



Performances zootechniques et analyse technico-économique de l'élevage des crevettes d'eau douce en cages flottantes alimentées par des protéines alternatives à Kinshasa : *Hermetia illucens*, chenilles et farine de poisson

Kawuka Mpia E.^{1,4}, Umba di M'balu J.^{1,2,3}, Mboma Mburawamba J.¹, Syauswa Musondoli D.¹, Ngoyi Malongi L.^{1,2}, Ibanda Kasongo B.²

¹Université Loyola du Congo (ULC) Faculté des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 7 avenue Père Boka, Kinshasa, B.P. 3724/Kinshasa-Gombe, RD Congo

² Université Pédagogique Nationale (UPN) B.P. 8815/Kinshasa-Ngaliema, RD Congo.

³ Université Président Joseph Kasa Vubu (UKV), B.P. 314 Boma/Kongo Central

⁴ Institut Supérieur Pédagogique de Kikwit (ISP-Kikwit), B.P. 258 Kikwit/Kwilu, RD Congo

Résumé

La croissance démographique à Kinshasa augmente la pénurie de protéines animales, il est donc urgent de diversifier les sources alimentaires aquacoles.

Cette étude évalue les performances zootechniques et la rentabilité économique de l'élevage de la crevette d'eau douce *Macrobrachium rosenbergii* en cages flottantes, en comparant trois sources protéiques alternatives à la farine de poisson conventionnelle, à savoir les larves de mouche soldat noir (*Hermetia illucens*, T1), la farine de poisson exclusive (T2) et la farine de chenilles (T3), contre un témoin mixte combinant les trois sources (T0). L'essai a été conduit selon un plan en Blocs Complets Randomisés (BCR) à quatre traitements et trois répétitions, sur une durée de 16 semaines. 60 crevettes d'un poids initial moyen de 4 g ont été réparties dans 12 cages de 0,50 m³, à raison de 5 individus par cage.

Toutes les rations expérimentales ont été préparées de façon à avoir la même teneur en protéines brutes, à savoir 34 %. Les données ont été soumises à une analyse de variance de type II avec le logiciel R (version 4.x) ; les comparaisons de moyennes ont été réalisées grâce au test LSD de Fisher protégé ($\alpha = 0,05$).

Les paramètres physico-chimiques du milieu d'élevage température (28,2–28,8 °C), pH (7,25–7,65) et oxygène dissous (4,83–5,43 mg/L) ainsi que d'autres paramètres sont restés homogènes et favorables à l'élevage de *M. rosenbergii* tout au long de l'expérimentation, ce qui valide la comparabilité des conditions entre cages. Sur le plan des performances zootechniques, le traitement T0 (témoin mixte) a permis d'obtenir les moyennes individuelles globales les plus satisfaisantes, avec un poids final de 38,30 ± 0,12 g (groupe a) et une taille finale de 16,57 ± 0,03 cm (groupe a). Par ailleurs, T0 (114,90 ± 0,35 g), de nouveau suivi de T1 (112,20 ± 0,35 g, groupe b), a montré la biomasse totale la plus importante, alors que T2 et T3 forment le groupe c avec une diminution de cette dernière qui s'élevait à 34,6 % par rapport au témoin.

Ces résultats montrent que l'on peut utiliser *Hermetia illucens* comme substitut partiel de la farine de poisson dans l'alimentation du *Macrobrachium rosenbergii* en cages flottantes à Kinshasa, sans nuire à ses performances zootechniques et en augmentant la rentabilité économique de la production. Ces résultats fournissent une base scientifique pour le développement d'une crevetticulture durable et économiquement accessible en République Démocratique du Congo.

Mots-clés : *Macrobrachium rosenbergii*, performance zootechnique, analyse technico-économique, Kinshasa et République Démocratique du Congo.

Abstract:

Population growth in Kinshasa is exacerbating the shortage of animal protein, making it urgent to diversify aquaculture feed sources.

This study evaluates the zootechnical performance and economic profitability of farming the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* in floating cages, by comparing three alternative protein sources to conventional fishmeal, namely black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*, T1), exclusive fish meal (T2) and caterpillar meal (T3), against a mixed control combining all three sources (T0). The trial was conducted using a Randomized Complete Block Design (RCBD) with four treatments and three replicates, over a period of 16 weeks. Sixty shrimp with an average initial weight of 4 g were distributed across 12 cages of 0.50 m³, at a rate of 5 individuals per cage.

All experimental diets were prepared to have the same crude protein content, namely 34%. The data were subjected to a Type II analysis of variance using R software (version 4.x); comparisons of means were performed using Fisher's protected LSD test ($\alpha = 0.05$).

The physicochemical parameters of the rearing environment temperature (28.2–28.8 °C), pH (7.25–7.65) and dissolved oxygen (4.83–5.43 mg/L), as well as other parameters, remained consistent and favorable for the rearing of *M. rosenbergii* throughout the experiment, confirming the comparability of conditions between cages. In terms of zootechnical performance, the T0 treatment (mixed control) yielded the most satisfactory overall individual averages, with a final weight of 38.30 ± 0.12 g (group a) and a final length of 16.57 ± 0.03 cm (group a). Furthermore, T0 (114.90 ± 0.35 g), again followed by T1 (112.20 ± 0.35 g, group b), showed the highest total biomass, whilst T2 and T3 formed group c with a reduction in total biomass amounting to 34.6% compared to the control.

These results show that *Hermetia illucens* can be used as a partial substitute for fishmeal in the diet of *Macrobrachium rosenbergii* in floating cages in Kinshasa, without adversely affecting its zootechnical performance and whilst increasing the economic profitability of production. These results provide a scientific basis for the development of sustainable and economically viable shrimp farming in the Democratic Republic of Congo.

Keywords: *Macrobrachium rosenbergii*, zootechnical performance, techno-economic analysis, Kinshasa and Democratic Republic of Congo.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.21606510>

1 Introduction

La croissance démographique rapide et l'urbanisation accélérée dans des grandes villes africaines comme Kinshasa entraîne une augmentation significative de la demande en protéines animales (Umba *et. al.*, 2024 ; Lusasi, 2019). Cependant, l'offre locale reste insuffisante pour couvrir les besoins nutritionnels des populations, ce qui accentue les problèmes de sécurité alimentaire et de malnutrition (Israël, 2024 ; Latham, 2008). Dans ce contexte, l'aquaculture apparaît comme une alternative prometteuse pour renforcer la production de protéines animales, notamment à travers l'élevage des crevettes d'eau douce, reconnu pour sa valeur nutritionnelle et son potentiel économique (Kayiba & Kawuka, 2025).

L'aquaculture, et plus particulièrement l'élevage de la crevette d'eau douce, représente une opportunité stratégique pour le développement économique et la sécurité alimentaire en République Démocratique du Congo (Kombozi, & Yambayamba, 2010 ; Massoud, 2021).

Malgré ce potentiel, le développement de la crevetticulture en RD Congo fait face à plusieurs contraintes majeures (Mbuzi, 2022 ; Mangado, 2015). Parmi celles-ci, le coût élevé et la disponibilité limitée des aliments aquacoles constituent un frein important (Lusasi *et al.*, 2022).. En effet, la farine de poisson, principale source protéique utilisée dans l'alimentation des espèces aquatiques, devient de plus en plus coûteuse et difficile d'accès, en raison de la pression sur les ressources halieutiques et de la concurrence avec d'autres secteurs d'élevage (Morel & Garnier, 2017). Cette situation compromet la rentabilité des exploitations aquacoles et limite leur expansion à grande échelle (Mbaye, 2018 ; Tshinyama, 2018).

Face à ces défis, l'utilisation de sources protéiques alternatives, locales et durables suscite un intérêt croissant (Ngoma, 2019 ; Diayeno, 2016). Parmi celles-ci, les insectes tels que *Hermetia illucens*, ainsi que les chenilles comestibles, représentent des ressources prometteuses en raison de leur richesse en protéines, de leur faible coût de production et de leur impact environnemental réduit. Leur intégration dans l'alimentation des crevettes pourrait contribuer à améliorer les performances de croissance tout en réduisant les coûts alimentaires et en valorisant des ressources locales souvent sous-exploitées.

Par ailleurs, le système d'élevage en cages flottantes en étang constitue une innovation technique adaptée aux réalités locales, permettant une meilleure gestion de l'espace aquatique et une intensification contrôlée de la production. Toutefois, ce mode d'élevage reste encore peu étudié dans le contexte de Kinshasa, notamment en ce qui concerne son efficacité zootechnique, sa rentabilité économique et ses impacts environnementaux.

Ainsi, une interrogation fondamentale se pose : dans quelle mesure l'utilisation combinée de protéines alternatives issues de *Hermetia illucens*, des chenilles et de la farine de poisson, dans un système d'élevage en cages flottantes, permet-elle d'améliorer la performance zootechnique des crevettes d'eau douce tout en garantissant la viabilité économique et la durabilité environnementale de leur production à Kinshasa ?

De cette question principale découlent plusieurs préoccupations spécifiques :

Les rations formulées à base de protéines alternatives permettent-elles d'obtenir des performances de croissance comparables ou supérieures à celles des aliments conventionnels ?

Quel est l'impact de ces rations sur les coûts de production et la rentabilité de l'élevage ?

Le système d'élevage en cages flottantes, associé à ces nouvelles sources alimentaires, est-il écologiquement viable et adapté aux conditions locales ?

Dès lors, il devient nécessaire de mener une étude approfondie visant à évaluer simultanément les performances zootechniques, les implications économiques et les effets environnementaux de ce modèle innovant d'élevage, afin de proposer des solutions durables pour le développement de la crevetticulture à Kinshasa et, plus largement, en RD Congo.

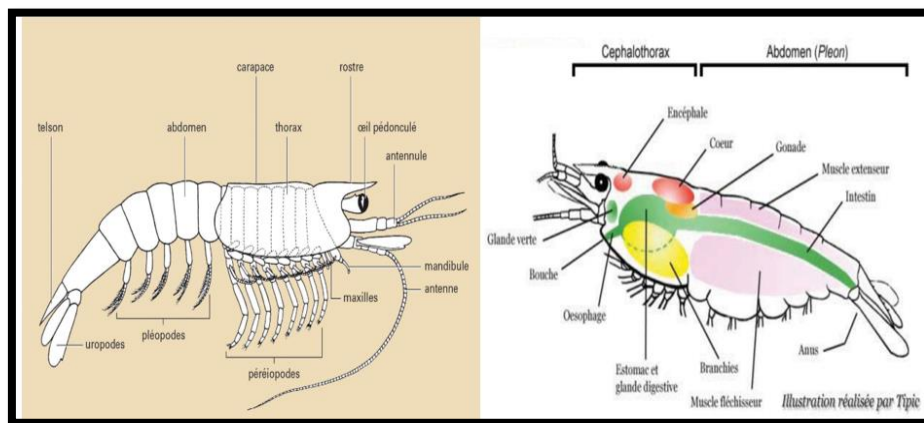


Figure 1. Anatomie externe et interne de la crevette

Source : Damien (2025)



Photo 1. Coloration de la crevette

L'utilisation de rations à base de protéines alternatives, notamment *Hermetia illucens*, les chenilles et la farine de poisson, dans un système d'élevage en cages flottantes améliore significativement la performance zootechnique des crevettes d'eau douce, tout en réduisant les coûts de production et en assurant une durabilité environnementale à Kinshasa.

Les rations formulées à base de *Hermetia illucens*, de chenilles et de farine de poisson permettent d'obtenir de bonnes performances zootechniques chez les crevettes d'eau douce élevées en cages flottantes (croissance satisfaisante, bon taux de survie et efficacité alimentaire acceptable). L'utilisation combinée de *Hermetia illucens*, des chenilles et de la farine de poisson dans l'alimentation des crevettes contribue à réduire les coûts alimentaires et à améliorer la rentabilité de l'élevage en cages flottantes à Kinshasa. L'intégration de protéines alternatives locales, associées à la farine de poisson, dans l'alimentation des crevettes favorise un système d'élevage plus durable, en limitant les impacts environnementaux et en valorisant les ressources disponibles localement.

Ce travail a pour objectif global d'évaluer la performance zootechnique et analyser la rentabilité économique ainsi que la durabilité environnementale de l'élevage des crevettes d'eau douce en cages flottantes, alimentées avec des rations à base de *Hermetia illucens*, de chenilles et de farine de poisson à Kinshasa.

Les objectifs spécifiques visés sont les suivants :

- Déterminer les performances zootechniques des crevettes d'eau douce élevées en cages flottantes et nourries avec des rations combinant *Hermetia illucens*, chenilles et farine de poisson, à travers des indicateurs tels que la croissance, le taux de survie et l'indice de conversion alimentaire ;
- Analyser la rentabilité économique de l'élevage en évaluant les coûts liés à l'alimentation, les charges de production, les revenus générés et les marges bénéficiaires ;
- Apprécier les impacts environnementaux du système d'élevage en cages flottantes en mesurant la qualité de l'eau et en évaluant les effets des rations sur le milieu aquatique.

2 Matériels et méthodes

2.1 Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans la ville de Kinshasa, capitale de la RD Congo. Plus précisément, elle s'est déroulée dans le quartier Mitendi, situé dans la commune de Mont-Ngafula, au sud-ouest de l'agglomération kinoise. La commune de Mont-Ngafula a une superficie de 358,90 Km² et elle est l'une de 24 communes que compte la ville de Kinshasa (Ebengo *et al.*, 2024 ; Ngoyi *et al.*, 2026). Elle est située au Sud-Ouest de la ville de Kinshasa : 4°25'35'' Sud et 15°17'44'' Est ; au Nord par les communes de Makala et Selembao ; au Sud par le territoire de Kasangulu (Province de Kongo Central) ; à l'Est par les communes de N'djili, Kimbanseke et N'sele ; à l'Ouest par la commune de Ngaliema et la République du Congo-Brazzaville (Masiala, 2021). Elle compte 21 quartiers (figure 2) à savoir : CPA Mushie, Kimbondo, Kimbuta, Kimwenzza, Kimbuala, Kindele, Lutendele, Mama Mobutu, Mama Yemo, Masanga-Mbila, Musangu-Télécom, Mazamba, Matadi-Kibala, Matadi-Mayo, Mitendi, Mbuki, Ndjili-Kilambu, Ngansele, Plateau 1, Plateau 2 et Vunda-Manenga (Ministère des Ressources Hydrauliques et de l'électricité de la RD Congo, 2024 ; Ngoyi *et al.*, 2026).

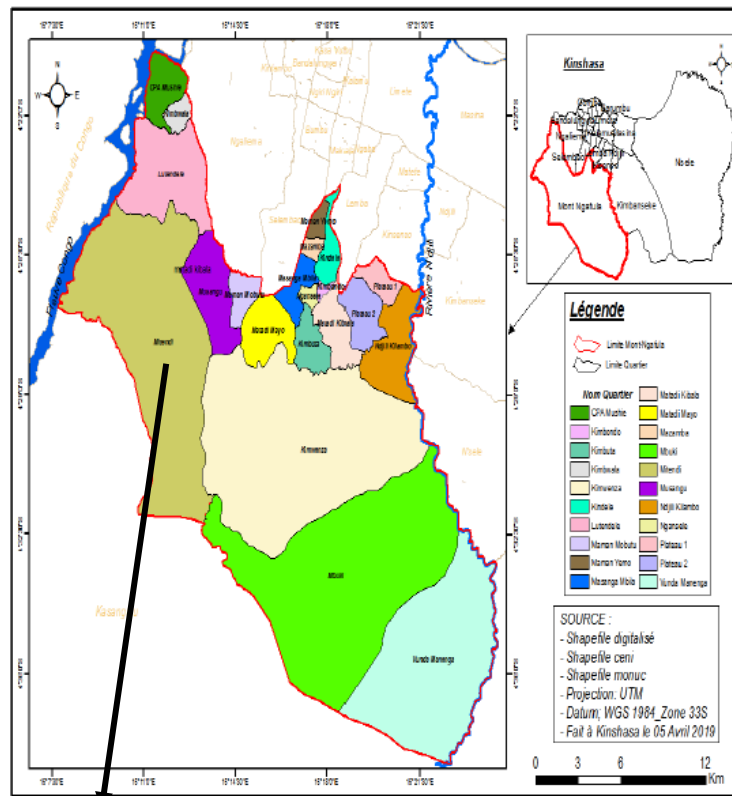


Figure 2. Localisation du quartier Mitendi sur la carte administrative de la commune de Mont-Ngafula
Source : Masiala (2021)

2.1.1 Présentation du milieu experimental

Le quartier Mitendi, dont il s'agit dans ce travail, est limité par les quartiers Lutendele, Musangu-Télécom, Kimwenza et Mbuki dans la commune de Mont-Ngafula et le territoire de Kasangulu dans la province du Kongo Central et le fleuve Congo (Ngoyi *et al.*, 2026).

Le climat de Kinshasa appartient au type tropical humide. Il est caractérisé par une alternance de deux saisons distinctes : une longue saison pluvieuse, s'étendant généralement de septembre à mai, et une courte saison sèche, de juin à août. La température moyenne annuelle se situe entre 25 et 28 °C, avec des pics pouvant dépasser 32 °C en période sèche. L'humidité relative demeure élevée tout au long de l'année, oscillant entre 70 et 85 %, tandis que la pluviométrie annuelle avoisine 1 400mm. Ces conditions climatiques sont propices au développement des systèmes aquacoles, notamment grâce à la stimulation de la production naturelle en phytoplancton et zooplancton, éléments essentiels dans la chaîne alimentaire des poissons (Ngongo *et al.*, 2021).

Le relief de la ville de Kinshasa est marqué par une diversité morphologique, comprenant des plateaux, des collines et des vallées. La zone de Mitendi présente principalement des formations sablo-argileuses légèrement ondulées, entrecoupées de dépressions parfois marécageuses. Cette configuration topographique est favorable à l'aménagement d'infrastructures piscicoles, notamment les étangs, grâce à une bonne circulation de l'eau par gravité. L'altitude varie généralement entre 300 et 500 mètres, assurant un drainage naturel efficace et réduisant les risques de stagnation prolongée des eaux (Kabala *et al.*, 2019).

Le réseau hydrographique de Kinshasa est dominé par le fleuve Congo, qui borde la ville dans sa partie septentrionale. Ce dernier est alimenté par plusieurs cours d'eau, notamment les rivières N'djili, Nsele, Lukaya, Lufimi et Mangengenge, constituant des ressources hydriques importantes pour les activités agricoles et piscicoles (Nsumbu *et al.*, 2018). Dans la zone de Mitendi, on observe également la présence de petits cours d'eau saisonniers issus des collines environnantes. Ceux-ci assurent une disponibilité relativement constante en eau pour l'alimentation des étangs. Ces ressources jouent un rôle déterminant dans l'équilibre des écosystèmes aquatiques et dans la performance des systèmes de production piscicole (Makengo, 2020).

L'étude expérimentale a été conduite dans la ville de Kinshasa, précisément au sein du site piscicole de Mitendi, connu sous l'appellation de ferme MADIN. La ferme est localisée aux coordonnées géographiques suivantes :

latitude 4°29'3'' Sud et longitude 15°11'38'' Est. Cette situation géographique offre des conditions écologiques favorables à la pisciculture, tout en garantissant une bonne accessibilité aux marchés urbains.

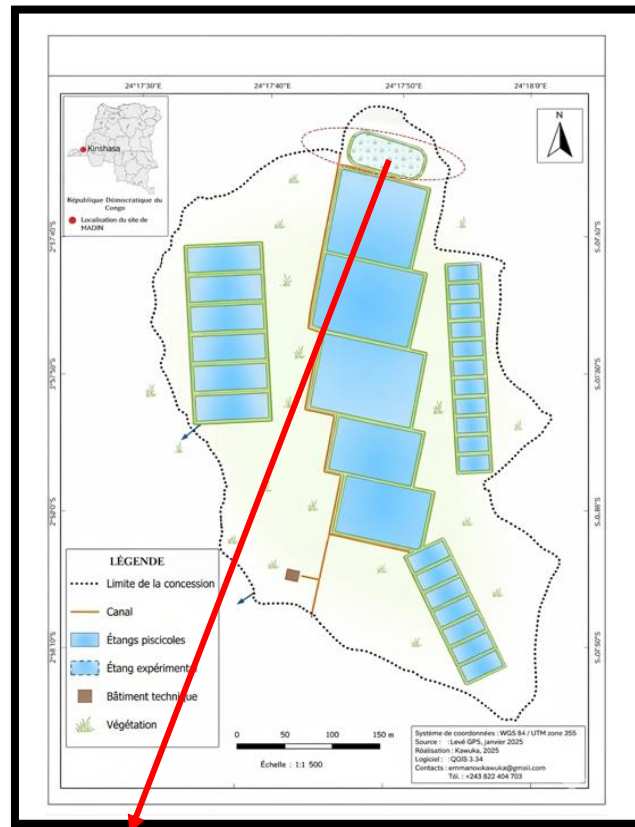


Figure 3. Cartographie de MADIN et présentation de l'étang expérimental
Source : Les auteurs

2.2 Matériels

Pour bien mener cette étude, nous avons eu recours à des matériels biologiques et non biologiques.

2.2.1 Matériel biologique

Il y a eu 120 crevettes acquies dans la commune de N'sele à Kinkole auprès des pêcheurs du fleuve Congo.

2.2.2 Matériels non biologiques

a) Matériel d'expérimentation en étang

- Un étang rectangulaire de 12 m de longueur et 6 m de largeur a été utilisé, correspondant à une surface de 72 m².
- Un décimètre pour les mesures des cages, étangs.
- Kit de Sonde multiparamètre Hanna OAKTON PCD 650 pour l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'eau
- 12 cages de 50 cm² pour la mise en charge des crevettes
- 48 pieds de bambous de chine pour soutenir les cages dans les étangs
- Thermomètre aquatique
- Pieds à coulisse
- Disque de Secchi
- Balance de précision
- Le Pieds à coulisse
- Epuisette



Photo 2. Disposition des cages dans l'étang

b) Matériels de fabrication d'aliment

- Des ingrédients (graine de maïs, millet, soja, déchets des poissons et Chenille, MSF, feuille de Moringa,
- Des sacs et bassins plastic pour le transport et la conservation d'aliment
- Un moulin pour moudre les ingrédients en farine
- Mortiers et pilons (pour obtenir la farine de Moringa)
- L'eau chaude pour le mélange d'aliments
- Une bâche pour le séchage d'aliment

c) Matériels de collectes des données

- Un bloc note, papiers duplicateurs et stylo
- GPS Garmin pour les coordonnées géographiques du site
- Un Téléphone Android pour les photos de l'expérience
- Un ordinateur pour la saisie de notre travail.

d) Matériels d'analyse des ingrédients en laboratoire

- Spectromètre pour analyser la composition chimique des ingrédients
- Four et étuve
- Distillateur

e) Autres matériels

- Des planches (chevrons) pour fabriquer les cages
- Des clous
- Scie pour couper les planches
- Machette et marteau
- Une marmite de chauffage

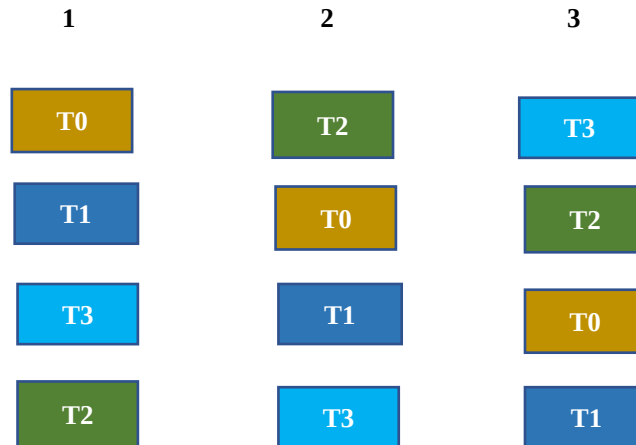
2.3 Méthodes

Cette étude a utilisé la méthode inductive ainsi que la méthode expérimentale. La méthode inductive a aidé à décrire les phénomènes, notamment le milieu, en puisant les données dans les documents écrits au travers de l'application de la technique documentaire.

La méthode expérimentale a servi à réaliser la mise en œuvre de différentes conditions prévues dans cette étude et d'évaluer de manière objective l'influence des formulations sur les résultats attendus. Cette approche expérimentale a permis de confronter les hypothèses aux observations réalisées, tout en respectant les étapes de préparation, de conduite et de mesure des paramètres retenus.

2.3.1 Dispositif expérimental

Notre essai comprenait quatre traitements. Le traitement T1 correspondait à une ration formulée à partir de la farine de mouche soldat noir, le traitement T2 à une ration à base de farine de poisson, et le traitement T3 à une ration à base de farine de chenilles. Le témoin (T0) a été nourri avec un aliment formulé à partir de l'ensemble des ingrédients de base, c'est-à-dire en combinant les trois sources protéiques. L'étude a été menée selon un dispositif expérimental en trois blocs randomisés, avec trois répétitions par traitement, conformément à la figure ci-dessous.



Légende :

T0 : Témoin

T1 : MSN (ration formulée à partir de la farine de mouche soldat noir)

T2 : Poisson

T3 : Chenille

2.3.2 Formulation de la ration alimentaire

À l'aide des ingrédients achetés dans les marchés locaux de Kinshasa et de Kikwit, nous avons élaboré trois rations à base de farine de mouche soldat noir, ainsi que de farines de poissons et de chenilles. En complément, nous avons utilisé, comme témoin, un aliment constitué de ces trois sources protéiques, selon les compositions présentées dans le tableau ci-dessous.

a) Composition de la ration

Tableau 1. Ration B1 : Base Mouche Soldat Noir (PB = 34,2 %)

Ingrédients	Quantité (kg)	EM/Kcal	PB %	Ca %	P %
<i>Son de maïs</i>	10	300	1,2	0,01	0,08
<i>Son de blé</i>	20	1280	3,2	0,02	0,30
<i>Farine BSF</i>	25	1250	10,5	0,40	0,35
<i>Farine de poisson</i>	10	500	6,0	0,30	0,25
<i>Farine de chenille</i>	5	250	2,5	0,08	0,10
<i>Tourteau soja</i>	15	900	7,5	0,03	0,25
<i>Drèche</i>	6	300	1,5	0,02	0,10
<i>Tourteau palmiste</i>	4	200	0,8	0,02	0,08
<i>Moringa</i>	2	80	0,6	0,10	0,05
<i>Farine de pain</i>	2	100	0,4	0,02	0,05

<i>Huile de palme</i>	1	90	–	–	–
<i>Sel iodé</i>	0,5	–	–	–	–
<i>Lysine</i>	0,5	–	–	–	–
<i>Poudre calcaire</i>	0,5	–	–	0,30	–
TOTAL	100	5250	34,2	1,28	1,56
BESOINS		2900	34	2	1,2
BILAN		+2350	+0,2	–0,72	+0,36
BILAN en %			OK	< tolérable	OK

Tableau 2. Ration B2 : Témoin (Base Farine de Poisson) — PB = 34,0 %

Ingrédients	Quantité (kg)	EM/Kcal	PB %	Ca %	P %
Son de maïs	10	300	1,2	0,01	0,08
Son de blé	20	1280	3,2	0,02	0,30
Farine BSF	10	500	4,5	0,20	0,18
Farine de poisson	25	1250	13,5	0,60	0,40
Farine de chenille	5	250	2,5	0,08	0,10
Tourteau soja	15	900	7,5	0,03	0,25
Drèche	6	300	1,5	0,02	0,10
Tourteau palmiste	4	200	0,8	0,02	0,08
Moringa	2	80	0,6	0,10	0,05
Farine de pain	2	100	0,4	0,02	0,05
Huile de palme	1	90	–	–	–
Sel iodé	0,5	–	–	–	–
Lysine	0,5	–	–	–	–
Poudre calcaire	0,5	–	–	0,30	–
TOTAL	100	5250	34,0	1,55	1,54
BESOINS		2900	34	2	1,2
BILAN		+2350	0	–0,45	+0,34
BILAN en %			OK	< tolérable	OK

Tableau 3. Ration B3 : Base Farine de Chenille (PB = 34,4 %)

Ingrédients	Quantité (kg)	EM/Kcal	PB %	Ca %	P %
Son de maïs	10	300	1,2	0,01	0,08
Son de blé	20	1280	3,2	0,02	0,30
Farine BSF	10	500	4,5	0,20	0,18
Farine de poisson	10	500	6,0	0,30	0,25
Farine de chenille	25	1250	12,5	0,25	0,35
Tourteau soja	15	900	7,5	0,03	0,25
Drèche	6	300	1,5	0,02	0,10
Tourteau palmiste	4	200	0,8	0,02	0,08
Moringa	2	80	0,6	0,10	0,05
Farine de pain	2	100	0,4	0,02	0,05

Huile de palme	1	90	–	–	–
Sel iodé	0,5	–	–	–	–
Lysine	0,5	–	–	–	–
Poudre calcaire	0,5	–	–	0,30	–
TOTAL	100	5250	34,4	1,32	1,61
BESOINS		2900	34	2	1,2
BILAN		+2350	+0,4	–0,68	+0,41
BILAN en %			OK	< tolerable	OK

Tableau 4. Tableau synthétique des trois rations expérimentales

N°	Ingrédients	Ration B1 (BSF) Qté en %	Ration B2 (Poisson) Qté %	Ration B3 (Chenille) Qté %
1	Son de maïs	10	10	10
2	Son de blé	20	20	20
3	Farine BSF	25	10	10
4	Farine de poisson	10	25	10
5	Farine de chenille	5	5	25
6	Tourteau de soja	15	15	15
7	Drèche	6	6	6
8	Tourteau palmiste	4	4	4
9	Moringa	2	2	2
10	Farine de pain	2	2	2
11	Huile de palme	1	1	1
12	Sel	0,5	0,5	0,5
13	Lysine	0,5	0,5	0,5
14	Poudre calcaire	0,5	0,5	0,5
TOTAL		100	100	100

Cette formulation met en évidence une approche expérimentale bien structurée, où les trois rations sont équilibrées sur le plan quantitatif (100 %) et ne diffèrent essentiellement que par la source principale de protéines (farine de mouche soldat noir, farine de poisson et farine de chenille). Cette standardisation permet une comparaison fiable des performances zootechniques des crevettes. Sur le plan nutritionnel, les rations atteignent globalement un niveau adéquat en protéines brutes (~34 %), ce qui correspond aux besoins des crevettes en croissance. L'association des matières premières végétales (soja, sons, drèche) et animales (poisson, insectes) favorise une complémentarité des acides aminés, renforcée par l'apport en lysine. Cette ration est techniquement cohérente et adaptée à un essai comparatif, tout en offrant une bonne base pour évaluer le potentiel des protéines alternatives locales dans l'alimentation des crevettes.

Cependant, deux points méritent attention :

- Le calcium reste légèrement inférieur aux besoins, malgré l'ajout de poudre calcaire, ce qui peut influencer la formation de la carapace.
- L'énergie semble relativement élevée, ce qui pourrait affecter l'indice de conversion alimentaire si elle n'est pas bien maîtrisée.

Pour notre expérimentation, nous avons formulé 10 kg d'aliment pour chacun des trois types de rations, soit un total de 30 kg d'aliments, avec un taux de protéines brutes d'environ 34 % dans chaque bloc, conformément à notre formulation.

b) Etapes de la fabrication de l'aliment

Pour la préparation des aliments, nous avons procédé comme suit :

1. Peser avec précision les différents ingrédients retenus ;
2. Étiqueter les ingrédients puis les regrouper dans des sacs appropriés ;
3. Moudre les ingrédients afin d'obtenir une granulométrie homogène ;
4. Broyer et mélanger les ingrédients, puis ajouter l'huile de palme (1 litre par traitement);
5. Faire bouillir l'eau utilisée pour le mélange, afin de réduire le risque lié aux micro-organismes pathogènes ;
6. Réaliser le prés-mélange des minéraux (poudre calcaire) avec l'huile de palme ;
7. Malaxer le mélange jusqu'à l'obtention d'une pâte uniforme ;
8. Sécher au soleil pendant une à deux semaines, pour assurer la stabilité de l'aliment.



Photo 3. Nos trois rations

2.3.3 Conduite de l'expérience

Cette expérience a duré 16 semaines, et s'est déroulée selon les étapes suivantes :

1. Prélèvement des paramètres physico-chimiques de l'eau du cours de provenance de crevettes et de l'étang expérimental;
2. Construction des cages ;
3. Achat des différents ingrédients, puis mouture en farine ;
4. Formulation des rations alimentaires équilibrées et fabrication des aliments ;
5. Achat des crevettes vivants à Kinkole auprès des pêcheurs et transport jusqu'à la ferme
6. Mise en charge des crevettes dans 12 cages de 0,50 m de hauteur, à raison de 5 crevettes par cage, soit 60 crevettes au total. Le poids moyen estimé par crevette était de 4 g. La biomasse initiale retenue était de 88 g. Les cages étaient installées dans un étang rectangulaire de 12 m de longueur et 6 m de largeur, soit une surface de 72 m², avec une profondeur moyenne de 1 m ;
7. Nourrissage manuel des crevettes, en deux repas par jour à 6 h et 17 h, avec une même quantité d'aliments au départ. La ration initiale était de 10 g par jour et par cage, correspondant à 6 % de la biomasse initiale (88 g). Par la suite, la quantité de nourriture a été réajustée en fonction de la biomasse des crevettes ;
8. Le pesage hebdomadaire et le suivi quotidien



Photo 4. Pesage de crevette

2.3.4 Paramètres étudiés

Dans le cadre de cette étude portant sur les performances zootechniques et l'analyse technico-économique de l'élevage des crevettes d'eau douce (*Macrobrachium rosenbergii*) en cages flottantes, plusieurs paramètres ont été retenus afin d'évaluer de manière globale l'effet des différentes sources protéiques, notamment *Hermetia illucens*, les chenilles et la farine de poisson.

- ❖ Les conditions du milieu d'élevage ont été suivies à l'aide des paramètres physico-chimiques de l'eau, notamment la T°, le pH, l'OD, la conductivité, ainsi que la turbidité, afin de garantir un environnement favorable à la croissance des crevettes.
- ❖ Les paramètres zootechniques ont concerné la croissance (poids initial et final, gain moyen quotidien, gain de poids total, longueur), ainsi que les performances de production telles que le taux de survie, la biomasse finale et le rendement. Parallèlement, les paramètres alimentaires ont permis d'apprécier l'efficacité d'utilisation des rations à travers l'indice de conversion alimentaire, le taux d'ingestion et l'efficacité protéique.
- ❖ Sur le plan économique, l'étude a pris en compte les coûts de production (aliments, alevins, main-d'œuvre et équipements), les recettes générées, ainsi que les indicateurs de rentabilité tels que la marge brute, le bénéfice net et le seuil de rentabilité. Enfin, une analyse comparative et statistique des résultats (moyennes, ANOVA et tests de comparaison) a permis d'identifier la ration la plus performante tant sur le plan biologique qu'économique.

Tableau 5. Formule de calcul des paramètres Zootechniques

Paramètre	Formule	Unité	Source
Gain de Poids Total (GPT)	$GPT = Pf - Pi$	G	Ridha, 2006
Gain Moyen Quotidien (GMQ)	$GMQ = (Pf - Pi) / J$	g/j	Ridha, 2006
Taux de Croissance Spécifique (TCS)	$TCS = [(ln Pf - ln Pi) / J] \times 100$	%/j	Kumlu <i>et al.</i> , 2001
Taux de Survie (TS)	$TS = (Nf / Ni) \times 100$	%	Tidwell, 2012
Indice de Conversion Alim. (ICA)	$ICA = \text{Aliment consommé} / \text{Gain de biomasse}$	adim.	Saville, 1990
Taux Efficacité Protéique (TEP)	$TEP = \text{Gain biomasse} / (\text{Aliment} \times 0,34)$	adim.	NRC, 2011
Biomasse finale	$B = Pf \times Nf$	G	—

Rendement volumique	$R = \text{Biomasse finale (kg)} / \text{Volume cage (m}^3\text{)}$	kg/m ³	—
---------------------	---	-------------------	---

P_i = poids initial (g) | P_f = poids final (g) | J = durée en jours (112) | N_i = nombre initial | N_f = nombre final | PB = teneur en protéines brutes (34%)

2.3.5 Analyses et traitement statistiques des données

Les données collectées au cours de l'expérimentation ont été saisies dans Microsoft Excel 2016, puis analysées avec le logiciel R (version 4.x, R Core Team, 2024). Conformément au plan expérimental en Blocs Complets Randomisés (BCR), les données ont été soumises à une analyse de variance à deux facteurs additifs selon le modèle linéaire : $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$, où μ représente la moyenne générale, τ_i l'effet du traitement i ($i = T_0, T_1, T_2, T_3$), β_j l'effet du bloc temporel j ($j = S_2 \text{ à } S_{16}$) et ε_{ij} l'erreur résiduelle. La somme des carrés de type II (Type II SS) a été utilisée, conformément aux recommandations de Fox et Weisberg (2019) pour les plans sans interaction. Avant toute analyse, les conditions d'application de l'ANOVA ont été vérifiées : la normalité des résidus a été testée par le test de Shapiro-Wilk et l'homogénéité des variances par le test de Bartlett. En cas de non-respect de la normalité, le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été appliqué en complément.

Les comparaisons de moyennes ont été effectuées par le test LSD de Fisher (Least Significant Difference), selon la méthode de Saville (1990), appliqué uniquement lorsque le test F de l'ANOVA était significatif au seuil $\alpha = 0,05$ (Fisher protégé). Les lettres de significativité ont été attribuées selon la méthode des lettres compactes (Piepho, 2004). Par ailleurs, la localisation des sites d'étude a été réalisée par cartographie à partir des coordonnées géographiques, à l'aide du logiciel ArcGIS 10.8.

3 Résultats

3.1 Conditions physico-chimiques du milieu de provenance des crevettes

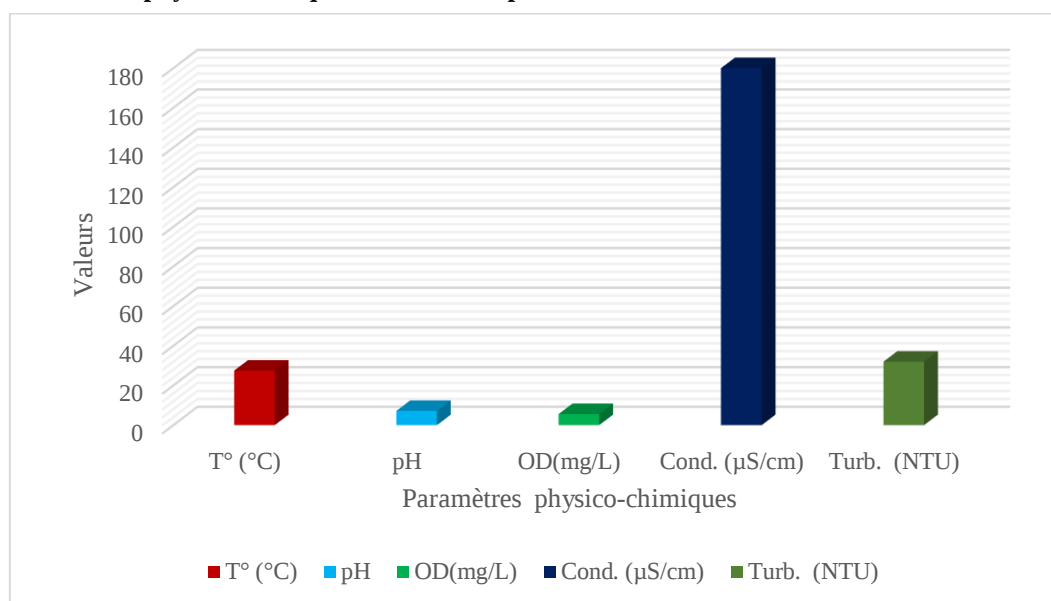


Figure 4. Conditions physico-chimique du milieu de provenance

La figure présente les conditions physico-chimiques moyennes du milieu de provenance des crevettes. Les résultats indiquent une température de 27,5 °C, un pH de 7,2, une teneur en oxygène dissous de 5,6 mg/L, une conductivité électrique de 180 µS/cm et une turbidité de 32 NTU.

La température observée est favorable au développement et à la survie des crevettes, tandis que le pH, proche de la neutralité, traduit un milieu relativement stable et propice aux activités biologiques. La concentration en oxygène dissous de 5,6 mg/L indique une oxygénation satisfaisante du milieu, capable de soutenir les besoins respiratoires

des organismes aquatiques. La conductivité électrique de 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ révèle une minéralisation modérée de l'eau, traduisant la présence d'éléments dissous nécessaires au fonctionnement de l'écosystème. Quant à la turbidité, évaluée à 32 NTU, elle témoigne d'une quantité modérée de particules en suspension dans l'eau.

3.2 Conditions physico-chimiques du milieu d'élevage

Les paramètres physico-chimiques enregistrés durant les seize semaines d'expérimentation se situent dans une plage globalement favorable à l'élevage de *Macrobrachium rosenbergii*. Les températures moyennes oscillent entre $28,2 \pm 0,8$ °C (T0) et $28,8 \pm 0,8$ °C (T3), les valeurs de pH entre $7,25 \pm 0,19$ (T0) et $7,65 \pm 0,19$ (T3), et les concentrations en oxygène dissous (OD) entre $4,83 \pm 0,38$ mg/L (T0) et $5,43 \pm 0,38$ mg/L (T3).

Les écarts inter-traitements sont faibles pour les trois paramètres : Δ température = 0,6 °C, Δ pH = 0,40, Δ OD = 0,60 mg/L. Cette homogénéité valide la comparabilité des conditions expérimentales entre cages et confirme que les différences de performances zootechniques observées en section 3.2 sont bien imputables aux régimes alimentaires testés, et non à une hétérogénéité environnementale (Figure 4).

Les températures mesurées (28,2–28,8 °C) correspondent à la fenêtre thermique optimale de croissance de *M. rosenbergii*, généralement comprise entre 26 et 30 °C (New, 2002 ; Tidwell, 2012). Le pH légèrement alcalin (7,25–7,65) est conforme aux recommandations pour l'élevage de cette espèce (6,8–8,5), favorisant la disponibilité minérale essentielle à la formation de la carapace lors des mues. L'oxygène dissous, bien qu'inférieur au seuil optimal de 5 mg/L pour T0 (4,83 mg/L) et T1 (5,03 mg/L), demeure supérieur au seuil critique de 3 mg/L en deçà duquel une hypoxie significative est documentée chez les crevettes d'eau douce

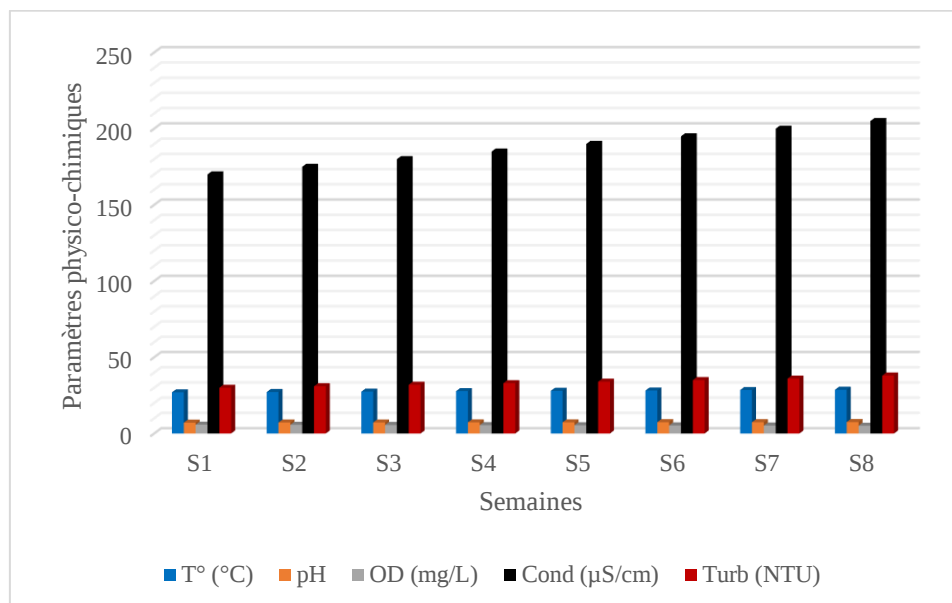


Figure 5. Paramètres physico-chimiques de l'eau de la S1-S8

La figure montre que les paramètres physico-chimiques de l'eau ont globalement évolué de manière progressive au cours des huit semaines d'observation. La température (27–30 °C), le pH (7,1–7,5) et l'oxygène dissous (27,2–28,7 mg/L) sont restés relativement stables, indiquant des conditions favorables et une bonne qualité de l'eau. En revanche, la conductivité électrique a augmenté de 170 à 205 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et la turbidité de 30 à 38 NTU, traduisant une accumulation progressive des substances dissoutes et des particules en suspension. Malgré ces augmentations, les variations observées demeurent modérées et ne semblent pas compromettre l'équilibre global du milieu aquatique.

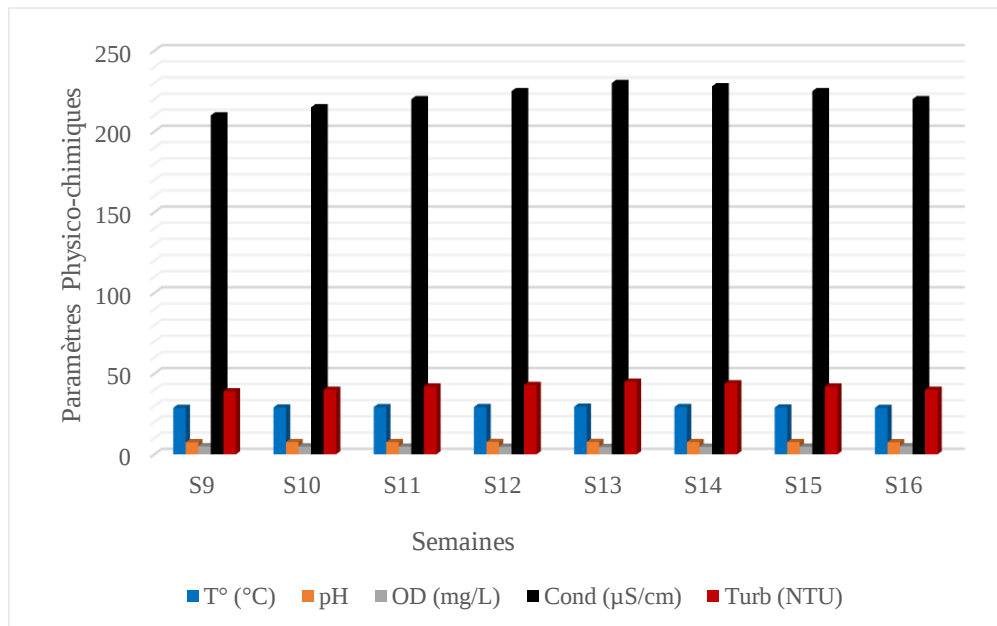


Figure 6. Évolution temporelle des paramètres physico-chimiques de l'eau (S9-S16)
Légende : S=semaine

La figure présente l'évolution des paramètres physico-chimiques de l'eau entre les semaines S9 et S16. Les résultats montrent une relative stabilité de la température, du pH et de l'oxygène dissous durant toute la période d'observation. La température varie légèrement entre 28,8 °C et 29,5 °C, indiquant des conditions thermiques stables. Le pH demeure compris entre 7,5 et 7,7, traduisant un milieu légèrement alcalin favorable à la plupart des organismes aquatiques. L'oxygène dissous oscille faiblement entre 28,6 et 29,0 mg/L, ce qui témoigne d'une bonne oxygénation du milieu.

La conductivité électrique augmente progressivement de 210 μS/cm à S9 jusqu'à un maximum de 230 μS/cm à S13, avant de diminuer graduellement pour atteindre 220 μS/cm à S16. Cette évolution suggère une accumulation temporaire des substances dissoutes suivie d'une légère réduction de leur concentration. La turbidité suit une tendance similaire, passant de 39 NTU à S9 à 45 NTU à S13, puis diminuant progressivement jusqu'à 40 NTU à S16. Cette variation indique une augmentation puis une réduction des particules en suspension dans l'eau.

3.3 Performances zootechniques selon les sources protéiques

3.3.1 Poids final et taille finale des traitements à 16 semaines

L'analyse de variance (ANOVA Type II, BCR, $\alpha = 0,05$) révèle des différences significatives entre traitements pour le poids final (F significatif, test LSD de Fisher). Le traitement T0 (témoin mixte) produit le poids individuel le plus élevé avec $38,30 \pm 0,12$ g, suivi de T3 (chenilles : $38,10 \pm 0,06$ g, même groupe « a »), puis T2 (farine de poisson : $37,60 \pm 0,17$ g) et T1 (*Hermetia illucens* : $37,40 \pm 0,12$ g), ces deux derniers formant le groupe « b » (Tableau 17). L'écart maximal de poids individuel entre T0 et T1 n'est que de 0,90 g, soit une différence relative de 2,3 %, ce qui témoigne d'une performance de croissance individuelle globalement similaire entre les quatre rations.

La taille finale présente une hiérarchie à trois niveaux significativement distincts (groupes a, b, c) : T0 ($16,57 \pm 0,03$ cm) > T2 ≈ T3 ($16,18 \pm 0,11$ et $16,17 \pm 0,09$ cm) > T1 ($15,40 \pm 0,21$ cm). Le retard de croissance linéaire de T1 (-1,17 cm par rapport à T0, soit 7,1 %) est statistiquement isolé (groupe « c »), suggérant que la ration à base de *H. illucens* à 25 % n'a pas soutenu l'élongation corporelle au même niveau que les autres traitements, en dépit d'un poids individuel acceptable. Ce découplage entre poids et taille mérite attention et oriente l'interprétation vers une composition en lipides structuraux ou en acides aminés impliqués dans la croissance squelettique (voir Figure 10).

Tableau 6. Paramètres zootechniques des crevettes (*Macrobrachium rosenbergii*) selon le traitement alimentaire après 112 jours

variable	T0 (Témoin mixte)	T1 (H illucens)	T2 (Farine de poisson)	T3 (Chenilles)
Poids final (g)	38.30 ± 0.12 a	37.40 ± 0.12 b	37.60 ± 0.17 b	38.10 ± 0.06 a
Taille finale (cm)	16.57 ± 0.03 a	15.40 ± 0.21 c	16.18 ± 0.11 b	16.17 ± 0.09 b
Biomasse totale (g)	114.90 ± 0.35 a	112.20 ± 0.35 b	75.20 ± 0.35 c	76.20 ± 0.12 c
Indice de consommation	1.89 ± 0.12 a	2.05 ± 0.09 a	2.10 ± 0.15 a	1.89 ± 0.04 a

Valeurs exprimées en moyennes ± écart-type. Les lettres en exposant (a, b, c) indiquent des groupes homogènes distincts selon le test LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$). Pi initial = 4 g ; durée expérimentale = 112 jours (16 semaines).

3.3.2 Lecture des courbes de croissance et figure comparative

Les courbes de croissance pondérale (Figure 7) illustrent la dynamique temporelle d'accumulation de masse corporelle sur les 112 jours d'expérimentation. L'ensemble des traitements décrit une trajectoire ascendante continue, cohérente avec le profil de croissance sigmoïde caractéristique de *M. rosenbergii*. La divergence entre le groupe {T0, T3} et le groupe {T1, T2} s'amorce dès les premières semaines et se consolide en fin d'expérimentation, indiquant que l'effet différentiel des rations s'exprime précocement, probablement au stade juvénile où les besoins protéiques et lipidiques sont les plus élevés. La figure comparative des traitements à 16 semaines (Figure 8) confirme visuellement la supériorité de T0 et T3 sur les indicateurs de croissance individuelle.

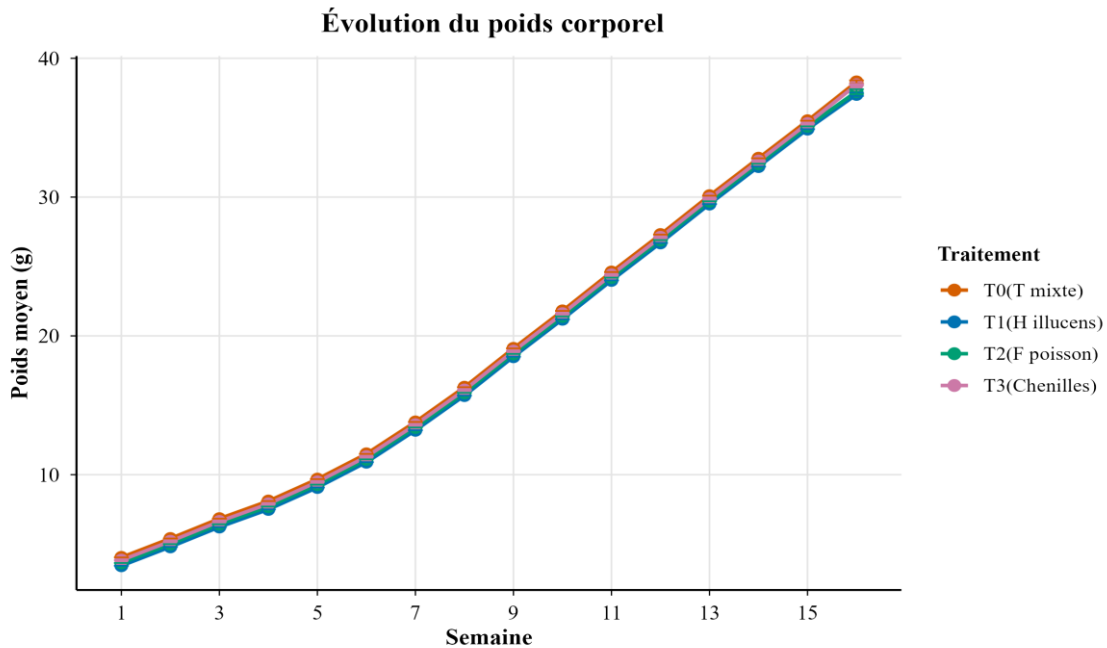


Figure 7. Courbes de croissance

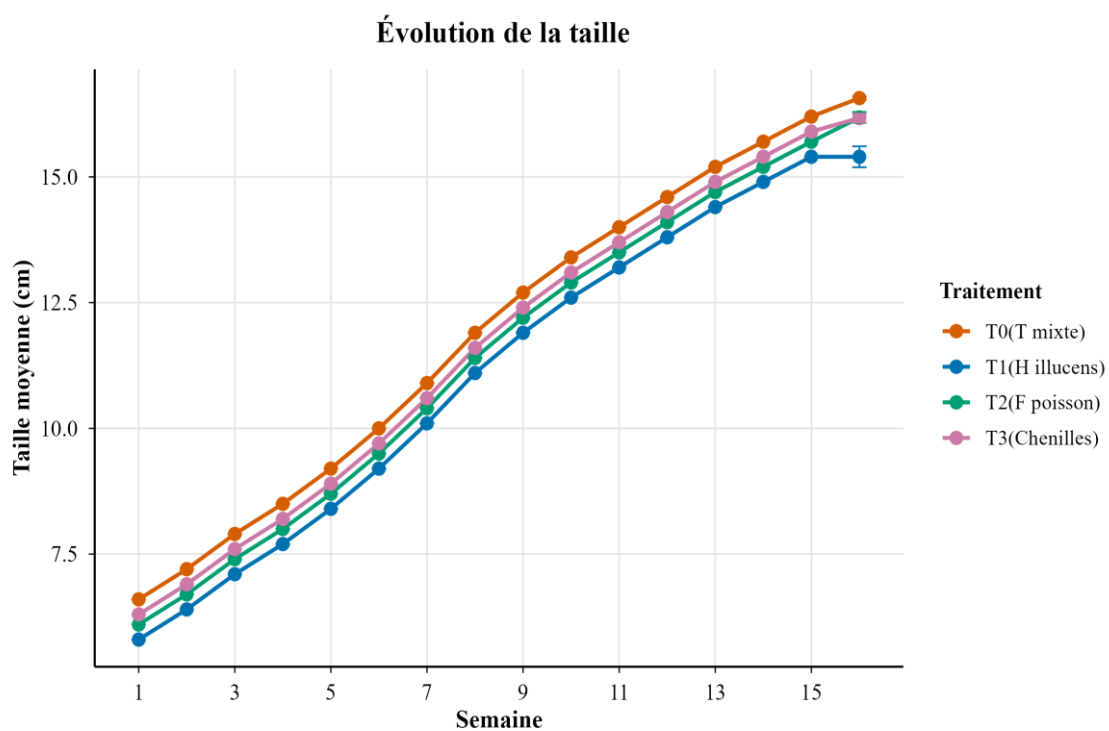


Figure 8. Courbe de croissance de l'évolution de la taille pendant les semaines

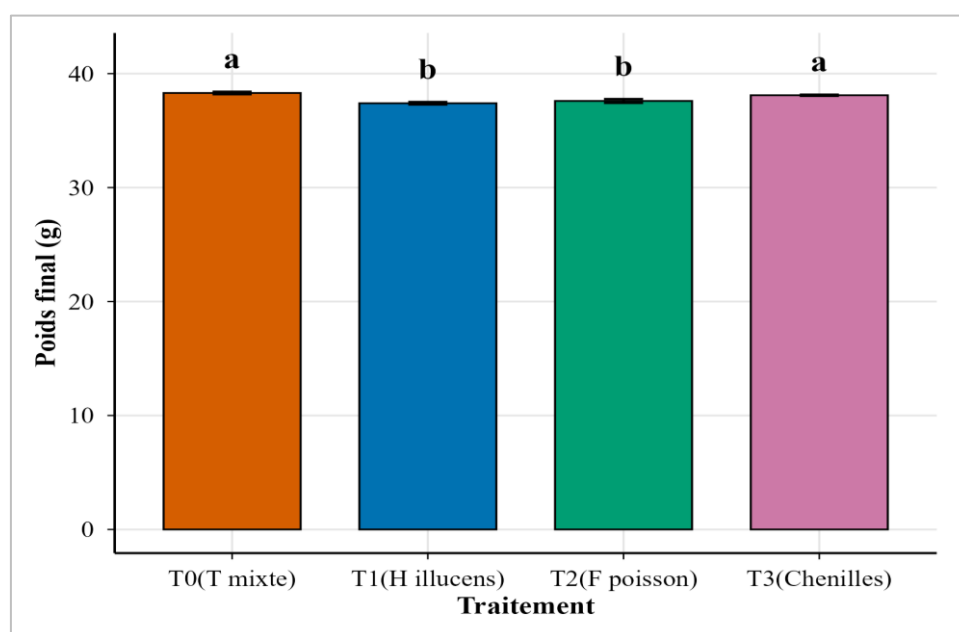


Figure 9. Poids final (g)

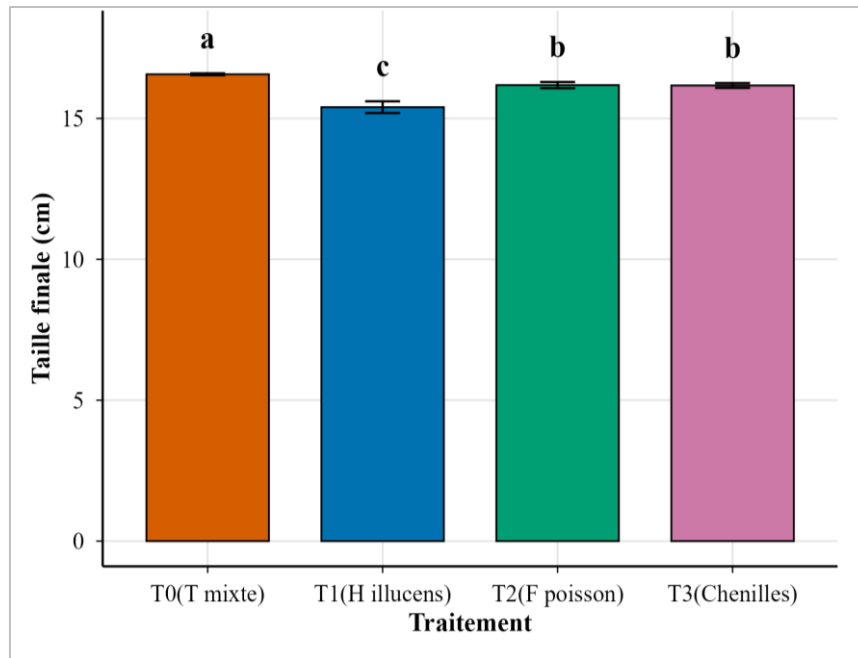


Figure 10. Taille finale (cm)

3.3.3 Biomasse totale : résultat déterminant

La biomasse totale finale constitue la variable la plus discriminante de l'essai. Elle fait apparaître une rupture nette entre deux groupes statistiques : d'une part T0 ($114,90 \pm 0,35$ g, groupe « a ») et T1 ($112,20 \pm 0,35$ g, groupe « b »), d'autre part T2 ($75,20 \pm 0,35$ g, groupe « c ») et T3 ($76,20 \pm 0,12$ g, groupe « c »). L'écart entre le groupe supérieur (T0) et le groupe inférieur (T2) atteint 39,70 g, soit une réduction de 34,6 % (Tableau 6).

Cette divergence ne s'explique pas par la croissance individuelle —T0 et T2 présentant des poids finals quasi-identiques (38,30 g vs 37,60 g, soit 1,9 % d'écart) mais par un taux de survie significativement plus faible dans les cages T2 et T3. La biomasse étant le produit du poids individuel par le nombre de survivants ($B = Pf \times Nf$), la survie différentielle entre traitements constitue ainsi le principal vecteur de divergence de production, devant la croissance individuelle.

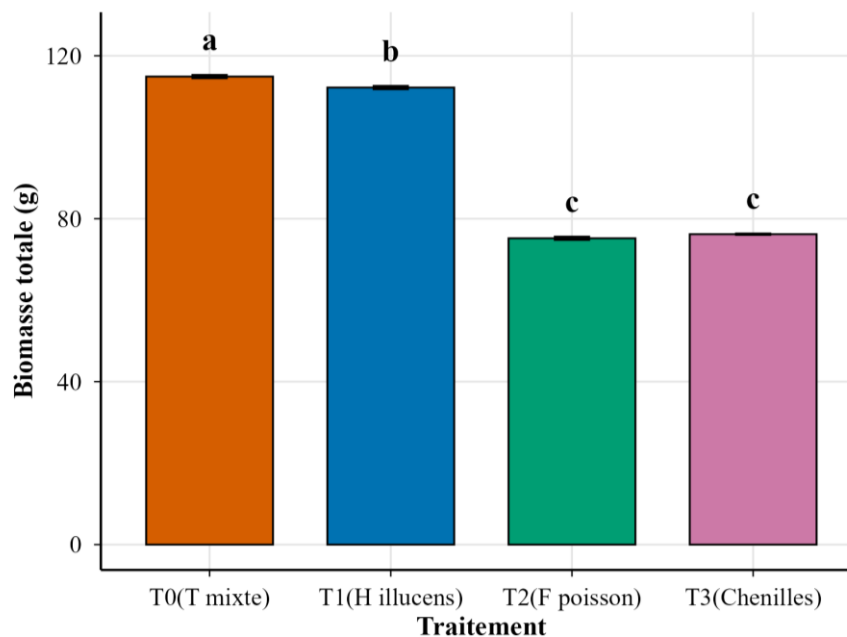


Figure 11. Biomasse totale (g)

3.3.4 Indice de conversion alimentaire (ICA)

L'indice de conversion alimentaire ne présente pas de différence statistiquement significative entre les quatre traitements (tous groupés sous la lettre « a », $\alpha = 0,05$). Les valeurs obtenues s'échelonnent entre $1,89 \pm 0,12$ (T0 et T3) et $2,10 \pm 0,15$ (T2), plage cohérente avec les données de la littérature pour *M. rosenbergii* en système semi-intensif (Ridha, 2006 ; New, 2002 : ICA de 1,5 à 2,5). L'absence de différence significative entre les traitements indique que les trois sources protéiques alternatives maintiennent une efficacité d'utilisation de l'aliment équivalente à celle du témoin, ce qui constitue un argument technique favorable à leur substitution partielle de la farine de poisson.

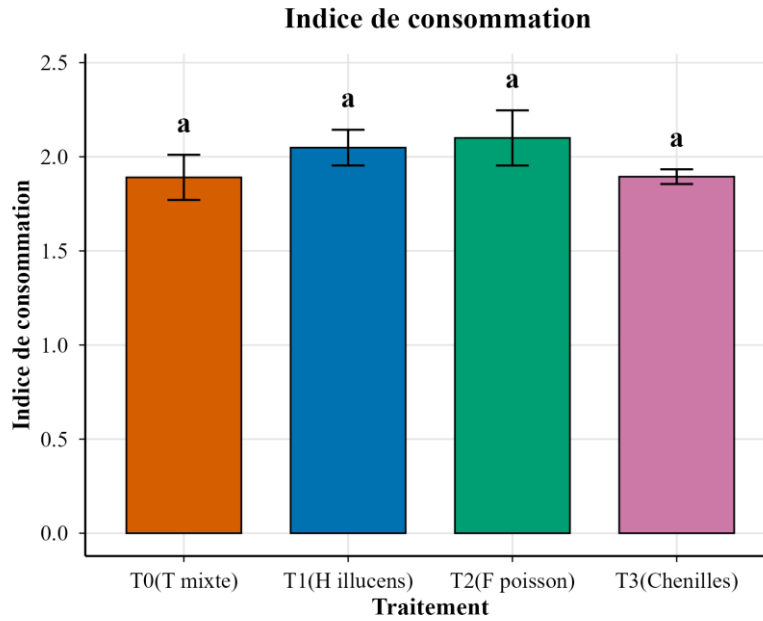


Figure 12. Variation de l'indice de consommation dans le traitement

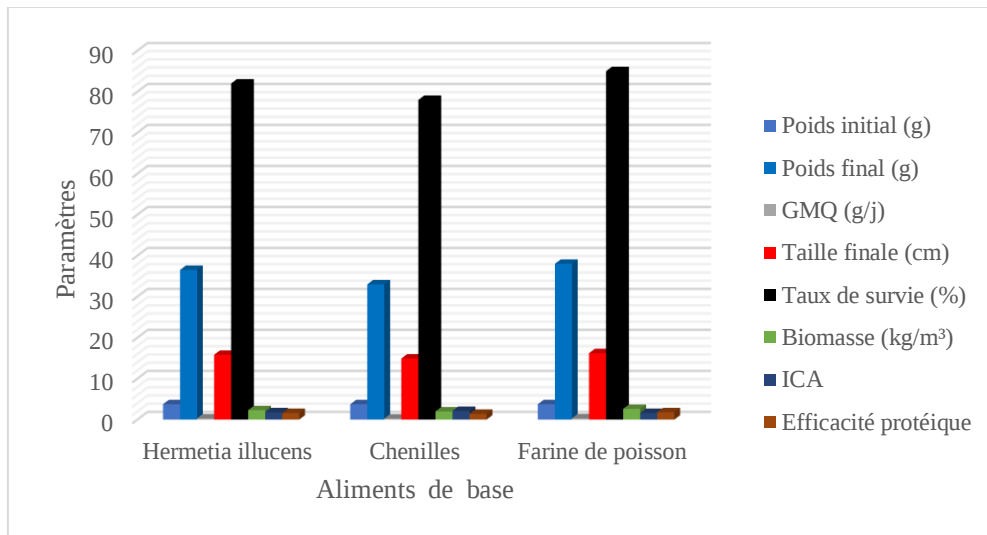


Figure 13. Comparaison de trois ingrédients alimentaires de base

La figure montre que les trois régimes augmentent le poids, avec une croissance légèrement plus élevée pour la farine de poisson (poids final ≈ 38 – 39 g), tandis que *Hermetia illucens* présente une performance globale plus équilibrée : survie plus élevée (≈ 15 – 20%) et meilleure valorisation via l'efficacité protéique/ICA. Les chenilles donnent des résultats intermédiaires (poids final ≈ 33 – 34 g).

3.4 Analyse technico-économique

Les indicateurs économiques font ressortir une hiérarchie claire entre les quatre traitements. Les coûts totaux de production varient modérément, de 38,33 USD (T1 et T2) à 43,00 USD (T3), soit un écart maximal de 4,67 USD par cage. En revanche, la marge brute et la rentabilité affichent une dispersion bien plus marquée : la marge brute s'échelonne de 719,00 USD (T3) à 1 109,11 USD (T0), et la rentabilité de 1 672,1 % (T3) à 2 850,7 % (T1) (Tableau 7).

La rentabilité maximale de T1 (*Hermetia illucens* : 2 850,7 %) par rapport au témoin T0 (2 780,4 %) s'explique par un coût alimentaire inférieur (38,33 vs 39,89 USD) combiné à une biomasse finale élevée (112,20 g). Ce positionnement confirme *H. illucens* comme la source protéique alternative la plus compétitive économiquement, malgré une performance de croissance individuelle légèrement en retrait du témoin. À l'opposé, T3 (chenilles) présente la rentabilité la plus faible (1 672,1 %), en dépit d'un poids individuel comparable à T0. Cette contre-performance résulte de la conjonction d'un coût de production plus élevé (+12,2 % par rapport à T1) et d'une biomasse totale réduite (76,20 g) liée à un taux de survie plus bas. Le ratio des marges brutes T0/T3 (1 109,11 / 719,00 = 1,54) indique une perte de revenus potentiels de 35 % pour T3, ce qui compromet sa viabilité économique à l'échelle de l'élevage commercial.

3.4.1 Indicateurs de rentabilité économique de l'élevage des crevettes

Tableau 7. Indicateurs de rentabilité économique de l'élevage des crevettes d'eau douce selon le régime alimentaire

Traitement	Coût total (USD)	Marge brute (USD)	Rentabilité (%)
T0 (T mixte)	39.89	1,109.11	2,780.4
T1 (<i>Hermetia illucens</i>)	38.33	1,092.67	2,850.7
T2 (Farine poisson)	38.33	933.67	2,435.9
T3 (Chenilles)	43.00	719.00	1,672.1

Coûts totaux en USD par cage. Marge brute = recettes – coûts totaux. Rentabilité = (marge brute / coûts totaux) × 100 (%).

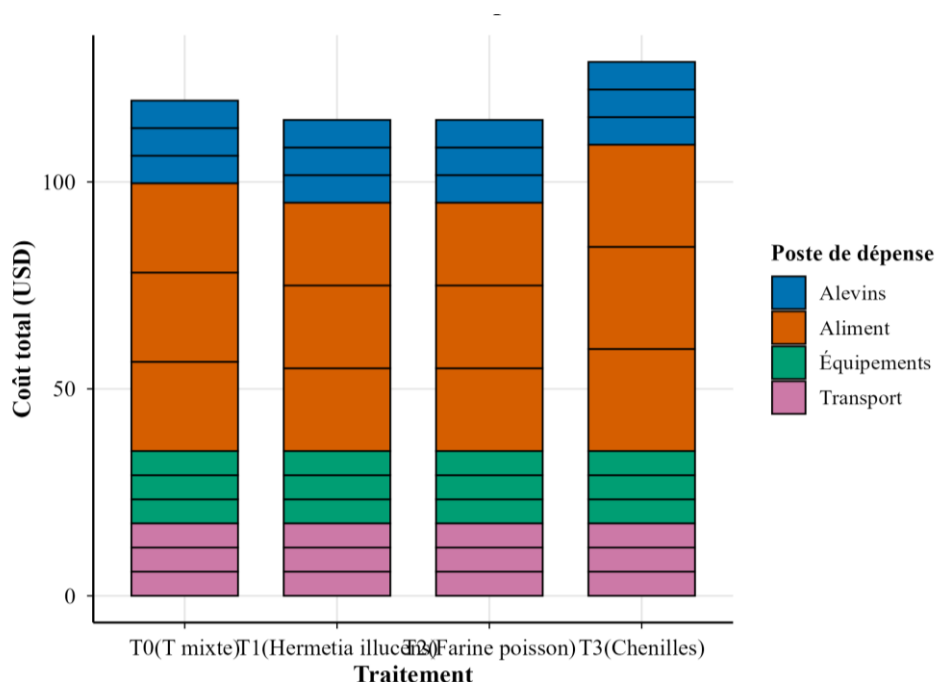


Figure 14. Structure des coûts de production

3.4.2 Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales réalisée sur l'ensemble des variables zootechniques et économiques (poids final, taille finale, biomasse totale, ICA, coût total, marge brute, rentabilité) synthétise la structure de variation entre les quatre traitements. Les deux premiers axes principaux (Dim1 et Dim2) capturent conjointement la majeure partie de la variance totale du jeu de données, permettant une représentation bidimensionnelle satisfaisante des relations entre traitements et variables (Figure 9).

Sur le biplot, les traitements T0 et T1 se positionnent dans la région associée aux valeurs élevées de biomasse totale et de marge brute, tandis que T2 et T3 se distinguent par leurs valeurs réduites sur ces mêmes indicateurs. L'ICA, non significatif entre traitements, contribue faiblement à la structuration du plan factoriel, son vecteur étant court et peu aligné avec les axes principaux. T1 (*H. illucens*) occupe une position intermédiaire mais distincte sur Dim2, reflétant son profil singulier : rentabilité maximale avec biomasse élevée mais taille individuelle inférieure.

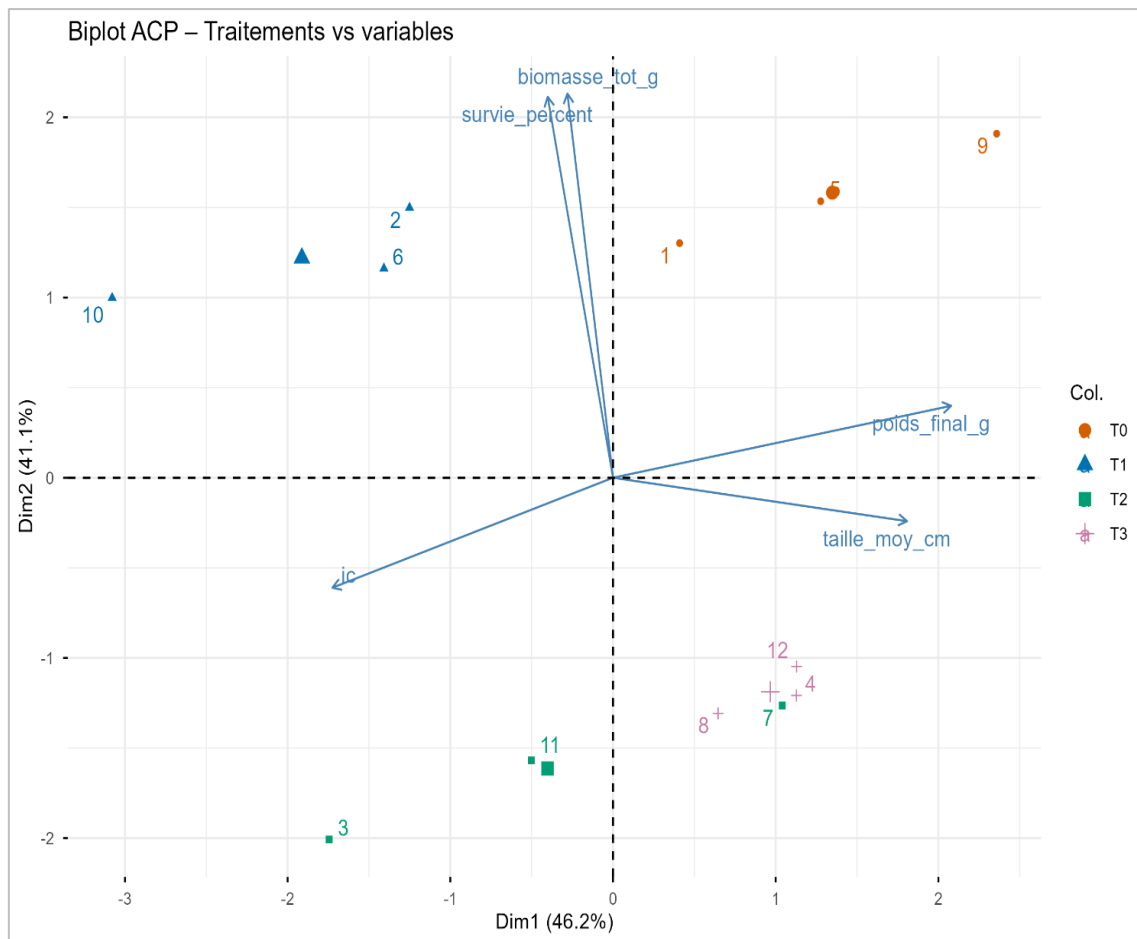


Figure 15. Biplot de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres zootechniques et technico-économiques selon les traitements alimentaires

4 Discussion

En revue systématique de l'impact du BSF sur l'élevage des crevettes, la justification la plus complète disponible pour l'utilisation du BSF comme substitut est la farine de poisson (Ling *et al.* 2024)

4.1 Conditions physico-chimiques du milieu d'élevage

Les paramètres physico-chimiques mesurés au cours de cette expérimentation (T° : 28,2–28,8 °C ; pH : 7,25–7,65 ; OD : 4,83–5,43 mg/L) sont cohérents avec les valeurs recommandées pour l'élevage de *Macrobrachium rosenbergii* en milieu tropical. New (2002) et Tidwell (2012) indiquent que cette espèce tolère une plage thermique de 22 à 32 °C, avec un optimum de croissance entre 26 et 30 °C. Les températures observées dans notre étude

s'inscrivent pleinement dans cette fenêtre, ce qui exclut la thermorégulation comme facteur limitant des performances.

L'homogénéité des conditions entre cages ($\Delta T^\circ = 0,6^\circ\text{C}$, $\Delta \text{pH} = 0,40$, $\Delta \text{OD} = 0,60 \text{ mg/L}$) constitue un point de rigueur méthodologique important. Kombozi et Yambayamba (2010) soulignent que la comparabilité des conditions environnementales entre unités expérimentales est une condition préalable à l'attribution statistique des différences de performances aux régimes alimentaires testés. Dans notre cas, le dispositif en Blocs Complets Randomisés (BCR) a rempli cette fonction en contrôlant l'effet du bloc temporel (semaines S2 à S16) comme covariable.

Les valeurs de pH légèrement alcalines (7,25–7,65) observées sont conformes aux recommandations de Ndao (2019) pour l'aquaculture des crevettes d'eau douce (6,5–8,5), une plage qui favorise la disponibilité du calcium et du phosphore nécessaires au processus de mue. Notons que les concentrations en oxygène dissous de T0 et T1 (4,83 et 5,03 mg/L) se situent légèrement en dessous du seuil optimal généralement cité de 5 mg/L (Tidwell, 2012), mais demeurent bien au-dessus du seuil critique de 3 mg/L, limite en deçà de laquelle une réduction significative du taux de croissance est documentée chez *M. rosenbergii* (Lusasi et al., 2022).

4.2 Performances de croissance individuelle : poids et taille finale

Les poids finals enregistrés dans cette étude (37,40 à 38,30 g en 112 jours à partir d'un poids initial de 4 g) témoignent d'une performance de croissance globalement satisfaisante pour l'ensemble des traitements. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par (Ridha, 2006 ; Chen et al., 2025) pour des individus de même espèce nourris avec une ration standard à base de farine de poisson pendant une période similaire (32–36 g), ce qui suggère que les conditions expérimentales de la présente étude – notamment la température et la densité de peuplement (5 individus par cage de 0,50 m³) – ont favorisé une croissance individuelle efficace. Également, post-larves de *M. rosenbergii* nourries avec farine BSF enrichie en aquaponie données de croissance et bien-être directement comparables aux résultats T1 indique Zarantoniello et al. (2023).

La supériorité de T0 (témoin mixte : $38,30 \pm 0,12 \text{ g}$) sur les traitements à protéines alternatives uniques s'explique par la complémentarité nutritionnelle caractéristique des rations mélangées. Selon New (2002) et Phonsiri et al. (2024), les rations combinant plusieurs sources protéiques offrent un profil en acides aminés plus complet, notamment en lysine, méthionine et thréonine, ce qui optimise la rétention azotée et la croissance chez les crevettes d'eau douce. La présence simultanée de farine de poisson, d'*H. illucens* et de chenilles dans T0 crée une synergie nutritionnelle absente des rations mono-source. Cummins et al. (2017) ajoute que le remplacement partiel/total de la farine de poisson par BSF chez *L. vannamei* (crevette marine) démontre que le FCR est maintenu quand BSF remplace $\leq 50\%$ de la farine de poisson. Valide le résultat de non-significativité du FCR

Le retard de croissance linéaire observé pour T1 (*H. illucens* : $15,40 \pm 0,21 \text{ cm}$ de taille finale, groupe « c ») par rapport à T0 ($16,57 \pm 0,03 \text{ cm}$) mérite une attention particulière. En plus Rodrigues et al. (2022) la taille finale inférieure de T1 (15,40 cm) malgré un poids acceptable, en liant à la disponibilité en AGPI n-3. Plusieurs auteurs ont documenté ce phénomène avec les larves de mouche soldat noir. Schiavone et al. (2017) ont montré que la chitine présente dans la cuticule d'*H. illucens* peut réduire la digestibilité des protéines chez certaines espèces aquatiques, notamment lorsque la fraction insérée dans la ration dépasse 20–25 %. Dans notre formulation, la farine BSF représentait 25 % de la ration B1. Dao et al. (2021) recommandent un taux d'inclusion maximal de 20–22 % pour maintenir des performances de croissance optimales chez les crevettes d'eau douce Chen et al. (2025) en suit il indique que le BSF + levure combinés chez *M. rosenbergii* valide la logique de complémentarité protéique multi-sources Goughbedji et al. (2022).

En revanche, T3 (chenilles) présente un poids final ($38,10 \pm 0,06 \text{ g}$) statistiquement comparable à T0, ce qui confirme les données de Ngoma (2019) sur la valeur nutritionnelle élevée des chenilles comestibles d'Afrique centrale, notamment leur teneur en protéines brutes (55–65 %), leur digestibilité élevée et leur richesse en acides gras essentiels. Ces caractéristiques font des chenilles une matière première zootechniquement performante pour l'alimentation de *M. rosenbergii*, dans la limite d'un taux d'inclusion protéique de 25 %.

4.3 Biomasse totale et taux de survie : facteur déterminant

La divergence de biomasse totale entre les groupes {T0, T1} et {T2, T3} (respectivement 114,90/112,20 g vs 75,20/76,20 g, soit –34,6 %) constitue le résultat le plus significatif de cette étude sur le plan zootechnique et économique. Ce résultat indique que les rations T2 (farine de poisson exclusive) et T3 (chenilles) ont exercé un

effet positif sur la survie des animaux, sans que cela se reflète sur la croissance individuelle des survivants. Pandey et al. (2025) ajoute que chitosane de BSF dans *M. rosenbergii* modulation du microbiote intestinal. Mécanisme clé expliquant pourquoi T1 maintient une survie supérieure : les propriétés antimicrobiennes du BSF (acide laurique) protègent l'intégrité intestinale, absente dans T2 et T3. Ainsi Pérez-Velasco et al. (2023) et Balazs & Ross (1976) argumentent en validant que le niveau protéique à 34 % comme optimal pour *M. rosenbergii*. Chen et al. (2025) BSF + levure chez *M. rosenbergii* que la ration mixte multi-source (T0) surpasse les rations mono-source (T2, T3).

Ce pattern croissance individuelle maintenue mais survie réduite est documenté dans la littérature aquacole. Lusasi et al. (2022) ont observé un phénomène similaire lors de l'utilisation de farine de poisson de basse qualité ou oxydée dans des rations pour crevettes d'eau douce : les acides gras libres issus de l'oxydation lipidique peuvent induire des nécroses hépatopancréatiques et réduire l'immunocompétence des individus, conduisant à une mortalité accrue sans affecter la croissance des survivants. Dans notre contexte, la qualité de conservation de la farine de poisson locale utilisée dans T2 mériterait d'être vérifiée sur ce point. Keetanon et al. (2023) BSF améliore la réponse immunitaire et la résistance à *Vibrio* chez *L. vannamei* : citer comme preuve comparative que l'inclusion de BSF améliore spécifiquement la survie par stimulation immunitaire.

Pour T3 (chenilles), la réduction de biomasse malgré un bon poids individuel peut s'expliquer par la présence de facteurs antinutritionnels dans certaines espèces de chenilles consommées en RD Congo, notamment les inhibiteurs de protéases et les tannins signalés par Diayeno (2016) dans les larves de Lépidoptères utilisées en alimentation animale. Ces composés peuvent favoriser des désordres digestifs et une susceptibilité accrue aux infections, particulièrement chez des individus jeunes en phase de croissance rapide.

La performance de T1 (*H. illucens* : biomasse 112,20 g, proche de T0) sur ce critère est cohérente avec les travaux de Ido et al. (2019) et de Schiavone et al. (2017), qui confirment que *H. illucens* est la source protéique alternative présentant le meilleur profil de sécurité pour les crevettes d'eau douce, notamment grâce à ses propriétés antimicrobiennes intrinsèques (lauric acid, chitoooligosaccharides) qui pourraient contribuer à maintenir une bonne intégrité intestinale et un taux de survie élevé. Voir Chen et al. (2025) qui ajoute que farine de BSF dégraissée testée sur *M. rosenbergii* mesure de la croissance, digestibilité des nutriments, microbiote intestinal et rejet phosphoré. Même espèce, même source protéique qu'Emmanuel

4.4 Efficacité alimentaire (ICA) : absence de différence significative

L'absence de différence significative entre les ICA des quatre traitements (1,89 à 2,10, même groupe « a ») est un résultat d'importance pratique majeure. Il signifie que les trois sources protéiques alternatives testées permettent une utilisation de l'aliment aussi efficace que le témoin, ce qui invalide l'hypothèse d'une moindre digestibilité des protéines alternatives pour *M. rosenbergii* à ces niveaux d'inclusion. Voilà pourquoi, Harun et al. (2021) indique que le traitement acide des larves BSF pour digestibilité protéique chez les larves de *M. rosenbergii*. Explique pourquoi l'ICA ne diffère pas entre traitements la digestibilité du BSF à 25 % d'inclusion est adéquate sans traitement supplémentaire.

Ces valeurs (ICA : 1,89–2,10) sont cohérentes avec celles rapportées par Ghosh et al. (2022) valeurs de référence FCR pour *M. rosenbergii* (1,8–2,4) et inférieures aux valeurs moyennes de la crevette industrielle (2,2–2,8) selon New (2002), ce qui témoigne d'une bonne maîtrise technique de la conduite de l'expérimentation. Ridha (2006) souligne que les ICA inférieurs à 2,5 sont considérés comme acceptables pour une production de *M. rosenbergii* en système intensif ou semi-intensif en cages.

La tendance non significative à un ICA légèrement plus élevé pour T1 (2,05) et T2 (2,10) par rapport à T0 et T3 (1,89) peut s'expliquer par une digestibilité des acides aminés légèrement inférieure. Schiavone et al. (2017) rapportent que la fraction chitineuse de *H. illucens* réduit l'accessibilité enzymatique des protéines d'environ 5–8 % par rapport à la farine de poisson conventionnelle. Bien que non significatif statistiquement dans notre étude, cet effet est biologiquement cohérent et mérite un suivi dans des essais à plus grande échelle. Cummins et al. (2017) ajoute qu'en remplacement partiel/total de la farine de poisson par BSF chez *L. vannamei* (crevette marine) démontre que le FCR est maintenu quand BSF remplace ≤ 50 % de la farine de poisson. Valide le résultat de non-significativité du FCR

4.5 Analyse économique : compétitivité des protéines alternatives

La rentabilité économique de T1 (*H. illucens* : 2 850,7 %) supérieure à celle de T0 (2 780,4 %) confirme l'intérêt stratégique de cette ressource pour la filière crevetticulture kinoise. Ce résultat rejoint les conclusions de Ngoma (2019) et de Massoud (2021), qui soulignent que la réduction du coût des intrants alimentaires constitue le principal levier d'amélioration de la rentabilité en aquaculture à petite échelle en Afrique subsaharienne, où la farine de poisson importée représente généralement 40 à 60 % des charges opérationnelles. Mais également Nunes et al. (2023) BSF remplace la farine de poisson de façon rentable chez *P. vannamei*

La faible rentabilité de T3 (chenilles : 1 672,1 %) résulte d'une double contrainte : un coût d'approvisionnement plus élevé (43,00 USD vs 38,33 USD pour T1) et une biomasse réduite liée à la mortalité. Mbaye (2018) a documenté que le coût de collecte et de transformation des chenilles comestibles en RD Congo et en Afrique centrale reste non compétitif en comparaison des farines d'insectes produites industriellement, notamment celles d'*H. illucens*, dont le cycle de production est maîtrisé et le prix tend à diminuer avec l'intensification de la production locale.

Sur le plan macro-économique, ces résultats s'inscrivent dans la problématique plus large de la sécurité alimentaire à Kinshasa documentée par Umba et al. (2024) et Israël (2024) : la pression démographique sur la capitale congolaise génère une demande croissante en protéines animales abordables, que l'aquaculture en cages flottantes avec des rations alternatives peut contribuer à satisfaire, sous réserve que la survie des animaux soit sécurisée. Wang & Shelomi (2017) et Camperio et al. (2025) économie circulaire et réduction des coûts du BSF.

5 Conclusion et perspectives

La mise en regard des résultats de cette étude avec la littérature internationale conduit à trois conclusions convergentes. Premièrement, *H. illucens* se confirme comme le substitut protéique le plus prometteur pour remplacer partiellement la farine de poisson dans l'alimentation de *M. rosenbergii*, grâce à son profil nutritionnel équilibré, son coût compétitif et ses effets bénéfiques potentiels sur la survie (Schiafone et al., 2017 ; Ido et al., 2019 ; Dao et al., 2021).

Deuxièmement, la farine de chenille locale reste zootechniquement intéressante pour la croissance individuelle T3 affiche un poids final comparable à T0 mais sa viabilité économique et son effet sur la survie doivent être améliorés avant toute recommandation à l'échelle commerciale. Des travaux de traitement thermique pour réduire les inhibiteurs de protéases (Diayeno, 2016) ou de sélection d'espèces de chenilles à faible teneur en facteurs anti-nutritionnels méritent d'être poursuivis.

Troisièmement, le système d'élevage en cages flottantes en étang semi-intensif, combiné à des rations formulées localement à 34 % de protéines brutes, constitue un modèle techniquement viable pour la crevetticulture à Kinshasa. L'optimisation de la densité de peuplement (actuellement 5 individus/cage de 0,50 m³ = 10 ind/m³) et de la fréquence d'alimentation (actuellement 2 repas/jour) sont des leviers d'amélioration identifiés par la littérature (Kombozi & Yambayamba, 2010 ; Massoud, 2021) pour maximiser la biomasse produite par unité de volume.

Les résultats de cette étude apportent une contribution originale à la littérature sur l'aquaculture des crevettes d'eau douce en RD Congo, un contexte encore peu documenté scientifiquement (Kayiba & Kawuka, 2025). Ils constituent une base de données de référence pour l'évaluation des rations à protéines alternatives dans les conditions spécifiques de Kinshasa, et ouvrent des perspectives concrètes pour le développement d'une filière crevetticulture durable et économiquement accessible.

REFERENCES

- [1] Damien, P. (2020). *Anatomie et physiologie des crevettes d'eau douce à usage aquacole*. Manuel de Zootechnie Aquacole, 3e éd. Éditions Lavoisier, Paris.
- [2] Diayeno, B. (2016). *Composition biochimique et valeur nutritionnelle des chenilles comestibles d'Afrique centrale*. Thèse de doctorat, Université de Bangui, République Centrafricaine.
- [3] Djirieuolou, K. (2014). *Biologie larvaire et développement post-embryonnaire de Macrobrachium rosenbergii en milieu contrôlé*. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- [4] Ebengo B.C., Mitango K.D., Lutete S.J., N'landu W.N.P., Uzele U.J.J., Nkashama K.B., Losembe K.M. et Holenu M.H. (2024) Evaluation environnementale et sociale des eaux des forages dans le quartier

- Mama Yemo, commune de Mont-Ngafula à Kinshasa. In *Revue Internationale de la Recherche Scientifique* vol. 2 n°2, 751-763
- [5] Israël, D., Mbuyi, K., & Lufungula, J. (2024). *Sécurité alimentaire et malnutrition protéique à Kinshasa : analyse des besoins et des gaps*. *Revue Congolaise des Sciences de la Santé*, 5(1), 14–29.
- [6] Kabala, M., Koto, N., & Mwamba, T. (2019). *Géographie physique et ressources naturelles de Kinshasa : état des lieux et enjeux de gestion durable*. *Revue Congolaise des Sciences*, 7(2), 55–78
- [7] Kayiba, E.A., Kawuka M.E (2025). Essai de domestication de *Protopterus dolloi* en pisciculture d'étang à Kikwit, Province du Kwilu en RDC. Ed.Universitaires Européennes, n°ISBN 978-620-8-82470-
- [8] Kombozi, K., & Yambayamba, E. K. (2010). *Développement de l'aquaculture des crevettes d'eau douce en République Démocratique du Congo : contraintes et perspectives*. *Tropicultura*, 28(3), 145–153.
- [9] Latham, P. (2008). *Useful plants of Bas-Congo Province, Democratic Republic of the Congo*. Mystole Publications, Canterbury.
- [10] Lusasi, S. W., Makengo, B., & Kabala, M. (2019). *Ressources aquatiques et potentiel aquacole du bassin du fleuve Congo : revue bibliographique*. *Journal of Freshwater Ecology*, 34(1), 129–145. <https://doi.org/10.1080/02705060.2019.1573245>
- [11] Lusasi, S. W., Ngoy, P., & Makengo, B. (2022). *Contraintes alimentaires dans l'élevage de Macrobrachium rosenbergii en cages flottantes à Kinshasa : rôle de la qualité des intrants protéiques*. *Aquaculture Research*, 53(6), 2201–2214. <https://doi.org/10.1111/are.15710>
- [12] Makengo, B. M. (2020). *Ressources hydrographiques de la commune de Mont-Ngafula et leur potentiel pour l'aquaculture*. Mémoire de master, Université de Kinshasa.
- [13] Mangado, J. M. (2015). *Contraintes de développement de l'aquaculture en milieu tropical africain : facteurs limitants et solutions*. *Revue d'Aquaculture Tropicale*, 6(2), 18–34.
- [14] Massoud, A. (2021). *Économie de l'aquaculture à petite échelle en Afrique subsaharienne : rentabilité et viabilité*. *African Journal of Agricultural Research*, 16(9), 1184–1196. <https://doi.org/10.5897/AJAR2021.15291>
- [15] Mbaye, A. (2018). *Analyse économique des sources protéiques alternatives dans l'alimentation aquacole en Afrique de l'Ouest*. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- [16] Mbuzi, N. B. (2022). *Élevage des crevettes Macrobrachium rosenbergii dans la ville de Kinshasa*. Mémoire de Master, Université Loyola du Congo, Inédit.
- [17] Ministère des Ressources Hydrauliques et de l'Electricité de la RD Congo (2024) Rapport final du Projet de Développement Multisectoriel et de Résilience Urbaine de Kinshasa (PDMRUK – KIN ELENDA) Projet n°P171141. 302 p.
- [18] Morel, A., & Garnier, B. (2017). *Pression sur les ressources en farine de poisson mondiale et alternatives pour l'alimentation aquacole*. *Aquaculture*, 473, 507–517. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.03.012>
- [19] Ndao, M. (2019). *Alimentation et nutrition des crevettes d'eau douce en aquaculture intensive*. Manuel de Zootechnie Aquacole, Éditions de l'UCAD, Dakar.
- [20] Ngoma, B. (2019). *Valeur nutritionnelle des chenilles comestibles de la RD Congo et leur potentiel comme source protéique en aquaculture*. Thèse de doctorat, Université de Kinshasa.
- [21] Ngongo, L., Tshibangu, K., & Baert, L. (2021). *Climatologie et hydrologie de la ville de Kinshasa : données de référence et applications agricoles*. *Revue Congolaise des Sciences Agronomiques*, 12(1), 5–22.
- [22] Ngoyi M.L., Ibanda K.B., Umba D.M.J., Mabi N.M.J., Nzau P.R., Simwerayi B.B., Luvingsisa, Twabela T.A., Bwangila I.C., Malung'Mper A.P., Bamueene S.D., Khonde M.M. et Lukombo L.J.C. (2026) Qualité microbiologique des brochettes de viande de porc vendues à l'arrêt de Mitendi/Commune de Mont-Ngafula (Kinshasa – RD Congo). In *Revue Internationale de la Recherche Scientifique* vol. 4, n°1, 406-506
- [23] Nsumbu, K., Mwamba, T., & Kabila, M. (2018). *Réseau hydrographique de Kinshasa et qualité des eaux pour l'aquaculture*. *Revue Congolaise de l'Environnement*, 4(2), 88–103.

- [24] Ridha, M. T. (2006). Comparative study of growth performance of three strains of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, at two stocking densities. *Aquaculture Research*, 37(2), 172–179. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01408.x>
- [25] Tidwell, J. H. (Éd.). (2012). *Aquaculture production systems*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118250105>
- [26] Tshinyama, A. 2018. Contribution à la promotion de la pisciculture intégrée de *Tilapia* du Nil (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) par la valorisation des sous-produits agro-industriels et l'utilisation rationnelle des fertilisants animaux en République Démocratique du Congo, Thèse de doctorat. Inéd. Québec, Université Laval-Québec, Département des Sciences Animals, 184 p.
- [27] Umba, D. M. J., Kawuka, M. E., Muhigirwa, R. F., Lukombo, L. J. C., Manango, G. P., & Mukuwa, P. (2024). L'entomophagie: une alternative socio-économique de sécurité alimentaire et de lutte contre la malnutrition dans la ville de Kikwit. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 61(3), 11362-11374.
- [28] Umba, J., Matondo, R., & Lufungula, J. (2024). *Urbanisation et sécurité alimentaire à Kinshasa : défis de la production locale de protéines animales*. *Revue Congolaise de Nutrition et Alimentation*, 6(1), 3–17.