
**ÉVALUATION DE LA DIGESTIBILITÉ POUR AMÉLIORER
L'EFFICIENCE DE CONVERSION ALIMENTAIRE CHEZ
LES LARVES DE MOUCHE SOLDAT NOIRE (*HERMETIA ILLUCENS*)**

***DIGESTIBILITY ASSESSMENT FOR IMPROVING
THE FEED CONVERSION EFFICIENCY
OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE (*HERMETIA ILLUCENS*)***

Thèse de Jérémy **GUILLAUME**¹

Analysée par Françoise **MÉDALE**²

Directeur de thèse : Philippe **SCHMIDELY**, Professeur AgroParisTech, HDR
Co-directeur : Frédéric **MARION-POLL**, Professeur AgroParisTech, HDR

Le manuscrit de la thèse de Jérémy GUILLAUME est rédigé en anglais, mais comporte un résumé détaillé en français qui synthétise fidèlement le contenu des différents chapitres. L'introduction présente la structure du document et annonce le contenu des différentes parties. Le premier chapitre est consacré à une analyse de l'état de l'art, richement documentée à partir de la littérature scientifique récente et agrémentée d'une iconographie soignée. Y sont présentés successivement le besoin de nouvelles ressources alimentaires produites de façon durable pour la sécurité alimentaire mondiale, l'intérêt des insectes pour l'alimentation humaine et animale, étayé par des données sur leur composition, la réglementation en vigueur, les techniques de production, les producteurs et leurs objectifs économiques, et environnementaux, ainsi qu'une analyse approfondie des connaissances disponibles sur l'utilisation de farines d'insectes dans les rations alimentaires de différentes espèces d'élevage, sur le cycle de développement de la mouche soldat noire, sur sa physiologie digestive et ses besoins nutritionnels. Cet état de l'art se termine par une synthèse des connaissances en matière de digestibilité des composants d'une matière première et les difficultés à la mesurer chez les larves de la mouche soldat noire. Ce premier chapitre permet de bien comprendre le contexte de la thèse, les lacunes en termes de connaissances et de méthodologie, l'intérêt de formuler les régimes alimentaires sur la base de données de digestibilité et la nécessité de trouver une méthode fiable d'évaluation de la digestibilité adaptée aux particularités d'élevage des larves de mouche soldat noire, ce qui justifie le choix des objectifs de la thèse. Ceux-ci sont présentés dans le chapitre 2, où est aussi expliquée la stratégie pour les atteindre. Les résultats des travaux expérimentaux sont exposés et discutés dans les chapitres 3 à 6. La discussion générale (chapitre 7) reprend les résultats obtenus en les comparant à ceux obtenus chez d'autres espèces d'élevage et en analysant leurs limites, puis propose de nombreuses perspectives de travail pour améliorer les connaissances

¹ Thèse de doctorat pour obtenir le grade de docteur de l'Université de l'Université Paris-Saclay. École doctorale n°581 : agriculture, alimentation, biologie, environnement, santé (ABIES). Spécialité de doctorat : Sciences animales. Graduate School : Biosphera., préparée dans l'UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech et dans le Département R&D d'Agronutris Saint-Orens de Gameville, présentée et soutenue le 24 avril 2024.

² Membre correspondant de l'Académie d'agriculture de France, section 3 « Élevages ».

scientifiques sur les insectes d'élevage et répondre aux besoins de la production industrielle dans ce domaine en plein essor.

Le travail de thèse de Jérémy GUILLAUME porte sur l'étude de la digestion chez les larves de la mouche soldat noire, *Hermetia illucens* (en anglais Black soldier fly larvae, BSFL), insecte le plus couramment élevé pour l'alimentation animale en raison de son cycle de développement court (35 à 40 jours en conditions optimales), et son fort potentiel de croissance. L'objectif global est de mieux comprendre la relation entre la digestibilité des composants alimentaires et l'efficacité de conversion des aliments, afin d'optimiser la production de cet insecte. Les méthodes habituellement utilisées pour évaluer la digestibilité chez les autres espèces animales dont certaines autres espèces d'insectes, ne peuvent pas être transposées car elles nécessitent une évaluation précise des quantités ingérées et/ou la collecte de fèces, qui sont impossibles dans le cas des larves de la mouche soldat noire. En effet, celles-ci vivent dans leur substrat alimentaire, qui est semi-humide et auquel se mélangent les *excreta* gluants, les exuvies et éventuellement des larves mortes, l'ensemble étant dénommé "frass".

Les travaux expérimentaux ont consisté à développer et évaluer deux approches d'estimation de la digestibilité chez les larves de la mouche soldat noire, à étudier des facteurs de variation puis à explorer la digestion de l'amidon et son lien avec l'activité de l'amylase.

La méthodologie innovante d'évaluation de la digestibilité développée durant la thèse est basée sur la distribution d'une quantité identique de substrat pendant un temps donné à un nombre de larves croissant (gradient de densité larvaire de 0 à 29 larves/cm²) de façon à mettre en évidence l'augmentation de la digestibilité jusqu'à ce qu'elle atteigne une asymptote qui suppose l'ingestion totale de l'aliment distribué. Pour cette raison la méthode est intitulée "digestibilité asymptotique estimée". Sa mise au point, réalisée avec un aliment standard pour poulet, réhydraté, est présentée dans le chapitre 3 sous forme de l'article paru dans « Journal of Insects as Food and Feed » légèrement remanié. Le modèle utilisé indique que les valeurs les plus élevées de digestibilité sont obtenues avec une densité de 11,4 larves/cm², qui correspond à la densité à laquelle le taux de conversion de l'aliment est optimum. Le chapitre est complété par les résultats d'autres essais d'estimation de la digestibilité de la matière sèche, de l'amidon et des protéines de deux co-produits agricoles (gluten de maïs, rebuts de pomme de terre) avec cette méthode. L'étude des facteurs de variation, rapportée dans le chapitre 4, montre que l'estimation de la digestibilité peut être réalisée en faisant varier les durées d'alimentation et en maintenant fixe la quantité de substrat et la densité de larves de mouche soldat noire. L'incidence de l'hydratation du substrat a aussi été investiguée. Contrairement à l'hypothèse de départ, elle conduit à une baisse de la digestibilité asymptotique estimée. Une autre approche, utilisant l'oxyde de chrome comme marqueur inerte, a été explorée (chapitre 5), pour le régime référence (aliment poulet hydraté) et quatre coproduits agricoles : gluten de maïs, son de blé, grains de blé de distillerie, rebuts de pomme de terre. La principale limite de cette méthode est la quantité d'échantillons nécessaire pour réaliser les analyses, d'autant que, si elle permet de s'affranchir de la mesure de l'ingéré, elle nécessite la collecte de déjections pures, non contaminées par de l'aliment. De ce fait, seule la digestibilité de la matière sèche a pu être évaluée. Les valeurs obtenues sont proches des valeurs estimées par la méthode asymptotique pour la majorité des substrats. Ces tests semblent confirmer que l'oxyde de chrome est bien indigestible chez les larves de mouche soldat noir et ne détériore pas leur croissance. Il peut donc être utilisé comme marqueur pour évaluer la digestibilité comme chez d'autres espèces. Enfin la dernière partie des travaux expérimentaux a été consacrée à étudier la digestion de l'amidon. Ce choix paraît surprenant dans la mesure où les valeurs de digestibilité de l'amidon issues des essais précédents (chapitre 3) suggèrent de hautes capacités des larves de la mouche soldat noire à le digérer. L'investigation de la digestion protéique aurait semblé plus pertinente notamment pour

contribuer à optimiser l'efficacité protéique, les larves de BSF étant élevées en particulier pour fournir des protéines pour l'alimentation animale. Cependant, les travaux réalisés sur la digestion de l'amidon apportent de nouvelles connaissances tout à fait intéressantes (chapitre 6) notamment sur les caractéristiques de l'amylase et l'évolution de son activité au cours du développement de la larve de BSF. De plus, les essais sans larve mettent en évidence la contribution de la microflore du frass dans la digestion, qui diffère selon les substrats.

La discussion générale reprend les résultats rapportés dans les chapitres précédents et analyse les limites de chacune des approches testées. Les valeurs de digestibilité sont comparées à celles connues chez le poulet et le porc et des hypothèses pouvant expliquer les différences (sensibilité à des facteurs antinutritionnels par exemple) sont émises. Une des principales limites des approches testées est liée à l'activité microbienne dans le frass, qui peut contribuer à la fois à la digestion et à l'interconversion des nutriments (synthèse de peptides à partir des fibres par exemple) et ainsi affecter la fiabilité des résultats de digestibilité. Dans la suite de la discussion, de nombreuses pistes de recherches sont évoquées concernant d'une part la biologie de la mouche soldat noire (facteurs affectant l'ingestion et sa régulation, rôles et régulations des enzymes digestives, besoins nutritionnels en fonction de la température d'élevage, génétique) d'autre part, la technologie alimentaire (taille des particules, facteurs antinutritionnels, taux d'humidité texture et viscosité...) et, au-delà, le bien-être des insectes et l'empreinte environnementale de leurs conditions d'élevage.

Le travail conséquent réalisé par Jérémy Guillaume est original car il aborde un volet de la nutrition des insectes encore peu exploré. Il permet de proposer une méthode inédite d'estimation de la digestibilité des composants alimentaires chez les larves de mouche soldat noire qui, moyennant quelques ajustements et tests à plus grande échelle, pourra être appliquée dans le cadre de la production industrielle de cet insecte. Les essais expérimentaux ont produit de premières valeurs de digestibilité de différents substrats alimentaires (gluten de maïs, son de blé, grains de blé de distillerie, rebuts de pommes de terre), encourageant à les poursuivre pour alimenter des bases de données en combinant approches *in vitro* et *in vivo* et à terme développer des modèles prédictifs. Enfin les résultats font progresser les connaissances sur la digestion de l'amidon chez la larve de mouche soldat noire.

Les travaux de cette thèse ont été valorisés sous forme de deux articles en premier auteur parus dans des journaux internationaux spécialisés du domaine et d'un bon niveau. Ils ont aussi fait l'objet de trois communications orales et trois posters dans des congrès internationaux, tous avec Jérémy Guillaume en premier auteur.

L'originalité du sujet de thèse et des résultats obtenus, la qualité des travaux réalisés et du manuscrit ainsi que l'apport d'une méthode et de premières données valorisables à court terme dans l'industrie pour améliorer la production, en plein essor, de la mouche soldat noire justifient que cette analyse figure sur le site de l'Académie d'agriculture de France et dans le Mensuel pour la valorisation de ces résultats.