

L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers  Site de Rennes

<p>Année universitaire : 2022-2023 Spécialité : Ingénieur agronome Spécialisation (et option éventuelle) : Sciences Halieutiques et Aquacoles (option : Aquaculture)</p>	<p><b>Mémoire de fin d'études</b></p> <p><input type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)</p> <p><input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> d'un autre établissement : Institut Agro - Dijon</p>
--	--

**Circularité du biocontrôle : potentiel de valorisation des coproduits d'élevage d'un insecte auxiliaire de lutte biologique pour l'alimentation en aquaculture**

Par : Sami Khallef



**Soutenu à Rennes**

**le 14 septembre 2023**

**Devant le jury composé de :**

Président : Hervé Le Bris

Autres membres du jury : Mikael Herault

Maître de stage : Maria Darias

Enseignant référent : Bastien Sadoul

*Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers*

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation «Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France» disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>

## 1. Introduction

La substitution complète des farines et huiles de poisson par des matières premières végétales se heurte à des défis majeurs. En effet, les acides aminés et acides gras essentiels nécessaires ne sont pas fournis en quantités suffisantes par ces alternatives. De plus, les matières premières d'origine végétale présentent des niveaux élevés d'acides gras saturés et des facteurs antinutritionnels (Médale et al., 2013). Face à cette réalité, une alternative est nécessaire pour alléger la pression exercée sur les ressources en farines et huiles de poisson, tout en évitant d'impacter les ressources végétales utilisées dans l'alimentation humaine et animale (Gougbedji, 2022). Les insectes, naturellement consommés par les poissons, se positionnent comme une solution potentielle en tant que source protéique. La composition des insectes est principalement étudiée au stade larvaire, sous forme de farine, en raison de leur teneur élevée en protéines. La composition nutritionnelle de la farine de larves d'insectes peut varier en fonction des systèmes de production et des espèces considérées (Gasco et al., 2019). Parmi ces insectes, la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) se démarque comme l'une des espèces les plus prometteuses (Huis et al., 2014). La farine de larves de mouche soldat noire présente une teneur en protéines variant de 37% à 67% (Barragan Fonseca et al., 2017). Les farines d'insectes affichent une similitude plus prononcée dans leur teneur en acides aminés essentiels avec celle de la farine de poisson, par rapport aux matières premières végétales. Cette farine est également caractérisée par une proportion notable de lipides (Rumbos et al., 2021). Enfin, les insectes, dont la mouche soldat noire, renferment de la chitine, le composant structural prédominant de l'exosquelette des arthropodes dont la carapace des crustacés (Soetemans et al., 2020). La chitine n'est pas facilement digérée par les crevettes, mais elle peut agir comme un stimulant immunitaire, améliorant ainsi la résistance aux maladies (Li et al., 2022). Récemment, plusieurs études ont examiné l'efficacité de l'intégration de la farine d'insectes en tant que substitut partiel de la farine de poisson. Selon Richardson et al., (2021), une substitution allant de 4,5% à 10,5% de la farine de poisson a favorisé la croissance des jeunes crevettes à pattes blanches du Pacifique. Cependant, une substitution à un taux plus élevé pourrait influencer négativement leur croissance. Li et al., (2022) ont quant à eux évalué six farines d'insectes remplaçant 17% de la farine de poisson (incluant la mouche soldat noire), et ont constaté des performances de croissance inférieures au groupe de contrôle. Ces études convergent pour mettre en évidence l'amélioration de l'immunité innée et de la capacité antioxydante des crevettes à la suite de l'ajout de farine d'insectes.

L'intégration des insectes dans le régime alimentaire des espèces aquacoles a suscité un vif intérêt, stimulant ainsi une croissance constante de la production d'insectes destinée à l'alimentation animale (Maulu et al., 2022). Ces dernières années, une multitude d'entreprises spécialisées dans l'élevage d'insectes pour la nutrition aquacole ont émergé en Europe. Depuis 2017, l'Union Européenne a autorisé l'utilisation de sept espèces d'insectes dans l'alimentation aquacole selon le règlement L 138/97 (Journal officiel de l'Union européenne, 2017). Parmi ces espèces figurent la mouche soldat noire et domestique (*Hermetia illucens* et *Musca domestica*), le ténébrion meunier, également appelé "ver de farine" (*Tenebrio molitor*), le

petit ténébrion mat (*Alphitobius diaperinus* et *Tenebrio molitor*), ainsi que trois variétés de grillons (*Acheta domestica*, *Ryllodes sigillatus* et *Gryllus assimilis*).

Cependant, l'utilisation en masse d'insectes ne se limite pas à la nutrition aquacole, mais s'étend également à des domaines tels que le biocontrôle. Certains insectes produits comme l'insecte X peuvent, partiellement, ne pas être utilisés, ils sont donc considérés comme des déchets. L'utilisation de l'insecte X pourrait être valorisée pour la nutrition aquacole.

Pour étudier ce potentiel de valorisation, ce stage répondra à quatre objectifs :

- Caractériser la composition nutritionnelle de la farine d'insectes. Les insectes X utilisés pour cette étude ont été transformés en farine à deux stades de développement : nymphe et larve. Les farines à base de larves d'insecte X ont été utilisées.
- Formuler un aliment incorporant la farine de larves d'insecte X en respectant les besoins nutritionnels des crevettes.
- Mesurer les performances zootechniques de crevettes juvéniles *L. vannamei* nourries avec l'aliment expérimental à base de farine d'insecte X. Ces performances zootechniques seront comparées à celle d'un aliment conventionnel, et d'un aliment contenant des larves de mouche soldat noire.
- Utiliser les résultats obtenus pour effectuer une première évaluation du potentiel de valorisation des déchets issus de la production de l'insecte X.

## 2. Matériels et Méthodes

Un total de 10 000 crevettes réparties en 5 échantillons au stade post-larve (*Litopenaeus Vannamei*) a été livré. Elles ont été d'abord réparties dans 5 bacs d'acclimations de 50 L équipés d'une pompe, d'une résistance et d'un bulleur. Ces crevettes sont restées dans les bacs d'acclimation pendant 6 semaines avant d'effectuer un premier tri par taille. Les crevettes ont été catégorisées par tailles visuellement (petites, moyennes et grosses) et réparties dans 11 aquariums de 40 L. L'équipement des aquariums et des bacs d'acclimation était identique. Après une période de 3 semaines les crevettes avaient atteint une taille jugée adéquate (observations à l'œil nu) pour le début de l'expérimentation. Un total de 195 crevettes a été pesé et distribué dans 15 aquariums de 40L. L'équipement des aquariums servant pour l'expérimentation et des bacs d'acclimation était lui aussi identique. La densité d'individus est fixée à 13 crevettes par aquarium. Pour chaque régime alimentaire, trois aquariums sont utilisés (trois répliqués par régime). Les crevettes ont été pesées une par une afin d'obtenir une homogénéité de biomasse initiale dans chaque aquarium. Le poids initial des crevettes au moment du transfert est de  $0,25 \pm 0,21$  g. Les crevettes catégorisées comme étant "petites" ou "moyennes" ont été utilisées pour l'expérimentation. Les crevettes catégorisées "grosses" présentaient un écart de poids trop important par rapport aux autres.

La biomasse totale de chaque aquarium quant à elle, était de  $2,30 \pm 0,08$  g. Les crevettes ont été nourries à hauteur de 5% de leur biomasse. L'aliment était distribué deux fois par jour à 11h et 17h. La quantité totale d'aliment totale fournie à chaque aquarium au cours de l'expérience s'élevait à 4,29 g.

Les aliments expérimentaux (régimes alimentaires) testés sont les suivants :

**CTRL** : Aliment expérimental contenant 7 % de farine de poisson.

**MSN10** : CTRL supplémenté par 10 % de farine de mouches soldats noires.

**MSN20** : CTRL supplémenté par 20 % de farine de mouches soldats noires.

**NF10** : CTRL supplémenté par 10 % de farine de larves de l'insecte X.

**NF20** : CTRL supplémenté par 20 % de farine de larves de l'insecte X.

Après 28 jours, les crevettes ont été pesées individuellement, et les paramètres zootechniques ont ensuite été déterminés pour chaque aquarium. Ainsi, le gain de poids (GP), l'indice de conversion (IC), le taux de survie (TS), le taux de croissance spécifique (TCS) et le taux de conversion protéique (CEP).

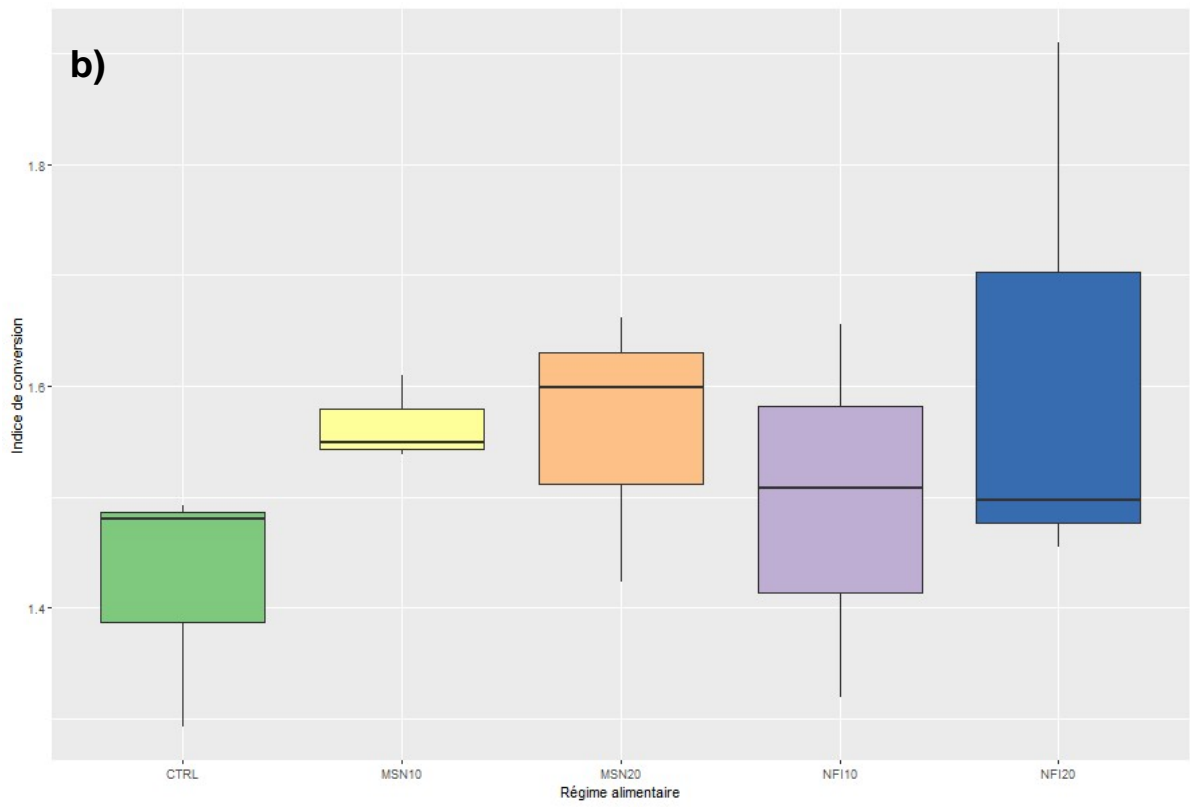
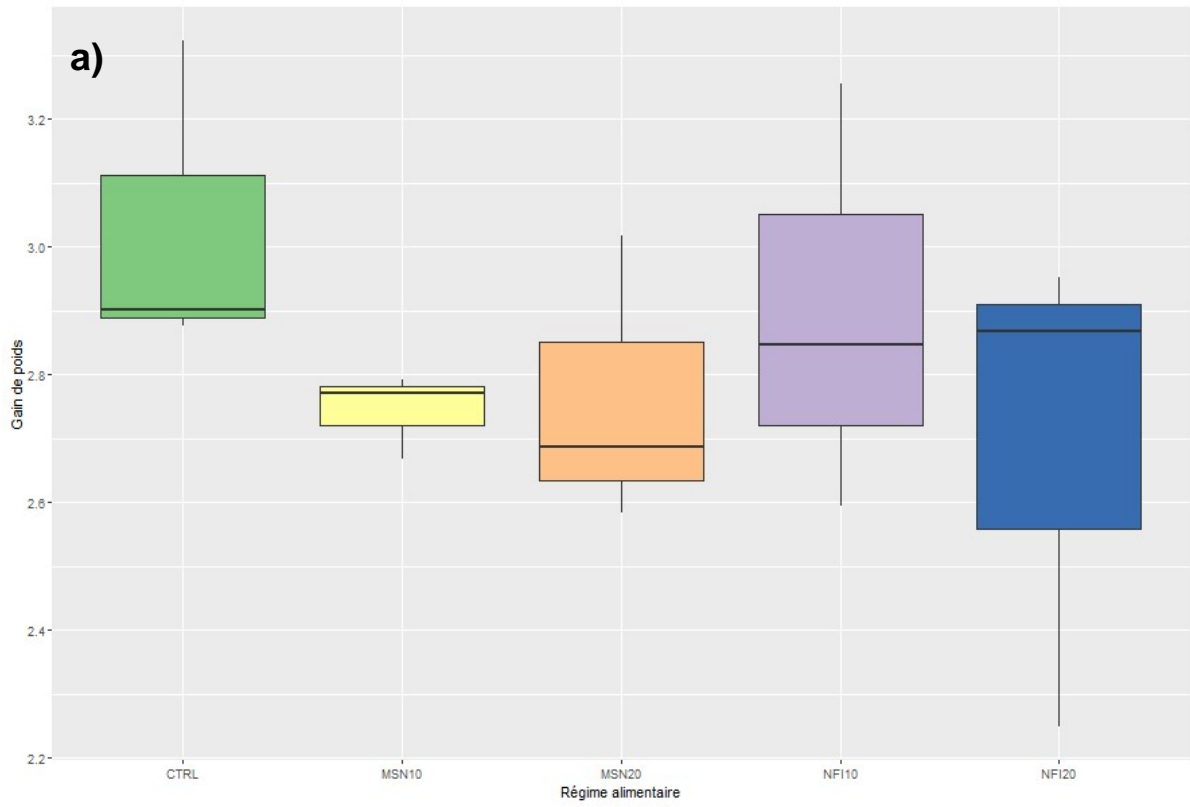
L'ensemble des analyses statistiques ont été réalisées via le logiciel R (version 4.3.1 ; R Core Team, 2023). Afin d'examiner les variations présentes au sein des moyennes des poids initiaux et finaux des crevettes dans chaque aquarium, les données de poids initiaux et finaux ont d'abord été transformées grâce à la fonction logarithmique, afin de vérifier l'hypothèse de normalité des résidus. Un test de Shapiro et un test de Levene ont été réalisés pour vérifier respectivement la normalité des résidus et l'homogénéité des variances. Ensuite, deux analyses de variance (ANOVA) à un facteur ont été réalisées. La première de ces analyses a été axée sur l'évaluation des différences des poids initiaux entre aquariums, tandis que la seconde traitait les écarts entre les poids finaux entre aquariums. Le bac 5 (réplicat CTRL) a été écarté du traitement statistique de comparaison de moyenne des poids initiaux et finaux en raison d'un taux de survie anormalement faible. Enfin un test de Kruskal Wallis entre les performances de croissances des différents régimes alimentaires a été réalisé.

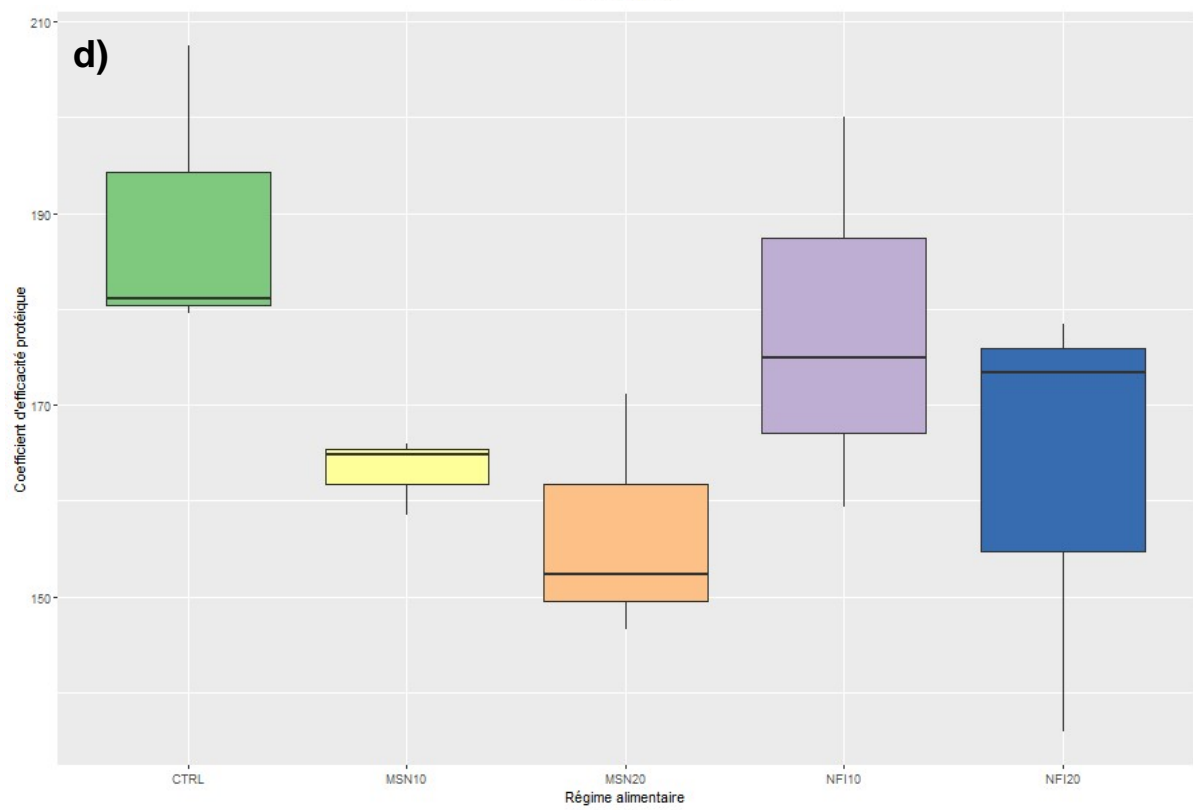
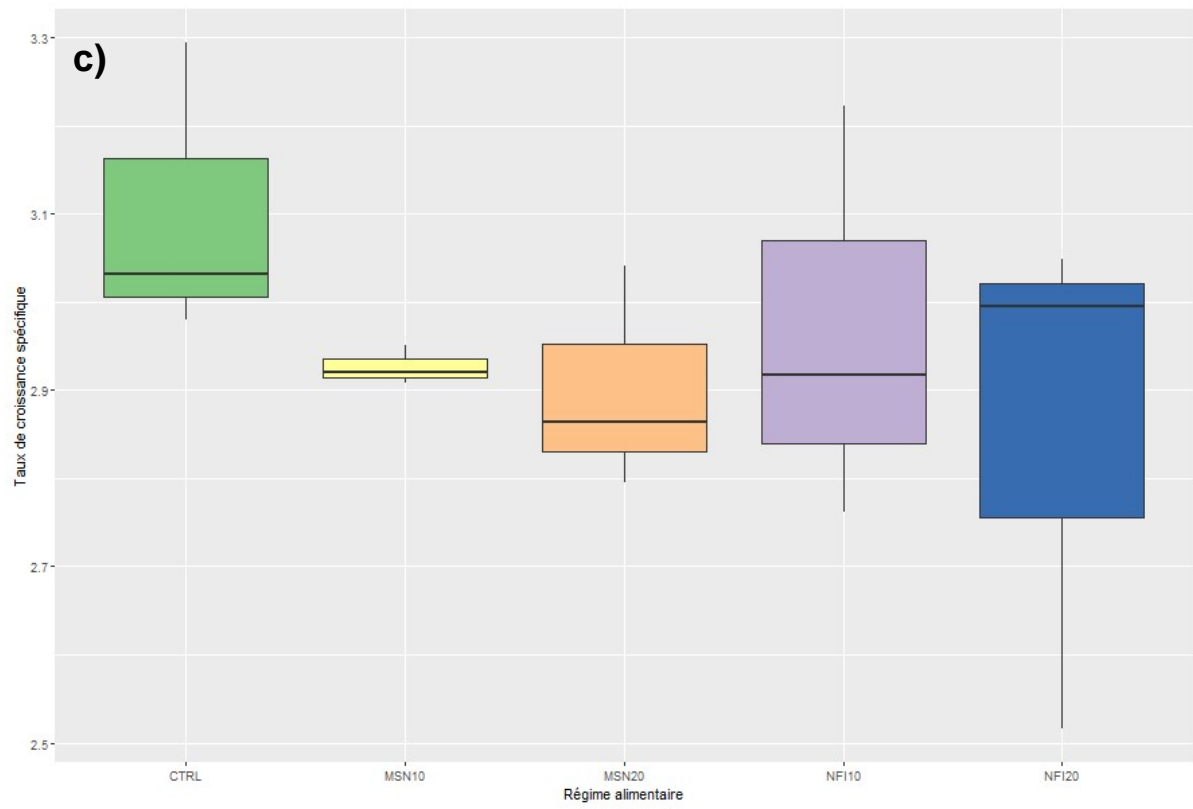
### 3. Résultats

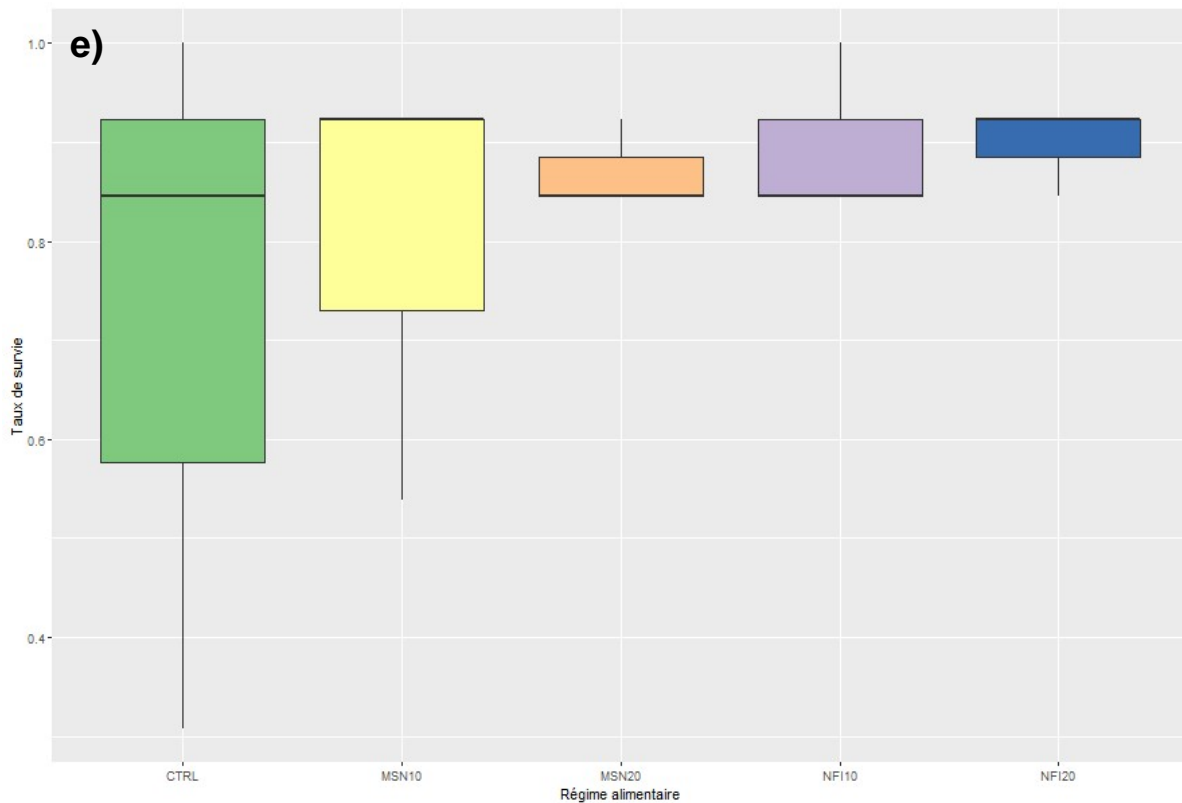
L'homogénéité des poids initiaux entre chaque aquarium est vérifiée. L'ANOVA indique qu'il n'y a aucune différence significative de poids entre les aquariums.

En examinant les traitements à travers les différents graphiques ci-dessous, la valeur médiane du traitement CTRL semble se distinguer par sa supériorité en termes de gain de poids, d'indice de conversion et de coefficient d'efficacité protéique. En revanche, pour l'indice de conversion, cette médiane est inférieure par rapport à l'ensemble des autres traitements.

Les graphiques pour chaque performance de croissances sont présents ci-dessous :







**Figure 1-** Graphiques en boîte à moustache représentant les performances de croissance par régimes alimentaires. (a: Gains de poids, b: Indice de conversion, c: Taux de croissance spécifique, d: Coefficient d'efficacité protéique et e: Taux de survie).

Les résultats du test de Kruskal Wallis entre les performances de croissances des différents traitements indiquent qu'il n'y a aucune différence significative. L'ensemble des résultats est présenté ci-dessous :

- GP : S=3,567 et p=0,468
- IC : S=3,567 et p=0,468
- TCS : S=2,767 et p=0,598
- CEP : S=7,667 et p=0,105
- TS : S=0,509 et p=0,973

#### 4. Discussion

Les résultats ont montré que les différents régimes alimentaires, y compris ceux contenant de la farine de l'insecte X, n'avaient pas d'effets significativement différents sur la croissance des crevettes. Cependant, les aliments à base de mouche soldat noire étaient plus riches en protéines, tandis que ceux à base de l'insecte X avaient une teneur lipidique plus élevée.

Les aliments expérimentaux ont été préparés en incorporant directement la farine d'insectes dans l'aliment de contrôle préalablement formulé. De ce fait, l'aliment contrôle est le seul à bénéficier d'une formulation prenant en compte les caractéristiques nutritionnelles de chacune des matières premières. Cela pourrait potentiellement expliquer que, malgré l'absence de différences significatives entre les régimes alimentaires, la moyenne des performances zootechniques tend à être plus favorable dans le groupe contrôle.

Les résultats proviennent d'un échantillon limité avec seulement 3 répétitions pour chaque régime alimentaire testé, ce qui pourrait limiter la détection de différences significatives entre les groupes en termes de performances de croissance.

L'analyse du cycle de vie de la farine de mouche soldat noire révèle que, bien qu'elle ait des performances environnementales globalement meilleures que la farine de poisson, certaines catégories d'impact, comme l'utilisation des terres, sont moins favorables. Cependant, il est essentiel de considérer les effets négatifs de la production de farine de poisson sur la biodiversité marine (Spykman et al., 2021). Les protéines d'origine végétale sont reconnues comme durables sur le plan environnemental, mais les protéines issues de la mouche soldat noire pourraient devenir compétitives à moyen et long terme, en adoptant des pratiques durables. Dans certains domaines, comme l'épuisement de l'eau douce et l'utilisation des terres, la production d'insectes présente des avantages environnementaux (Smetana et al., 2019).

La farine de l'insecte X, un sous-produit de l'élevage d'insectes, n'est pas autorisée dans l'alimentation aquacole, limitant ses perspectives de commercialisation. Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer la sécurité et l'efficacité de cette farine dans l'alimentation animale (Journal officiel de l'Union européenne, 2002). Par exemple, des recherches se concentrent sur les effets phénotypiques de l'alimentation à base d'insectes sont nécessaires, notamment au niveau de l'intestin des crevettes (He et al., 2022). Les études de digestibilité et d'absorption de nutriments sont indispensables pour évaluer l'efficacité de l'alimentation à base d'insectes (Panini et al., 2017). De plus, les études immunologiques examinent la résistance aux maladies, en se concentrant sur les agents pathogènes tels que *Vibrio parahaemolyticus*, responsables de fortes mortalités chez les crevettes d'élevage (Richardson et al., 2021).

## 5. Conclusion

L'utilisation potentielle de la farine de l'insecte X dans l'alimentation aquacole est prometteuse pour ses implications sur la croissance des crevettes, l'environnement et la durabilité. Cette étude s'inscrit dans l'objectif de trouver des sources de protéines durables pour l'industrie aquacole, en adoptant une approche d'économie circulaire.



L'analyse des performances de croissance n'a révélé aucune différence significative entre les différents régimes alimentaires, mais la taille limitée de l'échantillon limite l'interprétation des résultats.

La farine de l'insecte X n'est pas encore autorisée à des fins commerciales dans l'industrie aquacole, des étapes réglementaires et d'évaluation de la sécurité sont nécessaires avant toute intégration plus large.

Cependant, cette étude révèle une utilisation potentielle future en démontrant des performances de croissance comparables à d'autres sources de protéines. Des recherches supplémentaires sont indispensables pour explorer son effet sur différentes espèces aquacoles et à différents stades de développement.

L'utilisation de l'insecte X, un sous-produit du biocontrôle, peut offrir une farine d'insectes à faible coût, bien que son secteur de commercialisation soit actuellement limité à la recherche.

## Bibliographie

**Barragan Fonseca K, Dicke M, van Loon J** (2017) Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed* **3**: 105–120

**Gasco L, Biasato I, Dabbou S, Schiavone A, Gai F** (2019) Animals Fed Insect-Based Diets: State-of-the-Art on Digestibility, Performance and Product Quality. *Animals* **9**: 170

**Gougbedji MUA** (2022) Valorisation de coproduits agricoles pour l'élevage de la mouche-soldat noire, *Hermetia illucens* (L. 1758) visant l'alimentation du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (L. 1758) au Bénin. Université de Liège

**He Y, Liu X, Zhang N, Wang S, Wang A, Zuo R, Jiang Y** (2022) Replacement of Commercial Feed with Fresh Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae in Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition* **2022**: e9130400

**Huis AV, Itterbeek JV, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P** (2014) Insectes comestibles Perspectives pour la sécurité alimentaire et l'alimentation animale. 103–106

**Journal officiel de l'Union européenne** (2017) Règlement L 138/97.

**Journal officiel de l'Union européenne** (2002) Règlement (CE) n° 178/2002.

**Li X, Chen Y, Zheng C, Chi S, Zhang S, Tan B, Xie S** (2022) Evaluation of Six Novel Protein Sources on Apparent Digestibility in Pacific White Shrimp, *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture Nutrition* **2022**: e8225273

**Maulu S, Langi S, Hasimuna OJ, Missinhoun D, Munganga BP, Hampuwo BM, Gabriel NN, Elsabagh M, Van Doan H, Abdul Kari Z, et al** (2022) Recent advances in the

utilization of insects as an ingredient in aquafeeds: A review. *Animal Nutrition* **11**: 334–349

**Médale F, Le Boucher R, Dupont-Nivet M, Quillet E, Aubin J, Panserat S** (2013) Des aliments à base de végétaux pour les poissons d'élevage. INRAE Productions Animales. doi: 10.20870/productions-animales.2013.26.4.3159

**Panini RL, Freitas LEL, Guimarães AM, Rios C, da Silva MFO, Vieira FN, Fracalossi DM, Samuels RI, Prudêncio ES, Silva CP, et al** (2017) Potential use of mealworms as an alternative protein source for Pacific white shrimp: Digestibility and performance. *Aquaculture* **473**: 115–120

**Richardson A, Dantas-Lima J, Lefranc M, Walraven M** (2021) Effect of a Black Soldier Fly Ingredient on the Growth Performance and Disease Resistance of Juvenile Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals* **11**: 1450

**Rumbos CI, Mente E, Karapanagiotidis IT, Vlontzos G, Athanassiou CG** (2021) Insect-Based Feed Ingredients for Aquaculture: A Case Study for Their Acceptance in Greece. *Insects* **12**: 586

**Smetana S, Schmitt E, Mathys A** (2019) Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling* **144**: 285–296

**Soetemans L, Uyttebroek M, Bastiaens L** (2020) Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *International Journal of Biological Macromolecules* **165**: 3206–3214

**Spykman R, Hossaini SM, Peguero DA, Green A, Heinz V, Smetana S** (2021) A modular environmental and economic assessment applied to the production of *Hermetia illucens* larvae as a protein source for food and feed. *Int J Life Cycle Assess* **26**: 1959–1976