



INFLUENCE DES FUMURES ORGANIQUES D'ORIGINE ANIMALE SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT DU CHOU DE CHINE (*BRASSICA RAPA PEKINENSIS*) DANS LES CONDITIONS EDAPHO-CLIMATIQUES DE MVUAZI, EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

**MPANDA MAKAMBUA Athos¹, LUMINUKU ZU Joe², LUNZITISA MUAKA Bon don³,
KHENGE MPAKA Florence⁴, ALONI KOMANDA Jules⁵ et LOKO NTONDELE Alliance⁶.**

¹ Institut Supérieur d'Études Agronomiques (ISEA), Mvuazi, RD Congo

² Institut Supérieur d'Études Agronomiques (ISEA), Mvuazi, RD Congo

³ Institut Supérieur d'Études Agronomiques (ISEA), Mvuazi, RD Congo

⁴ Institut Supérieur Pédagogique (ISP), Boma, RD Congo

⁵ Université de Kinshasa (UNIKIN), RD Congo

⁶ Bureau d'Étude et d'Orientation pour le Développement Intégré (BEODI), RD Congo

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.22872541>

Résumé

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'influence des fumures organiques d'origine animale sur la croissance et le rendement du chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*), afin d'identifier la fumure la plus performante dans les conditions édapho-climatiques de Mvuazi, en République Démocratique du Congo.

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en blocs complets randomisés comprenant cinq traitements et quatre répétitions, soit vingt parcelles élémentaires. Les traitements étaient constitués d'un témoin absolu (T0), de la bouse de vache (T1), des crottes de chèvre (T2), du guano de chauves-souris (T3) et du NPK 17-17-17 comme traitement de référence (T4).

Les paramètres étudiés étaient la longueur, la largeur et le nombre de feuilles par plant aux 7^e, 14^e et 21^e jours après repiquage, ainsi que le rendement moyen. Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA), suivie du test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS) au seuil de 5 %.

Les résultats montrent que les traitements ont significativement influencé la longueur des feuilles au 21^e jour après repiquage ($p = 0,0111$) et le nombre de feuilles par plant ($p = 0,0337$), tandis que la largeur des feuilles n'a pas présenté de différence significative. Le rendement a également été significativement affecté par les traitements ($p = 0,0006$), avec une valeur maximale de 39,75 t/ha obtenue avec les crottes de chèvre, contre 10,25 t/ha pour le témoin absolu. Sur le plan économique, les crottes de chèvre ont présenté la meilleure performance, avec une marge bénéficiaire de 37 958,33 USD/ha et un taux de rentabilité de 175,19 %.

Les crottes de chèvre constituent ainsi la fumure organique d'origine animale la plus performante dans les conditions de cette étude et peuvent être recommandées pour la production du chou de Chine à Mvuazi.

Mots-clés : chou de Chine, fumures organiques animales, crottes de chèvre, croissance, rendement, rentabilité, Mvuazi.

Abstract

The objective of this study was to assess the influence of animal-origin organic fertilizers on the growth and yield of Chinese cabbage (*Brassica rapa pekinensis*), in order to identify the most effective fertilizer under the edaphoclimatic conditions of Mvuazi, Democratic Republic of the Congo.

The experiment was conducted using a randomized complete block design with five treatments and four replications, resulting in twenty experimental plots. The treatments consisted of an absolute control (T0), cow dung (T1), goat droppings (T2), bat guano (T3), and NPK 17-17-17 as the reference treatment (T4). The parameters evaluated were leaf length, leaf width, and number of leaves per plant at 7, 14, and 21 days after transplanting, as well as mean yield. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA), followed by the Least Significant Difference (LSD) test at the 5% significance level.

The results showed that the treatments significantly affected leaf length at 21 days after transplanting ($p = 0.0111$) and the number of leaves per plant ($p = 0.0337$), whereas leaf width did not differ significantly among treatments. Yield was also significantly affected by the treatments ($p = 0.0006$), with the highest yield of 39.75 t/ha obtained with goat droppings, compared with 10.25 t/ha for the absolute control. From an economic perspective, goat droppings showed the best performance, with a profit margin of USD 37,958.33/ha and a profitability rate of 175.19%.

Goat droppings were therefore the most effective animal-origin organic fertilizer under the conditions of this study and can be recommended for Chinese cabbage production in Mvuazi.

Keywords: Chinese cabbage, animal-origin organic fertilizers, goat droppings, growth, yield, profitability, Mvuazi.

1 Introduction

La fertilité des sols est essentielle à la productivité agricole, mais l'intensification des cultures, la réduction des jachères et l'exportation des nutriments peuvent entraîner leur dégradation. La gestion intégrée de la fertilité constitue donc une approche importante pour maintenir durablement la productivité des sols (Vanlauwe *et al.*, 2017).

La matière organique joue un rôle essentiel dans la qualité des sols en favorisant la disponibilité des nutriments, la stabilité structurale, la rétention de l'eau et l'activité biologique. Sa diminution peut ainsi compromettre les fonctions du sol et la croissance des cultures (Lal, 2015).

Le maraîchage exige une bonne gestion de la fertilité en raison de la fréquence des cycles culturaux et des importantes exportations de nutriments. L'utilisation raisonnée des amendements organiques peut contribuer à améliorer les propriétés du sol et à maintenir sa productivité (Agegnehu *et al.*, 2017).

La qualité des sols dépend de l'équilibre entre leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. La gestion de la fertilité doit donc intégrer les effets des pratiques culturelles sur l'ensemble du fonctionnement du sol, notamment à travers le rôle de la matière organique (Bünemann *et al.*, 2018).

Les fumures organiques d'origine animale constituent des ressources fertilisantes intéressantes, particulièrement lorsque l'accès aux engrais minéraux est limité. Toutefois, leur efficacité dépend de leur origine, de leur composition, de leur décomposition et des conditions d'utilisation, ce qui justifie leur évaluation dans les contextes agroécologiques locaux (Edwards *et al.*, 2015).

La valorisation des matières organiques disponibles localement favorise le recyclage des nutriments et peut contribuer à améliorer la qualité des sols tout en réduisant la dépendance aux intrants externes. Elle constitue ainsi une stratégie de gestion durable des ressources agricoles (Kibblewhite *et al.*, 2015).

Le chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*), culture maraîchère à cycle court, nécessite une disponibilité suffisante des nutriments pour assurer sa croissance et sa productivité. La valorisation des ressources organiques locales pourrait contribuer à améliorer ses performances, bien que leur efficacité varie selon le type de fertilisant, le sol et les modalités d'application (Agegnehu *et al.*, 2016).

La gestion durable de la fertilité des sols constitue un enjeu important pour la sécurité alimentaire. L'accroissement de la productivité agricole doit ainsi s'accompagner de pratiques permettant de préserver durablement les ressources naturelles et la capacité productive des sols (FAO, 2017).

En République démocratique du Congo, la faible productivité agricole et l'accès limité aux facteurs de production constituent des contraintes importantes. Dans le Kongo Central, la pression sur les terres et la répétition des cultures renforcent la nécessité de développer des pratiques de fertilisation adaptées aux ressources locales (Banque mondiale, 2019).

À Mvuazi, la valorisation des fumures organiques d'origine animale pourrait contribuer au recyclage des ressources locales et à l'amélioration de la productivité maraîchère. Toutefois, leurs compositions et leurs capacités de libération des nutriments étant différentes, leur efficacité doit être évaluée comparativement dans les conditions locales.

La comparaison de la bouse de vache, des crottes de chèvre et du guano est donc nécessaire pour déterminer leur influence respective sur la croissance et le rendement du chou de Chine. Cette évaluation permettra également de comparer leurs performances à celles d'un témoin non fertilisé et d'une fertilisation minérale de référence. Partant de ce qui précède, la question de recherche faisant l'objet de la présente étude est la suivante :

Quelle est l'influence des différentes fumures organiques d'origine animale sur la croissance et le rendement du chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*) et quelle fumure permet d'obtenir le rendement le plus élevé ?

Pour répondre provisoirement à cette question de recherche, l'hypothèse de recherche émise s'annonce comme suit :

Les différentes fumures organiques d'origine animale influenceraient significativement la croissance et le rendement du chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*), et l'une d'entre elles permettrait d'obtenir un rendement supérieur à celui des autres fumures et des témoins.

L'objectif général poursuivi par la présente étude est d'évaluer l'influence des différentes fumures organiques d'origine animale sur la croissance et le rendement du chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*) afin d'identifier la fumure la plus performante dans les conditions édapho-climatiques de Mvuazi, en République Démocratique du Congo.

Spécifiquement, l'étude vise à :

- ✓ Évaluer l'effet des différentes fumures organiques d'origine animale sur la croissance et le rendement du chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*) ;
- ✓ Comparer les performances de croissance et les rendements obtenus sous les différentes fumures organiques d'origine animale et les témoins ;
- ✓ Déterminer la fumure organique d'origine animale la plus efficace pour optimiser la croissance et le rendement du chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*).

Cette étude a été motivée par la nécessité d'améliorer durablement la fertilité des sols et la productivité des cultures maraîchères dans les conditions édapho-climatiques de Mvuazi, ainsi que par l'intérêt croissant accordé à la valorisation des ressources organiques d'origine animale disponibles localement. La pression exercée sur les terres cultivables et la répétition des cycles de production peuvent contribuer à l'épuisement progressif des éléments nutritifs du sol, rendant nécessaire l'identification de pratiques de fertilisation adaptées aux conditions locales.

Cette étude pourrait ainsi contribuer à orienter les producteurs maraîchers de Mvuazi dans le choix des fumures organiques d'origine animale les plus performantes pour améliorer la croissance et le rendement du chou de Chine. Elle pourrait également fournir aux services techniques, aux acteurs du développement agricole et aux autorités locales des données expérimentales utiles à la promotion de pratiques de fertilisation organique favorisant la valorisation des ressources locales et la durabilité de la production maraîchère.

2 Matériel et méthodes

2.1 Milieu d'étude

L'étude a été menée au Centre de recherche de l'Institut national pour l'étude et la recherche agronomiques (INERA) de Mvuazi, situé dans la province du Kongo Central, territoire de Mbanza-Ngungu, secteur de Boko, groupement de Nkolo, en République démocratique du Congo.

Le centre est situé à environ 207 km au sud-ouest de Kinshasa. Il est localisé à 14°54' de longitude Est, 5°27' de latitude Sud et à une altitude d'environ 470 m. Le relief du site de Mvuazi est relativement plat et correspond aux caractéristiques de la plaine alluviale. Le réseau hydrographique est principalement constitué des rivières Mvuazi et Nkokozi ainsi que de leurs affluents. Ces caractéristiques physiographiques constituent un environnement favorable au développement des activités agricoles et notamment à la production maraîchère dans la station de recherche (INERA, 2021).

Le Centre de recherche de Mvuazi est situé dans une zone tropicale chaude et humide. Son climat appartient au type Aw₄ selon la classification de Köppen, caractérisé par une alternance entre une saison sèche et une saison pluvieuse. La saison des pluies s'étend généralement d'octobre à mai, avec une interruption relativement marquée en janvier et février (Beck *et al.*, 2018).

Au cours de la période expérimentale, allant du 30 mai au 21 juillet 2022, les relevés du service de climatologie de l'INERA-Mvuazi indiquent une température moyenne de 23,6 °C, avec des températures moyennes maximale et minimale respectivement de 28,9 °C et 18,4 °C. Aucune précipitation n'a été enregistrée durant toute la période de l'expérimentation ; les besoins hydriques de la culture ont donc été assurés par des arrosages réguliers (Service de climatologie de l'INERA-Mvuazi, 2022).

Les sols de la série de Mvuazi sont principalement associés à la plaine alluviale et présentent une texture allant de l'argileuse à la sablo-argileuse. Ils sont caractérisés par un horizon de surface humifère relativement épais, présentant une structure subanguleuse à grumeleuse, qui évolue progressivement vers des horizons à texture argilo-limoneuse à argilo-sableuse (IUSS Working Group WRB, 2022). Le précédent cultural

était une jachère à graminées dominée notamment par *Panicum* spp., *Pennisetum* spp., *Mimosa pudica* et *Chromolaena odorata*. La zone d'étude est localisée dans la carte administrative présentée dans la (figure 1).

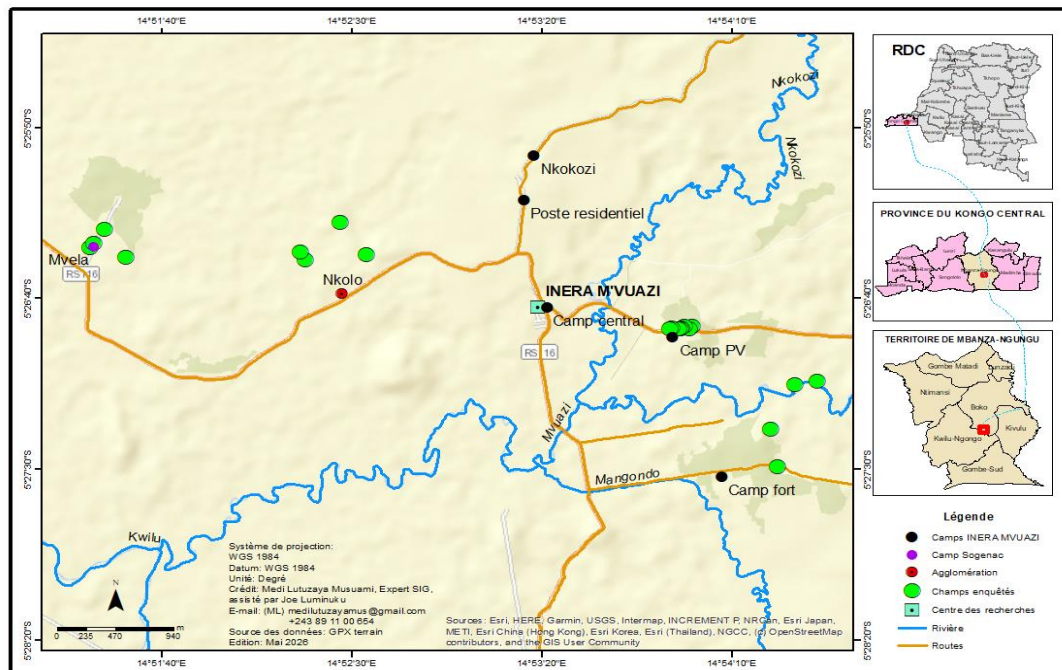


Figure 1. Localisation du site expérimental de l'INERA-Mvuazi dans le territoire de Mbanza-Ngungu.

Source : Données géographiques du Centre de recherche de l'INERA-Mvuazi (2022).

2.2 Matériel

Le matériel végétal était constitué de semences d'une seule variété de chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*). Le matériel fertilisant comprenait trois types de fumures organiques d'origine animale, à savoir la bouse de vache, les crottes de chèvre et le guano de chauves-souris, ainsi qu'un engrais minéral de type NPK 17-17-17.

2.3 Méthodes

2.3.1 Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en blocs complets randomisés (BCR) comportant cinq traitements et quatre répétitions, soit un total de vingt parcelles élémentaires. Chaque bloc comprenait les cinq traitements répartis de manière aléatoire. Les parcelles élémentaires mesuraient 1,5 m × 1,2 m, soit une superficie de 1,8 m² chacune. Les plants de chou de Chine ont été installés suivant un espacement de 0,30 m × 0,25 m, à raison de 12 plants par parcelle. La superficie totale de l'essai était de 57,33 m².

Le recours à la randomisation et à la répétition permet de limiter l'influence de la variabilité spatiale du terrain et d'améliorer la précision de la comparaison des performances agronomiques entre les différents traitements (Piepho, 2018). Le dispositif expérimental est illustré dans la figure 2 ci-dessous :

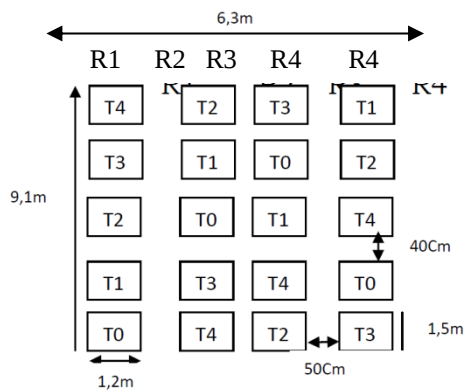


Figure 2. Schéma du dispositif expérimental en blocs complets randomisés.

Légende :

- T0 : Témoin absolu (Aucun apport) ;
- T1 : Apport de 19,24 t MS/ha de bouse de vache ;
- T2 : Apport de 29,22 t MS/ha de crottes de chèvre ;
- T3 : Apport de 29,77 t MS/ha de guano de chauves-souris ;
- T4 : Témoin de référence (apport de 200 kg/ha de NPK 17-17-17).

Les doses de fumures organiques retenues correspondent à des quantités de matière sèche (MS). Elles ont été définies dans une gamme d'apport de 15 à 30 t de matière sèche par hectare, considérée comme une plage d'application adaptée aux fumures organiques d'origine animale dans les systèmes de production agricole. Cette gamme permet de tester des niveaux d'apport suffisamment importants pour apprécier leur influence sur la croissance et la production des cultures (Eghball et al., 2016).

Dans cette expérimentation, le NPK 17-17-17 constitue une référence de fertilisation minérale, tandis que l'objet principal de l'étude porte sur l'évaluation comparative des fumures organiques d'origine animale, à savoir la bouse de vache, les crottes de chèvre et le guano de chauves-souris.

2.3.2 Détermination des quantités de fumures organiques

Les quantités de fumures organiques utilisées dans l'expérimentation ont été déterminées à partir de la caractérisation préalable de leur état frais et de leur teneur en matière sèche. Cette étape était nécessaire, car la bouse de vache, les crottes de chèvre et le guano présentent des teneurs en eau différentes, susceptibles d'influencer leur masse au moment de l'application. La détermination de la matière sèche constitue ainsi une approche couramment utilisée pour caractériser les matières organiques et permettre une meilleure interprétation des quantités de matière organique effectivement apportées au sol (Bernal *et al.*, 2017).

À cette fin, des échantillons représentatifs des trois fumures ont été prélevés et soumis à un séchage à l'étuve à 65 °C pendant 48 heures. Les échantillons frais pesaient respectivement 553,48 g de bouse de vache, 600,12 g de crottes de chèvre et 612,68 g de guano de chauves-souris. Après séchage, les masses obtenues étaient respectivement de 221,98 g, 503,35 g et 559,25 g. Les différences entre les masses fraîches et les masses sèches ont permis d'estimer la quantité d'eau contenue dans chaque matériau et, par conséquent, leur proportion respective de matière sèche.

Sur cette base, les fumures organiques ont été préparées et appliquées sur une base de matière fraîche, selon les doses expérimentales retenues. Les quantités effectivement apportées correspondaient à 47,968 t/ha de bouse de vache, soit 19,24 t/ha de matière sèche, 34,837 t/ha de crottes de chèvre, soit 29,21 t/ha de matière sèche, et 32,616 t/ha de guano de chauves-souris, soit 29,77 t/ha de matière sèche. Ainsi, les doses de

matière fraîche appliquées correspondent respectivement à des apports d'environ 19,24, 29,21 et 29,77 t/ha de matière sèche, permettant de comparer les trois fumures sur une base commune.

2.3.3 Préparation et application des fumures

Avant leur application, les fumures organiques ont été préparées et réparties en fonction des quantités correspondant à chacun des traitements. La bouse de vache, les crottes de chèvre et le guano ont été appliqués par épandage uniforme, puis incorporés au sol six jours avant le semis, afin de favoriser leur contact avec le sol et d'amorcer leur décomposition (Sánchez-Monedero et al., 2018).

L'engrais minéral NPK 17-17-17 a été appliqué localement à raison de 200 kg/ha, dix jours après le repiquage. Les modalités d'application ont été maintenues identiques pour les répétitions correspondant à chaque traitement afin d'assurer la comparabilité des résultats.

2.3.4 Conduite de l'expérimentation

L'expérimentation a débuté par le fauchage manuel du terrain, suivi du labour et de la préparation des parcelles. Les semences ont d'abord été installées en germe, puis les plantules ont été repiquées définitivement dans les parcelles expérimentales suivant un espacement de 0,30 m × 0,25 m.

Le repiquage a été effectué manuellement, à raison d'un plant par poquet et de 12 plants par parcelle. Un regarnissage des plants manquants a été réalisé après le repiquage afin de maintenir une densité relativement homogène entre les parcelles.

L'entretien de la culture a consisté principalement en des sarclages hebdomadaires et des arrosages réguliers. Au cours de la croissance, une attaque d'insectes a été observée et une protection phytosanitaire a été réalisée à l'aide de l'insecticide ZALANG 50 EC, à raison de 1,7 cL pour la superficie totale de 57,33 m² (Pretty et al., 2018).

2.3.5 Paramètres observés

Les observations ont porté sur les principaux paramètres de croissance végétative et de production du chou de Chine. Les mesures ont été réalisées à différents moments du cycle cultural afin de suivre l'évolution de la croissance des plants sous les différents traitements. Les paramètres observés étaient les suivants :

1. Longueur moyenne des feuilles par plant (cm) aux 7^{ème} ; 14^{ème} et 21^{ème} jours après repiquage (JAR) ;
2. Largeur moyenne des feuilles par plant (cm) aux 7^{ème} ; 14^{ème} et 21^{ème} jours après repiquage (JAR) ;
3. Nombre moyen des feuilles par plant aux 7^{ème} ; 14^{ème} et 21^{ème} jours après repiquage (JAR) ;
4. Rendement moyen des feuilles des traitements (t/ha)

Pour chaque paramètre, les observations ont été réalisées selon la même procédure et aux mêmes périodes dans l'ensemble des parcelles expérimentales afin d'assurer la comparabilité des données entre les différents traitements (Pérez-Harguindeguy et al., 2016).

2.3.6 Détermination du rendement

À la récolte, la production obtenue dans chaque parcelle élémentaire a été pesée séparément. Le rendement a ensuite été exprimé en tonnes par hectare (t/ha) à partir de la production obtenue sur la superficie de la parcelle. La conversion en tonnes par hectare a permis de comparer les performances productives des différents traitements sur une même unité de surface (Gomez & Gomez, 2015).

2.3.7 Analyse statistique

Les données collectées ont été saisies dans Microsoft Excel 2010 avant d'être soumises à une analyse statistique à l'aide du logiciel Statistix 8.0. Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée afin d'évaluer l'effet des traitements sur les différents paramètres mesurés. Lorsque l'effet des traitements était significatif ($p < 0,05$), les moyennes ont été comparées au moyen du test de la Plus Petite Différence Significative (PPDS) au seuil de probabilité de 5 %. Les résultats ont été présentés sous forme de tableaux accompagnés des indicateurs statistiques correspondants (Wasserstein *et al.*, 2019).

3 Résultats

3.1. Effets des traitements sur la longueur moyenne de feuilles (cm)

Les résultats du Tableau 1 indiquent que la longueur moyenne des feuilles a augmenté progressivement entre le 7^e et le 21^e JAR pour l'ensemble des traitements. Les différences entre les traitements n'étaient pas significatives aux 7^e et 14^e JAR ($p = 0,0649$ et $p = 0,0645$, respectivement). En revanche, une différence significative a été observée au 21^e JAR ($p = 0,0111$). À cette date, les plus grandes longueurs ont été enregistrées avec le témoin absolu T0 et les crottes de chèvre T2 (43,50 cm chacun), tandis que la bouse de vache T1 a présenté la plus faible valeur (32,25 cm). Les modalités T3 et T4 ont affiché des valeurs intermédiaires (35,75 et 39,75 cm, respectivement).

Tableau 1. Longueur moyenne de feuilles (cm)

Traitement	7 ^{ème} JAR	14 ^{ème} JAR	21 ^{ème} JAR
T0 : Témoin absolu (Aucun apport)	18,000	25,250	43,500 a
T1 : Apport de bouse de vache	18,000	28,500	32,250 c
T2 : Apport de crottes de chèvre	22,000	33,750	43,500 a
T3 : Apport de guano de chauves-souris	14,250	23,250	35,750 ab
T4 : Témoin de référence (apport de NPK)	18,750	30,500	39,750 ab
Grand moyen	18,2	28,25	38,95
CV (%)	17,63	17,13	12,59
P (0,05)	0,0649	0,0645	0,0111
PPDS (0,05)	--	--	7.2672

Différence non significative entre les traitements au seuil de 5 % (ANOVA) aux 7^e et 14^e JAR. À 21^e JAR, les différences entre les traitements sont significatives ; les moyennes portant une même lettre dans la colonne ne présentent pas de différence significative au seuil de 5 % selon le test de PPDS.

3.2. Effets des traitements sur la largeur moyenne de feuilles (cm)

Les résultats du Tableau 2 stipulent que la largeur moyenne des feuilles a augmenté progressivement entre le 7^e et le 21^e JAR pour l'ensemble des traitements. Les différences entre les traitements n'étaient pas significatives aux 7^e, 14^e et 21^e JAR ($p = 0,0756$, $p = 0,0771$ et $p = 0,0539$, respectivement). Toutefois, la valeur la plus élevée au 21^e JAR a été enregistrée avec les crottes de chèvre T2 (16,25 cm), tandis que le témoin absolu T0 a présenté la plus faible valeur (11,25 cm). Les traitements T1, T3 et T4 ont affiché des valeurs intermédiaires de 12,75, 15,00 et 15,25 cm, respectivement.

Tableau 2. Largeur moyenne de feuilles (cm)

Traitement	7 ^{ème} JAR	14 ^{ème} JAR	21 ^{ème} JAR
T0 : Témoin absolu (Aucun apport)	6,7500	9,2500	11,2500
T1 : Apport de bouse de vache	7,2500	10,7500	12,7500
T2 : Apport de crottes de chèvre	9,7500	13,7500	16,2500
T3 : Apport de guano de chauves-souris	6,0000	10,2500	15,0000
T4 : Témoin de référence (apport de NPK)	7,5000	11,7500	15,2500
Grand moyen	7,45	11,15	14,1
CV (%)	19,68	18,45	16,28
P (0,05)	0,0756	0,0771	0,0539

Différence non significative entre les traitements au seuil de 5 % (ANOVA) aux 7^e, 14^e et 21^e JAR.

3.3. Effets des traitements sur le nombre moyen de feuilles par plant

Les résultats du Tableau 3 montrent que le nombre moyen de feuilles par plant a augmenté progressivement entre le 7^e et le 21^e JAR pour l'ensemble des traitements. Les différences entre les traitements n'étaient pas significatives aux 7^e et 14^e JAR ($p = 0,0554$ et $p = 0,2784$, respectivement). En revanche, une différence significative a été observée au 21^e JAR ($p = 0,0337$). À cette date, le plus grand nombre moyen de feuilles a été enregistré avec les crottes de chèvre T2 (13,00 feuilles), tandis que la bouse de vache T1 a présenté la plus faible valeur (10,50 feuilles). Les modalités T0, T3 et T4 ont affiché des valeurs intermédiaires de 10,75, 11,50 et 12,00 feuilles, respectivement.

Tableau 3. Nombre moyen de feuilles par plant

Traitement	7 ^{ème} JAR	14 ^{ème} JAR	21 ^{ème} JAR
T0 : Témoin absolu (Aucun apport)	5,2500	8,0000	10,7500 b
T1 : Apport de bouse de vache	5,2500	9,0000	10,5000 b
T2 : Apport de crottes de chèvre	6,5000	9,7500	13,0000 a
T3 : Apport de guano de chauves-souris	5,7500	8,5000	11,5000 ab
T4 : Témoin de référence (apport de NPK)	6,0000	9,7500	12,0000 ab
Grand moyen	5,75	9,00	11,55
CV (%)	10,41	14,24	9,01
P (0,05)	0,0554	0,2784	0,0337
PPDS (0,05)	--	--	1.6036

Différence non significative entre les traitements au seuil de 5 % (ANOVA) aux 7^e et 14^e JAR. À 21^e JAR, les différences entre les traitements sont significatives ; les moyennes portant une même lettre dans la colonne ne présentent pas de différence significative au seuil de 5 % selon le test de PPDS.

3.4. Effets des traitements sur le rendement moyen (T/ha)

Les résultats du Tableau 4 indiquent une différence significative du rendement entre les traitements ($p = 0,0006$). Le rendement le plus élevé a été obtenu avec les crottes de chèvre T2 (39,75 t/ha), significativement supérieur à ceux enregistrés avec les autres traitements. Le rendement le plus faible a été observé avec le témoin absolu T0 (10,25 t/ha). Les traitements T1, T3 et T4 ont présenté des rendements intermédiaires de 21,75, 25,25 et 26,50 t/ha, respectivement, sans différence significative entre elles selon le test de PPDS.

Tableau 4. Rendement moyen des traitements (T/ha)

Traitement	Rendement (T/ha)
T0 : Témoin absolu (Aucun apport)	10,25 c
T1 : Apport de bouse de vache	21,75 b
T2 : Apport de crottes de chèvre	39,75 a
T3 : Apport de guano de chauves-souris	25,25 b
T4 : Témoin de référence (apport de NPK)	26,50 b
Grand moyen	35,5
CV (%)	25,93
P (0,05)	0,0006
PPDS (0,05)	9.8670

Différence significative entre les traitements au seuil de 5 % (ANOVA)

Les moyennes portant une même lettre dans une même colonne ne présentent pas de différence significative au seuil de 5 % selon le test de PPDS.

3.5. Effets des traitements sur la rentabilité économique

Le tableau 5 stipule que la rentabilité économique varie fortement selon les traitements. Le traitement T2 (crottes de chèvre) présente la meilleure performance économique, avec une marge bénéficiaire de 37 958,33 USD/ha et un taux de rentabilité de 175,19 %, le classant comme très rentable. T3 (guano) et T4 (NPK) sont respectivement rentables avec des taux de 74,81 % et 62,61 %, tandis que T1 (bouse de vache) est faiblement rentable (46,81 %). Le témoin T0 est non rentable, avec un taux de rentabilité négatif de -18,60 %. Ainsi, malgré des coûts d'investissement variables, l'utilisation des crottes de chèvre apparaît comme l'option économiquement la plus avantageuse dans les conditions de l'étude.

Tableau 5. Rentabilité économique des traitements

N°	Rubriques	T0	T1	T2	T3	T4
01	Coût total (USD/ha)	18 888,89	22 222,22	21 666,67	21 666,67	24 444,44
02	Prix de vente (USD/kg)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
03	Rendement (Kg/ha)	10 250	21 750	39 750	25 250	26 500
04	Recette brute (USD/ha)	15 375,00	32 625,00	59 625,00	37 875,00	39 750,00
05	Marge bénéficiaire (USD/ha)	-3 513,89	10 402,78	37 958,33	16 208,33	15 305,56
06	Taux de rentabilité (%)	-18,60	46,81	175,19	74,81	62,61
07	Appréciation	Non rentable	Faiblement rentable	Très rentable	Rentable	Rentable

Le taux de rentabilité est interprété suivant l'échelle ci-après : < 0 % = non rentable ; 0-50 % = faiblement rentable ; 50-100 % = rentable ; > 100 % = très rentable (FAO, 2019).

4. Discussion

4.1. Résultats sur la longueur moyenne des feuilles (cm)

Les résultats sur la longueur moyenne des feuilles (cm) montrent une augmentation progressive de la croissance foliaire entre le 7^e et le 21^e JAR, avec une différence significative entre les traitements uniquement au 21^e JAR ($p = 0,0111$). À cette échéance, les crottes de chèvre (T2) ont enregistré une longueur

élevée (43,50 cm), comparable au témoin absolu (T0), tandis que la bouse de vache (T1) a présenté la plus faible valeur (32,25 cm).

Ces résultats concordent avec Adekiya et al. (2019), qui rapportent une amélioration de la croissance végétative des cultures sous l'effet des amendements organiques d'origine animale. Ils rejoignent également Sileshi et al. (2019), qui soulignent que la qualité des amendements organiques influence la disponibilité des nutriments pour les plantes. De même, Mafongoya et al. (2016) montrent que la vitesse de décomposition des matières organiques conditionne leur efficacité agronomique.

4.2. Résultats sur la largeur moyenne de feuilles (cm)

Les résultats sur la largeur moyenne des feuilles (cm) montrent une augmentation progressive entre le 7^e et le 21^e JAR, sans différence significative entre les traitements à aucune des dates d'observation ($p > 0,05$). Toutefois, au 21^e JAR, les crottes de chèvre (T2) ont présenté la valeur la plus élevée (16,25 cm), contre 11,25 cm pour le témoin absolu (T0).

Ces résultats rejoignent Diacono et Montemurro (2015), qui soulignent que les matières organiques améliorent progressivement les conditions de croissance et la disponibilité des nutriments dans le sol. Ils sont également en accord avec Timsina (2018), qui rapporte que les sources organiques de nutriments peuvent favoriser la croissance et la productivité des cultures. De même, Vanlauwe et al. (2019) indiquent que l'efficacité des apports organiques dépend de leur nature, de leur disponibilité en nutriments et des conditions du milieu.

4.3. Résultats sur le nombre moyen de feuilles par plant

Les résultats sur le nombre moyen de feuilles par plant montrent une augmentation progressive entre le 7^e et le 21^e JAR, avec une différence significative entre les traitements au 21^e JAR ($p = 0,0337$). Les crottes de chèvre (T2) ont donné le nombre moyen de feuilles le plus élevé (13,00), contre 10,50 feuilles pour la bouse de vache (T1).

Ces résultats rejoignent Roba (2016), qui souligne que l'association ou l'utilisation raisonnée des sources organiques améliore la disponibilité des nutriments et la productivité des cultures. Ils concordent également avec Maucieri et al. (2019), qui montrent que les systèmes de fertilisation organique peuvent modifier favorablement les conditions de fertilité du sol et soutenir la croissance végétale. Par ailleurs, Abdalla et al. (2016) mettent en évidence l'importance des apports de matières organiques dans l'amélioration des propriétés du sol et de la disponibilité des nutriments.

4.4. Résultats sur le rendement moyen de traitements (T/ha)

Les résultats sur le rendement moyen (T/ha) montrent une différence significative entre les traitements ($p = 0,0006$), avec le rendement le plus élevé obtenu sous les crottes de chèvre (T2), soit 39,75 t/ha, contre 10,25 t/ha pour le témoin absolu (T0). Cette supériorité traduit une réponse favorable du chou de Chine à l'apport de cette fumure organique, probablement liée à une meilleure disponibilité des éléments nutritifs nécessaires à la production de biomasse.

Ces résultats rejoignent Hijbeek et al. (2017), qui montrent que les apports organiques peuvent améliorer les rendements agricoles en fonction de leur qualité et des conditions du milieu. Ils concordent également avec Seufert et Ramankutty (2017), qui soulignent que la réponse des cultures aux systèmes de fertilisation organique dépend fortement du contexte pédoclimatique et de la gestion des nutriments. De même, Ponisio et al. (2015) rapportent que l'amélioration de la gestion de la fertilité permet de réduire les écarts de rendement et de renforcer la productivité des systèmes agricoles. Dans les conditions de Mvuazi, la performance de T2 montre que les crottes de chèvre constituent une source organique particulièrement favorable à la production du chou de Chine.

4.5. Résultats sur la rentabilité économique de traitements

Les résultats sur la rentabilité économique montrent une nette différence entre les traitements. Le traitement T2 (crottes de chèvre) présente la meilleure performance, avec une marge bénéficiaire de 37 958,33 USD/ha et un taux de rentabilité de 175,19 %, contre une rentabilité négative de -18,60 % pour le témoin T0. Cette supériorité économique résulte principalement du rendement élevé obtenu avec T2, associé à des charges permettant de dégager une marge importante.

Ces résultats rejoignent Córdova-Bautista et al. (2020), qui soulignent que la rentabilité des stratégies de fertilisation dépend de l'équilibre entre les coûts engagés et les gains de production. Ils concordent également avec Möller et Schultheiß (2015), qui indiquent que les fertilisants organiques peuvent contribuer à améliorer l'efficacité économique des systèmes agricoles lorsqu'ils sont disponibles et valorisés localement. De même, Mandal et al. (2015) rapportent que l'adoption d'une gestion organique des nutriments peut améliorer les performances économiques des exploitations grâce à une meilleure valorisation des ressources disponibles. Ainsi, dans les conditions de Mvuazi, les crottes de chèvre apparaissent comme le traitement offrant le meilleur compromis entre coût de production, rendement et revenu généré.

5. Conclusion

L'objectif général de cette étude était d'évaluer l'influence des différentes fumures organiques d'origine animale sur la croissance et le rendement du chou de Chine (*Brassica rapa pekinensis*), afin d'identifier la fumure la plus performante dans les conditions édapho-climatiques de Mvuazi, en République Démocratique du Congo.

Les résultats montrent que les fumures étudiées ont influencé différemment les paramètres de croissance et de production du chou de Chine. Pour la longueur moyenne des feuilles, une différence significative entre les traitements a été observée au 21^e JAR, avec une valeur maximale de 43,50 cm obtenue avec les crottes de chèvre (T2). La largeur moyenne des feuilles a également augmenté au cours du cycle, sans différence statistiquement significative entre les traitements. En revanche, le nombre moyen de feuilles par plant a présenté une différence significative au 21^e JAR, le traitement T2 ayant enregistré la valeur la plus élevée (13,00 feuilles).

Les résultats sur le rendement montrent une différence hautement significative entre les traitements ($p = 0,0006$). Le rendement le plus élevé a été obtenu avec les crottes de chèvre (T2), soit 39,75 t/ha, tandis que le témoin absolu (T0) a enregistré le rendement le plus faible (10,25 t/ha). La bouse de vache (T1), le guano (T3) et le NPK 17-17-17 (T4) ont donné respectivement 21,75, 25,25 et 26,50 t/ha. Sur le plan économique, T2 s'est également distingué avec une marge bénéficiaire de 37 958,33 USD/ha et un taux de rentabilité de 175,19 %, le classant comme très rentable. À l'inverse, le témoin T0 s'est révélé non rentable avec un taux de -18,60 %.

Au regard de l'ensemble de ces résultats, les crottes de chèvre (T2) apparaissent comme la fumure organique d'origine animale la plus performante dans les conditions de cette étude. Elles ont permis d'obtenir les meilleures performances en termes de croissance foliaire, de nombre de feuilles, de rendement et de rentabilité économique. Ainsi, l'utilisation des crottes de chèvre constitue une option intéressante pour améliorer la production du chou de Chine à Mvuazi, tout en valorisant une ressource organique d'origine animale disponible localement. Au regard de leurs performances sur la croissance, le rendement et la rentabilité économique, les crottes de chèvre peuvent être recommandées aux producteurs maraîchers de Mvuazi comme fumure organique d'origine animale, en appliquant la dose utilisée dans la présente étude et selon des conditions d'application appropriées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abdalla, M., Hastings, A., Chadwick, D. R., Jones, D. L., Evans, C. D., Smith, P., & Nilsson, M. B. (2016). Critical review of the impacts of grazing intensity on soil organic carbon storage and other soil properties. *Global Change Biology*, 22, 2921–2938.
2. Adekiya, A. O., Agbede, T. M., Aboyeji, C. M., Dunsin, O., & Adebiyi, O. V. (2019). Effects of biochar and poultry manure on soil properties, growth, yield and quality of okra. *Scientia Horticulturae*, 245, 39–45.
3. Agegnehu, G., Amede, T., & van der Giesen, N. (2017). Improving soil fertility and productivity through integrated organic and inorganic nutrient management in sub-Saharan Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 109, 1–20.
4. Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Benefits of biochar, compost and biochar-compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *Science of the Total Environment*, 543, 295–306.
5. Banque mondiale. (2019). *République démocratique du Congo : Diagnostic systématique du pays*. Washington, DC : Groupe de la Banque mondiale.
6. Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5, 180214.
7. Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel, F. C. (2017). Current approaches and future perspectives for the use of organic wastes as fertilizers. *Advances in Agronomy*, 144, 1–64.
8. Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125.
9. Córdova-Bautista, M., et al. (2020). Economic assessment of organic fertilization strategies in vegetable production. *Agronomy*, 10, 1–15.
10. Diacono, M., & Montemurro, F. (2015). Effectiveness of organic wastes as fertilizers and amendments in salt-affected soils. *Agriculture*, 5(2), 221–241.
11. Edwards, D. R., Williard, K. W. J., & Schoonover, J. E. (2015). Water quality impacts of pasture and animal agriculture: Manure management and nutrient losses. *Journal of Environmental Quality*, 44, 118–129.
12. Eghball, B., Ginting, D., & Gilley, J. E. (2016). Residual effects of manure and compost applications on corn production and soil properties. *Agronomy Journal*, 109, 1–10.
13. FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
14. FAO. (2019). *The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction*. Rome: FAO.
15. Gomez, K. A., & Gomez, A. A. (2015). *Statistical Procedures for Agricultural Research* (2nd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.

16. Hijbeek, R., van Ittersum, M. K., ten Berge, H. F. M., van de Wiel, C. C. M., & van Ittersum, M. K. (2017). Do organic inputs matter? A meta-analysis of crop yield response to organic amendments. *Soil Use and Management*, 33, 121–133.
17. Institut National pour l'Étude et la Recherche Agronomiques (INERA). (2021). *Données descriptives et géographiques du Centre de recherche de Mvuazi*. Mvuazi, République démocratique du Congo : INERA.
18. IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources 2022: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (4th ed.). Vienna, Austria: International Union of Soil Sciences.
19. Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2015). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370.
20. Lal, R. (2015). Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 7, 5875–5895.
21. Mafongoya, P. L., Giller, K. E., & Palm, C. A. (2016). Decomposition and nutrient release patterns of tree prunings and animal manure in tropical agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 220, 1–10.
22. Mandal, K. G., Hati, K. M., & Misra, A. K. (2015). Adoption of organic nutrient management practices and their economic implications in crop production. *Agricultural Economics Research Review*, 28, 1–10.
23. Maucieri, C., Barbera, A. C., Gristina, L., & Borin, M. (2019). Soil organic carbon and nutrient dynamics under organic and conventional management systems. *Agriculture*, 9, 1–16.
24. Möller, K., & Schultheiß, U. (2015). Organic fertilizers and soil fertility management in sustainable agriculture. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 30, 1–12.
25. Pérez-Harguindeguy, N., Díaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M. S., Cornwell, W. K., Craine, J. M., Gurvich, D. E., Urcelay, C., Veneklaas, E. J., Reich, P. B., Poorter, L., Wright, I. J., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J. G., de Vos, A. C., ... Cornelissen, J. H. C. (2016). New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64(8), 715–716.
26. Piepho, H.-P. (2018). Randomization and randomization-based inference in agricultural field experiments. *Agronomy Journal*, 110(4), 1254–1262.
27. Ponisio, L. C., M'Gonigle, L. K., & Kremen, C. (2015). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20141396.
28. Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., Dicks, L. V., Flora, C. B., Godfray, H. C. J., Goulson, D., Hartley, S., Lampkin, N., Morris, C., Pierzynski, G., Prasad, P. V. V., Reganold, J., Rockström, J., Smith, P., Thorne, P., & Wratten, S. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability*, 1, 441–446.
29. Roba, T. B. (2016). Review on the effect of mixing organic and inorganic fertilizer on productivity and soil fertility. *Open Access Library Journal*, 3, e2548.
30. Sánchez-Monedero, M. A., Cayuela, M. L., Roig, A., Jindo, K., Mondini, C., & Bolan, N. (2018). Role of biochar as an additive in organic waste composting. *Bioresource Technology*, 261, 1–9.

31. Service de climatologie de l'INERA-Mvuazi. (2022). *Relevés climatiques du Centre de recherche de Mvuazi : mai-juillet 2022*. Mvuazi, République démocratique du Congo : INERA.
32. Seufert, V., & Ramankutty, N. (2017). Many shades of gray—The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances*, 3(3), e1602638.
33. Sileshi, G. W., Nhamo, N., Mafongoya, P. L., & Tanimu, J. (2019). Stoichiometry of animal manure and implications for nutrient management in smallholder farming systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 115, 1–14.
34. Timsina, J. (2018). Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? *Agronomy*, 8(10), 214.
35. Vanlauwe, B., Descheemaeker, K., Giller, K. E., Huising, J., Merckx, R., Nziguheba, G., Wendt, J., & Zingore, S. (2017). Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Unravelling local adaptation. *SOIL*, 3, 1–13.
36. Vanlauwe, B., Hungria, M., Kanampiu, F., & Giller, K. E. (2019). The contribution of integrated soil fertility management to sustainable crop production in sub-Saharan Africa. *Field Crops Research*, 233, 1–8.
37. Wasserstein, R. L., Schirm, A. L., & Lazar, N. A. (2019). Moving to a world beyond “ $p < 0.05$ ”. *The American Statistician*, 73(sup1), 1–19.