

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION: Aquaculture

Thème:

**Incorporation de la farine d'insecte (*Hermetia illucenes*) dans
l'alimentation des poissons**

Présenté par : OSBI Souhir Rima

Soutenu le 06/ 07 / 2024 devant le jury suivant:

| | | | |
|------------------|-------------------------|-----------|--------------|
| MM. MAOUEL D | Maître de conférences B | (ENSSMAL) | Présidente |
| M. AIT SAIDI A. | Maître de conférences B | (ENSSMAL) | Promoteur |
| MM. CHABET DIS C | Maître de recherche B | (CNRDPA) | Examinatrice |
| M. HAOUA M | Ingénieur | (Garden) | Co-Promoteur |

2023/2024

Remerciements

Louange à Dieu qui nous a permis d'accomplir cette étape de notre parcours scientifique. C'est à Lui que nous adressons nos remerciements pour sa miséricorde et ses bienfaits.

Ensuite, un immense merci à mes chers parents, dont les prières ont été une lumière qui m'a guidé. Je n'oublierai jamais toute ma gratitude

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur AIT SAIDI ADEL

, mon Promoteur de projet de fin d'études, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements, son soutien moral et ses précieux conseils qu'il m'a prodigués tout au long de la réalisation de ce travail. Que Dieu lui accorde santé et bien-être.

Je tiens ensuite à exprimer nos remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce mémoire

Je exprime ma profonde reconnaissance au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, responsable de laboratoire Mme Amina et M houda et responsable de laboratoire de chimie yeusef et responsable de laboratoire microbiologie Mme refes .

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à tous les membres de la pépinière GARDEN pour leur soutien inestimable et leur contribution à la réalisation de ce travail de recherche.

Mes remerciements s'adressent également à tous ceux qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mon parcours.

Dédicace

Ce travail est le fruit de mes efforts scientifiques et intellectuels, de la grâce de Dieu Tout-Puissant, et du soutien indéfectible de mes proches.

Je dédie ce modeste travail à :

Dieu le Tout-Puissant, pour la patience, la compétence et le courage qu'Il m'a accordés, me faisant croire en mes capacités à atteindre mes objectifs.

Mes chers parents, qui m'ont donné la vie, m'ont éduqué et soutenu moralement et financièrement tout au long de mes études. Leurs conseils et leurs sacrifices ont été essentiels à mon accomplissement.

Ma sœur HALIMA SADIA bien-aimée , compagne de route et seconde mère. Quoi que je fasse, je ne pourrai jamais exprimer ma gratitude pour tout ce qu'elle a fait pour moi.

Mes frères, qui ne cessent de m'aider, de m'encourager et d'être toujours présents pour moi.

Tous mes chers professeurs de l'École nationale supérieure de la Mer et de l'aménagement du Littoral et de l'Université Ziane Achour, pour leur expertise, leur patience et leur soutien précieux.

Tous les travailleurs de la pépinière Garden, pour leur contribution à ma formation pratique.

A tous mes collègues en spécialisation d'aquaculture et à toutes les spécialisations de l'École nationale supérieure de la Mer et de l'aménagement du Littoral, pour les échanges enrichissants et l'esprit de camaraderie.

A tous les étudiants de la science et de la connaissance et à tous ceux qui s'intéressent à ce domaine, pour leur passion et leur quête du savoir.

Je suis reconnaissant envers tous ceux qui ont contribué à mon parcours et à la réalisation de ce travail. Leur soutien et leurs encouragements ont été une source de motivation inestimable.

Avec mes sincères remerciements et ma profonde gratitude,

RIMA SOUHIR

Liste des abréviations

| | |
|-------------|--|
| MSN | Mouche soldat noire |
| BSF | black soldier fly |
| HR | Relative humidity |
| Mycotoxines | Des toxines produites par certains champignons |
| Usd | United States Dollar (Dollar Américain) |
| MSNL | Mouche soldat noire larve |
| FI | Farine d'insecte |
| FP | Farine de poisson |
| Lux | Unité de mesure de l'éclairement lumineux |
| UVB | Ultraviolets de type B |
| UE | Union européenne |
| UFC | Unités formant colonies |
| AFM | Aliment fabriqué |
| AC | Aliment commercial pour les poissons |
| CM | Cage moustiquaire |
| T | Température |
| % : | pour cent. |
| mg : | Milligramme |
| g | Gramme |
| l : | litre. |
| cm : | Centimètre |
| g/j : | gramme par jour. |

Liste des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Morphologie de la mouche soldat noire adulte..... | 13 |
| 1.2 | Distribution géographique de <i>Hermetia illucens</i> en Afrique. | 15 |
| 1.3 | Reproduction de la MSN | 16 |
| 1.4 | Œufs de MSN observée à la loupe binoculaire (grossissement x30) | 16 |
| 1.5 | Morphologie de larve de la MSN | 17 |
| 1.6 | Cycle d'élevage de MSN | 17 |
| 1.7 | L'utilisation de des larves MSN et leurs bénéfiques | 24 |
| 1.8 | Potentiel de développement de la filière de la MSN | 27 |
| 1.9 | Utilisation de la MSN (<i>Hermetia illucens</i> L.) dans l'aquaculture | 33 |
| 1.10 | Morphologie interne de la carpe koï | 38 |
| 2.1 | Localisation géographique de la ferme Garden (Photo de Google Earth, 2024). | 41 |
| 2.2 | Structure de moustiquaire d'élevage MSN | 42 |
| 2.3 | Source de l'eau pour l'élevage des adultes de la MSN | 43 |
| 2.4 | Forme de bac de pré-pupe dans l'élevage de la MSN | 43 |
| 2.5 | Structure des supports pour les œufs de la MSN | 44 |
| 2.6 | Bain d'huile | 44 |
| 2.7 | Thermostat de T STC1000 | 44 |
| 2.8 | Substrat de la MSN avant et après 10 jours expérimentale | 46 |
| 2.9 | Mesure du poids et de la taille des larves de MSN | 47 |
| 2.10 | Cycle d'élevage de la MSN | 48 |
| 2.11 | Blanchiment de la MSN (A, eau bouillante ; B, égouttage) | 49 |
| 2.12 | Les étapes de séchage | 50 |
| 2.13 | Aspect de farine de la mouche soldat noire | 50 |
| 2.14 | La forme des granulés d'aliment à base de farine de MSN | 51 |
| 2.15 | Détermination des tailles et des poids des poissons (A, B carpe koï ; C, D tilapia rouge) | 52 |
| 2.16 | Matériel de suivi de la qualité de l'eau d'élevage | 54 |
| 3.1 | Effet de la température et de l'humidité sur la culture de la mouche soldat noire (MSN) | 57 |
| 3.2 | Évolution des poids pendant chaque stade larvaire de la MSN. | 63 |
| 3.3 | Évolution des tailles pendant chaque stade larvaire de la MSN. | 63 |
| 3.4 | Détermination de nitrite dans des quatre aquariums soumis aux deux régimes alimentaires (AC, AFM) | 67 |
| 3.5 | Détermination de nitrate dans des quatre aquariums soumis aux deux régimes alimentaires (AC, AFM) | 67 |
| 3.6 | Évolution de ammonium dans des quatre aquariums soumis aux deux régimes alimentaires (AC, AFM) | 67 |
| 3.7 | Évolution de PO4 et SIO2 dans des quatre aquariums soumis aux deux régimes alimentaires (AC, AFM) | 68 |
| 3.8 | Évolution du poids moyen des Carpe koï pendant la période expérimentale soumis aux deux régimes alimentaires (AFM et AC) | 71 |
| 3.9 | Évolution de la taille moyenne des Carpes koï pendant la période expérimentale | 72 |

soumis aux deux régimes alimentaires (AFM et AC)

- 3.10 Évolution du poids moyen et des Tilapia pendant la période expérimentale 73
soumis aux deux régimes alimentaires (AFM et AC)
- 3.11 Évolution de la taille moyenne des Tilapia pendant la période expérimentale 74
soumis aux deux régimes alimentaires (AFM et AC)

Liste des tableaux

| N | | P |
|------|---|----|
| 1.1 | Systématiques de la mouche soldat noire L.1758 | 14 |
| 1.2 | Conditions d'élevage de la MSN en fonction des stades de cycle de vie | 18 |
| 1.3 | Comparaison de quelques paramètres entre les expériences de bioconversion avec les larves de MSN (ND : non disponible). | 20 |
| 1.4 | Compositions chimiques de la farine MSN | 22 |
| 1.5 | Récapitulatif des taux de réduction des déchets (%) et des taux de conversion en protéines (%) et en lipides (%) | 25 |
| 1.6 | Compositions chimiques de la farine MSN | 29 |
| 1.7 | Contenu en acides aminés dans la farine MSN | 30 |
| 1.8 | Contenu en acides gras de la farine de MSN | 31 |
| 1.9 | Effet de différents taux d'inclusion de farine de larves de mouche soldat noire (MSNL) sur différentes espèces de poissons. | 34 |
| 1.10 | Paramètres physico-chimiques de l'élevage de carpe koï | 38 |
| 1.11 | Paramètres physico-chimiques de l'élevage de Tilapia | 39 |
| 2.1 | Types de substrat pour chaque stade de la MSN | 45 |
| 2.2 | Ingrédients supplémentaires utilisés pour la fabrication d'AFM | 51 |
| 3.1 | Effet des sources lumineuses sur le développement de la MSN | 59 |
| 3.2 | Observations sur la MSN en fonction de l'aliment distribué et selon le stade de développement. | 59 |
| 3.3 | Récapitulatif des résultats de suivi de croissance des larves de la MSN | 61 |
| 3.4 | Récapitulatif des résultats d'analyses biochimiques obtenus (protéines, lipides) | 64 |
| 3.5 | Mesure des sels nutritifs de l'eau des aquariums | 65 |
| 3.6 | Paramètres zootechniques des deux espèces (Carpe koï et Tilapia) soumises à deux régimes alimentaires différents. | 69 |

Sommaire

| | |
|--|----|
| Remerciement | |
| Dédicace | |
| La liste d'abréviations | |
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des annexes | |
| Chapitre 1 : Etude bibliographique | |
| I Etat de l'art sur la Mouche Soldat Noire (MSN) | 13 |
| I.1.Présentation de la MSN | 13 |
| I.2.Systématique et distribution | 14 |
| I.3. Cycle de développement | 15 |
| I.4.Conditions d'élevage de la MSN | 17 |
| I.5.Alimentation de la MSN au cours du stade larvaire | 19 |
| I.6.Composition chimiques de la MSN | 21 |
| I.7. Bénéfices d'élevage la MSN | 24 |
| I.7.1 Alimentation animale | 24 |
| I.7.2 Réduction des pathogènes | 24 |
| I.7.3 Traitements des déchets | 26 |
| I.7.4 Production de bicarbonate et de fertilisants | 26 |
| I.8.Marché de la MSN dans le monde et en Algérie. | 26 |
| I.8.1 Production et consommation | 27 |
| I.8.2 Réglementation internationale | 27 |
| II. Production de la farine de MSN et ses applications | 28 |
| II.1 Prétraitement et procédés de transformation des larves de MSN | 28 |
| II.2.Farine de la MSN | 29 |
| II.3. Qualité nutritive de la farine | 29 |
| II.4. Utilisation de la farine de la MSN dans l'aquaculture | 32 |
| II.5.Supplémentassions partielle par la farine de MSN dans l'alimentation des poissons | 37 |
| II.6 Généralité sur le Carpe koï | 37 |
| II.7 Généralité sur le Tilapia rouge | 39 |
| Chapitre2 : Matériel et méthodes | |
| I. Description du site d'étude | 41 |
| II .Elevage de la MSN | 41 |
| II .1. Le dispositif expérimental | 42 |
| II .2 Mesure des paramètres biotiques | 44 |
| II .3Mesure de la croissance et régime alimentaire de la MSN | 45 |
| III. Fabrication de la Farine de MSN | 49 |
| III.1 Abattage des larves de MSN | 49 |
| III.2 Séchage et broyage | 49 |
| III.3 Conditionnement de la farine | 50 |
| IV Analyse Nutritionnelles de la Farine de MSN | 50 |
| V . Formulation de l'aliment à base de la Farine de MSN | 50 |
| V.1. Les étapes de la fabrication d'aliments à base de farine de MSN | 51 |

| | |
|--|----|
| VI. Suivi de croissance des poissons alimentés partiellement par l'aliment à base de la farine MSN | 52 |
| VI.1. Constitution des lots d'aquarium et des régimes alimentaires | 52 |
| VI.2. Calcul des besoins alimentaires et suivi de la croissance | 53 |
| VI.3. Calcul de la ration | 53 |
| VI.4. Qualité de l'eau d'élevage | 53 |
| VI.5. Les performances zootechniques | 54 |
| VI 5.1. Gain de Poids Moyen (GPM) | 54 |
| VI .5.2. Taux de Croissance Spécifique (TCS) | 54 |
| VI .5.3 Gain Moyen Quotidien (GMQ) | 54 |
| VI .5.4. Taux de survie (TS en %) | 55 |
| VI.5.5. Indice de Conversion de l'aliment (IC) | 55 |
| VII Analyse statistique | 55 |
| Chapitre 3 : Résultats et discussions | |
| I Élevage de la MSN | 57 |
| I.1 Effets de la température et de l'humidité sur l'élevage de la MSN | 57 |
| I.2. Importance de la lumière dans l'élevage de la MSN | 58 |
| I.3. Effet du régime alimentaire sur la croissance de la MSN | 59 |
| I.3.1 Suivi de la croissance des larves de la MSN | 61 |
| II 2. Paramètres biochimiques | 64 |
| III Suivi de la croissance des poissons d'eau douce | 64 |
| III.1 Caractéristiques du milieu d'élevage | 64 |
| III.2 Performances zootechniques | 69 |
| III .2.1. Taux de survie | 70 |
| III .2.2. Croissance des poissons | 70 |
| Conclusion | |
| Référence bibliographiques | |
| Liste d'annexes | |
| Résumé | |

Introduction

La production mondiale d'animaux aquatiques a été établie à 223,2 millions de tonnes en 2022, dont 89% étaient destinées à la consommation humaine directe. A l'échelle mondiale, les produits aquatiques ont fourni environ 15% des protéines animales consommées en 2022. Cette proportion a atteint 23% dans les pays à revenu intermédiaire et a dépassé les 50% dans plusieurs régions d'Asie et d'Afrique (FAO,2024).

En Algérie, la croissance de la production aquacole a dépassé les 20%. Cette croissance est principalement dominée par la production de cichlidés, comme le Tilapia rouge, en raison notamment de son prix avoisinant les 550 dinars par kilogramme et de sa disponibilité grâce à la création d'un réseau national de commercialisation (Radio algérienne, 2019). Les données concernant la filière de la pisciculture ornementale en Algérie ne sont pas disponibles, mais cette activité est pratiquée dans trois wilayas : Alger, Tipaza et El Oued.

La surexploitation des ressources marines a engendré une limitation des parts destinées à la production de farine et des huiles de poissons (Cui, 2019). En outre, une forte demande de farine de poisson pour le secteur de l'élevage a contribué à la hausse de son prix en 2013. A partir de là, l'utilisation des sources de protéines alternatives pour l'alimentation des poissons a été soutenue par l'augmentation de la demande et du prix des farines de poisson (FAO, 2014). Parmi les alternatives aux farines de poissons utilisées dans l'alimentation piscicole, Van Huis *et al.* (2013) et Barroso *et al.* (2017) ont cité l'utilisation d'insectes, tels que le ténébrion meunier, la mouche domestique et la mouche soldat noire.

Les larves de la mouche soldat noire (MSN) se distinguent des autres ressources par leur capacité à remplacer partiellement la farine de poisson dans l'alimentation piscicole. Cependant, des auteurs ont émis des réserves quant à son remplacement total car des performances de production réduites ont été observées et des analyses économiques restent à justifier son implémentation (Makkaret *al.*, 2014).

En plus de sa composition riche en protéines et matières grasses, les larves de la MSN contiennent des minéraux et vitamines (Henry *et al.*, 2015). En plus, elles sont caractérisées par leur capacité à être élevées sur une large gamme de matières organiques (substrat), leur cycle de vie relativement court.

L'objectif de la présente étude est de proposer un aliment, composé principalement de farine de la MSN et de ressources locales à faible coût (sous-produits de production animale et végétale), dans le but d'alimenter et de suivre la croissance de deux espèces de poissons d'eau douce (Carpe koï et Tilapia).

Le document est structuré en trois parties :

- La première aborde des généralités sur la mouche soldat noire et une brève présentation des espèces ciblées de poissons utilisés ;
- La deuxième décrit le matériel expérimental et les méthodes suivies ;
- La troisième présente les résultats obtenus et les discute ;
- Enfin, une conclusion qui récapitule l'essentiel des résultats et propose d'autres pistes à expérimenter.

**Chapitre I:
Généralité sur la
mouche soldat
noire**

I. Etat de l'art sur la Mouche Soldat Noire (MSN)

I.1.Présentation de la MSN

La mouche-soldat noire communément appelée, en anglais, "Black Soldier Fly" (BSF) doit son nom à la couleur noire des adultes. Elle serait dite "Soldate", car la mouche a tendance à s'aligner en ordre de bataille dans la même direction que ses congénères lorsqu'elle sort en bande (Philip, 2015). Les adultes en bonne santé mesurent environ 15 à 22 mm. Son corps est divisé en trois parties distinctes : la tête, le thorax à 22 segments et l'abdomen (Figure 1.1), mais celles antérieures de couleur jaune pâle (Haeree, 2016). Elle possède Deux ailes noires fumées selon Manyara (2018) et deux antennes situées sur la tête qui ont un rôle dans la perception olfactive et tactile (Caruso *et al.*, 2013), et qui sont composées de trois segments faisant environ deux fois la taille de la tête. Pour la vision, la MSN possède trois ocelles et deux grands yeux composés (Guilliet, 2022).

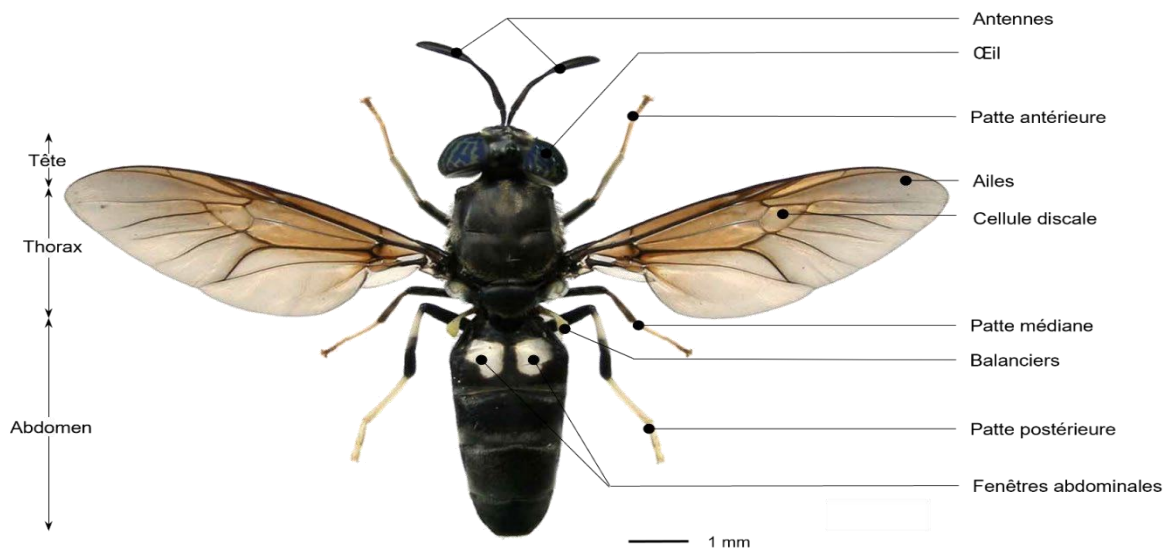


Figure 1.1 : Morphologie de la mouche soldat noire adulte (Guilliet, 2022).

La femelle, habituellement plus grande que le mâle, possède un abdomen rougeâtre tandis que le mâle a un abdomen bronzé (Kone, 2020). L'adulte de la MSN, qu'il soit mâle ou femelle, ne possède ni dard, ni appareil buccal, ni organes digestifs lui permettant de consommer des déchets. Les femelles déposent environ 500 œufs (Haeree, 2016) ; et pondent leurs œufs à proximité ou sur des déchets organiques humides et putrescibles (Manyara, 2018). La MSN n'est pas reconnue comme un parasite parce que l'adulte n'est pas attiré par les habitats humains ou les aliments (Kone, 2020). Ce sont les larves, qui en résultent, qui intéressent de nombreux chercheurs et agriculteurs en raison de leur capacité à digérer les déchets (Haeree, 2016).

En tant qu'insecte complet, la MSN peut faire objet d'aliment servi aux poissons ; ou bien une fois transformé, il peut être inclus un régime alimentaire séché et/ou en

complémentation. Car sa biomasse est riche et se compose de plus de 40% de protéines et plus de 30% de lipides.

I.2. Systématiques et distribution

La distribution géographique de la mouche soldat noire varie en fonction de son origine.

La MSN est un insecte appartenant à l'ordre des Diptères, à la famille des *Stratiomyidea* et à la sous-famille des *Hermetiinae* (Tableau1.1).

Tableau1.1 : Systématiques de la mouche soldat noire (INPN,2024)

| Systématique | |
|---------------------|-------------------------|
| Règne | Animalia |
| Embranchement | Arthropoda |
| Classe | Insecta |
| Ordre | Diptera |
| Famille | Stratiomyidae |
| Genre | Hermetia |
| Espèces | <i>Hermetiaillucens</i> |

Le berceau original de la MSN s'étale du sud de l'Argentine jusqu'au nord des États-Unis. D'autres recherches, telle que l'entreprise Eawag (Institut fédéral Suisse des Sciences et Technologie de l'Eau), ont indiqué qu'elle est originaire des régions tropicales, subtropicales et tempérées du continent américain. Actuellement, la MSN est présente dans le reste du monde, entre les latitudes 40° sud et 45° nord. On la retrouve dans de nombreux pays d'Europe, d'Afrique, d'Océanie (Australie et Nouvelle-Zélande) et d'Asie (Indonésie, Japon, Philippines et Sri Lanka)(Caruso *et al.*, 2013).

En Afrique, l'espèce est principalement signalée dans le Sud-Est, une partie de l'Ouest dont le Bénin et une partie de l'Est (Figure 1.2).Par contre, elle n'a pas été rapportée dans l'Afrique centrale et dans l'Afrique du Nord (Gougbedji, 2022).

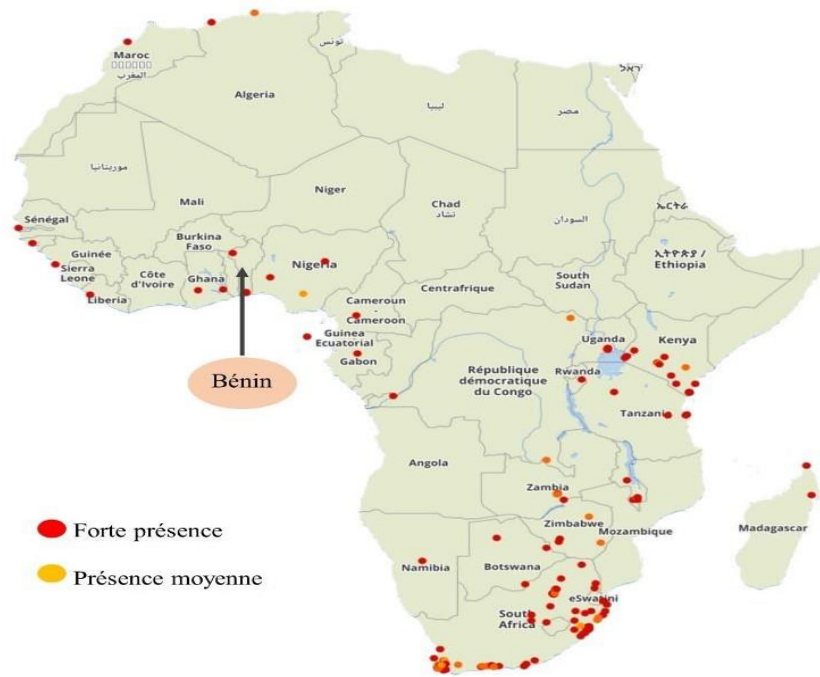


Figure 1.2: Distribution géographique de *Hermetia illucens* en Afrique (Gougbedji, 2022).

I.3. Cycle de développement

Le cycle de vie de la MSN comprend cinq stades principaux, chacun étant associé à des conditions de milieu optimale ; tels que, de température, d’humidité, de régime alimentaire (Figure 1.6).

Le cycle de vie de la MSN commence par l’accouplement entre adultes mâles et femelles. Le stade adulte est entièrement consacré à la reproduction (Tromberlin, 2001).

Reproduction

Chez les MSN, la reproduction est un processus assez complexe (Guilliet, 2022). La gestion du sperme chez les mâles est un élément clé du succès de la reproduction (Munsh *et al.*, 2023) ; où les mâles vont avoir un comportement spécifique, dit de lek afin de se reproduire avec les femelles. Ce comportement, se caractérise par une lutte entre les mâles pour un territoire donné, puis les femelles volent au-dessus des mâles posés au sol ou sur des feuilles. Un mâle va venir se “proposer” à la femelle en vol, si ce partenaire lui convient, alors la reproduction s’engage (Figure 1.3) pendant 20 minutes environ, temps pendant lequel le mâle va déposer ses spermatozoïdes dans les voies génitales de la femelle (Guilliet, 2022).

Les MSN sont polyandres, ce qui signifie que plusieurs mâles vont pouvoir féconder une même femelle (Hoffmann, 2021). La lumière joue un rôle important dans le mécanisme de la reproduction avec des longueurs d’onde à optimiser dans les élevages (Guilliet, 2022).



Figure 1.3 : Reproduction de la MSN (Guilliet, 2022).

L'adulte : Une fois libérée de sa nymphe, la mouche est formée. Elle ne se focalisera que sur son accouplement, qui commence deux jours après sa pupation (Van, 2019). Les femelles pondent entre 320 et 1000 œufs (Caruso *et al.*, 2013). Des études ont montré qu'en moyenne 600 œufs peuvent être pondus, sur un substrat sec et dans un environnement humide (afin de limiter la perte d'eau de leurs œufs) (Van, 2019). Les femelles de MSN pondent leurs œufs près de ceux d'autres individus avant de mourir peu après la ponte (Caruso *et al.*, 2013).

L'œuf : Les œufs ont une forme ovoïde et mesurent environ 1 mm de long. Ils changent de couleur, passant du beige au jaune-beige pendant la période d'incubation (Figure 1.4), qui dure un peu plus de 4 jours à 27-29°C (Caruso *et al.*, 2013). Les œufs prennent environ 4 jours pour éclore (Kone, 2020).



Figure 1.4: Œufs de la MSN observé sous la loupe binoculaire grossissement $\times 30$ (Tetohu, 2021).

Larves : Une fois écloses, elles mesurent de 5 à 19 mm de long (Figure 1.5) et selon Chi *et al.* (2022), elles présentent une teneur en lipides et en protéines de 38,86% et 40,96%, respectivement. Elles stockent de grandes quantités de lipides et de protéines dans leur corps. Le développement des larves MSN en pré-pupes dure de 10 à 52 jours, au cours de six mues, grâce à la synthèse de la chitine et de la mélanine (Chi *et al.*, 2022). Elles ont un appétit vorace (jusqu'à 300 mg de matière fraîche/larve/jour) pour une large gamme de matières organiques (Ndegwa & Thompson, 2001).

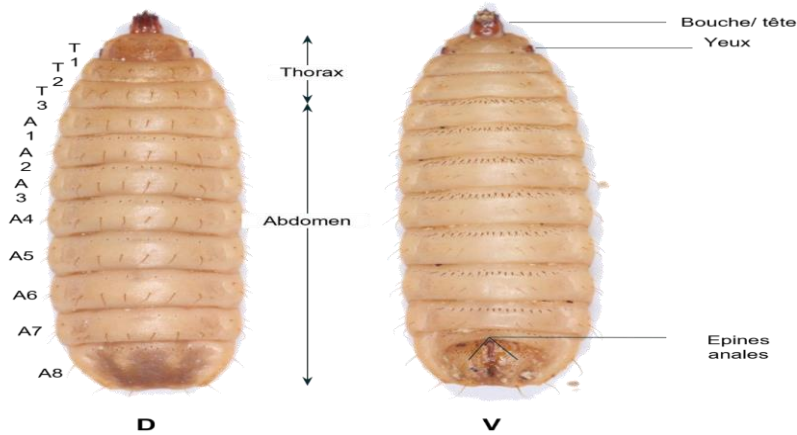


Figure 1.5 : Morphologie de larve de la MSN (Guilliet, 2022).

La prépupe: Après le sixième stade larvaire, la pupaison commence. La prépupe quitte son habitat à la recherche d'un endroit sec et abrité. Une fois qu'elle trouve ces, l'exosquelette s'assombrit et se pigmente (Figure 1.6), et une pupa se forme à l'intérieur de l'exosquelette (Haeree, 2016).

La nymphe : C'est la période de transformation des larves diptères en nymphe. Cela dure entre 2 à 3 semaines (Newton *et al.*, 2005).

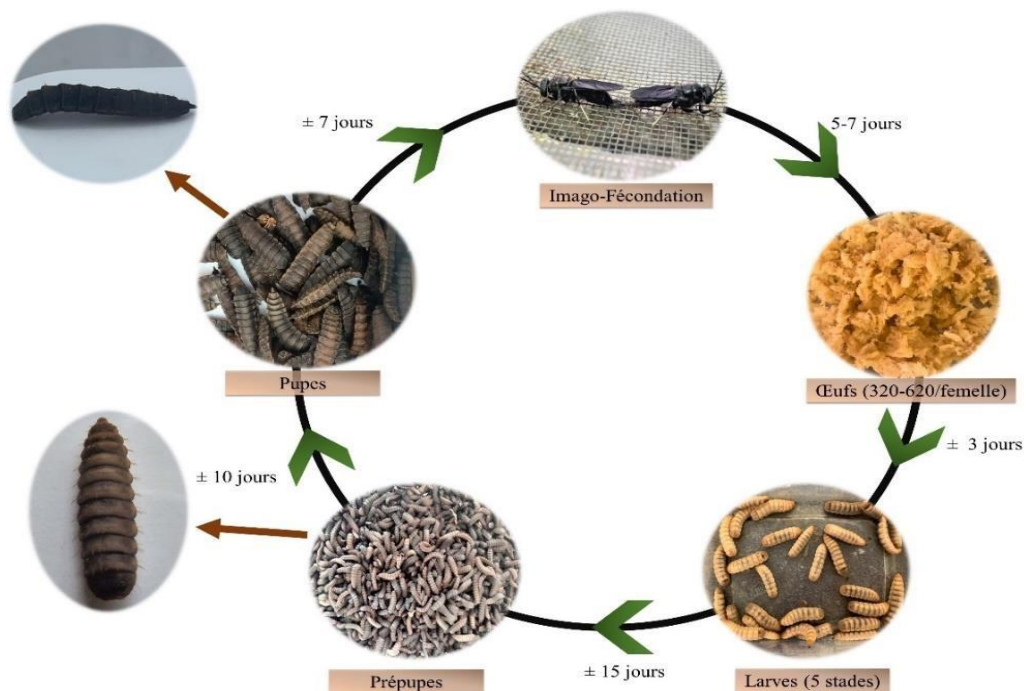


Figure 1.6 : Cycle de vie de la MSN (Gougbedji, 2022).

I.4. Conditions d'élevage de la MSN

Le développement des larves de la MSN est influencé par quatre paramètres abiotiques majeurs : la température, l'humidité, la lumière et la diète (régimes alimentaires). Ces facteurs doivent correspondre aux besoins de l'insecte pour une croissance optimale (Tableau 1.2).

Tableau1.2 : Conditions d'élevage de la MSN en fonction des stades du cycle de vie

| Les stades | Température, °C | Humidité, % | Lumière, lux | Diète | Références |
|------------|-----------------|-------------|--|---|---|
| Œuf | Constant 27 | 25 à 70 | Environnement sombre avec une exposition à la lumière diurne de 0 à 50 | Aucune | (Holmes <i>et al.</i> , 2012) (Mutafela, 2015) |
| Larve | 29 à 31 | 50 à 70 | Environnement sombre (obscurité) | <ul style="list-style-type: none"> • Diète spéciale (mélange de farine de maïs, de son de blé et d'eau) • Mélange alimentaire bien défini ou déchets organiques pouvant être valorisés. | (Craig <i>et al.</i> , 2002) (Holmes <i>et al.</i> , 2012) (Alvarez, 2012) (Dortmans <i>et al.</i> , 2017) (Gabrielle & Jasime, 2019) |
| Prépupe | 27 à 30 | 65 à 75 | Environnement sombre avec une exposition à la lumière diurne de 0 à 50 | Aucune | (Lalander <i>et al.</i> , 2020) (Barragan <i>et al.</i> , 2017) (Lowet, 2019) (Danahue, 2017) (Mutafela, 2015) (Haeree, 2016) (gabrielle & Jasime, 2019) |
| Nymphe | 27 à 33 | 60 à 90 | Environnement sombre avec une exposition à la lumière diurne de 0 à 50 | Aucune | (Alvarez, 2012) (Mutafela, 2015) |
| Adulte | 27,5 à 37,5 | 30 à 90 | Lumière du matin ou 100 micromoles/m ² /s. 200 micromoles/m ² /s | Uniquement de l'eau | (Mutafela, 2015) (Dortmans <i>et al.</i> , 2017) |

I.5. Alimentation de la MSN au cours du stade larvaire

La MSN consomme une alimentation qui évolue tout au long de son cycle de vie. Ce régime alimentaire contribue activement à son développement et à sa reproduction. En effet, un apport adéquat en nutriments favorise une longévité accrue et une production d'œufs optimisée.

Les larves sont voraces et se développent sur une grande variété de matières organiques (Yu-shiang & Matan, 2017), grâce à un complexe mandibulaire-maxillaire bien développé (Kim *et al.*, 2010). Il existe plusieurs études et expériences pour l'alimentation de la (St-Hilaire, et al., 2007) ont montré que des larves nourries d'un mélange de fiente et de viscères de poissons ont eu une teneur en acides gras augmentée de 21 à 30%. De plus (Johannes, 2017) a montré que nourrir les larves d'un mélange de déjection de bœufs et de viscères de poissons permettait d'enrichir leur teneur en oméga -3 de 2,5 à 3,8%. Autre étude récente en 2022 au Bangladesh par (Ravi, 2022), les larves nourries avec le régime Riz-Fruits-Légumes-Poisson ont montré les meilleurs résultats en termes de croissance larvaire, avec une longueur de $23,3 \pm 0,1$ mm et une largeur de $6,2 \pm 0,1$ mm.

La Puce utilise ce crochet ingénieux pour se détacher aisément de sa source de nourriture et gagner un environnement propice à sa nymphose (Dortmans *et al.*, 2022).

L'adulte survit plus longtemps avec de la nourriture sous forme liquide (ou juste de l'eau) mais il a été démontré que cela n'augmentait pas le nombre d'œufs pondus (Bertinetti *et al.*, 2019).

Tableau 1.3 : Travaux de bioconversion avec les larves de MSN (ND : non disponible) (Kone, 2020).

| References | Régime alimentaire | Humidité des régimes (%) | Température Ambiante(°C) | Humidité Ambiante (%) | Taux de survie (%) | Temps de développement larvaire(J) | Poids moyen des larves sur base humide (mg) | Longueur(mm) | Largeur (mm) |
|---------------------------|--|--------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------------|---|--------------|--------------|
| Maetal. (2018) | Mélange de sonnet farine de maïs | 76 | 27 | 60- 70 | 88– 99 | 20-29 | 160 -210 | ND | ND |
| UrRehmanetal. (2017) | Fumier de bovins laitiers et résidus de soja | 78– 82 | 27 | 60–70 | 91– 99 | 19–23 | 63–123 | ND | ND |
| CostanzaJuckeetal. (2017) | Fruitsetlegumes | 86 –92 | 25 | 60 | 89– 96 | 37–52 | 154–184 | 14,8–16,0 | ND |
| Cheng et al. (2017) | Déchet alimentaires pré et post-consommation | 70 –80 | 35 | ND | 95- 99 | 12–19 | 119 -161 | ND | ND |
| Tinder et al. (2017) | Mélange de sorgho et de niébé | 70 | 28 | 70 | 59- 75 | 25- 39 | 92–157 | 15,2–18,0 | ND |
| Manurung et al. (2016) | Lapaille deriz | 60 | 28 | 65- 75 | 51– 98 | 38–54 | ND | ND | ND |
| Ooninx et al. (2015) | Sous-produits alimentaires | ND | 28 | 70 | 72– 86 | 21–37 | ND | ND | ND |

I.6.Composition chimiques de la MSN

La composition chimique des larves de la MSN peut varier légèrement en fonction des régimes alimentaires, du taux de survie, de leur teneur en protéines et en lipides (Tableau 1.4), mais malgré ces variations, elle demeure favorable (Oonincx *et al.*, 2015).

Protéines

La teneur en protéines de cet insecte se situe entre 37 et 63% de la matière sèche. La variation de la teneur en nutriments des larves de MSN peut provenir de divers facteurs, notamment la qualité et la quantité de l'alimentation ainsi que la densité larvaire (Barragan *et al.*, 2017). Une grande quantité de protéines structurelles et musculaires ont été identifiées chez les larves de MSN, ce qui corrobore la possibilité d'utiliser des protéines d'insectes comme alternative aux protéines de viande et de soja (Altmann *et al.*, 2018 ; Gladys *et al.*, 2016). De plus, des peptides antimicrobiens et certaines enzymes telles que la trypsine et la chymotrypsine ont été identifiés, et pourraient présenter un intérêt industriel dans un avenir proche (Vahideh *et al.*, 2019). Les niveaux d'acides aminés essentiels étant plus élevés chez les larves plus jeunes, généralement âgées de 4 à 6 jours (Bessa, 2021).

Lipides

H. illucens est riche en acides gras saturés, en particulier en acide laurique (C12:0) (Liz *et al.*, 2019). D'autres recherches ont mis en évidence que l'acide laurique est le plus abondant et est connu pour son activité antimicrobienne contre les bactéries Gram positif ; il est suivi par des concentrations élevées d'acide oléique (C18:1n-9), d'acide palmitique (C16:0) et d'acide linoléique (C18:2n-6) (Caligiani *et al.*, 2019).

Le profil en acides gras est le plus affecté par l'alimentation des larves et peut être manipulé (Barroso *et al.*, 2017 ; Liu *et al.*, 2019). L'âge des larves a également un effet important sur le profil en acides gras, avec une augmentation des acides gras saturés et une diminution des niveaux d'acides gras insaturés chez les larves plus âgées (Bessa, 2021).

Les larves de MSN peuvent être enrichies en AGPI oméga-3 marins (concentration finale dans les larves d'environ 2% d'EPA + DHA du total des acides gras) lorsqu'elles sont nourries avec des déchets de poisson (St-Hilaire *et al.*, 2007 a).

Chitine

Les larves de MSN contiennent environ 2 à 9% de chitine, un polysaccharide modifié contenant de l'azote (Bessa, 2021). La chitine doit être prise en compte lorsque l'on envisage l'utilisation d'insectes dans l'alimentation animale, en relation à la fois à ses fonctions bénéfiques (par exemple, ses effets prébiotiques) et à son impact sur la digestibilité (Koutsos *et al.*, 2019).

Minéraux et vitamines

Les larves de MSN sont riches en fer et en zinc, avec des teneurs en fer allant de 2,1 à 3 mg/100 g et des teneurs en zinc allant de 6,8 à 15 mg/100 g. La teneur en calcium est également naturellement élevée, allant de 840 à 934 mg/100 g (Liland *et al.*, 2017). Elles pourraient constituer un complément intéressant en fer et en zinc, en particulier dans les communautés souffrant de malnutrition (Bessa, 2021). La teneur en vitamines liposolubles des insectes peut également être modifiée par l'alimentation et/ou l'environnement. Les larves de MSN n'ont pas réagi aux UVB (Ultraviolets de type B) en augmentant leur taux de vitamine D3, mais elles présentaient des niveaux mesurables même sans exposition aux UVB (Koutsos *et al.*, 2019).

Tableau 1.4 : Composition chimique des larves de la MSN.

| Nutriments | Composition | Références |
|---------------------------------|-------------|--------------------------------|
| Protéine brute (%) | 17,5 | (Koutsos <i>et al.</i> , 2019) |
| Matière grasse brute (%) | 14,0 | |
| Chitine (%) | 2,5 | |
| Énergie métabolisable (kcal/kg) | 1,994 | |
| Acides aminés | | |
| Arginine (%) | 1,23 | (Koutsos <i>et al.</i> , 2019) |
| Glycine+Serine(%) | 1,61 | |
| Histidine (%) | 0,59 | |
| Isoleucine | 0,76 | |
| Leucine (%) | 1,21 | |
| Lysine | 1,19 | |
| Methionine | 0,34 | |
| Methionine+Cystine (%) | 0,44 | |
| Phenylalanine (%) | 0,76 | |
| Phenylalanine+Tyrosine (%) | 1,97 | |
| Threonine (%) | 0,68 | |
| Tryptophan (%) | 0,30 | |
| Valine (%) | 1,29 | |
| Taurine (mg/kg) | <100 | |
| Acides gras g/100 g | | |

| | | |
|-------------------------------------|--------|--|
| C12:0 (acide laurique) | 21,00 | (Mateusz <i>et al.</i> , 2020) |
| C13:0 (acide tridécylique) | <0,1 | |
| C14:0 (acide myristique) | 3,70 | |
| C16:0 (acide palmitique) | 5,30 | |
| C17:0 (acide margarique) | <0,1 | |
| C18:0 (acide stéarique) | 0,80 | |
| C18:2 n6 (acide linoléique) | 3,80 | |
| C20:0 (acide arachidique) | <0,1 | |
| C16:1 n7 (acide palmitoléique) | 1,60 | |
| C18:1 n9 (acide oléique) | 6,10 | |
| C20:4 n6 (acide arachidonique) | <0,1 | |
| C20:5 n3 (acide eicosapentaénoïque) | 0,20 | |
| C22:5 n3 (acide docosapentaénoïque) | <0,1 | |
| Minéraux | | |
| Calcium g kg ⁻¹ | 1,9 | (Shengyong <i>et al.</i> , 2022) (Shumo <i>et al.</i> , 2019) (Koutsos <i>et al.</i> , 2019) |
| Phosphore g kg ⁻¹ | 1,0 | |
| Magnésium g kg ⁻¹ | 1,0 | |
| Sodium g kg ⁻¹ | 3,3 | |
| Potassium g kg ⁻¹ | 1,7 | |
| Cuivre g kg ⁻¹ | 0,6 | |
| Zinc g kg ⁻¹ | 0,9 | |
| Manganèse g kg ⁻¹ | 0,3 | |
| Fer g kg ⁻¹ | 2,1 | |
| Chlorure (%) | 0,12 | |
| Iode (mg/kg) | 0,26 | |
| Les vitamines | | |
| Vitamine A (UI/kg) | <1,000 | (Koutsos <i>et al.</i> , 2019) |
| Vitamine E (UI/kg) | 9,2 | |
| Vitamine D3 (UI/kg) | 100 | |
| Vitamine C (mg/kg) | <10 | |
| Thiamine (mg/kg) | 7,7 | |

| | | |
|-----------------------------|------|--|
| Riboflavine (mg/kg) | 16,2 | |
| Acide pantothénique (mg/kg) | 38,5 | |
| Niacine (mg/kg) | 71,0 | |
| Pyridoxine (mg/kg) | 6,0 | |
| Acide folique (mg/kg) | 2,7 | |
| Vitamine B12 (µg/kg) | 56 | |

I.7. Des bénéfices multiples d'élevage de la MSN

Les bénéfices de l'élevage de la MSN sont très nombreux. Ils sont notables dans l'alimentation, la production de bicarbonate, la fertilisation avec ses excréments et le traitement des déchets (Figure 1.7). En effet, des études ont montré qu'elle est un candidat de choix pour des applications dans de nombreux secteurs (Yu-shiang & Matan, 2017). Elle est considérée parmi les espèces d'insectes les plus intéressantes pour une transition du système de production de protéines actuel vers une production plus durable (Lowet, 2019).

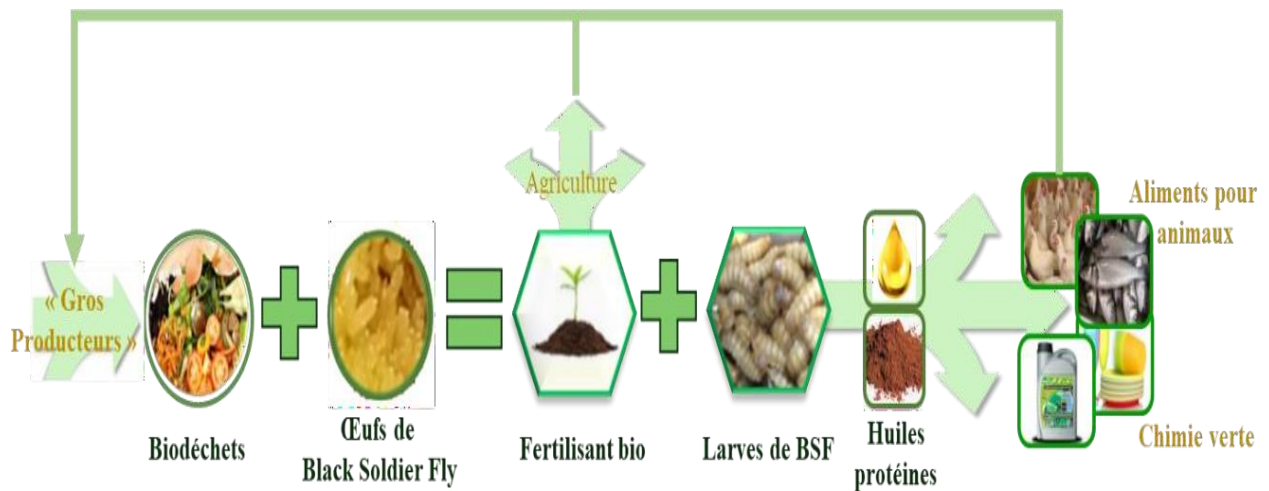


Figure 1.7 : Utilisation des larves MSN et leurs bénéfices (Cecia , 2018)

I.7.1 Traitements des déchets

Les larves de la MSN sont particulièrement adaptées à la production de protéines d'insectes à partir de déchets organiques (Tableau 1.5) de toutes sortes (Mortiz *et al.*, 2018). Dans une étude a été démontré que dans les conditions de l'Indonésie, la valorisation des déchets organiques par la MSN permet de réduire de plus de la moitié les émissions de gaz à effet de serre par rapport au compostage direct et qu'en plus elle génère une source de protéines disponible à l'échelle locale (Adeline *et al.*, 2019).

Tableau 1.5: Récapitulatif des taux de réduction des déchets (%) et des taux de conversion en protéines (%) et en lipides (%) (Van, 2019).

| Étude | Régime alimentaire | Ration (mg/l/j) | Taux de réduction des déchets (%) | Taux de conversion en protéines (%) | Taux de conversion en lipides (%) |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Diener <i>et al.</i> (2010) | Nourriture pour poules | 100 | 43,3 | 38,1 | N.A |
| | | 200 | 26,2 | 39,1 | N.A |
| Sheppard <i>et al.</i> (1994) | Fumier de poule | N.A | 50 | 42 | 35 |
| Diener <i>et al.</i> (2011) | Boues fécales | 167 | 54,7 | N.A | N.A |
| | Déchets organiques | 507 | 68 | N.A | N.A |
| Newton <i>et al.</i> (2005) | Fumier porcin | N.A | 50 | 40 | 30 |
| Kalova <i>et al.</i> (2012) | Tissus végétaux | 10kg pour 240 Larves pendant 35 jours | 66,53 | N.A | N.A |
| Nguyen <i>et al.</i> (2015) | Reste de nourriture | | 46,04 | N.A | N.A |
| | Déchets de jardin | | 8,47 | N.A | N.A |
| Nguyen <i>et al.</i> (2015) | Déchets de cuisine 74.2 19.4 11.6 | 600 | 67,2 | 21. | N.A |
| | Farine de poisson | | 74,2 | 19,4 | 11,6 |
| | Fruits et légumes | | 98,9 | 12,9 | 2,2 |
| Ermaloev <i>et al.</i> (2019) | Reste de nourriture | N.A | 49 | 24 | N.A |

I.7.2 Réduction des pathogènes

Des agents pathogènes sont présents dans les matières organiques en décomposition, et constituent un grand risque à la santé animale une fois ingérées. Müller *et al.* (2019) ont signalé la survie des agents pathogènes dans l'intestin des larves de la MSN. Cependant, la partie médiane de l'intestin des larves de la MSN est très acide ($\text{pH} \leq 3$) (Bruno *et al.*, 2019) et contient des substances et des organismes fongiques ayant une activité contre quelques agents pathogènes ; tels que, *Staphylococcus aureus* et *Salmonella* (Gorrens *et al.*, 2021).

Les mycotoxines ne s'accumulent pas dans les larves de la MSN ni dans celles du ver de farine, même si les substrats sont fortement contaminés (Bessa, 2021).

I.7.3 Alimentation animale

La teneur en protéines brutes et en lipides des larves d'*H. illucens* représentent respectivement 40 et 30% du poids sec des larves (Yu-shiang & Matan, 2017). De nombreuses études ont démontré qu'elles sont été intégrées avec succès dans l'alimentation animale pour les porcs et les poulets (Bertinetti *et al.*, 2019) ou les lapins (Dalle *et al.*, 2018). D'autres études ont également suggéré leur potentiel en aquaculture (Cummins *et al.*, 2017).

I.7.4 Production de bicarbonate et de fertilisants

Les lipides produits par les larves d'*H. illucens* sont de bons candidats pour la production de biocarburants et de biolubrifiants (Van Huis, 2019). Selon Cunwen *et al.* (2017), les graisses produites par les larves de MSN conviennent à la production de biocarburants.

L'utilisation durable de la MSN pour le recyclage des déchets organiques, comme source de protéines de haute qualité et en engrais organiques, avec une faible empreinte environnementale prend de l'ampleur dans le monde (Beesigamukama *et al.*, 2021).

I.8. Marché de la MSN dans le monde et en Algérie.

Le problème de la pénurie alimentaire pour les animaux aquatiques est l'un des défis majeurs à l'échelle mondiale, notamment en Algérie. Cela a conduit à l'utilisation du MSN comme aliment alternatif au fourrage car il contient une grande quantité de protéines et certains acides aminés, ce qui constitue une raison parmi d'autres pour s'intéresser à sa production et sa vente sur les marchés.

L'une des options est la commercialisation directe de larves fraîches aux clients. Étant donné que les larves continuent à se développer même après la récolte et se transforment rapidement en pré-pupes et en pupes, il est nécessaire de les transporter et de les nourrir immédiatement. Le prix de vente est donc plus bas mais peut inclure des frais de livraison supplémentaires. Les clients potentiels sont par exemple les éleveurs de poulets ou de poissons situés à proximité de l'installation de traitement des bio-déchets par la MSN. (Dortmans *et al.*, 2022).

I.8.1 Production et consommation

Dans le monde

Il existe plusieurs raisons qui justifient que les insectes constituent un choix alimentaire intéressant (Van Huis *et al.*, 2013).

La MSN est l'une des espèces d'insectes les plus prometteuses pour la production industrielle dans le monde (Chao *et al.*, 2018). Dans de nombreux cas, les MSN ont été identifiées comme une solution économique pour la gestion des déchets agricoles existants. Étant donné l'écart de coûts de production entre l'Amérique du Nord et l'Europe et l'Asie, le prix des MSN en Amérique du Nord et en Europe est plus élevé que dans les pays asiatiques

(Figure 1.8). En outre, selon des travaux publiés, le prix des MSN aux États-Unis est plus élevé que dans les pays européens, en raison d'un cadre réglementaire standardisé et d'un nombre plus faible d'unités de production de MSN qu'en Europe (Meticulous, 2020).

La consommation d'insectes s'inscrit dans l'alimentation traditionnelle des populations dans un nombre restreint de régions du monde. Cependant, étant donné que la valeur du marché mondial des insectes comme produits destinés à l'alimentation humaine et à l'alimentation animale devrait dépasser le milliard d'USD en 2020 (Vijver, 2003).

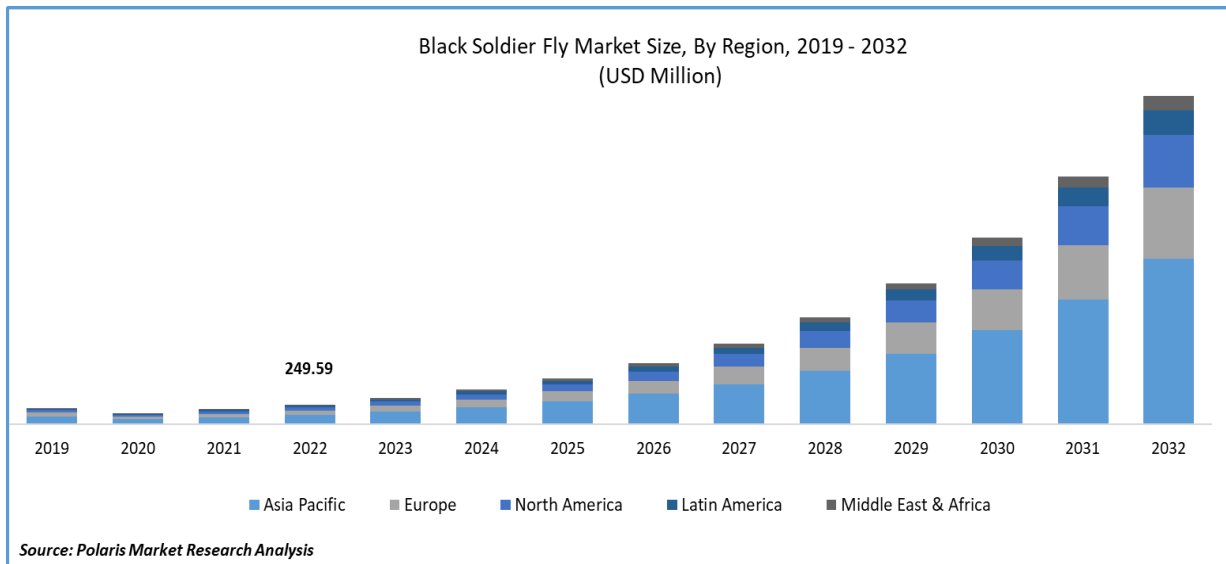


Figure 1.8 : Potentiel de développement de la filière de la MSN (POLARIS, 2024)

En Algérie

Malgré ses nombreux avantages nutritionnels et environnementaux, la consommation de la MSN reste très peu développée en Algérie. En effet, il n'existe actuellement ni articles scientifiques ni thèses de doctorat sur ce sujet, et son marché est encore balbutiant.

Pourtant, la MSN présente un fort potentiel pour l'avenir de l'alimentation animale en Algérie. Sa richesse en protéines et en acides aminés en fait une alternative durable aux farines de poisson et aux autres sources de protéines animales. En s'appuyant sur la recherche scientifique et en mobilisant les acteurs clés de la filière, il est possible de développer un marché durable et profitable à tous.

I.8.2 Réglementation internationale

Parmi les insectes ciblés pour les élevages dans le monde occidental, citons les espèces envisagées et autorisés par le règlement (UE) 2017/893 de la commission du 24 mai 2017. Celui-ci a modifié les annexes I et IV du règlement du CE n° 999/2001 du Parlement européen et du conseil et les annexes X, XIV et XV du règlement (UE) n°142/2011 de la commission concernant les dispositions relatives aux protéines animales transformées. Ces espèces sont au nombre de sept à savoir la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) (Dossou & Lefevre, 2018).

En 2017, l'UE a autorisé l'utilisation de protéines d'insectes transformées, et par conséquent de farine d'insectes, dans l'aquaculture. Peu de temps après, cette autorisation a également été accordée en Suisse (FiBL, 2023).

II. Production de la farine de MSN et ses applications

II.1. Prétraitement et procédés de transformation des larves de MSN

Le pré-traitement et les procédés de transformation des larves de MSN sont essentiels pour garantir la sécurité alimentaire et la qualité nutritive de la farine, et peuvent améliorer la croissance et la santé des animaux. L'ébouillantage est un prétraitement utilisé pour la réduction de la charge microbienne d'un produit. Il sert également à inactiver les enzymes qui causent la dénaturation de la couleur d'un produit, sa saveur ou sa valeur nutritive (Pursche *et al.*, 2018). Le séchage, quant à lui, est une technique de conservation des aliments qui consiste à réduire la quantité d'eau pour éviter la prolifération des microorganismes (Bazinet & Francois, 2011).

Plusieurs études ont montré que les larves de MSN fraîches sont hautement périssables en raison de leur teneur en eau qui varie entre 78 et 84% et de leur pH proche de la neutralité (6-9) (Wynants *et al.*, 2019).

La MSN possède une charge microbienne élevée, des bactéries aérobies mésophiles totales, des bactéries lactiques, *Pseudomonas spp*, *Listeria spp* et *Escherichia coli*, indiquant la présence d'une grande quantité de micro-organismes potentiellement pathogènes ou dégradateurs (Diarra, 2020). Ainsi, un processus de transformation pour réduire les risques sanitaires et permettre leur conservation lors de l'entreposage est fortement recommandé. Suite à la production d'insectes, il est nécessaire de trouver des procédés de transformation adaptés pour faciliter l'inclusion des coproduits d'insectes dans l'alimentation des poissons (Van Huis *et al.*, 2013).

II.2. Farine de la MSN

Le choix des procédés de transformation (abattage, séchage, broyage, conditionnement) des larves de MSN vers la farine de MSN est crucial pour garder au maximum les valeurs nutritives. Certaines études ont montré que :

Les larves d'*Hermetia illucens* sont séchées, moulues et partiellement dégraissées. Le résultat est un concentré protéique avec 55 à 60% de protéines dans la matière sèche. Le spectre des acides aminés est très semblable à celui des farines de poisson (Stamer, 2013). Une étude effectuée sur les larves entre Octobre 2018 et Mars 2019 pour évaluer la farine de MSN (Louis *et al.*, 2019) a confirmé l'intérêt de cette farine novatrice. De fait, il est envisageable de substituer partiellement les farines de poissons par celle de la MSN.

Le contenu nutritionnel des larves/pré-pupes varie également en fonction de leur régime alimentaire et des procédés de transformation qui sont appliqués lors de la production des farines (Giannetto *et al.*, 2020).

II.3. Qualité nutritive de la farine

La valeur nutritionnelle de la MSN varie considérablement entre les différents stades de développement. La MSN comestible est généralement considérée comme une source de nourriture saine (Tableau 1.6, Tableau 1.7 et Tableau 1.8).

Tableau 1.6 : Compositions chimiques de la farine MSN.

| Compositions proximales (% MS) | (Renna <i>et al.</i> , 2017) | (Terova <i>et al.</i> , 2019) | (Cui, 2019) |
|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------|
| Matières sèches | 98,18 | 89,92 | ND |
| Cendres | 7,12 | 8,74 | 19,8 |
| Protéines brutes | 55,34 | 48,62 | 43,3 |
| Lipides brutes | 17,97 | 20,58 | 26,2 |
| ADF | ND | ND | ND |
| Chitine | 5,00 | 4,96 | ND |
| Énergie(MJ/kg, MS) | 24,37 | 25,86 | 24,6 |
| Macroéléments | | | |
| Calcium | ND | ND | ND |
| Magnésium | ND | ND | ND |
| Phosphore | ND | ND | ND |

Tableau 1.7 : Contenu en acides aminés dans la farine MSN.

| Étude | (St-Hilaire <i>et al.</i> , 2007 b) | (Harjes <i>et al.</i> , 2012) | (Mwaniki <i>et al.</i> , 2018) | (Belghit <i>et al.</i> , 2019) | FiBL/ETH Bonnequalité (FiBL, 2023) | FiBL/ETH Faiblequalité (FiBL, 2023) | NRC ² , 2011 (FiBL, 2023) |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Substrat | Farine de MSN | | | | | | Farine de poisson |
| Alanine ¹ | 4,7 | n.a. | 6,8 | 5,2 | 7,4 | 8,2 | n.a. |
| Arginine ¹ | 4,1 | 5,9 | 4,8 | 4,0 | 5,2 | 5,0 | 4,8 |
| Asparagine ¹ | n.a. | n.a. | 9,1 | 7,7 | 10,1 | 9,7 | n.a. |
| Cystéine ¹ | n.a. | 0,87 | 0,70 | n.a. | 0,79 | 0,75 | 2,05 |
| Acide glutamique ¹ | 5,9 | n.a. | 11,9 | 8,1 | 11,9 | 11,7 | n.a. |
| Glycine ¹ | 3,6 | n.a. | 5,3 | 4,6 | 6,0 | 6,2 | n.a. |
| Histidine ¹ | 1,9 | 2,1 | 10,1 | 2,0 | 3,3 | 3,0 | 2,0 |
| Hydroxyproline ¹ | n.a. | n.a. | n.a. | 0,0 | n.a. | n.a. | n.a. |
| Isoleucine ¹ | 3,2 | 4,0 | 4,2 | 3,3 | 4,9 | 5,0 | 4,7 |
| Leucine ¹ | 4,9 | 7,1 | 6,8 | 5,8 | 7,4 | 7,4 | 6,0 |
| Lysine ¹ | 4,10 | 7,2 | 5,7 | 5,0 | 6,1 | 5,8 | 9,3 |
| Méthionine ¹ | 1,2 | 2,6 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 2,8 |
| Phénylalanine ¹ | 3,1 | 4,0 | 3,8 | 3,7 | 4,5 | 4,4 | 3,4 |
| Proline ¹ | 3,7 | n.a. | 6,0 | 4,5 | 6,1 | 6,8 | n.a. |
| Sérine ¹ | 2,6 | n.a. | 4,5 | 3,4 | 4,5 | 4,6 | n.a. |
| Taurine ¹ | n.a. | n.a. | n.a. | 0,0 | n.a. | n.a. | n.a. |
| Thréonine ¹ | 2,8 | 4,1 | 4,0 | 3,4 | 4,3 | 4,4 | 3,2 |
| Tryptophane ¹ | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 1,7 | 1,7 | 0,9 |
| Tyrosine ¹ | 4,8 | n.a. | 4,9 | 5,3 | 7,2 | 6,9 | 2,7 |
| Valine ¹ | 4,4 | 4,8 | 6,0 | 4,5 | 6,8 | 7,0 | 4,2 |

¹% des protéines brutes

²National Research Council, 2011 n.a. : non analysé

Tableau 1.8 : Contenu en acides gras de la farine de MSN

| Références | (Renna <i>et al.</i> , 2017) | (St-Hilaire <i>et al.</i> , 2007 a) |
|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| C10:0 | 1,32 | n.a. |
| C12:0 | 58,59 | 42,6 |
| C14:0 | 10,14 | 6,9 |
| C 14:1 n-7 | ND | n.a. |
| C16:0 | 12,03 | 11,1 |
| C 16:1n-9 | ND | n.a. |
| C 16:1n-7 | ND | n.a. |
| C17:0 | ND | n.a. |
| C18:0 | 1,77 | 1,3 |
| C 18:1 n-7 | ND | n.a. |
| C 18:1 n-9 | 7,98 | 12,3 |
| C 18:2 n-6 | 5,98 | 3,6 |
| C 18:3 n-3 | 0,05 | 0,74 |
| C20:0 | 0,10 | n.a. |
| C20:4n-6 | 0,00 | 0,20 |
| C20:5n-3 ³ | 0,00 | 1,66 |
| C22:5n-3 | 0,00 | 0,14 |
| C22:6n-3 ⁴ | 0,00 | 0,59 |

n .a.= non analysé

II.4. Utilisation de la farine de la MSN dans l'aquaculture

Des enjeux pour la filière insecte est d'arriver à optimiser leur processus d'élevage pour, d'une part, standardiser la qualité nutritionnelle de leurs farines, seule garantie pour une production à grande échelle pour l'alimentation aquacole. Il est facile de supposer que l'aquaculture et la production d'insectes pourraient jouer des rôles importants dans les années ou décennies à venir (Figure 1.9 et Tableau 1.9).

Plusieurs manuscrits ont prouvé l'efficacité des farines d'insectes (FI) chez différentes espèces de poissons, révélant l'importance à la fois de l'insecte et des espèces de poissons impliquées (Moutinho *et al.*, 2021).

L'exosquelette des pré-pupes de MSN contient des proportions importantes de chitine qui est un polymère de glucosamine (Barroso *et al.*, 2017). Ce composé généralement considéré comme antinutritionnel, a eu pour effet d'affaiblir la digestibilité des protéines et la conversion alimentaire chez la plupart des espèces de poissons (Weththasinghe *et al.*, 2022).

Plusieurs chercheurs ont examiné ces aspects de l'utilisation de la farine de larves de MSN dans les régimes alimentaires dans le domaine aquacole :

Crevettes

La Crevette blanche a montré un effet bénéfique sur la croissance avec un taux de remplacement de la farine de poisson pouvant atteindre les 50% (Choi *et al.*, 2018). D'autres travaux ont conclu que la MSN pouvait partiellement remplacer la farine de poisson comme source alternative de protéines dans l'alimentation de post-larve de *Macrobrachium. Rosenbergii* (Metivier, 2019).

Les poissons

Salmonidés

L'inclusion de FI dans les aliments est généralement bien acceptée. Terova *et al.* (2019) ont remplacé jusqu'à 30% de farines de poissons (FP) par *Hermetia illucens* (HI) dans l'alimentation de la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*). Dans le cas du saumon atlantique (*Salmo salar*), il a déjà été prouvé que la FP pouvait être entièrement remplacée, en utilisant HI comme l'une des sources de protéines choisies (Belghit *et al.*, 2019). D'autres études sur la truite ont montré que la farine de larves MSN partiellement dégraissée est une source de protéines alternative valide et peut remplacer jusqu'à 50% de dans l'alimentation sans altération des indices organosomatiques ni du rendement en filets (Bruni *et al.*, 2018).

Sealey *et al.* (2011) ont constaté une différence de croissance entre la Truite Arc-en-Ciel nourrie avec un aliment contenant de la farine de MSN élevé dans un régime à base de fumier de vache et d'abats de poisson par rapport à un régime à base de fumier de vache uniquement. Les tests microbiologiques ont révélé que les bactéries intestinales de TAC nourries avec de la farine MSN étaient sensibles aux changements alimentaires, montrant une communauté modifiée et une biodiversité accrue (Bruni *et al.*, 2018).

Un régime contenant un fort taux d'inclusion de farine d'insectes (MSN) ne semble pas fragiliser la santé intestinale des saumons voire limiterait les dépôts lipidiques excessifs dans le caecum pylorique et pourrait stimuler le métabolisme des xénobiotiques(Li *et al.*,2018).

Certains auteurs ont montré que chez les salmonidés, il est possible d'inclure 60% de farine de MSN sans compromettre les performances de croissance et l'ingestion alimentaire (Weththasinghe *et al.*,2022).

Acipenséridés

Une augmentation significative du microbiote intestinal chez l'esturgeon nourrit avec un aliment contenant 15% d'inclusion de farine de MSN par rapport à ceux nourrit uniquement avec de la farine de poisson (Metivier, 2019).

Cichlides

La substitution totale de la farine de poisson par la farine de larves de MSN n'affecte pas les performances globales de croissance du tilapia du Nil tant que les niveaux d'incorporation ne sont pas très élevés (Gougbedji, 2022).



Figure 1.9 : Utilisation de la MSN (*Hermetia illucens*) dans l'aquaculture (Kannan *et al.*,2022)

Tableau 1. 9 : Effet de différents taux d'inclusion de farine de la MSN sur différentes espèces de poissons (Maniyangamage *et al.*, 2020).

| Espèce de poisson | Taux d'inclusion BSFL (substitution de farine de poisson) | Effet | Référence |
|---|---|---|--|
| Alevin de silure africain <i>Clarias gariepinus</i> (Burchell, 1822) | Repas, jusqu'à 30% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 20%. | Talamuk(2016) |
| Saumon atlantique (<i>Salmosalar</i> Linnaeus, 1758) Post-smolt (post-smoltification) Pré-smolt (pré-smoltification) | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 85 %.Profil d'acides gras altéré et augmentation de la teneur en matière sèche. | Locket al. (2016); Belghitetal. (2018;2019a) Lietal. (2019) ; Stenberget al.(2019) |
| Barramundijuvénile (Lates calcarifer (Bloch, 1790)) • | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 50%.Contenu en acides aminés essentiels altéré | Katyaetal.(2017) |
| • Alevins de Tilapia bleu (<i>Oreochromis aureus</i> (Steindachner, 1864)) | Larves hachées et congelées, jusqu'à 100%. | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à un remplacement de 100%. | Bondari&Sheppard(1981) |
| Bar parental de Poisson-chat rayé (<i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818)) • | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à un remplacement de 100%. | Bondari&Sheppard (1981) |
| • Bar européen juvénile | Repas, jusqu'à | Pas d'effets négatifs sur la croissance | López(2015) |

| | | | |
|---|--|--|---|
| (<i>Dicentrarchus labrax</i> (Linnaeus, 1758)) | 45% | jusqu'à 45%. - Pas d'effets sur les activités de l'amylase et des protéases | Magalhães <i>et al.</i> (2017); Abdel-Tawwab <i>et al.</i> (2020) |
| <ul style="list-style-type: none"> Hybride de mérou <i>Epinephelus fuscoguttatus</i> (Forsskål, 1775) femelle x <i>Epinephelus lanceolatus</i> mâle (Bloch, 1790) juvénile | Repas, jusqu'à 30% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 30%. | Zulkifli <i>et al.</i> (2019) |
| <ul style="list-style-type: none"> Silure de Hong Kong juvénile (<i>Clarias fuscus</i> (Lacépède, 1803)) | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 66%. | Stankus (2013) |
| <ul style="list-style-type: none"> Bar du Japon juvénile (<i>Lateolabrax japonicus</i> (Cuvier, 1828)) | Repas, jusqu'à 64% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 64%. | Wan <i>et al.</i> (2019) |
| <ul style="list-style-type: none"> Carpe Jian (<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758) : <ul style="list-style-type: none"> Alevins / Juvénile | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à un remplacement de 100%. Teneur élevée en acides gras saturés. | Liet <i>et al.</i> (2017) |
| Tilapia du Nil (<i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758)) : <ul style="list-style-type: none"> Alevins (alevins) Alevin (alevin) (or) Fretillons | Farine et larves entières (séchées), jusqu'à 100%. | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 50%. La teneur en matières grasses brutes du corps et la teneur en acides gras saturés ont augmenté. | Muin <i>et al.</i> (2017) |
| <ul style="list-style-type: none"> Truite arc-en-ciel (<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)) : <ul style="list-style-type: none"> Alevins Juvénile | Repas, jusqu'à 75% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 30%. | St-Hilaire <i>et al.</i> (2007); Sealey <i>et al.</i> (2011); Renna <i>et al.</i> (2017); Bruni <i>et al.</i> (2018); Terova <i>et al.</i> (2019) |

| | | | |
|--|------------------------|--|---|
| • Esturgeon de Sibérie juvénile (<i>Acipenserbaerii</i> Brandt, 1869) | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 30%. | Caimi <i>et al.</i> (2020) |
| • Turbot juvénile (<i>Psetta maxima</i> (Linnaeus, 1758)) | Repas, jusqu'à 76% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 33%. | Kroeckel <i>etal.</i> (2012) |
| Jeune poisson-chat jaune <i>Pelteobagrus fulvidraco</i> (Richardson, 1846) | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 25%. | Hu <i>et al.</i> (2017);Xiao <i>et al.</i> (2018) |
| Poisson zèbre <i>Danio rerio</i> (Hamilton, 1822) cycle de vie complet | Repas, jusqu'à 100% | Aucun effet négatif sur les performances de croissance jusqu'à une inclusion de 25%. | Vargas <i>et al.</i> (2018);Zarantoniello <i>etal.</i> (2019) |

II.5 Supplémentation partielle par la farine de MSN dans l'alimentation des poissons

La supplémentation partielle par la farine de MSN dans l'alimentation des poissons d'eau douce (Carpe koï ; Tilapia rouge) comporte plusieurs aspects essentiels. Tout d'abord, il est crucial d'évaluer la composition nutritionnelle de la farine, y compris ses protéines, matières grasses, fibres, acides aminés, vitamines et minéraux, pour favoriser la croissance et la santé des poissons. Ensuite, la qualité sensorielle de la farine, telle que sa couleur, son odeur et sa texture, peut influencer l'appétence des poissons. De plus, l'utilisation de la farine de MSN peut impacter la qualité de l'eau en réduisant la production de déchets fécaux. Enfin, la farine de MSN peut renforcer le système immunitaire des poissons, les rendant plus résistantes aux maladies. En résumé, l'introduction de la farine de MSN dans l'alimentation des poissons nécessite une évaluation approfondie de ses aspects nutritionnels, sensoriels, environnementaux et sanitaires pour assurer une croissance saine des poissons et une gestion efficace des écosystèmes aquatiques. Des études ont montré que la farine de poisson peut être efficacement remplacée par la farine de MSN, et que cela a non seulement un effet positif sur l'expression des gènes liés au système immunitaire chez la carpe Koï, mais aussi sur le taux de croissance, indiquant le rôle potentiel futur de la farine MSN en tant que protéine alternative à la farine de poisson dans la formulation des aliments pour poissons (Nguyen *et al.*, 2024).

Un producteur de poissons d'ornement d'eaux chaudes utilise déjà un aliment contenant 50% de farines délipidées de MSN avec des résultats plutôt positifs. La majorité des producteurs régionaux de poissons d'ornement élèvent des poissons d'eaux froides type carpe koï (Metivier, 2019).

II.6. Généralité sur Carpe koï (*Cyprinus carpio*)

Le poisson carpe koï, de la famille des Cyprinidés, est présent dans la plupart des régions du monde. Le prix de vente de ces poissons et des poissons rouges a augmenté en fonction de l'intensité de leur couleur de peau, qui est un critère de qualité important (Gouveia *et al.*, 2003).

Le terme koï est l'abréviation d'un mot asiatique qui veut dire carpe décorative. La carpe koi, *Cyprinus carpio*, est une variété issue de la carpe commune après de patientes sélections successives depuis plusieurs centaines d'années (Aligayer *et al.*, 2007).

Il possède de chaque côté de la bouche un barbillon (Figure 1.10), organe tactile lui permettant de trouver sa nourriture dans la vase. Selon (Losangne, 2006) ; C'est une espèce omnivore qui préfère les proies vivantes telle que petits invertébrés ainsi que la nourriture à base végétale. Elle accepte également des aliments artificiels selon (Losangne, 2006) et (Aligayer *et al.*, 2007).

Les jeunes préfèrent vivre en petits groupes tandis que les adultes deviennent solitaires (Losangne, 2006). Compte tenu de sa taille (environ 70 cm à l'âge adulte) et de sa

croissance assez rapide pendant les premières années de sa vie, la longévité de ces poissons est remarquable pouvant dépasser 50ans. La carpe Koï est résistante aux basses températures et aux chaleurs estivales (Aligayer *et al.*,2007).

Les paramètres physico-chimiques adéquats jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la croissance et de la reproduction (Tableau1.10).

La reproduction de la carpe koï est le processus de libération des ovules par la femelle et du sperme par le mâle, suivi de la fécondation de l'ovule par le sperme (fécondation). En général, la reproduction des poissons peut être réalisée de deux manières, à savoir naturelle et artificielle. La reproduction naturelle se fait à l'air libre, conforme à la nature de la vie, sans traitement ni assistance humaine (Putri & Dewi, 2019).

Tableau1.10 : Paramètres physico-chimiques de l'élevage de la carpe koï

| | | |
|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| Température | 18 et 24 °C | (Craig <i>et al.</i> , 2004) |
| Oxygène dissous | Au moins 5 mg/L | |
| Ammoniac et Nitrite | en dessous de 0,05 mg/L. | |
| pH | entre 5 et 9. | |

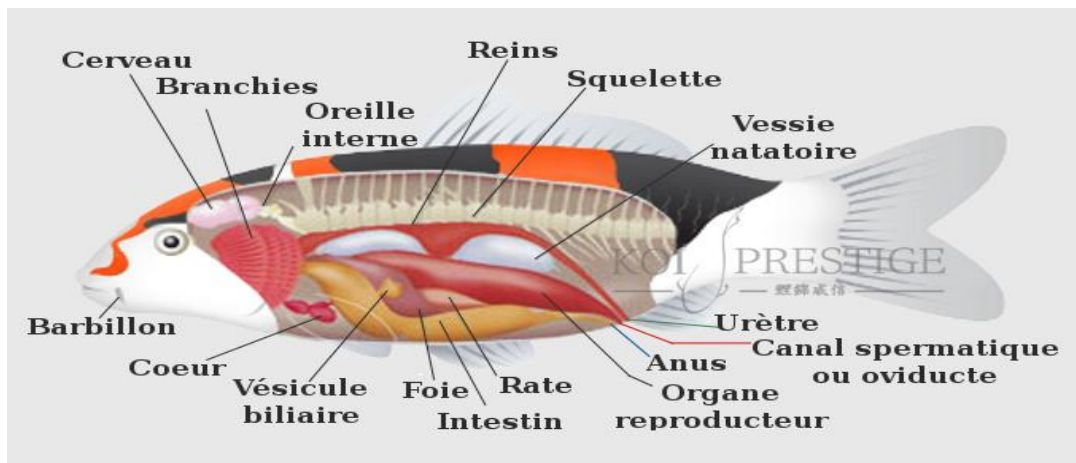


Figure 1.10 : Morphologie interne de la carpe koï (KoiPRESTIGE, 2013).

II.7. Généralité sur Tilapia de Nil (*Oreochromis Niloticus*)

Le tilapia est un poisson d'eau douce appartenant à la famille des Cichlidés. Il est l'une des espèces les plus importantes élevées actuellement dans les eaux douces tropicales et subtropicales. La consommation moyenne mondiale de tilapia passerait de 14 à 25 kg par habitant d'ici 2030 (FAO, 2018).

Le terme "Tilapia" est d'origine africaine, du mot « thiape », qui signifie poisson. Les poissons qui creusent le sol de l'étang pour faire des nids dans lesquels ils fraient portent le nom de tilapia. L'élevage des tilapias existe depuis plus de 2500 ans (Chapman, 2003). Ce sont des poissons thermophiles ; les juvéniles et les jeunes poissons de tilapia sont omnivores. Ils se nourrissent principalement de zooplancton et de la faune benthique, mais ingèrent aussi des détritiques et se nourrissent de phytoplancton. Lorsqu'ils atteignent environ 6 cm de longueur totale, les tilapias deviennent essentiellement herbivores (FAO, 2024).

Le taux de croissance du tilapia est influencé par divers facteurs : les paramètres physico-chimiques (Tableau 1.11), le sexe, l'alimentation supplémentaire et la densité de. Dans les populations de tilapia, les mâles se développent plus rapidement et atteignent une taille plus uniforme que les femelles (Chapman, 2003).

Le tilapia atteint sa maturité sexuelle lorsqu'il mesure entre 10 et 30 cm de longueur totale. La disponibilité de nourriture et la température jouent un rôle important dans ce processus. La reproduction n'est possible qu'à des températures supérieures à 20°C, et les poissons peuvent pondre tous les 30 jours. Comme chez de nombreuses espèces de tilapias, le nid est une dépression circulaire creusée dans le sable, mesurant jusqu'à 1 mètre de diamètre et 0,5 mètre de profondeur. Le diamètre du nid fait en moyenne le double de la longueur du mâle qui le creuse. Les mâles marquent leur territoire et défendent leurs nids, où les lots d'œufs sont pondus. Fécondés de façon externe, les œufs sont ensuite recueillis par les femelles, qui les incubent pendant 5 à 7 jours dans leur bouche (Trewavas, 1983).

Tableau 1.11 : Paramètres physico-chimiques de l'élevage de Tilapia

| | | |
|-------------------------|------------|-----------------|
| Oxygènes dissous (mg/l) | 3,0 mg/l | (Chapman, 2003) |
| pH | 6,0–8,5 | |
| Température °C | 25–30 ° C | |
| Ammoniac (mg/l) | 0,5–1 mg/l | |

Chapitre 2 :

Matériels et

Méthodes

I. Description du site de l'étude

L'étude a été réalisée dans l'entreprise (SARL société à responsabilité limitée) GARDEN pépinière, située à Alger (les Dunes, Chéraga) ;(latitude 36.77 ; longitude 2.91). Elle a été créée en 2009 et occupe une surface de 40 hectares. Une superficie de 0,2 hectare est destinée à la production de poissons d'ornement (Carpe koï) et de consommation (Poisson chat, Tilapia et Carpe commune), à partir de 2016. Cette écloserie est constituée d'un laboratoire d'analyse et de reproduction de poisson et d'une salle d'incubation. Elle comprend également un compartiment pour les aquariums et les bassins d'alevinage, ainsi que d'autres pour les géniteurs. Le système d'élevage qu'ils utilisent est semi-intensif.

Un forage est canalisé vers un circuit ouvert permettant d'approvisionner l'écloserie avec de l'eau douce. Une fois récupérée dans des bassins, elle est aussi dirigée vers une rigole pour l'irrigation.



Figure 2.1 : Localisation géographique de la ferme Garden (Google Earth, 2024).

II. Elevage de la MSN

La colonie de mouche soldat noire (MSN) utilisée dans notre étude (poids, 100 g ; selon les stades, larves/pupes : 60/40) a été fournie par un éleveur expérimenté, de la localité de Boufarik (Blida, Algérie).

Une chambre acclimatée (température, humidité et luminosité contrôlées) de 9 m² a été aménagée pour l'élevage de la MSN. Le dispositif expérimental, contenu dans la chambre acclimatée, est constitué d'une cage couverte d'une moustiquaire (empêchant la fuite des mouches) destinée aux pupes immobiles (Figure 2.2) ; et d'un bac d'éclosion contenant essentiellement un substrat alimentaire adéquat pour nourrir les larves.

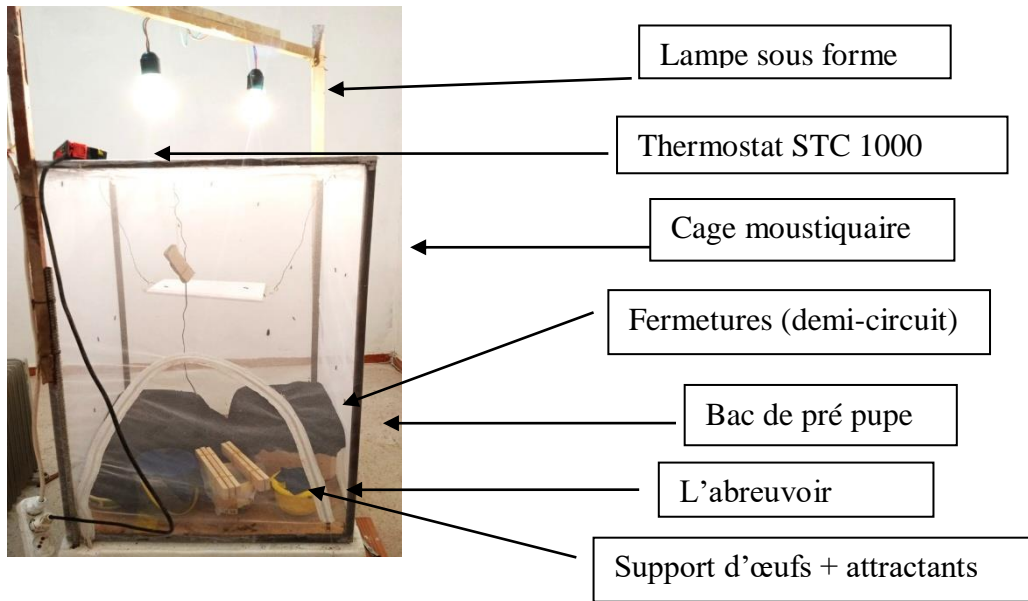


Figure 2.2 : Structure de moustiquaire d'élevage de la MSN

II.1. Le dispositif expérimental

La cage munie d'une moustiquaire (CM), aménagée pour élever la MSN durant les phases de pupes et adulte, est construite en fer rond, de dimensions suivantes $60 \times 60 \times 100$ cm (Longueur \times Largeur \times Hauteur). Cette structure rectangulaire a été recouverte d'un tissu synthétique de type tulle, avec un filet à mailles fines d'environ 2 mm. Elle est équipée de fermetures à glissière de 50 cm disposées en demi-circuit pour faciliter la manipulation (Figure 2.2).

Au-dessus de la CM, une source de lumière artificielle sous forme LED (tension de 180 V ; puissance 18W ; fréquence de 70 Hz). A été placée (Figure 2.2) et fonctionnait selon un rythme déterminé.

À l'intérieur de la CM, on trouve un abreuvoir, deux bacs de pré-pupe, deux supports pour les œufs et des attractants :

- L'abreuvoir est formé d'une boîte en plastique (volume, 500 ml) contenant de l'eau potable, du sucre ou du miel pour alimenter les adultes. Un font d'environ de 2 cm a été créé sur le couvercle de l'abreuvoir (Figure 2.3 A), permettant d'introduire un tissu qui s'humidifie au contact de l'eau (Figure 2.3 B). Cette dernière remonte suivant un gradient de concentration pour faciliter son absorption par la MSN (Figure 2.3 C).

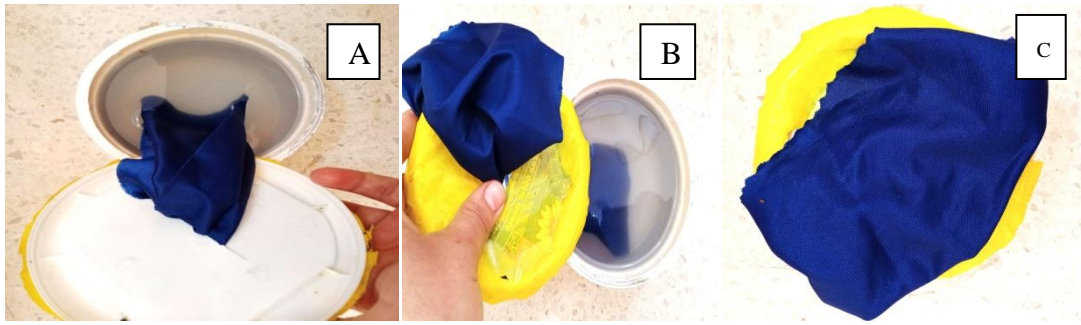


Figure 2.3 : Source de l'eau pour l'élevage des adultes de la MSN

- Deux bacs de pré-pupe, chacun d'eux recouvert d'un tissu noir (servant à accommoder leur transition vers le stade adulte) muni d'un orifice central. Celui-ci permet aux adultes émergés de sortir du bac, et de s'orienter naturellement vers la source lumineuse (Figure 2.4). Une alternative au tissu noir, c'est de couvrir les pré-pupes d'une couche d'1 cm de compost (bouse séchée et broyée) pour garantir les conditions de leurs transitions vers des pupes et faciliter l'émergence des adultes.

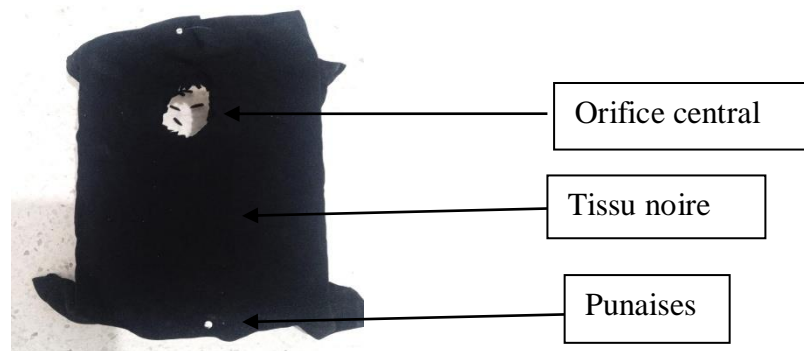


Figure 2.4: Forme de bac de pré-pupe dans l'élevage de la MSN

- Les attractants servent à contenir de la matière organique en décomposition qui dégage une odeur attirante pour les femelles des MSN. Une boîte en plastique d'un volume de 250mla été remplie d'un mélange de 250 g de matière organique (bananes et tomates altérées) servant de source d'odeur attractive pour la MSN. Selon Bertrand *et al.* (2019), la boîte doit être protégée par un filet à mailles fin d'environ 2 mm, empêchant d'autres insectes à concurrencer la MSN pour pondre leurs œufs à l'intérieur. Une fois les accouplements commencés (phase de reproduction), les attractants et les pondoirs serviront aux pontes des œufs par les femelles de la MSN.
- Les supports pour les œufs (pondoirs) permettent de créer un environnement propice à la ponte (Figure 2.5). Ils sont créés avec des plaques en bois ou du carton, offrant aux MSN un espace adéquat pour pondre. Deux supports pour les œufs ont été fabriqués à l'aide de cinq plaques de bois séparées par des punaises et maintenues ensemble par des élastiques aux deux extrémités des plaques (Figure 2.5). Les

punaises ont permis de créer un petit espace d'environ 2 mm entre les plaques de bois, pour que les femelles de la MSN puissent déposer leurs œufs (Dzepe *et al.*,2020)



Figure 2.5: Structure des supports pour les œufs de la MSN

II .2Suivi des paramètres biotiques

Pour aménager une chambre climatisée et créer les conditions favorables à l'élevage de la MSN, il est essentiel de contrôler la température, l'humidité et la lumière.

A. Température

En vue d'optimiser les conditions thermiques pour la croissance de la MSN, trois dispositifs de chauffage distincts ont été mis en place à des phases successives de l'expérience: une résistance chauffante (FORSA ; puissance 1200 W ; 3N), un bain d'huile (MATRIX ; puissance 2800 W ; tension 220 V ; fréquence 50 Hz)(**Figure 2.6**) et une cuisinière à gaz muni d'un système pour chauffer l'eau. Parallèlement, un thermomètre numérique (STC1000 ;Elitech) a été utilisé pour la mesure de température(**Figure.2.7**).



Figure 2.6 : Bain d'huile



Figure2.7: Thermomètre STC1000

B. Humidité

L'élevage de la MSN requiert une humidité comprise entre 60 et 70% (Barragan *et al.*, 2017). Deux dispositifs distincts ont été mis en place : soit on utilisait un substrat hygroscopique tel qu'une éponge saturée en eau, soit par chauffage d'eau à l'aide d'un dispositif de combustion à gaz.

L'humidité a été mesurée à l'aide d'une application Humidity&Temperature (version 1.18 ; In Touch Studio).

C. La lumière

Selon le protocole Hoc *et al.* (2019), de Trois sources d'éclairage distinctes ont été utilisées pendant la période expérimentale : **1)**une lampe halogène (puissance, 120 watts ; tension, 110 V ; fréquence, 60 Hz); **2)**une lampe à diodes électroluminescentes (LED) (puissance, 18 watts ; tension 180 V ; fréquence, 70 Hz); **3)** une combinaison d'éclairage naturel et artificiel LED (Jour, lumière naturelle et LED ; nuit, lumière LED).

II.3. Régime alimentaire (substrat) et croissance de la MSN.

Les larves de MSN se nourrissaient de divers types de matière organique en décomposition, tels que des déchets alimentaires (pain haché et déchets de légumes ou de fruits), des sous-produits de volaille et de poissons (sardine) et les fibres végétales (Farine de blé et d'orge, son de blé)(**Tableau 2.1**).

Les trois substrats pour les larves de la MSN sont maintenus dans des conditions constantes de température entre 28 et 34°C, ainsi qu'une humidité entre 50 et 70%.

Tableau 2.1: Types de substrat pour chaque stade d'élevage de la MSN

| Stade de développement | Types de substrat |
|------------------------|---|
| Œufs | <ul style="list-style-type: none"> • Farine de blé et d'orange + 80% eau • Pain haché + Petite quantité de levure douce + 80% d'eau • Aliment pour les volailles + 80 d'eau • Tomate et banane mures |
| Larve | <ul style="list-style-type: none"> • Déchets des légumes + 80% d'eau + déchets des fruits • Déchets des légumes + 80% d'eau + déchets des fruits +son de blé • Déchets des légumes + son de blé + déchets de poulets +80% d'eau • Déchets des légumes + pain haché + déchets de |

| | |
|--------|---|
| | <p>poulets +80% d'eau</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pupe MSN • Déchets des légumes + 80% d'eau + déchets des fruits + déchets de poisson (sardine) |
| Pupe | <ul style="list-style-type: none"> • Aucun substrat (Ne s'alimente pas) |
| Adulte | <ul style="list-style-type: none"> • L'eau avec du sucre ou du miel |

Dans chaque bac d'élevage, les larves ont été nourries une fois par 3 jours selon les recommandations de Craig *et al.*(2002).

La nourriture doit être répartie uniformément sur toute la surface du bac, en veillant à ce que la profondeur du substrat ne dépasse pas 5 cm (Figure 2.8). Selon Lalander *et al.* (2019), cette pratique permet aux larves d'accéder facilement aux déchets et de les traiter efficacement.



Figure 2.8 : Substrat de la MSN avant et après 10 jours de l'expérience

L'incubation des œufs de la MSN se déroule dans un substrat riche en nutriments (vitamines, protéines, lipides et minéraux) pour favoriser une croissance accélérée des larves (Tableau 2.1). Au stade nymphal, la MSN ne s'alimente plus, tandis que les adultes se nourrissent d'eau sucrée ou miellée.

Le poids et la taille des larves de la MSN ont été effectués à partir du 7^{ème} jour après incubation des œufs (l'éclosion se fait généralement après 4 jours d'incubation puis prennent 3 jours pour pouvoir les mesurer individuellement).

La croissance, facteur déterminant de la production et donc de la rentabilité de l'élevage, a été calculée à partir des données collectées tous les 8 jours du poids individuel et de la taille des larves pendant une période de 24 jours. Les mesures de poids et de la taille ont été effectuées à l'aide d'une balance de précision (type KERN ; max 220g, d 0,1 mg) et d'un pied à coulisse (modèle MITUTOYO), respectivement (Figure 2.9).



Figure 2.9 : Mesure du poids et de la taille des larves de MSN

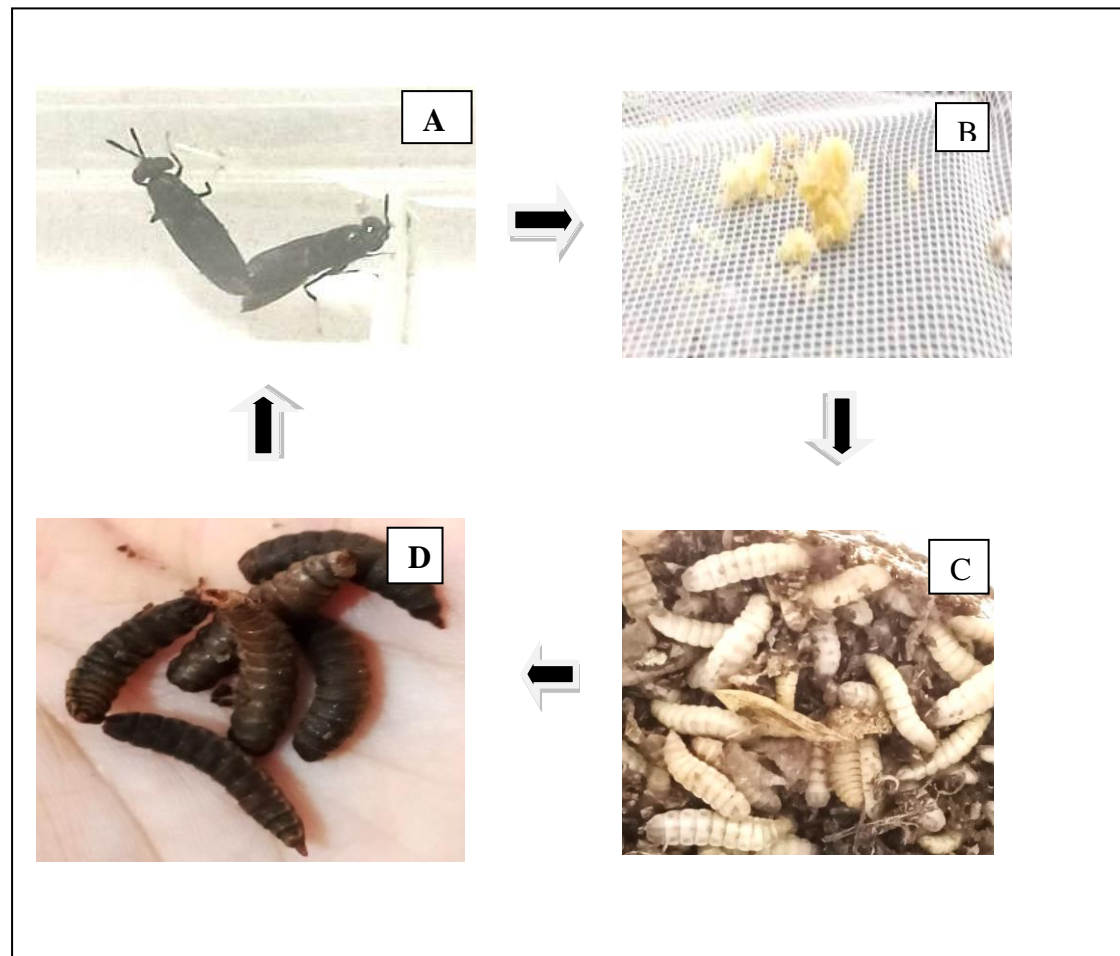
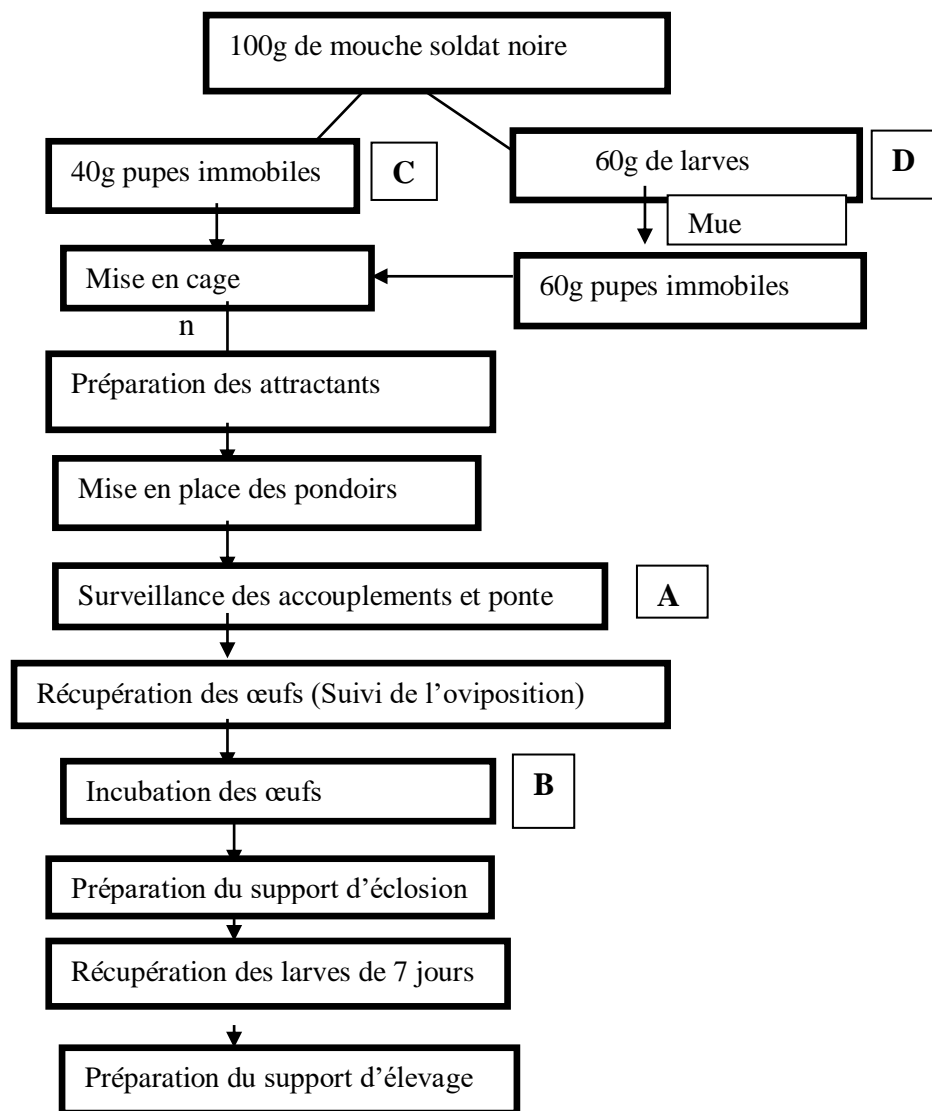


Figure 2.10: Cycle d'élevage de la MSN

III. Fabrication de la Farine de MSN

La production de la farine à partir de larves de la MSN implique plusieurs étapes, afin de préserver sa valeur nutritionnelle.

Avant d'être abattues pour des utilisations diverses, les insectes capturés doivent subir un jeûne d'un à trois jours. Cette étape est essentielle pour éliminer le contenu fécal intestinal et ainsi réduire la quantité de microbiote fécal présent (Javier *et al.*, 2021).

III.1 Abattage des larves de MSN

Le blanchiment est une méthode d'abattage couramment utilisée, visant plusieurs objectifs ; entre autres, tuer les insectes, réduire la charge microbienne et réduire l'activité enzymatique (empêcher le brunissement) (Adeline *et al.*, 2019). Larouche *et al.* (2019) ont mentionné que le blanchiment peut être utilisé aussi à différents stades du cycle de vie de *Hermetia illucens* pour d'autres usages.

Selon la méthode décrite par Adeline *et al.* (2019), le blanchiment des larves de la MSN a été réalisé au niveau du laboratoire d'aquaculture de l'ENSSMEL comme suit :

- Lavage méticuleux de toutes les larves afin d'éliminer tout résidu de déchets et l'égoutter.
- Ensuite, chauffer une quantité d'1 l d'eau de robinet avec un agitateur magnétique avec résistance jusqu'à une température de 100 °C (Figure 2.11 A).
- Plonger les larves dans l'eau chaude pendant 5 minutes.
- Transférer les larves dans un tamis afin de les séparer de l'eau (Figure 2.11 B).
-



Figure 2.11 : Blanchiment de la MSN (A, eau bouillante ; B, égouttage)

III.2 Séchage et broyage

Le processus de séchage constitue une étape particulièrement délicate. Ainsi, il est crucial de sélectionner avec soin la température optimale afin de préserver au mieux la valeur nutritionnelle des larves de la MSN. Selon Primakov *et al.* (2021) le séchage conventionnel (en étuve à température de 60 °C) a donné un score DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score) supérieur et une meilleure digestibilité *in vitro* des protéines que le séchage par micro-ondes.

Dans notre cas, un séchage en étuve a été réalisé pour les larves de MSN préalablement blanchies, au sein du laboratoire de l'ENSSMAL suivant le protocole décrit par Primakov *et*

al. (2021). Ensuite, les larves ont été pesées à intervalles réguliers jusqu'à ce qu'elles atteignent un poids uniforme (Figure 2.12).



Figure 2.12: Les étapes de séchage

Le broyage est la méthode couramment utilisée pour obtenir de la farine *d'Hermetia illucens*, en utilisant un moulin (BOMANN, capacité 200 g ; puissance 1300 W ; fréquence 220-224 V) type semi-automatique (Figure 2.13).

Le broyage fin d'insectes frais est mécaniquement difficile à stocker et à traiter (Parniakov *et al.*, 2021).

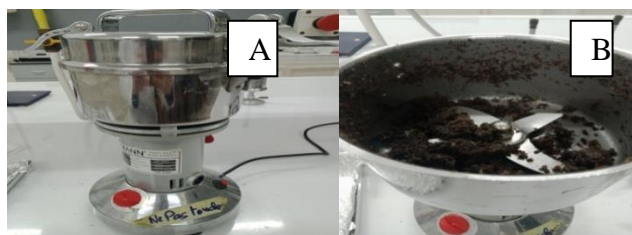


Figure 2.13: Broyage des larves de la MSN (A : Moulin ; B : larves broyées)

III.3 Conditionnement de la farine

Après la phase de broyage, Kamauet *al.* (2018) ont mentionné que la poudre issue des larves de la MSN peut être stockée à 25°C pendant 7 mois.

IV. Analyses nutritionnelles de la farine de MSN

L'extraction des protéines et des lipides de la farine de la MSN a été effectuée au laboratoire de l'ENSSMAL selon les protocoles détaillés.

V. Formulation de l'aliment à base de la farine de MSN

L'élaboration d'un aliment à base de la farine de MSN (AFM) pour les poissons d'ornement (carpe Koi), et les poissons d'eau douce (Tilapia), repose sur quatre principes fondamentaux :

- Une étude approfondie des besoins nutritionnels spécifiques de ces poissons.
- La sélection rigoureuse d'ingrédients supplémentaires qui vont compléter la composition nutritionnelle de la MSN.
- La composition d'un aliment adapté aux besoins physiologiques des poissons.

Les ingrédients complémentaires qui ont été ajoutés à la farine de la MSN sont explicités dans le Tableau 2.2.

Tableau 2.2 : Ingrédients supplémentaires utilisés pour la fabrication d'AFM

| | |
|------------------------------------|------------------------------|
| Ingrédients | |
| Sous-produit animal ⁽¹⁾ | Vitamine A, AGPI (EPA ; DHA) |
| Sous-produit végétal | Minéraux, Fibre ; pigment |

⁽¹⁾Farine de la mouche soldat noire 2 kg

V.1. Étapes de la fabrication d'aliment à base de la farine de MSN

Les ingrédients cités dans le Tableau 2.5 ont été nettoyés minutieusement à l'eau propre avant de les sécher.

- Séchage :

La méthode de séchage des ingrédients varie selon leur nature.

Selon Tarhouni *et al.* (2019), les sous-produits ont été séchés à l'air libre pendant 24 heures.

- Broyage :

Les ingrédients ont été broyés à l'aide de moulins automatiques, puis tamisés pour obtenir une poudre fine.

- Homogénéisation :

Prendre le soin de bien mélanger tous les ingrédients cités dans le Tableau 2.2 pour obtenir un aliment avec une très bonne consistance.

- Granulation

Après avoir mélangé les ingrédients et les avoir transformés en pâte après l'ajout de l'eau, ils sont ensuite façonnés en petits granulés de 3 mm de diamètre à l'aide d'une méthode traditionnelle (tamis), adaptés au volume de la bouche des poissons (Figure 2.14).



Figure 2.14 : Forme des granulés d'aliment à base de farine de MSN

VI. Suivi de la croissance des poissons alimentés par AFM

Afin d'évaluer l'efficacité d'AFM par rapport à l'aliment commercial pour poissons (ACP) sur les alevins de carpe koi (*Cyprinus carpio*) et de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*), une étude comparative a été conduite à la ferme pépinière Garden.

Après avoir nettoyé quatre aquariums rectangulaires d'un volume de 95,6lchacun. Une pompe d'oxygénation (BOYU, S4000B) a été utilisée pour maintenir les conditions adéquates pour les deux espèces et résistance de type (Athman ; puissance 100W ; plage T 26-28°C) . :

La mesure du poids et de la taille des alevins de Tilapia et de carpe koi a été réalisée à l'aide d'une balance électronique (OHAUS, FD15H. (Figure 2.15) et d'un pied à coulisseMITUTOYO(manuel ; par mm et cm) suite de manque d'un ichtyo-mètre.

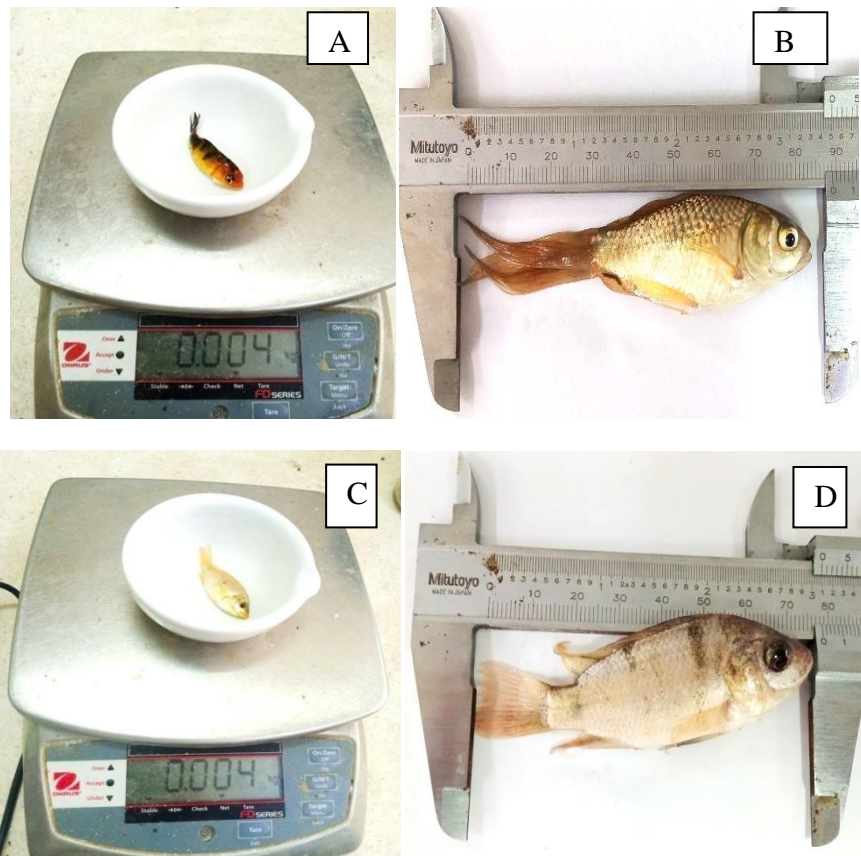


Figure 2.15 : Détermination des poids des poissons
(A, B :Carpe koi ; C, D :Tilapia rouge)

VI .1. Constitution des lots d'aquarium

Deux lots d'alevins de Carpe koi ont été constitués, chacun contenant 5 individus ayant un poids moyen de $4,6 \pm 0,4$ g (âgés d'environ deux mois) ; deux lots d'alevins de Tilapia du Nil (âge d'environ 1 mois et demi) ont été constitués, chacun contenant 4 individus ayant un poids moyen de $2,5 \pm 0,5$ g. Tous les alevins ont subi une période d'adaptation de deux jours aux conditions expérimentales. Ensuite, les alevins de Carpe koi et de Tilapia ont été répartis dans les 2 aquariums.

VI.2. Calcul des besoins alimentaires et suivi de la croissance :

Dans le cadre de l'expérience, deux régimes alimentaires distincts ont été utilisés pour nourrir les alevins de deux espèces carpe koï et tilapia dans chaque aquarium. Dans le premier aquarium (AQ 01) et le troisième aquarium (AQ 03), les alevins ont été nourris avec l'aliment AFM. Dans le deuxième aquarium (AQ 02) et le quatrième (AQ 04), les alevins ont été nourris avec l'aliment commercial (AC), disponibles à la pépinière Garden.

La croissance est un facteur majeur en aquaculture c'est celui qui détermine la production et par conséquent la rentabilité de l'élevage.

L'estimation de la croissance des individus élevés dans chaque aquarium a été réalisée tous les 7 jours sur une période de 56 jours, en enregistrant le poids et la longueur. Les mesures ont été effectuées sans anesthésie au départ, car les poissons étaient de petite taille.

VI.3. Calcul de la ration

Ration journalière d'un poisson est influencée par une multitude de facteurs, dont les principaux sont : taille ; poids ; stade de développement ; les conditions des élevages (paramètre physicochimiques) ; la qualité d'aliment.

$$Ra \text{ (g/j)} = P_{\text{moy}} \times Tn \times N$$

P_{moy} : Poids moyen (g)

Tn : Taux de nourrissage (la quantité de nourriture)

N : Nombre total d'individus

VI.4. Qualité de l'eau d'élevage :

Le contrôle des paramètres physico-chimiques de l'eau est essentiel pour la réussite de l'élevage des poissons considérés dans notre expérience.

Le suivi et le contrôle des différents paramètres physico-chimiques pendant la période expérimentale ont été réalisés en utilisant le matériel suivant :

- Un pH mètre (Type pH-03)
- Oxymétrie WTW 197 i (Figure 2.16).



Figure 2.16 : Matériel de suivi de la qualité de l'eau d'élevage

VI. 5. Les performances zootechniques :

Les paramètres zootechniques suivis pour évaluer l'effet de l'aliment sur les performances biologiques des poissons sont : la mortalité, la survie, la croissance et les indices alimentaires (Alliouche *et al.*, 2024).

VI.5.1. Gain de Poids Moyen (GPM) :

Le gain de poids moyen a été calculé par la différence entre le poids moyen final et le poids moyen initial :

$$\text{GPM} = P_{mf}(g) - P_{mi}(g)$$

VI.5.2. Taux de Croissance Spécifique (TCS) :

Taux de croissance spécifique (TCS) ou taux de croissance journalier (TCJ), est un indicateur important utilisé pour évaluer la performance de croissance.

$$\text{TCS} = \ln(P_{mf}) - \ln(P_{mi}) / \text{Durée de l'expérience (jours)} \times 100$$

P_{mf} : poids moyen final

P_{mi} : poids moyen initial

VI.5.3. Gain Moyen Quotidien (GMQ) :

Le gain moyen quotidien est un paramètre utilisé en aquaculture pour évaluer la performance de croissance des poissons :

$$\text{GMQ} = P_{mf}(g) - P_{mi}(g) / \text{Durée de l'expérience (jours)}$$

VI.5.4. Taux de survie (TS en %) :

Le taux de survie indique la proportion de poissons à la fin d'une période donnée par rapport au nombre initial poissons. Il est généralement exprimé en pourcentage :

$$\text{TS} = (\text{NPf} / \text{NPi}) \times 100$$

NPf : Nombre de poissons à la fin de l'expérience

NPi: Nombre de poissons au début de l'expérience

VI.5.5. Indice de Conversion de l'aliment (IC)

C'est un indicateur zootechnique important utilisé pour mesurer l'efficacité alimentaire :

$$\text{IC} = \text{Quantité d'aliment ingérée (g)} / \text{Biomasse produite (g)}$$

VII. Analyses statistiques

À la fin de l'expérience, les valeurs moyennes obtenues pour estimer la croissance des poissons et caractériser l'efficacité des aliments dans les deux régimes alimentaires (AFM et AC) ont été soumises à une analyse de variance à un facteur (ANOVA) afin de déterminer s'il existe une différence significative entre ces régimes.

Chapitre 3:

Résultats et

discussion

I. Élevage de la MSN

I. 1. Effets de la température et de l'humidité sur l'élevage de la MSN

La température et l'humidité sont deux conditions essentielles à maîtriser pour l'élevage de la MSN. En effet, une température optimale associée à une humidité suffisante stimule la reproduction et par conséquent l'oviposition. Dans notre étude et selon les résultats obtenus, certaines combinaisons spécifiques de ces deux facteurs ont influencé positivement la croissance et le développement de la MSN.

Les valeurs de la température et l'humidité enregistrées dans la salle d'élevage au cours de l'expérimentation ont été représentées dans la Figure 3.1.

Les températures pendant la période expérimentale variaient approximativement entre 25 et 34 °C, tandis que la température optimale pour l'élevage de la MSN se situe entre 28 et 34 °C. Les conditions de températures nécessaires à la reproduction et l'oviposition n'ont pas été assez optimisées (entre 25 et 27,6 °C) durant les 7 premiers jours expérimentaux (Figure 3.1). Par conséquent, il n'y a eu ni reproduction ni oviposition. Cependant, à partir du jour 11, lorsque la température a atteint 29°C, la reproduction a finalement été observée mais pas l'oviposition. Ensuite, la température a diminué le jour suivant, probablement en raison des conditions climatiques spécifiques à l'endroit de l'élevage. Par la suite, la température est stabilisée entre 27° et 34°C ; ce qui a favorisé les cycles de reproduction et d'oviposition consécutifs.

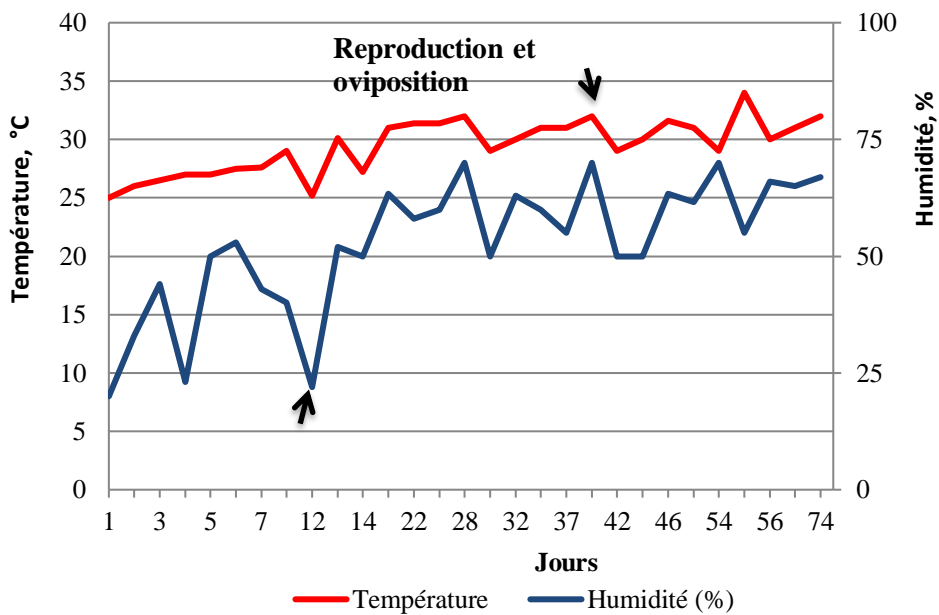


Figure 3.1 : Effet de la température et de l'humidité sur la culture de la (MSN)

Selon Tomberlin & Craig(2002),la température optimale pour tous les stades de développement se situe entre 28 et 31°C.

Les niveaux d'humidité enregistrés ont varié de 22 à 70% durant la période expérimentale (Figure 3.1). Au cours des 4 premiers jours de l'expérience, l'humidité

enregistrée n'a pas été suffisante (<50%) et a eu un effet négatif sur la reproduction et l'oviposition. Cependant, entre le cinquième et le onzième jour, lorsque l'humidité est demeurée relativement stable, oscillant entre 40 et 53%, une phase de reproduction a été observée le onzième jour. Par la suite, il semble que l'humidité ait diminué le jour suivant, probablement en raison de conditions climatiques spécifiques à l'endroit de l'élevage. Cependant, les jours suivants, les niveaux d'humidité relativement stables, compris entre 50 et 70%, ont favorisé la reproduction et aussi l'oviposition (Figure 3.1).

Selon (Haeree, 2016), une humidité relative comprise entre 70 et 80% favorise l'accouplement et l'oviposition. De leur part, Holmes *et al.* (2012) ont montré que toute variation, qu'elle soit à la baisse ou à la hausse de l'humidité aura un impact défavorable sur l'éclosion des œufs et l'émergence des adultes.

Selon Choudhury *et al.* (2018), la température joue un rôle crucial dans le développement et la survie des insectes. Par conséquent, nous avons à maintenir les températures aussi proches que possible des valeurs optimales recommandées durant expérience.

I.2. Importance de la lumière dans l'élevage de la MSN

Du 1^{er} au 5^{ème} jour expérimental, la lumière artificielle sous forme de LED à 70 Hz n'a pas favorisé la croissance et l'émergence (Tableau 3.1). Il est possible que cela soit dû aux conditions de culture de la MSN (température et humidité) qui n'étaient pas favorables dans la chambre climatique.

Ensuite, au 6^{ème} et 7^{ème} jours d'essai, lorsque nous avons utilisé deux lampes halogènes de 120 W pendant quelques heures (de 17h à 8h) à l'intérieur de la chambre climatique (source supplémentaire de chaleur), près des bacs de pré-pupes, la croissance et l'émergence ont été améliorées (Tableau 3.1), mais les adultes émergés pour se reproduire ne pouvaient pas voler vers le haut car la chaleur de la lampe halogène brûlait leurs ailes (Tableau 3.1).

Ensuite, à partir du 19^{ème} jour où les conditions climatiques étaient favorables, nous avons illuminé notre élevage de MSN avec deux lampes sous forme de LED, en les laissant allumées 24/24 heures cette fois-ci, nous avons observé une activité marquée des MSN en étant particulièrement très actifs et montraient des modifications en phase larvaire, une émergence et une activité reproductive (Tableau 3.1).

Selon (Tomberlin & Craig, 2002), la plupart des accouplements se produisent en plein soleil, tandis que peu se produisent en hiver ou par temps nuageux. A partir du 56^{ème} jour, lorsque nous avons combiné la lumière artificielle LED pendant la nuit avec la lumière naturelle pendant le jour, les résultats de croissance, d'émergence et de reproduction de la MSN ont été favorables (Tableau 3.1).

Tableau 3.1: Effet des sources lumineuses sur le développement de la MSN

| Sources lumineuses | Essai ⁽¹⁾ | Croissance ⁽²⁾ | Emergence ⁽³⁾ | Reproduction ⁽⁴⁾ |
|--|----------------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Lampe halogène ⁽⁵⁾ | 6 et 7 | + | + | - |
| Led ⁽⁶⁾ | 1 au 5 | - | - | - |
| | 11 au 55 | + | + | + |
| Combinaison art. /naturel ⁽⁷⁾ | 56 au 74 | + | + | + |

⁽¹⁾: Jours de test en fonction du type de source lumineuse utilisée.

⁽²⁾: larve/mue/adulte/consommation des cuticules restantes.

⁽³⁾: Sortie de la mouche de sa cuticule (mue).

⁽⁴⁾: Accouplement.

⁽⁵⁾: Lumière artificielle durant quelques heures (de 17h à 8h).

⁽⁶⁾: Lumière artificielle sous forme Led durant (24h/24h) pendant les jours mentionnés.

⁽⁷⁾: Combinaison entre la lumière artificielle sous forme Led et la lumière naturelle.

I.3. Effet du régime alimentaire sur la croissance de la MSN

Dans cette expérience, plusieurs régimes alimentaires ont été testés sur la mouche soldat noire (MSN), et les résultats sont présentés dans le Tableau 3.2.

Tableau 3.2: Observations sur la MSN en fonction de l'aliment distribué selon le stade de développement.

| Stade de développement | Observations en fonction de l'aliment distribué |
|------------------------|--|
| Oufs | <ul style="list-style-type: none"> Les deux substrats testés (pain haché et tomates-bananes) ont favorisé la croissance des larves (entre 1 à 15 jours entre larves et pré-pupes). La croissance des larves de la MSN issus des œufs incubées dans les deux substrats testés (aliment pour volailles et le mélange de farine de blé et d'orge), s'avère plus lente que celle observée pour |

| | |
|---------------|---|
| | <p>les deux substrats pain haché et tomates-bananes. Cette différence de croissance est notable malgré des conditions d'incubation identiques (température de 28°C et humidité de 70%).</p> |
| <p>Larves</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Les larves de la MSN ont démontré une préférence pour les substrats composés de :1) déchets de légumes, de pain haché et de déchets de poulet, avec une teneur en eau de 80% (qui est riche en protéine et lipide, vitamine et glucides) 2) Déchets des légumes + 80% d'eau + déchets des fruits + déchets de poisson. • Les larves alimentées avec les 2 substrats sus cités semblent de tailles supérieures aux autres nourries avec d'autres substrats. • Quant aux préférences par rapport aux deux substrats sus cités ; l'odeur des déchets de poulet pouvait stimuler l'appétit des larves, renforçant leur rythme de consommation. Johannes (2017) a montré les avantages des déchets de poisson (riches en oméga 3) dans l'alimentation des larves de MSN (odeur stimulant l'appétit, digestion facile et croissance plus rapide). • Quant aux trois types de substrats restants (voir Tableau 2.4, chapitre précédent), il s'avère qu'ils ne stimulent pas suffisamment la croissance des larves de MSN parce que celles-ci n'ont pas été assez développées que celles nourries avec les 2 substrats précédents. Cette absence de croissance rapide pourrait être attribuée à plusieurs facteurs, notamment la composition nutritionnelle des substrats et leur digestibilité. |
| <p>Adulte</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation notable de l'activité et de la réactivité des MSN lorsqu'elles sont nourries avec de l'eau enrichi en miel par rapport aux MSN nourries avec de l'eau sucrée. • Apparemment, le miel fournit assez d'énergie et offre de meilleurs avantages nutritionnels, en stimulant ainsi leur comportement et leur vitalité. |

I.3.1 Suivi de la croissance des larves de la MSN

Un total de 100 individus mis en expérience durant une période de 24 jours pour mesurer et suivre l'évolution du poids et de la taille des larves de la MSN en fonction des stades de développement. Le tableau 3.3 récapitule les résultats de l'expérience.

Tableau 3.3 : Récapitulatif des résultats de suivi de croissance des larves de la MSN

| Donnés de croissance de la MSN | Bac d'éclosion |
|------------------------------------|-----------------------|
| Nombre d'individus initial | 100 |
| Nombre d'individus final | 83 |
| Nombre de Mesures | 4 |
| Aliment utilisé | Voir le (Tableau 2.4) |
| Poids MoyenInitial, g | 0,023 |
| Poids MoyenFinal, g | 0,175 |
| Nombre d'individus morts, n= | 17 |
| Date de la 1 ^{ère} mesure | 22/05/2024 |
| Date de la dernière mesure | 14/06/2024 |
| Intervalle entre mesures, J | 8 |

Le poids des MSN (larves, prépupe et pupes) du 1^{er} au 24^{ème} jour de l'expérience a été compris entre 0,023 et 0,175g, avec un poids moyen individuel de $0,132 \pm 0,07$ g.

Durant le stade larvaire, les MSN ont eu un poids moyen qui allait de $0,023 \pm 0,01$ à $0,169 \pm 0,11$ g, du 1^{er} au 10^{ème} jour expérimental (Figure 3.2). La mortalité enregistrée des larves a été de 12% durant les 10 premiers jours de l'expérience ; due aux températures élevées. Dans la suite de l'expérience (entre 10 et 24 jours), aucune mortalité n'a été enregistrée. Les larves ont pris du poids durant les 10 premiers jours de l'expérience avec un GPM de 0,14 g. Au 18^{ème} jour de l'expérience, les larves ont pris leur poids maximal, propice pour leur valorisation, avec une moyenne pondérale sur 8 sujets non transformés de $0,195 \pm 0,045$ g.

Au même jour de l'expérience (18^{ème}), 78% des larves (n = 69) sont transformées en prépupe, qui ont montré une couleur marron clair dégradée. Leur poids moyen était de $0,171 \pm 0,16$ g, montrant un écart type considérable (Figure 3.2), vu les poids minimal et maximal écartés, qui étaient de 0,010 g et 1,190 g, respectivement. Ce grand écart peut être dû à la concurrence accrue sur la source alimentaire des individus du même stade de développement. Quant aux pupes, 12% des MSN sont transformées en pupes avec une

couleur marron foncée, qui émergeaient en surface du substrat, en vue de se déplacer à un endroit favorable à leur isolement puis à la mue. Leur poids moyen individuel a été de $0,165 \pm 0,04$ g.

Au 24^{ème} jour de l'expérience, il ne restait que 4,5% ($n = 4$) des MSN au stade larves avec un poids moyen assez stable de $0,193 \pm 0,05$ g. Quant aux prépupes ($n = 43$; 49% des MSN), leur poids moyen a augmenté légèrement et a été de $0,182 \pm 0,06$ g. Les pupes à ce stade ont été assez nombreux ($n = 36$, 40,9% des MSN) avec un poids moyen de $0,164 \pm 0,14$ g. Leur poids a été maintenu en le comparant au stade précédent. L'écart de poids enregistré entre les individus ne peut être lié à la concurrence sur la nourriture, mais à un autre facteur qui n'est pas encore élucidé.

La taille des MSN (larves, prépupes et pupes) du 1^{er} au 24^{ème} jour de l'expérience a été comprise entre 0,75 et 1,69 cm, avec une taille moyenne individuelle de $1,36 \pm 0,03$ cm.

Durant le stade larvaire, les MSN ont eu une taille moyenne qui allait de $0,75 \pm 0,2$ à $1,51 \pm 0,2$ cm, du 1^{er} au 10^{ème} jour expérimental (Figure 3.3), Les larves ont pris leur taille maximale, propice pour leur valorisation, avec une moyenne calculée sur 4 sujets non transformés de $1,87 \pm 0,4$ cm .

Au 18^{ème} jour de l'expérience, 9% des larves ($n=8$) sont restées au stade larvaire (elles n'ont pas mué ou changé de couleur). moyenne de $1,75 \pm 0,2$ cm 78% des larves ($n = 69$) se sont transformées en prépupes, avec une taille moyenne de $1,48 \pm 0,2$ cm (Figure 3.3). Quant aux pupes, 12% des MSN ont atteint ce stade, avec une taille moyenne individuelle de $1,34 \pm 0,3$ cm.

Au 24^{ème} jour de l'expérience, quant aux prépupes ($n = 43$; 49% des MSN), leur taille moyenne a augmenté légèrement et a été de $1,76 \pm 0,3$ cm. Les pupes à ce stade ont été assez nombreuses ($n = 36$; 40,9% des MSN) avec une taille moyenne de $1,58 \pm 0,3$ cm.

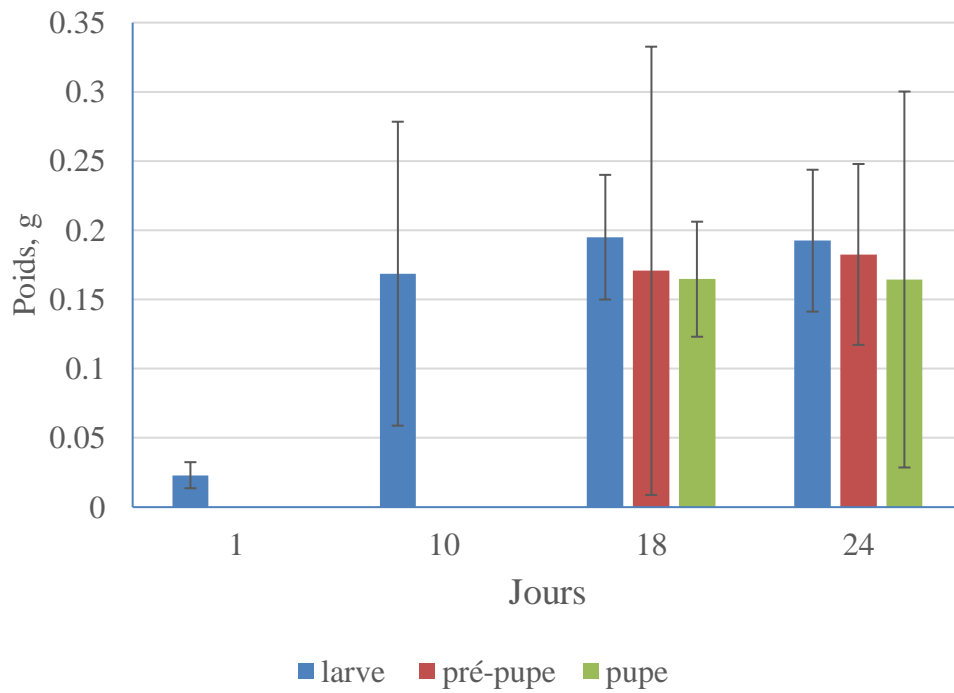


Figure 3.2 : Évolution des poids moyens pendant chaque stade larvaire de la MSN.

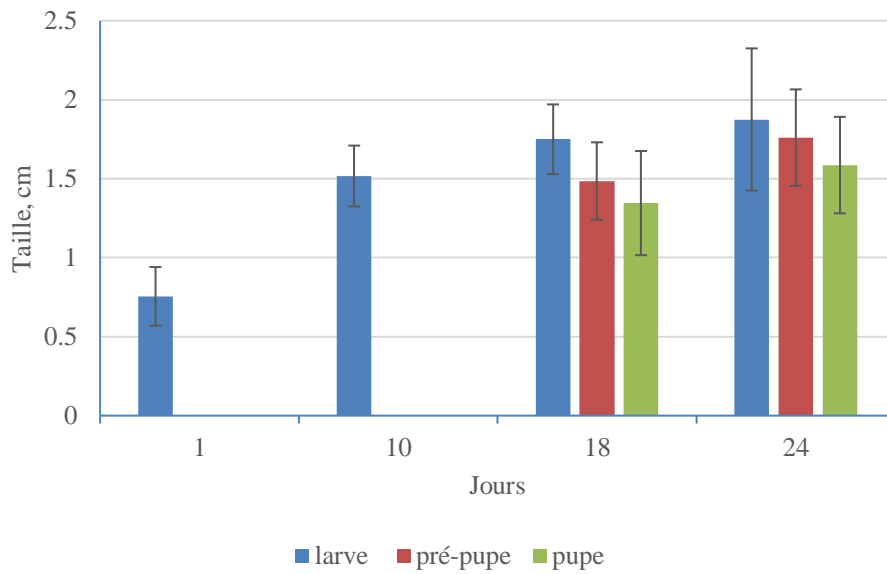


Figure 3.3 : Évolution de tailles moyennes pendant chaque stade larvaire de la MSN.

II. 1. Paramètres biochimiques :

Les analyses effectuées sur les larves démontrent que les stades larvaires sont largement utilisés dans le domaine de l'alimentation animale en raison de leur richesse en protéines. Selon Barroso *et al.* (2014), les analyses nutritionnelles des MSN montrent que les stades larvaires sont plus riches en protéines que les adultes.

Les larves de MSN présentent des taux élevés de protéines (39,0%) et de lipides (29,2%),(Tableau 3.4) similaires aux travaux de plusieurs auteurs ayant travaillé sur les farines des larves de la MSN, notamment (Diener *et al.*, 2009 ; Mortizet *al.*, 2018 ; Cheng *et al.*, 2017).

Tableau 3.4 : Récapitulatif des résultats d'analyses biochimiques (protéines, lipides)

| | Farine de la MSN |
|--------------|------------------|
| Protéine (%) | 39,0 |
| Lipide (%) | 29,2 |

Selon Giannetto *et al.* (2020), le contenu nutritionnel des larves varie également en fonction de leur régime alimentaire et des procédés de transformation appliqués lors de la production des farines. Ces teneurs sont comparables à celles de la farine de poisson, qui est une des sources de protéines utilisées dans la production d'aliments pour animaux.

III. Suivi de la croissance des poissons d'eau douce

III .1 Caractéristiques du milieu d'élevage

Les données de mesure des paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène)

Concernant la qualité de l'eau des quatre aquariums, elle est comprise dans la gamme de valeurs optimales recommandées.

Les valeurs et les concentrations des paramètres physico-chimiques (température, oxygène dissous, pH, sels nutritifs, phosphates, silice) généralement n'influencent pas significativement la performance de la croissance des poissons en termes de diminution de poids ou de taille individuellement, étant donné l'absence d'observations de signes de maladies ou de malnutrition chez les poissons

Les températures de l'eau dans les deux aquariums pour les carpes koï ont été comprises entre 24,0 et 28,4 °C, avec une moyenne de $26,3 \pm 1,3$ °C pour AC, et entre 24,0 et 28,2 °C, avec une moyenne de $26,2 \pm 1,4$ °C pour AMF. Selon Hute (1970), cet intervalle de température est généralement considéré comme optimal pour la croissance des carpes koï, qui peut s'étendre de 20 à 28 °C.

Les températures de l'eau des deux aquariums pour le Tilapia ont été comprises entre 25,3 et 29,1°C, avec une moyenne de $26,8 \pm 1,2$ °C pour AC, et entre 23,4 et 28,1 °C, avec une moyenne de $26,3 \pm 1,6$ °C pour AMF. Ces valeurs sont incluses dans l'intervalle de températures (21 – 30 °C) rapporté par Hute(1979). Par ailleurs, Malclomet *al.* (2000) ont trouvé qu'une température comprise entre 13,5 et 33 °C est optimale pour la croissance des Tilapias. Ainsi, cette espèce thermophile semble s'adapter aux températures observées dans les aquariums.

Les variations du pH pour AQ1 ont été comprises entre 7 et 7,7 avec une moyenne de $7,1 \pm 0,2$; et pour AQ2 entre 6,9 et 7,4 avec une moyenne de $7,1 \pm 0,1$. Selon FAO (2014), le pH de l'eau favorable à une croissance optimale de la carpe koï se situe entre 6,5 et 9).Quant à (BILLARD & MARCEL, 1986), ils ont mentionné une marge plus grande avec des valeurs de pH supportées par les carpes comprises entre 5 et 9.

Les variations de pH pour les aquariums d'élevage de Tilapia ; AQ3, ont été comprises entre 7 et 7,6 avec une moyenne de $7,2 \pm 0,2$; et pour AQ4 entre 6,9 et 7,9 avec une moyenne de $7,3 \pm 0,3$.Selon Malcolm *et al.* (2000),le Tilapia peut vivre dans des eaux avec une plage de pH comprise entre 5 et 11. Selon Chapman (2003), la valeur optimale se situe généralement entre 6,0 et 8,5.

Les variations de l'oxygène dissous dans l'AQ1 ont été comprises entre 2,7 et 6,6 mg/l, avec une moyenne de $4,67 \pm 1,5$ mg/l. De même, dans l'AQ2, l'oxygène variait entre 2 et 6 mg/l, avec une moyenne de $4,4 \pm 1,4$ mg/l. Aux 1^{er} et 10^{ème} jours, les valeurs d'oxygène ont été élevés, atteignant la valeur optimale de 5 mg/l selon Craiget *al.* (2004). Cette sur-oxygénation peut être due à une photosynthèse accrue des plantes aquatiques ou à une aération excessive.

Au 10^{ème} et au 23^{ème} jour, ces variations sont adaptées à l'intervalle de croissance et à une concentration de 5 mg/l recommandée pour l'alimentation des poissons selon Schlumberger (2013).

Les variations de l'oxygène dissous dans l'AQ3 ont été comprises entre 2,1 et 6,6 mg/l, avec une moyenne de $4,3 \pm 1,5$ mg/l. De même, dans l'AQ4, l'oxygène variait entre 2,3 et 6,9 mg/l, avec une moyenne de $4,8 \pm 1,6$ mg/l. Ces niveaux sont conformes aux recommandations pour la teneur en oxygène adaptée à la croissance des tilapias (≥ 5), selon l'étude d'Arrignon (1996).

Les concentrations des sels nutritifs dans les quatre aquariums sont présentées dans le Tableau 3.5.

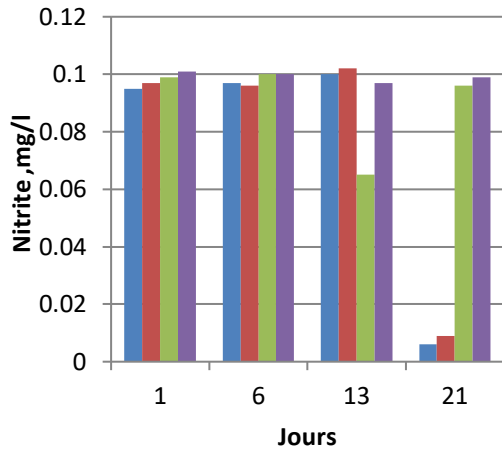
Tableau 3.5 :Analyse des sels nutritifs de l'eau des aquariums

| Sel nutritif | Carpe Koï | | Tilapia | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | AQ1 | AQ2 | AQ3 | AQ4 |
| Nitrite (mg/l) | 0,07±0,03 | 0,07±0,03 | 0,09±0,01 | 0,09±0,001 |
| Nitrate (mg/l) | 0,1±0,3 | 0,9±0,3 | 0,7±0,2 | 0,9±0,4 |
| Ammonium(mg/l) | 0,7±0,2 | 0,6±0,5 | 0,4±0,2 | 0,4±0,2 |

Dans AQ1, les concentrations de nitrites ont varié de 0,095 à 0,01 mg/l (moyenne $0,07 \pm 0,03$ mg/l) et de nitrates de 0,45 à 0,96 mg/l (moyenne $0,1 \pm 0,3$ mg/l). Dans AQ2, les concentrations de nitrites ont varié de 0,01 à 0,09 mg/l (moyenne $0,07 \pm 0,03$ mg/l) et de nitrates de 0,13 à 0,2 mg/l (moyenne $0,9 \pm 0,3$ mg/l). Ces valeurs, similaires dans les deux aquariums et indépendamment du type d'alimentation (AFM ou AC), ne présentent aucun risque pour la santé des carpes koï (Figures 3.4 et 3.5). Les concentrations recommandées pour les nitrites et les nitrates dans l'eau d'élevage sont respectivement de 0,1 à 0,2 mg/l et 15 mg/l (Billard, 1995).

La concentration très faible en nitrites dans les deux aquariums de Carpes koï (21^{ème} jour) a été suite à un renouvellement inadéquat de l'eau avant la prise d'échantillons (Figure 3.4 et Figure 3.5).

Dans AQ3, les concentrations en nitrites ont varié de 0,09 à 0,1 mg/l, avec une moyenne de $0,09 \pm 0,01$ mg/l, et en nitrates de 0,59 à 1,20 mg/l, avec une moyenne de $0,7 \pm 0,2$ mg/l (Tableau 3.5). Pour AQ4, les nitrites varient de 0,009 à 0,097 mg/l, avec une moyenne de $0,09 \pm 0,001$ mg/l, et les nitrates de 0,23 à 1,35 mg/l, avec une moyenne de $0,9 \pm 0,4$ mg/l. Ces valeurs sont relativement faibles et restent en dessous des seuils de détection de pollution recommandés, à savoir 1 mg/l pour les nitrites et 20 mg/l pour les nitrates, pour assurer la santé des Tilapias selon les recommandations de (Beveridge & McAndrew, 2012). Elles indiquent des conditions propices à la survie des poissons, sans risque notable de maladies pathogènes ou de malnutrition.



■ AQ 1 (AFM) ; ■ AQ 2(AC); ■ AQ 3 (AFM) ; ■ AQ4(AC)

Figure 3.4: Détermination de nitrite dans les quatre aquariums soumis à deux régimes alimentaires (AC, AFM)

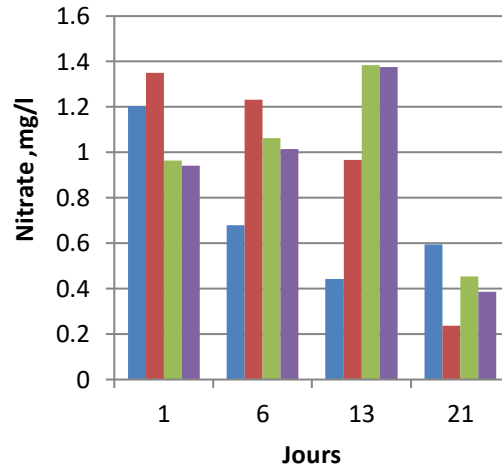
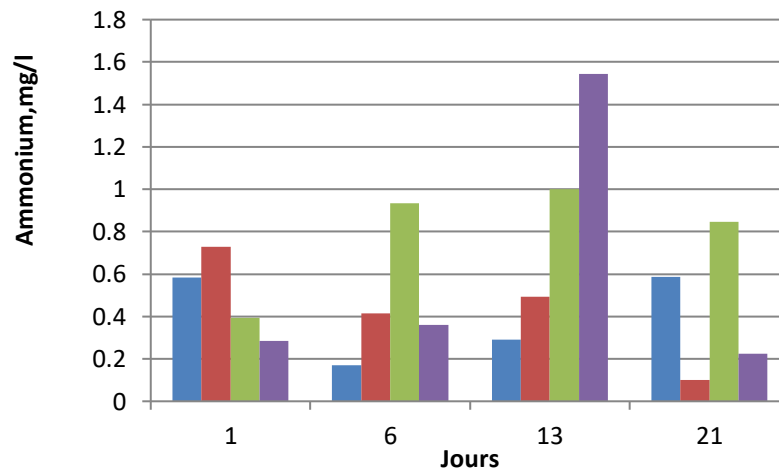


Figure 3.5: Détermination de nitrate dans les quatre aquariums soumis à deux régimes alimentaires (AC, AFM)



■ AQ 1 (AFM) ; ■ AQ 2(AC); ■ AQ 3 (AFM) ; ■ AQ4(AC)

Figure3.6 : Évolution de l'ammonium dans les quatre aquariums soumis aux deux régimes alimentaires (AC, AFM)

Les concentrations d'ammonium dans AQ1 ont varié entre 0,4 et 1mg/l, avec une moyenne de $0,8 \pm 0,2$ mg/l ; tandis que dans AQ2, elles se situent entre 0,2 et 1 mg/l, avec une moyenne de $0,6 \pm 0,5$ mg/l(Figure3.6). Ces niveaux sont conformes aux intervalles recommandés pour l'élevage de carpes koï, selon l'étude de Browse (2012), qui indique un maximum de 1 mg/l pour éviter les effets nocifs pouvant être mortels pour les poissons.

Les concentrations d'ammonium dans AQ3 ont varié entre 0,17 et 0,59 mg/l, avec une moyenne de $0,4 \pm 0,2$ mg/l ; tandis que dans AQ4, elles se situent entre 0,1 et 0,7 mg/l, avec une moyenne de $0,4 \pm 0,2$ mg/l. Ces niveaux se trouvent dans la gamme des valeurs optimales recommandées de moins de 3 mg/l selon l'étude de Beveridge & McAndrew (2012), pour assurer des conditions appropriées pour l'élevage des poissons (Figure 3.6)

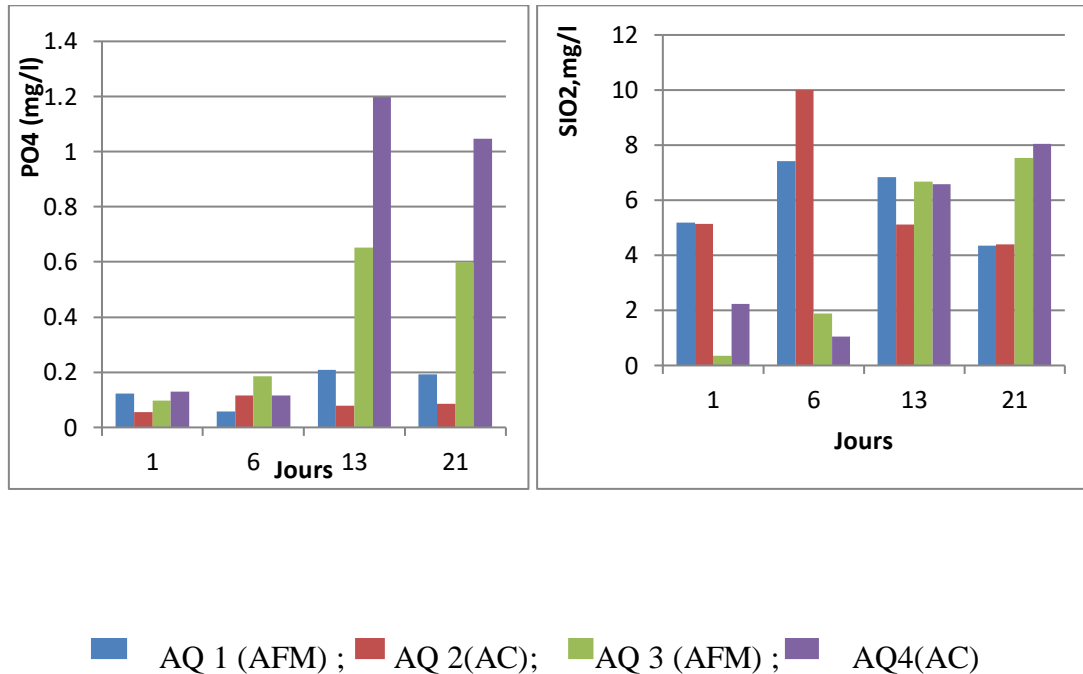


Figure 3.7:Évolution de PO₄ et SIO₂ dans des quatre aquariums soumis aux deux régimes alimentaires (AC, AFM)

Les variations des concentrations de phosphate à AQ1 étaient de 0,05 et 0,2 mg/l, avec une moyenne $1,14 \pm 0,06$ mg/l. À AQ2, elles étaient comprises entre 0,05 et 0,11 mg/l, avec une moyenne de $0,08 \pm 0,02$ mg/l (Figure 3.7). Ces variations ont été considérées comme optimales au cours de la période expérimentale, comme confirmé par (Wang, et al., 2018). Ce dernier a mentionné les concentrations de phosphates dans l'eau et devraient être entre 0,1 et 0,5 mg/L.

Les concentrations de phosphate dans AQ3 variaient entre 0,09 et 0,6 mg/l, avec une moyenne de $0,38 \pm 0,2$ mg/l. Dans AQ4, les variations étaient comprises entre 0,13 et 1,19 mg/l, avec une moyenne de $0,62 \pm 0,5$ mg/l. Pendant le 6^{ème} jour pour les deux aquariums, les concentrations de phosphate étaient maintenues entre 0 et 0,2 mg/l. Cependant, aux jours 13^{ème} et 21^{ème}, il y a eu une augmentation significative des phosphates, particulièrement dans AQ4, dépassant la valeur optimale recommandée selon Yildiz (2017) qui est de 0,2 à 0,6 mg/l. Cette augmentation pourrait être due à une contamination ou à des erreurs de manipulation.

Une moyenne de $5,9 \pm 1,4$ mg/l a été observée pour les concentrations de silice dans AQ1. Pour AQ2, les concentrations variaient entre 4,4 et 9,99 mg/l, avec une moyenne de $6,16 \pm 2,57$ mg/l. Depuis le premier jour et tout au long de la période expérimentale, les concentrations de silice dans AQ1 et AQ2 sont restées plus élevées. Selon Cai et al. (2012), la

valeur optimale pour les carpes koï en termes de concentration de silice se situe généralement entre 0,05 et 0,2 mg/l, influencée par l'âge des poissons ou une alimentation riche en silice, comme indiqué par Cai et al. (2012).

Les concentrations de silice dans AQ3 varient entre 0,36 et 7,53 mg/l, avec une moyenne de $4,11 \pm 3,5$ mg/l, tandis que dans AQ4, elles varient entre 2,24 et 8,04 mg/l, avec une moyenne de $4,4 \pm 3,3$ mg/l. Initialement peu élevées dans AQ1, les concentrations de silice augmentent du 6^{ème} au 21^{ème} jour, dépassant celles observées dans AQ4 où les concentrations restent élevées tout au long de la période expérimentale. Ces niveaux dépassent la valeur optimale recommandée (0,1 à 0,3 mg/l) selon Cai et al. (2012), dans AQ2.pour des raisons similaires à celles observées dans l'AQ2 des carpes koï.

III .2 Performances zootechniques

Pour évaluer la croissance de deux espèces (Carpe Koï ; Tilapia) pendant l'expérience, différentes mesures zootechniques ont été appliquées. Les résultats principaux sont présentés dans le Tableau 3.6.

Tableau 3.6 : Paramètres zootechniques des deux espèces (Carpe koï et Tilapia) soumises à deux régimes alimentaires différents.

| Espèce | Carpe koï | | Tilapia | |
|-----------------------------|-----------|----------|------------|------------|
| | AFM | AC | AFM | AC |
| Taux de survie (%) | 100 | 100 | 100 | 75 |
| Poids moyen initial (g) | 4,6±0,48 | 4,4±0,48 | 2,5±0,5 | 2,5±0,5 |
| Poids moyen final (g) | 8,8±0,97 | 7,6±1,35 | 11,25±2,16 | 10,66±2,35 |
| Poids Total final (g) | 44 | 38 | 45 | 32 |
| GPM (g) | 0,6 ± 0,3 | 0,4±0,4 | 1,28 ± 0,5 | 1,18± 0,3 |
| GMQ (g/poisson/j) | 0,075 | 0,057 | 0,156 | 0,146 |
| TCS (%/j) | 214,75 | 200,16 | 215,26 | 235,01 |
| Aliment distribué total (g) | 19,9 | 18,9 | 16,1 | 13,5 |
| IC | 0,45 | 0,49 | 0,46 | 0,55 |

III.2.1. Taux de survie

Le taux de survie durant l'expérience est maximal 100% pour la carpe koï pour les deux régimes alimentaire

Le taux de survie durant l'expérience est maximal pour le Tilapia AFM et de 75% pour l'AC. Le taux de mortalité, qui est de 25% pour l'AC, est survenu au 20^{ème} jour de l'expérience, où un poisson Tilapia est mort en raison d'une erreur de manipulation lors des mesures et du nettoyage de l'aquarium.

III .2.2. Croissance des poissons

Les poissons Carpe koï utilisés dans l'expérience avaient un poids moyen initial de $4,6 \pm 0,48$ g dans AQ1-AFM et de $4,4 \pm 0,48$ g pour AQ2-AC (groupes de poids homogène) (Tableau 3.6). Après 56 jours de nourrissage, les sujets soumis au régime (AFM) ont montré un gain de poids supérieur à 1% par rapport à ceux soumis au régime (AC), avec un gain de poids moyen (GPM) élevé de 0,2 g (AFM: $0,6 \pm 0,3$ g; AC: $0,4 \pm 0,4$ g). Les gains de poids quotidiens (GPQ) des deux groupes, AFM (0,07) et AC (0,05), ne montrent pas de différence significative ($P > 0,05$) entre les deux régimes alimentaires. De même, l'indice de conversion alimentaire (AFM: 0,45 et AC: 0,49) ne présente pas de différence significative.

Le taux de croissance spécifique (TCS) a été élevé chez les alevins de carpe koï alimentés avec le régime à base de larves de MSN (AFM) par rapport à ceux nourris avec le régime à base de poissons entiers (AC), avec une différence de 14,6% pour le TCS (Tableau 3.6). Cette amélioration est attribuable à la naturalité à 100% et à la haute valeur nutritive de la farine de larves de MSN, qui est riche en protéines (39%), ainsi qu'à d'autres ingrédients.

Les poissons Tilapias utilisés dans l'expérience avaient un poids moyen initial assez homogène de $2,5 \pm 0,5$ g dans les deux aquariums (Tableau 3.6). Après 56 jours de nourrissage, les lots soumis au régime AFM ont enregistré un gain de poids supérieur de 0,5 % par rapport à ceux soumis au régime AC, avec des gains de poids moyens GPM de $1,28 \pm 0,5$ g pour le régime AFM et $1,18 \pm 0,3$ g pour le régime AC (Tableau 3.6). Les gains de poids quotidiens (GPQ) et les indices de conversion des deux lots ne montrent pas de différence significative (Tableau 3.6).

Le taux de croissance spécifique (TCS) a été élevé chez les alevins de tilapias alimentés avec le régime AFM par rapport à ceux nourris avec le régime à base de AC, avec une différence de 18%.

Les petites variations et l'égalité des valeurs entre les deux régimes alimentaires confirment que l'aliment à base de larves de mouche soldat noire (AFM) est adapté et acceptable pour les poissons Tilapia et carpe koï. À mesure que l'expérience se prolonge, il est probable que le taux de croissance et le gain de poids moyen augmenteront par rapport au régime à base de poissons entiers (AC), étant donné que l'AFM est un aliment durable

L'analyse de la variation des poids et des tailles dans la présente étude, effectuée par la méthode ANOVA en fonction des régimes alimentaires AC et AFM, ne montre pas de différences significatives selon les différentes périodes d'observation (T = 1 jour, 16 jours, 21 jours, 28 jours, 35 jours, 41 jours et 51 jours). En effet, les valeurs de probabilité (p) associées à chaque période d'observation sont toutes supérieures à 0,05, indiquant qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les deux régimes alimentaires en termes de variation du poids (Figure3.8 ; Figure3.9)(Figure3.10 ; Figure3.11)

Cependant, il y a eu une légère dispersion peu remarquable en termes de variance observée au début de l'expérience (de J1 à J10) pour la carpe koï sous régime AC. Cette variation est attribuée au stress subi par les alevins de carpe koï .

La représentation graphique de l'évolution du poids moyen et de la taille moyenne des deux poissons (Carpe koï, Tilapia) soumis aux deux régimes alimentaires durant l'expérience est montrée dans les Figures 3.4 et 3.5 de carpe koï et Figures3.6 et 3.7 de tilapia, respectivement.

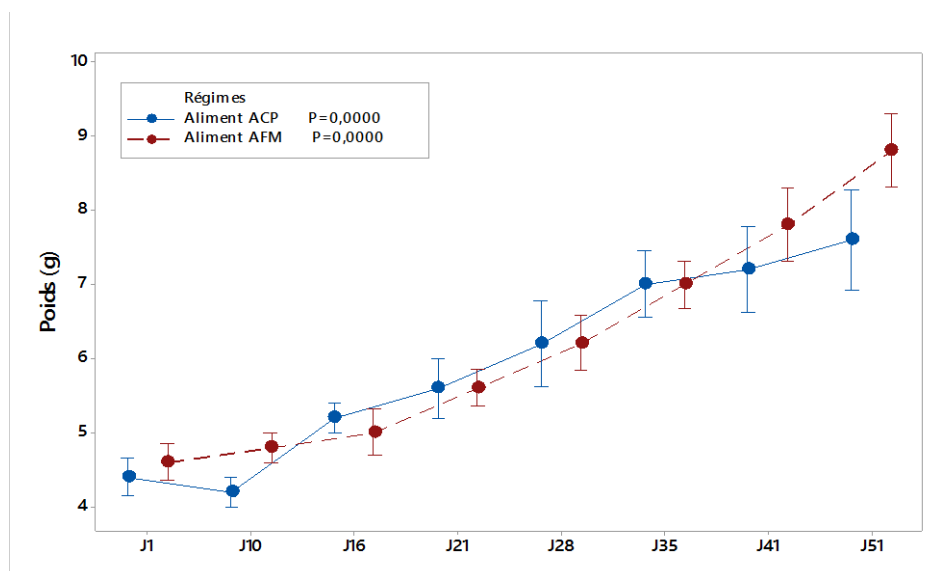


Figure 3.8:Évolution du poids moyen et des Carpe koï pendant la période expérimentale soumise aux deux régimes alimentaires (AFM et AC)

D'après l'analyse des courbes de croissance (Figure 3.8), la croissance des alevins de Carpe koï est initialement similaire pendant les premiers jours de l'expérience du 1^{er} au 10^{ème} jour. Cependant, une différence dans la croissance devient apparente entre le 16^{ème} et le 51^{ème} jour pour les poissons nourris avec les régimes AFM et AC, montrant une croissance plus marquée dans le groupe AFM. Cela suggère que les alevins se sont adaptés aux nouveaux régimes alimentaires

En ce qui concerne l'évolution du poids, les individus suivant le régime AMF ont montré une augmentation de leur poids allant de 4,6 à 8,8 g au cours de la période

d'observation. En revanche, ceux suivant le régime AC ont présenté une augmentation variant de 4,4 à 7,6 g (Figure 3.8) sur la même période.

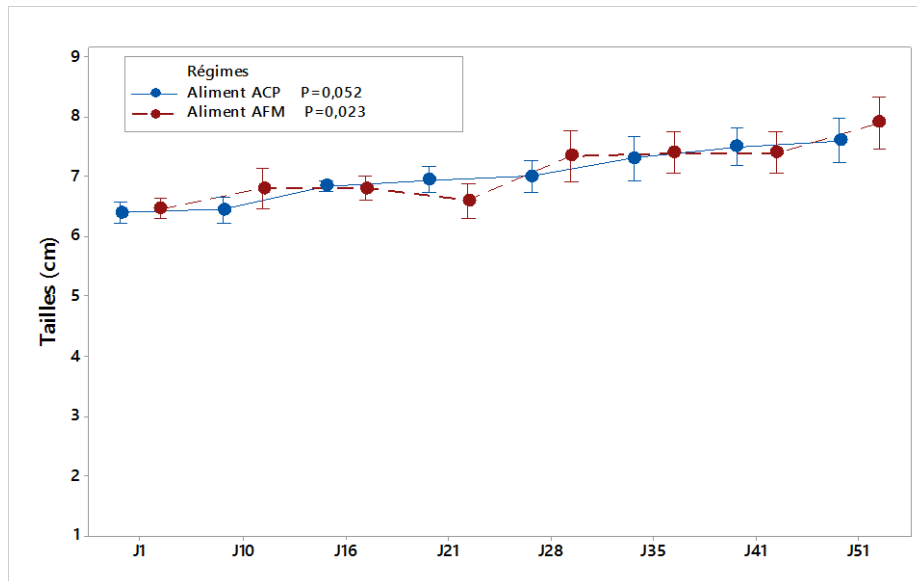


Figure 3.9 : Évolution de la taille moyenne des Carpe koï pendant la période expérimentale soumis aux deux régimes alimentaires (AFM et AC)

Les poissons Carpe koï se sont développés et ont gagné en moyenne 3% de leur taille durant les 56 jours de l'expérience avec des différences légères selon le régime alimentaire distribué.

Initialement, tous les poissons avaient une taille approximativement similaire d'environ 6,5 cm. Au cours du premier jour de l'expérience, la taille moyenne des carpes koï a augmenté progressivement dans les deux régimes alimentaires pour atteindre une valeur maximale de $7,9 \pm 0,8$ cm pour le régime AFM et de $7,6 \pm 0,7$ cm pour le régime AC .

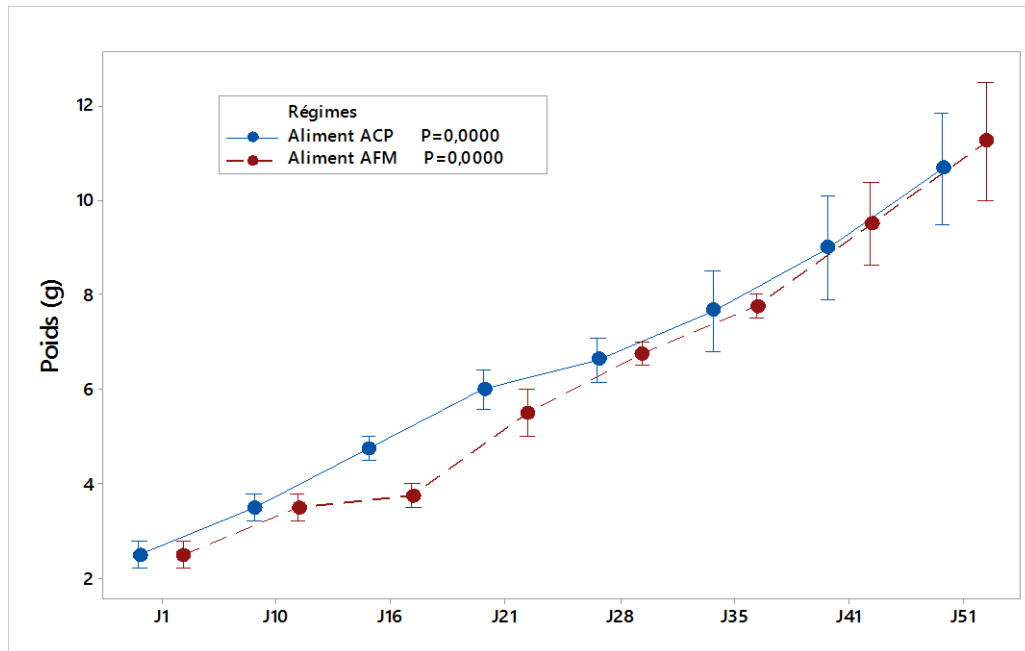


Figure 3.10:Évolution du poids moyen et des Tilapia pendant la période expérimentale soumis aux deux régimes alimentaires (AFM et AC)

D'après l'observation des courbes de croissance de la Figure 3.6, pendant les deux premières semaines de nourrissage, la croissance des alevins de Tilapia est similaire quel que soit le régime distribué. À partir du 16^{ème} jour de nourrissage, on observe une variation dans la croissance des poissons, indiquant que les Tilapia nourris avec l'AFM ont montré une croissance légèrement supérieure à celle mesurée chez les alevins nourris avec l'AC. Leur poids a augmenté de 2,5 à 11,25 g sous le régime AFM et de 2,5 à 10,66 g sous le régime AC (Figure 3.10).

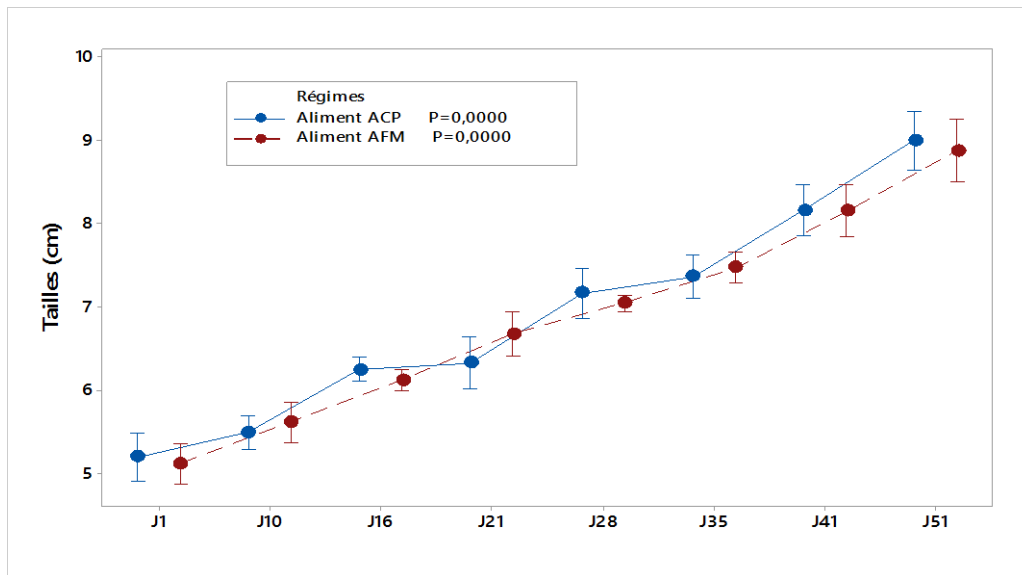


Figure 3.11:Évolution de la taille moyenne des Tilapia pendant la période expérimentale soumise aux deux régimes alimentaires (AFM et AC)

La taille moyenne des Tilapia a augmenté en fonction des jours expérimentaux. Les alevins de Tilapia sont développés et ont atteint approximativement le double de leur taille dans les 2 aquariums (Figure 3.7) jusqu'à une valeur maximale de $8,87 \pm 0,64$ cm pour le AFM et de $9 \pm 0,70$ cm pour le AC (Figure 3.11)

Les régimes expérimentaux ont été bien acceptés, l'inclusion de Larve de *Hermetia illucens* séchés broyés et stockée aux pourcentages testés dans cette expérience n'a pas affecté négativement les performances de croissance d'*O. niloticus*.

Néanmoins, il a été observé que les deux poissons d'eau douce, le tilapia et la carpe koi, nourris avec le régime AFM, ont considérablement augmenté en termes de poids et de taille moyenne par rapport à ceux nourris avec le régime AC. De plus, le tilapia a montré une croissance plus rapide que la carpe koi. Des résultats similaires ont été observés pour *O. niloticus* alimenté par les larves de *Hermetia illucens* (Muin *et al.*, 2017), ce qui confirme ces observations.

Conclusion

Conclusion

Dans le contexte du développement de la fabrication d'aliments pour les poissons, ce travail consiste en une contribution à l'élevage de la MSN, puis à la fabrication de la farine MSN en ajoutant d'autres ingrédients en vue de l'obtention d'un aliment de bonne qualité, naturel, durable et économique sur les plans nutritif, d'adaptation aux besoins (besoins en acides aminés et acides gras indispensables, en minéraux et en vitamines), et d'assimilation par l'espèce afin d'assurer une croissance optimale. Un travail réalisé pour la première fois sur les mouches soldats noir à l'échelle national pour un objectif majeur poursuivi par cette étude était d'identifier parmi les aliments formulés à partir d'intrants locaux celui qui soit zootechniquement et économiquement intéressant. Ceci pour tenter de résoudre le problème posé par le coût élevé et l'approvisionnement des aliments pour nourrir les poissons exotiques.

Notre travail nous a permis d'effectuer l'inventaire des matières premières existantes en Algérie et pouvant être incorporées à l'aliment, des aliments plus ou moins efficaces et dont le rendement peut être amélioré en optimisant la ration journalière et la fréquence de nourrissage ; la formule d'un aliment pour les deux espèces (tilapia et carpe koi), la maîtrise du processus de fabrication et l'essai de cet aliment expérimentalement et à grande échelle. La présence de projets d'élevage intensif de tilapia et de carpe koi a été à l'origine des essais de production d'aliment artificiel pour ces espèces. L'essai réalisé nous a permis de maîtriser l'élevage de la MSN et a contribué à mettre en place des techniques innovantes telles que des essais pour accélérer leur croissance. Ensuite, il a contribué à maîtriser le processus de fabrication d'aliments (blanchiment, séchage, broyage, mélange, granulation) permettant d'assurer une bonne stabilité de l'aliment dans l'eau et une densité adéquate de ses granulés, afin de connaître la conduite d'élevage des cyprinidés et cichlides (conditions d'élevage, quantité et fréquence de distribution d'aliments).

Il est clair que le résultat le plus intéressant de cette étude est la croissance des alevins de carpe koi et Tilapia de la pépinière Garden. Dans la même tranche d'âge, de même espèce, de même souche et de même cohorte pour chaque espèce, qu'il n'y a pas eu de différence significatives de croissance dans les moyennes de taille et de poids entre l'aliment fabriqué et celui commercialisé.

Cette étude préliminaire s'inscrit dans une démarche globale visant à développer une chaîne de valeur aquacole durable et circulaire, valorisant les ressources locales et répondant aux enjeux environnementaux et économiques actuels. L'incorporation de farine de MSN dans l'alimentation des poissons présente un fort potentiel pour une aquaculture plus responsable et performante.

Cependant, cette étude présente des limites telles que la saison et la courte durée de l'expérimentation (56 jours) qui ne sont pas suffisantes pour que les individus puissent déjà s'habituer aux aliments. Néanmoins, ces résultats sont conditionnés par la période d'étude. À l'avenir, il serait intéressant de :

- Augmenter la durée d'élevage,
- Déterminer la composition des protéines en acides aminés essentiels,
- Déterminer les valeurs des acides gras insaturés et des minéraux composant ces préparations alimentaires,
- Tester ces aliments sur d'autres espèces de poissons et cycles d'élevage. Des améliorations (texture, stabilité dans l'eau) peuvent être apportées à l'aliment fabriqué.

**Références
bibliographiques**

Références bibliographiques

- Adeline, M., Stefan, D., & Christian, Z. (2019, February 19). Black soldier fly biowaste treatment assessment of global warming potential. *84*, pp. 173-181.
- Agus, K., Indriyani, N., Wellem, H. M., Muhaimin, H., Waiba, R., Patod, J., et al. (2019). Improving skin coloration of koi carp (*Cyprinus carpio*) fed with red dragon fruit peel meal. *thèse*. Departement of aquaculture faculty of fisheries and marine science : Halu oleo university, p 1045.
- Aligayer, R., Gireg, A., Thierry, M., & Alain, B. (2007). *L' aquaruim*. Espagne: Artémis, 37.
- Alliouche, F., Hamidat, M., Guerrida, H., Benrabah, S., Kherarba, M., & Benfares, R. (2024). Etude zootechniques de l' efficacité d' un aliment composé formulé localement (entre le CNRDPA et l' ONAB), sur la croissance du Tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). *AquaDocs*, p 3.
- Altech, C. (2022). Le tilapia que devons-nous savoir, p 3 ?
- Altmann, B., Carmen, N., Susanne, V., Frank, L., & Daniel, M. (2018, mars). Meat quality derived from high inclusion of a micro-alga or insect meal as an alternative protein source in poultry diets, p 2.
- Alvarez, L. (2012). The role of black soldier fly *hermetia illucens* (L).(Diptera, Stratiomyidae)in sustainable waste management in northern climates. University of Windsor: Electronic Theses and Dissertations,p11.
- Arrignon, J. (1996). L'élevage de *Tilapia mossambica* comme animal de laboratoire. *Taylor-francis*, 650.
- Barragan, F. K., M., D., & J.J.A. van, L. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L) and its suitability as animal feed. *insects food and feed*, 105-120.
- Barroso, F., Maria, J. S.-m., Macarena, S., Elvira, M., Alejandro, T., Rebeca, R., et al. (2017). Insect as food Enrichment of larvae of *hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *Food composition and analysis*.
- Bazinet, L., & Francois, C. (2011, January). Concepts de génie alimentaire : procédés associés et application à la conservation des aliments, p 16.
- Beesigamukama, D., Benson, M., Menale, K. B., & Nicholas, K. K. (2021, August). Economic and ecological values of frass fertilizer from black soldier fly agro-industrial waste processing. *Journal of Insects as Food and Feed*, 245-254.
- Belghit, L. I., G, J. P., Biancarosa, I., Menchetti, E. L., Waagbo, R., Kragdahi, A., et al. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *aquaculture*, 609-619.
- Bertinetti, C., Ana, C. S., & Shaw-Yhi, H. (2019). Effects of feeding adults of *hermetia illucens* (Diptera stratiomyidae) on longevity, oviposition, and egg hatch ability, insights into optimizing egg production. *journal of insect science*, p 3.
- Bertrand, H., Grégoire, N., Jasochim, C., Frensch, F., & R. Caparros, M. (2019). Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. *plos one*, p 2.

- Bessa, L. W. (2021, March). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae as an alternatives ingredient in processed meat . *thèse* . Agri sciences stellenbosch university .
- Beveridge, M. C., & McAndrew, B. (2012). *Tilapias: biology and exploitation (Vol. 25)*. Springer Science & Business Media, p 17.
- BILLARD, R. (1995). *Les carpes : biologie et élevage*. Paris : INRA.
- BILLARD, R., & MARCEL. (1986). *Aquaculture of cyprinids*. Paris: INRA.
- Bracher, A. (2019). *les insectes commes alternative aux protéines importées*. Swise: production animale , p 362 .
- Browse, D. (2012). *Koi Health and Disease*. Voyageur Press ,p 17.
- Bruni, B., Pastorelli, R., Viti, C., Gasco, L., & Parisi, G. (2018). Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow (trout (*oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (Black soldier fly)partially defatted larva meal as partial dietary protein. *aquaculture* , 56-63.
- Bruno, D., Marco, B., Francesca, D. F., Ilaria, D. L., Gianluca, T., Morena, C., et al. (2019, January). The Intestinal Microbiota of *Hermetia illucens* Larvae Is Affected by Diet and Shows a Diverse Composition in the Different Midgut Regions. *Applied and Environmental Microbiology* , p 2.
- Cai, w. (2012). Effects of dietary silicon on growth performance, immune response and disease resistance of juvenile carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research* , 1899-1906.
- Caligiani, A., Angela, M., Aessia, S., framceca, B., Veronica, L., Lara, M., et al. (2019). Influence of the killing method of the black soldier fly on its lipid. *food* .
- Caruso, D., Emilie, D., i wayan, S., Pascale, T., & Etienne, B. (décember 2013). *technical handbook of domestication and production of diptera black solidier fly (BSF)hermrtia illucens*. Taman kencana bogor, indonésie : percetakan IPB, p 17.
- Chao, H., Weiliang, F., Jing, X., Teilin, W., Weigno, W., Canwen, W., et al. (2018). Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L) larvae :amino acid composition nutritional value evaluation , in vitro digestibility .and thermal propertiees, p 3.
- Chapman, F. A. (2003). *Culture of hybrid Tilapia: reference profile*. University of Florida, p26.
- Cheng, J. Y., Sam L.H, C., & Irene M.C., L. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. Elsevier, p 3 .
- Chi, T., Le, T. M., Pham, C. d., Duong, y., Le, P. T., & Tran, T. V. (2022). Valorization of black solider files at different life cycle stages. *97.2022*, pp. 139-140.
- Choi, H., Kim, J., Kim, H., & Chung, T. (2018). Replacing fish meal by meal worm (*Tenebrio molitor*) on the growth performance and imminologic responses of white shrimp (*Litopenneus vannamei*) *acta scientiarum* . Animal sciences, p3 .
- Choudhury, A. R., Ashok, K. N., Srinivas, K., Arutchelvan, V., Thota, K. R., Ravi, S. N., et al. (2018). Black Soldier Fly Larvae, a Viable Opportunity for Entrepreneurship. *Acta Scientific Agriculture* , 11-20.

Craig A, W., Jeffrey, E. ..., & Deborah B, p. (2004, septembre). Species profile : koi and goldfish , p 12.

Cui, x. (2019). Boltic blue mussel (*Mytilus edulis* L.) and black soldier fly(*Hermetia illucens*)combined with pea protein concentrate as protein sources in feed for rain bowtrout(*Oncorhynchus mykiss*) . p. 33.

Cummins, V. C., Steven D, R., Kenneth R, T., Alejandro, V., Yuka, K., Janelle, H., et al. (2017, April 20). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or totale repkacement of marine fish meal in practical dites for pacific white shhrimp (*Litopenaeus vannamei*). pp. 337-344.

Cunwen, W., Liang, Q., Weigu, W., Zikui, D., Fang, Y., Jing, X., et al. (2017, October). Exploring the potentiel of lipides from black soldier fly ,new parading for biodiesel production. *Renewable Energy* , 749-756.

Dalle zotte, A., Marco, C., Cátia, F. M., & Susana, A. (2018). Incorporation of black soldier fly (*Hermetia illucens*.L) larvae fat or extruded insieed in dites of growing rabbits and thier effectes on meat quality trits including detailedd fatty acid composition meat. 146.

Danahue, P. (2017). *Black solider fly biowaste processing*. Swiss: Federal instituite of aquatic science and technology, p 26 .

Diarra, B. (2020). Evalution de l' inhibition de l' activité des anti-protéasees et la digestibilité des nutriments issus de farines de larve de mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) soumises à différents traitements thermiques chez la truite arc-en-ciel (*oncorhynchms*. *thésés* . université laval , Canda., p 7.

Diener, S., Christian, Z., & Klement, T. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. 27, pp. 60.3-610.

Dortmans, B., julia, E., Stefan, D., & Christian, Z. (2022). *Traitement des biodéchets par la mouche soldat noire*. Ewag fédéral suisse des sciences et technologie de l' eau.

Dortmans, B., Stefan, D., Julia, E., & Christian, Z. (2017). *Black solider fly biowaste processing astep by step guide*. SWIS, swis : Ewag federal institue of aquatic science and technology.

Dossou, T. S., & Lefevre, A. (2018). *Etude de l' utilisation des larves d' insectes en Alimentation piscoles* . en france : Rapport de fin de service givique au lycée professionnel agricole de chateau gontieer , p 21.

Dzepe, D., Paulin, N., Hervé, M., Apollin, F. K., Timoléon, T., & Rousseau, D. (2020). Role of pupation substrate on post-feeding development of black soldier fly larvae, *Hermetia*. *Journal of Entomology and Zoology Studies* , 760-764.

Earle, K. (1995). The nutritional requirements of ornamental fish. pp. 53-55.

FAO. (2014). Fisheries & Aquaculture - Cultured aquatic species fact sheets *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758).<https://www.fao.org> > figis > pdf > pêcheerie > espèces > 2957 > fr?title=FAO Fisheries &...

FAO. (2022). *La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture*.<https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-state-of-world-fisheries-and-aquaculture/2022/fr>

- FAO. (2014). *The state of world fisheries and aquaculture*. Rome .<https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/286731/>
- FAO. (2018). La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture.<https://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture/2018/fr/>
- FAO. (2024). Profile de espèces : Autres espèces tilapia de nil .<https://www.fao.org/fishery/affris/profil-des-especes/nile-tilapia/tilapia-du-nil-accueil/fr/>
- FAO. (2024). The State of World Fisheries and Aquaculture. Rome.: Blue Transformation in action.<https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/fr>
- FiBL.(2023). La farine d'insectes dans les aliments destinés aux volailles et aux poissons (Potentiel et limites de cette source alternative de protéines) Suisse. N° 1597 consulter le 22/02/2024
- Gabrielle, J., & Jasime, N. (2019). *Global experiences on waste processing with black soldier fly (Hermetia illucens) from technology to business*. International Water Management Institute, p 15 .
- Giannetto, A., Oliva, S., Frede, C., Pedron, F. d., Savastano, D., Baviera, C., et al. (2020). Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupe : biomass production , fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. *journal of biotechnologie* , 44-54.
- Gladys, O., Latunde, D., Wenge, Y., & Mayra, V. A. (2016). in vitro iron availability from insects and sirloin beef. *agric food chem* , 8420-8424.
- Gorrens, E., Noor, V. L., L. Van, M., Dries, V., D, L., Jeroen, d. s., et al. (2021). Staphylococcus aureus in Substrates for Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens) and Its Dynamics during Rearing. *Microbiology Spectrum*, p 2 .
- Gougbedji, U. A. (2022). Valorisation de coproduit 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. *thèse doctorat* . Liège université gembloux Agro-bio tech, Belgique , p 10,12.
- Gouveia, L., P, R., O, p., & J, E. (2003, April). Cloouing ornamental fish (cyprinus carpio and carassius auratus) with microalgal biomass. *Aquaculture Nutrition* , 123-129.
- Guilliet, J. (2022, novembre 17). Génétiques génomique et histoire évolutive d' hermetia illucens. *thèse de dooctorat* . université paris-Saclay, paris, p 41.
- Gupta, S., Jha, A. K., pal, A. K., & Venkateshwarlu, G. (2007). Use of natural cartenoids for pigmentation in fishes. pp. 46-49.
- Haeree, P. (2016). The black soldier fly larvae manuel. 3. university of mass achusetts amhest, p 11.
- Harindre, P. S., Gilles, T., Valérie, H., & philippe, A. (2014). State of -the -art on use of insects as animal feed . *Animal feed science and technology* , p 3.
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Animal Feed Science and Technology* , 1-22.
- Hoffmann. (2021). Genetic diversity and mating systems in a mass-reaved black soldier fly (Hermetia illucens) population . *thesis* . university Stellenbosch , stellenbosh , p 12.

Holmes, L., S. L., V., & J. K., T. (2012, August). Relative humidity effects on the life history of hermetia illucens (Diptera stratiomyidae). *41*, pp. 971 -978.

Hute, M. (1970). *Traité de pisciculture*. Lied et wyngaert p 7.

Iga, I. (2008). Contribution à la mise au point d' aliment pour tilapia Oreochromis niloticus à base d' intrants locaux : cas du gabon. *Mémoire de mastre* . Sciences agronomiques et agroalimentaires en science halieutiques et aquacoles dominante aquaculture : IRAF et centre de rennes . p 15 .

Industrie, C. .: (2018). *UNITE DE PRODUCTION DE MATIERES D'INTERET AGRICOLE ET INDUSTRIEL A BASE DE BIODECHETS ALIMENTAIRES*.

INPN(Inventaire National du Patrimoine Naturel).(2024).Taxonomie de Hermetia illucences <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index/> consulter le 29/04/2024

Insect composition and uses in animale feeding applications: a brief. (2019). *112*, 544-551.

James, S., Geert, P. J., & Janssens. (2003, may 12). Nutrient requirements of ornamental fish. *Laboratory of animal* p 16.

Javier, A., Hernandez, A., Martin, M., Irving-Alejandro, P., Oscar-Abel, S.-V., & Guiomar, M. L. (2021). Drying technologies for edible insects and their derived ingredients. *Drying Technology, p 1992* .

Johannes, R. F. (2017-2018). potentialité des insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au sud du Bénin. *thèses* , 7. Gembloux Agro - bio tech, p 12.

Junhua, M., Yanyan, L., Kashif, U. R., & Longyu, Z. (s.d.). Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of(Diptera: Stratiomyidae). pp. 159–165.

K.B, B.-F., M, D., & J.J.A., v. L. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (Hermetia illucens L). *insectes as food and feed* , 105-120.

Kamau, E., Mutungi, C., Kinyuru, J., Imathiu, S., Tanga, C., & Affogn, H. (2018). Moisture adsorption properties and shelf-life estimation of dried and pulverised edible house cricket Acheta domesticus (L.) and black soldier fly larvae Hermetia illucens (L.). *Food Research International* , 420-427.

Kannan, M., Durairaj, K. R., Thirunavukkarasu, M., & Abirami, R. G. (2022). Use of black soldier fly (Hermetia illucens L.) larvae meal in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry: A review of past and future needs. *aquaculture* , p 3.

Kim, W., Sungwoo, B., Haecheol, P., Kwanho, P., Sangbeom, L., Youngcheol, C., et al. (2010). The larvale age and mouth morphology of the black soldier fly , Hermetia ilucens (Diptera stratiomyidae). *intrnational journal of industrial entomology* , 185-187.

KoiPRESTIGE. (2013). Carpe koi p 10.

Kone, M. (2020). Etudes de la composition des matiere organiques végétales résiduelles sur les performances de croissance , les bilans de bioconversion et la qualité nutritionnelle des larves de mouches soldate noires. 12. facultés des siences de l' agriculture et de l' alimentation, canada., p 3.

Koutsos, L., Alejandra, M., & Mark, F. (2019). Insect Composition and Uses in Animal Feeding Applications: A Brief Review. *Annals of the Entomological Society of America* , 544–551.

- Kroeckel, H., Roth I, G. E., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., & schulz, C. (2012). When at urbot catches a fly : evaluation of a prepupae -meal of the black soldier fly (*hermetia illucens*) as fishmeal substitute growth performance and chitin desradation in juvenile turbot (*pesta maxima*). *aquaculture* , 345-352.
- Lalander, C. H., Diener, S., Zurbrügg, C., & Björn, V. (2019). Effects of feedstock on larval developement and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*hermetia illucens*). *journal of cleaner production* , p208-211.
- Lalander, C., Evgheni, E., Viktoria, W., & Björn, V. (2020, August). process efficiency and ventilation requirement in black solider fly larvae composting of substrates with high water content. 729 ,p 138 -968).
- Larouche, J., Marie-Hélène, D., Linda, S., Yolaine, L., Alain, D., & Grant W, V. (2019). Effects of Killing Methods on Lipid Oxidation, Colour and Microbial Load of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*). *animals* , p 182.
- Li, Y., Korthner, T., Chikwati, T., Mweemba, M., H, L. E., & Krogdahl, A. (2018). Gut health and vaccination response in pre-smolt Atlantic salmon (*Salmo Salar*)fed black soldier fly 5*Hermetia illucens*) larvae meal , fish and shell fish immunology. pp. 1106-113.
- Liland, N. S., Irene, B., Pedro, A., Daan, B., Christian G, B., Rune, W., et al. (2017). Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larve by feeding. *plos one* p 3 .
- Liu, A.-j., Jie, L., & Miguel, I. (2019). Factors influencing consumption of edible insects for chinese consumers. *insect* , p 339.
- Liu, X., Xuan, C., Hui, W., Qinqin, Y., Kashif, u. R., Wu, L., et al. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black solider fly. *PLoS ONE* , p 21.
- Losangne. (2006). *Poisson d' aquarium d' eau douce*. Arétmis, p 15.
- Louis, L., Cyndel, M., Yann, M., Guillaune, G., Maye, W., Gome, g., et al. (2019). Incorporation de farine de mouche soldat noire (*Hermetia illucens*)par substitution de la farine de poisson a hauteur de 50%et100%dans l' alimentation de la Truit arc -en-ciel (*Oncohynchus Mykiss*) p 3.
- Lowet, F. (2019-2020). Optimisation du maintien dex conditons abiotiques dans les élevages d' *hermetia illucens* parun système de brassage et de suivi aut. 5. faculté Gembloux agro-bio tech, Belgique , p 12-20.
- Mahfuj, M., Hossain, M., & Sarower, M. (2012). Effect of different feeds on larval developemennt and survival of ornamentzam koi carp , *cyprinus carpio* (LINNAEUS 1758) larvae in laboratory condition. *Bangladesh agril* , 179-183.
- Makkar, H. P., Gilles, T., Valérie, H., & Philippe, A. (2014). State -of-the- art on use of insects as animal feed. *Elsever* , p197.
- Malcolm, C., Beverdge, M., Brendan, J., & Macandrew. (2000). *Tilapias biology and exploitation kluwer academic*. 27: publishers fish and ficheriers series ,p 15.

Maniyangamage, K. c., Chaminda, n. W., Manoharan, P. s., Hettipala, A., & Darshanee, R. (2020). Substitution of Fishmeal with Black Soldier Fly *Hermetia illucens* Linnaeus, 1758 Larvae in Finfish, p 2

Manyara, N. e. (2018). Optomization of production of black solider fly larvae (*hermetia illucens*,L) for fish feed formulation. school of agricultural and food sciences, p20-22.

Mateusz, R., Jan, M., Bartosz, K., & Damian, J. (2020). Black soldier fly full fat larvae meal as an alternative to fish oil in siberian sturgeon nutrition ,the effets on physical prperties of the feed,animal growth performance , and feed acceptance and utilization animals, p 3.

Meticulous, R. (2020). *Executive Report- Black Soldier Fly Market: 2019-2030*.

Metivier, R. (2019, mars). Pre-études regionale sur l' utilisation d' insect dans l' alimentation des poissons d' élevage . insect feed for fish p 2.

Mortiz, G., Jeffery K, T., Stefan, D., Christian, Z., & Alexander, M. (2018). Decomposition of biowaste macronutrient microbes and chimiques in black soldier fly larval traitement. 82, p. 302-318.

Moutinho, S., perdorsa, R., Magalhaes, R., Oliva -Teles, A., Parisi, G., & Peres, H. (2021). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupe larvae meal in dites for europen seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles effests ar liver oxidative status and filet quality traits darong shelf -life. *aquaculture* , 533-736.

Muin, H., Lazim, M., & Ramli, D. N. (217). Growth performance, feed utilization and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) fed with different levels of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) maggot meal. *Aquaculture Research* , 3169-3182.

Munsh, m. p., Carole, l., Laureen, B., & christorphe, B. (2023, septembre 29). the reproductive tract of the black solider fly (*Hermetia illucens*) is highly differentiated and suggest adaptations to sexual selection p 3.

Mutafela, R. N. (2015). High value organic waste traitement via black solider fly bioconvesion. *Master of Science Thesis* , 16. ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY p 15.

Mwaniki, Z., Neijat, M., & Elijah G., K. (2018). Egg production and quality responses of adding up to 7.5% defatted black soldier fly larvae meal in a conn-soybean meal wk 19 to 27 of age diet fed to shaver white leghorns from, p 3.

Ndegwa, P., & Thompson, S. (2001, January). integrating composting and vermicomposting in the traitement and bioconversion of biosoolids. 76, pp. 107-112.

Newton, L., Craig, S., waston, D., Burtle, G., & Dove, R. (2005). *Using the black soldier fly hermetia illucens as a value added tool forthe mangement of swine manure*. REPORT FOR MIKE WILLIAMS, DIRECTOR OF THE ANIMAL AND POULTRY WASTE MANAGEMENT CENTER, p 24.

Nguyen, V. L., Nguyen, D. H., Thitikom, N., Supreya, W., Khambou, T., mouhemad, a., et al. (2024, september). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal : a sustainable alternative to fish meal proven to pronote growth and immunity in koi carpe(*cyprinus carpio* var koi) , p 3.

NRC, n. r. (1993). Nutrient requirements of fich, p12.

Oonincx, D. G., Sarah, v. B., Arnold, v. H., & Joop, J. A. (2015). Feed conservation, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, p 4.

Parniakov, O., Maryna, M., Artur, W., Dusan, R., Radoslaw, B., Małgorzata, N., et al. (2021). Insect processing for food and feed: A review of drying methods. *Drying Technology*, p1501

Philip, B. (2015). En Malaisie, une ferme de mouches pour nourrir.

Piplicitaire, R., & Radio, A. (2019). Production aquacole en Algérie : une croissance de plus de 20% à la fin 2019.

POLARIS.(2024).Market research rapport.Document non publié .

<https://www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/black-soldier-fly-market>

Pursche, B., Henrik, B., Rafaela, S., & Henry, J. (2018). Effect of pre treatment and drying method on physico chemical properties and dry fractionation behaviour of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.) , *Research Get*,p 272.

Putri, F. P., & Dewi, N. N. (2019). Growth monitoring of koi fish (*Cyprinus carpio*) in natural hatchery techniques in unbulan, pasuruan, East Java, *Earth and Environmental Science*,p 2.

Ramalhosa, M. J., Paula, p., Simone, M., M. Rui, A., Cristina, d. m., Maria, B., et al. (2012). Lipid content of frozen fish : comparison of different extraction methods and variability during freezing storage. *elsevier* , 328-336.

Ranson, S.-p. (2003). L' alimentation de la carpe(*Cyprinus carpio*) dans son biotope et en élevage. *thèse doctorat* . faculté de médecine de Créteil Vétérinaire,p 12 .

Ravi, H. K. (2022). biorefinery and valorization by eco-extraction , of new natural substances from insect larvae for animal nutrition . *thèses doctorat* . sécurité et qualité des produits d' origine végétale Avignon.

Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., et al. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of animal science and biotechnology* ,p 2.

Rønnestad, I., Fera, Y., Ueberschar, B., Ribiaro, L., & Sæle, O. (2013). Feeding behaviour and digestive physiology in larval fish :current knowledge and gaps and bottlenecks. *aquaculture* , 559-598.

SCHLUMBERGE, O., & Girard, P. (2013). *Mémento de pisciculture d'étang*. France , p 15.

Sealey, W. M., Gaylord, T. G., Barrows, F. T., Tomberlin, J. K., McGuire, M. A., Ross, C., et al. (2011). Sensory analysis of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens* . *Journal of the World Aquaculture Society* , 34-45.

Shengyong, L., Nittaya, T., Weerada, M., Jariya, S., Boontum, S., Thakun, S., et al. (2022). Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets. *Insectes* .

- Sheppard, D., Jeffery K, T., John A, J., Barbara C, K., & Sonya M, S. (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *journal of medical entomology*, 39, 695–698.
- Shumo, M., Isaac M, O., Fathiya M., K., Chrysantus M, T., Komi K. M, F., Sevgan, S., et al. (2019). The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya. *Scientific Reports*, p 3.
- Stamer, A. (2013). Aquaculture: Farine de larves pour nourrir les poissons. FIBL, p 20.
- St-Hilaire, S., Katie, C., Mark A, M., Erin E, M., Jeffery K, T., Larry, N., et al. (2007 a). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a food stuff high in omega 3 fatty acids. *journal world aqua*, 38, 309-313.
- St Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J. K., Lrving, S., Newton, L., Mc Guire, A., et al. (2007 b). Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *journal for the world aquaculture*, 59-67.
- Tarhouni, A., Ben Zid, M., Ons, T., Elbour, M., Sadok, S., & Mihoubi, N. (2019). New integrated process for production of edible and fishmeal powders from sardines: Drying kinetics and quality attributes. *ELSEVIER*, 352-365.
- Terova, G., Rimoldi, S., Ascione, C., Gini, E., Ceccotti, C., & Gasco, L. (2019). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *Hermetia illucens* prepupae in the diet. *Reviews in fish biology and fisheries*, pp. 465-486.
- Terova, G., Rimoldi, S., Ascione, C., Elisabetta, G., Chiara, C., & Laura, G. (2019). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gut microbiota is modulated by insect meal from *hermetia illucens* prepupae in the diet. *in fish biology and fisheries*, 465-486.
- Tetohu, J. (2021). *Elaboration d' un manuel de production de black soldier fly (hermetia illucens) pour l' alimentation des poules pondeuses en polyénise française et fourniture des 5 kits*. Technival/Institut Louis Malardé, p 11.
- Tiu, L. G. (2012). Enhancing sustainability of freshwater prawn production in Ohio, Ohio state university south centers newsletter feedipedia.
- Tomberlin, J., & Craig, S. (2002). Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera : stratiomyidae) in a colony. *entomological science*, 345-352.
- Trewavas, E. (1983). Tilapia fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History). London, p 25.
- Tomberlin, K. J. (2001). Biological behavior and toxicological studies on the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). Doctoral thesis, university of Georgia.
- Vahideh, R., Hamed, C., & Siamak, D. (2019). Proteomics and lipidomics of black soldier fly (Diptera : stratiomyidae) and blow fly (Diptera : calliphoridae) larvae. *insect Science*, p 3.
- Van Huis, A. (2019). Insect as food and feed, a new emerging agricultural. *journal of insects as food and feed*, 563-583.

- Van Huis, A., Joost Van, I., Harmke, K., Esther, M., Aftton, H., Giulia, M., et al. (2013). *insectes comestibles perspectives pour la sécurité alimentaire et l' alimentation animale*. FAO pour l' alimentation et l' agriculture sous le titre edible insects, p 11.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., H, K., & Vantomme, P. (2013). Edible insects future prospects for food and feedsecurity Food and Agriculture organisation of the united nations FAO, p 187.
- Van, E. (2019). Analyse de cycle de vie du projet value bugs : le traitement des déchets organiques décentralisé par les lar'ves de mouche soldat noire en région de Bruyelles-capitale. *thèse doctorat* , 26. université libre de bruxelles, Belgique, p 10.
- Verland, M., Weththasinghe, p., Hansen, J., & LT, M. (2022). A systematic meta-analysis based review on black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a novel protein source for salmonids. *aquaculture* , 938-956.
- Vijver, M., Ijalling, J., Leo, P., & Willie, P. (2003). Metal uptake from soils and soil sediment mixtures by larvae of *Tenbrio molitor* (L). pp. 277-289.
- Wang, Y., Yiran, G., Xueying, S., Siqi, w., Zhencai, Y., Peiyu, Z., et al. (2018). Effects of dietary phosphorus levels on growth performance, nutrient utilization, and phosphorus excretion of gibel carp (*Carassius gibelio*). *Aquaculture Research* , 2486-2494.
- Weththasinghe, p., Hansen, J., Myland, L., & Verland, M. (2022). A systematic meta-analysis based review on black soldier fly (*Hermetia illucens*) as a novel protein source for salmonides. *aquaculture* , 938-956.
- Wynants, E., Frooninckx, L., Crauwels, S., & Verreth, C. (2019). Assessing the microbiota black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on organic waste streams on four different locations at laboratory and large scale. *Microbail ecology*, p 2 .
- Yildiz, M. (2017). Effects of dietary phosphorus levels on growth performance, feed utilization, and phosphorus excretion of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Research* , 142-151.
- Yu-shiang, W., & Matan, S. (2017, octobre). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food, p 4.

Résumé

Une expérience menée à l'École Nationale Supérieure de la Mer et de l'Aménagement Littoral s'est déroulée en trois parties afin d'évaluer la faisabilité de l'utilisation de farine de mouches soldat noires dans l'alimentation des poissons d'eau douce. La première partie a porté sur l'élevage des mouches et l'optimisation des techniques de production de farine mouche soldat noire de haute qualité nutritive. La deuxième partie a consisté à élaborer des aliments pour poissons à base de farine MSN, complétés par divers sous-produits animaux et végétaux. Enfin, la troisième partie a testé ces aliments sur des poissons eau douce de poids initial ($2,5 \pm 0,5$ g pour le tilapia et $4,6 \pm 0,48$ g pour la carpe koï). Les résultats ont montré que les poissons nourris avec l'aliment à base de farine MSN n'ont présenté aucune différence significative de croissance par rapport à ceux nourris avec un aliment traditionnel ($p > 0,05$). et un poids final ($11,25 \pm 2,16$ g pour le tilapia et $8,8 \pm 0,97$ g) Ces résultats encourageants suggèrent que la farine MSN pourrait constituer une alternative durable et nutritive aux sources de protéines animales conventionnelles en aquaculture.

Mots clé: MSN : mouche soldat noire ; aquaculture, Tilapia, Carpe koï

Abstract

A three-part experiment was conducted at the French National School of Maritime Affairs and Coastal Planning to assess the feasibility of using black soldier fly (BSF) meal in the diet of freshwater fish. The first part focused on fly rearing and optimizing techniques for producing high-quality BSF meal. The second part involved developing fish feeds based on BSF meal, supplemented with various animal and plant by-products. Finally, the third part tested these feeds on freshwater fish with initial weights of 2.5 ± 0.5 g for tilapia and 4.6 ± 0.48 g for koi carp. The results showed that fish fed the BSF meal-based feed did not exhibit any significant difference in growth compared to those fed a traditional feed ($p > 0.05$) and final weights of 11.25 ± 2.16 g for tilapia and 8.8 ± 0.97 g for koi carp. These encouraging results suggest that BSF meal could be a sustainable and nutritious alternative to conventional animal protein sources in aquaculture.

Keywords: Black Soldier Fly ,Aquaculture , Tilapia ,Koi Carp

ملخص

تمت الدراسة في المدرسة الوطنية العليا للبحر وتهيئة السواحل في ثلاثة أجزاء لتقييم إمكانية استخدام دقيق ذبابة الجندي الأسود في تغذية أسماك المياه العذبة. الجزء الأول تناول تربية ذبابة الجندي الأسود وتحسين تقنيات إنتاج دقيقها لأنها تحتوي على قيمة غذائية عالية خاصة البروتين. الجزء الثاني تضمن تطوير أعلاف الأسماك بناءً على دقيق ذبابة الجندي الأسود، مع إضافة مختلف النواتج الثانوية الحيوانية والنباتية. وفي الجزء الأخير، تم اختبار هذه الأعلاف على أسماك المياه العذبة ذات الأوزان المتجانسة (0.5 ± 2.5 غرام سمك بلطي و 0.48 ± 4.6 غرام سمك شبوط المزخرف). حيث أظهرت النتائج أن الأسماك التي تم تغذيتها بأعلاف دقيق ذبابة الجندي الأسود مماثلة للنتائج الأعلاف التقليدية ($p > 0.05$) الوزن النهائي كان (2.16 ± 11.25 غرام سمك بلطي و 0.97 ± 8.8 غرام سمك شبوط المزخرف). تشير هذه النتائج المشجعة إلى أن دقيق الذبابة السوداء يمكن أن يكون بديلاً مستداماً وغذائياً لمصادر البروتينات الحيوانية التقليدية في الأحواض المائية.

Business Model Canevas

