Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2025 ; 8(4), 241-252
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Valorisation des ingrédients non conventionnels en production animale tropicale : intégration des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) dans l'alimentation avicole (Synthèse bibliographique)

Martin Solo Matsanga[1]*, Coutinho Mbembe Ndombele[1], Alexandre Tona Tona[1], Emmanuel Djamba Okenda[1], Jeans louis Lena Golendayo[2], Pascal Kongbo Kokota[1], Joël Mangana Ikoko[1], Eric Metho Nkayilu[3], Gaëtan Kalala Bolokango[1], Patrick Mafwila Kinkela[1]

(1)Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Production animale. BP 190 Kinshasa XI (RDC). E-mail : martinsolo920@gmail.com
(2)Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Economie agricole. BP 190 Kinshasa XI (RDC).
(3)Université de Kinshasa. Faculté de Psychologie et Sciences de l'Education. Mention Sciences de l'Education. BP 190 Kinshasa XI (RDC).

Reçu le 11 octobre 2025, **accepté** le 03 décembre 2025, **publié en ligne** le 27 décembre 2025
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i4.22

RÉSUMÉ

Description du sujet. Cette étude explore les principaux ingrédients non conventionnels utilisés dans la production animale en milieu tropical, en mettant particulièrement l'accent sur les larves de mouches soldats noires. Elle analyse leurs avantages nutritionnels et environnementaux, tout en identifiant les principaux défis liés à leur intégration complète dans les systèmes d'élevage.
Littérature. En milieu tropical, divers ingrédients non conventionnels sont utilisés en alimentation animale, dont les larves de mouches soldats noires qui se démarquent par leurs potentialités nutritionnelles. Leur intégration dans les rations des volailles améliore les performances zootechniques, renforce la résistance aux infections et réduit la mortalité. Produites à partir de déchets organiques, elles permettent une réduction des coûts d'alimentation de 15 à 30 %, tout en soutenant l'économie circulaire et la durabilité des systèmes d'élevages.
Conclusion. L'utilisation des ingrédients non conventionnels particulièrement les larves de mouches soldats noires dans l'alimentation de la volaille en milieu tropical constitue une solution innovante aux enjeux économiques et écologiques de l'élevage. Cependant, son adoption à grande échelle nécessite de surmonter des obstacles techniques, sociaux et réglementaires, en mobilisant des stratégies de formation, d'investissement et de sensibilisation.

Mots-clés : Larves, mouches soldats noires, ingrédients non conventionnels, alimentation animale.

ABSTRACT

Valorization of Non-Conventional Ingredients in Tropical Animal Production: Integration of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens)* in Poultry Feeding (Literature Review)
Description of the subject. This study explores the main non-conventional ingredients used in animal production in tropical environments, with a particular focus on black soldier fly larvae. It analyzes their nutritional and environmental advantages, while identifying the key challenges associated with their full integration into livestock production systems.
Literature. In tropical environments, various non-conventional ingredients are used in animal feeding, including black soldier fly larvae, which stand out for their nutritional potential. Their inclusion in poultry diets improves zootechnical performance, enhances resistance to infections, and reduces mortality. Produced from organic waste, they help reduce feeding costs by 15 to 30 %, while supporting circular economy practices and the sustainability of livestock production systems.
Conclusion. The use of non-conventional ingredients particularly black soldier fly larvae in poultry feeding in tropical environments represents an innovative solution to the economic and ecological challenges of livestock production. However, its large-scale adoption requires overcoming technical, social, and regulatory barriers by mobilizing training, investment, and awareness-raising strategies.

Keywords. Larvae, black soldier flies, non-conventional ingredients, animal feeding.

1. INTRODUCTION

L'intensification des élevages des monogastriques, désormais répandue dans de nombreux pays africains, fait face à des défis majeurs, notamment la disponibilité insuffisante, la faible qualité et le coût élevé des ressources alimentaires protéiques et énergétiques. Parmi ces ressources essentielles figurent les farines de poisson, les farines de légumineuses à graines et les tourteaux d'oléagineux, qui jouent un rôle central dans l'alimentation animale (Pomalégni *et al.*, 2017).
Ces difficultés trouvent leur origine dans la pression accrue sur les ressources disponibles, exercée par la forte croissance démographique des populations humaine et animale dans ces régions. Comme le souligne Van Zanten *et al.* (2014), cette dynamique accentue la concurrence entre les ingrédients alimentaires destinés à la consommation humaine et ceux nécessaires à production animale.

En parallèle, les producteurs d'élevage dans les zones tropicales subissent des contraintes financières importantes dues à leur dépendance aux ingrédients importés. Cette dépendance expose les systèmes de production animale aux fluctuations des prix sur les marchés mondiaux, augmentant ainsi les coûts de production et compromettant leur viabilité économique (Pomalégni *et al.*, 2017).

Face à ces enjeux, la recherche et l'innovation dans le domaine de l'alimentation animale en milieu tropical se tournent vers des alternatives durables. La demande croissante en produits animaux impose une transition vers des sources de protéines plus abordables et accessibles. Parmi ces solutions, il y a les déchets alimentaires, les sous-produits agroindustriels et les insectes, notamment les larves de mouches (Van Huis *et al.*, 2013).

Les larves de mouches (asticots), se distinguent par leur capacité à transformer des déchets organiques en protéines de haute qualité, tout en nécessitant moins de ressources naturelles. Les études récentes ont démontré leur potentiel en tant que source alternative de protéines pour l'alimentation animale, constituant une solution innovante et durable pour réduire la dépendance aux ingrédients traditionnels comme le soja (*Glycine max*) et les farines de poisson (Koura *et al*., 2023).

C'est dans ce cadre que la présente synthèse bibliographique explore quelques ingrédients non conventionnels utilisés dans la production animale en milieu tropical, en mettant particulièrement l'accent sur les larves de mouches soldats noires. Plus spécifiquement, cette synthèse vise à : (i) Présenter les principaux ingrédients non conventionnels utilisés dans la production animale en milieu tropical ; (ii) Décrire les larves de mouches soldats noires en tant qu'ingrédient alternatif dans l'alimentation animale, en mettant en évidence leurs avantages ainsi que les défis liés à leur adoption à grande échelle ; (iii) Analyser les études démontrant l'amélioration des performances zootechniques et économiques résultant de l'intégration des larves de mouches soldats noires, en particulier dans l'alimentation de la volaille.

L'intérêt de cette recherche réside dans sa contribution à l'enrichissement des connaissances sur l'utilisation des ingrédients non conventionnels, en particulier les larves de la mouche soldat noire, comme alternative protéique en aviculture tropicale. Elle permet d'évaluer leur impact sur les performances zootechniques et la santé de la volaille, tout en s'inscrivant dans une dynamique de production durable fondée sur la valorisation des déchets organiques. Ce travail offre ainsi des données pertinentes pour orienter la formulation future des aliments destinés aux élevages tropicaux.

2. INGREDIENTS NON CONVENTIONNELS

2.1. Définitions

Dans le contexte de l'alimentation animale, un ingrédient non conventionnel désigne toute matière première ou ressource alimentaire non traditionnellement utilisée dans les formulations d'aliments pour bétail, volailles ou poissons, mais qui présente un potentiel nutritionnel avéré et une certaine disponibilité locale (Sun *et al*., 2023*)*. Ces ingrédients se distinguent des ressources conventionnelles comme le maïs (Zea mays) ou le soja, qui sont largement répandus, commercialisés et souvent standardisés à l'échelle industrielle (Hêdji *et al.*, 2014).

2.2. Présentation des principaux ingrédients non conventionnels en milieu tropical

a. Résidus de brasserie

Les drêches de brasserie, riches en fibres et en protéines, constituent une alternative accessible pour l'alimentation animale en milieu tropical. Issus de la fermentation des grains pendant la fabrication de la bière, ces résidus sont largement disponibles dans les régions où l'industrie brassicole est développée. Leur incorporation dans les régimes alimentaires peut réduire les coûts et valoriser des sous-produits autrement considérés comme des déchets (Eliopoulos *et al*., 2021).

b. Sous-produits agricoles

Plusieurs sous-produits agricoles, tels que les pulpes de fruits sont principalement riches en eau, glucides, fibres alimentaires, vitamine C et les minéraux essentiels comme le fer, le potassium et le calcium, les pelures de bananes riches en fibres, potassium et Vitamine A, sont utilisés comme

ingrédients non conventionnels en alimentation animale. Ces matières, souvent abandonnées ou brûlées, offrent une solution pour diminuer les coûts alimentaires tout en contribuant à une économie circulaire. Par exemple, les pelures de bananes sont parfois intégrées aux rations pour leur apport énergétique et leur disponibilité dans les zones tropicales (Voisin *et al.*, 2013).

c. Micro-algues

Les micro-algues, comme la spiruline (*Arthrospira platensis*), sont une source innovante de protéines pour l'élevage. Leur culture est particulièrement adaptée aux climats tropicaux, où la lumière solaire et la chaleur favorisent leur croissance rapide. En plus de leur richesse en nutriments (protéines, fer, minéraux, acides gras essentiels), elles présentent des avantages écologiques en nécessitant peu de terres et en étant capables de capter le CO_2, réduisant ainsi l'impact environnemental de l'élevage (Benemann, 2013 ; Saadaoui *et al*., 2021).

d. Fanes et résidus de légumineuses

Les fanes et résidus de récolte des légumineuses, tels que les haricots *(Phaseolus vulgaris*) et le niébé (*Vigna unguiculata*), sont utilisés dans les rations animales pour leur teneur en protéines et fibres. Ils permettent de valoriser des matières secondaires tout en fournissant des éléments nutritifs essentiels aux animaux, notamment dans les systèmes où les ressources conventionnelles sont limitées (Adu-Gyamfi *et al*.,2007).

e. Insectes et leurs larves

Parmi les nombreuses espèces d'insectes étudiées pour leur potentiel dans le domaine de la nutrition animale, certaines espèces de mouches se démarquent grâce à leur cycle de vie très court, leur aptitude à se développer sur une large variété de substrats organiques et la richesse nutritionnelle de leurs larves constituée de protéines en grande quantité, de lipides essentiels, de fibres favorisant la digestion ainsi que de minéraux variées tels que le calcium et le phosphore (Makkar *et al.*, 2014).

Mouche domestique (*Musca domestica*)

Bien que souvent considérée comme nuisible, la mouche domestique (Figure 5) a été étudiée pour son rôle dans la production de farine de larves destinée à l'alimentation des poissons et volailles. Ses larves, communément appelées asticots, présentent une croissance rapide et peuvent se nourrir de fumier, de matières en décomposition ou de boues organiques (Hwangbo *et al*., 2009). Cependant, l'utilisation de *Musca domestica* reste limitée en raison de sa capacité à transmettre des maladies et des risques sanitaires liés à un manque de rigueur dans les protocoles de production. Par conséquent, son usage est généralement restreint à des contextes spécifiques, nécessitant une surveillance stricte (Hwangbo *et al*., 2009).

Mouche bleue de la viande (*Calliphora vomitoria*)

D'autres mouches, comme *Calliphora vomitoria*, ont également été analysées pour leur potentiel nutritif et leur efficacité en matière de conversion. Cette espèce est riche en protéines et en acides gras essentiels, ce qui en fait une candidate intéressante pour l'alimentation animale. Cependant, son élevage est complexe et elle présente des risques de prolifération indésirable (Hwangbo *et al*., 2009).

Mouche verte (*Lucilia sericata*)

Lucilia sericata ou mouche verte, est une autre espèce étudiée pour son potentiel en nutrition animale, elle est riche en protéines, fer, calcium et potassium. Ses larves sont capables de digérer les tissus nécrosés, ce qui les rend utiles dans des contextes spécifiques. Cependant, leur élevage nécessite des conditions contrôlées pour maximiser leur efficacité nutritive (Singh, 2010).

Mouche soldat noire (*Hermetia illucens*)

Les larves de la mouche soldat noire sont parmi les ingrédients non conventionnels les plus prometteurs pour l'élevage en milieu tropical. Cette espèce est considérée comme la meilleure candidate pour l'alimentation animale, en raison de sa polyvalence, de sa sécurité sanitaire et de la qualité nutritive exceptionnelle de ses larves qui sont riches en protéines, lipides et vitamines **(**Surendra *et al*., 2016**).**

2.3. Avantages des ingrédients non conventionnels dans l'alimentation animale

Réduction des coûts alimentaires

L'alimentation constitue l'un des principaux postes de dépense dans les systèmes d'élevage intensif, représentant entre 60 % et 70 % des coûts de production, particulièrement dans les filières avicole et porcine. Cette part considérable s'explique par la dépendance à des ingrédients alimentaires classiques tels que le soja et les farines de poisson, souvent importés, dont les prix fluctuent considérablement en fonction des marchés mondiaux. L'utilisation d'ingrédients alternatifs locaux ou issus de sous-produits permet de réduire significativement ces charges (Makkar, 2014).

L'utilisation des ingrédients non conventionnels comme les larves de mouches soldats noires (BSF) permet une réduction substantielle des coûts alimentaires dans les élevages tropicaux grâce à leur disponibilité locale et à leur faible coût de production. Dans une exploitation avicole utilisant traditionnellement le tourteau de soja à 1,60

USD/kg, le remplacement de 25 % de cette source protéique par des larves de BSF, produites localement à environ 0,80 USD/kg, permet de réduire le coût de la ration de 0,20 USD par kilogramme d'aliment, sans impacter négativement les performances zootechniques (Makkar et *al.*, 2014). Diener et *al*. (2009) montrent d'ailleurs que les BSF peuvent être cultivées à partir de déchets organiques, ce qui abaisse encore davantage les coûts de production. Pour une ferme produisant 2 000 kg d'aliment par mois, cette substitution représente une économie annuelle pouvant atteindre 4 800 USD.

Disponibilité locale et valorisation des déchets

Les ingrédients non conventionnels (INC), issus de déchets agricoles, agro-industriels ou urbains tels que les pelures de bananes ou les résidus de brasserie, représentent une solution innovante pour l'alimentation animale. Leur valorisation permet de résoudre des problèmes d'hygiène et de pollution environnementale tout en optimisant la gestion des déchets organiques, réduisant les coûts de traitement et favorisant une économie circulaire durable.

Parmi les solutions innovantes, les insectes, en particulier les larves de la mouche *Hermetia illucens* (connue sous le nom de mouche soldat noire), se démarquent par leur capacité à valoriser ces déchets. Ces larves transforment les matières organiques en biomasse riche en protéines et en lipides, tout en réduisant jusqu'à 50 % du volume initial des déchets (Makkar *et al.*, 2014).

Contribution à la sécurité alimentaire

L'intégration des ingrédients non conventionnels (INC) dans l'alimentation animale constitue une solution efficace pour réduire la compétition entre les humains et les animaux pour l'accès à des ressources alimentaires essentielles telles que le maïs et le soja. En diminuant cette concurrence, les INC contribuent à alléger la pression exercée sur les filières céréalières, tout en renforçant la résilience des systèmes de production animale face aux crises alimentaires. Par ailleurs, leur utilisation soutient indirectement la sécurité alimentaire humaine en garantissant une disponibilité continue de produits d'origine animale, tels que la viande, les œufs et le lait, à des coûts plus abordables. Ainsi, les INC ne se contentent pas d'améliorer l'efficacité des filières d'élevage ; ils jouent également un rôle stratégique dans la stabilisation des prix et dans l'accès durable à des protéines animales pour des populations vulnérables (Ruzengwe *et al.*, 2022).

Amélioration de la durabilité des élevages

Les ingrédients non conventionnels (INC), tels que les insectes, les micro-algues et les sous-produits locaux, jouent un rôle essentiel dans la réduction de l'impact environnemental de l'élevage. Leur utilisation contribue significativement à diminuer l'empreinte carbone et hydrique associée à la production animale. Par exemple, produire 1 kg de protéines à base de larves d'insectes requiert 10 à 15 fois moins d'eau et d'espace que la production équivalente à partir de soja ou de viande bovine (Van Huis *et al.*, 2013).

En outre, ces solutions innovantes participent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, notamment le méthane et le protoxyde d'azote. Ces gaz, généralement émis lors de la fermentation des fourrages grossiers ou de la digestion entérique, sont parmi les principaux contributeurs au réchauffement climatique. Ainsi, l'intégration des INC dans les régimes alimentaires animaux s'inscrit pleinement dans une démarche de transition écologique visant à rendre les systèmes d'élevage plus respectueux de l'environnement (Gerber *et al.*, 2013).

Création d'emplois ruraux et développement économique local

La collecte, le traitement et la transformation des ingrédients non conventionnels (INC) représentent des opportunités importantes pour stimuler l'emploi local et l'entrepreneuriat en milieu rural. Parmi ces alternatives, la production artisanale ou semi-industrielle de larves de mouches offre des perspectives économiques particulièrement prometteuses. Elle permet de créer des débouchés pour des groupes souvent marginalisés, tels que les jeunes et les femmes, dans les zones périurbaines, contribuant ainsi à leur autonomisation et à la dynamisation des économies locales (Müller *et al.*, 2016).

Par ailleurs, les filières émergentes centrées sur les insectes comestibles, qu'il s'agisse de leur élevage, de leur valorisation ou de leur transformation, affichent un potentiel économique remarquable. Selon Halloran *et al.* (2017), ces filières devraient générer plusieurs milliards de dollars à l'échelle mondiale d'ici 2030, témoignant de leur rôle clé dans le développement de chaînes de valeur innovantes et durables. Ces dynamiques renforcent leur position en tant que secteur stratégique pour la transition vers une économie circulaire et inclusive.

3. LARVES DE LA MOUCHE SOLDAT NOIRE COMME INGRÉDIENT NON CONVENTIONNEL POUR L'ÉLEVAGE

3.1. Distribution et classification

Originaire d'Amérique, *Hermetia illucens* est aujourd'hui largement répandue dans les zones tropicales et subtropicales, grâce à sa remarquable adaptabilité. Appelée « *Hermetia* » « Black Soldier Fly » en anglais, elle appartient à la famille des

Stratiomyidae et à l'ordre des Diptères (Diptera). Cet insecte mesure environ deux centimètres à l'état adulte, tout comme sa pupe, les mâles étant généralement légèrement plus petits que les femelles (Matias Oliveira da Silva *et al.*, 2025).

3.2. Le cycle de vie

Comprendre le cycle de vie des mouches est une étape cruciale pour organiser une production rationnelle et durable de larves, adaptée aux conditions particulières des milieux tropicaux (Diener *et al*., 2009). *Hermetia illucens*, communément appelée "mouche soldat noire", présente un cycle de vie structuré en cinq stades principaux : œuf, larve, prépupe, pupe et adulte (Makkar et *al*., 2014).

Œuf

La femelle peut pondre entre 500 et 900 œufs en une seule fois, qu'elle dépose généralement dans des environnements humides situés à proximité d'une source de matière organique. Ces œufs incubent sur une période relativement courte, de 3 à 4 jours avant l'éclosion (Lemme et Klüber, 2024).

Stade larvaire

Une fois écloses, les larves entrent dans une phase de croissance intensive, au cours de laquelle, elles se nourrissent abondamment de matière organique. Cette période, qui dure entre 12 et 20 jours, est essentielle pour leur développement, car c'est à ce stade que les larves a accumulent des quantités importantes de protéines et de lipides, indispensable pour l'alimentation animale (Makkar et *al.*, 2014).

Stade de prépupe

Lorsque les larves atteignent leur capacité de saturation alimentaire, elles cessent de s'alimenter et amorcent une phase de migration à la recherche d'un environnement sec pour leur métamorphose. Durant cette étape, elles deviennent plus sombres, moins actives et se préparent à leur transformation en chrysalides. Cette phase de prépupe s'étend sur 2 à 4 jours (Diener *et al*., 2009).

Stade de pupe

Le stade de pupe correspond à une phase d'inactivité apparente, mais de profondes transformations internes ont lieu. La larve devient une chrysalide, et l'adulte commence à se former. Ce processus dure généralement entre 10 et 14 jours, en fonction des conditions de température (Brulé *et al.*, 2024).

Stade adulte

Une fois la métamorphose achevée, *Hermetia illucens* atteint son dernier stade, l'adulte. Les adultes ont une durée de vie relativement courte, de 5 à 10 jours. Durant cette période, ils ne se nourrissent pas et se consacrent exclusivement à la reproduction. L'accouplement, qui nécessite une lumière naturelle, est suivi de la ponte des œufs (Makkar *et al.*, 2014).

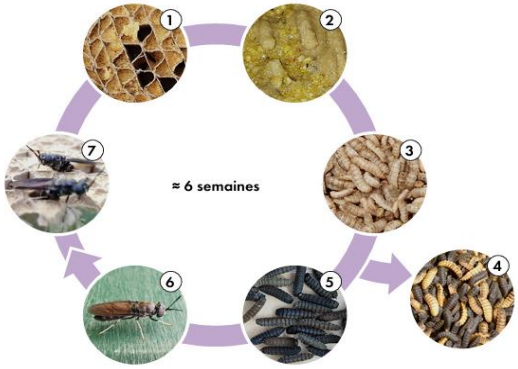

Figure 2. Cycle de vie des mouches soldats noires (Wohlfahrt et Sandrock, 2023).

3.3. Conditions écologiques

Hermetia illucens est peu exigeante en matière d'alimentation, mais son élevage nécessite la mise en place de conditions environnementales précises. Des paramètres climatiques adaptés sont essentiels pour assurer la pérennité de l'élevage. En effet, un cadre d'élevage approprié et une alimentation conforme aux besoins de l'espèce constituent des facteurs fondamentaux pour maximiser l'efficacité de la production (Diener *et al.*, 2009 ; Brulé et *al.*, 2024).

Les mouches adultes, les œufs et les jeunes larves nécessitent une température ambiante comprise entre 27 et 30 °C, une humidité relative d'au moins 60 %, ainsi qu'une source lumineuse intense incluant des fractions du spectre UV-A. Ces conditions sont essentielles pour stimuler la copulation et favoriser la maturation des œufs (Brulé *et al.*, 2024 ; Matias Oliveira da Silva *et al.*, 2025).

Les écarts thermiques en dehors des plages recommandées peuvent avoir des impacts significatifs sur le développement des larves. Lorsque la température descend en dessous de 23 °C, leur croissance est ralentie, et en dessous de 17 °C, elle est complètement arrêtée. À l'inverse, des températures supérieures à 32 °C peuvent provoquer des perturbations et des effets négatifs sur leur croissance (Diener *et al.*, 2009 ; Brulé *et al.*, 2024).

3.4. Besoins nutritionnels

Teneurs en protéines brutes

Une teneur en protéines brutes inférieure à 7 % dans les substrats alimentaires limite considérablement la production de biomasse et

ralentit le cycle de développement des larves. Idéalement, cette teneur devrait se situer entre 15 et 20 %, car des valeurs en dessous de ce seuil diminuent la productivité. En revanche, dépasser 20 % n'est pas nécessaire, car l'efficacité d'utilisation de l'azote diminue au-delà de cette limite.

Pire encore, une teneur supérieure à 25 % peut engendrer des produits de dégradation toxiques, néfastes pour les larves. Cependant, le besoin en protéines doit être équilibré avec la teneur énergétique des substrats pour un développement optimal. Ainsi, un rapport entre les protéines brutes et glucides compris entre 1 : 2 et 1 : 3 permet de garantir une croissance rapide et une biomasse maximale. En revanche, des teneurs en glucides supérieures à 50 % ne sont pas recommandées pour éviter des déséquilibres nutritionnels.

Matières grasses et fibres

Les matières grasses sont bien métabolisées par les larves et peuvent compenser une carence en amidon. Toutefois, des teneurs en matières grasses dépassant 15 % dans l'alimentation ont des effets négatifs sur leur développement. Quant aux fibres végétales, à l'exception de l'hémicellulose, elles ne peuvent être digérées par les larves. Leur dégradation est assurée par une activité microbienne dans le substrat, pouvant fournir une source de nutriments indirecte à *Hermetia illucens*.

3.5. Méthodes de production et d'élevage des mouches

L'élevage des mouches en vue de produire des larves peut être réalisé à différentes échelles : artisanale, semi-industrielle ou industrielle. Le choix de la méthode dépend des objectifs de production, des ressources disponibles et du type de substrat organique utilisé. Les étapes principales pour la production les suivantes :

a. Installation et infrastructure

La production peut être réalisée dans des infrastructures simples, souvent conçues à partir de matériaux locaux. Ces installations incluent des bacs d'élevage fabriqués en bois, plastique ou béton, pour accueillir le substrat de ponte et permettre le développement des larves. Elles doivent également être équipées de filets ou de moustiquaires afin de protéger les installations contre les prédateurs tels que les oiseaux et les rongeurs, tout en réduisant les risques de contamination croisée.

Par ailleurs, des espaces spécifiques doivent être aménagés pour la collecte, la maturation, la transformation et le stockage des larves. Ces structures doivent garantir une bonne ventilation, offrir une protection contre les pluies excessives et bénéficier d'une luminosité adéquate, indispensable pour favoriser l'accouplement des mouches adultes (Diener *et al*., 2009).

b. Sélection et gestion des reproducteurs

Le cycle de production débute par la gestion des mouches adultes, dont la durée de vie est relativement courte, généralement entre 5 et 8 jours. Durant cette période, les mouches ne se nourrissent pas et leur rôle est exclusivement dédié à la reproduction. Pour optimiser cette étape cruciale, des cages d'accouplement sont aménagées, offrant les conditions suivantes des substrats de ponte secs comme du carton ondulé, du bois ou des feuilles de bananier, et une source d'humidité placée à proximité des substrats pour favoriser la ponte. Une femelle peut pondre entre 500 et 900 œufs, qui seront récoltés au bout de 3 à 4 jours et transférés vers le substrat d'élevage (Diener *et al*., 2009).

c. Incubation et développement larvaire

Une fois les œufs transférés, les larves écloses consomment activement les matières organiques disponibles, ce qui est crucial pour assurer une croissance rapide et une production de biomasse de qualité. Leur développement s'étend sur une période de 12 à 20 jours, au terme de laquelle, elles atteignent le stade de prépupe (El Hajj *et al*., 2022 ; Hancz *et al*., 2024).

Pour garantir une croissance optimale, les conditions doivent être soigneusement contrôlées : une température comprise entre 25 et 35 °C, une humidité de 60 à 80 %, un pH neutre ou légèrement acide, et une aération adéquate du substrat afin d'éviter toute asphyxie microbienne. Selon le type de substrat utilisé, le rendement obtenu peut varier, généralement entre 2 et 5 kg de larves fraîches pour 10 kg de déchets organiques (Makkar *et al*., 2014).

d. Collecte des larves et séparation

À la fin de leur cycle de croissance, les larves entrent en phase de migration (prépupe) et cherchent un endroit sec. Des rampes inclinées ou des systèmes d'auto-collecte sont alors mis en place pour permettre aux larves de quitter le bac et d'être récupérées sans intervention humaine directe. Ce procédé automatique facilite le travail, augmente l'efficacité et limite les risques de contamination (Van Huis *et al*., 2013).

La méthode de criblage est aussi utilisée, elle consiste à placer au soleil un tamis d'une maille de 3 mm sur un bassin de récupération, le substrat contenant les asticots est répandu en une fine couche sur le tamis et les asticots tentant d'échapper à la lumière du soleil passent à travers les mailles du tamis pour tomber dans le bassin de récupération (Sogbenan *et al*., 2006).

3.6. Méthodes de transformation et valorisation des larves

Les larves de mouches soldats noires nécessitent une transformation après leur élevage pour être intégrées efficacement dans l'alimentation animale. Ce processus vise à préserver leur qualité nutritionnelle, à améliorer leur digestibilité, à garantir leur conservation et à répondre aux normes industrielles. Les techniques employées varient selon les objectifs nutritionnels, les conditions environnementales et l'échelle de production (Vargas-Serna *et al*., 2025).

Séchage

Le séchage est une étape essentielle dans la transformation des larves, car il permet de réduire leur teneur en eau, initialement comprise entre 65 % et 70 %, à moins de 10 %. Cette déshydratation empêche le développement microbien et garantit une conservation optimale. Le mode de séchage utilisé a un impact direct sur la qualité finale des larves, notamment sur la stabilité des acides aminés, la durabilité des lipides et l'apparence globale du produit (Huang *et al*., 2018). Deux méthodes principales sont employées selon les contextes et les besoins pour le séchage des larves. Le séchage thermique, souvent utilisé à l'échelle industrielle ou semi-industrielle. Il garantit une déshydratation efficace tout en préservant les qualités nutritionnelles essentielles des larves. Les températures idéales pour ce procédé se situent entre 90 et 120 °C, avec une durée de séchage variant de 30 à 60 minutes (Huang *et al*., 2018 ; Rodríguez-Rodríguez *et al*., 2024).
En parallèle, le séchage solaire représente une alternative adaptée aux zones tropicales grâce à sa simplicité et son faible coût. Cependant, cette méthode dépend fortement des conditions climatiques et peut être plus lente. Pour garantir une qualité optimale, il est crucial de protéger les larves contre les poussières et les insectes en utilisant des systèmes de séchage semi-fermé. Cela permet de minimiser les contaminations tout en valorisant cette méthode économique et accessible (Selaledi et Mabelebele, 2021).

Broyage

Après séchage, les larves sont broyées pour produire une farine homogène, facile à intégrer dans les formulations alimentaires sous forme de rations, granulés ou aliments complémentaires. Le broyage est effectué à l'aide de moulins à marteaux ou moulins à disques, selon les quantités à traiter. La farine obtenue est comparable à la farine de poisson ou de soja en termes de teneur protéique, avec une digestibilité élevée, comprise entre 80 % et 90 % (Makkar *et al*., 2014).

Dégraissage partiel

Pour améliorer sa stabilité, notamment en réduisant les risques d'oxydation lipidique, un dégraissage partiel peut être réalisé avant le broyage. Cette étape augmente la concentration en protéines, atteignant 55 % à 65 %, tout en réduisant la teneur en graisses à moins de 10 %. Ce procédé est particulièrement bénéfique pour les espèces animales ayant des besoins spécifiques en lipides, comme les volailles en phase de démarrage (Cullere *et al*., 2016).

Extrusion

L'extrusion est une méthode innovante combinant actions mécaniques et thermiques pour transformer un mélange constitué de poudre de larves, d'autres ingrédients et d'eau en produits finis tels que des granulés, des croquettes ou des extrudés. Ce procédé est particulièrement adapté à l'alimentation des volailles, des porcs et des poissons, grâce à ses multiples avantages (Rahman *et al*., 2015).

Parmi ses bénéfices, l'extrusion améliore la digestibilité des protéines, inactivate les anti-nutriments et garantit une meilleure conservation des produits finis. Elle offre également la possibilité de standardiser les formats et les textures, répondant ainsi aux attentes spécifiques des filières industrielles pour une alimentation animale efficace et homogène (Lancheros *et al*., 2020).

Cette technique offre de nombreux avantages, notamment une meilleure digestibilité des protéines, l'inactivation des anti-nutriments et une amélioration significative de la conservation des produits. En outre, elle permet de standardiser les formats et les textures, répondant ainsi aux exigences des filières industrielles. L'extrusion peut être réalisée à chaud ou à froid, selon les objectifs spécifiques et les besoins des systèmes de production (Rahman *et al*., 2015).

3.7. Caractéristiques nutritionnelles des larves de mouches

L'intérêt croissant pour l'intégration des larves d'insectes, en particulier celles de la mouche soldat noire, dans l'alimentation animale repose sur leur valeur nutritionnelle exceptionnelle. Ces larves constituent une source concentrée de protéines, de lipides, de minéraux, d'acides aminés essentiels et de vitamines. Cette composition en fait une alternative crédible et durable aux sources conventionnelles de protéines animales, comme la farine de poisson ou le tourteau de soja (Barragán-Fonseca *et al*., 2017 ; Zulkifli *et al*., 2022).

Teneur en protéines et en lipides

Les larves de mouches présentent une teneur élevée en protéines, oscillant entre 35 % et 45 %

de la matière sèche, en fonction du substrat utilisé pour leur élevage. Cette teneur est presque comparable, à celle des tourteaux de soja (environ 44 %) et des farines de poisson (50 à 70 %), qui sont traditionnellement utilisées dans les rations alimentaires animales (Makkar *et al*., 2014).

En termes de lipides, leur teneur varie entre 25 % et 35 %, selon les conditions d'élevage et l'alimentation des larves. Ces graisses sont principalement composées d'acides gras saturés et monoinsaturés. Un des composants majeurs est l'acide laurique (C12 : 0), reconnu pour ses propriétés antimicrobiennes. Cet acide gras est particulièrement bénéfique pour la santé intestinale des animaux monogastriques, comme les volailles (Liland *et al*., 2017).

Profil en acides aminés, vitamines et minéraux

Les larves de *Hermetia illucens* offrent un profil équilibré en acides aminés essentiels, indispensables dans les rations animales. Elles contiennent des niveaux significatifs de lysine, méthionine, thréonine et valine. Bien que la méthionine soit présente en quantités légèrement inférieures à celles trouvées dans le soja, ces déficits peuvent être facilement compensés par des compléments nutritionnels (Shati *et al*., 2022 ; Lemme et Klüber, 2024). Selon Makkar *et al*., 2014, quelques teneurs caractéristiques en acides aminés des larves de Hermetia illucens en g dans 100 g de protéines sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Quelques teneurs caractéristiques en acides aminés

Acide aminé	Quantité sans 100 g de protéines
Lysine	*4,5 – 6,0 g*
Méthionine	*1,8 – 2,5 g*
Thréonine	*3,0 – 3,5 g*
Valine	*4,0 – 5,0 g*

Sur le plan vitaminique, les larves de *Hermetia illucens* sont une excellente source de vitamines du complexe B (B1, B2, B6), de niacine, d'acide pantothénique et de vitamine E. Elles contiennent également de faibles quantités de caroténoïdes et de provitamine A. Cependant, les concentrations en vitamines peuvent varier considérablement en fonction du substrat utilisé pour leur élevage (Liland *et al*., 2017 ; Zulkifli *et al*., 2022).

Du côté des minéraux, les larves sont particulièrement riches en calcium (5000 à 8000 mg/kg de matière sèche) et en phosphore (6000 à 7500 mg/kg). Elles contiennent également des quantités significatives de fer, de zinc et de manganèse, suffisantes pour répondre aux besoins nutritionnels de nombreux animaux particulièrement de la volaille (Henry *et al*., 2015).

3.8. Défis et obstacles à l'adoption des larves de mouches

Malgré les nombreux avantages nutritionnels, économiques et environnementaux associés à l'utilisation des larves de mouches dans l'alimentation animale, leur adoption à grande échelle reste limitée, notamment dans les régions tropicales. Cette situation est due à une combinaison de freins structurels, sociaux, réglementaires et techniques (Makkar *et al*., 2014).

Barrières socioculturelles

L'utilisation des insectes dans l'alimentation animale, même sous forme transformée, suscite des réticences psychologiques chez de nombreux producteurs et consommateurs. Ces réserves s'expliquent par plusieurs facteurs, notamment un manque d'information sur les bienfaits nutritionnels des larves, des tabous culturels ou religieux autour des insectes, et une confusion fréquente entre les insectes nuisibles et les insectes comestibles, souvent perçus comme des vecteurs de maladies ou comme symboles de saleté (Makkar *et al*., 2014).

Pour surmonter ces obstacles, un effort de communication ciblé est crucial. Des campagnes de sensibilisation, combinées à des démonstrations pratiques, ont montré leur efficacité. Par exemple, au Ghana et au Cameroun, ces initiatives ont significativement augmenté l'acceptabilité des larves de *Hermetia illucens* auprès des éleveurs (Makkar *et al*., 2014).

Manque de références techniques et d'études locales

Dans de nombreux contextes tropicaux, les producteurs n'ont pas accès à des données fiables et adaptées concernant les performances des larves de mouches, leur taux d'incorporation optimal dans les régimes alimentaires ou encore les procédés de transformation à mettre en œuvre en fonction des ressources locales. Ce manque d'informations limite leur prise de décision, en particulier pour les petits producteurs, qui hésitent à prendre des risques économiques. Pour pallier cette situation, les institutions de recherche doivent jouer un rôle central. Elles doivent générer des données scientifiques crédibles et contextualisées qui soient transférables aux exploitations agricoles locales. Ces connaissances permettront de rassurer les éleveurs et de faciliter l'adoption des larves de mouches dans les pratiques avicoles (Barragan-Fonseca *et al*., 2017**).**

Problèmes réglementaires et normes sanitaires

Vide ou flou juridique

Dans de nombreux pays tropicaux, l'utilisation des insectes dans l'alimentation animale n'est pas

encore encadrée par une législation claire. Ce vide juridique crée plusieurs défis pour les acteurs concernés : il génère une incertitude pour les investisseurs et les producteurs, complique l'accès à certains marchés formels tels que les industries avicoles ou l'exportation et provoque des blocages au niveau des services vétérinaires ou douaniers (Ogunyemi *et al*., 2019). Cependant, certains pays pionniers comme l'Afrique du Sud, le Rwanda ou le Kenya ont déjà mis en place des cadres réglementaires pour la production et l'utilisation des insectes, favorisant ainsi l'émergence de start-ups spécialisées et encourageant l'innovation dans ce domaine (Grabowski et *al*., 2017).

Normes sanitaires insuffisantes ou inexistantes

La sécurité sanitaire des produits issus de larves de mouches est essentielle pour leur acceptation. Pourtant, de nombreux systèmes artisanaux ou informels souffrent d'un manque de protocoles d'hygiène standardisés, de systèmes de traçabilité et d'analyses microbiologiques régulières. Ces lacunes peuvent engendrer des risques graves de contamination par des bactéries pathogènes ou des métaux lourds, notamment si les substrats utilisés ne sont pas correctement triés ou prétraités L'instauration de normes sanitaires rigoureuses est donc indispensable pour garantir la qualité et la sécurité de ces produits (Van Huis *et al*., 2013).

Méconnaissance des autorités

Les services techniques agricoles, vétérinaires et d'hygiène publique sont souvent peu informés sur le potentiel des insectes dans l'alimentation animale. En l'absence de directives claires, certains agents peuvent s'opposer par précaution à leur utilisation. Il est donc crucial de renforcer la sensibilisation et la formation des autorités, tout en élaborant un cadre réglementaire national basé sur les bonnes pratiques internationales, telles que le Codex Alimentarius (Pali-Schöll et *al.*, 2019).

Limites techniques et logistiques

Accès limité aux équipements de production

La production à grande échelle de larves de mouches requiert des infrastructures spécifiques, telles que des bacs hygiéniques, des filets de protection, des espaces dédiés à la collecte, à la transformation et au stockage, ainsi que des dispositifs de contrôle de température et d'humidité (Gold *et al*., 2018). Cependant, dans les zones rurales ou périurbaines, ces équipements sont souvent coûteux et difficiles à obtenir, car importés. Le développement de kits de production locaux, fabriqués à partir de matériaux disponibles à moindre coût, pourrait offrir une solution concrète et abordable (Sankara *et al*., 2017).

Difficultés d'approvisionnement en substrats

Les larves de mouches nécessitent des déchets organiques de qualité en tant que substrats alimentaires. Or, ces matières premières peuvent être dispersées géographiquement, ce qui complique leur collecte. De plus, certains producteurs ne bénéficient pas d'un flux régulier de substrats, et des restrictions sanitaires peuvent limiter l'utilisation de certains types de déchets. Pour surmonter ces défis, il est nécessaire de structurer des circuits d'approvisionnement sécurisés via les marchés, les restaurants ou les usines de transformation, tout en développant des systèmes de collecte communautaires (Surendra *et al*., 2016).

Maîtrise technique insuffisante

L'élevage et la transformation des larves exigent une compréhension approfondie de leurs paramètres biologiques, incluant le cycle de vie de la mouche, les conditions optimales de croissance, les techniques de récolte et de transformation, ainsi que l'équilibrage nutritionnel (Van Huis, 2013). Cependant, les formations techniques destinées aux éleveurs et aux transformateurs restent rares et souvent peu accessibles (Gold *et al*., 2018). Il est donc impératif de développer des modules de formation professionnelle pour garantir une meilleure maîtrise des aspects techniques, tout en soutenant le développement des compétences entrepreneuriales chez les producteurs et les transformateurs (Cickova *et al*., 2015 ; Barragan-Fonseca *et al*., 2017).

4. UTILISATION DES LARVES DE MOUCHES SOLDATS NOIRES DANS L'ALIMENTATION DE LA VOLAILLE

L'utilisation des larves de mouches soldats noires dans l'alimentation de la volaille en milieu tropical représente une solution alternative, viable et durable pour améliorer la productivité tout en répondant à la demande croissante de protéines dans l'alimentation animale. Des études ont mis en évidence non seulement leurs effets positifs sur la croissance des volailles, mais aussi leur impact bénéfique sur la santé animale et la rentabilité des exploitations.

4.1. Effet sur la croissance et les performances zootechniques des volailles

Plusieurs recherches ont démontré que l'incorporation de larves de mouches soldats noires dans l'alimentation des volailles améliore considérablement leurs performances zootechniques. Au Vietnam, l'étude de Nguyen *et al*. (2015) ont observé qu'un taux d'incorporation de 10 % de larves séchées dans les rations des poulets de chair augmentait le gain de poids moyen de 15 à 25 % par rapport aux régimes à base de soja ou de farine de poisson.

De même qu'au Cameroun, l'étude menée par Ogunyemi *et al*. (2019) ont rapporté que l'inclusion de 10 % de larves dans les rations augmentait le gain moyen quotidien (ADG) de 20 % comparé aux régimes conventionnels. Au Bénin, des essais menés par Koudandé *et al*. (2021) ont révélé qu'un lot de 1 000 poulets nourris avec une ration incluant 30 % de farine de larves présentait une croissance supérieure de 12 %, tout en réduisant les coûts d'alimentation de 22 %. De façon similaire, une étude conduite au Cameroun (Teguia *et al*., 2020) a démontré qu'une ration contenante 30 % de farine de larves augmentait le poids moyen à 6 semaines de 18 %, tout en réduisant les coûts d'alimentation de 25 %.

4.2. Amélioration de la santé et de la résistance aux maladies

En plus de leurs avantages nutritionnels, les larves de mouches soldats noires possèdent des propriétés antimicrobiennes qui renforcent la santé des volailles. Au Nigeria, une étude menée par Ogunyemi *et al*. (2019) a montré que les volailles nourries avec ces larves étaient plus résistantes aux infections bactériennes comme *Escherichia coli* et *Salmonella*, grâce à des peptides antimicrobiens présents naturellement dans les larves. Au Cameroun, les résultats de l'étude de Tanga *et al*. (2016) ont rapporté une diminution significative des taux de mortalité, comprise entre 5 et 10 %, chez les volailles nourries avec des larves de la mouche soldat noire. Ce résultat constitue un facteur clé pour renforcer la durabilité et la rentabilité des exploitations avicoles en Afrique.

4.3. Impact sur la qualité de la viande et des œufs

Les larves de mouches soldats noires n'améliorent pas seulement les performances de croissance, mais elles optimisent également la qualité de la viande et des œufs. Selon Makkar *et al*. (2014), qui ont réalisé une revue internationale des études sur l'utilisation des insectes comme source protéique dans l'alimentation animale ont démontré que la viande issue de volailles nourries avec des larves contenait des niveaux plus élevés d'acides gras insaturés, en particulier des oméga-3, favorables à la santé des consommateurs. En outre, Ogunyemi et *al*. (2019) ont rapporté des coquilles d'œufs plus épaisses et résistantes, réduisant ainsi les pertes liées au transport et à la commercialisation au Cameroun.

5. CONCLUSION

L'intégration des larves de mouches soldats noires (*Hermetia illucens*) dans l'alimentation de la volaille en milieu tropical représente une solution innovante et prometteuse, tant sur les plans économiques qu'écologique. Les avantages sont significatifs : réduction des coûts d'alimentation de 15 à 30 %, amélioration des performances zootechniques, résistance accrue aux maladies, et valorisation des déchets organiques, contribuant ainsi à l'économie circulaire et à la durabilité de l'élevage. Ces bénéfices sont particulièrement pertinents dans le contexte africain, où l'accès aux protéines animales conventionnelles reste limité et coûteux.

Cependant, malgré ces avantages, certains défis doivent être surmontés pour maximiser l'impact de cette pratique. Le processus de production des larves nécessite des infrastructures adaptées et une maîtrise technique rigoureuse pour garantir leur qualité nutritionnelle et sanitaire. De plus, l'acceptation sociale et réglementaire de l'utilisation des insectes dans l'alimentation animale peut poser des obstacles, particulièrement dans les zones où ces pratiques sont encore peu répandues. Enfin, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les techniques d'élevage des larves à grande échelle et évaluer leurs impacts à long terme sur la santé animale et humaine.

Ainsi, bien que les larves de *Hermetia illucens* présentent un immense potentiel pour transformer l'aviculture en Afrique, leur adoption à large échelle exige une approche stratégique intégrant des formations pour les producteurs, des investissements technologiques, et une sensibilisation des acteurs locaux afin de surmonter les défis actuels. Cela permettra de garantir leur utilisation durable et leur contribution optimale au développement des systèmes alimentaires.

Références

Adu-Gyamfi R., Myaka F. A., Sakala W. D., Odgaard R., Vesterager J. M. & Høgh-Jensen H., 2007. Biological nitrogen fixation and residual benefits to pearl millet by cowpea and pigeonpea in sole and intercrops in the drylands of Tanzania. *Plant and Soil*, 295(1–2), 1–12.

Barragan-Fonseca K. B., Dicke M. & van Loon J. J. A., 2017. Nutritional value of the black soldier fly larvae compared to traditional feed ingredients for fish and poultry. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–116. https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0051

Benemann J., 2013. Microalgae for Biofuels and Animal Feeds. *Energies*, 6(11), 5869–5886. DOI : 10.3390/en6115869.

Brulé L., Misery B., Baudouin G., Yan X., Guidou C., Trespeuch C., Foltyn C., Anthoine V., Moriceau N., Federighi M. & Boué G., 2024. Evaluation of the Microbial Quality of Hermetia illucens Larvae for Animal Feed and Human Consumption: Study of Different Types of Rearing Substrates. *Foods*, 13(10), Article 1587. DOI : 10.3390/foods13101587.

Cickova H., Newton G. L., Lacy R. C. & Kozanek M., 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*, 35, 68–80. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026

Cullere M., Tasoniero G., Giaccone V., Miotti-Scapin R., Claeys E., De Smet S. & Dalle Zotte A., 2016. Amélioration de la digestibilité des farines de larves de mouches par le dégraissage. *Production animale et alimentation alternative*, 11(2), 102–110.

Diener S., Studt Solano N. M., Roa Gutiérrez F., Zurbrugg C. & Tockner K., 2009. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(3), 357-363. DOI: 10.1007/s12649-009-9045-4

Diener S., Zurbrugg C. & Tockner K., 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 27(6), 603–610. DOI: 10.1177/0734242X09103838.

El Hajj R., Mhemdi H., Besombes C., Allaf K., Lefrançois V. & Vorobiev E., 2022. Edible insects' transformation for feed and food uses: An overview of current insights and future developments in the field. *Processes*, 10(5), 970. https://doi.org/10.3390/pr10050970

Eliopoulos D., Arapoglou D., Chorianopoulos N. *et al.*, 2021. Conversion of brewers' spent grain into proteinaceous animal feed using solid state fermentation. *Environ. Sci. Pollut. Res* 29, 29562–29569. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15495-w

Gerber P. J., Steinfeld H., Henderson B. *et al*., 2013. Tackling climate change through livestock: A global assessment of emissions and mitigation opportunities. *Animal*, 7(2), 220–226.

Gold M., Tomberlin J. K., Diener S., Zurbrugg C. & Mathys A., 2018. Decomposition of organic waste by black soldier fly larvae: A sustainable waste management solution. *Waste Management*, 79, 296–305. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.07.020

Grabowski N. T. & Klein G., 2017. Legal conditions for insect production and consumption in Europe and emerging countries. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(4), 215–226. https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0015

Halloran A., Roos N., Eilenberg J., Cerutti A. & Bruun S., 2017. Life cycle assessment of insect-based foods. *Journal of Cleaner Production*, 159,1–11. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.204

Hancz C., Sultana S., Nagy Z. & Biró J., 2024. The role of insects in sustainable animal feed production for environmentally friendly agriculture: A review. *Animals*, 14(7), 1009. https://doi.org/10.3390/ani14071009

Hêdji C. C., Kpoguè Gangbazo D. N. S., Houinato M. R. & Fiogbé E. D., 2014. Valorisation de Azolla spp, Moringa oleifera, son de riz, et de co-produits de volaille et de poisson en alimentation animale : synthèse bibliographique. *Journal of Applied Biosciences*, 81, 7277–7289.

Henry M., Gasco L., Piccolo G. & Fountoulaki E., 2015. Revue sur l'utilisation des insectes dans l'alimentation des poissons d'élevage. *Sciences et techniques de l'alimentation animale*, 203, 1–22.

Huang C., Feng W., Xiong J., Wang T., Wang W., Wang C. & Yang, F., 2018. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (Hermetia illucens L.) larvae. *European Food Research and Technology*, 245, 11–21. DOI : 10.1007/s00217-018-3136-y.

Hwangbo J., Hong E. C., Jang A., Kang H. K., Oh J. S., Kim B. W. & Park, B. S., 2009. Utilization of housefly-maggots as a protein source in the diet of broiler chickens. *Journal of Poultry Science*, 46(3), 221–227. https://doi.org/10.2141/jpsa.46.221

Lancheros J. P., Espinosa C. D. & Stein H. H., 2020. Effects of particle size reduction, pelleting, and extrusion on the nutritional value of ingredients and diets fed to pigs: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114603. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114603

Koura B. I., Shipandeni M. & Cutrignelli M. I., 2023. Sustainable Feeds for Animal Nutrition in Tropical Areas. *Animals*, 13(8), 1379. https://doi.org/10.3390/ani13081379

Lemme A. & Klüber P., 2024. Rethinking Amino Acid Nutrition of Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens) Based on Insights from an Amino Acid Reduction Trial. *Insects*, 15(11). DOI: 10.3390/insects15110862.

Liland N. S., Biancarosa I., Araujo P., Biemans D., Bruckner C. G., Waagbø R., Torstensen B. E. & Lock E.-J., 2017. Modulation of nutrient composition of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae by feeding seaweed-enriched media. *PLOS ONE*, 12(8), e0183188. DOI: 10.1371/journal.pone.0183188.

Makkar H. P. S., Tran G., Heuzé V. & Khang D. N., 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.010

Matias Oliveira da Silva M., Santos L. & Pereira R., 2025. Environmental parameters influencing the growth of black soldier fly larvae. *Journal of Sustainable Agricultural Practices*, 14(2), 123-137. DOI: 10.1016/jsap.2025.02.014

Müller A., Evans J. & Payne C. L. R., 2016. Insect farming and entrepreneurship: the case of small-scale producers in Africa. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(3), 141–148. https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0087

Nguyen T. T., Bui Q. M. & Phan T. M., 2015. Evaluation of black soldier fly larvae as a protein source for poultry diets. *Livestock Science*, 179, 141-146. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.06.014

Barragan-Fonseca K. B., Dicke M. & van Loon J. J. A., 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120. https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055

Ogunyemi S. O., Olatunde G. O. & Adewumi A. T., 2019. Antimicrobial effects of black soldier fly larvae in poultry feed: Potential benefits and challenges. *Poultry Science*, 98(10), 4676-4682. https://doi.org/10.3382/ps/pez313

Pali-Schöll I., Meinlschmidt P., Larenas-Linnemann D. *et al*., 2019. Edible insects: Cross-recognition of IgE

from crustaceans and house dust mites, and its potential relevance for introducing insects as novel food in Europe. *Food and Chemical Toxicology*, 123, 564–571. https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.11.057

Pomalégni, S. C. B., Gbemavo, D. S. J. C., Kpadé, C. P., Kenis, M., & Mensah, G. A. (2017). Traditional use of fly larvae by small poultry farmers in Benin. *Journal of Insects as Food and Feed*, *3*(3), 187–192. https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0061

Rahman M. A. U., Rehman A., Chuanqi X., Long Z. X., Binghai C., Linbao J. & Huawei S., 2015. Extrusion of feed/feed ingredients and its effect on digestibility and performance of poultry: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(4), 48-61.

Rodríguez-Rodríguez M., Sánchez-Muros M. J., Vargas-García M. C., Varga Á. T., Fabrikov D. & Barroso F. G., 2024. The Effects of Slaughter Methods and Drying Temperatures on the Protein Hydrolysis of Black Soldier Fly Larvae Meal. *Animals*, 14(11), 1709. DOI : 10.3390/ani14111709.

Saadaoui I., Rasheed R., Aguilar A. *et al.*, 2021. Microalgal-based feed: promising alternative feedstocks for livestock and poultry production. *J. Animal Sci. Biotechnol*, 9(15), 12-76. https://doi.org/10.1186/s40104-021-00593-z

Selaledi L. & Mabelebele M., 2021. The Influence of Drying Methods on the Chemical Composition and Body Color of Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 12(4), 333. DOI: 10.3390/insects12040333

Shati S. M., Opiyo M. A., Nairuti R. N., Shoko A. P., Munyi F. & Ogello E. O., 2022. Black soldier fly (Hermetia illucens) larvae meal improves growth performance, feed utilization, amino acids profile, and economic benefits of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Aquatic Research*, 5(3), 238-249. DOI: 10.3153/AR22023.

Singh A., Kaur M. & Rup P. J., 2010. Mass multiplication of the green bottle fly, Lucilia sericata (Meigen) (Diptera: Calliphoridae), as an alternative protein source for poultry. *Journal of Entomology*, 7(4), 227–234. https://doi.org/10.3923/je.2010.227.234

Surendra K. C., Olivier R., Tomberlin J. K., Jha R. & Khanal S. K., 2016. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197–202. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022

Tanga C. M., Akoa A. & Fombong A. T., 2016. The use of black soldier fly larvae (Hermetia illucens) as a feed ingredient for poultry. *Poultry Science Journal*, 95(8), 1785-1793. https://doi.org/10.3382/ps/pew310

Van Huis A., 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58, 563–583. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704

Van Zanten H. H. E., Mollenhorst H., Klootwijk C. W., van Middelaar C. E. & de Boer I. J. M., 2014. Global food supply: Land use efficiency of livestock systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(1), 152–162. https://doi.org/10.1007/s11367-013-0626-8.

Vargas-Serna C. L., Pineda-Osorio A. N., Gallego-Ocampo H. L. & Plaza-Dorado J. L., 2025. Transforming Coffee and Meat By-Products into Protein-Rich Meal via Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens). *Sustainability*, 17(2), Article 460. DOI : 10.3390/su17020460.

Voisin AS., Guéguen J., Huyghe C. *et al.*, 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 34, 361–380. https://doi.org/10.1007/s13593-013-0189-y

Surendra K. C., Olivier R., Tomberlin J. K., Jha R. & Khanal S. K., 2016. Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via larvae of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Renewable Energy*, 98, 197–202. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022

Wohlfahrt J. & Sandrock C., 2023. *La farine d'insectes dans les aliments destinés aux volailles et aux poissons : potentiel et limites de cette source alternative de protéines* (*T. Stadtlander, rév; V. Gabel & S. Thanner, réd.; L. Graff, trad.)* Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), 28 p. https://doi.org/10.5281/zenodo.8271838.

Zulkifli N. F. N. M., Seok-Kian A. Y., Seng L. L., Mustafa S., Kim Y.-S. & Shapawi R., 2022. Nutritional value of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae processed by different methods. *PLOS ONE*, 17(2), e0263924. DOI: 10.1371/journal.pone.0263924.

Ruzengwe F. M., Nyarugwe S. P., Manditsera F. A., Mubaiwa J., Cottin S., Matsung T. M., Chopera, P., Ranawana V., Fiore A. & Macheka L., 2022. Contribution of edible insects to improved food and nutrition security: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 6257–6269. https://doi.org/10.1111/ijfs.15570

Sun H., Kang X., Tan H., Cai H. & Chen D., 2023. Progress in fermented unconventional feed application in monogastric animal production in China. *Fermentation*, 9(11), 2-15. https://doi.org/10.3390/fermentation91109