12]. Dans le contexte congolais, l'apport de l'ammoniaque, l'inoculation des bactéries nitrifiantes ou la vérification de leur établissement intégral dans les systèmes aquaponiques en vue d'un empoissonnement idéal au lancement de l'exploitation de l'aquaponie constituent un handicap majeur à cette activité. Or, les poissons sont aussi considérés comme étant une source d'ammoniaque pour cycloser un nouveau bassin aquaponique [12], mais les facteurs environnementaux jouent un rôle prépondérant dans le processus de cyclage de l'azote [14, 15]. Dans les conditions écologiques de la RDC, et particulièrement de Bandundu, est-il possible qu'à faibles densités un empoissonnement progressif des unités aquaponiques assure adéquatement le cyclage de l'azote en garantissant la survie des poissons tout comme l'extériorisation de leurs performances zootechniques? La présente étude se propose d'évaluer la possibilité de cycloser les systèmes aquaponiques avec les poissons suivant un empoissonnement progressif. Spécifiquement, il consiste à l'analyse de la qualité de l'eau, notamment l'évolution du taux des composés azotés (ammoniaque, nitrite et nitrate), les paramètres de croissance, la survie et le comportement social et alimentaire des juvéniles de *Clarias gariepinus* chargés en différentes fréquences dans les systèmes aquaponiques.

2. Matériel et méthodes

Cette étude réalisée du 09 Août au 04 Octobre 2023 a été effectuée dans une station aquaponique expérimentale à Bandundu-ville, chef-lieu de la province du Kwilu en République Démocratique du Congo. La ville de Bandundu est située à 286 m d'altitude et aux coordonnées géographiques 3°19'00" sud et 17°22'00" est.

2-1. Matériel biologique

Deux types de matériel biologique ont fait l'objet d'étude dans ce travail. Le poisson-chat africain *Clarias gariepinus* collecté en milieu naturel par vidange des mares environnant la rivière Kwilu. Les poissons capturés ont préalablement été mis en stabulation durant 14 jours dans des bassins vidangeables installés au sein de la station expérimentale et remplis à 200 litres d'eau en vue d'une acclimatation aux conditions de captivité et une adaptation à l'alimentation artificielle. L'eau de ces bassins vidangeables était quotidiennement renouvelée au taux de 30 %. Durant la période d'acclimatation, les poissons étaient nourris à satiété tandis que pour la période expérimentale, le taux de nourrissage a été de 3 % de la biomasse totale. Le repas était distribué deux fois par jour (9h et 16h). Le deuxième matériel biologique est l'amarante verte *Amaranthus viridis* germée dans une pépinière de 2 m², puis transplantée dans les systèmes aquaponiques après 14 jours post-germination aux écartements de 15 cm x 15 cm. La transplantation des plantules d'amarante en aquaponie était effectuée au 7^e jour après le premier empoissonnement, puis au 32^e jour après que le premier cycle de culture ait été clôturé.

2-2. Conduite expérimentale

Le dispositif complètement randomisé était constitué de 8 unités aquaponiques couplées identiques disposant chacune d'un bac d'élevage contenant 250 litres d'eau de robinet déchlorée, d'un lit de culture de 1 m² avec des graviers (quartz) comme substrat rempli à 15 cm de hauteur, un filtre à tourbillon et un réservoir d'eau chacun de 60 litres. Une pompe à air d'une capacité de 3000 l/h fournissait l'oxygène dans le bassin d'élevage. La **Figure 1** présente l'illustration schématique d'une unité aquaponique.

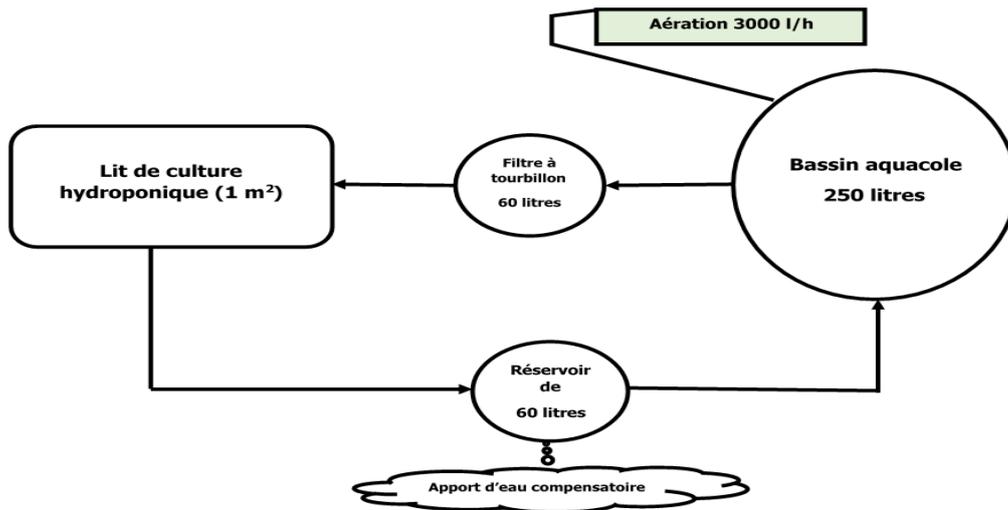


Figure 1 : Illustration schématique d'une unité aquaponique. Les flèches indiquent le sens de la circulation de l'eau dans le système aquaponique

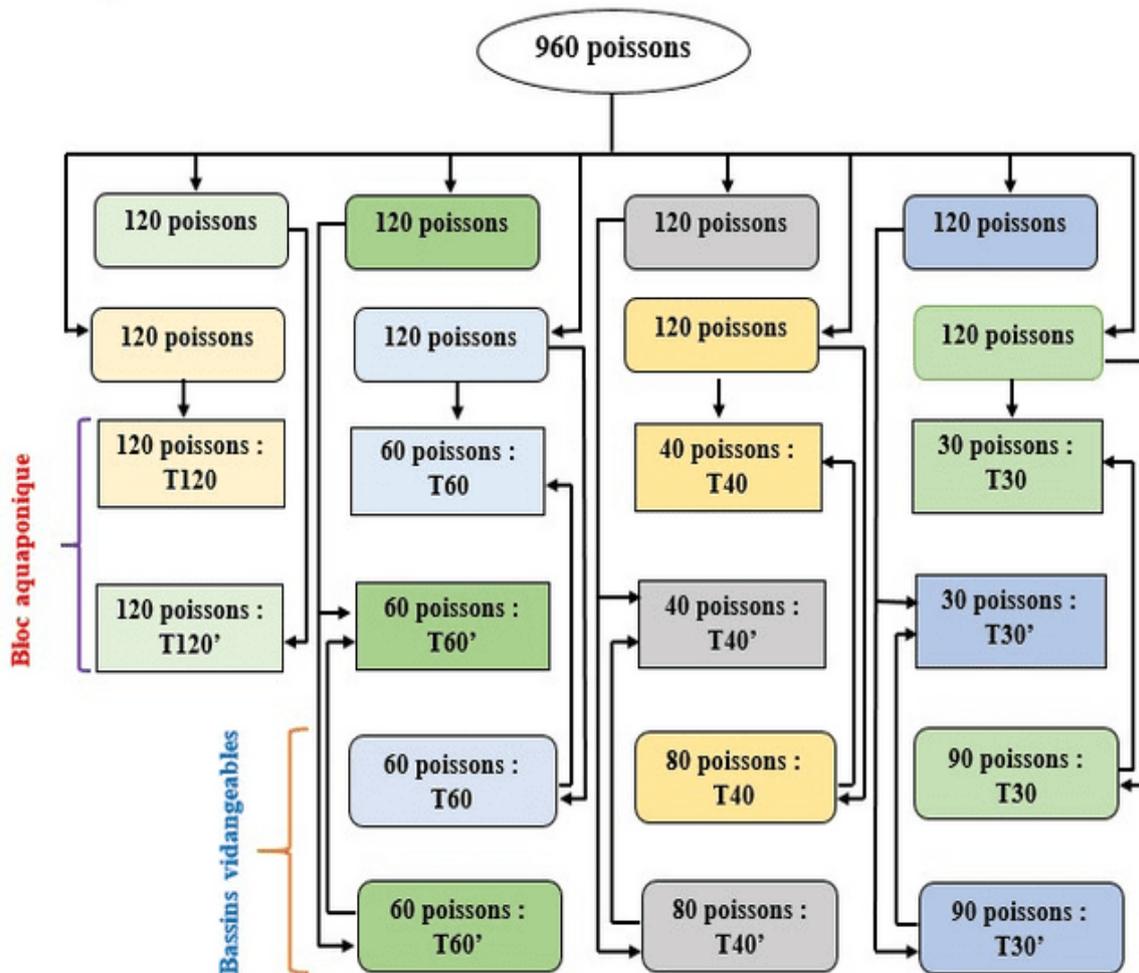


Figure 2 : Diagramme de répartition des poissons en différents lots expérimentaux

Au total 960 juvéniles de *C. gariepinus* d'un poids moyen $8,87 \pm 1,64$ g ont été préalablement répartis en 8 lots homogènes de 120 individus et gardés dans des bacs vidangeables. Le chargement dans les systèmes

aquaponiques s'est effectué progressivement avec un intervalle de 7 jours entre empoissonnement générant quatre traitements suivant la répartition représentée par la **Figure 2**.

- T₁₂₀: empoissonnement en une seule fréquence de 120 poissons
- T₆₀: empoissonnement en deux fréquences de 60 poissons
- T₄₀: empoissonnement en trois fréquences de 40 poissons
- T₃₀: empoissonnement en quatre fréquences de 30 poissons

Chaque traitement a été répété deux fois et affecté aux unités expérimentales de façon aléatoire. Les poissons qui n'étaient pas ensemencés dans les systèmes aquaponiques étaient suivis dans des bassins vidangeables. L'aliment distribué était complet, de type granulé dosant 45 % de protéines, 27 % de lipides, 10 % de glucides, 0,9 % de phosphore et son énergie est de 21 MJ.kg⁻¹.

2-3. Suivi des poissons et récolte des données

Durant les quatre premières semaines, les pêches de contrôle dans les bassins vidangeables et les systèmes aquaponiques ont eu lieu avant chaque empoissonnement. Après la mise en charge du dernier lot de poissons, aucune pêche de contrôle n'a été réalisée jusqu'à la fin de l'expérimentation. Lors des pêches de contrôle et à la fin de l'essai, un échantillon de 15 poissons était mesuré en utilisant un ichtyomètre millimétré et pesé à l'aide d'une balance de précision 0,1 g et de portée 5000 g. Les performances zootechniques comprennent le gain de poids (GP), le taux de croissance des poissons (TC), le taux de croissance spécifique (TCS), le taux de survie (TS) et le facteur de condition K. Le comportement social et alimentaire des poissons était suivi par observation visuelle lors des empoissonnements et après chaque nourrissage. Les individus portant des blessures et des traces de blessures caractérisant l'agressivité et le cannibalisme étaient répertoriés et comptés [16]. Les poissons vivants portant des blessures mortelles étaient remplacés par d'autres de même poids. La mortalité était relevée tous les jours, et les poissons morts retirés des bacs d'élevage. En cas de mortalité dans les bassins vidangeables, le poisson mort était pesé et remplacé par un autre poisson vivant de même poids. Les paramètres végétaux étudiés sont la longueur des tiges, le diamètre au collet, le nombre, la longueur et la largeur des feuilles. Ils ont été prélevés le jour de la transplantation et à 21 jours après le repiquage. Les paramètres de la qualité de l'eau étaient prélevés tous les jours à l'aide d'un kit complet de testage de la qualité de l'eau pour l'ammoniaque (NH₄⁺), le nitrite (NO₂⁻), le nitrate (NO₃⁻), la dureté carbonatée (KH) et la dureté totale (GH). Le multimètre HACH POCKET PRO a permis la mesure de la température (T°), le potentiel d'hydrogène (pH), l'oxygène dissous (DO), l'électroconductivité (EC) et le taux de solides dissous (TDS). Ces prélèvements étaient réalisés une fois tous les jours dans l'avant midi.

2-4. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées au moyen du package Rcmdr du logiciel R version 4.3.0 et de Microsoft Excel 365. Les variables de la qualité physicochimique de l'eau ont été soumises à une analyse de la corrélation de Pearson et à l'analyse de la variance. Le test de significativité détermine une liaison entre différentes variables à la probabilité de 0,01 et 0,05. Les données relatives aux performances de croissance de poissons ont été traitées par analyse de la variance à un facteur. Le test de comparaison multiple de Newman Keuls a permis de déterminer les différences significatives entre les moyennes au seuil de significativité de 0,05. Les taux de mortalité et de cannibalisme en fonction de la fréquence d'empoissonnement ont été soumis au test de Chi-carré de conformité au seuil critique de 0,05.

3. Résultats

3-1. Qualité de l'eau

L'évaluation de la qualité de l'eau s'est faite pour les bassins vidangeables et pour les systèmes aquaponiques. Les valeurs moyennes des caractéristiques de la qualité physico-chimique de l'eau sont présentées dans le **Tableau 1**. La température et le pH n'ont pas varié entre les traitements des bassins vidangeables ($p > 0,05$). L'oxygène dissous a été inférieur à 5 mg/l pour tous les traitements des bassins vidangeables. Quant aux composés azotés, il n'y a été relevé aucune concentration de nitrite ni de nitrate contrairement à l'ammoniaque qui y était de l'ordre de $2,6 \pm 0,16$ mg/l pour le T_{60} , $3,7 \pm 0,43$ mg/l pour le T_{40} et $3,4 \pm 0,3$ mg/l pour le T_{30} . Le bassin T_{60} a enregistré des taux moins élevés en ammoniaque par rapport à ceux de T_{40} et T_{30} ($p < 0,05$).

Tableau 1 : Valeurs moyennes des paramètres de la qualité physico-chimique de l'eau des bassins vidangeables et des bassins aquaponiques

	T°	pH	OD	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁺	EC	KH	GH	TDS
Bassins vidangeables										
T ₁₂₀	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
T ₆₀	28,4 ± 1,8	9,4 ± 0,3	3,75 ± 0,7	2,6 ± 0,1 ^a	0	0	269 ± 12,4 ^a	6,7 ± 0,1	8,6 ± 0,2	321 ± 13,4
T ₄₀	28,0 ± 1,6	9,3 ± 0,4	2,50 ± 0,2	3,7 ± 0,4 ^b	0	0	242 ± 15,5 ^b	4,9 ± 0,4	7,6 ± 0,2	298 ± 17,1
T ₃₀	28,2 ± 1,4	9,3 ± 0,3	4,69 ± 0,4	3,4 ± 0,3 ^b	0	0	167 ± 13,1 ^c	6,9 ± 0,7	8,0 ± 0,5	283 ± 13,0
p-value	0,982	0,863	0,084	0,023	NA	NA	0,002	0,304	0,126	0,321
Bassins aquaponiques										
T ₁₂₀	28,7 ± 1,6	9,8 ± 0,8	8,6 ± 0,7	7,8 ± 0,3	1,3 ± 0,5	0	427 ± 14,6 ^a	4,6 ± 0,4	6,9 ± 0,6	309 ± 10,4
T ₆₀	28,3 ± 0,8	9,5 ± 0,7	7,5 ± 0,4	7,4 ± 1,0	1,5 ± 0,5	0	371 ± 21,3 ^a	6,7 ± 0,1	8,6 ± 0,2	321 ± 13,4
T ₄₀	27,9 ± 1,2	9,6 ± 0,4	9,8 ± 0,2	8,1 ± 0,7	1,2 ± 0,5	3,8 ± 5,2 ^a	520 ± 14,1 ^c	4,9 ± 0,4	7,6 ± 0,2	298 ± 17,1
T ₃₀	28,1 ± 1,4	9,0 ± 0,5	8,69 ± 0,9	8,1 ± 0,5	1,3 ± 0,5	1,6 ± 2,8 ^b	656 ± 17,5 ^b	6,9 ± 0,7	8,0 ± 0,5	283 ± 13,0
p-value	0,578	0,942	0,120	0,193	0,351	0,013	0,006	0,538	0,126	0,321

Les valeurs sur la même colonne portant des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 0,05. NA : non applicable. Nd : non déterminé car il n'y a pas de T₁₂₀ des bassins vidangeables, les poissons étant empoisonnés en une seule fréquence en aquaponie.

Dans les bassins d'élevage aquaponique, la température de l'eau n'a pas aussi varié entre les traitements dont les valeurs moyennes ont été de $28,7 \pm 1,6$ pour T₁₂₀, $28,3 \pm 0,8$ pour le T₆₀, $27,9 \pm 1,2$ pour le T₄₀ et $28,1 \pm 1,4$ pour le T₃₀. Le pH de l'eau a été basique durant toute la période de l'essai, et a été $9,8 \pm 0,8$ pour T₁₂₀, $9,5 \pm 0,7$ pour T₆₀, $9,6 \pm 0,4$ pour T₄₀ et $9,0 \pm 0,5$ pour T₃₀. Aucune différence significative de pH n'a été enregistrée entre les traitements ($p > 0,05$). La teneur en oxygène dissous a varié entre 6,5 et 9,8 pour tous les traitements. L'électroconductivité (EC) est restée en deca de 300 µS/cm pour les trois traitements des bassins vidangeables. En aquaponie, les valeurs maximales ont atteint $656 \pm 17,5$ µS/cm et $520 \pm 14,1$ µS/cm respectivement pour T₃₀ et T₄₀. Les valeurs minima ($371 \pm 21,3$ µS/cm et $427 \pm 14,6$ µS/cm) ont été enregistrées avec le T₆₀ et le T₁₂₀ (**Tableau 1**). L'analyse de la variance a montré une différence significative pour l'électroconductivité ($p < 0,05$).

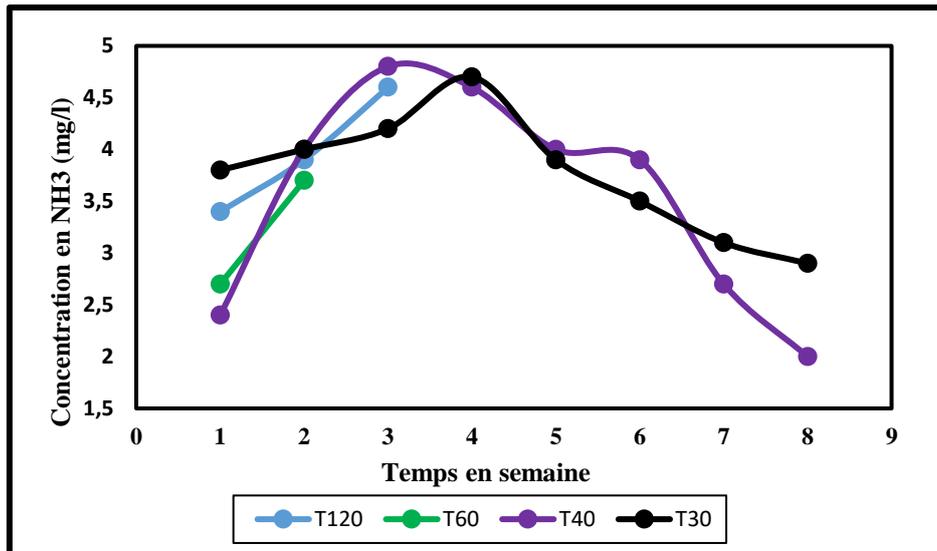


Figure 3 : Évolution de la concentration de l'ammoniaque dans les SAP

Au regard de l'évolution temporelle de l'ammoniaque présentée dans la **Figure 3**, il se dégage qu'au début de l'essai, et durant les deux premières semaines, les concentrations en NH_4^+ ont été relativement faibles pour tous les quatre traitements. Ensuite, elles ont progressivement augmenté pour atteindre le pic à la troisième semaine pour le T₄₀ et à la quatrième semaine pour le T₃₀. Pour les T₁₂₀ et T₆₀, l'expérimentation s'étant arrêtée à la deuxième semaine (T₆₀) et troisième semaine (T₁₂₀), les concentrations ammoniacales finales ont été de 3,8 mg/l pour le T₆₀ et 4,7 pour le T₁₂₀.

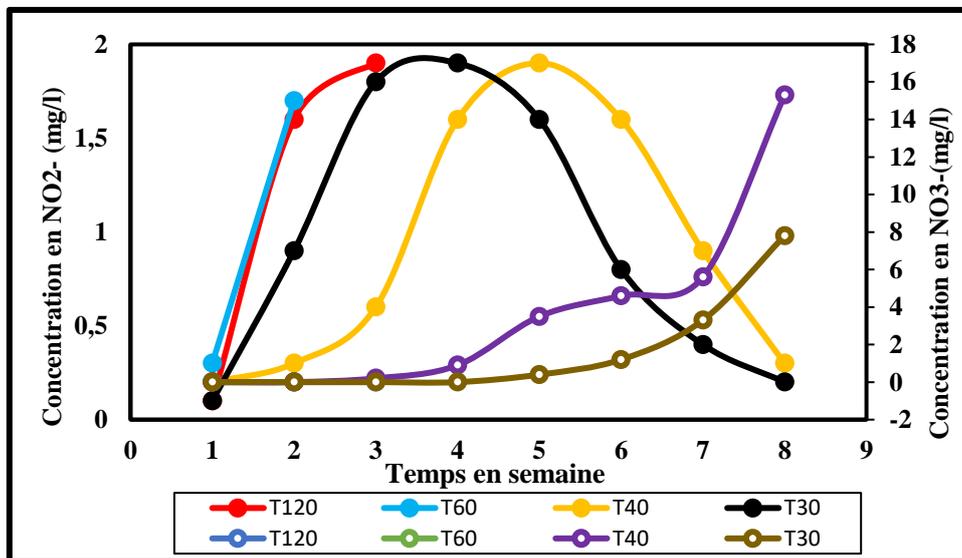


Figure 4 : Évolution de nitrite (marqueurs pleins) et de nitrate (marqueurs demi-pleins)

Le nitrite apparaît faiblement à la fin de la première semaine, et grimpe rapidement à la deuxième semaine pour les T₁₂₀, T₆₀, T₃₀ (**Figure 4**). Par contre pour le T₄₀, la concentration en nitrite demeure faible les trois premières semaines, et c'est à la quatrième semaine qu'elle va commencer à grimper en atteignant le pic avant de diminuer sensiblement. A la fin de l'expérience, la teneur en nitrite la plus faible (environ 0 mg/l) a été observée avec le T₄₀ (**Figure 4**). Quant à la teneur en nitrate dans l'eau aquaponique, la **Figure 4** avec marqueurs demi-pleins montre que dans tous les traitements il n'y a aucune concentration en nitrate durant les trois premières semaines. C'est à la quatrième semaine qu'il y a apparition des nitrates. Elle a augmenté

les semaines suivantes avec une teneur plus élevée observée avec le T₄₀ qui a pu atteindre en moyenne une concentration de 4,6 mg/l. Dans les T₁₂₀ et T₆₀, il n'y a pas eu apparition des nitrates dans l'eau. Les données des variables de la qualité physicochimique de l'eau des systèmes aquaponiques pour toute la durée expérimentale ont été soumises à l'analyse de la corrélation de Pearson. Les résultats repris dans le **Tableau 2** montrent qu'il existe des relations tant positives que négatives entre les variables de la qualité physicochimique de l'eau des systèmes aquaponiques.

Tableau 2 : Coefficients de corrélation de Pearson entre les différentes variables de la qualité de l'eau

	T°	pH	OD	KH	GH	TDS	EC	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
T°	1									
pH	-0,091	1								
OD	-0,181	0,065	1							
KH	0,199	-0,031	-0,279*	1						
GH	0,328**	0,278*	0,008	0,105	1					
TDS	0,175	0,179	-0,096	0,280*	0,654**	1				
EC	-0,086	0,302**	0,083	0,002	0,462**	0,724**	1			
NH ₄ ⁺	0,485**	0,091	-0,088	0,205	0,577**	0,461**	0,296**	1		
NO ₂ ⁻	0,603**	-0,057	-0,055	0,086	0,366**	0,027	-0,322**	0,420**	1	
NO ₃ ⁻	-0,297*	0,467**	0,157	-0,059	0,393**	0,526**	0,771**	0,156	-0,336**	1

*La liaison est significative au risque $\alpha = 0,05$. **La liaison est hautement significative au risque $\alpha = 0,01$.

Les liaisons positives hautement significatives sont constatées avec les couples de : T°-GH et T°-NH₄⁺, pH-EC et pH-NO₃⁻, GH-TDS, EC, NH₄ et NO₃⁻ et TDS-EC, NH₄ et NO₃⁻. Les liaisons négatives hautement significatives sont les couples NH₄⁺ - NO₃⁻ et EC-NO₂⁻. Les relations sont significatives pour les couples pH-GH, OD-KH, et KH-TDS. Pour tous les autres cas de figure, l'analyse de corrélation n'a pas montré l'existence des relations significatives tant au seuil de 0,05 que de 0,01.

3-2. Évaluation de la survie et de la mortalité des poissons

La **Figure 5** présente l'évolution du taux de survie de juvéniles de *C. gariepinus* mis en charge dans des systèmes aquaponiques n'ayant pas subi un cyclage azoté pour les quatre premières semaines.

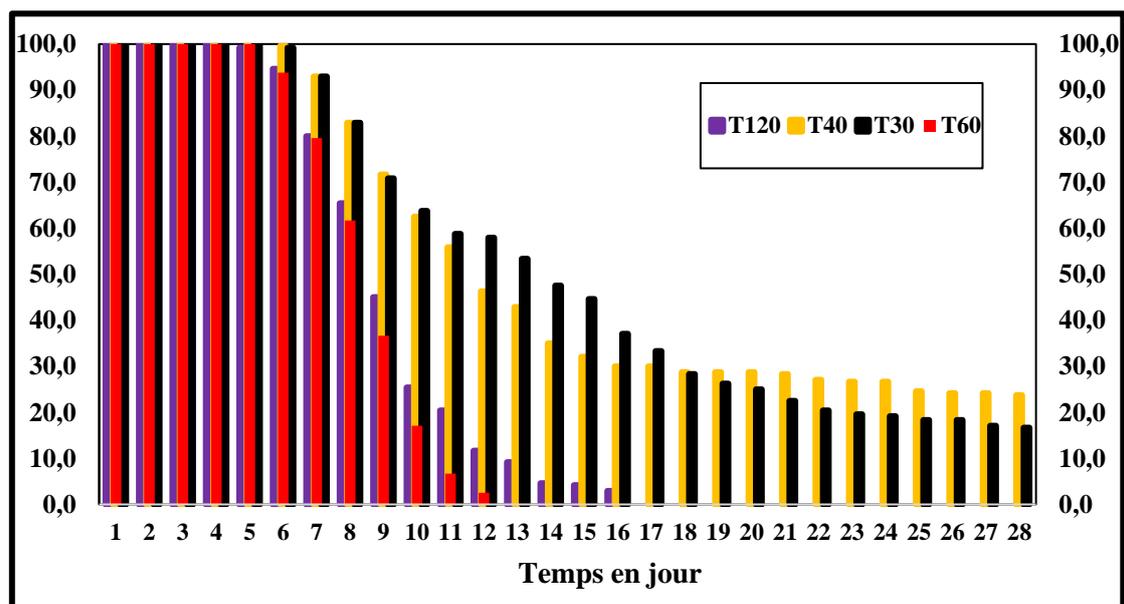


Figure 5 : Taux de survie de *Clarias gariepinus* durant les 4 premières semaines

Il s'y observe que durant les cinq premiers jours, la survie a été quasiment maximale (100 %) pour tous les traitements. Au sixième jour et au septième jour, la situation a complètement basculé respectivement pour le T₆₀ d'abord, ensuite pour les trois autres traitements (T₁₂₀, T₄₀ et T₃₀). Une diminution drastique de la survie a été constatée pour tous les traitements jusqu'à atteindre 0 % au 13^e jour pour le T₆₀ et au 17^e jour pour le T₁₂₀. Les juvéniles de *C. gariepinus* de T₁₂₀ et de T₆₀ n'ont donc pas survécu que durant les deux premières semaines. Au vingt-huitième jour, des taux de survie a été de 23,8 % et 16,7 % respectivement pour T₄₀ et T₃₀ ont été enregistrés. Le nombre de mortalités journalières présenté par la **Figure 6** montre qu'aucune mortalité n'a été enregistrée du premier au quatrième jour pour tous les traitements sauf le T₁₂₀ qui a connu 2 cas de mortalités au cinquième jour. Plusieurs cas de mortalités ont ensuite été observés allant de 10 à 60 individus par jour, et suivant le traitement. Tous les poissons sont morts au 13^e et au 17^e jour pour les traitements T₆₀ et T₁₂₀ qui ont été ensemencés en deux et une seule fréquence.

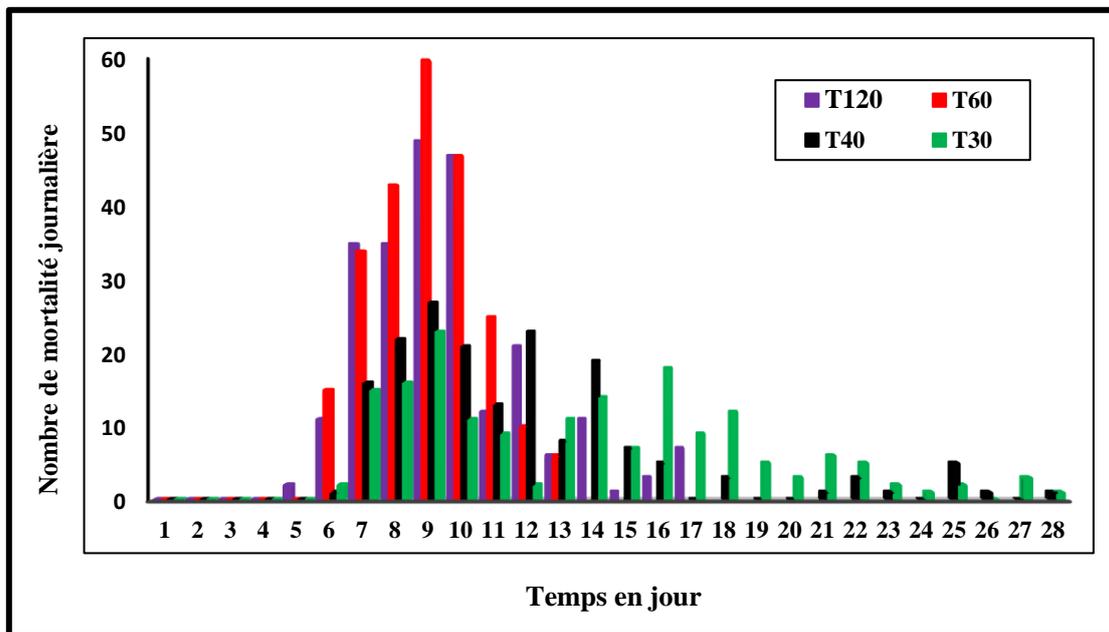


Figure 6 : Mortalités journalières de poissons durant les 4 premières semaines

Le **Tableau 3** présente les effectifs totaux initiaux et finaux des poissons, le nombre de cas de cannibalisme enregistré chez *C. gariepinus* au cours de cette étude ainsi que les taux en pourcentage de mortalité et de cannibalisme. Il montre que le nombre initial était de 240 poissons pour tous les quatre traitements, mais qu'à la fin de l'essai, il n'en restait plus rien pour les T₁₂₀ et T₆₀ (Taux de mortalités de 100 %). Par contre, 39 et 51 poissons étaient encore vivants à la fin de l'essai pour T₄₀ et T₃₀ (Taux de mortalité de 83,6 % pour T₄₀ et 78,6 % pour T₃₀). Quant aux cas de cannibalisme, il a été enregistré un effectif de 16 cas pour T₁₂₀, 17 cas pour T₆₀, 43 cas pour T₄₀ et 50 cas pour T₃₀ soit un taux de cannibalisme de 6,67 %, 7,08 %, 18 % et 20,83 % pour respectivement T₁₂₀, T₆₀, T₄₀ et T₃₀.

Tableau 3 : Taux globaux de mortalité et de cannibalisme observés chez *Clarias gariepinus*

Traitements	Nombre initial	Nombre final	Taux de mortalité	Cas de cannibalisme	Taux de cannibalisme
T ₁₂₀	240	0	100	16	6,67
T ₆₀	240	0	100	17	7,08
T ₄₀	240	39	83,6	43	18
T ₃₀	240	51	78,6	50	20,83

Le test de conformité de Chi-carré présenté au **Tableau 4** montre une valeur de χ^2_{cal} de 4,103 contre le seuil critique ($\alpha = 0,05$; 3) de 7,81 qui est largement inférieur pour la mortalité montrant aucune différence significative entre les traitements. Par contre, pour le taux de cannibalisme, le test de χ^2_{cal} de 11,578 est supérieur au seuil critique ($\alpha = 0,05$; 3) de 7,81 montrant une différence significative entre les traitements.

Tableau 4 : Tests de Chi-carré de conformité sur la mortalité et le cannibalisme

Traitements	(O)	(A)	(O-A)	(O-A) ²	χ^2
Mortalité					
T ₁₂₀	100	90,25	9,75	95,06	1,053
T ₆₀	100	90,25	9,75	95,06	1,053
T ₄₀	83,6	90,25	-6,65	44,22	0,489
T ₃₀	78,6	90,25	-11,65	135,72	1,508
Total	362,2	361	1,2	370,06	4,103
Cannibalisme					
T ₁₂₀	6,67	13,15	-6,48	41,99	3,193
T ₆₀	7,08	13,15	-5,35	28,62	2,12
T ₄₀	18	13,15	4,85	23,52	1,78
T ₃₀	20,83	13,15	7,68	58,98	4,485
Total	52,58	52,6	0,7	153,11	11,578

O : cas observés, A : valeurs théoriques.

3-3. Croissance pondérale des poissons durant les quatre premières semaines

Les juvéniles expérimentaux des T₄₀ et T₃₀ ayant survécu jusqu'à la fin de la quatrième semaine ont respectivement présenté des poids vifs moyens de $14,3 \pm 1,57$ g et $13,8 \pm 1,18$ g (**Tableau 5**) qui ne sont pas significativement différents ($p > 0,05$). Par ailleurs, il a été constaté une légère diminution du poids vif des poissons à la deuxième semaine de l'essai pour tous les traitements.

Tableau 5 : Évolution du poids vif moyen durant les quatre premières semaines

Traitements	J0	J7	J14	J21	J28
T ₁₂₀	8,8 ± 1,31	9,0 ± 1,30	7,7 ± 1,04 ^a	nd	nd
T ₆₀	8,8 ± 1,30	9,7 ± 1,39	nd	nd	nd
T ₄₀	9,0 ± 2,59	9,9 ± 1,35	9,6 ± 0,95 ^b	11,8 ± 1,49	14,3 ± 1,57
T ₃₀	8,8 ± 1,34	9,7 ± 1,31	8,5 ± 1,19 ^b	11,5 ± 1,39	13,8 ± 1,18
P-value	0,982	0,641	0,002	0,091	0,854

nd : non-déterminé tous les poissons étant morts.

Quant à la croissance journalière moyenne pour les 4 premières semaines, les juvéniles de *C. gariepinus* ont accusé une croissance très faible, et ont connu un effondrement de croissance de -0,19 g, -0,04 g et -0,17 g respectivement pour les traitements T₁₂₀, T₄₀ et T₃₀ durant la période allant du 7^e au 14 jour (**Figure 7**). L'analyse de la variance a montré une différence significative entre le T₄₀ et le T₃₀. Le T₄₀ est a présenté une meilleure croissance journalière à la quatrième semaine.

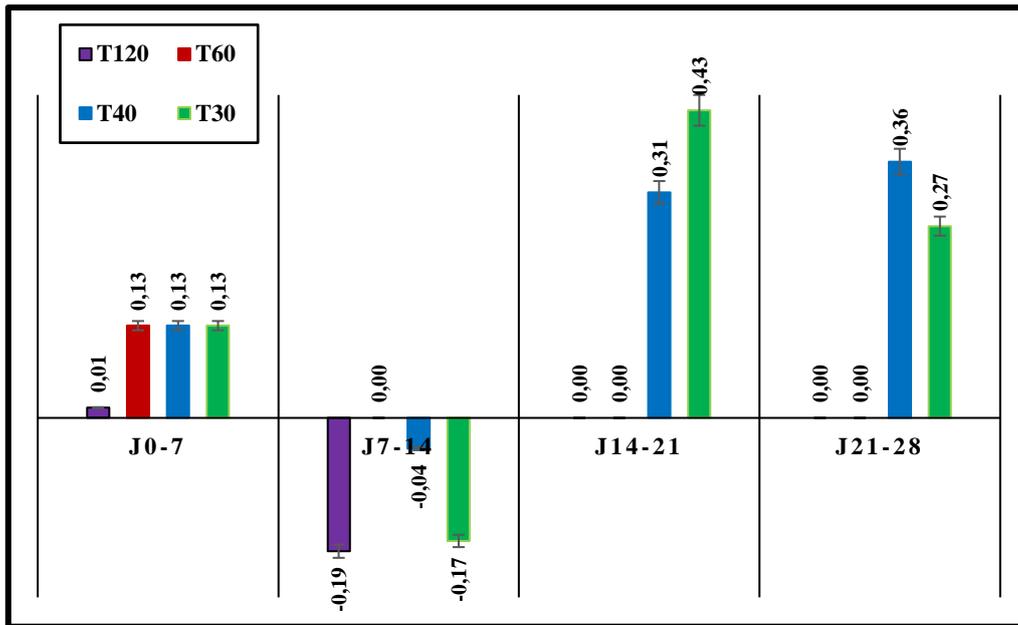


Figure 7 : Croissance journalière moyenne des quatre premières semaines (g/j)

3-4. Performances zootechniques globales

Les performances zootechniques des poissons en aquaponie et en bassins vidangeables pour toute la période de l'essai sont résumées dans les **Tableaux 6 et 7**.

Tableau 6 : Performances zootechniques des poissons expérimentaux en aquaponie

Paramètres zootechniques	T ₁₂₀	T ₆₀	T ₄₀	T ₃₀	p-value
Poids moyen initial (g)	8,85 ± 1,31	8,81 ± 1,30	9,03 ± 2,59	8,81 ± 1,34	0,874
Poids moyen final (g)	nd	nd	23,87 ± 3,24	22,87 ± 3,76	0,521
Gain de poids moyen (g)	nd	nd	14,84 ± 2,51	14,06 ± 3,8	0,873
Gain de poids moyen quotidien (g/j)	nd	nd	0,24 ± 0,14	0,23 ± 0,12	0,512
Indice de croissance journalier (%)	nd	nd	39,78 ± 4,9	38,12 ± 5,3	0,108
Taux de croissance spécifique (%/j)	nd	nd	1,73 ± 0,2	1,70 ± 0,4	0,917
Longueur moyenne initiale (cm)	11,7 ± 1,2	11,6 ± 0,9	11,4 ± 2,0	11,7 ± 1,1	1,000
Longueur moyenne finale (cm)	nd	nd	17,8 ± 4,4	18,3 ± 3,8	0,752
Gain moyen de taille	nd	nd	6,5 ± 1,5 ^a	7,2 ± 2,9 ^b	0,001
Facteur de condition K	nd	nd	0,42 ± 0,2 ^b	0,37 ± 0,5 ^a	0,000
Taux de survie (%)	0	0	16,4 ± 3,5	20,8 ± 4,7	0,191

nd : non-déterminé tous les poissons étant morts

Pour les systèmes aquaponiques, il n'y a pas de différence significative entre les T₄₀ et T₃₀ pour le poids final, le gain de poids et l'indice de croissance journalier qui est bas (39,78 pour le T₄₀ et 38,12 pour le T₃₀). Il en est de même pour les autres paramètres zootechniques excepté le facteur de condition K qui est plus bas pour le T₃₀ (p < 0,05). A la fin de l'expérimentation, le taux de survie a été nul pour les T₁₂₀ et T₆₀ alors que les T₄₀ et T₃₀ il a été de l'ordre de 16,25 % et 20,83 %. Au regard du **Tableau 7**, il ressort que le poids vif et les longueurs des juvéniles ont augmenté dans le temps mais l'analyse de la variance n'a pas montré une différence significative. Le facteur de condition K varie de 0,61 à 0,91. Le taux de mortalité observée durant toute la période expérimentale a été très faible voir nul suivant les traitements.

Tableau 7 : Évolution de *Clarias gariepinus* dans les bassins vidangeables*

Paramètres zootechniques	Traitements*	Temps en jours			
		J0	J7	J14	J21
Poids vifs moyens (g)	T ₆₀	8,77 ± 2,6	10,05 ± 2,1	nd	nd
	T ₄₀	8,74 ± 1,9	10,23 ± 2,8	13,32 ± 2,8	nd
	T ₃₀	8,94 ± 2,1	10,16 ± 2,3	13,21 ± 3,1	16,04 ± 3,9
Longueurs moyennes (cm)	T ₆₀	11,4 ± 1,7	11,7 ± 3,3	nd	nd
	T ₄₀	11,3 ± 2,8	11,8 ± 2,6	12,2 ± 3,7	na
	T ₃₀	11,3 ± 3,2	11,6 ± 2,9	11,9 ± 2,5	12,6 ± 2,7
Facteur de condition K	T ₆₀	0,59 ± 0,3	0,63 ± 0,3	nd	nd
	T ₄₀	0,61 ± 0,1	0,62 ± 0,2	0,73 ± 0,3	nd
	T ₃₀	0,62 ± 0,2	0,65 ± 0,3	0,78 ± 0,4	0,91 ± 0,2
Taux de mortalités (%)	T ₆₀	0	3,33 ± 0,8	nd	nd
	T ₄₀	0	1,6 ± 0,4	0	nd
	T ₃₀	0	0	5,0 ± 1,6	0

*Il n'y a pas de bassin vidangeable pour le T₁₂₀ qui est la référence aquaponique ayant été empoisonné en une seule fréquence. nd : non déterminés car tous les poissons ont été mis en charge dans les systèmes aquaponiques. na : non applicable tous les poissons ayant été mis en charge dans les SA.

3-5. Comportement alimentaire et social des poissons

Les juvéniles de *C. gariepinus* ont commencé à refuser toute consommation alimentaire à partir du troisième jour ayant suivi le premier empoisonnement pour tous les traitements. C'est au sixième jour qu'ils ont complètement abandonné toute ingestion alimentaire avant de recommencer à consommer les aliments leur offerts au 11^e jour. Plusieurs cas d'agressivité et de cannibalisme ont été enregistrés au cours de la période de cet essai. Hormis les blessures observées (**Figure 8**), il était courant de rencontrer des poissons entièrement consommés restant qu'un squelette des têtes.

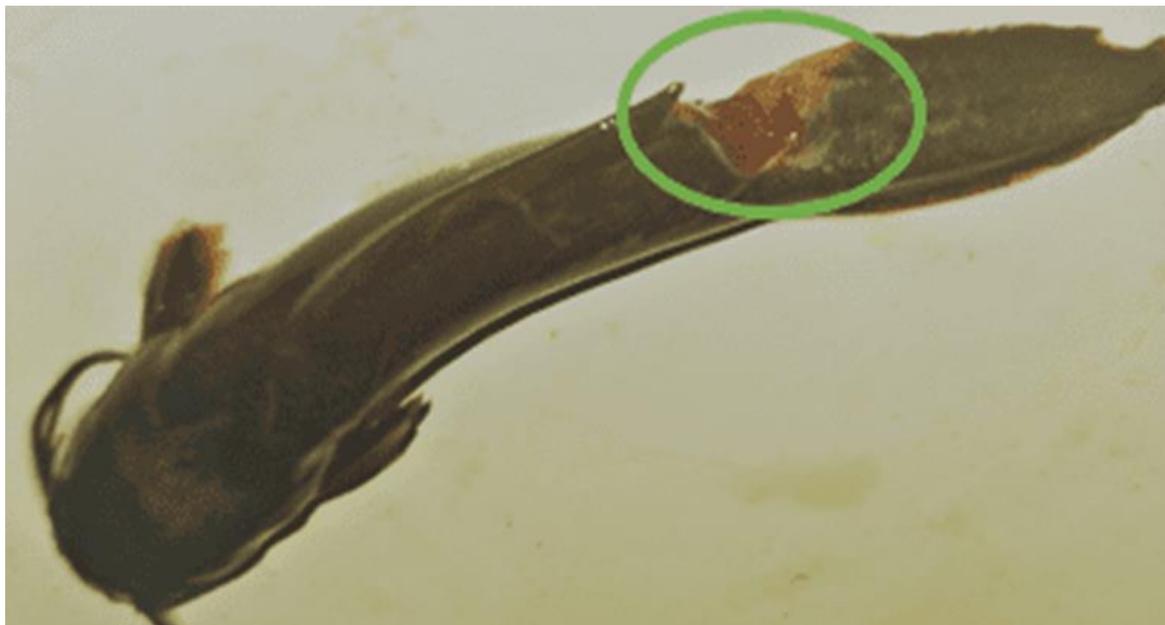


Figure 8 : Poisson vivant portant des blessures illustrant l'agressivité et le cannibalisme

3-6. Croissance et développement des plantes

Au cours de cette étude, deux cycles d'amarante ont été réalisés uniquement pour les T₄₀ et T₃₀. Les plantes des traitements T₁₂₀ et T₆₀ ayant péri quelques temps après les dernières mortalités des poissons, et avant le deuxième repiquage. Pour les T₄₀ et T₃₀ plusieurs plantes ont présenté un jaunissement des feuilles (**Figure 9**). Les paramètres végétatifs au 21^e jour de chaque cycle sont présentés dans *le Tableau 8*. Le diamètre au collet varie $2,2 \pm 0,7$ à $2,9 \pm 0,4$ cm. La hauteur des plantes la plus élevée a été $12,0 \pm 3,8$ cm obtenue avec T₃₀ au second semis tandis que le nombre élevé de feuilles a été de $13,0 \pm 2,8$ observé chez les plantes de T₃₀ au premier semis. La longueur des feuilles a varié de $4,7 \pm 1,0$ à $15,7 \pm 3,6$ cm et la largeur des feuilles était comprise entre $2,0 \pm 1,1$ à $5,3 \pm 2,0$ cm. L'analyse de la variance n'a révélé aucune différence significative entre les traitements pour tous les paramètres végétatifs étudiés ($p > 0,05$).



Figure 9 : *Amarantes vertes accusant un déficit en nutriments en aquaponie*

Tableau 8 : *Valeurs des paramètres de croissance des amarantes vertes cultivées en deux cycles lors de l'essai au 21^e jour de leur développement*

Paramètres de croissance	Premier cycle				Second cycle			
	T ₁₂₀	T ₆₀	T ₄₀	T ₃₀	T ₁₂₀	T ₆₀	T ₄₀	T ₃₀
Diamètre au collet (cm)	$2,7 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,7$	$2,7 \pm 0,2$	$2,9 \pm 0,4$	nd	nd	$2,6 \pm 0,7$	$2,8 \pm 0,3$
Hauteur des plantes (cm)	$9,5 \pm 2,4$	$9,8 \pm 2,7$	$11,2 \pm 2,6$	$11,1 \pm 3,1$	nd	nd	$11,5 \pm 2,8$	$12,0 \pm 3,8$
Nombre de feuilles	$9,3 \pm 1,7$	$9,9 \pm 2,3$	$12,6 \pm 3,8$	$13,0 \pm 2,8$	nd	nd	$12,1 \pm 2,8$	$11,7 \pm 3,1$
Longueurs des feuilles (cm)	$5,0 \pm 1,8$	$4,7 \pm 1,0$	$9,8 \pm 2,6$	$9,1 \pm 1,7$	nd	nd	$13,4 \pm 2,7$	$15,7 \pm 3,6$
Largeur des feuilles (cm)	$2,1 \pm 0,7$	$2,0 \pm 1,1$	$3,5 \pm 0,9$	$3,2 \pm 1,7$	nd	nd	$4,8 \pm 1,7$	$5,3 \pm 2,0$

Nd : non déterminé.

4. Discussion

Les paramètres physico-chimiques de l'eau ont des effets profonds sur le fonctionnement et la croissance des poissons, des plantes et des bactéries en aquaponie [17]. La température, le pH et l'oxygène dissous enregistrés au cours de cette expérience correspondent aux exigences environnementales du poisson-chat africain *Clarias gariepinus* et des plantes [18, 19] tandis que pour le développement des colonies bactériennes, selon les recommandations de [12], seul le pH n'a pas été optimal car il devrait se situer entre 6 et 8,5. Le pH observé a été légèrement élevé, mais cela n'a pas eu effet négatif sur le développement des bactéries *Nitrosomonas* qui se sont installées dans les délais de 5 jours après que les poissons (source d'ammoniaque) aient été apportés dans les unités aquaponiques. Seulement, un pH élevé associé à une température élevée et avec des taux de composés azotés dépassant les valeurs limites tolérables par le *Clarias gariepinus* durant les premières semaines qui, selon [12] doivent se situer entre 0 et 0,5 mg/l pour l'ammoniaque et le nitrite ont exacerbé la mauvaise qualité de l'eau les rendant plus toxiques pour les poissons. Cela a entraîné la mortalité de tous les poissons de T₁₂₀ et T₆₀. En effet, l'azote ammoniacal est un produit potentiellement toxique sous la forme non ionisée NH₃ ayant des effets plus ou moins sévères selon la concentration ambiante et la durée d'exposition [13, 20]. Dans des conditions basiques (pH supérieur à 7), il n'y a pas assez d'ions hydrogène et l'ammoniaque reste dans son état le plus toxique, et même à de faibles niveaux, il est très stressant pour les poissons [13]. Ce problème est exacerbé dans des conditions d'eau chaude [21]. Le nitrite est lui aussi très toxique même à faibles concentrations [22]. La plupart des espèces des poissons forment de la méthémoglobine en présence de nitrite suite à l'incapacité du sang à transporter l'oxygène dans l'ensemble de l'organisme causant des mortalités importantes [23].

Tous ces facteurs réunis ont occasionné la mortalité complète des poissons ensemencés avant 21 jours. Les bactéries *Nitrobacters* qui métabolisent le nitrite en nitrate colonisent les systèmes aquaponiques entre le 21^e et le 40^e jour [12]. Au regard de l'apparition des nitrates dans les systèmes, il est évident que ces bactéries ont commencé à s'y installer à partir de la fin de la troisième et début de la quatrième semaine justifiant la diminution des mortalités constatée en cette période. Au fil des jours suivant, la biomasse bactérienne s'est complètement établie stabilisant la mortalité des poissons car le niveau d'ammoniaque et de nitrite ont sensiblement diminué dans l'eau d'élevage des poissons. Quant à la croissance des poissons, l'analyse des performances zootechniques de *Clarias gariepinus* à différentes fréquences d'empeusement montre que la croissance a d'abord été retardée durant les deux premières semaines à cause du refus de consommation alimentaire qui y a été observée durant cette période. [23] ont aussi remarqué un effondrement de la croissance des juvéniles d'*Heterobranchus longifilis* qui refusaient toute consommation alimentaire pendant une certaine période dû à un stress aigu. Le refus de prise alimentaire durant plus d'une semaine observé au cours de cette étude indique aussi une situation de stress aigu dû à la détérioration de la qualité de l'eau (présence des toxiques azotés au seuil dépassant la limite de tolérance). La reprise de la consommation alimentaire et de la croissance observées les semaines suivantes montrent une amélioration de la qualité de l'eau des systèmes aquaponiques à trois et quatre fréquences. Le refus d'ingestion alimentaire constatée serait dû à la teneur élevée en ammoniaque et en nitrite. [12] soulignent qu'à des taux élevés de ces composés azotés, l'arrêt de la consommation alimentaire est fréquent. La vitesse de croissance observée a été faible même pour la période où la qualité physicochimique de l'eau à commencer à s'améliorer. Les gains de poids et les taux de croissance spécifiques obtenus sont inférieurs à ceux obtenus par [19, 24, 25]. Cette différence serait due à la souche de poissons utilisée dans ce travail qui était sauvage. Toutefois, en comparant la croissance des poissons ayant évolué dans des bassins vidangeables à ceux des systèmes aquaponiques pour la même période, il s'avère que les premiers ont eu un gain de poids plus élevé que les derniers démontrant que l'aquaponie a eu un effet néfaste sur la croissance des poissons expérimentaux. Il faut noter qu'au cours

de cette expérience plusieurs cas de cannibalisme ont été observés. Certains poissons retrouvés morts ou vivants présentaient des traces d'agressivité et des plaies illustrées par la **Figure 4**. [26, 27] soulignent que le cannibalisme est une forme d'autorégulation au sein des populations. Le comportement cannibale chez *Clarias gariepinus* est lié surtout à une différence morphologique au sein d'une même cohorte [25, 28, 29]. Cependant, dans cette étude, la différence morphologique a été minime et les densités n'étaient pas élevées. Le cannibalisme et les agressions y constatés seraient dus à la nervosité causée par les mauvaises conditions du milieu. En aquaponie, les plantes trouvent des nutriments au travers de la conversion des aliments offerts aux poissons via le processus de la nitrification et de la minéralisation. Les cas de carence ne sont pas fréquents si le nombre de plantes correspond à la densité des poissons d'une part aussi si le système a atteint la quantité totale de bactéries transformant les composés azotés [12]. Le retard de croissance des plantes et le jaunissement des feuilles observé dans ce travail est l'indicateur majeur du déficit de l'azote sous sa forme assimilable par les plantes dû à l'établissement lent des colonies bactériennes nitrifiantes.

5. Conclusion

Le lancement d'un nouveau système aquaponique nécessite une phase préliminaire de cyclage de l'azote permettant l'établissement des bactéries qui convertissent les composés azotés toxiques rejetés par les poissons en nutriments assimilables par les plantes. Les méthodes classiques de réalisation d'un cyclage des systèmes aquaponiques adéquat échappent à certains milieux congolais. Cette étude a été conduite pour évaluer la possibilité de le réaliser avec les poissons suivant un empoissonnement progressif. Au terme de 8 semaines, les résultats de la qualité de l'eau, des paramètres de croissance, de survie et de comportement social de poissons et de la croissance des plantes, montrent que la mise en charge progressive des systèmes aquaponiques ne favorise pas un bon cyclage de l'azote ni l'extériorisation des performances des poissons et des plantes dans des nouveaux systèmes aquaponiques. Ainsi, dans les conditions locales, recourir aux poissons comme source d'ammoniaque pour le cyclage de l'azote des systèmes aquaponiques n'est pas idéal. Des études visant à tester d'autres sources d'ammoniaque accessibles et efficaces que les poissons vivants peuvent être réalisés pour déterminer la meilleure technique de cyclage des nouveaux bassins aquaponiques adapté au contexte local.

Références

- [1] - B. D. BISIMWA, D. M. A. KUFINU, A. M. KIMANDA, Analyse socioéconomique de la consommation des poissons frais à Kinshasa : cas des communes de Limite, de Lemba, de Kisenso et de Masina. *Congo Sciences*, Vol. 6, N°2 (2018) 89 - 95 p.
- [2] - FAO, UNION EUROPEENNE ET CIRAD, Profil des systèmes alimentaires — République Démocratique du Congo. Activer la transformation durable et inclusive de nos systèmes alimentaires. Rome, Bruxelles et Montpellier, France, (2022)
- [3] - L. B. G. KOMBOZI, Plan de développement de l'aquaculture en République Démocratique du Congo 2010-2015. Synthèse des rapports des provinces ; TCP/DRC/3102, (2004)
- [4] - J. P. CHAUSSE, T. KEMBOLA et N. ROBERT, L'agriculture : pierre angulaire de l'économie de la RDC In J. HERDERSCHEE, S. D. MUKOKO et T. M. TSHIMENGA (2012). Résilience d'un Géant Africain. Accélérer la Croissance et Promouvoir l'Emploi en République Démocratique du Congo, volume 2 : Etudes sectorielles, Médias Paul, Kinshasa, (2012) 97 p.
- [5] - G. J. KIFUFU, Caractérisation socio-économique et techniques de la pisciculture continentale dans le territoire de Bagata en RD Congo. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 7 (4) (2019) 557 - 562

- [6] - N. BRICAS, C. TCHAMDA & P. MARTIN, Les villes d'Afrique de l'Ouest et du Centre sont-elles si dépendantes des importations alimentaires ? *Cahiers Agricultures*, 25 (2016) 55001
- [7] - K. J. KIAYIMA et N. L. MIDAGU, Analyse des statistiques imports-exports dans la participation de la République démocratique du Congo au commerce international de 2012 à 2015. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 23, N° 2 (2015) 171 - 179 p.
- [8] - FAO, Sept règles générales à suivre en aquaponie [WWW Document]. Food Agric. Organ. U. N. URL <http://www.fao.org/fao-stories/article/fr/c/1334607/> (accessed 12.9.23), (2021)
- [9] - CHRISTOPHE JAEGER, PIERRE FOUCARD, AURELIEN TOCQUEVILLE, SARAH NAHON, JOËL AUBIN, L'aquaponie : Un modèle de complémentarité élevage-culture? Carrefours de l'innovation agronomique, INRA - ADEME, Dec 2019, Poitiers, France. fhal-03888482f, (2019)
- [10] - BITON, GREGORY, Guide pratique de l'aquaponie : produire ensemble légumes et poissons, construire sa propre installation. Escalquens : Ed. Du Terran. ISBN 978-235981-080-6, (2017)
- [11] - J. E. RAKOCY, M. P. MASSER et T. M. LOSORDO, Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics- integrating fish and plant culture. *Srac Publ. - South. Reg. Aquac. Cent.*, (2006) 1 - 16
- [12] - C. SOMERVILLE, M. COHEN, E. PANTANELLA, A. STANKUS et A. LOVATELLI, Production alimentaire aquaponique à petite échelle - Élevage intégré de poissons et de plantes. FAO Document technique sur les pêches et l'aquaculture no 589. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/i4021fr>, (2023)
- [13] - COLMANT AGATHE et EMMANUEL DELANNOY, Rapport final projet B2FISH : Aquaponie et agriculture urbaine evaluation et proposition de scénario, insitut INSPIRE MARSEILL, (2012)
- [14] - S. DIVER, Aquaponics-integration of hydroponics with aquaculture. *ATTRA — National Sustainable Agriculture Information Service*, (2007) 46 p.
- [15] - HW. HU, LM. ZHANG, CL. YUAN, Y. ZHENG, JT. WANG and DL. CHEN, The large-scale distribution of ammonia oxidizers in paddy soils is driven by soil pH, geographic distance, and climatic factors. *Front Microbiol*, 4 (2015) 938
- [16] - B. BABMANN, H. HARBACH, S. WEIBBACH, HW. PALM, Effect of plant density in coupled aquaponics on the welfare status of African catfish, *Clarias gariepinus*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51 (2020) 183 - 199
- [17] - M. STAVRESCU BEDIVAN, G. SCAETEANU, M. ROXANA MARIA, M. S. MANOLE, A. STAIKU, F. AIOANEI, E. PLOP, G. TOBA, C. NICOLAE, Interactions between Fish Well-being and Water Quality: A Case Study from MoriiLake Area, *Romania. Agric. Agric. Sci. Procedia*, 10 (2016) 328 - 339. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.09.071>
- [18] - FAO, Vegetable production guidelines for 12 common aquaponic plants. *Aquaponics*, (2014) 169 - 181
- [19] - G. O. OLANREWAJU, D. D. SARPONG, A. O. AREMU, E. O. ADE-ADEMILUA, Growth performance and nutritional composition of *Clarias gariepinus* in flood-and-drain aquaponics coupled with three species of leafy vegetable. <https://doi.org/10.1101/2022.10.06.511190>, (2022)
- [20] - J. PERSON-LE RUYET, G. BOEUF, L'azote ammoniacal, un toxique potentiel en élevage de poissons : le cas du turbot. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, (1998) 393 - 412. <https://doi.org/10.1051/kmae:1998013>
- [21] - R. C. RUSSO, R. V. THURSTON, Toxicity of ammonia, nitrite and nitrate to fishes. *Aquaculture and water quality*. In *Advances in world aquaculture*, Brune E. and Tomasso J.R. eds, *WAS Publ.*, 3 (1991) 58 - 89
- [22] - A. GRABER and R. JUNGE, Aquaponic Systems: Nutrient Recycling from Fish Wastewater by Vegetable Production. *Desalination*, 246 (1-3) (2009) 147 - 156
- [23] - N. KERDCHUEN, M. LEGENDRE, Effet favorable des fortes densités pour l'adaptation d'un silure africain, *Heterobranchus longifilis* (Pisces, Clariidae), en bacs de petit volume. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, (1992) 25

- [24] - I. COMPAORE, A. TOGUYENI, C. ROUGEOT, P. KESTEMONT et C. MELARD, Etude comparative des performances zootechniques d'une souche domestiquée de *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et d'une souche sauvage de *Clarias anguillaris* (Linnaeus, 1758). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (5) (2016) 2138 - 2150. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.16>
- [25] - E. DJAMBA OKENDA, Evaluation des performances de croissance des juvéniles du poisson-chat africain (*clarias gariepinus burchell*, 1822) nourris avec les asticots de mouche. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21856.53763>, (2019)
- [26] - J-P. BLANCHETON, A. DOSDAT, J-M. D. PAOLI, Minimisation des rejets biologiques issus d'élevages de poissons. *Aquaculture et environnement*, 26 (2004) 68 - 79
- [27] - T. C. R. WHITE, The inadequate environment : Nitrogen and the abundance of animals. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (1993) 425 p.
- [28] - A. ESTIM, S. SAUFIE, S. MUSTAFA, Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture. *J. Water Process Eng.* <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.02.001>, (2018)
- [29] - J. H. VAN WEERD, KH. A. KHALAF, F. J. AARTSENN, P. A. T. TIJSSEN, Balance trials with African catfish *Clarias gariepinus* fed phytase-treated soybean meal-base diets. *Aquacult. Nutr.*, 5 (1999) 135 - 142