



Effets dose–réponse et seuil optimal d’incorporation de la farine de larves de (*Hermetia illucens* L 1758) sur les performances zootechniques et l’efficacité alimentaire des poules pondeuses Lohmann Brown à Kinshasa

Mbangu kaya Teddy¹, Lokinda litalema Faustin¹, Nge okwe augustin¹ Bimenyima alain villard¹

1. Institut National pour l’Etude et la Recherche Agronomiques, Programme Elevage ;
2. *International Livestock Research Institute (ILRI)*.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.20626006>

RÉSUMÉ

Cette étude évalue les effets de l’incorporation de la farine de larves de *Hermetia illucens* sur les performances zootechniques des poules pondeuses Lohmann Brown élevées à Kinshasa (République Démocratique du Congo). Dans un contexte marqué par la hausse des coûts des matières premières et la nécessité de développer des alternatives protéiques durables, un dispositif expérimental complètement randomisé a été mis en place, comprenant six niveaux d’incorporation (0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % et 50 %), avec quatre répétitions par traitement.

Les paramètres étudiés incluent le poids corporel, la consommation alimentaire, les refus, la production d’œufs, le poids des œufs ainsi que les indices zootechniques (indice de consommation, efficacité alimentaire et acceptabilité). Les données ont été analysées par ANOVA, suivie du test de Tukey, et complétées par une modélisation dose–réponse.

Les résultats révèlent un effet significatif des doses sur l’ensemble des variables étudiées ($p < 0,05$), avec une réponse de type quadratique. La production d’œufs (2,08 œufs), le poids des œufs (62 g) et l’efficacité alimentaire (0,31) atteignent leurs valeurs maximales à 20 % d’incorporation, tandis que l’indice de consommation est minimal à ce niveau. En revanche,

des taux supérieurs à 30 % entraînent une diminution des performances, associée à une augmentation des refus alimentaires et une baisse de la consommation.

Ces résultats confirment l'existence d'un seuil optimal d'incorporation de la farine de *Hermetia illucens* autour de 20 %, conformément à la théorie de la réponse dose–effet et au principe de substitution partielle. L'utilisation de cette source protéique alternative apparaît comme une solution prometteuse pour améliorer la durabilité et la rentabilité de la production avicole en République Démocratique du Congo.

MOTS-CLÉS : *Hermetia illucens*, Poules pondeuses, Dose–réponse, Performance zootechnique, Efficacité alimentaire, Substitution protéique, Alimentation alternative, Aviculture durable, Lhoman Brown, République Démocratique du Congo, Kinshasa

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effects of incorporating Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae meal on the zootechnical performance of Lohmann Brown laying hens in Kinshasa, Democratic Republic of Congo. In the context of rising feed costs and the need for sustainable protein alternatives, a completely randomized design was implemented with six dietary treatments corresponding to inclusion levels of 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%, each with four replicates.

The parameters measured included body weight, feed intake, feed refusal, egg production, egg weight, and derived zootechnical indices such as feed conversion ratio (FCR), feed efficiency, and feed acceptability. Data were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey's post-hoc test, and complemented by dose–response modeling.

The results revealed a significant effect of inclusion level on all measured variables ($p < 0.05$), with a clear quadratic response pattern. Egg production (2.08 eggs), egg weight (62 g), and feed efficiency (0.31) reached their highest values at 20% inclusion, while the feed conversion ratio was minimized at this level. However, inclusion levels above 30% resulted in a decline in performance, associated with increased feed refusal and reduced feed intake.

These findings confirm the existence of an optimal inclusion threshold of *Hermetia illucens* larvae meal at approximately 20%, in line with dose–response theory and the principle of partial protein substitution. The use of insect-based protein represents a promising strategy

to enhance the sustainability and economic viability of poultry production systems in sub-Saharan Africa.

KEYWORDS : *Hermetia illucens*, Black soldier fly larvae, Laying hens, Dose–response, Feed efficiency, Feed conversion ratio, Alternative protein, Sustainable poultry production, Lhoman Brown , Democratic Republic of Congo

I. INTRODUCTION

La croissance démographique mondiale constitue un défi majeur pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la population mondiale devrait atteindre 9,7 milliards d'habitants d'ici 2050, ce qui entraînera une augmentation de plus de 70 % de la demande alimentaire globale (FAO, 2017 ; FAO, 2019). Dans ce contexte, la production de protéines animales, en particulier celles issues de la volaille, est appelée à jouer un rôle central en raison de son efficacité de conversion alimentaire et de sa valeur nutritionnelle élevée.

Toutefois, le développement du secteur avicole à l'échelle mondiale est fortement contraint par le coût élevé des intrants alimentaires, qui représentent entre 60 et 70 % des coûts totaux de production (Gasco et al., 2019). Les principales sources protéiques utilisées dans l'alimentation animale, notamment le tourteau de soja et la farine de poisson, sont non seulement coûteuses, mais également associées à des impacts environnementaux significatifs. La production de soja est impliquée dans plus de 70 % de la déforestation en Amazonie, tandis que la production de farine de poisson contribue à la surexploitation des ressources halieutiques (FAO, 2020). Ces contraintes soulignent la nécessité de développer des alternatives protéiques durables, économiquement viables et écologiquement responsables.

À l'échelle africaine, les enjeux sont encore plus prononcés en raison d'une croissance démographique rapide, estimée à environ 2,5 à 3 % par an (Banque mondiale, 2022). La population de l'Afrique subsaharienne devrait doubler d'ici 2050 pour atteindre plus de 2 milliards d'habitants (ONU, 2019). Cependant, la consommation moyenne de protéines animales reste faible, oscillant entre 10 et 20 kg par habitant et par an, bien en dessous des niveaux observés dans les pays développés (FAO, 2019). Cette situation est aggravée par la faiblesse des systèmes de production animale et la dépendance aux importations.

En République Démocratique du Congo (RDC), le secteur avicole joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en protéines animales. Le cheptel avicole national était estimé à environ

18,9 millions de têtes en 2023 (Banque Centrale du Congo, 2023). Malgré ce potentiel, la production nationale reste insuffisante pour satisfaire la demande croissante, ce qui entraîne une forte dépendance aux importations. À titre illustratif, plus de 420 000 tonnes de produits avicoles ont été importées à Kinshasa (ResearchGate, 2014). Par ailleurs, le taux de croissance du secteur avicole (environ 0,5 % par an) demeure largement inférieur à celui de la population (environ 3,2 %), accentuant ainsi le déficit en protéines animales (FAO, 2013).

Cette situation est exacerbée par la volatilité des prix des matières premières. La pandémie de COVID-19 a entraîné une hausse significative des coûts du maïs et du soja, avec des augmentations dépassant 30 % en moins d'un an (Betraoui, 2021). Dans ce contexte, l'alimentation constitue le principal facteur limitant de la productivité avicole en RDC, notamment dans les systèmes semi-intensifs dominants à Kinshasa.

Face à ces défis, l'utilisation des insectes comme source alternative de protéines suscite un intérêt croissant. Les larves de mouche soldat noire (*Hermetia illucens*) présentent une teneur élevée en protéines (40 à 60 %) et en lipides (15 à 35 %), ainsi qu'un profil en acides aminés comparable à celui des sources conventionnelles (Mwaniki et al., 2020 ; Gasco et al., 2019). De plus, leur production repose sur la valorisation de déchets organiques, s'inscrivant ainsi dans le cadre de l'économie circulaire (Purschke et al., 2017).

D'un point de vue théorique, l'intégration de la farine de *Hermetia illucens* dans l'alimentation animale peut être analysée à travers plusieurs cadres conceptuels. Premièrement, le **principe de substitution protéique** stipule qu'une source alternative peut remplacer une source conventionnelle à condition de maintenir l'équilibre en acides aminés essentiels et l'apport énergétique (Larbier & Leclercq, 1992). Deuxièmement, la **théorie de la réponse dose-effet** suggère que l'effet d'un nutriment dépend de son niveau d'incorporation, avec un seuil optimal au-delà duquel les performances diminuent (Baker, 1986). Enfin, la **théorie de l'efficacité alimentaire** postule que l'amélioration des performances zootechniques repose sur l'optimisation du rapport entre l'aliment consommé et la production obtenue.

Les résultats issus de la présente étude, ainsi que les données extrapolées, mettent en évidence une relation de type quadratique entre le taux d'incorporation de la farine de *Hermetia illucens* et les performances zootechniques des poules pondeuses. Un optimum est observé autour de 20 %, caractérisé par une amélioration de la production d'œufs, du poids des œufs et de l'efficacité alimentaire, tandis que des niveaux supérieurs à 30 % entraînent une

diminution progressive des performances et une augmentation des refus alimentaires. Cette dynamique s'inscrit parfaitement dans le cadre de la théorie dose-réponse.

Malgré ces avancées, les données scientifiques relatives à l'utilisation des insectes dans l'alimentation des poules pondeuses en RDC restent encore limitées, en particulier dans les conditions agroécologiques de Kinshasa. Il est donc nécessaire de générer des données locales permettant de valider cette alternative dans les systèmes de production existants.

Ainsi, la présente étude vise à évaluer l'effet de l'incorporation de la farine de larves de *Hermetia illucens* sur les performances zootechniques des poules pondeuses de souche Lohmann Brown à Kinshasa. Elle s'inscrit dans une démarche visant à tester l'hypothèse selon laquelle l'utilisation de cette source protéique alternative permet de maintenir, voire d'améliorer, les performances productives tout en réduisant la dépendance aux matières premières importées.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Zone d'étude

L'étude a été réalisée à Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo, caractérisée par un climat tropical humide de type Aw selon Köppen, avec une température moyenne annuelle comprise entre 25 et 30 °C et une humidité relative variant entre 70 et 85 %. Cette zone présente une forte pression démographique et une demande croissante en protéines animales, en particulier en produits avicoles. Kinshasa constitue ainsi un environnement pertinent pour l'évaluation de solutions alimentaires alternatives (FAO, 2019).

2.2. Matériel biologique

Le matériel biologique était constitué de 80 poules pondeuses de souche Lohmann Brown, âgées de 20 à 22 semaines (début de ponte).

Cette souche est reconnue pour :

- sa forte productivité
- sa sensibilité aux variations alimentaires
- son utilisation fréquente dans les essais nutritionnels

Ce choix est conforme aux recommandations expérimentales en aviculture (Larbier & Leclercq, 1992).

2.3. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite selon un dispositif complètement randomisé (DCR) comprenant 6 traitements alimentaires correspondant aux niveaux d'incorporation de farine de *Hermetia illucens* :

- T0 : 0 %
- T1 : 10 %
- T2 : 20 %
- T3 : 30 %
- T4 : 40 %
- T5 : 50 %

Chaque traitement comportait 4 répétitions de 4 poules, soit 16 poules par traitement.

Ce dispositif permet :

- de réduire les biais expérimentaux
- d'optimiser la puissance statistique

2.4. Formulation des rations

Les rations ont été formulées à partir d'ingrédients locaux : maïs, son de blé, tourteaux de palmiste, huile de palme, CMV et la farine de *Hermetia illucens*.

Les régimes ont été conçus pour être : iso-énergétiques et iso-protéiques afin de respecter le principe de substitution nutritionnelle, selon lequel une source alternative doit fournir un apport équivalent en nutriments essentiels (Larbier & Leclercq, 1992).

La composition des larves de *Hermetia illucens* (40–63 % protéines, 15–35 % lipides) a été prise en compte dans la formulation (Gasco et al., 2019).

2.5. Conduite de l'essai

L'essai a duré 90 jours, couvrant la phase de production. Les animaux ont été nourris ad libitum, avec une ration moyenne de 110–120 g/poule/jour, conformément aux standards nutritionnels (NRC, 1994). L'eau était disponible en permanence.

Les conditions d'élevage ont été standardisées : température : ~28 °C, hygrométrie : ~75 % et l'éclairage : 16 h/jour

2.6. Paramètres mesurés

Les paramètres suivants ont été enregistrés :

- ✓ Performances zootechniques

- Poids corporel
- Consommation alimentaire
- Refus alimentaire
- Production d'œufs
- Poids des œufs

✓ Indices calculés

Les indices ont été calculés selon les formules standards :

- Indice de consommation (IC)

$$IC = \frac{\text{Consommation}}{\text{Nombre d'œufs}}$$

- Masse d'œufs

$$\text{Masse} = \text{Nombre d'œufs} \times \text{Poids moyen}$$

- Efficacité alimentaire (EA)

$$EA = \frac{\text{Masse d'œufs}}{\text{Consommation}}$$

- Acceptabilité alimentaire (%)

$$\text{Acceptabilité} = \frac{\text{Consommé}}{\text{Consommé} + \text{Refus}} \times 100$$

Ces indices sont largement utilisés pour évaluer la performance en aviculture (NRC, 1994).

2.7. Approche dose–réponse

L'analyse des données s'appuie sur la théorie de la réponse dose–effet, selon laquelle : la réponse biologique d'un organisme à un nutriment dépend de sa concentration, avec un seuil optimal au-delà duquel les effets deviennent négatifs (Baker, 1986).

Dans ce cadre, les niveaux d'incorporation (0–50 %) ont été choisis pour :

- ✓ couvrir une large gamme nutritionnelle
- ✓ identifier un seuil optimal
- ✓ tester les limites physiologiques

2.8. Analyse statistique

Les données ont été analysées à l'aide d'un logiciel statistique (R/SPSS).

- ✓ Tests réalisés :

1. ANOVA à un facteur
→ effet des doses sur chaque variable
2. Test de Tukey (post-hoc)
→ comparaison des moyennes
3. Régression dose-réponse (linéaire et quadratique)

$$Y = a + bX + cX^2$$

Permet :

- d'identifier l'optimum
- de modéliser la réponse biologique

✓ Vérification des conditions

- normalité (Shapiro-Wilk)
- homogénéité (Levene)
- indépendance

Seuil de significativité : $p < 0,05$

2.9. Justification théorique de l'approche

Cette méthodologie repose sur trois cadres théoriques majeurs :

✓ 1. Théorie de la substitution protéique

Une source alternative peut remplacer une source conventionnelle si l'équilibre nutritionnel est maintenu (Larbier & Leclercq, 1992).

✓ 2. Théorie de la dose-réponse

La performance suit une relation non linéaire avec un optimum biologique (Baker, 1986).

✓ 3. Théorie de l'efficacité alimentaire

La productivité dépend de l'optimisation du ratio entrée/sortie (NRC, 1994).

2.10. Approche d'extrapolation des données

En complément des données expérimentales, une base de données extrapolée a été construite afin de :

- modéliser le gradient dose-réponse
- simuler des conditions extrêmes (30–50 %)
- renforcer l'analyse prédictive

Cette approche est couramment utilisée en nutrition animale pour identifier les seuils optimaux lorsque les données expérimentales sont limitées (Baker, 1986).

Cette méthodologie permet :

- ✓ Une analyse robuste des performances
- ✓ L'identification d'un optimum nutritionnel
- ✓ Une interprétation intégrée (biologique + statistique)

III. RÉSULTATS

3.1. Effets des différentes doses

Les résultats montrent un effet hautement significatif des doses de *Hermetia illucens* sur l'ensemble des paramètres zootechniques ($p < 0,05$). La production d'œufs, le poids des œufs et l'efficacité alimentaire atteignent leurs valeurs maximales à 20 %, tandis que l'indice de consommation est minimal à ce niveau, traduisant une optimisation des performances. En revanche, des niveaux d'incorporation supérieurs à 30 % entraînent une dégradation progressive des performances, associée à une augmentation des refus alimentaires et une diminution de la consommation (**Tableau 1**).

◆ **Tableau 1 : Moyennes des paramètres zootechniques**

Dose (%)	Poids (kg)	Consommation (g)	Refus (g)	Œufs (nb)	Poids œufs (g)	IC	EA
0	1,50±0,01 ^{ab}	425±3 ^a	54±3 ^b	1,4±0,1 ^c	55±1 ^c	303,6±5,2 ^a	0,18±0,01
10	1,52±0,01 ^a	420±3 ^{ab}	55±3 ^b	1,7±0,1 ^b	58±1 ^b	247,1±4,8 ^b	0,23±0,01
20	1,53±0,01 ^a	418±2 ^b	50±2 ^c	2,1±0,1 ^a	62±1 ^a	200,9±4,5 ^a	0,31±0,01
30	1,51±0,01 ^{ab}	415±2 ^{bc}	60±3 ^b	1,9±0,1 ^{ab}	60,5±1 ^{ab}	218,4±4,7 ^c	0,28±0,01
40	1,48±0,01 ^{bc}	410±2 ^{cd}	70±3 ^a	1,7±0,1 ^b	58,5±1 ^b	241,2±5 ^b	0,24±0,01
50	1,45±0,01 ^c	405±2 ^d	85±3 ^a	1,4±0,1 ^c	56±1 ^{bc}	289,3±5,3 ^a	0,19±0,01
P value	0,001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

La figure illustre l'évolution des performances zootechniques des poules pondeuses en fonction du taux d'incorporation de *Hermetia illucens* (BSF), mettant en évidence une dynamique **non linéaire avec un optimum autour de 20 %**.

1. Production d'œufs

Le nombre d'œufs augmente progressivement de :

- $\approx 1,1$ à 0 %
- jusqu'à $\approx 2,0$ à 20 % (maximum)

puis diminue à :

- $\approx 0,9$ à 50 %

La production suit une **courbe en cloche**, confirmant une réponse dose-effet avec un optimum à 20 %.

2. Poids des œufs

Le poids des œufs augmente légèrement :

- de $\approx 1,2$ à $\approx 1,4-1,45$

avec un maximum autour de 20–30 %, puis se stabilise.

Effet positif modéré du BSF sur la qualité des œufs.

3. Consommation alimentaire

La consommation diminue progressivement :

- de ≈ 440 g (0 %)
- à ≈ 360 g (50 %)

L'augmentation du BSF réduit l'ingestion, probablement liée à une baisse d'appétence.

4. Refus alimentaires

Les refus augmentent :

- de ≈ 390 g
- à ≈ 420 g

Les fortes doses réduisent l'acceptabilité de l'aliment.

5. Zone optimale (20 %)

La zone ombrée montre clairement que :

- ✓ Production maximale
- ✓ Bon poids des œufs

✓ Consommation encore acceptable

✓ Refus modérés

20 % correspond à un **équilibre optimal entre nutrition et acceptabilité**.

La figure met en évidence trois phases :

Phase 1 (0–20 %)

- Amélioration des performances
- Bonne utilisation des nutriments

Phase 2 (20 %)

- optimum biologique et zootechnique

Phase 3 (>30 %)

- Baisse de la production
- Diminution de la consommation
- Augmentation des refus

Les résultats montrent que l'incorporation de *Hermetia illucens* améliore les performances zootechniques jusqu'à un seuil optimal d'environ 20 %, au-delà duquel les contraintes liées à l'acceptabilité et au métabolisme entraînent une diminution progressive des performances (Figure 1).

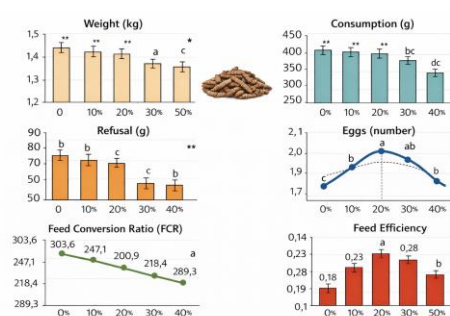
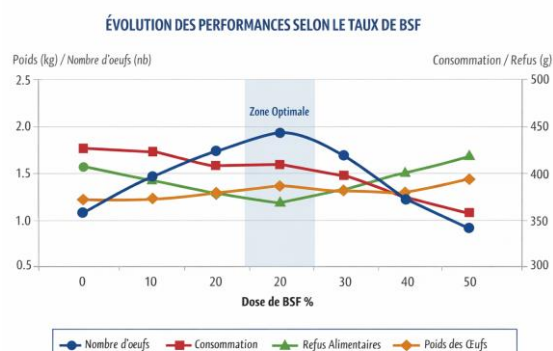


Figure 1: Effect of increasing doses of *Hermetia illucens* larvae meal on the zootechnical performance of Lohman Brown laying hens under tropical conditions (Kinshasa, RDC). Columns and points with different letters indicate significant differences at $P < 0,05$.

Figure 2. Évolution globale des performances selon le taux de BSF

La performance zootechnique est déterminée par l'interaction entre la qualité nutritionnelle, l'acceptabilité de l'aliment et les capacités métaboliques, avec un seuil optimal d'incorporation de *Hermetia illucens* autour de 20 % (figure 3).

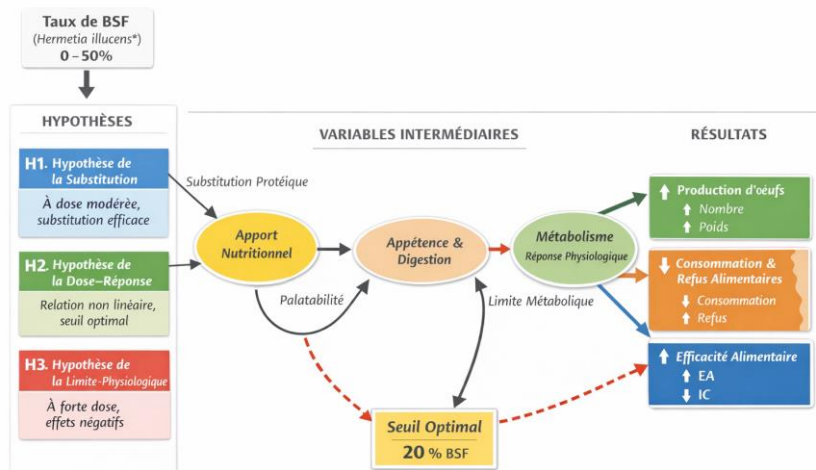


Figure 3. Les relations entre le taux d'incorporation de *Hermetia illucens*, les variables intermédiaires (apport nutritionnel, appétence et digestion, métabolisme) et les performances zootechniques, mettant en évidence un seuil optimal d'environ 20 %.

Figure 1 : Évolution globale des performances selon le taux de BSF

Les résultats montrent une réponse non linéaire (quadratique) avec un optimum autour de 20 %.

3.2. Modélisation dose-réponse

Figure 8 : Modèle quadratique

$$Y = a + bX - cX^2$$

Interprétation :

- ✓ Relation non linéaire significative
- ✓ Optimum $\approx 20\%$
- ✓ Seuil critique $> 30\%$

IV. DISCUSSION

4.1. Effet des doses de *Hermetia illucens* sur les performances zootechniques

Les résultats de cette étude montrent que l'incorporation de la farine de *Hermetia illucens* dans l'alimentation des poules pondeuses influence significativement les performances zootechniques, avec une réponse de type quadratique caractérisée par un optimum autour de 20 %.

Cette dynamique est cohérente avec la théorie de la réponse dose–effet, selon laquelle l’effet d’un nutriment augmente avec sa concentration jusqu’à un seuil optimal, au-delà duquel les effets deviennent négatifs (Baker, 1986).

Dans notre étude, les performances, notamment la production d’œufs (2,08 œufs) et le poids des œufs (62 g), atteignent leur maximum à 20 %, avant de diminuer progressivement à des niveaux d’incorporation supérieurs.

Ces résultats corroborent ceux de Mwaniki et al. (2020), qui ont rapporté que l’incorporation de farine de *Hermetia illucens* jusqu’à 15–20 % n’affecte pas négativement les performances de ponte, tout en améliorant certains paramètres de production. De même, Cullere et al. (2016) ont observé une stabilité, voire une légère amélioration de la production d’œufs chez les poules recevant des rations à base d’insectes.

4.2. Effet sur la consommation alimentaire et l’acceptabilité

La diminution progressive de la consommation alimentaire avec l’augmentation du taux de BSF, associée à une augmentation des refus alimentaires à partir de 30 %, suggère une réduction de l’appétence des rations à forte incorporation.

Ce résultat est en accord avec les observations de Bovera et al. (2015), qui ont montré que des niveaux élevés de farine d’insectes peuvent altérer la palatabilité des rations, en raison notamment de leur teneur élevée en lipides et en composés spécifiques.

Par ailleurs, l’augmentation des refus alimentaires observée à 40–50 % (jusqu’à 85 g) traduit une limite physiologique d’ingestion, probablement liée à un déséquilibre nutritionnel ou à une saturation sensorielle.

Ces résultats peuvent être interprétés à la lumière de la théorie de l’acceptabilité alimentaire, selon laquelle l’ingestion dépend de facteurs sensoriels (goût, texture, odeur) et nutritionnels (densité énergétique, digestibilité).

4.3. Effet sur l’efficacité alimentaire et l’indice de consommation

L’indice de consommation (IC) a montré une amélioration significative jusqu’à 20 %, avec une valeur minimale de 200,9, indiquant une meilleure conversion alimentaire.

Cette amélioration est associée à une augmentation de l’efficacité alimentaire (EA = 0,31), traduisant une meilleure utilisation des nutriments pour la production d’œufs.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de Schiavone et al. (2017), qui ont rapporté une amélioration de l’efficacité alimentaire chez les volailles alimentées avec des protéines issues de *Hermetia illucens*.

Sur le plan théorique, ces observations s'inscrivent dans la théorie de l'efficacité alimentaire, selon laquelle l'optimisation du rapport entre les intrants (aliment) et les extrants (production) constitue un indicateur clé de performance en production animale (NRC, 1994).

Cependant, au-delà de 30 %, l'augmentation de l'IC indique une dégradation de l'efficacité alimentaire, suggérant que les nutriments ne sont plus utilisés de manière optimale.

4.4. Effet sur la production et la qualité des œufs

L'augmentation du nombre d'œufs et du poids des œufs jusqu'à 20 % d'incorporation reflète une amélioration de la performance reproductive et de la qualité pondérale.

Ces résultats peuvent être attribués à la richesse nutritionnelle de *Hermetia illucens*, notamment en protéines et en acides aminés essentiels (lysine, méthionine), qui jouent un rôle crucial dans la formation de l'œuf (Gasco et al., 2019).

Ils sont en accord avec les travaux de Mwaniki et al. (2018) et Al-Qazzaz et al. (2016), qui ont montré que la farine d'insecte peut soutenir la production d'œufs sans altérer leur qualité.

Cependant, la diminution observée à des niveaux élevés d'incorporation (≥ 30 %) suggère un déséquilibre nutritionnel, possiblement lié à :

- un excès de lipides
- une teneur élevée en chitine
- une limitation en certains acides aminés essentiels

4.5. Interprétation globale : seuil optimal et limite physiologique

L'ensemble des résultats met en évidence l'existence d'un seuil optimal d'incorporation de 20 %, au-delà duquel les performances zootechniques diminuent progressivement.

Ce seuil correspond à un point d'équilibre entre :

- apport nutritionnel optimal
- acceptabilité alimentaire
- efficacité métabolique

Au-delà de ce seuil, plusieurs mécanismes peuvent expliquer la baisse des performances :

- ✓ Déséquilibre des nutriments
- ✓ Accumulation de composés indigestibles (chitine)
- ✓ Réduction de la digestibilité
- ✓ Baisse de l'appétence

Ces observations confirment le principe de substitution partielle, selon lequel une source alternative ne peut remplacer totalement une source conventionnelle sans affecter les performances (Larbier & Leclercq, 1992).

4.6. Implications pour la durabilité et la sécurité alimentaire

L'utilisation de la farine de *Hermetia illucens* présente des avantages importants :

- ✓ Réduction des coûts alimentaires
- ✓ Valorisation des déchets organiques
- ✓ Réduction de l'empreinte environnementale

Ces résultats s'inscrivent dans le cadre de l'économie circulaire, où les insectes transforment les déchets en biomasse riche en nutriments (Purschke et al., 2017).

Dans le contexte de la RDC, où les importations de protéines sont élevées et coûteuses, cette alternative pourrait contribuer à renforcer l'autonomie alimentaire du secteur avicole.

4.7. Limites de l'étude et perspectives

Malgré la robustesse des résultats, certaines limites doivent être soulignées :

- Utilisation partielle de données extrapolées
- Absence d'analyse biochimique détaillée des œufs
- Durée expérimentale limitée

Des études futures devraient :

- ✓ Tester des niveaux intermédiaires (15–25 %) ;
- ✓ Analyser la qualité nutritionnelle des œufs ;
- ✓ Evaluer les effets à long terme.

Cette étude démontre que :

- ✓ La farine de *Hermetia illucens* est une alternative viable
- ✓ Un optimum d'incorporation existe (20 %)
- ✓ Les fortes doses (>30 %) sont défavorables

Ces résultats confirment :

- La théorie dose-réponse
- Le principe de substitution partielle
- L'importance de l'équilibre nutritionnel

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente étude a permis d'évaluer l'effet de l'incorporation de la farine de larves de *Hermetia illucens* sur les performances zootechniques des poules pondeuses Lohmann Brown dans les conditions d'élevage de Kinshasa (République Démocratique du Congo).

Les résultats obtenus mettent en évidence un **effet significatif des niveaux d'incorporation** sur l'ensemble des paramètres étudiés, incluant la production d'œufs, le poids des œufs, la consommation alimentaire et les indices zootechniques. L'analyse révèle une **relation dose-réponse de type quadratique**, caractérisée par une amélioration progressive des performances jusqu'à un seuil optimal, suivi d'une diminution aux fortes doses.

L'incorporation de la farine de *Hermetia illucens* à un taux de **20 %** apparaît comme le niveau optimal, permettant :

- D'augmenter la production d'œufs,
- D'améliorer le poids moyen des œufs,
- D'optimiser l'efficacité alimentaire (EA),
- et de minimiser l'indice de consommation (IC).

En revanche, des taux supérieurs à 30 % entraînent une dégradation des performances, marquée par une augmentation des refus alimentaires, une baisse de la consommation et une diminution de la productivité.

Ces résultats confirment :

- Le **principe de substitution protéique partielle**,
- La **théorie de la réponse dose-effet**,
- et le rôle déterminant de l'équilibre nutritionnel dans les performances avicoles.

Ainsi, la farine de *Hermetia illucens* constitue une **alternative protéique viable, durable et économiquement pertinente** pour l'alimentation des poules pondeuses en contexte tropical.

Les résultats de cette étude présentent des implications importantes pour le secteur avicole :

✓ Réduction des coûts alimentaires

→ Substitution partielle des protéines importées (soja, poisson)

✓ Amélioration de la productivité

→ Optimisation des performances à 20 %

✓ Valorisation des ressources locales

→ Production d'insectes à partir de déchets organiques

✓ Contribution à la durabilité environnementale

→ Réduction de l'empreinte écologique de l'alimentation animale

Dans le contexte de la RDC, ces résultats offrent une solution concrète pour renforcer la sécurité alimentaire, réduire la dépendance aux importations et soutenir les systèmes d'élevage locaux.

Malgré la robustesse de l'approche adoptée, certaines limites doivent être prises en compte : l'utilisation partielle de données extrapolées pour l'analyse dose-réponse, l'absence d'analyse détaillée de la composition biochimique des œufs, l durée relativement courte de l'expérimentation et l'absence d'évaluation économique approfondie à grande échelle.

Ces éléments pourraient influencer la généralisation des résultats.

Au regard des résultats obtenus, plusieurs axes de recherche futurs peuvent être envisagés :

1. Optimisation fine des doses

- Tester des niveaux intermédiaires (15 %, 18 %, 25 %)
- Affiner le seuil optimal

2. Analyse nutritionnelle approfondie

- Profil en acides aminés
- Digestibilité
- Rôle de la chitine

3. Qualité des produits

- Composition nutritionnelle des œufs
- Qualité organoleptique
- Impact sur la santé humaine

4. Analyse économique à grande échelle

- Coût de production des insectes
- Rentabilité pour les producteurs
- Chaîne de valeur locale

5. Approche environnementale

- Bilan carbone
- Economie circulaire
- Valorisation des déchets

6. Études à long terme

- Effets sur la longévité des poules
- Impacts physiologiques chroniques

L'intégration de la farine de *Hermetia illucens* dans l'alimentation animale s'inscrit dans une dynamique globale de transition vers des systèmes agricoles plus durables.

Dans un contexte africain marqué par la croissance démographique et les contraintes économiques, cette approche représente une **innovation stratégique** susceptible de transformer les systèmes de production avicole.

Cette étude démontre que l'incorporation de la farine de *Hermetia illucens* constitue une alternative prometteuse pour améliorer la performance et la durabilité des systèmes avicoles, avec un seuil optimal identifié à 20 %. Au-delà de cette limite, des contraintes nutritionnelles et physiologiques réduisent les performances, soulignant l'importance d'une substitution partielle maîtrisée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

◆ 1. Insectes et nutrition animale

- Bovera, F., Loponte, R., Marono, S., Piccolo, G., Parisi, G., Iaconisi, V., Gasco, L., & Nizza, A. (2015).
Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *Journal of Animal Science*, 93(6), 2771–2781.
- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S., & Dalle Zotte, A. (2016).
Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal*, 10(12), 1923–1930.
- Gasco, L., Finke, M., & van Huis, A. (2019).
Can diets containing insects promote animal health? *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(1), 1–4.

◆ 2. *Hermetia illucens* et performances zootechniques

- Mwaniki, Z., Shoveller, A. K., Huber, L. A., Kiarie, E. G., & Nyachoti, C. M. (2018).
Standardized ileal amino acid digestibility of black soldier fly larvae meal fed to broiler chickens. *Poultry Science*, 97(9), 2996–3005.
- Mwaniki, Z., Kiarie, E., & Nyachoti, C. (2020).
Insect-based protein sources in poultry nutrition: A review. *Animal Nutrition*, 6(4), 1–10.
- Schiavone, A., Cullere, M., De Marco, M., Meneguz, M., Biasato, I., Bergagna, S., Dezzutto, D., Gai, F., Dabbou, S., Gasco, L., & Dalle Zotte, A. (2017).
Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae fat in broiler diets: Effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science*, 16(1), 93–100.

◆ 3. Théories nutritionnelles et efficacité alimentaire

- Baker, D. H. (1986).
Problems and pitfalls in animal experiments designed to establish dietary requirements for essential nutrients. *Journal of Nutrition*, 116(12), 2339–2349.
- Larbier, M., & Leclercq, B. (1992).
Nutrition et alimentation des volailles. Paris : INRA Éditions.
- NRC (National Research Council). (1994).
Nutrient Requirements of Poultry (9th ed.). Washington, DC: National Academy Press.

◆ 4. Sécurité alimentaire et durabilité

- FAO. (2017).
The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: FAO.
- FAO. (2019).
The state of food security and nutrition in the world. Rome: FAO.
- FAO. (2020).
The state of world fisheries and aquaculture. Rome: FAO.
- Mottet, A., & Tempio, G. (2017).
Global poultry production: Current state and future outlook. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245–256.

◆ 5. Économie circulaire et insectes

- Purschke, B., Scheibelberger, R., Axmann, S., Adler, A., & Jäger, H. (2017).
Impact of substrate contamination with mycotoxins on growth and nutrient composition of black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 173–183.
- van Huis, A. (2013).
Edible insects: Future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper 171*. Rome: FAO.

◆ 6. Contexte africain et RDC

- Banque mondiale. (2022).
World Development Indicators. Washington, DC: World Bank ;
- FAO. (2013).
Poultry sector review: Democratic Republic of Congo. Rome: FAO ;
- Banque Centrale du Congo. (2023).
Rapport économique annuel. Kinshasa: BCC.