

Effets de différents types de fertilisation sur la composition nutritionnelle de l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) cultivée à Kinshasa

Mununu Yoyo Evariste

Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA),
République Démocratique du Congo

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

Ibobondji Kapuku Lucien

Ikaa Lefeta François

Ntumba Tshibangu Joseph

Enanga Etun Benjamin

Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA),
République Démocratique du Congo

Mangana Ikoko Joël

Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa (UNIKIN),
République Démocratique du Congo

Binzunga Makumbu Mamy

Lokinda Litalema Faustin

Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA),
République Démocratique du Congo

Mumba Diamba Antoine

Institut National pour l'Etude et Recherche Agronomiques (INERA),
République Démocratique du Congo

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

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p248](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p248)

Submitted: 25 March 2026

Accepted: 08 August 2026

Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mununu Yoyo, E., Ibobondji Kapuku, L., Ikaa Lefeta, F., Ntumba Tshibangu, J., Enanga Etun, B., Mangana Ikoko, J., Binzunga Makumbu, M., Lokinda Litalema, F., & Mumba-Djamba, A. (2026). *Effets de différents types de fertilisation sur la composition nutritionnelle de l'amarante (Amaranthus hybridus L.) cultivée à Kinshasa*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 248. <https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p248>

Résumé

L'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) est un légume-feuille d'une importance majeure pour la sécurité nutritionnelle en République Démocratique du Congo, fournissant des protéines et des minéraux essentiels. Toutefois, sa qualité nutritionnelle est étroitement liée aux pratiques de fertilisation et de la fertilité du sol. Cette étude visait à évaluer l'effet comparatif de trois types de fertilisations, à savoir le frass issu de larves de mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.), la fiente de poule et de l'urée, sur la composition bromatologique de l'amarante cultivée à Kinshasa. L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en blocs complets randomisés comprenant sept traitements. Les résultats d'analyses effectuées au laboratoire LANAL (UNIKIN) révèlent que l'application du frass à 100 % (T6) optimise significativement la teneur en protéines des feuilles, qui atteint 5,11 %, contre 4,60 % avec l'urée et 4,54 % pour le témoin. Contrairement aux estimations antérieures, les teneurs en fibres ont été stabilisées entre 1,76 % (T6) et 1,81 % (T0), ce qui indique que la fertilisation au frass n'altère pas la tendreté des feuilles. En outre, le traitement T6 (frass 100%) a amélioré la teneur en éléments minéraux des feuilles, avec 255 mg/MF de calcium contre 167 mg/MF pour le témoin (T0), 1,86 mg de fer contre 1,79 mg, et 0,54 mg, traduisant une meilleure qualité nutritionnelle de l'amarante. Ces résultats mettent en évidence le potentiel du frass de mouche soldat noire comme fertilisant organique innovant et bio-circulaire, capable d'améliorer la qualité nutritionnelle de l'amarante tout en contribuant à une production maraîchère plus durable en milieu tropical.

Mots-clés: *Amaranthus hybridus* L., frass, *Hermetia illucens* L., qualité nutritionnelle, biofertilisant

Effect of Different Types of Fertilization on the Nutritional Composition of Amaranth (*Amaranthus hybridus* L.), Cultivated in Kinshasa

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

Ibobondji Kapuku Lucien

Ikaa Lefeta François

Ntumba Tshibangu Joseph

Enanga Etun Benjamin

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

Mangana Ikoko Joël

Faculty of Agricultural Sciences, University of Kinshasa (UNIKIN),
Democratic Republic of the Congo

Binzunga Makumbu Mamy

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

Amaranth (*Amaranthus hybridus* L.) is a leafy vegetable of major importance for nutritional security in the Democratic Republic of the Congo, providing protein and essential minerals. However, its nutritional quality is closely linked to fertilization practices and soil fertility. This study aimed to evaluate the comparative effect of three types of fertilization, namely frass from black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.), poultry manure, and urea, on the chemical composition of amaranth grown in Kinshasa. The experiment was set up using a randomized complete block design with seven treatments. Laboratory analyses carried out at LANAL (UNIKIN) show that application of 100% frass (Treatment T6) significantly optimizes leaf protein content, reaching 5.11%, compared with 4.60% under urea and 4.54% for the control.

Contrary to earlier estimates, fiber content remained stable between 1.76% (T6) and 1.81% (T0), indicating that frass fertilization does not adversely affect leaf tenderness. In addition, Treatment T6 (100% frass) improved leaf mineral content: calcium reached 255 mg per 100 g fresh matter versus 167 mg/100 g FM in the control (T0), iron 1.86 mg versus 1.79 mg, and zinc 0.54 mg, reflecting better overall nutritional quality of the amaranth. These findings highlight the potential of black soldier fly frass as an innovative, circular organic fertilizer capable of enhancing amaranth nutritional quality while supporting more sustainable vegetable production in tropical environments.

Keywords: *Amaranthus hybridus* L., frass, *Hermetia ilucens* L., nutritional quality, biofertilizer

Introduction

L'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) occupe une place prépondérante dans les systèmes alimentaires des zones urbaines et périurbaines d'Afrique subsaharienne, notamment en République Démocratique du Congo où elle figure parmi les légumes-feuilles les plus consommés (Akin-Idowu *et al.*, 2016 ; Achigan-Dako *et al.*, 2014). Grâce à son cycle de croissance rapide et à sa forte valeur nutritive, elle constitue une source essentielle de protéines végétales, de fibres alimentaires, de vitamines (A et C), ainsi que des minéraux essentiels tels que le calcium, le fer et le magnésium (Mlakar *et al.*, 2010 ; Sarker *et al.*, 2019). A Kinshasa, sa culture intensive joue un rôle déterminant dans le renforcement de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations, tout en constituant une importante source de revenus pour les petits producteurs maraîchers (FAO, 2021). Cependant, le maraîchage se heurte à la dégradation progressive de la fertilité des sols ferrallitiques de la région, caractérisés par une forte acidité et une faible teneur en matières organiques (Kahindo *et al.*, 2019). Afin de compenser ces contraintes, l'usage d'engrais minéraux, notamment l'urée, est fréquente pour stimuler la biomasse végétative. Bien que ces intrants augmentent le rendement, leur coût élevé et leurs effets négatifs sur l'environnement tels que le lessivage des nitrates et l'acidification des sols limitent leur durabilité (Chivenge *et al.*, 2011). De plus, une fertilisation exclusivement minérale peut entraîner une « dilution » des nutriments essentiels, réduisant ainsi la valeur nutritionnelle des feuilles récoltées (Sarker *et al.*, 2018).

Dans ce contexte, le recours à des amendements organiques constitue une alternative prometteuse pour restaurer la fertilité des sols tout en améliorant la qualité nutritionnelle des cultures (Palm *et al.*, 2001 ; Vanlauwe *et al.*, 2010). Parmi ces amendements, la fiente de poule est traditionnellement valorisée pour sa richesse en azote et phosphore (Ojeniyi, 2000), de nouvelles solutions issues de l'économie circulaire émergente. Plus récemment, le frass,

résidu organique issu de la bioconversion des déchets par les larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) suscite un intérêt croissant en tant que biofertilisant innovant, riche en nutriments, en chitine et en micro-organismes bénéfiques (Liu *et al.*, 2020 ; Beesigamukama *et al.*, 2020).

Plusieurs études réalisées en Afrique de l'Est et en Europe ont mis en évidence les performances agronomiques du frass sur diverses cultures, notamment en termes de croissance, de rendement et de fertilité des sols (Tanga *et al.*, 2022 ; Meneguz *et al.*, 2018 ; Lomonaco *et al.*, 2022). Néanmoins, son impact spécifique à son influence sur la composition bromatologique de l'amarante cultivée dans la condition pédoclimatique spécifique de Kinshasa reste encore peu exploré. En milieu urbain kinois, où les régimes alimentaires constituent encore un problème majeur de santé publique (UNICEF, 2020), l'identification de pratiques de fertilisation capables d'améliorer simultanément les rendements et la qualité nutritionnelle des légumes-feuilles représente un enjeu important pour le développement d'une agriculture urbaine durable.

Cette étude vise donc à évaluer l'effet comparatif du frass issu des larves de la mouche soldat noire, de la fiente de poule et de l'urée sur les propriétés nutritionnelles de l'amarante. L'objectif est de identifier la stratégie de fertilisation optimale pour maximiser la teneur en protéines et en minéraux essentiels de cette culture, tout en proposant aux producteurs une solution durable, accessible et respectueuse de l'environnement pour contribuer à l'amélioration de la qualité nutritionnelle des légumes-feuilles et à la réduction des risques de carences alimentaires.

Matériel et Méthodes

Description du site expérimental

L'étude a été menée sur le site expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kinshasa (UNIKIN), en République Démocratique du Congo. Cette zone est caractérisée par un climat tropical humide de type Aw4 selon la classification de Köppen, avec une saison de pluies (septembre à mai) et une saison sèche (juin à août). Le sol du site est de nature ferrallitique à texture sableuse, avec une faible capacité de rétention en eau et une acidité prononcée, conditions susceptibles de limiter la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures.

Matériel biologique et intrants

Le matériel végétal utilisé était constitué de semences d'amarante (*Amaranthus hybridus* L.), variété locale largement cultivée et consommée à Kinshasa. Trois types de fertilisants ont été testés :

- L'engrais minéral : L'urée (46% N) était utilisée comme référence chimique.

- L'engrais organique traditionnel : La fiente de poule séchée.
- L'innovation organique : Le frass de larves de mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) produit à partir du recyclage de biodéchets organiques ménagers.

Dispositif expérimental et traitements

Le dispositif adopté est un dispositif en blocs complets randomisés (BCR) comportant 7 traitements répartis en 4 répétitions, soit un total de 28 parcelles élémentaires. Chaque parcelle couvrait une superficie de 3m².

Les différents traitements ont été définis suivant une dose standard de 125 kg d'Azote par hectare (125 kg N/ha), correspondant aux besoins optimaux de l'amarante en zone tropicale ; cette dose a servi de base pour comparer l'efficacité des différentes sources de fertilisation : l'urée à 46 % d'azote, fiente de poule et frass de mouche soldat noire. Les modalités détaillées et dosages sont consignés dans ce tableau (1).

En conséquence, les échantillons destinés aux analyses nutritionnelles ont été prélevés et conditionnés selon une démarche rigoureuse, puis analysés au laboratoire d'analyses d'aliments de l'UNIKIN. La description détaillée des méthodes, du matériel et des procédures analytiques est reportée dans la section 3.5 dédiée aux analyses de laboratoire. Aucun schéma spécifique du dispositif analytique n'est joint ici ; les informations détaillées relatives aux paramètres mesurés et aux normes appliquées sont précisées dans ladite section. Les données obtenues sont présentées sous forme de tableaux et interprétées comme des tendances numériques, conformément aux précisions méthodologiques indiquées.

Tableau 1: Traitements et dosages selon les types de fertilisation

Saison Pluvieuse / Saison Sèche					
Code	Traitement	Teneur en N (%)	Dose fertilisant/plante (g/pied)	Dose fertilisant (t/ha)	Apport en N (kg/ha)
T0	Témoin	0	0	0	0
T1	Fiente de poule	20	4.5	0,6	125
T2	Urée	46	1.3	0,26	125
T3	25 % frass	3	7.75	0,849	25.5
T4	50 % frass	3	15.5	1,698	51
T5	75 % frass	3	23.25	2,547	76.4
T6	100 % frass	3	31	3,396	125.1

Conduite de la culture

La mise en place de l'essai a débuté par un labour manuel suivi de la confection des planches de culture. Les semences d'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) ont d'abord été semées en pépinière, puis les jeunes plants ont été repiqués 21 jours après le semis en respectant un espacement de 30 cm × 30

cm. Les opérations d'entretien comprenaient des arrosages réguliers, des sarclages et un suivi phytosanitaire manuel. Les feuilles destinées aux analyses bromatologiques ont été récoltées cinq (5) semaines après repiquage.

Analyses de laboratoire

Les échantillons de feuilles fraîches ont été prélevés à la 5^e semaine après repiquage, puis transportés au laboratoire d'analyse des aliments (LANAL) de l'Université de Kinshasa (UNIKIN) pour analyse. La méthode d'échantillonnage consistait à prélever au hasard trois plantes saines et entièrement développées par traitement, en évitant les zones de bordures. Les feuilles ont été nettoyées à l'eau distillée, puis conditionnées dans les sachets hermétiquement fermés et conservées en glacière avant analyse, réalisée dans les 48 heures suivant la récolte.

Les paramètres suivants ont été déterminés selon les méthodes conventionnelles de l'association de chimistes officiels (AOAC) :

- La teneur en humidité : par dessiccation à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante ;
- La teneur en protéines brutes : par la méthode de Kjeldahl (teneur en azote multipliée par le facteur de conversion (N x 6,25)) ;
- La teneur en fibres alimentaires : par digestion acide et alcaline (méthode de Weende) ;
- La teneur en cendres totales : par incinération au four à moufle à 550°C ;
- Teneur en β -carotène et vitamine C : par la valeur en micronutriments, afin d'évaluer la valeur en micronutriments ;
- Les teneurs en calcium, fer et zinc : par spectrophotométrie d'absorption atomique pour compléter le profil minérale.

Analyse des données

Les données issues du laboratoire étaient traitées à l'aide du tableur Excel, qui a également servi à la réalisation des tableaux et des représentations graphiques des résultats, dont l'interprétation s'est basée sur une analyse comparative directe des valeurs obtenues pour chaque paramètre physico-chimique entre les différents traitements.

Résultats

Composition nutritionnelle (bromatologique) de l'amarante

Les résultats d'analyses nutritionnelles effectuées au Laboratoire d'Analyse des Aliments (LANAL) sur les feuilles d'amarante récoltées à la 5^{ème} semaine après repiquage sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2: Paramètres nutritionnels de l'amarante selon les types de fertilisation

Paramètres / TMT	T0 (Témoin)	T1 (Fiente)	T2 (Urée)	T3 (25% frass)	T4 (50% frass)	T5 (75% frass)	T6 (100% frass)
<i>Humidité (%)</i>	82	86	83	84	84	87	86
<i>Cendre (%)</i>	0,8	0,8	0,8	0,81	0,79	0,8	0,81
<i>Protéines (%)</i>	4,54	4,81	4,6	4,71	4,72	4,93	5,11
<i>Fibres (%)</i>	1,81	1,79	1,79	1,8	1,82	1,78	1,76
<i>Vitamine (β-carotène) A (mg)</i>	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,003	0,004	0,0058
<i>Vitamine C (mg)</i>	0,061	0,061	0,061	0,02	0,03	0,05	0,06
<i>Lipide (%)</i>	0,22	0,21	0,2	0,22	0,22	0,22	0,22
<i>Glucide (%)</i>	8,41	8,39	8,38	8,42	8,4	8,41	8,41
<i>Calcium (mg/MF)</i>	167	233	195	175	216	235	255
<i>Fer (mg)</i>	1,79	1,8	1,8	0,47	0,93	1,40	1,86
<i>Zinc (mg)</i>	0,49	0,5	0,49	0,14	0,27	0,41	0,54

Les teneurs en éléments minéraux et micronutriments des feuilles d'amarante rapportées dans le tableau 2, font apparaître des tendances numériques selon le traitement appliqué.

Le traitement à 100% de frass (T6) affiche systématiquement les valeurs les plus élevées : 255 mg/100 g de calcium, 1,86 mg/100 g de zinc, dépassant celles du témoin, de l'urée et de la fiente. On observe une progression graduelle des teneurs en minéraux au fur et à mesure que la proportion de frass augmente (de T3 à T6), tandis que l'urée et la fiente ne génèrent que des écarts très faibles par rapport au témoin.

S'agissant des vitamines, la teneur en β-carotène (provitamine A) augmente légèrement avec la dose de frass, passant de 0,0052 % chez le témoin (T0) à 0,0058 chez 100 % frass (T6), soit une hausse d'environ 11,5 %. La teneur en vitamine C reste globalement stable entre 0,060 %, avec une très légère diminution numérique observée uniquement pour le traitement au frass pur.

Teneur en protéines brutes

L'analyse de la figure 1 montre que le type de fertilisation influence sur la teneur en protéines de l'amarante.

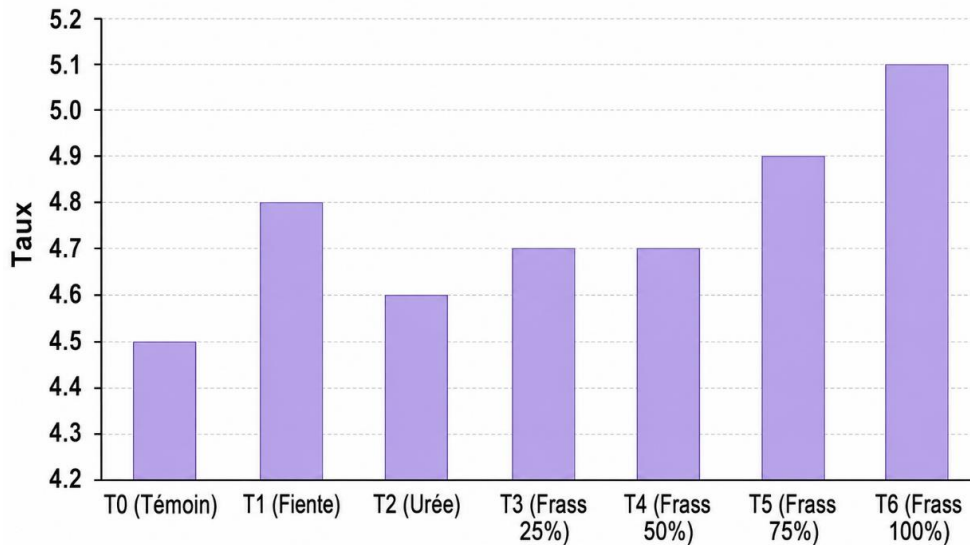


Figure 1: Teneur en protéines (%) de l'amarante sous différents traitements fertilisants

L'analyse de la figure 1 montre que le traitement T6 (frass 100 %) présente la valeur la plus élevée (5,11 %) de la teneur en protéine brute, suivi du traitement T5 (4,93 %). Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues avec les fientes de poule (4,81 %) et l'urée (4,60 %), tandis que le témoin (T0), non fertilisé, présente la teneur la plus faible (4,54 %).

L'apport de frass des larves de MSN semble donc favoriser une meilleure synthèse protéique dans les tissus foliaires par rapport aux autres sources d'azote.

Teneur en fibres alimentaires

La figure 2 présente l'effet des différents traitements fertilisants sur la teneur en fibres alimentaires des feuilles d'amarante.

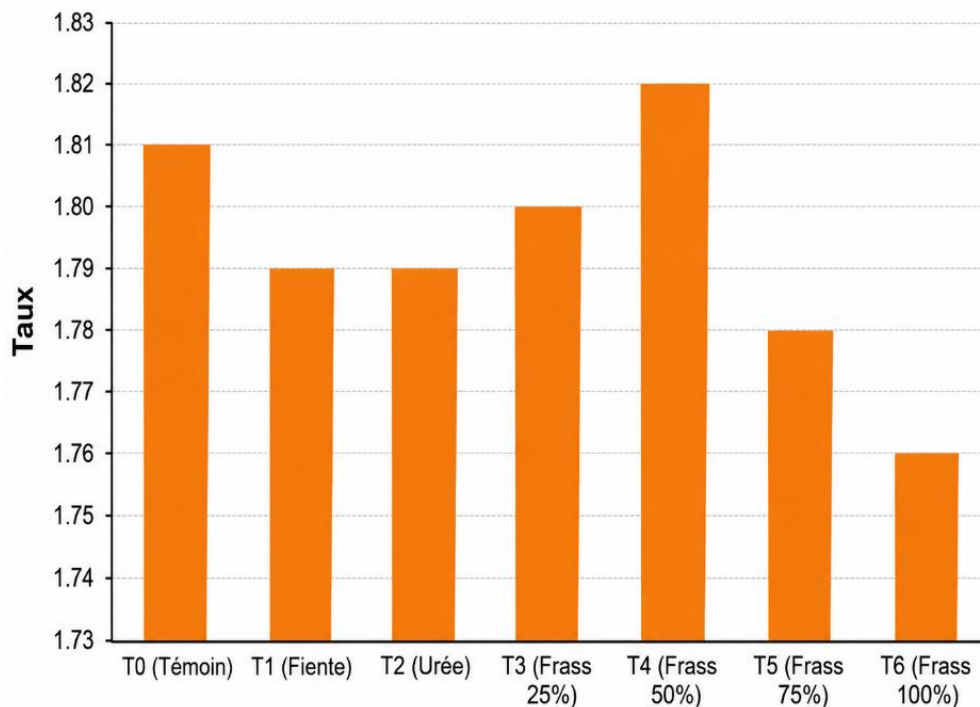


Figure 2: Effet des traitements fertilisants sur la teneur en fibres alimentaires (%) des feuilles d'amarante

Contrairement aux observations visuelles de terrain, les analyses de laboratoire révèlent des teneurs en fibres alimentaires relativement faibles et proches d'un traitement à l'autre, variant de 1,76% (T6) à 1,82% (T4). Compte tenu de la faible amplitude des écarts et de l'absence d'analyse statistique sur ces paramètres, aucune différence significative ne peut être affirmée entre les traitements. On observe toutefois numériquement que le traitement T6 (100% frass) présente la teneur la plus basse en fibres. Cela suggère que la fertilisation au frass pourrait permettre d'obtenir des plantes vigoureuses sans pour autant accélérer la lignification des feuilles, ce qui est favorable à la tendreté, bien que cette hypothèse mérite d'une confirmation statistique.

Cendres et Humidité

La figure 3 illustre la variation de la teneur en cendres des feuilles d'amarante selon les traitements fertilisants appliqués.

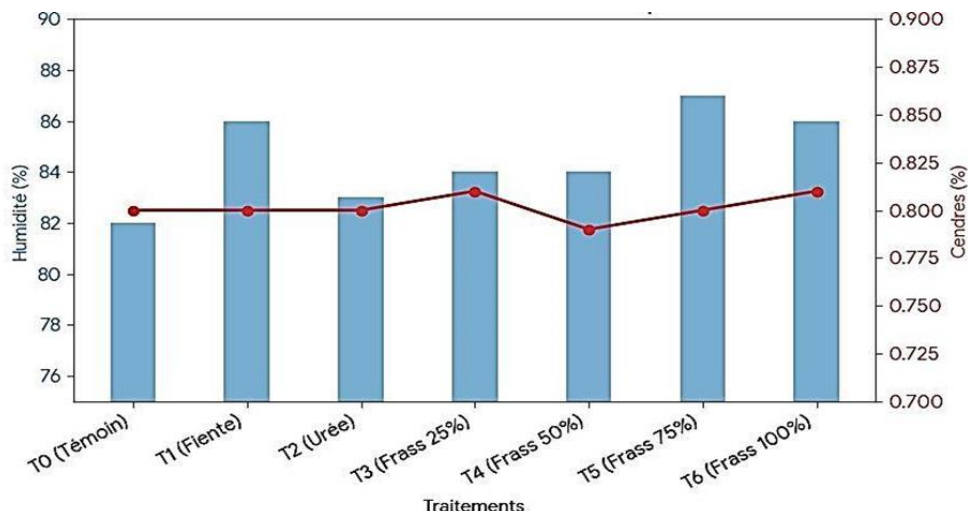


Figure 3: Effet des traitements fertilisants sur la teneur en humidité et cendres (%) des feuilles d'amarante

La teneur en cendres, représentative de la richesse minérale totale, reste stable autour de 0,80% pour l'ensemble des traitements, indiquant que la structure minérale de base de la plante n'est pas altérée par le type de fertilisant. Le taux d'humidité varie entre 82 % et 87 %, les valeurs les plus élevées étant observées pour les traitements organiques (T5 et T6), ce qui pourrait être lié à une meilleure capacité de rétention d'eau des tissus sous fertilisation organique.

Discussion

La présente étude démontre que la fertilisation à base de frass issu des larves de la mouche soldat noire (*Hermetia illucens* L.) exerce une influence positive sur la qualité nutritionnelle de l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.), avec des performances souvent supérieures à celles de l'urée chimique et de la fiente de poule traditionnellement utilisée en production maraîchère, le frass a permis d'obtenir des performances nutritionnelles supérieures pour plusieurs paramètres analysés. Ces résultats s'inscrivent dans le contexte des recherches récentes et de valorisation des biofertilisants issus de l'économie circulaire, qui visent à concilier amélioration de la productivité agricole, restauration de la fertilité des sols et production d'aliments à haute valeur nutritionnelle.

Effet des fertilisants sur la teneur en protéines

Les résultats de l'étude montrent que le traitement au frass à 100 % (T6) permet d'atteindre une teneur maximale en protéines brutes de 5,11 %. Cette supériorité confirme que la nature de la source d'azote qui conditionne directement la synthèse protéique dans les tissus foliaires. Contrairement à

l'azote minéral apporté sous forme d'urée, rapidement lessivé dans les sols ferralitiques sableux et acides de Kinshasa comme l'ont souligné Kahindo *et al.* (2019) dans leur analyse des contraintes de fertilité des sols du bassin du Congo, selon qui, la fraction organique du frass agit comme un réservoir à libération lente. Beesigamukama *et al.* (2020) et Romano *et al.* (2023) ont également observé ce mécanisme : la minéralisation progressive de l'azote contenu dans le frass assure une synchronisation parfaite entre la disponibilité des nutriments et les besoins physiologiques de la plante, améliorant ainsi l'efficacité d'utilisation de l'azote.

En outre, Liu *et al.* (2020) et Barragán-Fonseca *et al.* (2024) ont démontré que le frass contient des acides aminés libres et des peptides directement assimilables ou capables de stimuler le métabolisme azoté. Cette caractéristique pourrait expliquer les performances supérieures observées par rapport à la fiente de poule, pourtant reconnue comme une source importante d'azote organique (Ojeniyi, 2000). Ces résultats rejoignent ceux de Tanga *et al.* (2022), qui, dans des essais menés en Afrique de l'Est, ont constaté que le frass augmente la teneur en protéines de plusieurs légumes-feuilles comparativement avec les engrais conventionnels. Ces observations confirment que le frass ne se contente pas de fournir de l'azote, mais optimise également sa valorisation pour la synthèse de composés azotés essentiels.

Effet sur la teneur en fibres alimentaires

Un résultat majeur de cette expérimentation est le maintien de teneurs en fibres faibles et stables, avec des valeurs comprises entre 1,76 % pour T6 et 1,82 % pour T4, malgré une croissance végétative vigoureuse. Le traitement à base de 100 % de frass présente même la plus faible concentration en fibres, malgré une croissance végétative importante observée au cours de l'expérimentation. Ce résultat est essentiel car forte fertilisation azotée minérale induit souvent une croissance rapide qui s'accompagne d'une lignification précoce des tissus, dans le but de soutenir le poids de la biomasse produite. Ce phénomène a été clairement décrit par Sarker *et al.* (2018), qui soulignent que la qualité organoleptique et notamment la tendreté est un critère déterminant pour l'acceptation des légumes par les consommateurs.

Les résultats montrent que le frass permet d'obtenir des rendements élevés en biomasse sans altérer la tendreté des feuilles. Cette observation diffère légèrement de celles rapportées par Chepkorir *et al.* (2024) sur les épinards, où une légère augmentation des fibres avait été notée avec la fertilisation du frass. Cette divergence suggère que l'effet sur la fibrosité dépend étroitement de l'espèce végétale et du stade de récolte. Pour l'amarante, nos résultats corroborent néanmoins les conclusions de Mlakar *et al.* (2010), selon lesquelles une alimentation équilibrée en nutriments, telle que celle fournie par le frass, préserve la structure cellulaire et retarde la

sénescence des tissus. Dans le contexte de Kinshasa, où la tendreté est un critère de choix primordial, ce résultat place le frass comme un intrant de premier plan pour améliorer à la fois le rendement et la qualité marchande.

Effets sur les teneurs en cendres et en humidité

La teneur en cendres est utilisée comme indicateur de la richesse minérale totale, est restée relativement stable autour de 0,80 % dans tous les traitements. Cela indique que la structure minérale de base de la plante n'est pas modifiée par le type de fertilisant. Ce constat est cohérent avec les travaux de Akin-Idowu *et al.* (2016), qui ont montré que la composition minérale globale de l'amarante est en grande partie régie par des caractéristiques génétiques, même si les apports exogènes peuvent en modifier la concentration.

Concernant le taux d'humidité des feuilles, les valeurs observations varient entre 82 % et 87 %, avec les teneurs les plus élevées enregistrées dans les traitements organiques, notamment T5 et T6. Cette tendance a déjà été rapportée par Meneguz *et al.* (2018) et Lomonaco *et al.* (2022), qui expliquent que les amendements organiques comme le frass améliorent la structure du sol et sa capacité de rétention d'eau, ce qui se répercute sur la turgescence et la teneur en eau des tissus végétaux. Vanlauwe *et al.* (2010) ajoutent que dans des sols à faible capacité de rétention, comme ceux de notre site expérimental, l'apport de matières organiques est le principal levier pour maintenir une hydratation optimale des cultures. Nos résultats confirment donc que le frass agit à la fois sur la nutrition de la plante et sur le fonctionnement hydrique du sol, deux paramètres liés à la fraîcheur et à la conservation des légumes.

Influence sur les micronutriments

L'application du frass à 100 % a permis d'obtenir les teneurs les plus élevées en calcium (255 mg/100 g), en fer (1,86 mg/100 g) et en zinc (0,54 mg/100 g), comparativement aux autres traitements. Cette amélioration traduit un potentiel de biofortification naturelle de l'amarante grâce à l'utilisation du frass : comme l'ont démontré Beesigamukama *et al.* (2020) et Barragán-Fonseca *et al.* (2022), ce produit restitue non seulement du carbone et de l'azote, mais aussi l'ensemble des macros et microéléments (calcium, magnésium, phosphore, fer) contenus dans le substrat initial transformé par les larves.

Dans le contexte des sols ferrallitiques de Kinshasa, caractérisés par une carence en bases échangeables du fait de l'acidification, Kahindo *et al.* (2019) rappellent que tout apport riche en éléments minéraux joue un rôle de tamponnement et de recharge. Le frass répond parfaitement à cette attente, comme l'avaient déjà observé Palm *et al.* (2001) en classant les matières

organiques selon leur capacité à restaurer la fertilité chimique des sols tropicaux.

En revanche, la teneur en vitamine A (β -carotène) est restée stable ou n'a que très légèrement augmenté, même avec T6. Cela corrobore les conclusions de Sarker et Oba (2019), selon lesquelles la biosynthèse des caroténoïdes dépend avant tout de facteurs génétiques et lumineux, plus que de la fertilisation directe. La légère hausse constatée chez 100 % frass rejoint cependant l'hypothèse d'une synergie indirecte : une nutrition azotée optimale favorise le développement du tissu photosynthétique, et donc la synthèse des pigments associés. Sur la vitamine C, nos résultats sont conformes à ceux de Sarker *et al.* (2018), qui rapportent une grande stabilité de ce composé chez l'amarante, indépendamment de la source d'azote, tant que les besoins de base sont satisfaits.

Implications nutritionnelles et perspectives

L'utilisation du frass de mouche soldat noire représente une approche innovante combinant agriculture durable, économie circulaire et amélioration de la qualité nutritionnelle des aliments. Dans un contexte urbain comme celui de Kinshasa, où la malnutrition protéino-énergétique et les carences en fer et en calcium sont très répandues (UNICEF, 2020), transformer des biodéchets urbains en un fertilisant capable de produire des légumes plus denses en nutriments constitue une opportunité majeure.

Ces résultats obtenus montrent que le frass peut constituer une alternative crédible aux engrais minéraux conventionnels, comme le soulignaient déjà la FAO (2021) et Barragán-Fonseca *et al.* (2024) dans leurs analyses sur le rôle des intrants organiques durables pour la sécurité alimentaire. Comparativement à l'urée, dont l'usage excessif peut conduire à une « dilution » des nutriments dans la biomasse (Sarker *et al.*, 2018), ou à la fiente de poule, dont la disponibilité et la qualité sont variables, le frass présente une régularité et une efficacité qui en font une alternative crédible.

Enfin, nos observations confirment celles de Tanga *et al.* (2022) selon qui l'adoption de ce type de fertilisant réduit la dépendance aux engrais importés, limite les risques environnementaux liés au lessivage des nitrates (Chivenge *et al.*, 2011) et améliore directement la qualité sanitaire des aliments produits localement. Ces résultats confirment le potentiel du frass comme un outil stratégique pour accompagner la transition vers une agriculture urbaine durable en Afrique subsaharienne.

Conclusion et Recommandations

Cette étude a permis d'évaluer l'influence de différentes stratégies de fertilisation sur la composition bromatologique et la qualité nutritionnelle de l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) cultivée dans les conditions

pédoclimatiques de Kinshasa. Les résultats obtenus démontrent que le choix du fertilisant est un levier majeur non seulement pour améliorer la productivité et la croissance, mais également pour renforcer sa valeur nutritionnelle.

L'étude démontre que l'application de 100% de frass de mouche soldat noire (31 gr/pied, soit 3,4 t/ha) est la stratégie d'amendement la plus performante parmi les traitements pour la culture d'amarante à Kinshasa.

Il apparaît que le traitement T6 a notamment permis d'améliorer plusieurs composantes de la qualité biochimique de l'amarante à savoir la teneur en protéine, en biofortification minérale et en enrichissement en calcium.

Par ailleurs, contrairement à l'hypothèse selon laquelle une fertilisation organique importante pourrait entraîner une augmentation de la fibrosité des feuilles, les résultats montrent que le traitement T6 présente la plus faible teneur en fibres (1,76 %). Cette caractéristique indique que le frass permet d'obtenir des feuilles à la fois riches en nutriments et conservant une bonne tendreté, un critère particulièrement recherché par les consommateurs kinois.

Ainsi, le frass issu de mouche solda noir ne doit pas être considéré uniquement comme un fertilisant destiné à accroître la productivité agricole, mais également comme un outil potentiel d'amélioration de la santé nutritionnelle. La valorisation des biodéchets urbains en un engrais performant (frass) constitue une solution durable pour lutter contre les carences en fer (anémie) et la malnutrition protéino-énergétique en République Démocratique du Congo.

Au regard des résultats obtenus, les recommandations suivantes sont formulées :

1. *Aux maraîchers de Kinshasa* : il est recommandé d'intégrer le frass issu de mouche soldat noire à une dose de 3,4 t/ha (correspondant au traitement T6) comme amendement dans les systèmes de production pour optimiser la valeur marchande et nutritionnelle des feuilles de l'amarante.
2. *Aux décideurs et services de vulgarisation (SNV)* : Promouvoir la production locale de frass à partir de biodéchets organiques pour réduire la dépendance aux engrais chimiques importés et lutter contre les carences en fer (anémie) au sein des populations urbaines.
3. *À la communauté scientifique* : Poursuivre les recherches complémentaires sur l'effet résiduel du frass lors des cycles de culture successifs et évaluer son impact sur d'autres métabolites secondaires tels que les vitamines ou les antioxydants.

Contributions des auteurs

- Mununu Yoyo Evariste : Conception du protocole expérimental, collecte et analyse des données, rédaction initiale du manuscrit, interprétation des résultats, coordination de l'étude.
- Ibobondji Kapuku Lucien : Mise en place des essais de terrain, suivi des cultures, mesures des paramètres agronomiques, saisie des données.
- Ikaa Lefeta François : Préparation du frass et des fertilisants, caractérisation physico-chimique au laboratoire, contrôle qualité des intrants.
- Ntumba Tshibangu Joseph: Réalisation des figures et tableaux, vérification.
- Enanga Etun Benjamin : Revue bibliographique, recherche et sélection des références scientifiques, mise à jour de la littérature.
- Mangana Ikoko Joël : Interprétation des résultats agronomiques et nutritionnels, discussion des observations, comparaison avec la littérature.
- Binzunga Makumbu Mamy : Relecture critique, correction linguistique et stylistique, harmonisation du format scientifique.
- Lokinda Litalema Faustin : Vérification méthodologique, validation des données, conseils techniques tout au long de l'étude.
- Mumba Diamba : Supervision générale de la recherche, validation du protocole, orientation scientifique, relecture finale, approbation de la version à publier.

Remerciements

Les auteurs expriment leur sincère gratitude envers l'Institut National d'Étude et de la Recherche Agronomiques (INERA) pour son accompagnement dans la mise en œuvre de cette étude. Ils remercient également l'ensemble des personnels et partenaires ayant contribué au suivi des essais et aux analyses.

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. Achigan-Dako, E. G., Sogbohossou, O. E. D., & Maundu, P. (2014). Current knowledge on *Amaranthus* spp.: Research priorities for Sub-Saharan Africa. *South African Journal of Botany*, 92, 2–13.
2. Akin-Idowu, P. E., Odunola, O. A., Gbadegesin, M. A., Oke, A., & Orkpeh, U. (2016). Assessment of the nutritional quality of some *Amaranthus* species. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(1), 160–172.
3. Barragán-Fonseca, K. B., Nurfikari, A., van de Zande, E. M., Wantulla, M., van Loon, J. J. A., Dicke, M., & Cascone, P. (2022). Insect frass: A new frontier for sustainable agriculture. *Current Opinion in Insect Science*, 54, Article 100971.
4. Beesigamukama, D., Mochoge, B., Korir, N. K., Musyoka, M. W., Fiaboe, K. K. M., Nakimbugwe, D., Khamis, F. M., Subramanian, S., Mugendi, D. N., Ekesi, S., & Tanga, C. M. (2020). Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (L.). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 574592.
5. Chepkorir, A., Tanga, C. M., Beesigamukama, D., Imathiu, S., & Niassy, S. (2024). Insect frass as a regenerative biofertilizer for improved crop growth and soil health. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1365482.
6. Chivenge, P., Vanlauwe, B., & Six, J. (2011). Does the combined application of organic and mineral nutrient sources influence maize productivity? A meta-analysis. *Plant and Soil*, 342(1–2), 1–30.
7. FAO. (2021). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : Vers une transformation des systèmes agroalimentaires pour une sécurité nutritionnelle durable*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
8. Kahindo, J. M., Mugendi, D. N., & Mutuo, P. (2019). Soil fertility constraints in the Congo Basin and implications for sustainable agriculture. *African Journal of Agricultural Research*, 14(10), 582–593.
9. Liu, C., Wang, C., & Yao, H. (2020). Comprehensive extraction of chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) pupal exuviae. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 1354–1361.
10. Lomonaco, C., Lazzari, L., Maienza, A., Terzano, R., & Vagnoli, C. (2022). Frass from Black Soldier Fly larvae: A promising soil amendment for sustainable agriculture. *Applied Sciences*, 12(11), Article 5432.
11. Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth

- performance and composition of *Hermetia illucens* larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(1), 23–31.
12. Mlakar, S. G., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2010). Nutrition value and use of grain amaranth: Potential for future. *Agricultura*, 7, 43–53.
 13. Ojeniyi, S. O. (2000). Effect of goat manure on leaf nutrients content and yield of *Amaranthus*. *Applied Tropical Agriculture*, 5, 20–23.
 14. Palm, C. A., Gachengo, C. N., Delve, R. J., Cadisch, G., & Giller, K. E. (2001). Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: Application of an organic resource quality index. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 83(1–2), 27–42.
 15. Romano, N., Fischer, H., Kumar, V., Francis, S., & Sinha, A. K. (2023). Partially replacing synthetic fertilizers with Black Soldier Fly frass enhances soil fertility and reduces nutrient losses. *Tropical Agriculture*, 100(2), 215–226.
 16. Sarker, U., & Oba, S. (2019). Antioxidant constituents of three selected red and green *Amaranthus* leafy vegetable. *Scientific Reports*, 9(1), Article 18203.
 17. Sarker, U., Oba, S., & Daramy, M. A. (2018). Augmentation of nutrients and colorants in *Amaranthus tricolor* by leaf consumption stages. *Scientific Reports*, 8(1), Article 17949.
 18. Tanga, C. M., Beesigamukama, D., Lundy, M. G., Niassy, S., Kassie, M., Omuse, E. R., & Ekesi, S. (2022). Performance of Black Soldier Fly frass fertiliser: Impacts on crop yield and soil health. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(2), 185–196.
 19. UNICEF. (2020). *Situation nutritionnelle des enfants en République Démocratique du Congo : Rapport d'analyse sur les carences en micronutriments*. Fonds des Nations Unies pour l'enfance.
 20. Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K. E., Merckx, R., Mokuwye, U., & Sanginga, N. (2010). Integrated soil fertility management: Operationalizing the concept in African agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 148(3), 225–238. <https://doi.org/10.1017/S0021859609990933>