

Effet du frass de *Hermetia illucens* L. sur la croissance et le rendement de l'amarante (*Amaranthus viridis* L.) cultivée à Kinshasa, République Démocratique du Congo

Mununu Yoyo Evariste

Institut National d'Étude et de Recherche Agronomiques (INERA),
République Démocratique du Congo

Faculté des Sciences Agronomiques, Université Pédagogique Nationale
(UPN), République Démocratique du Congo

Binzunga Makumbu Mamy

Atinangadunga Mondulu Marguerite

Enanga Etun Benjamin

Mawiya Mbidi Beltschatsar

Kebano Kebantima Marcel

Ntendi Mfutila Michel

Kéren Mboyo Mpia

Lokinda Litalema Faustin

Institut National d'Étude et de Recherche Agronomiques (INERA),
République Démocratique du Congo

Mumba Diamba Antoine

Institut National d'Étude et de Recherche Agronomiques (INERA),
République Démocratique du Congo

Faculté des Sciences Agronomiques, Université Pédagogique Nationale
(UPN), République Démocratique du Congo

Approved: 08 October 2026

Posted: 10 October 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mununu Yoyo, E., Binzunga Makumbu, M., Atinangadunga Mondulu, M., Enanga Etun, B., Mawiya Mbidi, B., Kebano Kebantima, M., Ntendi Mfutila, M., Kéren Mboyo, M., Lokinda Litalema, F., & Mumba Diamba, A. (2026). *Effet du frass de Hermetia illucens* L. sur la croissance et le rendement de l'amarante (*Amaranthus viridis* L.) cultivée à Kinshasa, République Démocratique du Congo. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2026.p168>

Résumé

L'utilisation de fertilisants organiques locaux et durables est une priorité pour améliorer la productivité du maraîchage en milieu tropical.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet de différentes doses de frass de *Hermetia illucens* L. sur la croissance et le rendement de l'amarante dans les conditions de Kinshasa. L'essai a été conduit en blocs complets randomisés avec sept traitements : T0 (témoin sans apport) ; T1 (urée 46 % N) ; T2 (fiente de volaille) ; T3 (frass 25 %) ; T4 (frass 50 %) ; T5 (frass 75 %) ; T6 (frass 100 %). Les paramètres mesurés étaient la hauteur des plantes, le diamètre au collet, le nombre de feuilles, la longueur et la largeur foliaires, le nombre de branches ainsi que le rendement en biomasse fraîche. Les résultats révèlent des effets hautement significatifs du fertilisant et du temps sur l'ensemble des variables ($p < 0,001$), avec une réponse croissante selon la dose de frass. À la quatrième semaine, le traitement T6 présente les valeurs les plus élevées : hauteur de 26,9 cm, 22 feuilles par plante et un rendement de 41,8 t/ha, significativement supérieur au témoin T0 (21,1 t/ha) et à l'ensemble des autres traitements ($p < 0,001$). Le diamètre au collet et la longueur des feuilles suivent une dynamique différente, plus favorable aux traitements conventionnels en fin de cycle. Le frass à 100 % se distingue comme le fertilisant le plus efficace pour stimuler la croissance végétative et le rendement de l'amarante. Il constitue une alternative prometteuse, durable et économiquement pertinente aux engrais minéraux et aux déjections animales pour le maraîchage urbain à Kinshasa.

Mots-clés : *Hermetia illucens* L., amarante, croissance, rendement, fertilisation organique, Kinshasa, RDC

Effect of *Hermetia illucens* L. frass on Growth and Yield of Amaranth (*Amaranthus viridis* L.) Cultivated in Kinshasa, Democratic Republic of the Congo

Mununu Yoyo Evariste

National Institute for Agricultural Studies and Research (INERA),
Democratic Republic of the Congo

Faculty of Agricultural Sciences, National Pedagogical University (UPN),
Democratic Republic of the Congo

Binzunga Makumbu Mamy

Atinangadunga Mondulu Marguerite

Enanga Etun Benjamin

Mawiya Mbidi Beltschatsar

Kebano Kebantima Marcel

Ntendi Mfutila Michel

Kéren Mboyo Mpia

Lokinda Litalema Faustin

National Institute for Agricultural Studies and Research (INERA),
Democratic Republic of the Congo

Mumba Diamba Antoine

National Institute for Agricultural Studies and Research (INERA),
Democratic Republic of the Congo

Faculty of Agricultural Sciences, National Pedagogical University (UPN),
Democratic Republic of the Congo

Abstract

The use of local and sustainable organic fertilizers is a priority for improving market-gardening productivity in tropical environments. This study aimed to assess the effects of different doses of *Hermetia illucens* L. frass on the growth and yield of amaranth under the pedoclimatic conditions of Kinshasa. The experiment was set up in a randomized complete block design with seven treatments: T0 (unfertilized control); T1 (urea 46% N); T2 (poultry manure); T3 (frass 25%); T4 (frass 50%); T5 (frass 75%); and T6 (frass 100%). Measured parameters included plant height, collar diameter, leaf count, leaf length and width, branch number, and fresh biomass yield. Results revealed highly significant effects of fertilizer and time on all variables ($p < 0.001$), with growth increasing proportionally with frass dose. At the fourth week, treatment T6 recorded the highest values: plant height 26.9 cm, 22 leaves per plant and yield 41.8 t/ha, significantly higher than the control T0 (21.1 t/ha) and all other treatments ($p < 0.001$). Collar diameter

and leaf length followed different dynamics, with conventional treatments showing greater values at the end of the observation period. Frass applied at 100% dose proved the most effective fertilizer for enhancing vegetative growth and amaranth yield. It thus represents a promising, sustainable, and economically viable alternative to mineral fertilizers and animal manure for urban market gardening in Kinshasa.

Keywords: *Hermetia illucens* L., frass, amaranth, growth, yield, organic fertilization, Kinshasa, DRC

Introduction

L'amarante (*Amaranthus viridis* L.) est l'un des légumes-feuilles les plus cultivés et consommés en Afrique subsaharienne. Elle se distingue par son cycle court (4 à 6 semaines), sa forte capacité d'adaptation et sa haute valeur nutritionnelle : elle est riche en protéines, vitamines A et C, fer et calcium, essentiels pour lutter contre la malnutrition (Bressani, 2003 ; Chavez *et al.*, 2008). À Kinshasa, elle représente plus de 40 % des légumes commercialisés et assure des revenus réguliers à plus de 20 000 ménages (Djaneye-Boundjou *et al.*, 2014).

Cependant, la culture de l'amarante est très exigeante en nutriments, notamment en azote et en phosphore (Fageria *et al.*, 2008). Dans les sols pauvres de Kinshasa, les rendements sans fertilisation dépassent rarement 8 à 10 t/ha, insuffisants pour couvrir la demande (Ngweme *et al.*, 2023). Les engrais chimiques comme l'urée augmentent rapidement la production, mais sont chers, souvent indisponibles et peuvent dégrader la structure du sol à long terme (Africafertilizer, 2012). Les amendements organiques disponibles sont rares et de qualité variable (Mushizi *et al.*, 2024). Dumbi *et al.*, (2016) soulignent que dans le maraîchage périurbain Congolais, les pratiques de fertilisation restent limitées par l'accès aux intrants et la méconnaissance de solutions organiques adaptées.

Le frass de *Hermetia illucens* L., dont la composition a été caractérisée dans cette même étude, présente toutes les qualités requises pour répondre à ces besoins. Si son efficacité est démontrée sur plusieurs cultures dans le monde, peu de données existent sur son utilisation sur l'amarante en Afrique centrale. Cette étude vise donc à évaluer son effet selon différentes doses et à le comparer aux fertilisants courants.

Matériels et méthodes

Site d'expérimentation

L'essai a été réalisé sur le site expérimental KOPIA de l'Université de Kinshasa, situé à 4°23'S et 15°18'E, à une altitude de 310 m. Le climat est tropical humide, avec une pluviométrie annuelle moyenne de 1 400 mm et

une température moyenne de 26 °C. Le sol est sablo-argileux, légèrement acide (pH = 6,84), pauvre en azote total (0,27 %) et en réserves minérales (Mununu Yoyo *et al.*, 2026).

Matériel végétal et fertilisants

- L'amarante : la semence de *Amaranthus viridis* L., fournie par le centre de production de semences (CEPROSEM) de Kinshasa.
- Le frass : produit localement à partir d'un mélange de déchets ménagers biodégradables et de drèches de brasserie. Il présente les caractéristiques suivantes : pH (7,73) ; azote total (3,01 %) ; phosphore disponible (30,015 g/kg soit 3,0 %) ; potassium (13,85 cmol(+)/kg).
- La fiente de poules maturée et l'urée commerciale à 46 % d'azote ayant servi comme références.

Dispositif expérimental

L'essai est installé en blocs complets randomisés avec sept traitements et quatre répétitions. Chaque parcelle élémentaire mesure 3 m × 1 m (soit 3 m²) et contient 40 plants espacés de 30 cm × 30 cm.

Tableau 1: Nomenclature des traitements et doses fertilisants

Saison Pluvieuse				
Traitements	Types d'engrais	Dose fertilisant/plante (g/pied)	Dose fertilisant (t/ha)	Apport en N (kg/ha)
T0	témoins (sans apports)	0	0	0
T1	fiente de poule	4,5	0,6	125
T2	Urée	1,3	0,26	125
T3	25 % frass de LSMN	7,75	0,849	25,5
T4	50 % frass de LSMN	15,5	1,698	51
T5	75 % frass de LSMN	23,25	2,547	76,4
T6	100 % frass de LSMN	31	3,396	125,1

Le frass et la fiente ont été incorporés au sol 7 jours avant le repiquage. L'urée était apportée en deux fractions égales : au repiquage et 15 jours après. L'irrigation et le désherbage ont été assurés régulièrement.

Paramètres observés

Les mesures sont effectuées chaque semaine pendant 4 semaines après repiquage, sur 10 plants représentatifs par parcelle :

- 1) Hauteur de la plante (du sol à l'apex) : Mesurée à l'aide d'un ruban à mesurer (du collet jusqu'à l'extrémité de la pousse.
- 2) Diamètre du collet au niveau du sol : Mesuré à l'aide d'un pied à coulisse placé au repère 5 cm du niveau du sol.

- 3) Nombre des feuilles par plante : Obtenu après comptage des feuilles sur 10 plantes.
- 4) Nombre branches par plante : Nombre de branches (y compris la tige principale) par plante proviendra de 10 plantes aléatoires (= P1-P10) par parcelle lors de la première et de la dernière récolte = NoBR.
- 5) Longueur de la plus grande feuille pour calculer la surface foliaire : Était mesurée à partir de 10 plantes aléatoires (= P1-P10) par parcelle et 1 feuille pleinement développée par plante lors de la première et de la dernière récolte = LL (cm).
- 6) Largeur de la plus grande feuille pour calculer la surface foliaire : mesurée à partir de 10 plantes aléatoires (= P1-P10) par parcelle et 1 feuille pleinement développée par plante lors de la première et de la dernière récolte = LW (cm).
- 7) Rendement en biomasse fraîche à la récolte : Il était déterminé en cueillant la partie consommable de l'amarante (de feuilles mûres jusqu'à la partie apicale), 3 - 4 semaines après la transplantation. Il s'est agi d'une récolte par tige de plantes.

La plante était coupée à 10 à 15 cm du collet, et la tige restante s'est régénérée après quelques jours. La plante récoltée n'a pas été arrosée après la récolte et, l'irrigation avait repris le lendemain pour éviter le développement de champignons. Le rendement végétal total était déterminé en sommant les rendements obtenus par période de récolte et exprimés en hectare (t/ha).

La production parcellaire, initialement mesuré en kilogrammes (kg) sur une surface restreinte (m²), était ensuite extrapolé en tonne par hectare (t/ha) pour permettre une standardisation des résultats aux normes agricoles internationales. Le calcul suit la formule :

$$\text{Rendement}(t/ha) = \frac{\text{Poids}(kg)}{\text{Surface}(m^2)} \times 10$$

Cette étape permettra de neutraliser l'effet de la taille de nos parcelles expérimentales et de comparer les performances des différents traitements à une échelle de production réelle.

Résultats: Caractérisation physico-chimique du frass et du sol

Tableau 2: Propriétés physico-chimiques du sol expérimental et du frass de MSN

Échantillons	pH (eau)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol(+)/kg)	Ca (cmol(+)/kg)	Na (cmol(+)/kg)	Mg (cmol(+)/kg)
Sol (Site KOPIA)	6,21	0,35	108,3	0,05	0,21	0,07	0,15
	6,47	0,25	107,5	0,06	0,22	0,06	0,17
	7,25	0,27	109,1	0,07	0,2	0,06	0,14
	7,32	0,25	106,7	0,05	0,24	0,07	0,15
	7,35	0,24	105,8	0,05	0,22	0,07	0,15
frass de MSN	7,73	3,01	30,015(g/kg)	13,85	0,11	0,26	0,07

Source : LANAL, 2024

Tableau 3: Propriétés physico-chimiques du sol expérimental et du frass de MSN

Échantillons	pH (eau)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol(+)/kg)	Ca (cmol(+)/kg)	Na (cmol(+)/kg)	Mg (cmol(+)/kg)
Sol (Site KOPIA)	6,95	0,84	102,8	0,11	0,39	0,13	0,22
frass de MSN	7,73	3,01	30,015(g/kg)	13,85	0,11	0,26	0,07

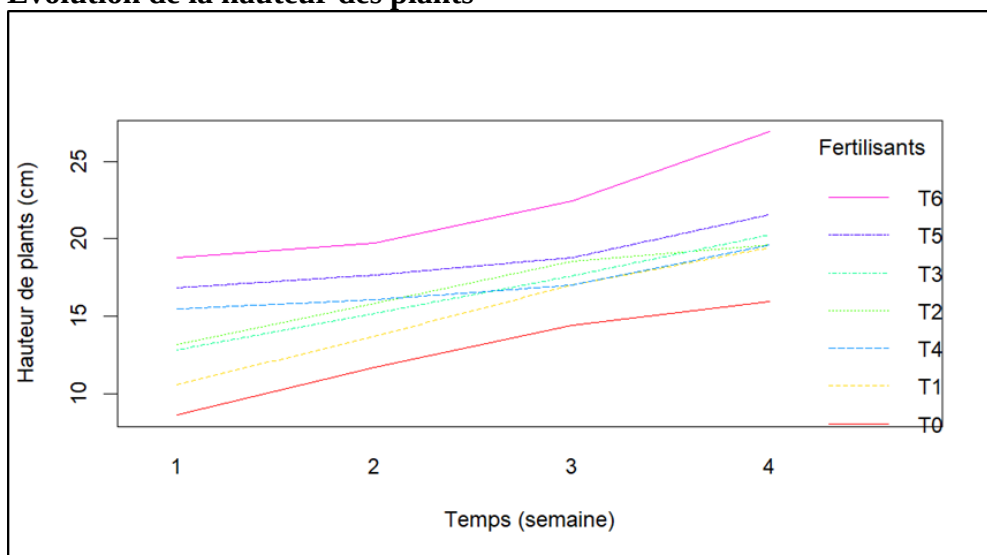
Source : LANAL, 2025

Il ressort de ces deux bulletins d'analyse du Laboratoire d'Analyse des Aliments (LANAL) de l'Université de Kinshasa, réalisés respectivement en mars 2024 (avant l'expérimentation et juin 2025 (après la récolte) que : le sol initial est en carence en éléments majeurs (N, P, K), ce qui explique la réponse forte des plantes aux apports fertilisants. L'amélioration observée en 2025 confirme la possibilité d'amender ce type de sol.

Le frass analysé se présenterait comme un amendement organo-minéral complet, équilibré en azote, phosphore et potassium, et riche en cations. Il présente une valeur fertilisante nettement supérieure au sol et peut compenser efficacement la pauvreté initiale du milieu.

Analyse de la Variance

Évolution de la hauteur des plants

**Figure 1 :** Hauteur moyenne des plants selon les traitements

L'analyse de variance de type III révèle des effets hautement significatifs du fertilisant ($p < 0.001$) et du temps ($p < 0.001$) sur la hauteur de plants d'amarante. En revanche, l'interaction fertilisant $\times$ temps n'est pas significative ($p = 0.96$), indiquant que l'impact des fertilisants reste constant

au cours des semaines. Les analyses post hoc révèlent qu'à la première semaine, les fertilisants T5 (75% frass) et T6 (100% frass) produisent des valeurs supérieures au témoin ($p < 0.01$). Aux semaines 2 et 3, T6 se distingue significativement de T0 ($p < 0.01$). À la quatrième semaine, T6 atteint la valeur la plus élevée (26.9 cm), significativement supérieure à T0, T1, T2, T3 et T4 ($p < 0.01$). L'analyse intra fertilisant montre une progression nette pour tous les traitements, avec une augmentation particulièrement marquée pour T6 (+8.17 cm). Ces résultats suggèrent que T6 est le fertilisant le plus efficace pour stimuler la hauteur de plants de l'amarante, avec un effet croissant et durable au fil des semaines.

Diamètre du collet

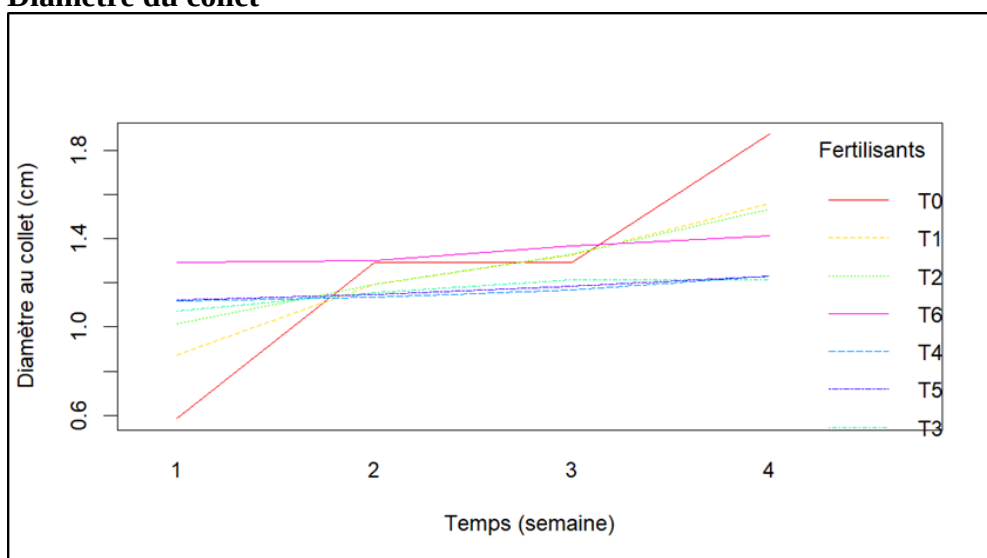


Figure 2 : Diamètre moyen du collet selon les traitements

L'analyse de variance montre une différence significative du fertilisant ($p = 0.047$) et du temps ($p < 0.001$) sur le diamètre au collet de plants d'amarante. De plus, l'interaction fertilisant $\times$ temps est significative ($p < 0.001$), indiquant que l'impact des fertilisants varie selon la semaine d'observation. Les analyses post hoc démontrent qu'à la première semaine, les fertilisants T3 à T6 produisent des valeurs supérieures au témoin ($p < 0.01$). Aux semaines 2 et 3, aucune différence notable n'est observée. À la quatrième semaine, le témoin T0 ainsi que les fertilisants T1 (témoin sans apport) et T2 (urée) présentent des valeurs significativement plus élevées que T3, T4, T5 et T6 ($p < 0.01$). L'analyse intra fertilisant montre une progression nette pour T0 (+1.29 cm), T1 (+0.69 cm) et T2 (+0.52 cm), tandis que les autres traitements restent stables. Ces résultats soulignent que T0, T1 et T2 favorisent une augmentation progressive de diamètre au collet,

alors que T3 à T6 induisent des valeurs précoces mais sans évolution notable.

Développement foliaire

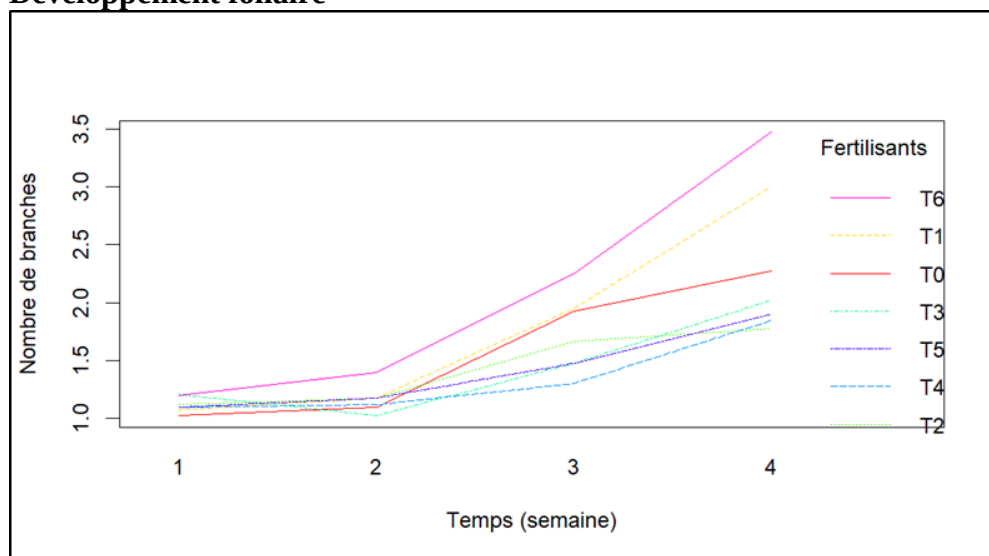


Figure 3 : Nombre de feuilles par plante selon les traitements

Il ressort de l'analyse de la variance un effet significatif du fertilisant ($p = 0.013$) et du temps ($p < 0.001$) sur le nombre de feuilles. En revanche, l'interaction fertilisant $\times$ temps n'est pas significative ($p = 0.45$), indiquant que l'impact des fertilisants reste relativement constant au cours des semaines. Aux semaines 1 à 3, les différences entre traitements ne sont pas significatives, bien que T4, T5 et T6 affichent des valeurs plus élevées. À la quatrième semaine, T6 atteint la valeur la plus élevée (22 feuilles), significativement supérieure au témoin T0 ($p = 0.036$) et en tendance supérieure à T2, T3 et T4. L'analyse intra-fertilisant montre une progression nette pour tous les traitements, avec une augmentation particulièrement marquée pour T6 (+12 feuilles).

Évolution de la longueur des feuilles

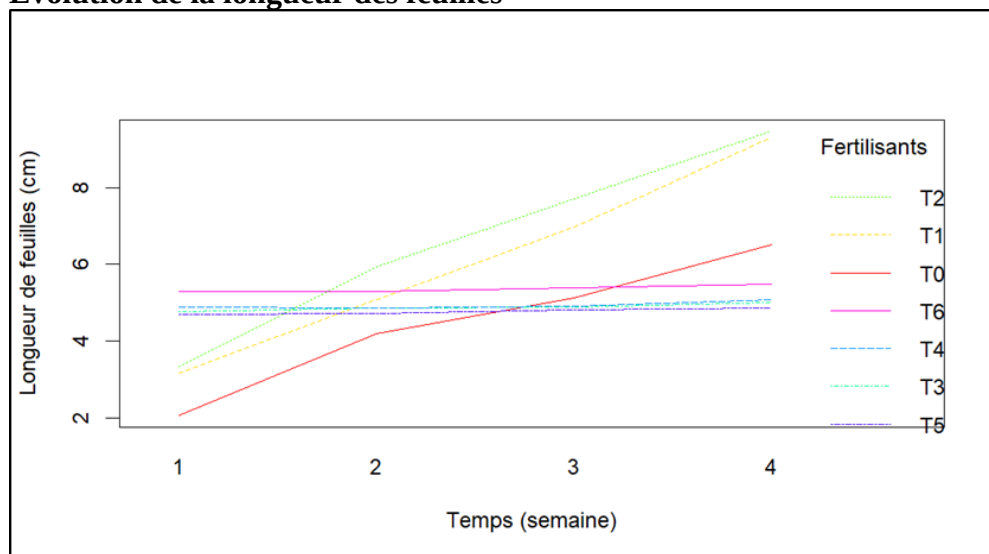


Figure 4 : Surface foliaire moyenne en longueur selon les traitements

L'analyse de variance montre des effets hautement significatifs du fertilisant ($p < 0.001$) et du temps ($p < 0.001$) sur la variable de réponse. En outre, l'interaction fertilisant $\times$ temps est significative ($p < 0.001$), indiquant que l'impact des fertilisants varie selon la semaine d'observation. À la première semaine, les fertilisants T3, T4, T5 et T6 produisent des feuilles plus longues que le témoin ($p < 0.0001$). À la deuxième semaine, T2 se distingue significativement de T0 ($p = 0.0007$). À la troisième semaine, T1 et T2 présentent des longueurs supérieures à T0 et aux autres traitements ($p < 0.0001$). Enfin, à la quatrième semaine, T1 et T2 atteignent les valeurs les plus élevées (≈ 9.3 à 9.5 cm), significativement supérieures à T0 et aux fertilisants T3 à T6 ($p < 0.0001$). L'analyse intra fertilisant montre une progression nette pour T0, T1 et T2, tandis que T3 à T6 restent stables. Ces résultats démontrent que T1 et T2 favorisent une croissance foliaire progressive et durable, alors que T3 à T6 induisent une longueur initialement élevée mais sans évolution notable.

Évolution de largeur des feuilles

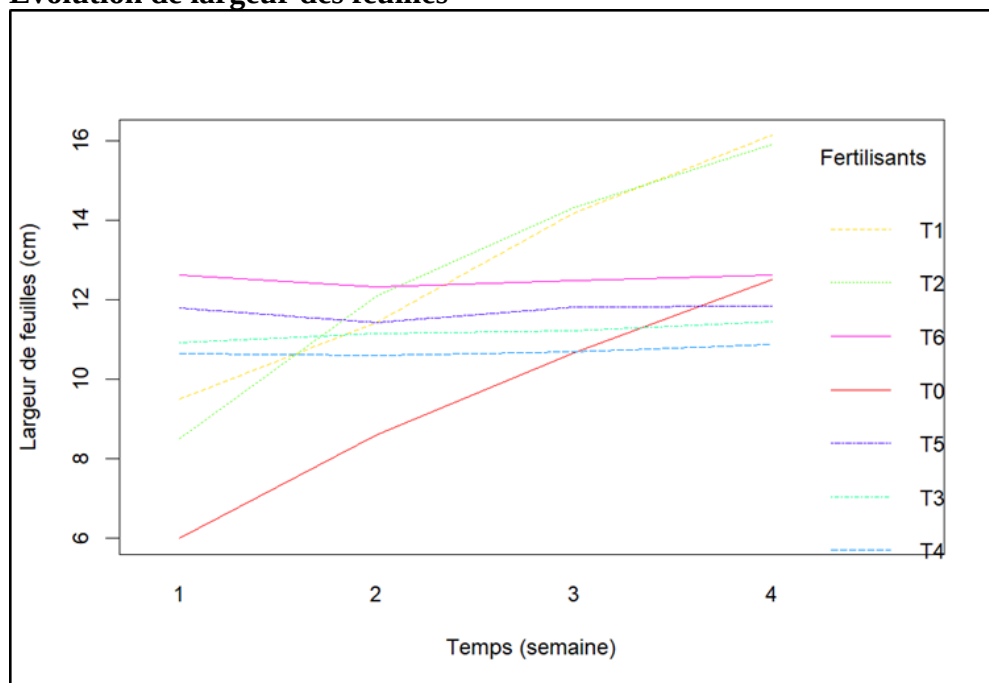


Figure 5 : Surface foliaire moyenne en largeur selon les traitements

Les résultats de l'analyse de variance de type III montre des effets significatifs du fertilisant ($p < 0.001$) et du temps ($p < 0.001$) sur la largeur des feuilles. Par ailleurs, l'interaction fertilisant $\times$ temps est significative ($p < 0.001$), indiquant que l'impact des fertilisants varie selon la semaine d'observation. À la première semaine, les fertilisants T5 (50% en frass) et T6 (100% en frass) produisent des feuilles plus larges que le témoin ($p < 0.0001$). À la deuxième semaine, T2 et T6 surpassent T0 ($p < 0.05$). À la troisième semaine, T1 et T2 sont supérieurs à T0 et T4 ($p < 0.05$). Enfin, à la quatrième semaine, T1 et T2 présentent les valeurs les plus élevées (≈ 16 cm), significativement supérieures à T0, T3, T4 et T5 ($p < 0.01$). L'analyse intra fertilisant montre une progression nette pour T1 et T2, tandis que T3 à T6 restent relativement stables.

Évolution de nombre des branches

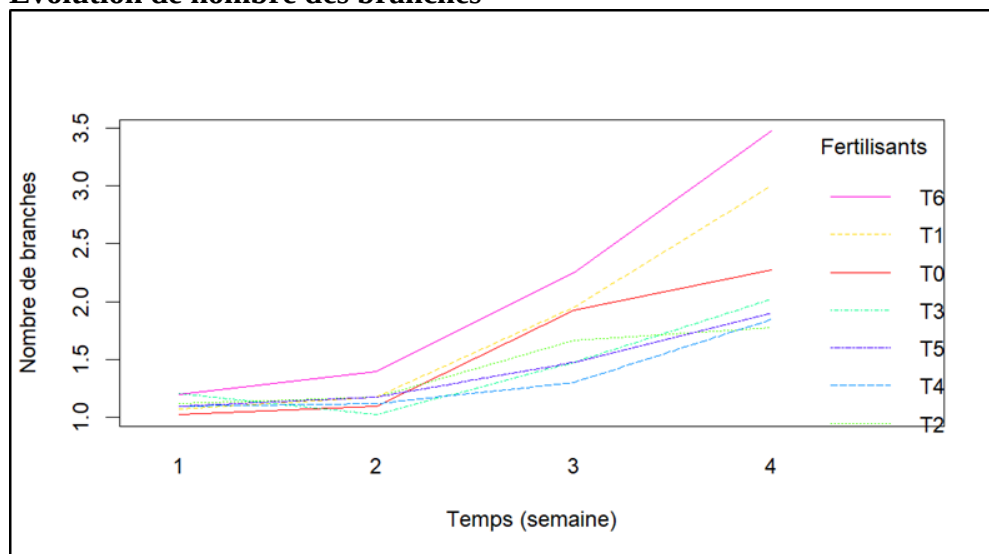


Figure 6 : Nombre moyen des branches selon les traitements

L'analyse de variance de type III révèle des effets significatifs du fertilisant ($p < 0.001$) et du temps ($p < 0.001$) sur le nombre de branches. De plus, l'interaction fertilisant $\times$ temps est significative ($p = 0.007$), indiquant que l'impact des fertilisants varie selon la semaine d'observation. Durant les deux premières semaines, aucune différence notable n'est observée entre les traitements. À la troisième semaine, les fertilisants T1 (témoin sans apport) et T2 (urée) produisent significativement plus de branches que les autres ($p < 0.001$). À la quatrième semaine, T6 (100% frass) atteint la valeur la plus élevée (environ 4 branches), significativement supérieure à T0, T2, T3, T4 et T5 ($p < 0.001$).

L'analyse intra fertilisant montre une progression nette pour T1 (+2 branches) et T6 (+2 branches), tandis que T2 reste stable. Ces résultats suggèrent que T1 stimule une croissance de branche régulière, alors que T6 induit une accélération marquée en fin de cycle.

Rendement en biomasse fraîche

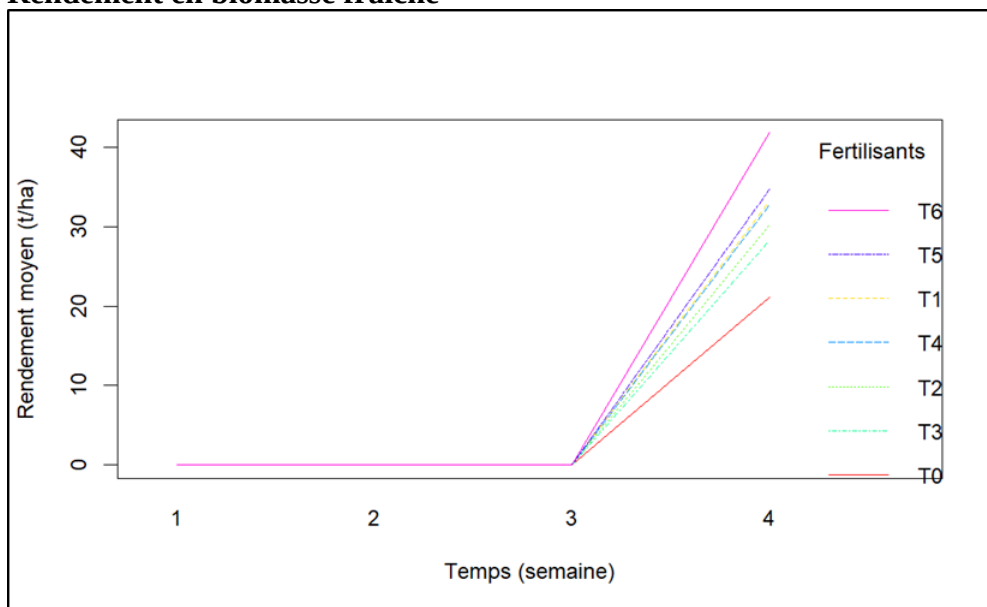


Figure 7 : Rendement en biomasse fraîche selon les traitements

L'analyse de variance de type III démontre que le rendement moyen de l'amarante est influencé de manière hautement significative par le fertilisant ($p < 0.001$) et le temps ($p < 0.001$). Bien plus, l'interaction fertilisant $\times$ temps est significative ($p < 0.001$), indiquant que l'impact des fertilisants varie selon la semaine d'observation. Les analyses post hoc révèlent que les fertilisants n'ont pas d'effet significatif durant les trois premières semaines (moyennes nulles, $p = 1.000$). En revanche, à la quatrième semaine, des différences marquées apparaissent.

Le témoin (T0) présente le rendement le plus faible (21,1 t/ha), significativement inférieur à tous les traitements ($p < 0.0001$). Le fertilisant T6 obtient la valeur la plus élevée (41,8 t/ha), significativement supérieure à l'ensemble des autres fertilisants ($p < 0.0001$). Les fertilisants T1, T4 et T5 se situent dans une classe intermédiaire ($\approx 32 - 35$ t/ha), tandis que T2 et T3 affichent des rendements plus modestes ($\approx 28 - 30$ t/ha).

Discussion

Les résultats de cette étude confirment une amélioration significative de la croissance végétative et du rendement en biomasse fraîche de l'amarante sous l'effet des apports de frass de *Hermetia illucens* L. Le traitement T6 (frass 100 %) se distingue comme le plus performant pour la plupart des paramètres évalués : il atteint la hauteur la plus élevée (26,9 cm à la 4^e semaine), le plus grand nombre de feuilles (22 feuilles) et le rendement maximal (41,8 t/ha), nettement supérieur au témoin T0 (21,1 t/ha) ainsi qu'à

l'ensemble des autres traitements ($p < 0,001$). Cette supériorité ne résulte pas uniquement d'un apport quantitatif d'éléments nutritifs, mais tient avant tout à la qualité de la forme organique des nutriments, à leur dynamique de libération adaptée aux besoins de la plante et aux effets bénéfiques indirects sur les propriétés du sol, ce qui différencie fondamentalement ce fertilisant des apports minéraux solubles ou des déjections animales brutes.

La performance accrue observée sous T6 s'exprime par une croissance durable et progressive sur toute la durée du cycle : l'analyse intra-fertilisant montre des gains particulièrement marqués pour la hauteur (+8,17 cm), le nombre de feuilles (+12 feuilles) et le nombre de branches (+2 branches), avec une accélération significative en fin de culture. La dynamique temporelle révèle que l'effet de T6 se manifeste dès la première semaine sur la hauteur et la largeur des feuilles, puis s'affirme de plus en plus jusqu'à la quatrième semaine, où il surpasse tous les autres traitements pour les paramètres de croissance aérienne et le rendement. La non-signification de l'interaction fertilisant $\times$ temps pour la hauteur et le nombre de feuilles confirme que l'avantage de T6 est constant et se maintient au fil du temps, contrairement à des apports dont l'effet s'estompe rapidement.

En revanche, des dynamiques contrastées apparaissent selon les paramètres. Pour le diamètre au collet et la longueur des feuilles, ce sont T0, T1 et T2 qui présentent une progression continue et des valeurs supérieures en fin de cycle, tandis que T3 à T6 affichent des valeurs précoces élevées mais sans évolution notable. Cela suggère que T1 et T2 induisent une croissance foliaire et un épaississement réguliers, tandis que T6 privilégie une croissance en hauteur, une production de feuilles et de branches plus abondantes, aboutissant à une biomasse totale plus importante. Ces différences tiennent à la nature de la fertilisation : T1 et T2 correspondent probablement à des apports plus rapidement disponibles mais moins complets, alors que le frass à dose maximale fournit une nutrition équilibrée et prolongée qui soutient la croissance active et la production foliaire caractéristiques de l'amarante.

L'azote organique du frass subit une minéralisation progressive et contrôlée par la microflore du sol, garantissant une disponibilité étalée tout au long du cycle cultural et synchronisée avec les phases de forte demande lors de l'expansion foliaire et de la constitution de la biomasse. Cet apport continu stimule durablement l'activité photosynthétique et le développement racinaire ; il est renforcé par l'amélioration concomitante de la structure du sol, de sa porosité et de sa capacité de rétention en eau (Smetana *et al.*, 2019 ; Pianti *et al.*, 2022). Contrairement à la fiente de volaille, qui peut être hétérogène ou entraîner des brûlures racinaires par décomposition brutale, le frass est un produit stabilisé et hygiénisé, éliminant les risques de

contamination microbienne ou de toxicité ammoniacale excessive (Lalander *et al.*, 2015).

L'urée (T2) fournit de l'azote exclusivement sous forme minérale, immédiatement disponible mais aussi très vulnérable aux pertes importantes : volatilisation ammoniacale en surface ou lessivage profond, particulièrement fréquent dans le contexte climatique de Kinshasa avec une pluviométrie annuelle de 1 400 mm. Comme l'ont établi Gebremikael *et al.* (2020), cette forme d'azote présente une disponibilité discontinue, se traduisant par une poussée de croissance rapide initiale suivie d'une carence précoce qui limite le prolongement du développement foliaire et la production durable de biomasse, contrairement à la libération progressive et étalée assurée par l'azote organique du frass.

Du point de vue nutritionnel, l'apport isolé d'azote par l'urée crée un déséquilibre : sans apport conjoint de phosphore, de potassium ou de matière organique, la croissance reste moins robuste, associée à une moindre tolérance au stress hydrique ou parasitaire et à une dégradation progressive de la structure et de la fertilité biologique du sol à long terme (Liu *et al.*, 2020). Ainsi, pour un apport total d'azote comparable (~125 kg N/ha), le rendement obtenu avec l'urée est inférieur de 11 t/ha à celui de T6 : cela confirme que l'efficacité fertilisante ne dépend pas seulement de la quantité d'azote fournie, mais de sa forme et de l'accompagnement des autres éléments nutritifs et de la matière organique.

La réponse de l'amarante au frass est positive et progressive depuis T3 (25 %) jusqu'à T6 (100 %), sans signe de dépression de croissance, de brûlure foliaire ou de toxicité aux doses élevées. Dans les conditions de cette étude, sur un sol initialement pauvre en nutriments, la dose maximale testée T6 correspond au seuil agronomique optimal : elle permet d'exprimer pleinement le potentiel de rendement de la culture.

Cependant, les doses intermédiaires T4 (25 % frass) et T5 (75 % frass) elles permettent d'atteindre respectivement plus de 85 % et 92 % du rendement maximal de T6, avec une consommation divisée par deux ou réduite d'un quart de frass. Ces doses constituent donc des seuils de compromis pertinents pour les maraîchers disposant de volumes limités de produit ou souhaitant réduire les coûts de production, tout en restant nettement supérieurs aux rendements obtenus avec la fiente ou l'urée (Beesigamukama *et al.*, 2020). Aucun effet inhibiteur n'étant observé, des essais complémentaires pourraient évaluer une marge de sécurité au-delà de 100 %, bien qu'une telle augmentation ne soit pas justifiée dans un objectif de rentabilité économique.

À équivalence d'apport azoté, l'efficacité agronomique de l'azote est nettement supérieure lorsqu'il est apporté sous forme de frass : chaque kilogramme d'azote organique génère un gain de rendement plus élevé que

l'azote minéral de l'urée. Cette meilleure efficience résulte de la synchronisation de la minéralisation avec les besoins des plantes, de la réduction drastique des pertes par lessivage ou volatilisation et des effets indirects positifs sur l'activité microbienne et la disponibilité des nutriments secondaires. Contrairement à l'engrais chimique dont l'effet est transitoire et limité à la saison culturale, le frass exerce un effet durable : il enrichit le sol en matière organique, améliorant sa fertilité résiduelle au bénéfice des cultures suivantes (Smetana *et al.*, 2019). Cette double fonction, nutrition immédiate et restauration durable du milieu, renforce la valeur agronomique et environnementale du frass dans les systèmes maraîchers périurbains fragilisés par l'appauvrissement des sols.

Ces résultats rejoignent les observations de Ruth *et al.* (2021) en Asie et d'Aderibigbe *et al.* (2022) en Afrique de l'Ouest, qui rapportent des gains de rendement de 40 à 70 % sur les légumes feuilles sous amendements organiques équilibrés. Ils apportent cependant une donnée nouvelle et adaptée spécifiquement au contexte de Kinshasa : le frass produit localement à partir de déchets ménagers biodégradables et de drèches de brasserie constitue une solution circulaire, accessible et adaptée. Il répond à la contrainte majeure d'approvisionnement en engrais chimiques, souvent chers, rares ou instables en prix, tout en réduisant les nuisances environnementales liées à l'accumulation des déchets organiques dans les zones urbaines.

Conclusion

Cette étude montre que le frass de *Hermetia illucens* L. produit localement présente un fort potentiel comme fertilisant organique pour la culture de l'amarante dans les conditions pédoclimatiques de Kinshasa. Il s'est révélé particulièrement favorable à la croissance végétative, au développement foliaire et au rendement en biomasse fraîche, et constitue une alternative pertinente à la fiente de volaille et à l'urée dans ce contexte.

Le traitement T6 (100 %, soit 3,396 t/ha) a donné les meilleurs résultats sur l'ensemble des paramètres, avec un rendement moyen de 41,8 t/ha, nettement supérieur au témoin et aux autres traitements. Les doses T4 (50 %) et T5 (75 %) offrent également des perspectives économiques et des efficacités appréciables, atteignant plus de 85 % et 92 % du rendement maximal pour des apports réduits ; elles constituent des seuils de choix pour les maraîchers visant à concilier performance et maîtrise des coûts.

Par ailleurs, l'utilisation du frass présente des atouts multiples : sécurité sanitaire du produit stabilisé, amélioration durable des propriétés du sol, réduction des nuisances liées aux déchets organiques, et contribution à l'autonomisation partielle des producteurs face aux intrants importés, souvent rares, chers et instables.

Toutefois, ces résultats méritent d'être confirmés par des essais complémentaires sur plusieurs saisons culturales, sur divers types de sols et en élargissant la gamme des doses et des conditions de mise en œuvre, avant d'envisager une généralisation. Dans cette perspective, il est recommandé de poursuivre les recherches sur d'autres cultures maraîchères, d'encourager la création d'unités de production communautaires et de former les acteurs aux bonnes pratiques de fabrication et d'application. Le frass apparaît ainsi comme une voie prometteuse pour développer un maraîchage plus productif, plus économique et plus respectueux de l'environnement en milieu urbain tropical.

Remerciements

Les auteurs souhaitent témoigner leur reconnaissance à l'Institut National d'Étude et de Recherche Agronomiques (INERA) pour le soutien scientifique et logistique apporté durant la réalisation de ces travaux. Ils étendent leurs remerciements à l'ensemble du personnel impliqué ainsi qu'aux partenaires institutionnels et techniques, pour leur collaboration précieuse lors des suivis culturels, des prélèvements et des analyses en laboratoire.

Contributions des auteurs

- **Mununu Yoyo Evariste** (auteur correspondant et principal) : Conception du protocole expérimental, collecte et traitement statistique des données, rédaction initiale du manuscrit, interprétation des résultats, coordination générale du projet de recherche.
- **Co-auteur 1** : Mise en place des dispositifs expérimentaux au champ, suivi régulier des cultures.
- **Co-auteur 2** : Réalisation des mesures agronomiques, saisie et classement des données terrain.
- **Co-auteur 3** : Élaboration et préparation des fertilisants (notamment le frass), suivi des analyses physico-chimiques en laboratoire, vérification de la qualité des matières premières utilisées.
- **Co-auteur 4** : Conception et réalisation des tableaux et figures statistiques, vérification de la cohérence des données illustrées et de leur conformité avec les résultats bruts.
- **Co-auteur 5** : Recherche documentaire, sélection et synthèse des références scientifiques pertinentes, mise à jour de la bibliographie et contextualisation des travaux existants.
- **Co-auteur 6** : Analyse agronomique des résultats, participation à la rédaction de la discussion, comparaison des observations avec les données de la littérature scientifique internationale.

- **Co-auteur 7** : Relecture critique du texte, correction linguistique et stylistique, harmonisation de la rédaction aux normes éditoriales et scientifiques en vigueur.
- **Co-auteur 8** : Contrôle de la rigueur méthodologique, validation des plans d'analyse statistique, appui technique et conseils scientifiques tout au long du déroulement de l'étude.
- **Co-auteur 9** : Direction scientifique de la recherche, validation du protocole expérimental, orientation des réflexions, relecture finale du manuscrit et approbation de la version soumise pour publication.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Aderibigbe, A., Ouedraogo, J., & Grubben, G. (2022). « Diversité des espèces d'amarantes et leurs exigences écologiques en Afrique centrale ». *Genetic Resources and Crop Evolution*, 69(4), 1245-1262.
2. Africafertilizer. (2012). Disponibilité et prix des engrais en Afrique subsaharienne. *Rapport régional*.
3. Beesigamukama, D., Shumo, M., & Gebremikael, M. (2020). « Réponse des légumes-feuilles à la fertilisation au frass ». *Agronomy Journal*, 112(3), 1870-1879.
4. Bressani, R. (2003). « Valeur nutritionnelle des amarantes et intérêt pour la sécurité alimentaire ». *Food and Nutrition Bulletin*, 24(2), 156-168.
5. Chavez, M., Shukla, S., & Denton, O. (2008). « Apport en nutriments des légumes traditionnels en milieu urbain ». *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(3), 245-253.
6. Djaneye-Boundjou, A., Ngweme, D., & Muanda, M. (2014). « Organisation et contraintes du maraîchage à Kinshasa ». *Cahiers d'Études Africaines*, 54(2), 456-472.
7. Dumbi, J., Lallau, B., & Tshimanga, R. (2016b). « Pratiques de fertilisation dans le maraîchage péri-urbain ». *Revue Africaine de Développement Agricole*, 18(1), 78-92.
8. Fageria, N. K., Santos, A., & Filho, M. (2008). « Besoins en nutriments et réponse de l'amarante à l'azote ». *Journal of Plant Nutrition*, 31(8), 1456-1472.

9. Gebremikael, M., Beesigamukama, D., & Shumo, M. (2020). « Dynamique de l'azote dans le sol amendé au frass ». *Soil Biology & Biochemistry*, 148, 107890.
10. Lalander, C., Diener, S., & Vinnerås, B. (2015). « Hygiénisation des déchets organiques par les larves de mouche soldat noire ». *Journal of Applied Microbiology*, 118(4), 879-888.
11. Lelo Nzuzi, F., & Tshimanga, R. (2021). Amendements organiques et rendement des cultures maraîchères en RDC. *Éditions du CEPAS*.
12. Liu, C., Mertenat, A., & Rehman, K. (2020). « Comparaison de l'efficacité agronomique du frass et des engrais classiques ». *Waste Management*, 105, 234-242.
13. Mununu Yoyo, E. et al. (2026). « Caractérisation physico-chimique du frass produit à Kinshasa ». *Revue Congolaise des Sciences Agricoles*, 8(1), 22-30.
14. Mushizi, T., Ngweme, D., & Bukele, J. (2024). « Contraintes d'approvisionnement en amendements organiques à Kinshasa ». *Cahiers de Géographie Tropicale*, 56(1), 89-104.
15. Ngweme, D., Dumbi, J., & Bukele, J. (2023). « Potentiel de rendement de l'amarante selon la fertilité du sol ». *Revue Africaine des Sciences du Sol*, 21(1), 67-82.
16. Pianti, A., Schmitt, L., & de Vries, F. (2022). « Effets du frass sur la croissance racinaire et les interactions plantes-sol ». *Plant and Soil*, 476(1-2), 345-362.
17. Ruth, S., Shumo, M., & Sauer, J. (2021). « Réponse de différentes espèces d'amarantes aux fertilisants organiques ». *Economic Botany*, 75(2), 145-160.
18. Shumo, M., Beesigamukama, D., & Gebremikael, M. (2019). « Qualité nutritionnelle des légumes fertilisés au frass ». *Journal of Food Quality*, 2019, Article 9762483.
19. Smetana, S., Chia, S., & Schmitt, L. (2019). « Effets à long terme du frass sur la structure et la fertilité du sol ». *Journal of Industrial Ecology*, 23(3), 678-690.
20. Sustlives, P. (2022). Culture et fertilisation de l'amarante en zone tropicale. *CTA, Wageningen*.