

Paramètres Physico-Chimiques Et Efficacité De Bioconversion Des Déchets Organiques Par Les Larves De Hermetia Illucens (L., 1758) A Kinshasa (RDC)

Ir VILA DIAKIESE BAKANUNUA¹, Dr Ir MONZAMBE MAPUNZU Paul², Dr Ir NSEVOLO MIANKEBA Papy³

¹Chercheur Indépendant/ Kinshasa/RDC

²Professeur Emérite/ Université Pédagogique Nationale/Kinshasa/RDC

³Professeur Associé / Université Pédagogique Nationale/Kinshasa/RDC

Corresponding author: Ir VILA DIAKIESE BAKANUNUA



Résumé : Cette étude analyse le rôle des paramètres physico-chimiques et de la nature des substrats dans l'efficacité de bioconversion des biodéchets par les larves de *Hermetia illucens* à Kinshasa. L'essai a comparé quatre substrats pendant 19 jours : T1, lisier de porc ; T2, drêche de brasserie ; T3, déchets de fruits ; T4, mélange des trois substrats. Les paramètres suivis étaient la température, l'humidité relative, le pH, l'indice de consommation, la masse de résidus post-élevage, la biomasse totale et les relations multivariées entre variables de performance. Les températures moyennes sont restées homogènes entre traitements, entre $27,58 \pm 2,00$ °C et $27,96 \pm 2,09$ °C, sans effet significatif du traitement ($p = 0,2773$). L'humidité relative a varié significativement à l'échelle globale ($p = 0,0271$), avec une valeur maximale dans T4 ($82,43 \pm 2,16$ %). Le pH moyen est resté proche de la neutralité, entre $6,25 \pm 1,13$ et $6,58 \pm 1,03$, mais il a différencié les traitements à trois dates clés. L'indice de consommation a été très défavorable dans T2 (5820,8) et nettement meilleur dans T3 (1,37) et T4 (0,44). La masse de résidus post-élevage a différé très significativement entre traitements ($p < 0,0001$), avec les plus faibles résidus dans T4 ($441,50 \pm 33,31$ g) et T3 ($461,50 \pm 42,70$ g). Une relation positive significative a été observée entre le taux de conversion et la biomasse totale ($R^2 = 0,587$; $p = 0,00053$). L'ACP a expliqué 86,19 % de la variabilité et a isolé T4 comme profil le plus performant. Ces résultats montrent que l'efficacité de bioconversion dépend moins de la température ambiante que de l'équilibre physico-chimique et nutritionnel du substrat.

Mots-clés : Bioconversion ; biodéchets ; *Hermetia illucens* ; pH ; humidité ; indice de consommation ; résidus organiques ; économie circulaire.

Abstract: This study analyzes the role of physicochemical parameters and substrate type in the bioconversion efficiency of organic waste by *Hermetia illucens* larvae in Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. The 19-day trial compared four substrates: T1, pig slurry; T2, brewery spent grain; T3, fruit waste; and T4, a mixture of the three substrates. The monitored parameters included temperature, relative humidity, pH, feed conversion index, post-rearing residue mass, total biomass and multivariate relationships among performance variables. Mean temperatures remained homogeneous across treatments, ranging from 27.58 ± 2.00 °C to 27.96 ± 2.09 °C, with no significant treatment effect ($p = 0.2773$). Relative humidity varied significantly at the global scale ($p = 0.0271$), reaching the highest value in T4 ($82.43 \pm 2.16\%$). Mean pH remained close to neutrality, from 6.25 ± 1.13 to 6.58 ± 1.03 , but differentiated treatments at three key observation dates. The feed conversion index was highly unfavorable in T2 (5820.8) and markedly better in T3 (1.37) and T4 (0.44). Post-rearing residue mass differed very significantly among treatments ($p < 0.0001$), with the lowest residues in T4 (441.50 ± 33.31 g) and T3 (461.50 ± 42.70 g). A significant positive relationship was observed between conversion rate and total biomass ($R^2 = 0.587$; $p = 0.00053$). Principal component analysis explained 86.19% of total variability and identified T4 as the best-performing profile. These findings show that bioconversion efficiency depends less on ambient temperature than on the physicochemical and nutritional balance of the substrate.

Keywords: Bioconversion; organic waste; *Hermetia illucens*; pH; humidity; feed conversion index; organic residues; circular economy.

1. Introduction

La gestion des biodéchets urbains est un enjeu majeur dans les grandes villes tropicales, où les infrastructures de collecte et de traitement restent souvent insuffisantes. Dans ce contexte, les larves de *Hermetia illucens* offrent une voie de bioconversion particulièrement intéressante : elles transforment des matières organiques diverses en biomasse larvaire et en résidus stabilisés, potentiellement valorisables comme amendements organiques [1.2].

Cette approche relie la gestion environnementale, l'alimentation animale et l'économie circulaire.

La réussite de la bioconversion dépend cependant des conditions physico-chimiques du substrat. La température, l'humidité, le pH, la structure physique et la composition nutritionnelle influencent l'activité microbienne, l'ingestion larvaire, la survie et la production de biomasse. Les substrats à forte teneur en eau peuvent être valorisés par *H. illucens*, mais leur efficacité dépend fortement de la ventilation, de l'aération et de la prévention des conditions anaérobies [3].

De même, la valeur alimentaire des larves reste étroitement liée au substrat d'élevage, ce qui impose de tester les ressources disponibles localement [4].

À Kinshasa, les lisiers porcins, les drêches de brasserie et les déchets de fruits sont disponibles en quantités importantes.

Leur valorisation par *H. illucens* pourrait réduire les nuisances environnementales tout en produisant une biomasse d'intérêt zootechnique. L'objectif de cet article est donc d'analyser les paramètres physico-chimiques associés à ces substrats et d'évaluer leur efficacité de bioconversion à travers l'indice de consommation, la réduction des résidus, la biomasse produite et les relations multivariées entre variables de performance.

2. Matériel et méthodes

- Site expérimental.

L'étude a été conduite dans un hangar expérimental de l'Université Pédagogique Nationale, située dans la commune de Ngaliema, à Kinshasa. L'expérimentation a duré 19 jours, du 28 mai au 15 juin 2026.

- Substrats et traitements.

Quatre modalités ont été comparées :

T1 : lisier de porc ;

T2 : drêche de brasserie ;

T3 : déchets de fruits ;

T4 : mélange lisier de porc + drêche de brasserie + déchets de fruits.

Le traitement T4 était formulé en proportions égales de chaque substrat, soit 33,3 % par composant.

- Suivi physico-chimique et zootechnique. Les paramètres suivis étaient la température, l'humidité relative, le pH, la biomasse totale, la mortalité, l'indice de consommation, la masse de résidus post-élevage et les indicateurs de conversion.

Un total de 28 observations a été enregistré pour chacun des quatre traitements pour les paramètres physico-chimiques.

- Analyses statistiques.

Les données ont été saisies dans Microsoft Excel puis analysées avec R version 4.5.2. Les différences de température, humidité et pH ont été testées par des approches non paramétriques selon les dates d'observation. Une corrélation de Pearson a été calculée entre température, humidité relative et pH. L'effet du traitement sur la masse de résidus post-élevage a été évalué par ANOVA, suivie d'un test de Tukey HSD.

La relation entre taux de conversion et biomasse totale a été évaluée par régression linéaire, et une analyse en composantes principales a été utilisée pour décrire la structuration multivariée des traitements.

3. Résultats

Paramètres physico-chimiques moyens.

Les températures moyennes sont restées proches entre les traitements, de $27,58 \pm 2,00$ °C dans T4 à $27,96 \pm 2,09$ °C dans T2. L'humidité relative était élevée dans l'ensemble des traitements, avec une valeur maximale dans T4 ($82,43 \pm 2,16$ %). Le pH moyen est resté proche de la neutralité, entre $6,25 \pm 1,13$ dans T3 et $6,58 \pm 1,03$ dans T2.

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques moyens par traitement

Traitement	Température (°C)	Humidité relative (%)	pH
T1	$27,72 \pm 2,07$	$81,05 \pm 3,06$	$6,30 \pm 0,80$
T2	$27,96 \pm 2,09$	$81,97 \pm 2,49$	$6,58 \pm 1,03$
T3	$27,82 \pm 2,19$	$81,96 \pm 2,06$	$6,25 \pm 1,13$
T4	$27,58 \pm 2,00$	$82,43 \pm 2,16$	$6,52 \pm 1,22$

La température n'a pas été significativement modifiée par le traitement à l'échelle globale ($\chi^2 = 3,8571$; ddl = 3 ; $p = 0,2773$). À l'inverse, l'humidité relative a présenté une différence globale significative entre traitements ($\chi^2 = 9,1714$; ddl = 3 ; $p = 0,0271$). Le pH s'est différencié significativement à trois dates : au début de l'essai, le 28 mai ($p = 0,01920$), puis le 8 juin ($p = 0,04504$) et le 10 juin ($p = 0,00777$).

Tableau 2. Dates où le pH a différencié significativement les traitements

Date	Paramètre	χ^2	p-value	Interprétation
28/05/2026	pH	9,9265	0,01920	Significatif
08/06/2026	pH	8,0476	0,04504	Significatif
10/06/2026	pH	11,8897	0,00777	Hautement significatif

Corrélations entre paramètres physico-chimiques. La température et l'humidité relative ont présenté une corrélation négative forte ($r = -0,620$). Le pH était faiblement corrélé à l'humidité relative ($r = -0,183$) et pratiquement indépendant de la température ($r = 0,060$).

Tableau 3. Corrélation de Pearson entre température, humidité relative et pH

Paramètres	Température	Humidité relative	pH
Température	1,000	-0,620	0,060
Humidité relative	-0,620	1,000	-0,183
pH	0,060	-0,183	1,000

Indice de consommation. Le T2 a présenté l'indice de consommation le plus défavorable (5820,8), lié à une consommation élevée et à un très faible gain de poids. T1 a également montré un indice élevé (61,57). En revanche, T3 (1,37) et surtout T4 (0,44) ont présenté les meilleurs indices, indiquant une transformation plus efficace du substrat en biomasse larvaire.

Tableau 4. Indice de consommation selon les traitements

Traitement	Aliment consommé (g)	Gain de poids (g)	Indice de consommation
T1	1,17	0,019	61,57
T2	64,29	0,011	5820,8
T3	0,44	0,321	1,37
T4	0,13	0,293	0,44

Réduction des résidus post-élevage. La masse de résidus a différé très significativement entre traitements ($F = 515,2$; $p < 0,0001$). T2 a conservé la masse résiduelle la plus élevée ($1912,75 \pm 69,39$ g), suivi de T1 ($1014,50 \pm 83,88$ g). T3 et T4 ont présenté les plus faibles masses résiduelles, respectivement $461,50 \pm 42,70$ g et $441,50 \pm 33,31$ g, sans différence significative entre eux selon Tukey.

Tableau 5. Masse moyenne des résidus post-élevage et groupes de Tukey

Traitement	Masse moyenne de résidus (g)	Groupe Tukey
T2	$1912,75 \pm 69,39$	A
T1	$1014,50 \pm 83,88$	B
T3	$461,50 \pm 42,70$	C
T4	$441,50 \pm 33,31$	C

Relations entre conversion et biomasse. La relation entre le taux de conversion et la biomasse totale était positive et significative ($R^2 = 0,587$; $p = 0,00053$). Ainsi, les traitements ayant une meilleure conversion du substrat ont produit davantage de biomasse larvaire.

- Analyse en composantes principales.

Les deux premiers axes de l'ACP ont expliqué 86,19 % de la variabilité totale, dont 72,98 % pour la dimension 1 et 13,21 % pour la dimension 2. La dimension 1 a opposé les variables de performance, telles que la biomasse totale et le taux de conversion, aux variables défavorables comme la masse de résidus et la mortalité. Le T4 s'est positionné comme le traitement le plus performant, le T2 comme le moins favorable, tandis que T1 et T3 ont présenté des profils intermédiaires.

4. Discussion

Les résultats montrent que les températures enregistrées, globalement proches de 28 °C, se situaient dans une zone favorable au développement larvaire. L'absence de différence significative entre traitements suggère que la température ambiante du hangar n'a pas été le principal facteur discriminant. En revanche, l'humidité relative élevée et les variations du pH ont davantage différencié les substrats. Cette observation est cohérente avec les travaux de l'auteur [3], qui indiquent que les substrats très humides peuvent être bioconvertis, mais nécessitent une bonne gestion de l'aération et de la ventilation pour éviter les pertes d'efficacité.

Le pH moyen proche de la neutralité a probablement favorisé l'activité larvaire, mais ses variations significatives à certaines dates montrent que la dynamique du substrat évolue au cours de l'élevage. Le pH ne doit donc pas être considéré comme un état fixe, mais comme un indicateur dynamique de fermentation, d'activité microbienne et de transformation de la matière organique. La faible corrélation entre pH et température suggère que la variation du pH dépend davantage de la composition et de la dégradation du substrat que du microclimat thermique.

L'indice de consommation met clairement en évidence l'inefficacité de T2. Une consommation apparente élevée associée à un très faible gain de poids traduit une mauvaise conversion biologique. La drêche de brasserie utilisée seule peut présenter une structure compacte, une digestibilité limitée ou une aération insuffisante. À l'inverse, T4 a combiné un faible indice de consommation, une biomasse élevée et une faible masse résiduelle. Cette performance confirme l'intérêt des substrats mélangés dans lesquels les sources de carbone rapidement disponibles, d'azote et de matière organique structurée sont mieux équilibrées.

La forte différence de masse résiduelle entre traitements a une signification environnementale directe. Les traitements T3 et T4 ont réduit le plus fortement les résidus, ce qui confirme leur potentiel pour la gestion des biodéchets.

Le T4 est toutefois supérieur au T3 lorsque l'on considère simultanément la biomasse totale, l'indice de consommation et le profil ACP. Sur le plan de l'économie circulaire, ce résultat est important : le meilleur traitement n'est pas seulement celui qui réduit les déchets, mais celui qui combine réduction des résidus, production de biomasse et stabilité du processus.

Les travaux de l'auteur [2] rappellent en outre que les résidus de l'élevage de *H. illucens* peuvent présenter un potentiel agronomique, ce qui ouvre une double voie de valorisation : biomasse larvaire pour l'alimentation animale et résidu post-élevage comme amendement organique.

La relation positive entre taux de conversion et biomasse totale ainsi que l'ACP confirment que les variables de performance sont fortement structurées autour de l'efficacité de conversion. Cependant, l'étude reste limitée par l'absence de mesures de matière sèche, de composition chimique des substrats, de composition proximale des larves et de charge microbienne.

Ces données seraient nécessaires pour passer d'une évaluation expérimentale de performance à une formulation rationnelle des substrats.

5. Conclusion

L'efficacité de bioconversion des déchets organiques par *H. illucens* à Kinshasa dépend fortement de la nature du substrat et de sa dynamique physico-chimique. La température ambiante est restée homogène et favorable, mais l'humidité relative, le pH et la composition du substrat ont influencé les performances. Le substrat mixte T4 a présenté le meilleur profil global, combinant faible indice de consommation, forte biomasse, faible masse résiduelle et positionnement favorable dans l'ACP.

Les déchets de fruits T3 ont également montré une forte capacité de réduction des résidus. La drêche de brasserie seule T2 s'est révélée peu adaptée. Ces résultats confirment que la formulation de mélanges de biodéchets locaux constitue une stratégie pertinente pour optimiser la bioconversion par *H. illucens* en milieu tropical urbain.

6. Recommandations

1. Préférer les substrats mélangés aux substrats uniques afin d'améliorer simultanément la biomasse produite et la réduction des résidus.
2. Contrôler l'humidité et l'aération des substrats, surtout lorsque des matières très humides ou compactes sont utilisées.
3. Mettre en place un suivi régulier du pH, car ses variations renseignent sur la dynamique de fermentation et la stabilité du substrat.
4. Ne pas utiliser la drêche de brasserie seule ; la combiner avec des déchets de fruits ou d'autres substrats plus facilement biodégradables.

5. Réaliser des analyses complémentaires de matière sèche, azote total, rapport C/N, composition proximale des larves et qualité agronomique du résidu post-élevage.

6. Tester un pré-compostage court de 3 à 5 jours avant l'introduction des œufs ou jeunes larves, afin de stabiliser les pics thermiques et hydriques des substrats mixtes.

Références

- [1]. Amrul, N. F., Ahmad, I. K., Ahmad Basri, N. E., Suja, F., Abdul Jalil, N. A., & Azman, N. A. (2022). A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 14(8), 4565. <https://doi.org/10.3390/su14084565>
- [2]. Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N. K., Fiaboe, K. K. M., Nakimbugwe, D., Khamis, F. M., Subramanian, S., Dubois, T., Musyoka, M. W., Ekesi, S., Kelemu, S., & Tanga, C. M. (2020). Exploring black soldier fly frass as novel fertilizer for improved growth, yield, and nitrogen use efficiency of maize under field conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11, 574592. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.574592>
- [3]. Lalander, C., Ermolaev, E., Wiklicky, V., & Vinnerås, B. (2020). Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content. *Science of the Total Environment*, 729, 138968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138968>
- [4]. Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., & Paengkoum, P. (2022). Nutritional composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its potential uses as alternative protein sources in animal diets: A review. *Insects*, 13(9), 831. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>
- [5]. Bonelli, M., Bruno, D., Brilli, M., Gianfranceschi, N., Tian, L., Tettamanti, G., Caccia, S., Casartelli, M., & Tettamanti, G. (2020). Black soldier fly larvae adapt to different food substrates through morphological and functional responses of the midgut. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 4955. <https://doi.org/10.3390/ijms21144955>
- [6]. Caimi, C., Renna, M., Lussiana, C., Bonaldo, A., Gariglio, M., Meneguz, M., Dabbou, S., Schiavone, A., Gai, F., Elia, A. C., Prearo, M., & Gasco, L. (2020). First insights on black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal dietary administration in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) juveniles. *Aquaculture*, 515, 734539. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734539>