

Effets de doses des fèces humaines et de l'engrais minéral sur le rendement et le taux de protéines du maïs (*Zea mays* L.) à Kolwezi dans la province du Lualaba en République Démocratique du Congo

Georges Kapele Kanyimbu^{1*}, Alain Kitabala Misonga², Michel Mazinga Nkwey³

⁽¹⁾Institut Supérieur Pédagogique de Kolwezi. Section des Sciences Exactes. Département d'Agrovétérinaire. BP 300 Kolwezi (RDC). E-mail : georgeskanyimbu00@gmail.com

⁽²⁾Université de Kolwezi. Faculté des Sciences Agronomiques. Département de Phytotechnie. Kolwezi (RDC).

⁽³⁾Université de Lubumbashi. Faculté des Sciences Agronomiques. Laboratoire Ecophysiologie et Biotechnologie végétale appliquée. BP 1825 Lubumbashi (RDC)

Reçu le 20 avril 2022, accepté le 09 juin 2022, publié en ligne le 09 juillet 2022

RESUME

Description du sujet. A Kolwezi, la pauvreté des sols couplée à la cherté des engrais chimiques ne permettent pas d'optimiser la productivité de la culture du maïs. Il est donc urgent de tester des approches peu onéreuses de fertilisation, ainsi les fèces par leur disponibilité et richesse en nutriments seraient une ressource localement valorisable en maïsiculture.

Objectifs. Cette étude a pour but d'évaluer les effets de fèces humaines sur le rendement et la teneur en protéines de deux variétés de maïs cultivées à Kolwezi. Spécifiquement, il est question de déterminer la dose optimale de fèces humaines pour un rendement optimal ainsi qu'une bonne teneur en protéines dans les conditions de Kolwezi.

Méthodes. L'essai a été disposé en split-block à 3 répétitions avec deux variétés de maïs (Babungo et Unilu) et quatre doses de fèces humaines (exposées au soleil pendant 6 mois et mélangées à la cendre) (10, 20, 30 et 50 t.ha⁻¹) comparées à un témoin non fertilisé et à la dose minérale de référence (300 kg NPK + 250 kg Urée) utilisée par les paysans.

Résultats. Moyennant un compost, les fèces humaines seraient une ressource locale valorisable en maïsiculture. Appliquées au sol, les fèces humaines ont amélioré considérablement la productivité du maïs ainsi que la teneur en protéines au même titre que la fertilisation minérale.

Conclusion. La variété Unilu qui répond mieux à la fertilisation organique avec un rendement de 4,1 t.ha⁻¹ et une teneur en protéines de 8,94 % à la dose de 30 t.ha⁻¹ de compost de fèces humaines serait recommandable.

Mots clés : Fèces humaines, variation, pédoclimatiques, teneur en protéines, Kolwezi.

ABSTRACT

Description of the subject. In Kolwezi, the poverty of the soils coupled with the high cost of chemical fertilizers does not allow for the optimization of maize productivity. It is therefore urgent to test inexpensive approaches to fertilization, and faeces, because of their availability and richness in nutrients, would be a locally valuable resource for maize farming.

Objectives. The aim of this study is to evaluate the effects of human faeces on the yield and protein content of two maize varieties grown in Kolwezi. Specifically, the aim is to determine the optimal dose of human faeces for optimal yield and protein content under Kolwezi conditions.

Methods. The trial was set up in a split-block design with 3 replications with two maize varieties (Babungo and Unilu) and four doses of human faeces (exposed to the sun for 6 months and mixed with ash) (10, 20, 30 and 50 t.ha⁻¹) compared to an unfertilized control and the reference mineral dose (300 kg NPK + 250 kg urea) used by the farmers

Results. If composted, human faeces would be a valuable local resource for maize farming. When applied to the soil, human faeces have considerably improved maize productivity and protein content in the same way as mineral fertilization.

Conclusion. The Unilu variety which responds better to organic fertilization with a yield of 4.1 t.ha⁻¹ and a protein content of 8.94 % at a dose of 30 t.ha⁻¹ of human faeces compost would be recommended.

Key words: Human faeces, variation, pedoclimatic, protein content, Kolwezi.

1. INTRODUCTION

L'Afrique subsaharienne est caractérisée ces dernières années par une demande du maïs de plus en plus élevée, expliquée par un accroissement de la population qui s'accompagne d'une profonde mutation des peuplements, pourtant souvent corrélée à une habitude alimentaire et à la demande des industries agro-alimentaires et avicoles. En effet, dans la plupart des pays en développement, le maïs serait l'essentiel du régime alimentaire de base des populations (Guèye *et al.*, 2011). Sa vertu nutritionnelle (richesse en amidon, protéines et éléments minéraux) expliquerait l'intérêt accordé à sa culture (Nyembo *et al.*, 2013). Ses grains serviraient des matières premières dans certaines industries (brasseries et industries transformatrices de biocarburant), faisant par conséquent de sa culture une source importante de revenu (Dalanda *et al.*, 2016). Cependant, le maïs, plante exigeante en éléments minéraux, nécessite l'usage de sols fertiles et de bons systèmes de gestion de la fertilité (Nyembo *et al.*, 2013).

Rappelons que Kolwezi est essentiellement couverte des sols sableux, généralement à pouvoir agronomique limité (Kitabala *et al.*, 2016a). Alors que la culture du maïs (*Zea mays*. L) y est pratiquée de manière continue (Useni *et al.*, 2012), ce système couplé à l'exportation des nutriments par ladite culture, est l'un des facteurs qui maximisent d'avantage la baisse drastique de sa fertilité. Toutefois, pour régénérer la fertilité de ces sols, l'usage des engrais chimiques paraît être au premier plan (Mufind *et al.*, 2016; Tshibingu *et al.*, 2017), mais, les conditions socio-économiques des paysans expliquées en grande partie par les faibles revenus, rend l'utilisation des engrais minéraux incompatibles (Kitabala *et al.*, 2016a). En plus, ces sols par leurs faibles taux des colloïdes, malgré la fertilisation aux engrais chimiques, l'azote et le potassium seraient exposés à l'érosion hydrique.

L'une des meilleures pratiques pour régénérer la fertilité de sol en Afrique reste l'utilisation du fumier organique dont la bouse (Lunze *et al.*, 2007). Malheureusement, l'élevage n'est pas très intégré à l'agriculture en République Démocratique du Congo. Bien plus, l'élevage des bovins jusqu'à ce jour reste traditionnel, et rend par conséquent difficile l'utilisation de la technique à grande échelle (Mondjalès *et al.*, 2017). Dans ce contexte, la recherche des solutions alternatives, notamment l'intégration des fèces humaines à la pratique de fertilisation conventionnelle pourrait être un gage d'une exploitation durable aux agriculteurs disposant de faibles capitaux. Il a été rapporté que

significativement le rendement dans la production d'aubergines et du maïs (Kiba 2005; Useni *et al.*, 2013; Nyembo *et al.*, 2014; Kitabala *et al.*, 2016a). Mais cependant, aucun de ces auteurs ne s'est intéressé à aborder l'aspect valeur nutritionnelle de maïs produit sous apports des fèces humaines. Or, l'actualité en Afrique subsaharienne est fortement polarisée sur la sécurité alimentaire (Bayiha *et al.*, 2019). D'après Almodares *et al.* (2009), la teneur en protéines dans le grain serait affectée par des pratiques culturales. Ainsi, dans le contexte où le maïs apporte 60 % de calories (Semassa *et al.*, 2016) et presque la moitié de protéines dans beaucoup des pays d'Afrique (Harold & Tabo, 2015), se limiter aux seules considérations notamment de l'augmentation des rendements s'avère insuffisant. Bien plus, en République Démocratique du Congo, les malnutritions dues aux déficits en protéines continuent d'être un problème.

L'objectif global de cette étude est d'évaluer la performance de doses des fèces humaines et de l'engrais minéral sur le rendement et le taux de protéines du maïs à Kolwezi. Elle s'est proposé de vérifier (i) si les engrais minéraux pourraient être substitués par le compost à base des fèces humaines, et (ii) si la dose des fèces humaines reste un élément clé pour piloter le rendement du maïs et la teneur en protéines et ceci indépendamment de la variété. Suite à l'inaccessibilité aux engrais des synthèses par la majorité des maïsiculteurs souvent expliqué par leurs faibles coût d'investissement, l'intérêt de cette étude est l'intégration en fertilisation conventionnelle de maïsiculture des fèces humaines, une ressource localement disponible.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

L'étude a été conduite au cours de la saison agricole 2016-2017 sur le champ expérimental de l'Université de Kolwezi, situé à 10°46'S, 025°32'E et à 1476 m d'altitude. Cette zone est caractérisée par un climat tropical humide du type Cw selon le système de classification de Köppen, comprenant une saison sèche (mai à septembre) et une saison pluvieuse (octobre à avril) (Kitabala *et al.*, 2016b). Toutefois, Malaisse (1974) a signalé l'existence de la saison sèche froide (mai-juillet), la saison sèche chaude (août-septembre), la saison des pluies précoces (octobre-novembre), la pleine saison des pluies (décembre-février) et la saison des pluies tardives (mars-avril) à partir des observations phénologiques portant sur la végétation.

La végétation de la zone d'étude est essentiellement constituée de la forêt claire "miombo" comportant un couvert arboré discontinu qui domine un tapis des hautes herbes (Kikufi & Lukoko, 2008). Les terres cultivables sont des Ferrasols, caractérisés par de faible réserve minérale, une texture majoritairement sablonneuse avec une faible capacité d'échange cationique et une faible teneur en matière organique (Mukalay, 2016). A l'installation du champ expérimental, les précédents culturaux étaient constitués d'une jachère dominée par *Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf., *Imperata cylindrica* (L.) Rausch (herbe sanglante ou japonaise), *Afromamun melengieta* Schumann (maniguette ou pouve du paradis), *Philicophita* sp (fougère ou Filicophytes) et *Acanthospermum australe* (Loefl) réputée bio-indicatrice de sol dégradé.

2.2. Matériel biologique

Le matériel végétal, objet d'étude, est la plante de maïs choisi pour les habitudes alimentaires de la population de la zone d'étude (Nyembo *et al.*, 2013). Alors que les variétés Babungo et Unilu ont été choisies en raison de l'intérêt que les maïsiculteurs de la région leur accordent, notamment leur potentiel de rendement et résistance aux principales maladies de la région (Useni *et al.*, 2012 ; Nyembo *et al.*, 2014).

2.3. Conduite de l'essai

Pour leur hygiénisation, les fèces humaines utilisées comme amendement ont été exposées au soleil et mélangées à la cendre pendant six mois (Jönsson & Vinnerås, 2004). Ces fèces humaines ont été recueillies dans le quartier Dilungu, ancienne cité universitaire situé au Nord Est de la ville de Kolwezi. Le labour était réalisé manuellement deux semaines avant l'enfouissement des composts, suivi du hersage. L'essai a été disposé en split-block à 3 répétitions avec deux variétés de maïs (Babungo et Unilu) comme parcelle principale et quatre doses de fèces humaines (10, 20, 30 et 50 t.ha⁻¹) comparées à un témoin non fertilisé et à la dose minérale de référence (300 kg NPK + 250 kg Urée) utilisée par les paysans comme sous-parcelle. Ces sous parcelles ont été séparées entre elles par une distance de 0,50 m alors que les blocs par une distance de 1 m. Dans une parcelle, la distance entre les plants a été de 0,25 m sur la ligne et de 0,75 m entre les lignes soit une densité 53 333 plantes par hectare à raison d'un grain par poquet. Après le labour, les fèces humaines ont été enfouies 15 jours avant semis dans les poquets à une profondeur de 10 cm (Useni *et al.*, 2012; Nyembo *et al.*, 2014; Kitabala *et al.*, 2016a).

Les soins d'entretien ont consisté au sarclage et au buttage. Les engrais minéraux utilisés étaient constitués du NPK (17-17-17) très souvent dotés

aux paysans de la région d'étude par la société Komoto Copper Campany et de l'urée à 46 % comme engrais de couverture. L'épandage du NPK a été réalisé au même moment que le semis alors que l'urée a été épandue 30 jours après levée sur toutes les parcelles à traitements minéraux. A la fin du cycle cultural, les épis de maïs ont été récoltés sur chaque parcelle en éliminant une ligne de bordure de chaque côté de la parcelle et les paramètres de production, végétatifs et la concentration en protéines ont été évalués. La teneur en protéines a été obtenue à partir de l'équation suivante ($N \times 6,25 \% m.s$) (Mondjalès *et al.*, 2017). Pour déterminer l'état agro-pédologique du site expérimental, des échantillons du sol ont été prélevés entre 0-20 cm de profondeur sur cinq endroits différents sous forme d'une croix avant l'installation de l'essai pour y effectuer les analyses. L'analyse de ces échantillons a été effectuée au laboratoire Agro-pédologique de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi. Elle a porté essentiellement sur les mesures du pH eau et KCl, la détermination du carbone total, de l'azote total, du phosphore total, du potassium et du calcium selon les principes décrits par Rouessac *et al.* (2004). La teneur en matière organique a été obtenue à partir du carbone organique, en utilisant le coefficient multiplicateur 1,724.

2.4. Analyse des données

Afin de comparer les performances de fèces humaines aux différents paramètres étudiés, les données ont été soumises à une analyse de variance multifactorielle à l'aide du logiciel R version 2.8.1. Les comparaisons multiples post hoc, dans le cas de différence significative, ont été réalisées par le test Tukey au seuil de 0,05 de probabilité. Une étude de la régression double y pour ce qui est de la teneur en protéines et rendement de chaque variété en fonction de traitements a été réalisée.

3. RESULTATS

1. Composition chimique des fèces humaines et diagnostic agro-pédologique du sol

Les valeurs fertilisantes du compost étudié comparativement au sol, fumier des porcs et fumier des vaches sont reprises dans le Tableau 1. Par leur niveau élevé en éléments minéraux (phosphore : 16,07 % ; calcium : 6,68 % ; potassium 1,19 %), il apparaît possible d'utiliser les fèces humaines comme amendement et/ou fertilisant. Le compost issu des fèces humaines paraît être un réservoir de matière organique que le fumier des porcs et le fumier des bovins soit 4,9 et 3,3 fois plus grand (Tableau 1). Ce compost présente aussi un rapport C/N élevé, ce qui lui confère une vitesse de minéralisation et de libération des nutriments progressive.

Tableau 1. Composition moyenne des éléments fertilisants dans les fèces humaines utilisées comparativement au sol (%)

Echantillon	CO	MO	N	C/N	P dispo	K total	Ca total	Source
Sol	1,41	2,43	0,06	24,00	0,24	0,22	0,02	Cette étude
Fèces humaines	3,42	5,90	0,17	20,00	16,07	1,19	6,68	Analyse étude
Fumier de bovins	0,50	1,00	0,11	4,50	Nd	Nd	Nd	Ognalaga <i>et al.</i> (2015)
Fumier de Porcs	1,30	2,60	0,13	10,00	Nd	Nd	Nd	Ognalaga <i>et al.</i> (2015)

Légende : CO : Carbone organique ; MO : Matière organique ; Nd : Non déterminé.

La concentration des éléments traces métalliques paraît sans doute acceptable à la norme d'usage de compost pour les sols congolais (Tableau 2). L'étude pédologique du site expérimental a attesté sa pauvreté en éléments majeurs de même que son acidité ($pH_{eau} = 4,9$; $pH_{KCl} = 4,07$), donc son faible niveau de fertilité (Tableau 1).

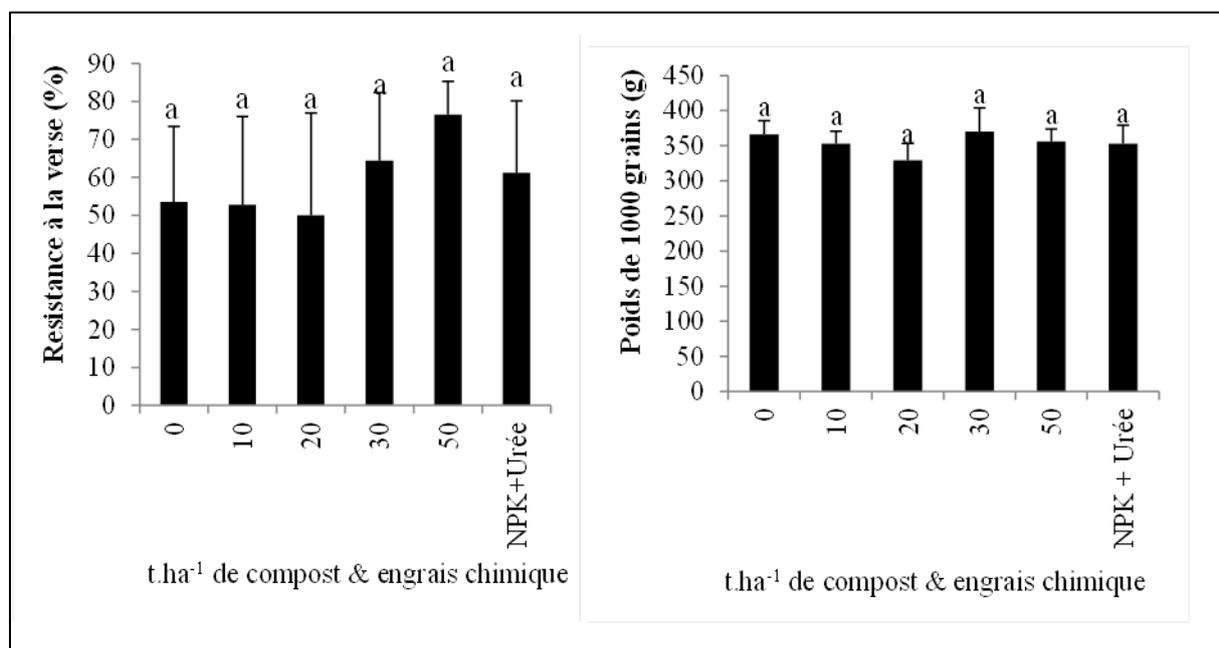
Tableau 2. Composition moyenne (%) en éléments traces métalliques des fèces humaines

Echantillon	Zn	Cu
Fèces humaines	0,0081	0,0109
Norme congolaise (%)	0,03	0,01

Les valeurs seuils des normes congolaises pourraient être consultées dans Atibu *et al.* (2013).

3.2. Influence des apports croissants des fèces humaines sur le rendement maïs

Des différences significatives n'ont pas été observées avec la résistance à la verse et le poids de 1000 grains ($P > 0,05$), par contre, le rendement varie significativement ($P < 0,05$) selon les traitements appliqués et est meilleur aux apports de 10 t.ha^{-1} de compost. Le rendement réalisé avec 10 t.ha^{-1} de compost soit $3,3 \text{ t.ha}^{-1}$ est deux fois supérieur que celui obtenu sur les parcelles non fertilisées mieux encore une amélioration de 106,3 % (Figure 1).



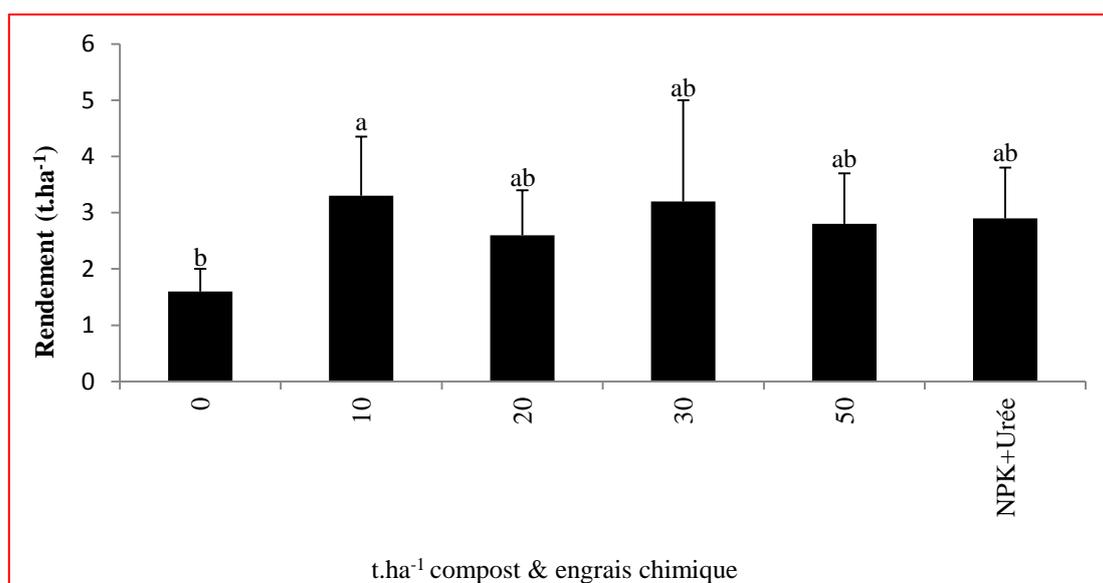


Figure 1. Effet des doses croissantes de compost à base de fèces humaines comparées à l'engrais minéral sur le rendement de maïs. Les moyennes de doses portant les différentes lettres sont significativement différentes suivant le test de Tukey ($\alpha=5\%$).

3.3. Influence de la variété sur le rendement de maïs

Les résultats montrent qu'il n'existe pas de différences significatives au niveau variétale sur tous les paramètres étudiés ($p>0,05$) (Figure 2).

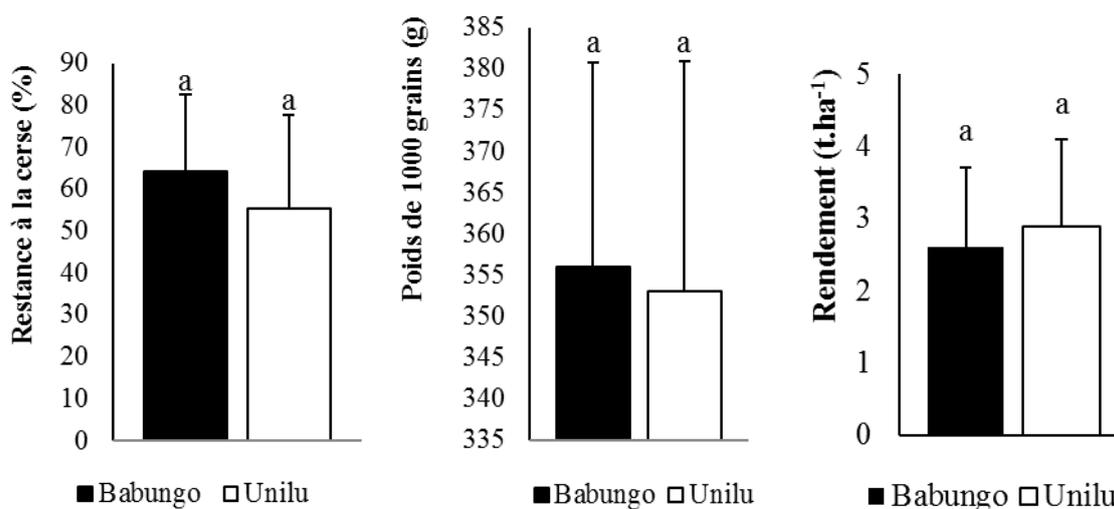


Figure 2. Comportement de deux variétés (Babungo et Unilu). Les moyennes de variétés de maïs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes suivant le test de Tukey ($\alpha=5\%$).

3.4. Effets combinés des doses et de la variété de maïs

La variété Unilu répond mieux aux amendements organiques, ce qui confirme sa performance. Par contre, la variété Babungo semble répondre mieux à l'application de l'engrais minéral qu'à l'usage des composts bien qu'une différence significative n'ait pas été révélée quant aux interactions ($P>0,05$). En effet, 10 t.ha⁻¹ de compost pour la variété Babungo et 30 t.ha⁻¹ pour la variété Unilu ont permis aux variétés testées d'exprimer leurs potentiels de productivité. Les interactions variétés-doses de fertilisants n'ont pas influencé significativement le poids de 1000 grains et la résistance à la verse ($P>0,05$) (Tableau 3).

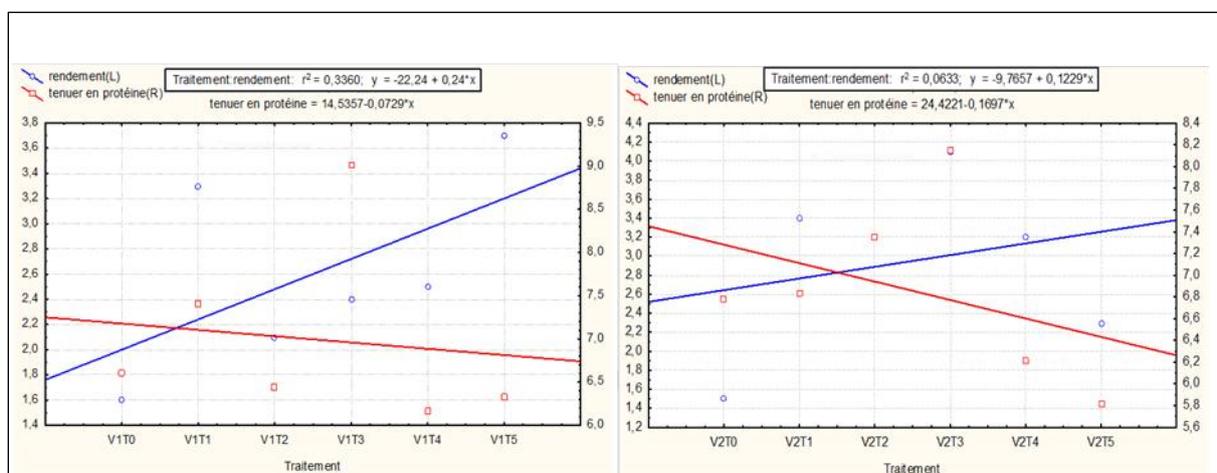
Tableaux 3. Interaction entre variété et doses de fèces humaines comparées à l'engrais minéral

Traitements		Résistance à la verse (%)	Poids de mille grains (g)	Rendement (t.ha ⁻¹)
Babungo	0	68,1±16,3a	372±27,4a	1,6±0,2a
	10 t.ha ⁻¹ FH	49,6±20,2a	360±24a	3,3±1,6a
	20 t.ha ⁻¹ FH	60,2±29,3a	334±36,1a	2,1±0,6a
	30 t.ha ⁻¹ FH	69,5±20,1a	358±17,3a	2,4±1,8a
	50 t.ha ⁻¹ FH	70,5±4,2a	346±3,4a	2,5±0,7a
	NPK+Urée	66,9±20,9a	366±24a	3,7±0,6a
Unilu	0	38,8±9,6a	360±10,3a	1,5±0,7a
	10 t.ha ⁻¹ FH	55,9±30,1a	346±6,9a	3,4±1,2a
	20 t.ha ⁻¹ FH	39,8±25,2a	324±10,3a	3,2±0,6a
	30 t.ha ⁻¹ FH	59,2±17,9a	384±45,8a	4,1±1,6a
	50 t.ha ⁻¹ FH	82,4±8,2a	366±21,6a	3,2±1a
	NPK+Urée	55,4±18,8a	340±24,9a	2,3±0,5a
P		0,486	0,412	0,128

Les moyennes de variétés de maïs portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes suivant le test de Tukey ($\alpha=5\%$). FH : fèces humaines

3.5. Effet des doses des fèces humaines sur la variation du rendement et de la teneur en protéines de la variété babungo et Unilu à Kolwezi.

Il ressort qu'au-delà de 30 t.ha⁻¹ de compost, l'augmentation de la dose n'est pas corrélée positivement avec la variation de la teneur en protéines et celle-ci quelle que soit la variété. La teneur en protéines sous la fertilisation minérale et aux plus fortes doses de fèces humaines a été faible. Ces résultats permettent de démontrer l'influence réelle de la composition chimique de fèces humaines et du choix de doses utilisées pour une meilleure concentration en protéines totale (Figure 3).



Légende : V1 : Babungo ; V2 : Unilu ; T0 : témoin absolu ; T1 : 10 t.ha⁻¹ ; T2 : 20 10 t.ha⁻¹ ; T3 : 30 10 t.ha⁻¹ ; T4 : 50 10 t.ha⁻¹ et T5 : 300 kg NPK+ 250 Kg Urée.

Figure 3. Variation du rendement et de la teneur en protéines de la variété babungo et Unilu en fonction des apports croissants de compost issu de fèces humaines

4. DISCUSSION

4.1. Statut Agro-pédologique du site expérimental et qualité agronomique de fèces humaines

Le sol sous étude, comme la plupart des sols de la zone agricole du Lualaba, est relativement pauvre, ce qui pourrait handicaper le bon développement des plantes. Les teneurs en phosphore assimilable demeurent inférieures au seuil critique de 30 ppm défini par Berger cité par Traoré *et al.* (2007), confirme la pauvreté générale en phosphore des Ferralsols. Une faible teneur en matière organique a été notée, et d'après Traoré *et al.* (2007), la valeur enregistrée sur le sol étudié ne permet pas une bonne valorisation des engrais chimiques. Pour Lumpungu *et al.* (2016), ce taux n'est pas capable d'assurer une bonne rétention en eau. Par conséquent, sur ces sols, toute absence d'apports des amendements se traduirait par de perte évidente de matières organiques et de peu de nutriments disponibles. Et donc, rehausser le taux de matière organique à un niveau acceptable paraît une solution. Les valeurs de composantes minérales et la teneur en matières organiques du compost utilisées seraient conformes aux normes internationales d'appréciation des amendements organiques (AFNOR, 2006).

Les faibles rendements obtenus sur les parcelles témoin mettent en évidence la faible fertilité intrinsèque des Ferralsols. Par contre, le faible rendement induit par l'engrais minéral par rapport à 10 t.ha⁻¹ de fèces humaines, serait dû probablement au lessivage des éléments nutritifs (Mathowa *et al.*, 2014; Ognalaga *et al.*, 2015). L'amélioration des rendements sur les parcelles fertilisées au compost à base de fèces humaines s'explique par les propriétés physico-chimiques de compost à base de fèces humaines. En effet, ces dernières contiennent de l'humus qui d'une part, forme un complexe argilo-humique favorable à une bonne porosité du sol et d'autre part, est riche en éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le zinc (Tableau 1 et 2), indispensables à la croissance de la plante (Kiba, 2005 ; Useni *et al.*, 2013 ; Ouattara, 2014 ; Kitabala *et al.*, 2016a). Et donc, la différence des rendements entre les parcelles fertilisées aux fèces humaines et celles à l'engrais chimique montre que les deux types de fertilisants disposent des caractéristiques différentes. Le rendement moyen de l'essai est situé dans la gamme de ceux obtenus par les paysans avec usage des engrais minéraux, ce qui signifie que les fèces humaines pourraient mieux intégrer les engrais en maïsiculture. Quant aux interactions dose-variétés, le fait que le meilleur rendement ait été obtenu avec 10 t.ha⁻¹ pour la variété Babungu par contre, avec 30 t.ha⁻¹ de fèces humaines

chez la variété Unilu serait expliqué par leur patrimoine génétique (Violic, 2002; Pixley, 2003). Mais toutefois, bien que le potentiel de production d'une espèce végétale soit conditionné par son caractère génétique, il sied d'insister sur le fait que le rendement exprimé par ces deux variétés dans nos conditions d'étude serait expliqué en grande partie par l'usage de compost et l'engrais chimiques ; et cela est observable lorsque l'on compare les rendements des variétés utilisées sous les parcelles amendées à celles non amendées. Quant aux doses, le fait que la faible dose de fèces humaines (10 t.ha⁻¹) ait donné un rendement supérieur par rapport aux plus fortes doses serait expliqué par un déséquilibre nutritionnel dû à un effet d'antagonisme entre éléments. Ce constat évoque la notion de valeur optimale en quantité et en qualité d'engrais à utiliser en production. L'abondance de certains éléments fertilisants notamment l'azote aurait généré un développement exagéré de la croissance au détriment de la fructification, par conséquent une diminution de rendement (Kitabala *et al.*, 2016b). Nyembo *et al.* (2012) avaient aussi observé que les plus fortes doses produisaient un impact négatif sur le rendement de culture. Kidinda *et al.* (2015), ont conclu que la productivité du maïs n'est pas toujours proportionnelle à la quantité d'engrais apportée. Il existe donc un seuil au-delà duquel tout apport pourrait entraver le développement des plants et par la suite une diminution de rendement.

4.2. Variation de la teneur en protéines de maïs comme facteur dépendant du type d'engrais et de la dose

La teneur en protéines est comprise chez les céréales (maïs, riz, blé) entre 8 et 12 % (Guéguen *et al.*, 2016) et reste l'un des facteurs déterminants de la valeur du produit final (Ercoli *et al.*, 2008 ; Ferrise *et al.*, 2010). Celle obtenue dans cette étude serait meilleure pour toutes les deux variétés aux apports de 30 t.ha⁻¹ de compost. Par contre, elle reste inférieure sous la fertilisation minérale. En effet, selon Shiratsuchi *et al.* (2008), l'azote libéré un peu tardivement intervient beaucoup dans l'élaboration des protéines. En d'autres termes, la caractéristique reconnue des engrais organiques notamment une libération progressive des nutriments aurait donc coïncidé avec le stade physiologique déterminant à la formation des protéines. Clark & Ellsworth (2004) ont également mis en évidence l'importance d'un apport d'azote à un stade tardif pour l'enrichissement en protéines du grain chez blé. La faible concentration en protéines sous la fertilisation minérale paraît être expliquée à la lixiviation de l'azote favorisée par la structure de sol d'étude, d'où la nécessité de la fertilisation organique. Par contre, les concentrations souhaitables en

protéines sous la fertilisation organique confirment l'intérêt indéniable d'intégrer les fèces humaines aux engrais organiques. Au vu de ces résultats, nous pensons que les fèces humaines qui, d'ailleurs sont abondamment présentes dans la ville du site d'étude sont une bonne alternative aux engrais minéraux qui ne sont pas à la portée des paysans de la région.

5. CONCLUSION

Le compost des fèces humaines étant relativement riche en éléments nutritifs et en matières organiques d'après les résultats des analyses de laboratoire, son application sur un Ferrasols perçu déjà pauvre par les paysans, contribuerait considérablement à la reconstitution de son potentiel cultural. Les effets des fèces ont été équivalents à ceux des engrais chimiques quant au rendement, et confirment que les fèces humaines combleraient les besoins de la culture du maïs surtout dans le contexte où l'utilisation des engrais minéraux est incompatible avec les conditions socio-économiques des paysans. Un taux de protéines compris dans la gamme de taux prescrite observé sur toutes les parcelles fertilisées au compost des fèces humaines signifie qu'il est possible de produire de maïs riche en protéines. La variété Unilu répondant mieux aux apports des fèces humaines avec un rendement de 4,1 t.ha⁻¹ et une teneur en protéines envisageable soit 8,94% à la dose de 30 t.ha⁻¹ paraît recommandable.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le chef de travaux Kamb A Kut Jaques pour la lecture critique du manuscrit et les autorités académiques de la Faculté des Sciences Agronomiques Université de Kolwezi pour leur appui matériel.

Références

- Almodares A., Jafarina M. & Hadi M. R., 2014. The Effects of Nitrogen Fertilizer on Chemical Compositions in Corn and Sweet Sorghum. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 6(4), 441- 446.
- Atibu K. E., Devarajan N., Thevenon F., Mwanamoki P. M., Tshibanda J. B., Mpiana P. T., Prabakar K., Mubedi J. I., Wildi W. & Poté J. 2013. Concentration of metals in surface water and sediment of Luilu and Musonie Rivers, Klowezi-Katanga, Democratic Republic of Congo. *Applied Geochemistry*, 39, 26-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.09.021>
- Björn V., Hokan J., Era S. & Anna R. S., 2004. *Tentative guidelines for agriculture use of urine and faeces*. Ecosan-Glosing the loop 2nd international symposium on ecological sanitation, April 2003, pp 101-108.
- Clark L. J. & Ellsworth K. F., 2004. *Durum wheat response to nitrogen fertilization at Safford Agricultural Center*. A College of Agriculture and Life Sciences Report. The University of Arizona, Tucson, AZ. Series P-135, pp: 34 - 37.
- Dalanda M. D., Diop F. M., Mahamat M.S., Touroumgaye G., Bamba A.N., Diop N. N., Diop A. & Guisse A., 2016. Détermination de la dose optimale d'engrais minéral 15-15-15 sur Cinq (05) variétés de maïs doux (*Zea mays* L. ssp. *saccharata*) au Sénégal. *European Scientific Journal*, 12 (27), 135-148. DOI: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v12n27p135>
- Ercoli L., Lulli L., Mariotti M., Masoni A. & Arduini I., 2008. Post-anthesis dry matter and nitrogen dynamics in durum wheat as affected by nitrogen supply and soil water availability. *Elsevier, Europ. J. Agronomy*, 28, 138 -147. DOI:10.1016/j.eja.2007.06.002
- Ferrise R., Triossi A., Stratonovitch P., Bindi M. & Martre P., 2010. Sowing date and nitrogen fertilization effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: An experimental and simulation study. *Elsevier, Field Crops Research*, 117, 245-257. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2010.03.010>
- Guéguen J., Walrand S. & Bourgeois O., 2016. Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de nutrition et de diététique*, 51, 177-185. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cnd.2016.02.001>
- Guèye M.T., Seck D., Wathelet J-P. & Lognay G., 2011. Lutte contre les ravageurs des stocks de céréales et de légumineuses au Sénégal et en Afrique occidentale : synthèse bibliographique. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement.*, 15(1), 183-194.
- Harold M. & Tabo R., 2015. *Les cultures céréalières : riz, maïs, millet, sorgho et blé*. Document de référence. 38 p.
- Jönsson H. & Vinnerås B., 2004. Adapting the nutrient content of urine and faeces in different countries using FAO and Swedish data. In: Werner C et al., eds. *Ecosan-Closing the loop. Proceedings of the 2nd international symposium on ecological sanitation, incorporating the 1st IWA specialist group conference on sustainable sanitation, 7-11 April 2003, Lübeck, Germany*. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), pp. 623-626.
- Kiba D. I., 2005. *Valorisation agronomique des excréta humains : utilisation des urines et fèces humains pour la production de l'aubergine (Solanum melongena) et du maïs (Zea mays) dans la zone centre du Burkina Faso*. Mémoire, 70 p.
- Kidinda K. L., Kiluba K. J., Tshipama T. D., Kilumba K. M., Mpoyo M. G., Langunu S., Muteba K. M. & Nyembo K. L., 2015. Mise en évidence des doses de fertilisants minéraux à appliquer aux nouvelles variétés de maïs introduites dans la région de Lubumbashi (RD Congo). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 12 (1), 96-103.

- Kikufi B. A. & Lukoki L. F., 2008. Aperçu de la végétation des sites miniers de Kolwezi au sud Katanga. *Rev. Cong. Sci. Nucl.*, **23**(1), 21-32.
- Kitabala M. A., Tshala U. J., Kasangij K. P., Mulang T. S., Kamana N. L. & Nyembo K. L., 2016a. Intégration et exploitation des arrières effets des fèces humaines pour l'amélioration de la fertilité chimique du sol et de la production de la culture de maïs (*Zea mays* L.) à Lubumbashi (R.D. Congo). *Journal of Applied Biosciences*, **108**, 10480-10490. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v108i1.1>
- Kitabala M. A., Tshala U. J., Kalenda M. A., Tshijika I. M. & Mufind K. M., 2016b. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences*, **102**, 9669 – 9679. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v102i1.1>
- Lumpungu C. K., Bienayaku V., Mufwaya C. K. & Falasi N., 2016. La sciure de bois, un déchet à valoriser pour l'agriculture en R.D. Congo. *Congo Sciences*, **4**(1), 57-60.
- Lunze L., Kimani P. M., Ngatoluwa R., Rabary B., Rachier G. O., Ugen M. M., Ruganza V. & Awad elkarim E. E., 2007. Bean improvement for low soil adaptation in Eastern and central Africa. In: Bationo A, Waswa B, Kihara J, Kimetu J, (eds). *Advances in integrated soil fertility management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, Springer, The Netherlands, 324-332.
- Malaisse F., 1974. Phenology of the Zambezi woodland area with emphasis on the miombo ecosystem. In: H. Lieth (ed.) *Phenology and seasonality modelling* (Vol 8, pp. 269–286). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-51863-8_23
- Mathowa T., Madisa M. E., Moshoeshoe C. M. & Mojeremane W., 2014. Effect of different growing media on the growth and yield of Jute Mallow (*Corchorus olerius* L.). *International Journal of Research Studies in Biosciences*, **2**(11), 153- 163.
- Mondjalil P., Mbuya N. K. & Mossala M., 2017. *Performance de l'application des biofertilisants par rapport à d'autres types d'engrais sur les paramètres de croissance et les rendements, de certaines cultures principales en RDC* » (QPM 3, *Phaseolus vulgaris*, *Haricot* C.). Projet "Voix d'Afrique", 55 p.
- Mukalay M. H. J., 2016. *Identification et classification des sols sous les nouvelles normes et étude de bio-identification et restauration des unités dégradées dans la zone agricole du Haut-Katanga/R.D. Congo*. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi. Lubumbashi, Inédit. 255 p.
- Nyembo K. L., Kisimba M. M., Mwamba M. T., Lwalaba Wa Lwalaba J., Kanyenga L. A., Ntumba K. B., Mpundu M. M. & Longanza B. L., 2014. Effets de doses croissantes des composts de fumiers de poules sur le rendement de chou de Chine (*Brassica chinensis* L.) installé sur un sol acide de Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences*, **77**, 6509– 6522. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v77i1.4>.
- Nyembo K. L., Useni S. Y., Chukiyabo K. M., Tshomba K. J., Ntumba N. F., Muyambo M. E., Kapalanga K. P., Mpundu M. M., Bugeme M. D. & Baboy L. L., 2013. Rentabilité économique du fractionnement des engrais azotés en culture de maïs (*Zea mays* L.) : cas de la ville de Lubumbashi, sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, **65**, 4945 – 4956. <http://www.m.elewa.org/JABS/2013/65/5.pdf>
- Nyembo K. L., Useni S. Y., Mpundu M. M., Bugeme M. D., Kasongo L. E & Baboy L. L., 2012. Effets des apports des doses variées de fertilisants inorganiques (NPKS et Urée) sur le rendement et la rentabilité économique de nouvelles variétés de *Zea mays* L. à Lubumbashi, Sud-Est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, **59**, 4286–4296. Published online at www.m.elewa.org on 30th November 2012.
- Ognalaga M., Boussiengui-B G. & Oyanadigui I. P. O., 2015. Contribution à la restauration de la fertilité des sols du périmètre maraîcher de l'IGAD DJAMITI (Franceville) par l'apport raisonné des amendements organiques et minéral. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **24** (3), 3843-3853
- Ouattara S., 2014. *Diagnostic des pratiques de valorisation agronomique de substrats organiques dans la zone urbaine et périurbaine de la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)*. Mémoire de fin de cycle, 77 p.
- Pixley K. V., 2003. *The development and promotion of quality protein maize in Sub-Saharan Africa. Progress report 2003*. Harare: CIMMYT.
- Rouessac F., Rouessac A. & Cruché D., 2004. *Analyse chimique: Méthodes et techniques instrumentales moderne*. Dunod, Paris, 6^{ème} Edition, 223 p.
- Semassa A. J., Padonou S.W., Anihouvi V.B., Akissoé N.H., Aly Adjanohoun A. D. & Baba-Moussa L., 2016. Diversité variétale, qualité et utilisation du maïs (*Zea mays*) en Afrique de l'ouest : revue critique. *European Scientific Journal*, **12**(18), 197-217.
- Shiratsuchi H., Kitagawa H., Okada K., Nakanishi K., Suzuki M., Ogura A. & Yasumoto S., 2008. Development of rice "Seed-Mats" consisting of hardened seeds with a cover of soil for the rice transplanted. *Plant Production Science*, **11**, 108–115.
- Traoré O., Koulibaly B. & Dakuo D., 2007. Effets comparés de deux formes d'engrais sur les rendements et la nutrition minérale en zone cotonnière au Burkina Faso. *Tropicicultura*, **25** (4), 200-203.
- Useni S. Y., Baboy L. L., Nyembo K. L. & Mpundu M. M., 2012. Effets des apports combinés de biodéchets et de fertilisants inorganiques sur le rendement de trois variétés de *Zea mays* L. cultivées dans la région de Lubumbashi. *Journal of Applied Biosciences*, **54**, 3935– 3943. <http://www.m.elewa.org/JABS/2012/54/10.pdf>

Useni S. Y., Chukiyabo K. M., Tshomba K. J., Muyambo M. E., Kapalanga K. P., Ntumba N.F., Kasangij A. K. P., Kyungu K., Baboy L. L., Nyembo K. L. & Mpundu M M., 2013. Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo. *Journal of Applied Biosciences*, **66**,5070-5081. <http://www.m.elewa.org/JABS/2013/66/5.pdf>

Violic A. D., 2002. Gestion intégrée de la culture. In : FAO, ed. *Le maïs en zones tropicales : amélioration et production*. Rome: FAO, 251-299.