



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)

Kitabala Misonga Alain^{1*}, Tshala Upite Joseph¹, Kasangij a Kasangij Patrick³, Mulang Tshinish Sabin⁴, Kamana Ndolo Laddy⁴, Nyembo Kimuni Luciens²

¹Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kolwezi, Kolwezi R.D. Congo.

²Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P 1825 ; Lubumbashi R.D. Congo

³Département de Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, B.P 1825 ; Lubumbashi R.D. Congo.

⁴ Département de Phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Méthodiste au Katanga, B.P 521 ; Likasi R.D. Congo

*Correspondance, courriel : joellemisongaalain@gmail.com; Tél : +243970655180

Original submitted in on 19th October 2016. Published online at www.m.elewa.org on 31st December 2016

<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v108i1.1>

RESUME

Objectif : Cette étude a été réalisée durant deux campagnes agricoles en vue d'évaluer les effets directs et arrières effets de fèces humaines sur certaines propriétés chimiques d'un ferralisol et le rendement du maïs à Lubumbashi.

Méthodologie et résultats : En première campagne, six doses de fèces humaines (0, 1, 10, 20, 30 et 50 t.ha⁻¹) ont été appliquées sur deux variétés de maïs (Babungo et Katanga) dans un dispositif factoriel à 3 répétitions. En seconde campagne, les mêmes variétés ont été semées dans le même dispositif, sans apport de fertilisants. Des analyses chimiques ont été réalisées sur des échantillons de sol et de fèces humaines. Cette étude montre une amélioration des caractères agronomiques en deuxième année, notamment l'augmentation du rendement, attribuée non seulement à la valeur fertilisante des fèces humaines mais également à leur action sur l'amélioration des propriétés chimiques observée. L'augmentation de rendement est plus remarquable avec l'application de la faible dose (1 t.ha⁻¹) soit 15 fois plus meilleure que celle observée avec la dose de 50 t.ha⁻¹ de fèces humaines et/ou avec l'application de toutes doses intermédiaires. Toutefois, comparativement aux résultats d'analyse du sol de la première année, une diminution de la teneur en magnésium a été observée en deuxième année, montrant l'impact des exportations sans compensation sur la production végétale. L'apport de la faible dose qui a permis d'augmenter le rendement jusqu'à 77,3% à la deuxième campagne serait recommandable

Conclusion et application des résultats : Cette étude atteste que non seulement l'application des fèces humaines est directement bénéfique en culture de maïs, mais aussi les arrières-effets sont exploitables pour les campagnes prochaines. Il est cependant intéressant de déterminer jusqu'à quelle campagne les arrières-effets sont encore exploitables.

Mots clé : fèces humaines, arrières-effets, rendement, propriétés chimiques, ferralitique, maïs, Lubumbashi.

Integration and exploitation of back effects of the human faeces to improve chemical fertility of soil and production of maize (*Zea mays* L.) in Lubumbashi (D.R. Congo)

ABSTRACT

Objective: This study was carried out during two agricultural surveys to evaluate the direct effects and back effects of human faeces on certain chemical properties of a ferralsol and maize yield in Lubumbashi.

Methods and results: In the first season, six doses of human faeces (0, 1, 10, 20, 30 and 50 t.ha⁻¹) were applied to two varieties of maize (Babungo and Katanga) repetitions. In the second season, the same varieties were planted in the same device, without use fertilizers. Chemical analyzes were carried out on samples of human soil and faeces. This study shows an improvement in agronomic characteristics in the second year, in particular an increase in yield, attributed not only to the fertilizing value of human faeces but also to their effect on the improvement of the chemical properties observed. This increase in yield is more remarkable with the application of the low dose (1 t.ha⁻¹) which is 15 times better than that observed with 50 t.ha⁻¹ dose of human faeces and / Application of any intermediate doses. However, compared to soil analysis results for the first year, a decrease in magnesium content was observed in the second year, showing the impact of exports without compensation on crop production. The contribution of the low dose which allowed increasing the yield to 77.3% in the second campaign would be recommendable

Conclusion and results application: This study shows that not only the application of human faeces is directly beneficial in maize cultivation, but also the backward effects are exploitable for the forthcoming campaigns. It is, however, interesting to determinate the extent to which the backward effects are still exploitable.

Key words: human faeces, back effects, yield, chemical properties, ferralitic, maize, Lubumbashi.

INTRODUCTION

Le maïs, principal produit vivrier dans la région de Lubumbashi et deuxième produit au pays après le manioc (Nyembo, 2010). Son importance a été attestée non seulement par l'étendue des superficies cultivées mais aussi par la diversité de son utilisation aussi bien dans l'alimentation humaine qu'animale (Kagne et al., 2003 ; Mulumba, 2008). Selon (Nyembo, 2010), sa richesse en divers nutriments, notamment en protéines, en sels minéraux, vitamines et énergies explique aussi l'intérêt accordé à cette culture. Son importance est aussi traduite par le volume de recherche orientée à cette culture (Anzala, 2006). Cependant, malgré tous ces avantages plausibles, le maïs est réputé comme une plante épuisante au regard des exportations des éléments minéraux majeurs dans les grains et dans les pailles. Selon, la FAO (2003), à la fin de son cycle, les immobilisations d'une production de 10 t.ha⁻¹ de grains correspondent en moyenne à 200 - 420 unités de N, 30 - 100 unités de P₂O₅ et 30 - 100 unités de K₂O. Pourtant, la plupart des sols de l'Afrique subsaharienne sont dans un état d'altération avancé et présentent un déficit en éléments nutritifs (Pieri, 1989), outre les

maladies et insectes ravageurs, l'exploitation continue des sols sans méthodes de conservation adéquate. Les engrais minéraux dont la plupart des agriculteurs font recours pour maintenir le niveau des éléments nutritifs, en raison de leur plus grande efficacité agronomique (Useni et al., 2013), sont presque inaccessibles à tous les agriculteurs, à cause de leurs coûts prohibitifs et leur indisponibilité en milieu rural (Somé et al., 2007). Leur utilisation continue et exclusive entraîne une baisse de la productivité de sols (Useni et al., 2013) et une diminution des rendements (Boli et Roose, 2000), outre les effets négatifs sur l'environnement (Bado, 2002). Pourtant, l'apport de différents types de matière organique aux sols de manière à accroître la disponibilité des éléments nutritifs (Palm et al., 1997), est l'une des voies prometteuses. Bien que démontré par SENASEM/CTB (2009) qu'au cours de ces dernières années, avec la mise au point des variétés améliorées que la production du maïs s'est nettement accrue, cette augmentation de la production résultait essentiellement de l'accroissement des superficies emblavées tandis

que la diminution continue de la productivité du maïs est alarmante (Useni et al., 2012 ; Nyembo et al., 2014). En effet, Muna-Mucheru et al. (2007) ont montré que les engrais organiques, de par leurs effets bénéfiques sur les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol, et donc sur la croissance des plantes, permettraient d'accroître les productions végétales dans le contexte d'Afrique subsaharienne. Ils augmentent non seulement la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, mais ils réduisent également l'incidence des maladies (Adilakshmi et al., 2007). Cependant, l'efficacité fertilisante des amendements organiques est associée à leur composition et période d'épandage. A titre d'exemple, les engrais riches en azote peuvent rapidement libérer de l'azote dans le sol, qui peut être perdu par lessivage lors des applications en

début de végétation. En outre, Vagstad et al. (2001) ont démontré que les engrais organiques se minéralisent pendant toute la saison de végétation et la disponibilité des éléments nutritifs ne coïncident pas toujours avec le cycle de croissance des cultures (Giroux et al., 2007) ; ce qui justifie l'intérêt d'exploiter leurs arrières effets. Cette étude veut vérifier les hypothèses selon lesquelles (1) les fèces humaines constituent une source importante de fertilisants pour élever la productivité des sols et le rendement du maïs (2) la minéralisation des fèces humaines et la biodisponibilité des éléments minéraux se produit au fil du temps. L'objectif général de cette étude est d'évaluer les effets directs et arrières effets de fèces humaines sur certaines propriétés chimiques d'un ferralsol et le rendement du maïs à Lubumbashi.

MATERIELS ET METHODES

Description du site d'étude : Cette expérimentation a été conduite pendant deux campagnes agricoles (2010-2011 et 2011-2012) à la ferme Kasapa de l'Université de Lubumbashi (UNILU) (11°36'44" de latitude sud,

27°28'37" de longitude Est et 1274 m de latitude), située au Nord-ouest de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo (figure 1).



Figure 1. Localisation de la ferme Kasapa (milieu d'étude) (Google Earth maps, 2016)

Ce milieu d'étude se caractérise par un climat marqué d'une saison pluvieuse (Novembre à Avril), une saison sèche (Mai à Septembre), avec Octobre et Avril comme les mois de transition. Les précipitations moyennes annuelles s'élèvent à 1270 mm avec les

valeurs extrêmes de 717 et 1770 mm. La température moyenne annuelle est d'environ 20°C (Malaisse, 1997). Les conditions climatiques ayant prévalu au cours de deux campagnes sont données dans le tableau1 ci-après

Tableau 1. Conditions climatiques prévaluées au cours de deux campagnes à station de recherche Kasapa (Source : METTELSAT/station de la Luano)

Périodes et paramètres climatiques	2010	2011				
	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Précipitations (mm)	322,8	204,8	277,3	146,2	20,9	3,0
Température moyenne (°C)	21,2	20,9	20,9	21,2	21,1	20,7
Humidité relative (%)	75	87	86	86	80	73
Périodes et paramètres climatiques	2011	2012				
	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai
Précipitations (mm)	170,5	374,6	335,8	173,9	9,2	0
Température moyenne (°C)	21,0	21,9	20,9	21,2	22,1	21,0
Humidité relative (%)	70,9	75,1	86	86	80	70,9

Légende : METTELSAT : Agence nationale de météorologie et de télédétection par satellite station de la Luano

La couverture pédologique est du type ferrallitique, ferralsols dans la classification FAO (FAO-UNESCO, 1990) avec un pH à l'eau oscillant autour de 5,2 (Kasongo et al., 2013). La forêt claire qui constitue la végétation primaire dans la plaine de Lubumbashi enregistre une régression notable depuis plus d'un demi-siècle à cause des activités anthropiques intenses (Munyemba & Bogaert, 2014). Avant l'implantation de l'essai, le site expérimental était colonisé par l'*Imperata cylindrica* (herbe sanglante), *Pennisetum purpureum* (fausse canne à sucre), *Eleusine indica* (éleusine indienne), *Tithonia diversifolia* Hemsley (tournesol américain), *Panicum maximum* (Herbe de Guinée), *Cyperus esculentus* (noix tigrée) et *Cynodon dactylon* (herbe des Bermudes).

Dispositif expérimental et pratiques culturales :

L'essai a été installé selon un dispositif factoriel, combinant trois répétitions de six doses de compost à base des fèces humaines (0, 1, 10, 20, 30 et 50 t.ha⁻¹) appliquées sur deux variétés de maïs. Le matériel végétal était constitué de deux variétés de maïs (Katanga et Babungo) obtenues respectivement à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Lubumbashi (UNILU) et à l'Institut National d'Elevage et des Recherches Agronomiques (INERA/Kipopo R.D. Congo). Ces variétés sont plus préférées pour leur résistance aux maladies (helminthosporiose, cercosporiose et striure), ravageurs, leur potentiel élevé de rendement (7 à 8,5 t.ha⁻¹ à une densité de 53333 plants ha⁻¹) et la faible taille des plantes qui les rend moins sensible à la verse (Useni et al., 2012 ; Nyembo et al., 2014). Les fèces humaines utilisées comme fumure organique ont été exposées au soleil pendant une année et mélangées à la cendre en vue de leur hygiénisation (Kiba et al., 2008). Ces dernières ont été obtenues sur les cités universitaires (Université de

Lubumbashi). Après le labour, les fèces humaines ont été enfouies 15 jours avant semis dans les poquets à une profondeur de 10 cm. La densité a été de 53333 plantes par hectare, soient les écartements de 75 cm * 25 cm à raison d'un grain par poquet (Nyembo, 2010). Les soins d'entretien ont consisté au sarclage et au buttage. A la fin du cycle cultural, les épis de maïs ont été récoltés sur les deux lignes du milieu et les paramètres de rendement ont été ajustés au taux d'humidité de 14 % (Malumba, 2008). En fin, seul le rendement en maïs grain a été évalué.

Analyse des sols et fèces humaines : Des analyses chimiques ont été réalisées sur des échantillons de sol et de fèces humaines en première année et sur les échantillons de sols de 36 unités expérimentales en deuxième année. L'échantillon de sol et fèces humaines ont été soumis à une minéralisation totale par l'acide sulfurique (H₂SO₄), l'acide salicylique (K₂SO₄), du peroxyde (H₂O₂) et portés à ébullition en présence d'un catalyseur (Mulaji, 2010) selon l'élément considéré. Après calcination de l'échantillon, l'extraction du potassium a été faite avec 0,1 N d'acide chlorhydrique (HCl) et 0,4 N d'acide oxalique (H₂CnO₄) et sa teneur a été déterminée au photomètre à flamme par la comparaison des intensités de radiations émises par les atomes de potassium (K) avec celles des solutions standards (Ouattara, 2014). Quant au dosage du phosphore, il a été déterminé selon la méthode de Bray 2 alors que le dosage d'azote a été déterminé par la méthode de Kjeldah (Ouattara, 2014). Les éléments minéraux totaux (Ca, Mg) ont été déterminés au spectrophotomètre d'absorption atomique après minéralisation totale de l'échantillon (Mulaji, 2010 ; Mpundu, 2010).

Analyse statistique des données : Afin de déceler l'influence des fèces humaines sur les caractéristiques

agronomiques (rendement et propriété chimiques sol), les données collectées ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel **R** version **2.14.0**. Lorsqu'une différence significative est observée entre les traitements pour un caractère, l'ANOVA à trois facteurs est complétée par des comparaisons multiples

en effectuant le test de Tukey au seuil de probabilité de 5%. En fin, la corrélation de *Pearson* a été effectuée en vue d'évaluer l'influence de l'accroissement des doses de fèces humaines sur l'augmentation de rendement en deuxième année.

RESULTATS

Caractéristiques des fèces et des sols : Le tableau 2 présente la comparaison de la composition chimique des fèces humaines utilisées comme amendement organique

Tableau 2. Comparaison de la composition chimique des fèces humaines utilisées (en %).

Éléments	N (NO ₃)	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Ca	Mg	Références
Valeur	6,5	1,2	2,53	0,67	1	Cette étude
	2,312	1,1	2,56	nd	nd	Tavassoli et al. (2010)
	2,312	1,1	2,527	nd	nd	Esmailiyan et al. (2008)
	5-7	3-5*	1-2,5**	nd	nd	Rodal (2003)

** : K₂O, * : P₂O₅, nd : non déterminé

Ce tableau dévoile que les fèces humaines utilisées renferment la teneur en azote comparable à celle de Rodal (2003) mais largement supérieure à celles trouvées par Tavassoli et al. (2010) et Esmailiyan et al. (2008). Quant à la teneur en potassium, elle est nettement supérieure à celle trouvée par Rodal (2003) mais similaire à celles observées Tavassoli et al. (2010) et Esmailiyan et al. (2008). En ce qui concerne la teneur phosphore, celle trouvée par Rodal (2003) est nettement supérieure à celle observée par cette étude mais similaire à celles observées par Tavassoli et al. (2010) et Esmailiyan et al. (2008). Les propriétés chimiques du sol ont été analysées en début de chaque campagne en vue de déterminer l'effet des amendements organiques (apport des fèces) sur la fertilité chimique. Bien qu'aucune différence

significative n'ait été mise en évidence entre les traitements pour tous les éléments chimiques testés ($p > 0,05$), excepté la teneur en magnésium ($p < 0,05$), des taux de variation considérables sont observés pour les différents paramètres analysés au début de la deuxième campagne avant la mise en place de culture (Tableau 3). Par rapport aux teneurs observées en première année, la tendance générale montre une augmentation pour la majorité des éléments chimiques mesurés, excepté la teneur magnésium qui a connu une diminution dans toutes les parcelles traitées (taux de variation négatifs). La teneur de chaque élément observé a varié indépendamment de la dose des fèces appliquée en 2011.

Tableau 3. Propriétés du sol à la première campagne et deuxième campagne (en %) avant la mise en place de la culture

	N	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ca	Mg
Début campagne 1	0,224	nd	0,0058	0,04	0,816
Début campagne 2					
0 t.ha ⁻¹	nd	0,15	0,14	0,33	0,26
1 t.ha ⁻¹	nd	0,13	0,26	0,37	0,29
10 t.ha ⁻¹	nd	0,12	0,2	0,37	0,25
20 t.ha ⁻¹	nd	0,16	0,18	0,25	0,19
30 t.ha ⁻¹	nd	0,16	0,18	0,33	0,25
50 t.ha ⁻¹	nd	0,14	0,13	0,27	0,18
probabilité		NS	NS	NS	*

* : $P < 0.05$; NS : $P > 0.05$; nd : Non déterminé.

Effets directs et arrières-effets des fèces humaines sur le rendement du maïs : L'analyse de la variance montre que les apports des fèces humaines ainsi que les interactions variété*fèces ont induit une différence significative sur le rendement ($p < 0,05$) quel que soit la campagne. A la première campagne, la dose maximale (50 t.ha^{-1}) a présenté un rendement de $7,5 \text{ t.ha}^{-1}$ avec

la variété Katanga et $8,1 \text{ t.ha}^{-1}$ avec la variété Babungo. Ces rendements sont supérieurs à ceux obtenus avec l'application de toutes doses intermédiaires et minimales. A la deuxième campagne en revanche, le rendement est maximal avec les interactions de 20 t.ha^{-1} avec variété Katanga ($8,3 \text{ t.ha}^{-1}$) et 30 t.ha^{-1} avec la variété Babungo (9 t.ha^{-1}) (Figure 2).

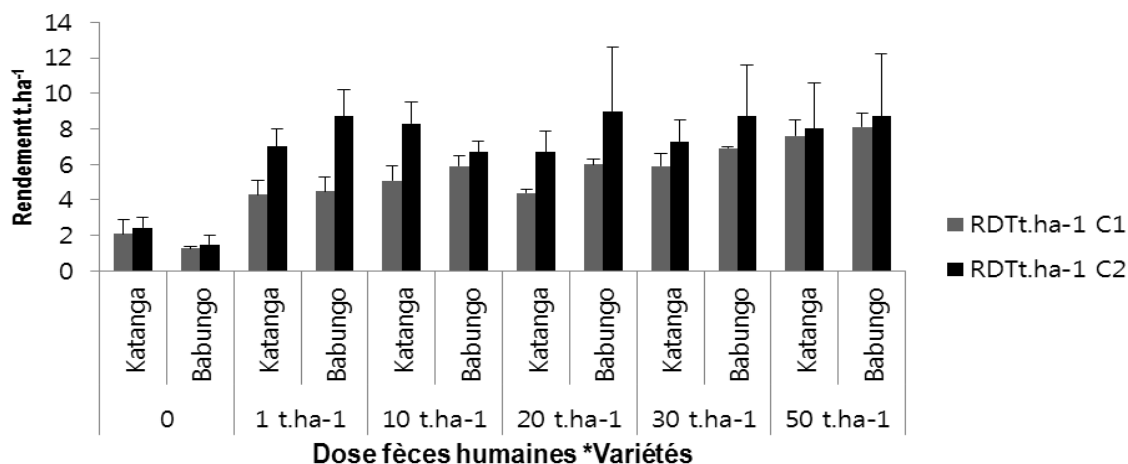
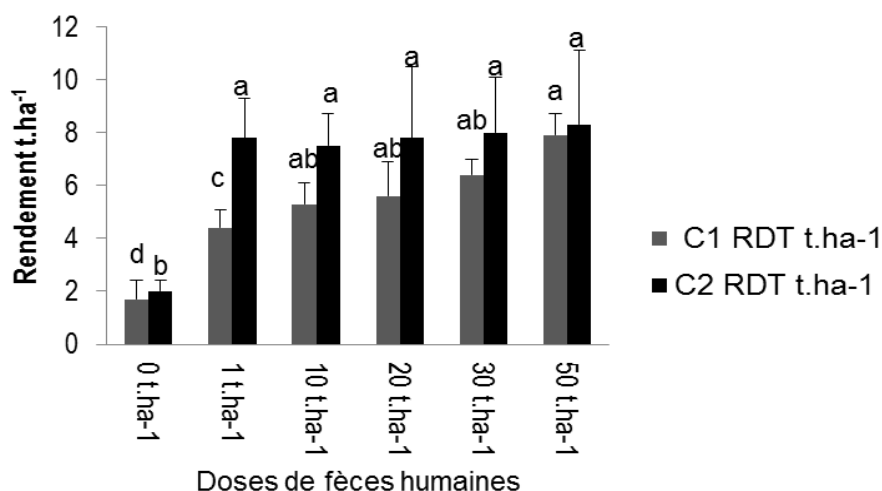


Figure 2. Effets combinés des fèces humaines et des variétés de maïs (Katanga et Babungo) sur le rendement. Moyennes \pm écart-type. C1 : première campagne, C2 : deuxième campagne.

L'analyse de la variance effectuée à la fin l'expérimentation montre qu'il existe des différences très hautement significatives ($p < 0,05$) entre les doses de fèces humaines vis-à-vis de leurs effets sur le rendement pour chaque campagne. L'application fèces

humaines a accru considérablement le rendement moyen en maïs grain. La moyenne générale de l'augmentation de rendement à la deuxième campagne a augmenté de 32,9 %, par rapport à celui obtenu à la première campagne ($p < 0,05$). (Figure 3).



La figure 3. Influence de l'apport de doses croissantes de fèces sur le rendement maïs au cours de deux campagnes. C1 : première campagne, C2 : deuxième campagne.

L'observation du tableau 4 dévoile que l'application fèces humaines a accru considérablement le rendement moyen en maïs grain en deuxième campagne. En effet, quoique les fortes doses des fèces humaines puissent accroître significativement le rendement du maïs, l'accroissement de rendement induit par la faible dose (1 t.ha⁻¹) est 15 fois plus meilleur que celui qui a été obtenu avec la dose de 50 t.ha⁻¹ et/ou avec l'application de toutes doses

intermédiaires. Attesté par le test de corrélation de *Pearson*, il se révèle de cette étude que l'apport des fèces humaines accroît le rendement du maïs jusqu'à un seuil, une fois dépassé, un apport supplémentaire non seulement provoque une dépression mais n'est pas nécessairement bénéfique ($r = - 0,9326$; $p = 0,02077$) (Figure 4).

Tableau 4. Valeur de l'augmentation du rendement à la de la campagne (en pourcentage). RDT : Rendement, C1 : première campagne, C2 : deuxième campagne.

Doses	RDT (t.h ⁻¹) obtenu en C1	RDT (t.h ⁻¹) en obtenu C2	Augmentation RDT (t.h ⁻¹)	Augmentation RDT (%)
1 t.ha ⁻¹	4,4	7,8	3,4	77,3
10 t.ha ⁻¹	5,5	7,5	2	36,4
20 t.ha ⁻¹	5,6	7,8	2,2	39,3
30 t.ha ⁻¹	6,4	8	1,6	25
50 t.ha ⁻¹	7,9	8,3	0,4	5,1

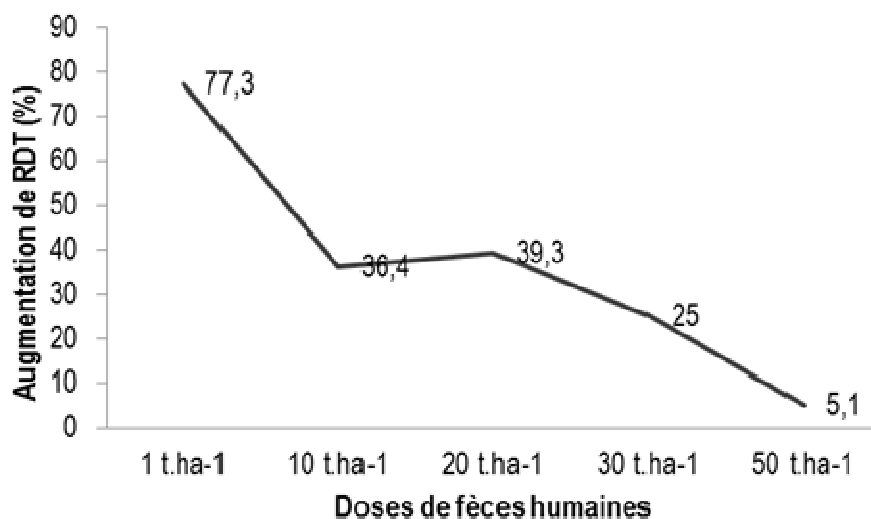


Figure 4 : Augmentation du rendement du maïs (en %) en fonction de doses des fèces humaines appliquées 2011.

DISCUSSION

En se référant aux teneurs observées en première année, la tendance générale des analyses chimiques au début de la deuxième campagne montre une augmentation pour la majorité des éléments chimiques mesurés, à l'exception de la teneur magnésium qui a connu une diminution. Cette teneur varie indépendamment de la dose des fèces humaines appliquée en 2011. Cette augmentation serait probablement due à la forte disponibilité des éléments nutritifs dans les fèces humaines. Plusieurs auteurs ont

prouvé l'effet bénéfique des fèces humaines sur le rendement des cultures et propriétés physico-chimiques de sol (Björn et al., 2004; Kiba, 2005 ; Useni et al., 2013 ; Nyembo et al., 2014). Leurs applications auraient donc amélioré les conditions du sol, favorisant ainsi une meilleure croissance et une absorption efficace des éléments nutritifs par les plantes (Crecchio et al., 2004). Un constat similaire a été fait par Kaho et al. (2011) sur les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre de Cameroun, selon ces auteurs, la tendance

générale de l'évolution des propriétés chimiques était à la hausse en deuxième année par rapport aux valeurs initiales sur toutes parcelles fertilisées. Quant à la teneur de l'azote, selon Ouattara (2014), sa disponibilité dans le sol au cours de la seconde campagne est fonction de la minéralisation de la matière organique, du niveau de reliquat d'azote après récolte et de la capacité d'absorption de la plante. En plus, l'azote apporté sous forme organique nécessite une transformation (azote organique en azote minérale) pendant un certain temps (Sedego et al., 1997 ; Cobo et al., 2002 ; Useni et al., 2014 ; Kitabala et al., 2016). De manière générale, les résultats obtenus pourraient suggérer que les fèces humaines utilisées présentaient le coefficient de disponibilité d'azote avec les arrières-effets élevés, similairement aux résultats obtenus par N'Dayegamiye et Tran (2001) avec l'application des boues mixtes. Pour ce qui est du phosphore en deuxième année, non seulement que les fèces humaines sont une source importante de P sous forme de Phosphore organique mais elles contribuent également au stockage réversible des éléments nutritifs par l'intermédiaire de la minéralisation/immobilisation par les microorganismes (Bertrand et Guigou, 2000). Toutefois, comparativement aux résultats d'analyse du sol de la première campagne (2010-2011), une diminution de la teneur en magnésium a été observée à la deuxième campagne (2011-2012), montrant l'impact des exportations sans compensation sur la production végétale. En comparant les deux campagnes (2010-2011 et 2011-2012), un accroissement du rendement a été noté en deuxième année par rapport à la première campagne. Bien que les fortes doses des fèces humaines puissent accroître significativement le rendement en grain de maïs, cependant, l'accroissement de rendement induit par de la faible dose (1 t.ha⁻¹) est 15 fois plus meilleur que celui obtenu avec la dose de 50 t.ha⁻¹ et/ou avec l'application de toutes doses intermédiaires. Cette tendance est aussi confirmée par le test corrélation de Pearson ($r = -0,9326$; $p = 0,02077$) montrant qu'un apport

CONCLUSION

Cette étude a été réalisée durant deux campagnes agricoles en vue d'évaluer les effets directs et arrières effets de fèces humaines sur certaines propriétés chimiques d'un ferralsol et le rendement du maïs à Lubumbashi. A la fin de l'expérimentation, l'observation dévoile que l'application des fèces humaines a accru considérablement le rendement moyen en deuxième campagne. Il a été noté aussi d'après cette étude que

supplémentaire non seulement provoque une dépression mais n'est pas bénéfique. Selon les conclusions plusieurs auteurs notamment N'Dayegamiye et Côté (1996) ; Mbonigaba (2007) et M'zée (2008) l'application de fumier seul à une faible dose permettait à long terme la maximisation du rendement en grain de maïs, de salade, blé, choux, pomme de terre, etc. Ces résultats concordent également ceux obtenus au Burundi sur le haricot, le maïs et le manioc par Rishirumuhirwa & Roose (1998) avec les apports des doses croissantes de fumiers de fermes sur un sol ferrallitique. L'amélioration des caractères agronomiques observés, notamment augmentation de la production est attribuée non seulement à la valeur fertilisante des fèces humaines mais également à leur action sur l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Kiba, 2005 ; Useni et al., 2013 ; Nyembo et al., 2014). Suivant les conclusions de Cobo et al. (2002) et Palm (1995), les résultats obtenus par cette étude suggèrent que la synchronisation entre libération des éléments nutritifs par les fèces humaines et leur assimilation par les plantes a été bonne en deuxième année. Appuyé par Awono et al. (2002) l'immobilisation des éléments fertilisants dans le sol, pendant l'année d'application de fumure, pourrait être suivie d'un effet résiduel important l'année suivante. Ce qui est d'ailleurs confirmé par les autres auteurs comme Kaho et al. (2011) ; Thorsm-Smestad et al. (2002). L'augmentation significative des rendements de maïs constatée en deuxième campagne suggère un effet résiduel des fèces humaines au fil du temps. Des conclusions parallèles ont été obtenues par N'Dayegamiye et al. (2004) sur les arrières-effets des boues mixtes et des fumiers appliqués seuls. Au vu de ces résultats, nous pensons que les fèces humaines qui, d'ailleurs sont abondamment présent dans ville du site d'étude pourraient constituer une bonne alternative aux engrais minéraux qui ne sont pas à la portée des paysans de la région. Sur le plan environnemental, la promotion de cette technologie devrait dépendre de la maîtrise des effets néfastes.

l'accroissement de rendement induit par la faible dose (1 t.ha⁻¹) a été 15 fois plus meilleur que celui qui a été obtenu avec la dose de 50 t.ha⁻¹ et/ou avec l'application de toutes doses intermédiaires en deuxième année. Au regard de cette tendance, il y a lieu de comprendre que l'augmentation des doses des fèces accroît le rendement du maïs jusqu'à un seuil, une fois dépassé, un apport supplémentaire non

seulement provoque une dépression mais n'est pas nécessairement bénéfique. Par rapport aux teneurs obtenues en première année, la tendance générale montre une augmentation pour la majorité des éléments chimiques mesurés, excepté la teneur magnésium qui a connu une diminution dans toutes les

parcelles traitées. Cette étude approuve qu'au niveau agronomique que les fèces humaines peuvent être considérées comme étant une matière résiduelle fertilisante, en raison de leur niveau élevé en éléments majeurs et mineurs et leurs arrières-effets sont censés d'être exploitables pour les campagnes prochaines.

BIBLIOGRAPHIE

- Adilakshmi A., Korat D.M. & Vaishnav P.R., 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers on insect pests infesting okra. *Karnataka J. Agric. Sci.*, **21(2)**: 287-289.
- Anzala F., 2006. *Contrôle de la vitesse de la germination chez le maïs (Zea mays) : Etude de la voie de la biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs*. Thèse de doctorat, école doctorale d'Angers, 186p.
- Awono J-P.M., Boukong A., Mainam F., Yombo G., Tchoutang G.N. & Beyegue-D.H., 2002. *Fertilisation des sols dans les monts Mandara à l'Extrême-Nord du Cameroun: du diagnostic aux recommandations*. Colloque: Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. 27-31 Mai 2002, Garoua, Cameroun: 1-11.
- Bado BV, 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudaniennes du Burkina Faso. Thèse de doctorat de l'Université de Laval (Québec), 141p.
- Bertrand R. et Guigou J. 2000. *La fertilité des sols tropicaux*. La Technicien d'Agriculture Tropicale. Maisonneuve et Larose, Paris. 397p.
- Boli Z et Roose E., 2000. Rôle de la jachère de courte durée dans la restauration de la productivité des sols dégradés par la culture continue en savane soudanaise humide du Nord-Cameroun. In *Floret Ch. & Pontanier R., (Eds). La jachère en Afrique tropicale*. John Libbey, Paris, 149-154 p.
- 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.
- Cobo J.G., Barrios E., Kaas D.C.L & Thomas R.J., 2002. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaves of green manure species on a tropical volcanic-ash soil. *Biology and fertility of soils*, **36**: 87- 92.
- Crecchio C., Curci M., Pizzigallo M.D.R., Ricciuti P. & Ruggiero P., 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem*, **36**: 1595-1605.
- Esmailiyan Y., Mostafa E. & Ahmad G., 2008. Effects of municipal waterwaste with manure and chemical fertilizers on grain yield and yield components in corn KoSc 704. *Journal of agronomy*, **7(3)**: 277-280.
- F.A.O., 2003. *Les engrais et leurs applications*. Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole. Quatrième édition, 77 p.
- Giroux M., N'Dayegamiye A & Royer R., 2007. Effet des apports d'automne et printemps de fumiers et des boues mixtes de papeteries sur le rendement, la qualité de la pomme terre et efficacité de l'azote. *Agrosolutions*, **18(1)**:25-34.
- Kaho F., Yemefack M., Feujoy T.P. & Tchanthaouang J.C., 2011. Effet combiné de feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur le rendement du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au centre du Cameroun. *Tropicultura*, **29** :39-45
- Kasongo L.E., Mwamba M.T., Tshipoya M.P., Mukalay M.J., Useni S.Y., Mazinga K.M & Nyembo K.L., 2013. Réponse de la culture de soja (*Glycine max* L. (Merril) à l'apport des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray comme fumure organique sur un Ferralsol à Lubumbashi, R.D. Congo. *Journal of Applied Biosciences*, **63**: 4727 – 4735
- Kagne P., Namba F., Nadjiam D. & Mbayhoudel K., 2003. Diversification de l'utilisation du maïs dans l'alimentation humaine au Tchad: *In maize revolution in West and Central Africa* (Eds by Badu-Apraku B., Fakorede M.A.B., Ouédraogo M., Carsky R.J. & Menkir A.). Proceedings of a regional maize workshop 14-18 May, 2001. IITA, Cotonou, Benin. 311-318.
- Kiba D.I., 2005. *Valorisation agronomique des excréta humains : utilisation de fèces humaines et des urines pour la production de l'aubergine*

- (*Solanum melongena*) et du maïs (*Zea mays*) dans la zone centre du Burkina Faso. Mémoire de Fin d'études, Université Polytechnique de Bobo Dioulasso, Institut de Développement Rural, 79p.
- Kiba D.I., Compaoré E., Nacro H.B., Lompo F. & Sedogo M.P., 2008. *Valorisation agronomique de déchets d'abattoir et de décharges de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso)*. Rapport de l'INERA et l'IDR et l'UPB, Burkina Faso.
- Kitabala M.A., Tshala U.J., Kalenda M.A., Tshijika I.M., Mufind K.M., 2016. 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
- M'zée S.P., 2008. *Influence d'apports en matières organiques sur l'activité biologique et la disponibilité du phosphore dans deux sols de la région des grands lacs d'Afrique*. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, 240 p.
- Malaisse F., 1997. *Se nourrir en forêt claire africaine. Approche écologique et nutritionnelle*. Les presses Agronomiques de Gembloux, ASBL. Gembloux.
- Malumba K P., 2008. *Influence de la température lors du séchage sur les propriétés technofonctionnelles du maïs*. Thèse de doctorant. Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Gembloux. 212p
- Mbonigaba M.J.J., 2007. *Étude de l'impact des composts à base de biomasse végétale sur la dynamique des indicateurs physico-chimiques, chimiques et microbiologiques de la fertilité des sols : application sur trois sols acides tropicaux du Rwanda*. Thèse de doctorat, FUSAGx, Gembloux, 243 p.
- Mpundu M.M.M., 2010. *Contaminations des sols en Éléments Traces Métalliques à Lubumbashi (Katanga/RDC). Évaluation des risques de contamination de la chaîne alimentaire et choix de solutions de remédiations*. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, Inédit, 401p
- Mulaji K.C., 2010. *Utilisation des composts de biodéchets ménagers pour l'amélioration de la fertilité des sols acides de la province de Kinshasa (République Démocratique du Congo)*. Thèse de doctorat, Université de Liège- Gembloux Agro-Biotech, 220p.
- Muna-Mucheru M., Mugendi D., Kung'u J., Mugwe J. & Bationo A., 2007. Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya. *Agroforestry Systems*, **69**: 189-197.
- Munyemba K.F. & Bogaert J., 2014. Anthropisation et dynamique spatiotemporelle de l'occupation du sol dans la région de Lubumbashi entre 1956 et 2009. *e-revue UNILU*, **1** :3-23
- N'Dayegamiye A. & Tran T.S., 2001. Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Can. J. SoilSci.*, **81**: 371–382.
- N'Dayegamiye A., Gigoux M. & Royer R., 2004. Epandages d'automne et de printemps de divers fumiers et boues mixtes de papetières : coefficients d'efficacité de l'azote et nitrates dans le sol. *Agrosolutions*, **15 (2)** : 97-106
- N'Dayegamiye A. & Côté D., 1996. Effet d'application à long terme de fumier de bovins, de lisier de porc et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique et la structure du sol. *Agrosolutions*, **9 (1)**: 31-35
- Nyembo K.L., Useni S.Y., Chinawej M. M. D, Kyabuntu I.D, Kaboza Y., Mpundu M.M, Baboy L.L., 2014. Amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol sous l'apport combiné des biodéchets et des engrais minéraux et influence sur le comportement du maïs (*Zea mays* L. variété Unilu). *Journal of Applied Biosciences*, **74**:6121– 6130
- Nyembo K.L., 2010. *Exploitation de l'effet hétérosis des hybrides produits au Katanga, République Démocratique du Congo*. Thèse de doctorat, Faculté des sciences agronomiques, Université de Lubumbashi, Inédit. 157p
- 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, 77p.
- Palm C.A., 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*, **30**: 105-124.
- Palm C.A., Myers R.J.K & Nandwa S.M., 1997. *Combined use of organic and inorganic nutrient sources for soil fertility maintenance and replenishment* In Replenishment soil

- fertility in Africa Buresh, R J Sanchez, P A. and Calhon, F, (eds), Madison, USA. 123-217
- Pieri C., 1989. *Fertilité des terres de savane. Bilan de trente années de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*. Ministère de la coopération- IRAT/CIRAD. 444p.
- Rishirumuhirwa T. & Roose E, 1998. *Effets des matières organiques et minérales sur la réhabilitation des sols acides de montagne du Burundi*. Proc. 16th Congress of International Soil Science Society, Montpellier, France
- Rodal G., 2003. *Gotaascomposting*. In François T (Editor): *Petit manuel d'auto construction*, 230 p.
- Sedego P.M., Bado B.Y., Cescas M.P., Lompo F & Bationo A., 1997. Effet à long terme des fumures sur les sols et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cahier d'Agriculture*, **6** : 571-575.
- SENASA/CTB, 2009. *Politique nationale du développement du sous-secteur de semences, Projet « Appui au Secteur Semencier »*, Ministère de l'agriculture, Kinshasa.
- Somé N.A, Traoré K., Traoré O & Tassebedo M., 2007. Potentiel des jachères artificielles à *Andropogon spp.* Dans l'amélioration des propriétés chimiques et biologiques des sols en zone soudanienne (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **11(3)**: 245-252.
- Tavassoli A., Ghanbari A., Amiri E. & Paygozar Y., 2010. Effect of municipal wastewater with manure and fertilizer on yield and quality characteristics of forage in corn. *Journal of Biotechnology*, **9(17)**: 2515-2520
- Thorsm-Smestad B., Tiessen H. & Buresh K.J., 2002. Short fallows of *Tithonia diversifolia* and *Crotalaria grahamiana* for soil fertility improvement in Western Kenya. *Agroforestry Systems*, **55**: 181-194.
- 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
- Useni S.Y., Chukiyabo K.M., Tshomba K.J., Muyambo M.E., Kapalanga K.P., Ntumba N.F., Kasangij K.P., Kyungu K.A., 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 – 50811
- Useni S Y, Mwamba I.G, Mwamba M.T, Ntumba K.B, Lwalaba W-L.J., Assani B.L.M, Kanyenga L.A. & Baboy L.L., 2014. Amélioration de la qualité des sols acides de Lubumbashi par l'application de différents niveaux de compost de fumiers de poules. *Journal of Applied Biosciences*, **77**:6523 – 6533
- Vagstad N., Broch-Due A. & Lymgstad I., 2001. Direct and residual effects of pulp and paper mill sludge on crop yield and soil mineral. *Soil Use and Management*, **17**: 173-178.