



Métabolisme énergétique et efficacité de bioconversion chez les larves de *Hermetia illucens* : synthèse des connaissances actuelles

[Energy Metabolism and Bioconversion Efficiency in *Hermetia illucens* Larvae: A Review of Current Knowledge]

Martin Matsanga Solo*, Coutinho Ndombele Mbembe, Léon Diambu Phola, Pascal Kokota Kongbo, Onésime Nsindu Gekuwaku, Gisele Kubindana Bonda, Gaëtan Kalala Bolokango, Patrick Kinkela Mafwila & Alexandre Tona Tona

Département de Zootechnie, Faculté des Sciences Agronomiques et environnement, Université de Kinshasa BP. 117. XI, Kinshasa, République Démocratique du Congo

Résumé

Cette revue de littérature analyse le métabolisme énergétique des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) et les facteurs susceptibles de moduler leurs performances biologiques et zootechniques. Elle a été réalisée à partir d'une analyse critique de publications scientifiques indexées dans Scopus, PubMed, Web of Science et Google Scholar entre 2010 et 2025. Les résultats montrent que les larves de *H. illucens* présentent une forte plasticité métabolique leur permettant de valoriser une grande diversité de substrats organiques en biomasse riche en protéines et en lipides. Leur efficacité de conversion alimentaire, souvent caractérisée par un FCR inférieur à 2, constitue un avantage majeur par rapport à plusieurs espèces d'élevage conventionnelles. La température, l'humidité, le pH, la densité larvaire et le rapport carbone/azote du substrat influencent directement la croissance, la survie, l'activité enzymatique et la bioconversion. Les conditions les plus favorables rapportées dans la littérature se situent généralement entre 27 et 30 °C pour la température, 60 à 70 % pour l'humidité, 6,5 à 7,0 pour le pH, et 20 à 25 pour le rapport C/N. Cette synthèse souligne l'importance d'une maîtrise intégrée des paramètres d'élevage afin d'optimiser la production larvaire et de renforcer l'utilisation de *H. illucens* dans les systèmes agroalimentaires durables.

Mots-clés : Métabolisme énergétique ; *Hermetia illucens* ; bioconversion ; performances zootechniques ; larves d'insectes ; valorisation des déchets organiques

Abstract

This literature review analyzes the energy metabolism of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and the factors that may influence their biological and zootechnical performance. It was conducted based on a critical analysis of scientific publications indexed in Scopus, PubMed, Web of Science, and Google Scholar between 2010 and 2025. The results show that *H. illucens* larvae exhibit high metabolic plasticity, enabling them to convert a wide variety of organic substrates into biomass rich in protein and lipids. Their feed conversion efficiency, often characterized by an FCR of less than 2, represents a major advantage over several conventional farmed species. Temperature, humidity, pH, larval density, and the substrate's carbon-to-nitrogen ratio directly influence growth, survival, enzymatic activity, and bioconversion. The most favorable conditions reported in the literature generally range from 27 to 30 °C for temperature, 60 to 70% for humidity, 6.5 to 7.0 for pH, and 20 to 25 for the C/N ratio. This review highlights the importance of integrated management of rearing parameters to optimize larval production and enhance the use of *H. illucens* in sustainable agri-food systems.

Keywords: Energy metabolism; *Hermetia illucens*; bioconversion; zootechnical performance; insect larvae; organic waste recycling.

*Auteur correspondant: Martin Matsanga Solo (martin solo920@gmail.com). Tél. : (+243) 817 246 750

<https://orcid.org/0009-0000-1771-0998>; Reçu le 22/05/2026; Révisé le 12/06/2026 ; Accepté le 06/07/2026

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i3.307>

Copyright: ©2026 Solo et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

La mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) est un insecte originaire des régions tropicales et subtropicales qui suscite un intérêt croissant à l'échelle mondiale en raison de ses nombreuses applications dans les domaines de la gestion des déchets organiques, de la production de protéines alternatives et de l'économie circulaire (Van Huis, 2020). Appartenant à la famille des Stratiomyidae, cette espèce se distingue par l'extraordinaire capacité de ses larves à transformer efficacement une grande variété de résidus organiques en biomasse riche en protéines et en lipides (Kaczor et al., 2023 ; Petremand et al., 2021).

Au cours de son cycle biologique, la phase larvaire constitue le stade le plus actif sur le plan métabolique. Durant cette période, les larves consomment intensément les substrats organiques et accumulent d'importantes réserves énergétiques nécessaires à leur croissance et à leur métamorphose. Cette aptitude à convertir efficacement les nutriments en biomasse fait de *H. illucens* un organisme particulièrement intéressant pour la valorisation des biodéchets et le développement de systèmes alimentaires durables (Sprangers et al., 2017 ; Gold et al., 2018).

Malgré les progrès réalisés dans l'élevage de cette espèce, plusieurs aspects liés à son métabolisme énergétique demeurent encore insuffisamment documentés. Les performances biologiques et zootechniques des larves sont fortement influencées par de nombreux facteurs environnementaux et nutritionnels tels que la température, l'humidité, le pH, la densité larvaire et la composition du substrat. Les variations de ces paramètres peuvent modifier considérablement la croissance, l'efficacité de conversion alimentaire, la composition biochimique ainsi que le rendement global de production (Harnden & Tomberlin, 2016 ; Sissoko et al., 2024).

La compréhension des mécanismes qui régissent le métabolisme énergétique de *H. illucens* apparaît ainsi comme une étape essentielle pour optimiser les systèmes d'élevage, améliorer les performances de bioconversion et renforcer l'intégration de cette espèce dans les chaînes de production agroalimentaires durables. Dans ce contexte, plusieurs travaux ont été réalisés au cours des dernières années, mais les connaissances demeurent dispersées et nécessitent une synthèse actualisée permettant d'identifier les

principaux déterminants du fonctionnement métabolique des larves.

Cette revue vise à :

- décrire les particularités du métabolisme énergétique des larves de *Hermetia illucens* ;
- analyser les facteurs environnementaux et nutritionnels modulant ce métabolisme ;
- Identifier les conditions optimales permettant d'améliorer les performances zootechniques et l'efficacité de bioconversion de cette espèce.

Cette synthèse bibliographique ambitionne ainsi de fournir une vision intégrée des connaissances actuelles sur le métabolisme énergétique de *H. illucens* et de mettre en évidence les perspectives de recherche susceptibles de contribuer à l'optimisation de son élevage à grande échelle).

2. Matériel et méthodes

2.1. Stratégie de recherche documentaire

Cette revue de littérature a été réalisée selon une démarche systématique inspirée des lignes directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), largement utilisées dans les synthèses scientifiques afin d'améliorer la transparence et la reproductibilité des recherches bibliographiques. L'objectif était d'identifier, de sélectionner et d'analyser les publications scientifiques portant sur le métabolisme énergétique des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) ainsi que sur les facteurs influençant ses performances biologiques et zootechniques.

Les recherches documentaires ont été effectuées dans plusieurs bases de données scientifiques internationales reconnues, notamment Google Scholar, Scopus, PubMed et Web of Science. Ces plateformes ont été choisies en raison de leur large couverture des publications relatives à l'entomologie appliquée, à la nutrition animale, à la valorisation des déchets organiques et aux systèmes de production durables.

2.2. Mots-clés utilisés

La recherche bibliographique a été conduite à partir de différentes combinaisons de mots-clés en français et en anglais afin d'assurer une couverture exhaustive des publications pertinentes. Les principaux termes utilisés étaient :

- *Hermetia illucens*;
- Black Soldier Fly;
- Métabolisme énergétique ;
- Energy metabolism;

- Larval growth;
- Insect nutrition ;
- Feed conversion ratio (FCR) ;
- Bioconversion efficiency;
- Substrate quality;
- Temperature effect;
- Larval density;
- Waste valorization.

Ces mots-clés ont été combinés à l'aide des opérateurs booléens AND et OR afin d'optimiser la pertinence des résultats obtenus.

2.3. Critères d'inclusion et d'exclusion

Les documents retenus pour cette revue répondaient aux critères suivants :

2.3.1. Critères d'inclusion

Articles scientifiques publiés dans des revues à comité de lecture ;

- Ouvrages scientifiques et chapitres d'ouvrages spécialisés ;
- Mémoires et thèses universitaires présentant des données expérimentales pertinentes ;
- Publications traitant du métabolisme énergétique, de la croissance, de la conversion alimentaire ou de la bioconversion chez *hermetia illucens* ;
- Études publiées entre 2010 et 2025.

2.3.2. Critères d'exclusion

- Articles ne portant pas directement sur *Hermetia illucens* ;
- Publications dépourvues de données scientifiques exploitables ;
- Documents non accessibles dans leur version intégrale ;
- Articles dupliqués dans plusieurs bases de données.

2.4. Sélection des publications

La recherche initiale a permis d'identifier plusieurs dizaines de références scientifiques. Après élimination des doublons et examen des titres, résumés et contenus complets, seules les publications répondant aux critères d'inclusion ont été retenues.

Les documents sélectionnés ont ensuite fait l'objet d'une analyse critique visant à extraire les informations relatives :

- Aux spécificités métaboliques des larves ;
- Aux mécanismes de stockage et d'utilisation de l'énergie ;
- À l'efficacité de conversion alimentaire ;
- Aux effets des facteurs environnementaux et nutritionnels ;

Aux implications zootechniques de ces mécanismes dans les systèmes de production. Cette démarche a permis de construire une synthèse actualisée des connaissances disponibles sur le métabolisme énergétique des larves de *Hermetia illucens* et d'identifier les principaux facteurs susceptibles d'améliorer leur efficacité de bioconversion.

Tableau 1. Synthèse de la stratégie bibliographique.

Élément	Description
Bases de données	Google Scholar, Scopus, PubMed, Web of Science
Période couverte	2010–2025
Langues	Français et anglais
Type de documents	Articles scientifiques, ouvrages, mémoires et thèses
Thématique principale	Métabolisme énergétique de <i>Hermetia illucens</i>
Méthode d'analyse	Analyse critique et synthèse documentaire inspirée de PRISMA

Le processus détaillé de sélection des publications est présenté à la figure 1.

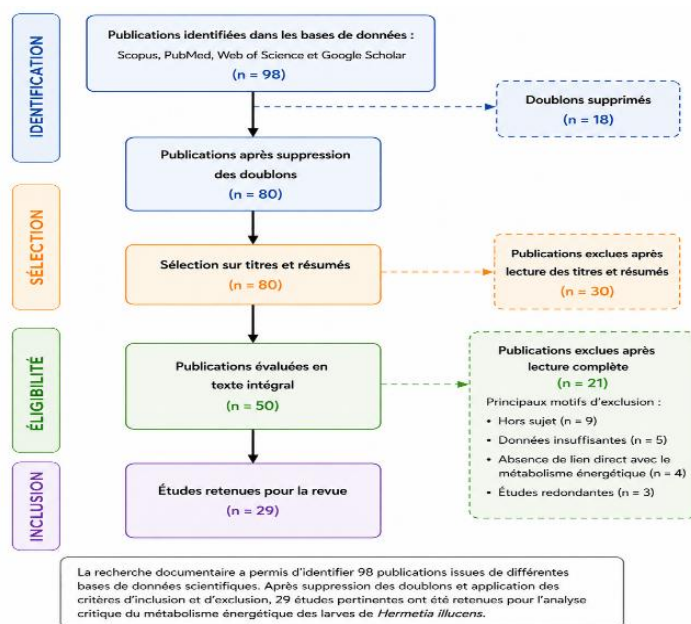


Figure 1. Diagramme de sélection des publications selon une démarche inspirée des lignes directrices PRISMA. Source : Adapté de Page et al. (2021).

Légende : La recherche documentaire a permis d'identifier 98 publications issues de différentes bases de données scientifiques. Après suppression des doublons et application des critères d'inclusion et

d'exclusion, 29 études pertinentes ont été retenues pour l'analyse critique du métabolisme énergétique des larves de *Hermetia illucens*.

3. Résultats

3.1. Spécificités du métabolisme énergétique chez les larves de *Hermetia illucens*

La mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) présente des caractéristiques physiologiques et métaboliques particulières qui expliquent son efficacité remarquable dans la valorisation des matières organiques. La phase larvaire constitue le stade biologiquement le plus actif du cycle de vie et se caractérise par une intense activité métabolique destinée à assurer l'accumulation de réserves énergétiques nécessaires à la métamorphose (Gold et al., 2018).

Les larves possèdent une importante plasticité métabolique leur permettant d'exploiter une grande diversité de substrats organiques et de convertir efficacement les nutriments en biomasse riche en protéines et en lipides (Van Huis, 2020). Les principales voies de transformation et d'allocation de l'énergie chez les larves de *H. illucens* sont résumées à la figure 2.

3.1.1. Ectothermie et variabilité métabolique

Comme la majorité des insectes, *H. illucens* est un organisme ectotherme dont la température corporelle dépend directement des conditions environnementales. Cette caractéristique influence fortement les réactions biochimiques, la croissance larvaire et l'utilisation de l'énergie.

L'effet de la température sur le métabolisme est souvent décrit à l'aide du coefficient thermique Q10, qui exprime la variation de la vitesse d'une réaction biologique consécutive à une augmentation de 10 °C de la température. Chez les insectes, les valeurs du Q10 sont généralement comprises entre 2 et 3, indiquant qu'une augmentation de 10 °C peut entraîner un doublement voire un triplement de l'activité métabolique dans les limites physiologiques tolérées (Van Huis, 2020).

Ainsi, des températures optimales favorisent la digestion, l'assimilation des nutriments et la croissance larvaire, tandis que des températures excessives induisent un stress physiologique susceptible de réduire la survie et les performances zootechniques.

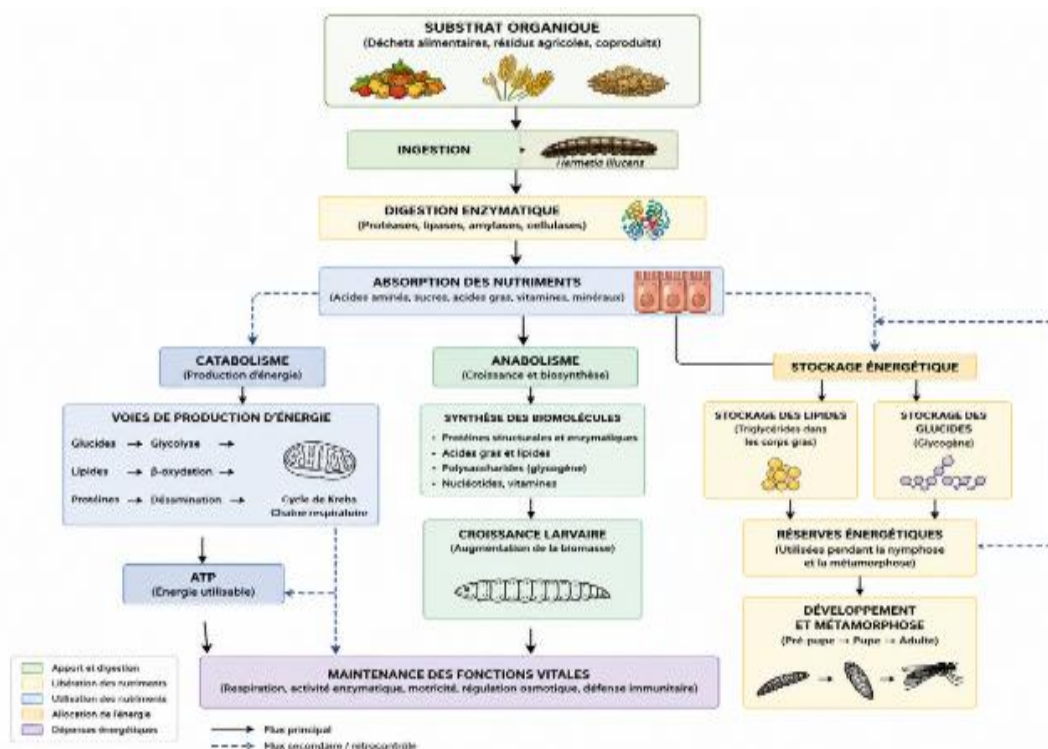


Figure 2. Représentation schématique des principales voies de transformation énergétique chez les larves de *Hermetia illucens*. Source : Gold et al. (2018)

3.1.2. Stockage énergétique

Chez *H. illucens*, l'énergie excédentaire est principalement stockée dans le corps gras, un organe multifonctionnel fonctionnellement analogue au foie et au tissu adipeux des vertébrés (Arrese & Soulages, 2010).

Ce tissu joue un rôle central dans :

- Le stockage des lipides ;
- la synthèse et le stockage du tréhalose ;
- La régulation hormonale ;
- La détoxification ;
- La réponse immunitaire.

Grâce à ces fonctions multiples, le corps gras constitue un véritable centre de régulation énergétique permettant aux larves d'assurer leur croissance rapide et leur adaptation à des conditions environnementales variables.

3.1.3. Priorité à l'anabolisme larvaire

Durant la phase larvaire, une part importante de l'énergie produite par le catabolisme est orientée vers l'anabolisme. Les nutriments assimilés sont utilisés pour la synthèse de protéines structurales, de réserves lipidiques et de nouveaux tissus destinés à préparer la métamorphose.

Cette orientation métabolique explique les taux élevés de conversion observés chez les larves de *H. illucens*, ainsi que leur capacité à accumuler rapidement une biomasse importante sur une courte période de temps (Nation, 2016).

3.1.4. Efficacité de conversion alimentaire (FCR)

L'une des caractéristiques les plus remarquables de *Hermetia illucens* réside dans son excellente efficacité de conversion alimentaire.

Cette efficacité est généralement évaluée à l'aide du Feed Conversion Ratio (FCR), défini comme le rapport entre la quantité de substrat consommée et le gain de biomasse produit (Makkar et al., 2014 ; Gold et al., 2018).

$$FCR = \frac{\text{Quantité de substrat consommée (g)}}{\text{Gain de biomasse larvaire (g)}}$$

Un faible FCR traduit une meilleure capacité de transformation du substrat en biomasse. Les larves de *H. illucens* présentent généralement un FCR inférieur à 2, ce qui témoigne d'une remarquable efficacité biologique comparativement aux espèces d'élevage conventionnelles (Makkar et al., 2014 ; Van Huis, 2020 ; Gold et al., 2018).

Tableau II. Comparaison du FCR entre différentes espèces animales. Source : Van Huis (2020)

Espèce	FCR moyen
<i>Hermetia illucens</i>	< 2
Poulet de chair	1,8 – 2,5
Porc	3 – 4
Bovin	6 – 10

Cette comparaison met en évidence le potentiel zootechnique exceptionnel de *H. illucens* dans les stratégies de production durable de protéines alternatives.

3.2.1. Dynamique des réserves énergétiques

Au cours du cycle biologique de *Hermetia illucens*, la répartition, l'accumulation et l'utilisation des réserves énergétiques évoluent considérablement en fonction des différents stades de développement. La phase larvaire constitue la période d'activité métabolique la plus intense, caractérisée par une consommation importante de matières organiques et une accumulation progressive de réserves énergétiques destinées à soutenir les processus de croissance et de métamorphose (Arrese & Soulages, 2010 ; Nation, 2016).

Les nutriments assimilés à partir du substrat sont transformés en protéines, lipides et glucides qui sont principalement stockés dans le corps gras. Cet organe joue un rôle central dans la régulation énergétique en assurant le stockage des réserves, leur mobilisation et leur redistribution vers les différents tissus selon les besoins physiologiques de l'organisme (Arrese & Soulages, 2010).

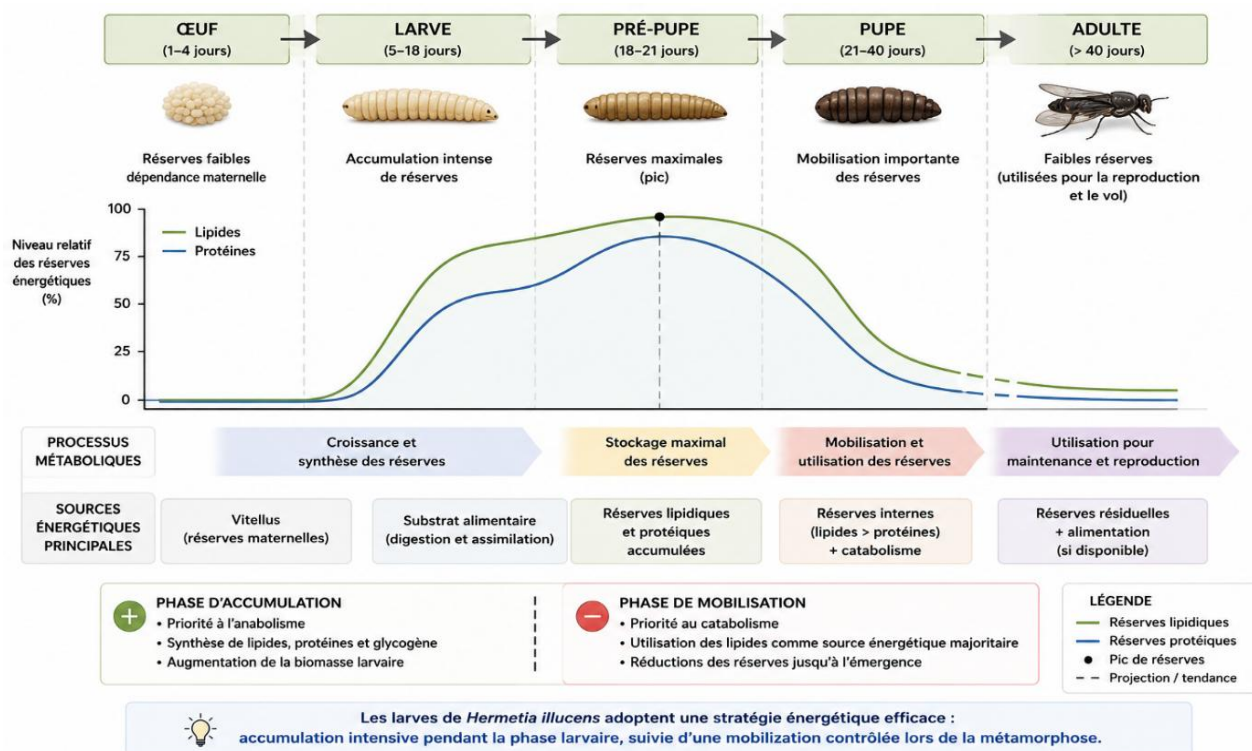
Les travaux de Spranghers et al. (2017) indiquent que les lipides peuvent représenter entre 20 et 35 % de la matière sèche des larves, tandis que la teneur en protéines peut dépasser 40 % selon la nature du substrat utilisé. De même, Ma et al. (2018) ont montré que la composition nutritionnelle du substrat influence fortement l'accumulation des réserves énergétiques et la composition corporelle finale des larves.

À mesure que les larves approchent du stade pré-pupal, l'accumulation des réserves atteint son maximum. Cette phase est marquée par une augmentation importante des réserves lipidiques et protéiques qui serviront de source d'énergie au cours de la métamorphose. Durant le stade pupal, les insectes cessent de s'alimenter et dépendent exclusivement des réserves accumulées précédemment. Les lipides stockés sont progressivement mobilisés afin de fournir

l'énergie nécessaire aux transformations morphologiques et physiologiques associées au développement de l'adulte (Gold et al., 2018).

Cette dynamique traduit l'existence d'une stratégie énergétique particulièrement efficace reposant sur une phase d'accumulation intensive suivie d'une phase de mobilisation contrôlée des réserves.

Cette capacité explique en grande partie les performances de croissance et l'efficacité de bioconversion observées chez *H. illucens*.



3.2.2. Facteurs modulant le métabolisme énergétique

Le métabolisme énergétique de *H. illucens* est fortement influencé par plusieurs paramètres environnementaux et zootechniques. La littérature montre que la température, l'humidité, le pH, la qualité nutritionnelle du substrat et la densité larvaire agissent de manière synergique sur la croissance, la survie, la conversion alimentaire et la composition biochimique des larves.

Le tableau III ci-dessous synthétise les principales conditions favorables identifiées dans la littérature scientifique pour maximiser les performances biologiques et zootechniques de *H. illucens*.

Tableau III. Conditions optimales rapportées dans la littérature pour l'élevage des larves de *Hermetia illucens*. Source : Diener et al. (2011)

Facteur	Valeur optimale	Effets observés
Rapport C/N	20–25	Croissance et conversion alimentaire optimales
Température	27–30 °C	Accélération du métabolisme et rendement maximal
Humidité du substrat	60–70 %	Digestion et assimilation optimales
pH du substrat	6,5–7,0	Activité enzymatique maximale
Densité larvaire	500 larves/500 g de substrat	Survie > 90 % et biomasse élevée

Les principales interactions rapportées dans la littérature sont illustrées à la [figure 2](#).

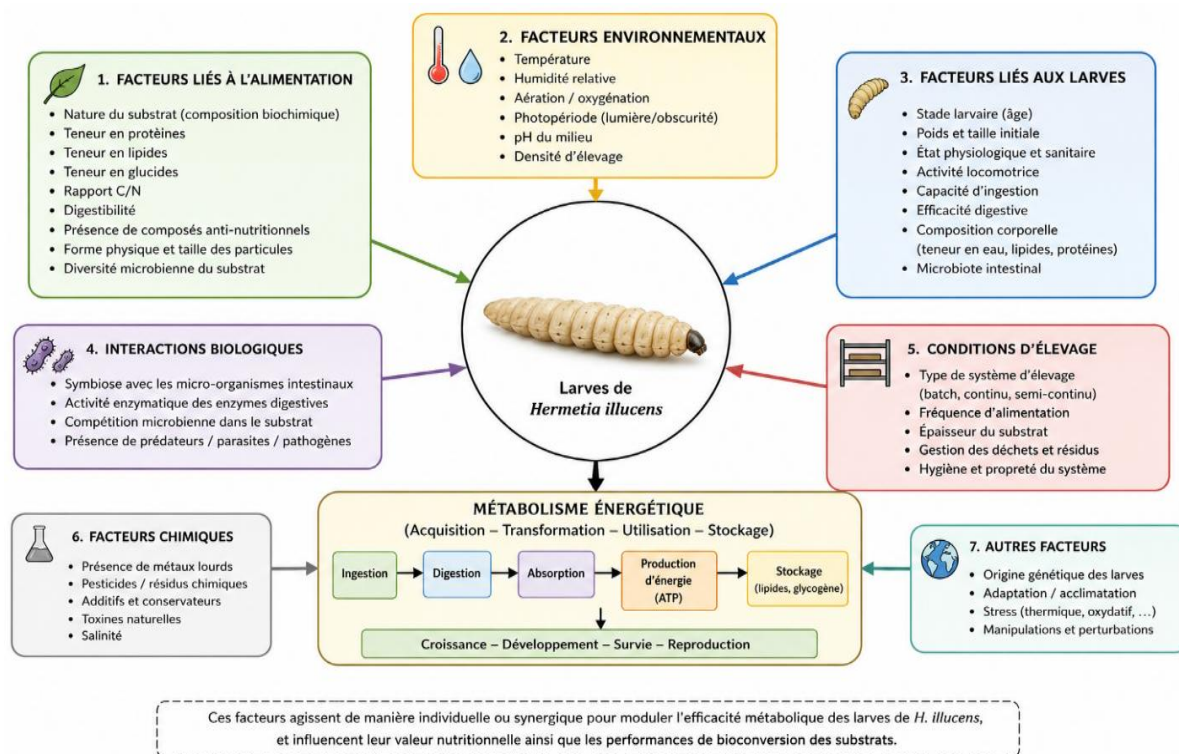


Figure 4. Facteurs influençant le métabolisme énergétique des larves de *Hermetia Illucens*. Source : [Lalander et al. \(2020\)](#)

a. Influence de la qualité du substrat

Les larves de *H. illucens* possèdent une remarquable capacité à exploiter divers types de matières organiques, notamment les déchets alimentaires, les résidus agricoles, les sous-produits agro-industriels et certains effluents d'élevage ([Diener et al., 2011](#)).

Toutefois, la composition nutritionnelle du substrat influence directement les performances métaboliques. Plusieurs études montrent qu'un rapport carbone/azote (C/N) compris entre 20 et 25 favorise une croissance rapide et une meilleure efficacité de conversion alimentaire ([Jucker et al., 2017](#)).

Les substrats riches en protéines augmentent la teneur protéique des larves, pouvant atteindre 43 % de la matière sèche, tandis que les substrats riches en lipides favorisent l'accumulation de triglycérides jusqu'à 36 % de la matière sèche ([Lalander et al., 2019](#)).

b. Influence de la température

La température constitue l'un des principaux déterminants du métabolisme énergétique des larves.

Les travaux de [Holmes et al. \(2012\)](#) montrent qu'à 30 °C les larves atteignent leur poids maximal en environ 14 jours, contre plus de 25 jours à 20 °C. De même, [Harnden & Tomberlin \(2016\)](#) rapportent que les taux de survie dépassent 90 % dans une plage comprise entre 27 et 30 °C. Au-delà de 35 °C, les performances diminuent fortement en raison du stress thermique, tandis que des températures inférieures à 20 °C ralentissent considérablement la croissance et l'activité enzymatique.

c. Influence de l'humidité du substrat

L'humidité joue un rôle déterminant dans la disponibilité des nutriments, l'activité microbienne et les processus digestifs.

Les études indiquent qu'une humidité comprise entre 60 et 70 % favorise une assimilation optimale des nutriments et une réduction efficace de la masse des déchets organiques ([Cheng et al., 2017](#)).

À l'inverse, une humidité insuffisante limite l'ingestion des nutriments tandis qu'un excès d'eau favorise les conditions anaérobies susceptibles d'affecter négativement les performances larvaires.

d. Influence du pH du substrat

Le pH influence directement l'activité des enzymes digestives et la structure des communautés microbiennes présentes dans le substrat.

Les meilleures performances sont généralement observées dans des conditions légèrement acides à neutres, avec un pH compris entre 6,5 et 7,0 (Lalander et al., 2019).

En dehors de cette plage, la croissance, la survie et la bioconversion diminuent progressivement.

e. Influence de la densité larvaire

La densité larvaire constitue un facteur de gestion essentiel dans les systèmes de production.

Une densité modérée d'environ 500 larves pour 500 g de substrat permet généralement d'obtenir les meilleurs compromis entre croissance, survie et rendement de conversion (Cammack & Tomberlin, 2017).

En revanche, des densités excessives augmentent la compétition alimentaire, favorisent l'accumulation de chaleur et réduisent significativement la biomasse individuelle produite.

4. Discussion

4.1. Importance de la qualité du substrat dans la régulation du métabolisme énergétique

Les résultats rapportés dans la littérature montrent que la qualité nutritionnelle du substrat constitue l'un des principaux déterminants du métabolisme énergétique chez les larves de *Hermetia illucens*. En effet, la croissance, la composition corporelle et l'efficacité de conversion alimentaire dépendent fortement de la disponibilité des nutriments et de leur équilibre dans le substrat.

Les travaux de Lalander et al. (2019) démontrent que les substrats riches en protéines favorisent une accumulation accrue de protéines dans la biomasse larvaire, tandis que les substrats riches en lipides stimulent davantage le stockage des réserves énergétiques sous forme de triglycérides. Ces observations corroborent celles de Spranghers et al. (2017), qui ont mis en évidence une importante plasticité métabolique permettant aux larves d'adapter leur composition corporelle à la nature des ressources disponibles.

Cette capacité d'ajustement représente un avantage majeur pour les systèmes de valorisation des déchets organiques, car elle permet d'utiliser une grande diversité de substrats tout en maintenant des performances biologiques satisfaisantes. Toutefois, les

substrats très riches en fibres semblent limiter la digestibilité et ralentir la croissance larvaire, ce qui souligne l'importance de leur caractérisation préalable avant leur utilisation dans les unités de production.

4.2. Température et efficacité métabolique : un facteur déterminant

Parmi les facteurs environnementaux étudiés, la température apparaît comme le principal régulateur du métabolisme énergétique chez *H. illucens*.

Les travaux de Holmes et al. (2012), Harnden et Tomberlin (2016) et Cheng et al. (2017) convergent vers l'existence d'une plage optimale comprise entre 27 et 30 °C permettant d'obtenir les meilleures performances zootechniques. Dans cette zone thermique, les réactions enzymatiques sont maximisées, la consommation alimentaire augmente et l'efficacité de conversion des nutriments est améliorée.

Ces résultats s'expliquent par la nature ectotherme de l'espèce. Comme chez la majorité des insectes, la température influence directement l'intensité des réactions métaboliques selon le principe du coefficient thermique Q10. Cependant, au-delà de certaines limites physiologiques, l'augmentation de la température devient défavorable et provoque un stress thermique susceptible de réduire la survie et les performances de croissance.

Cette observation revêt une importance particulière dans les pays tropicaux, où la maîtrise des conditions thermiques pourrait constituer un levier majeur d'amélioration des systèmes d'élevage de la mouche soldat noire.

4.3. Interactions entre humidité, pH et activité microbienne

L'humidité et le pH du substrat influencent simultanément la digestion, la disponibilité des nutriments et l'activité des microorganismes impliqués dans la dégradation des matières organiques.

Les résultats obtenus par Cheng et al. (2017) et Lalander et al. (2019) indiquent qu'une humidité comprise entre 60 et 70 % favorise les meilleures performances larvaires. Cette plage semble offrir un compromis optimal entre l'accessibilité des nutriments et l'oxygénation du substrat.

De même, un pH proche de la neutralité favorise l'activité enzymatique et améliore l'efficacité de bioconversion. Lorsque le pH s'écarte fortement de cette zone optimale, une diminution significative de la croissance et de la survie est observée.

Ces résultats suggèrent que les performances métaboliques de *H. illucens* ne dépendent pas uniquement de la composition chimique du substrat, mais également des conditions physico-chimiques qui déterminent son fonctionnement biologique global.

4.4. Effets de la densité larvaire sur les performances zootechniques

La densité larvaire influence directement la compétition pour les ressources alimentaires ainsi que les conditions microclimatiques du substrat.

Les études analysées montrent qu'une densité modérée améliore l'efficacité globale du système de production en optimisant simultanément la croissance, la survie et la conversion alimentaire. À l'inverse, des densités excessives entraînent une augmentation de la température locale, une diminution de la disponibilité des nutriments et une réduction de la biomasse individuelle produite.

Les observations de [Cammack & Tomberlin \(2017\)](#) indiquent qu'une densité d'environ 500 larves pour 500 g de substrat représente actuellement l'une des références les plus fréquemment citées pour assurer des performances optimales.

4.5. Implications pour les systèmes de production durable

Les caractéristiques métaboliques de *Hermetia illucens* confèrent à cette espèce un intérêt particulier dans le contexte actuel de transition vers des systèmes agroalimentaires plus durables.

Son excellente efficacité de conversion alimentaire, sa capacité à valoriser divers déchets organiques et sa production rapide d'une biomasse riche en protéines et en lipides constituent des atouts majeurs pour réduire la dépendance aux sources conventionnelles de protéines destinées à l'alimentation animale.

Les résultats de cette revue confirment que l'optimisation simultanée du substrat, de la température, de l'humidité, du pH et de la densité larvaire permettrait d'améliorer considérablement les rendements de production tout en renforçant la valorisation des biodéchets dans une logique d'économie circulaire.

4.6. Limites des connaissances actuelles

Malgré les progrès réalisés au cours des dernières années, plusieurs aspects du métabolisme énergétique de *H. illucens* demeurent insuffisamment explorés.

Les mécanismes moléculaires responsables de l'allocation énergétique, de la régulation hormonale et de l'adaptation aux différents substrats restent encore partiellement compris. De plus, les interactions entre le

microbiote intestinal et les performances métaboliques font l'objet d'un nombre limité d'études.

Enfin, la majorité des travaux disponibles ont été réalisés dans des conditions expérimentales contrôlées, ce qui limite parfois l'extrapolation des résultats aux systèmes de production à grande échelle.

4.7. Perspectives et défis futurs

L'intérêt croissant porté à *Hermetia illucens* dans les domaines de la valorisation des déchets organiques, de la nutrition animale et de l'économie circulaire ouvre de nombreuses perspectives de recherche. Malgré les avancées significatives enregistrées au cours de la dernière décennie, plusieurs mécanismes biologiques et métaboliques demeurent encore insuffisamment explorés.

4.8. Rôle du microbiote intestinal

Le microbiote intestinal joue un rôle fondamental dans la digestion, l'assimilation des nutriments et la résistance aux agents pathogènes chez de nombreux insectes. Chez *Hermetia illucens*, plusieurs études récentes suggèrent que les communautés microbiennes associées au tube digestif participent activement à la dégradation des matières organiques complexes et influencent directement les performances de croissance et de bioconversion ([Auger et al., 2025](#) ; [Pei et al., 2023](#)).

Les travaux de [Pei et al. \(2023\)](#) ont notamment montré que certaines populations microbiennes intestinales contribuent à la dégradation de composés complexes et à l'amélioration de l'efficacité métabolique des larves. De même, [Auger et al. \(2025\)](#) soulignent l'importance des interactions entre le microbiote intestinal et la qualité des substrats utilisés en élevage.

Une meilleure compréhension des relations entre les larves et leur microbiote pourrait permettre le développement de stratégies innovantes visant à améliorer l'efficacité alimentaire, la vitesse de croissance et la qualité nutritionnelle de la biomasse produite.

4.9. Approches transcriptomiques et régulation génétique

Les progrès récents des technologies de séquençage offrent de nouvelles possibilités pour l'étude approfondie de l'expression des gènes impliqués dans le métabolisme énergétique de *H. illucens*.

Les approches transcriptomiques permettent désormais d'identifier les gènes associés à la digestion des nutriments, au stockage énergétique, à la résistance au stress environnemental et à l'adaptation aux différents substrats organiques. À cet égard, [Zhang et](#)

al. (2025) ont mis en évidence plusieurs voies moléculaires impliquées dans l'adaptation métabolique des larves à différents types de déchets alimentaires.

Ces travaux ouvrent des perspectives importantes pour la compréhension des mécanismes biologiques qui sous-tendent les performances zootechniques exceptionnelles de cette espèce.

4.10. Métabolomique et protéomique

La métabolomique et la protéomique constituent aujourd'hui des outils prometteurs pour mieux comprendre les mécanismes biochimiques régissant la croissance et le développement des larves de *H. illucens*.

Selon Zhang et al. (2025), l'analyse conjointe du transcriptome et du métabolome permet d'identifier les principaux métabolites impliqués dans les voies énergétiques et les mécanismes d'adaptation physiologique aux variations du régime alimentaire. Ces approches pourraient contribuer à optimiser les stratégies alimentaires et à améliorer les performances de bioconversion observées dans les systèmes d'élevage industriels.

4.11. Interactions génotype–nutrition

La littérature scientifique demeure encore limitée concernant les interactions entre le patrimoine génétique des populations de *H. illucens* et leur réponse aux différents régimes alimentaires. Toutefois, les travaux récents de Zhang et al. (2025) suggèrent que l'adaptation des larves à différents substrats alimentaires peut s'accompagner de modifications de l'expression génique et des profils métaboliques, traduisant une interaction étroite entre facteurs génétiques et environnement nutritionnel.

Des recherches futures devront permettre d'identifier les déterminants génétiques responsables des variations observées dans la croissance, la composition corporelle et l'efficacité de conversion alimentaire. Une meilleure connaissance de ces interactions favoriserait l'adaptation des protocoles d'élevage aux caractéristiques biologiques des différentes populations et contribuerait au développement de programmes de sélection visant à améliorer les performances zootechniques de l'espèce (Zhang et al., 2025).

4.12. Sélection génétique et amélioration des performances

À l'instar des espèces animales conventionnelles, la sélection génétique pourrait constituer un levier

majeur d'amélioration des performances biologiques et économiques de *H. illucens*.

Les travaux récents de Zaalberg et al. (2025) démontrent l'intérêt de nouvelles approches de caractérisation phénotypique et nutritionnelle pour identifier les individus présentant les meilleures performances de croissance et de conversion alimentaire.

Les futurs programmes de sélection pourraient ainsi cibler :

- La vitesse de croissance ;
- L'efficacité de conversion alimentaire ;
- La résistance aux maladies ;
- La tolérance aux variations environnementales ;
- L'amélioration de la teneur en protéines et en lipides.

Le développement de lignées performantes contribuerait à renforcer la compétitivité économique de la filière et à accélérer son industrialisation.

4.13. Défis pour le développement industriel de la filière

Malgré son fort potentiel, l'expansion de la filière *Hermetia illucens* demeure confrontée à plusieurs défis techniques, économiques et réglementaires.

Parmi les principaux défis figurent :

- La standardisation des substrats utilisés ;
- L'optimisation des systèmes d'élevage à grande échelle ;
- La maîtrise des paramètres environnementaux ;
- La sécurisation sanitaire des produits dérivés ;
- L'harmonisation des cadres réglementaires relatifs à l'utilisation des insectes dans l'alimentation animale.

Les études récentes portant sur le microbiote intestinal, la transcriptomique, la métabolomique et l'amélioration génétique démontrent que l'avenir de la filière reposera largement sur l'intégration des approches moléculaires et zootechniques afin d'améliorer durablement les performances de production (Auger et al., 2025 ; Pei et al., 2023 ; Zhang et al., 2025 ; Zaalberg et al., 2025).

4.14. Conclusion de cette section

Les perspectives de recherche identifiées montrent que le métabolisme énergétique de *Hermetia illucens* reste un domaine scientifique en pleine évolution. L'intégration des approches moléculaires, microbiologiques et zootechniques permettra de mieux

comprendre les mécanismes biologiques sous-jacents aux performances exceptionnelles de cette espèce et de renforcer son rôle dans la transition vers des systèmes de production plus durables.

5. Conclusion

Cette revue de littérature a permis de mettre en évidence les principaux mécanismes qui régissent le métabolisme énergétique des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*), espèce aujourd'hui considérée comme l'une des ressources biologiques les plus prometteuses pour la valorisation des déchets organiques et la production durable de protéines alternatives.

L'analyse des travaux scientifiques disponibles montre que les performances biologiques et zootechniques des larves dépendent étroitement de plusieurs facteurs environnementaux et nutritionnels, notamment la qualité du substrat, le rapport carbone/azote (C/N), la température, l'humidité, le pH ainsi que la densité larvaire. Parmi ces facteurs, la température apparaît comme le principal régulateur du métabolisme énergétique, tandis que la composition nutritionnelle du substrat influence directement la croissance, la composition corporelle et l'efficacité de conversion alimentaire.

Les résultats de cette synthèse soulignent également l'exceptionnelle capacité de *H. illucens* à transformer efficacement une grande variété de matières organiques en biomasse riche en protéines et en lipides. Cette caractéristique, associée à un indice de conversion alimentaire particulièrement favorable, confère à cette espèce un avantage considérable par rapport à plusieurs productions animales conventionnelles.

Au-delà de son intérêt zootechnique, la mouche soldat noire représente une solution innovante répondant simultanément à plusieurs enjeux mondiaux, notamment la gestion durable des déchets, la réduction de la pression exercée sur les ressources halieutiques utilisées pour la fabrication de farines de poisson et le développement de systèmes alimentaires plus résilients et respectueux de l'environnement.

Toutefois, malgré les progrès scientifiques réalisés ces dernières années, plusieurs zones d'ombre subsistent concernant les mécanismes moléculaires impliqués dans la régulation du métabolisme énergétique, les interactions entre le microbiote intestinal et les performances biologiques, ainsi que les effets des variations génétiques entre populations. Ces lacunes justifient la poursuite des recherches intégrant

des approches multidisciplinaires combinant physiologie, génétique, microbiologie et sciences zootechniques.

En définitive, une meilleure compréhension des facteurs modulant le métabolisme énergétique de *Hermetia illucens* constitue un préalable essentiel à l'optimisation des systèmes d'élevage et à l'industrialisation durable de cette filière émergente.

Les connaissances synthétisées dans cette revue fournissent ainsi une base scientifique solide pour orienter les futurs travaux de recherche et accompagner le développement des insectes comme source durable de protéines dans les systèmes agroalimentaires du futur.

Remerciements

Nous tenons à remercier le Centre d'Étude Technique et d'Appui aux Initiatives Locales de Développement (CEATILD), le Bureau d'Étude Vision Agriculture-Environnement (VAE) ainsi que la Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement de l'Université de Kinshasa (Unikin).

Financement

Les auteurs ont eux-mêmes financé cet article scientifique.

Conflit d'Intérêt

Les auteurs affirment qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt.

Considérations Ethiques

Cette étude a été réalisée en suivant une conduite responsable qui respecte les principes et normes morales.

Contribution des Auteurs

M. M. S. a conçu l'étude, assuré sa supervision générale, rédigé le manuscrit principal et validé la version finale.

A.T.T. a contribué à la rédaction du manuscrit et participé à la mise en forme du document.

C.N.M. a contribué à l'amélioration du manuscrit.

L. D. P. a contribué à la rédaction du manuscrit.

J.L.G. a apporté un appui scientifique à la rédaction et participé à la supervision de l'étude.

P.K.K. a procédé à la validation du document et a approuvé la version finale destinée à la soumission.

G.K.B. a contribué à la rédaction du manuscrit et a participé à la mise en forme du document.

O.N.G. a contribué à la rédaction du manuscrit et a participé à la mise en forme du document.

G.K.B. a validé le document et approuvé la version finale

P.M.K. a orienté la thématique de recherche, assuré l'encadrement scientifique et validé le document final.

Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit.

Orcid des auteurs

Solo M.M. : <https://orcid.org/0009-0000-1771-0998>;

Tona T. A.: <https://orcid.org/0009-0003-8576-7613>;

Ndombele M.C: <https://orcid.org/0009-0008-2968-7316>

Phola D.L.: <https://orcid.org/0009-0005-2031-0078>;

Kongbo K. P.: <https://orcid.org/0009-0006-3126-3366>;

Gekuwaku N.O: <https://orcid.org/0009-0001-8172-7564>;

Bonda K. J : <https://orcid.org/0000-0001-8740-1111>;

Bolokango K.G: <https://orcid.org/0000-0001-9259-7170>;

Mafwila K.P.: <https://orcid.org/0009-0005-8498-6632>.

Références bibliographiques

Arrese, E. L., & Soulages, J. L. (2010). Insect fat body: Energy, metabolism, and regulation. *Annual Review of Entomology*, 55, 207–225. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-112408-085356>

Baabouche, D., Baabouche, C., Dif, A., & Azzoug, S. (2023). *Étude de la composition d'Hermetia illucens, son activité antimicrobienne et son application dans l'alimentation des poulets de chair* [Mémoire de fin d'études, Université Mohamed Boudiaf de M'Sila].

Banks, I. J., Gibson, W. T., & Cameron, M. M. (2014). Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Tropical Medicine & International Health*, 19(1), 14–22. <https://doi.org/10.1111/tmi.12228>

Belalia, S. (2018). *Étude de faisabilité d'un système de production de larves de Hermetia illucens à petite échelle basé sur le recyclage des déchets organiques et leur valorisation pour l'aviculture et le maraîchage familial au Ghana* [Mémoire de

master, Gembloux Agro-Bio Tech, Université de Liège].

Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2017). The impact of diet protein and carbohydrate on life-history traits of the black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Insects*, 8(2), 56. <https://doi.org/10.3390/insects8020056>

Cheng, J. Y. K., Chiu, S. L. H., & Lo, I. M. C. (2017). Effects of moisture content and pH on biodegradation of food waste by black soldier fly larvae. *Waste Management*, 67, 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.046>

Chown, S. L., & Nicolson, S. W. (2004). *Insect physiological ecology: Mechanisms and patterns*. Oxford University Press.

Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2011). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 29(9), 967–973. <https://doi.org/10.1177/0734242X11413335>

Goergen, G., DuPont, P., & Neuenschwander, P. (2011). *Biodiversité des insectes*. International Institute of Tropical Agriculture (IITA).

Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrugg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>

Harnden, L. M., & Tomberlin, J. K. (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic Science International*, 266, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.007>

Holmes, L. A., Van Laerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2012). Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 41(4), 971–978. <https://doi.org/10.1603/EN12054>

Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M. G., Lupi, D., & Savoldelli, S. (2017). Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental Entomology*, 46(6), 1415–1423. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx154>

Kaczor, M., Bulak, P., Proc-Pietrycha, K., Kirichenko-Babko, M., & Bieganski, A. (2023). The

- variety of applications of *Hermetia illucens* in industrial and agricultural areas: A review. *Biology*, 12(1), 25. <https://doi.org/10.3390/biology12010025>
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrugg, C., & Vinnerås, B. (2020). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Waste Management*, 102, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>
- Ma, J., Lei, Y., Rehman, K. U., Yu, Z., Zhang, J., Li, W., Li, Q., Tomberlin, J. K., & Zheng, L. (2018). Dynamic effects of feedstock on nutrient metabolism of black soldier fly larvae. *Science of the Total Environment*, 627, 1313–1320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.277>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (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.2014.07.008>
- Nation, J. L. (2016). *Insect physiology and biochemistry* (3rd ed.). CRC Press.
- Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). An open system for farming black soldier fly larvae as a source of proteins for small-scale poultry and fish production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(1), 51–56. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0030>
- Petremand, G., Petitpierre, N., & Yvon, C. (2021). Observations de la mouche soldat noire, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) à Genève (Diptera : Stratiomyidae). *Entomo Helvetica*, 14, 155–158.
- Sissoko, D., Maïga, M. A., Sagara, B., Cissé, M. B. M., Coulibaly, D., Samba, M., & Doumbia, F. (2024). Effet de différents substrats sur le développement et la croissance des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) au Mali. *Revue Scientifique Biannuelle de l'Université de Ségou*, 4(1), 32–48.
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovyen, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>
- Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2009). Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 102(3), 376–382. <https://doi.org/10.1603/008.102.0306>
- Université Mentouri Constantine. (2019). *Le corps gras chez les insectes* (Chapitre X, Physiologie des insectes, Licence 3 Entomologie). Université Mentouri Constantine.
- Van Huis, A. (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: A review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(1), 27–44. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017>
- Auger, L., Deschamps, M.-H., Vandenberg, G., & Derome, N. (2025). Beyond the ban: Bacterial microbiota analysis of *Hermetia illucens* larvae in the context of European regulation. *Journal of Insects as Food and Feed*.
- Pei, Y., Zhang, Y., & Li, X. (2023). Comparative metagenomic and metatranscriptomic analyses reveal intestinal microbial functions involved in antibiotic degradation by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Microbiology Spectrum*, 11(4). <https://doi.org/10.1128/spectrum.04551-22>
- Zhang, B., Yang, R., Yuan, Z., Su, H., Shi, J., He, S., Dai, S., Sun, D., Zhao, Z., Hu, Q., & Wu, D. (2025). Transcriptomic and metabolomic mechanisms underlying adaptive differentiation of black soldier fly larvae induced by regional food waste domestication. *Biology*, 14(11), 1584. <https://doi.org/10.3390/biology14111584>
- Zaalberg, R. M., Andersen, L. B., Noel, S. J., Buitenhuis, A. J., Jensen, K., & Gebreyesus, G. (2025). Prediction of amino acid content in live black soldier fly larvae using near infrared spectroscopy. *Animal Feed Science and Technology* (sous presse).
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.