



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

Useni Sikuzani Yannick^{a*}, Chukiyabo Kibenge Minerve^b, Tshomba Kalumbu John^c, Muyambo Musaya Emmanuel^c, Kapalanga Kamina Prisca^c, Ntumba Ndaye François^c, Kasangij A Kasangij Patrick^a, Kyungu Kalilo^b, Baboy Longanza Louis^{a,d}, Nyembo Kimuni Luciens^a, Mpundu Mubemba Michel^{a,e}

^a. Département de phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, BP 1825 Lubumbashi, RD Congo

^b. Département de phytotechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kalemie, RD Congo

^c. Département d'Économie Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Lubumbashi, BP 1825 Lubumbashi, RD Congo

^d. Service d'Écologie du Paysage et Systèmes de Production Végétale, École Inter facultaire de bio-ingénieurs, Université de Liège

^e. École d'hôtellerie et tourisme, Université de Lubumbashi, BP 1825 Lubumbashi, RD Congo

*Auteur de correspondance : yannickuseni@gmail.com; tél : +243813666582

Original submitted in on 12th February 2013 Published online at www.m.elewa.org on 30th June 2013.

<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v66i0.95005>

RÉSUMÉ

Objectif : La population des pays en développement est en pleine expansion, entraînant une augmentation des besoins alimentaires et de la production des déchets et effluents. Le recyclage de déchets participe à la lutte contre la pauvreté et à l'assainissement environnemental. Cette étude a été menée en vue d'évaluer les effets des doses croissantes des déchets humains recyclés sur le comportement du maïs.

Méthodologie et résultats : L'expérimentation a été conduite à la ferme Kassapa de l'Université de Lubumbashi (UNILU) selon un dispositif split plot comprenant 3 répétitions. Les traitements comprenaient 3 variétés de maïs (Katanga, Unilu et Babungo) et 5 doses des fèces humaines collectées sur les cités universitaires et compostées à 14 mois (témoin ou contrôle, 1 t.ha⁻¹, 10 t.ha⁻¹, 20 t.ha⁻¹, 30 t.ha⁻¹ et 50 t.ha⁻¹). Ces traitements ont été comparés aux témoins avec et sans engrais minéral. Les résultats obtenus ont montré que les 3 variétés de maïs ont donné des rendements similaires et que les doses des fèces humaines accroissent significativement le rendement du maïs. Par conséquent, deux apports de ces déchets humains recyclés (30 et 50 t.ha⁻¹) ont créé de meilleures conditions de croissance et de nutrition pour les cultures, augmentant ainsi le rendement du maïs par rapport aux fertilisants inorganiques. Le rapport valeur sur cout (RVC) diminue cependant avec la dose appliquée et les doses de 1, 10, 20 et 30 t.ha⁻¹ ont donné de RVC supérieurs à ceux obtenus avec les fertilisants inorganiques.

Conclusion et application de la recherche : la valorisation de déchets en agriculture permet d'assainir le milieu tout en améliorant les propriétés des ferralsols en vue d'accroître les rendements des cultures vivrières.

Mots clés : compost, fèces humaines, maïs, variété, rendement, ferralsol, Lubumbashi.

Use of recycled human waste to increase the production of maize (*Zea mays* L.) on a Ferralsol of southeast DR Congo

Abstract

Objective: By 2030, world population will increase by 3 billion people, 95% in developing countries, food production will have to double, and waste and effluents will quadruple in cities. The urban agriculture practiced contributes to the fight against poverty and environmental sanitation. It is a source of income and participates in Urban Sanitation using recycled waste as fertilizer. The population of developing countries is growing, leading to an increase in need for food and an increase in the production of waste and effluents. Recycling of waste is involved in the fight against poverty and in environmental sanitation. This study was conducted to evaluate the effects of increasing doses of recycled human waste on the behavior of three maize varieties grown in the region of Lubumbashi.

Methods and Results: The experiment was conducted at the Kassapa farm in the University of Lubumbashi (UNILU), in a factorial arrangement with 3 replications. Treatments included three varieties of maize (Katanga, and UNILU Babungo) and 5 doses of recycled human waste composted for 14 months (control, 1 t.ha⁻¹, 10 t.ha⁻¹, 20 t.ha⁻¹, 30 t.ha⁻¹ and 50 t.ha⁻¹). These treatments were compared to controls with and without mineral fertilizer. The results showed that the three maize varieties gave similar yields and the doses of recycled human waste significantly increased maize yields. Therefore, these two contributions of recycled human waste (30 and 50 t ha⁻¹) created better conditions for growth and nutrition for crops, thereby increasing the yield of maize compared to inorganic fertilizers. Ratio value by cost (RVC) decreases with dose and the doses of 1, 10, 20 and 30 t.ha⁻¹ gave RVC higher than those obtained with inorganic fertilizers

Conclusion and application of research: waste recycling in agriculture can clean up the environment while improving the properties of agricultural soils to increase yields of food crops.

Keywords: compost, faeces, corn, variety, yield, Ferralsols, Lubumbashi.

INTRODUCTION

Au Katanga en général et dans la ville de Lubumbashi et ses hinterlands en particulier, le maïs constitue l'aliment de base pour la population des régions urbaines et périurbaines. Cependant, sa production demeure faible et le pays en général et le Katanga en particulier sont obligés d'importer de grandes quantités pour faire face à ce problème. Les rendements sont variables d'une région à une autre, mais la moyenne nationale est de 0,8 à 1 t.ha⁻¹ (Anonyme, 2009a). La pauvreté des sols est l'une des causes majeures. Les sols de la ville de Lubumbashi et son hinterland deviennent de plus en plus infertile et dans des cas extrêmes l'activité agricole n'y est possible que moyennant des apports considérables d'éléments nutritifs. L'agriculteur recourt essentiellement à l'épandage de matières organiques constituées de fumier, compost ou déchets ménagers, de cendres, et dans certains cas à des fertilisants minéraux comme les engrais chimiques (Yelledhalli et al., 2008 ; Bodruzzaman et

al., 2010). Cependant, très peu de ménages sont capables de produire suffisamment de fumier pour amender toutes leurs parcelles ou toutes les surfaces de champs disponibles, tandis que l'accessibilité aux engrais chimiques est fort limitée par leurs coûts relativement élevés par rapport aux revenus des agriculteurs (Muhammad et al., 2007). Les techniques de gestion de la fertilité pratiquées par les agriculteurs conduisent à un épuisement rapide des sols (Yemefack et al., 2004). En Afrique subsaharienne, la mise en culture des sols se traduit par une perte annuelle de 2 à 4 % de la matière organique pour atteindre le seuil de non réponse aux engrais minéraux après 12 à 15 ans de culture continue (Dakouo, 1991 ; Hien et al., 1994). Pourtant sur des sols dégradés et acides, Zougmore et al. (2003) ont montré l'intérêt des fumures organiques. Les fertilisants organiques jouent en général un rôle important sur diverses propriétés du sol permettant de justifier leur utilisation (FAO, 2004). La baisse des

rendements en maïs grain est susceptible de mettre en cause la rentabilité du maïs qui est pourtant la principale culture vivrière dans la région de Lubumbashi. De plus, les travaux récents ont montré que la productivité des sols sous les tropiques baisse même avec l'utilisation continue des engrais chimiques seuls. La gestion et l'utilisation des sols par la valorisation des résidus constituent un défi majeur dès lors que la production de déchets s'accroît ; en conséquence, de nouvelles filières d'élimination doivent être trouvées (Compaoré et al., 2010). Pour faire face à cette inaccessibilité aux fumures organiques conventionnelles et aux engrais chimiques, les cultivateurs peuvent recourir au recyclage des fèces humaines qui, lorsqu'ils sont bien préparés sont des fertilisants organiques appréciables, qui recyclent l'azote, le phosphore, la potasse et les autres nutriments (André, 2001). Les

excréta humains sont très riches en nutriments et permettent d'obtenir des rendements compétitifs à ceux obtenus avec la fumure minérale en culture maraîchère et céréalière (Kiba, 2005). Les fèces améliorent de façon remarquable le stock d'éléments nutritifs du sol et son acidité et peuvent donc être utilisés comme amendement (Kirchmann et Peterson, 1995 ; Bjon et al., 2004).

L'objectif du présent travail est celui de valoriser les fèces humaines en vue d'accroître le rendement des cultures vivrières et d'assainir le milieu. Les hypothèses suivantes ont été émises : (i) l'utilisation des déchets humains recyclés. Comme fertilisants permettra d'accroître le rendement des cultures, (ii) il existe une dose limite d'emploi des déchets humains recyclés. et (iii) les variétés d'une même espèce se comportent différemment à une même dose des composts de fèces humaines.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude a été conduite au cours de la saison culturale 2010-2011 près du campus de l'Université de Lubumbashi, à la ferme Kasapa à une élévation de 1243 m d'altitude, 11°39' de latitude Sud et 27°28' de longitude Est. Le climat est du type tropical sec avec alternance d'une saison de pluies (novembre à mars), d'une saison sèche (mai à septembre) et d'une période de transition (avril et octobre). La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 1270 mm en moyenne (avec une saison de pluie de 118 jours) alors que la température moyenne annuelle est d'environ 20°C avec une grande stabilité interannuelle. Le taux d'humidité moyenne est de 62 % avec un niveau d'humidité minimum moyenne de 52 % en saison sèche (juin – août) et un maximum de 80 % durant la saison pluvieuse (novembre – mai) (Mujinya et al., 2011). Le sol de la ferme Kasapa est, selon la WRB

(FAO, 2006), un ferralsol ayant des propriétés suivantes dans les horizons labourés (0-20cm) : 3,27% N, 0,48 P et 5,13% K. L'essai a été installé suivant un dispositif en split plot comprenant 3 répétitions. Les parcelles principales comprenaient les variétés de maïs et les parcelles secondaires les doses de compost de fèces humaines après 14 mois de compostage. Cinq doses de compost déchets humains recyclés ont été appliquées : D1 = compost de fèces humaines, 1 t.ha⁻¹ ; D2 = compost de fèces humaines, 10 t.ha⁻¹ ; D3 = compost de fèces humaines, 20 t.ha⁻¹ ; D4 = compost de fèces humaines, 30 t.ha⁻¹ ; D5 = compost de fèces humaines, 50 t.ha⁻¹. Le traitement sans fertilisation et le traitement avec la dose de la fumure minérale vulgarisée pour la culture du maïs dans la région ont été testés comme références (tableau 1).

Table 1 : Description des traitements utilisés pour évaluer les effets de déchets humains recyclés sur la production du maïs installé sur un ferralsol du Sud-est de la RD Congo

Traitements	Code	N	P	K
Fumure minérale vulgarisée	FMV	122	60	30
Sans fertilisation	D0	0	0	0
1 t.ha ⁻¹	D1	65	12	25,3
10 t.ha ⁻¹	D2	650	120	253
20 t.ha ⁻¹	D3	1300	240	506
30 t.ha ⁻¹	D4	1950	360	759
50 t.ha ⁻¹	D5	3250	175	1265

Après labour à plat, les déchets humains recyclés ont été épandus par localisation 3 semaines avant semis sur les parcelles de 3m*3m chacune. Les grains de maïs de variétés Unilu, Katanga et Babungo ont été semés aux écartements de 0,75 m x 0,25 m, à raison d'un grain par poquet ; soit une densité de semis de 53333 plantes par hectare. Au cours de l'essai, le taux de levée, les jours à la floraison mâle, la hauteur de plantes à l'inflorescence mâle et la hauteur à l'insertion de l'épi ont été enregistrés. A la récolte, la résistance à la verse, le poids des grains par épi, le poids de 1000 grains et le rendement en maïs grain ont été déterminés. Les données brutes recueillies

au cours de l'essai et à la récolte ont été traitées par l'analyse de la variance (ANOVA) avec test post hoc (test de DUNCAN) pour la comparaison des moyennes des facteurs étudiés et de leurs interactions. La rentabilité économique de l'application des déchets humains recyclés a été calculée sur base du coût des fertilisants et de la valeur de l'augmentation des rendements. Le coût total des fertilisants est obtenu en faisant la somme du prix d'achat fertilisants, le coût de transport et de l'épandage (tableau 2). Le prix du maïs est celui observée sur les différents marchés de la ville de Lubumbashi.

Tableau 2 : Variables utilisés pour calculer la rentabilité économique de l'emploi des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs

Traitements	N total
NPK	55\$/sac de 50kg
Urée	50\$/sac de 50kg
Transport NPK et urée	20\$
Epandage NPK	50\$/ha
Epandage urée	50\$/ha
Transport compost	20\$/t
Epandage compost	50\$
Maïs grain	350\$/t

Pour le calcul de la rentabilité économique, le rapport valeur/Coût, RVC, a été utilisé partant de la formule : $RVC = \frac{\text{valeur de l'augmentation du traitement}}{\text{coût de la dose de fertilisants}}$. L'emploi de fertilisants est considérée comme rentable si le RVC est supérieure ou égale à 2 (FAO, 2000).

RÉSULTATS

Influence de la variété sur le comportement du maïs sur un ferralsol : L'influence de la variété sur le comportement du maïs est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3 : Influence de la variété sur le comportement du maïs.

Paramètres	Variétés			P
	Babungo	Unilu	Katanga	
Taux de levée (%)	92±6,45a	90,5±4,8a	85,4±5,15b	0,002
Hauteur de plantes à l'inflorescence mâle (cm)	206,8±18a	176,8±17,1b	164,9±29,3b	0,000
Jours à la floraison mâle	69,8±11,1a	68,9±3,17b	68,3±3,3b	0,006
Hauteur à l'insertion de l'épi (cm)	97,5±12,2a	82,3±11,4b	69,2±8,65c	0,000
Résistance à la verse (%)	78,8±14,5a	82,2±10,4a	80,3±7,62a	0,216
Poids de grains par épi (g)	147,7±48,5a	13,9±48,7a	138±45,2a	0,812
Poids de 1000 grains (g)	328,7±36a	320,5±39,1a	316,7±34,3a	0,624
Rendement en maïs grain (t.ha ⁻¹)	5,6±2,4a	5,5±2,3a	5±1,7a	0,725

Moyennes±écart-type. Les différentes lettres indiquent de différences significatives après le test de DUNCAN

Les résultats montrent que les trois variétés comparées sont significativement différentes pour ce qui est des paramètres végétatifs, hormis la résistance à la verse ($p = 0,216$). La croissance des plantes a été bonne pour les variétés Unilu et Babungo ; alors que la variété Katanga est plus précoce que les deux autres variétés pour ce qui

est du nombre de jours à la floraison mâle. Par ailleurs, aucune différence significative n'a été observée entre les trois variétés quant aux paramètres de rendement. Bien que la variété Katanga puisse donner un rendement légèrement faible par rapport à celui de Babungo et Unilu,

cependant la différence n'est pas statistiquement significative ($P=0,725$)

Tableau 4 : Effets des doses croissantes des déchets humains recyclés sur le comportement du maïs.

Paramètres	Engrais minéral	Doses des déchets humains recyclés.(t.ha ⁻¹)						P
		0	1	10	20	30	50	
Taux de levée (%)	75±8a	86,3±2,5a	88,2±5,6a	88,8±8,01a	90,2±7,6a	90,9±5,6a	91,1±6,08a	0,544
Hauteur de plantes à l'inflorescence mâle (cm)	188,9±47,3ab	158,9±34,2c	171,3±27,5b	181,5±16,8ab	183,2±28,2ab	196,5±15,5ab	205,5±19,7a	0,003
Jours à la floraison mâle	70±4,3ab	67,9±0,6b	68,4±1,2b	69,7±2,87ab	70,7±4,1ab	71,8±13,8ab	76,8±9,9a	0,0013
Hauteur à l'insertion de l'épi (cm)	95±11a	70,7±11,4c	80,5±15bc	82,3±12,9bc	84,7±15,4bc	88,7±18,9b	91,1±15,5b	0,009
Résistance à la verse (%)	88,1±10,2a	71,4±8,5c	76,4±14,1b	84,5±6,7ab	86,9±10,3a	88,1±8,4a	91,4±5,7a	0,000
Poids de grains par épi (g)	153,6±25ab	70,2±8,3d	107,1±21,3c	130,2±8,7b	175,3±25,6a	176,2±19a	191,8±14,8a	0,000
Poids de 1000 grains (g)	369±60a	274,4±18,4c	294,7±7,8b	306,3±8,9b	345,6±26,9a	349,4±20a	360,6±16,2a	0,000
Rendement en maïs grain (t.ha ⁻¹)	6±1,8b	2,3±0,19e	3,6±0,86d	4,9±0,7c	6,7±1,7ab	6,9±0,85a	7,8±0,49a	0,000

Moyennes ± écart-type. Les différentes lettres indiquent de différences significatives après le test de DUNCAN

Effets des apports de doses croissantes de compost des fèces humaines sur le comportement du maïs :

L'analyse statistique révèle en outre que les différentes doses des fèces humaines ont induit des effets similaires sur le taux moyen de levée (tableau 4). La tendance montre que la hauteur de plantes à l'inflorescence mâle et celle à l'insertion des épis des plantes augmentent avec les doses croissantes des composts de fèces humaines, et par conséquent, les parcelles ayant reçu les doses élevées des déchets humains recyclés ont présenté des tailles moyennes supérieures par rapport à celles ayant reçu les doses faibles ; et la taille est maximale avec la dose maximale de 50 t.ha⁻¹. En outre, les parcelles ayant reçu les fertilisants inorganiques ont donné des plantes de tailles similaires à celles ayant reçu les composts de fèces humaines. Les plants de maïs installés sur sols ayant reçu les doses minimales de 1 t.ha⁻¹ et 10 t.ha⁻¹ de composts de fèces humaines, ont

résisté de la même manière à la verse, par rapport à ceux trouvés sur sols non fertilisés ; par contre, les doses allant de 20 à 50 t.ha⁻¹ et les apports de fertilisants inorganiques ont induit une résistance à la verse supérieure par rapport aux parcelles non fertilisées. En ce qui concerne la dose des composts de fèces humaines, il apparaît que, le poids moyen de grains par épi et le rendement ont augmenté avec l'accroissement de la dose. Le rendement obtenu avec les fortes doses des déchets humains recyclés (30 et 50 t.ha⁻¹) sont supérieurs à ceux obtenus sur les parcelles fertilisées aux engrais minéraux. Cependant, la rentabilité de l'emploi des déchets humains recyclés décroît avec les doses appliquées ; la plus forte dose de déchets humains recyclés et l'emploi des fertilisants inorganiques étant dans la catégorie de RVC moins rentable pour la culture de maïs (tableau 5).

Tableau 5 : Effets des doses croissantes des composts des fèces humaines sur la rentabilité économique de la culture de maïs

Code	Coût fertilisant	Coût Transport	Coût Epandage	Coût total	Rendement	Augmentation du rendement	Valeur de l'augmentation du rendement	RVC
FMV	530	20	100	650	6	3,7	1295	1,9
D0	0	0	0	0	2,3	-	-	-
D1	0	20	50	70	3,6	1,3	455	6,5
D2	0	200	50	250	4,9	2,6	910	3,6
D3	0	400	50	450	6,7	4,4	1540	3,4
D4	0	600	50	650	6,9	4,6	1610	2,4
D5	0	1000	50	1050	7,8	5,5	1925	1,8

Légende : FMV : 300kg NPK+200kgurée ; D0 : sans fertilisants ; D1 : 1 t.ha⁻¹ de compost déchets humains recyclé. ; D2 : 10 t.ha⁻¹ de compost de fèces humaines ; D3 : 20 t.ha⁻¹ de compost déchets humains recyclé. ; D4 : 30 t.ha⁻¹ de compost déchets humains recyclé. ; D5 : 50 t.ha⁻¹ de compost de fèces humaines. Les valeurs monétaires (Coût et valeur de l'augmentation du rendement) sont en dollars américains. En rouge, RVC dans la catégorie non rentable et en vert la catégorie rentable

Influence de la variété et des apports de déchets humains recyclés sur le comportement du maïs :

L'analyse statistique révèle que les interactions Variétés x Doses ont induit les effets similaires sur l'ensemble des

paramètres végétatifs et de rendement (tableaux 6 et 7). Néanmoins, les moyennes obtenues des interactions semblent être plus influencées par les doses des fèces humaines que les variétés.

Tableau 6 : Effets combinés des doses croissantes des fèces humaines et des variétés sur les paramètres végétatifs du maïs

Variétés	Doses des composts de fèces humaines (t.ha ⁻¹)	Taux de levée (%)	Hauteur des Plantes à l'inflorescence mâle (cm)	Jours à l'inflorescence mâle	Hauteur à l'insertion de l'épi (cm)	Résistance à la verse (%)
Babungo	FMV	89±3a	233±2,5a	74,2±0,6a	136±6,7a	80,5±6a
	0	91,6±4,15a	199,6±0,5a	72,3±0,57a	85,6±1,35a	61,9±6,4a
	1	94,4±5,28a	195,7±25a	71,7±0,57a	97,3±16,5a	68,5±18,7a
	10	90,2±7,89a	200,2±17,5a	68±5,1a	91,7±11,5a	83,9±5a
	20	86±9,8a	211,9±20,4a	68±4,5a	97,8±16,8a	89,5±12,6a
	30	93,7±5,55a	205,8±14,1a	74,6±4a	105,6±3,4a	90,6±8,5a
	50	95,8±5,55a	227,2±14,7a	77,7±14,8a	106,7±8,8a	87,6±7a
	Unilu	FMV	84±5a	198±4,2a	70,2±1,8a	109±3,9a
0		84,5±0,1a	156,2±2,5a	71,3±0,57a	60,7±0,7a	74,4±5,6a
1		89,5±4,1a	175,8±15,48a	71±1a	68,4±0,3a	77,7±16,2a
10		95,8±2,1a	170,8±5,45a	69,3±0,57a	65,8±3,1a	78,9±4,7a
20		90,3±8,6a	181,9±20a	67,7±5,1a	74,9±15,6a	83,4±14,2a
30		86±4,3a	185,4±21,1a	68±2a	69,9±21,6a	88,2±10,2a
50		91,6±2,1a	190,6±15,3a	65,7±4a	75,7±12,7a	90,1±3,2a
Katanga		FMV	84±2,6a	233±2,5a	74,2±0,6a	136±6,7a
	0	92,3±1,2a	120,8±0,1a	71,3±0,57a	65,9±0,3a	78±1,7a
	1	86,7±6a	142,4±0,15a	69,3±0,57a	81,1±0,15a	83±4,8a
	10	80,5±3,2a	173,5±0,45a	68±2a	83,9±0,05a	90,6±5,7a
	20	82,6±4,3a	155,7±0,26a	68±4,5a	81,4±2,8a	90,9±4,7a
	30	84,7±2,4a	198,4±0,2a	67,7±4,9a	90,7±0,15a	95,2±8,2a
	50	85,4±5,4a	198,6±0,11a	65,7±4a	90,9±0,05a	83±5,7a
	<i>P</i>		0,155	0,496	0,598	0,102

Moyennes±écart-type. Les mêmes lettres indiquent de différences non significatives après l'ANOVA

Tableau 7 : Effets combinés des doses croissantes des déchets humains recyclés et des variétés sur les paramètres de rendement du maïs

Variétés	Doses des fèces humaines (t.ha ⁻¹)	Poids de grains par épi (g)	Poids de 1000 grains (g)	Rendement en maïs grain t.ha ⁻¹
Babungo	FMV	190±5,5a	350±15a	6,5±0,9a
	0	80±4,3a	280±5a	2,3±0,15a
	1	98±1a	295±5a	3±0,7a
	10	131±3,4a	310±8,6a	4,7±1,1a
	20	191±3,4a	365±5a	7,6±0,75a
	30	193±2,6a	360±10a	7,6±0,2a
	50	193±2a	360±10a	7,8±0,28a
Unilu	FMV	185±3a	352±7a	5,5±1,5a
	0	64,7±6,4a	260±5a	2,3±0,15a
	1	95±2,6a	289±11,5a	3,4±0,52a
	10	130±4,3a	309±12,4a	5,1±0,36a
	20	180±2,6a	355±9,5a	7,4±1,85a
	30	180±2a	355±8,6a	7,3±0,35a
	50	184±2,6a	355±5a	7,8±0,28a
Katanga	FMV	195±3,5	345±5a	6±1,2a
	0	66±0,75a	283,3±28,8a	2,5±0,25a
	1	128,4±28a	300±0a	4,4±0,87a
	10	129,7±16,4a	300±0a	5,1±0,78a
	20	155±39,7a	316,7±28,8a	4,5±0,21a
	30	155,7±19,1a	333,3±28,8a	6±0,65a
	50	193,4±29,2a	366,7±28,8a	7,6±0,86a
<i>P</i>		0,418	0,390	0,517

Moyennes±écart-type. Les mêmes lettres indiquent de différences non significatives après l'ANOVA

DISCUSSION

Le taux moyen de levée obtenu avec la variété Babungo (88,9 %) a été supérieur par rapport à celui obtenu avec les variétés Katanga et Unilu. Ce comportement serait lié au pouvoir germinatif de chaque variété. Les différentes doses des déchets humains recyclés mais aussi les interactions Variétés x Doses ont induit les effets similaires sur le taux moyen de levée. Ceci se justifierait par le fait que durant la germination, la graine vit aux dépens des réserves nutritives contenues dans ses cotylédons et non celles qui se trouvent dans le sol, jusqu'à l'apparition de premières feuilles. A ce stade (à 10 jours), les éléments nutritifs ne seraient pas disponibles à la culture et par conséquent, les plantes installées sur sols avec engrais organiques, se comporteraient de la même manière que celles installées sur sols non fertilisées. Le nombre moyen de jours à la floraison mâle qui a été de 68 jours pour Katanga est similaire à la moyenne obtenue avec Babungo (69,8 jours). Les valeurs obtenues pour le présent essai se situent dans la gamme proposée par Anonyme (2009b), soit 65 à 70 jours. Les effets de la dose des déchets humains recyclés seraient masqués par l'influence du patrimoine génétique. Pour les paramètres hauteur à la floraison mâle et hauteur à l'insertion des épis, la faible hauteur a été observée sur les plantes de maïs des variétés Unilu et Katanga que sur celles de la variété Babungo. Ces deux variétés sont à souhaiter surtout dans les régions où le vent peut causer la verse que la variété Babungo, qui par sa taille, présente de fort risque à la verse, surtout si le buttage n'est pas réalisé. Il semble que ces deux facteurs (hauteur à la floraison mâle et hauteur à l'insertion des épis) soient liés au génotype. En ce qui concerne la dose des composts des fèces humaines appliquées, les deux hauteurs ont augmenté en fonction des doses appliquées (faible sur les parcelles non amendées et élevées sur les parcelles ayant reçu la dose de 50 t.ha⁻¹ de fèces humaines). Cela serait dû à l'azote issu de la minéralisation des fèces humaines appliquées. Toutefois, comme l'ont montré différents auteurs, l'azote est l'élément le plus important pour la vie de la plante. Les plantes qui sont déficientes en azote ont un retard de croissance, selon la gravité de la déficience (Snyman et al., 1999 ; Selivanovskaya et al., 2001) ; car l'azote joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes (FAO, 2005). Par contre, les engrais minéraux ont une efficacité agronomique plus grande parce que leurs éléments sont disponibles et facilement absorbés par les cultures. La faible efficacité agronomique des amendements organiques est probablement attribuée à la

décomposition lente de ces derniers pour la mise à disposition des éléments nutritifs dans le sol.

La résistance moyenne à la verse est bonne pour le présent essai. Les plantes de la variété Katanga ont été plus résistantes que celles de la variété Babungo. Il apparaît ici que la variété Babungo qui a montré une taille élevée, a été moins résistante à la verse. Les doses minimales de déchets humains recyclés (1 et 10 t.ha⁻¹) ont induit une résistance inférieure par rapport aux doses maximales (20 - 50 t.ha⁻¹). Les minéraux libérés par la matière organique en décomposition (tableau 1) pourraient favoriser la rigidité des tissus végétaux et par conséquent, la résistance des plantes à la verse. Selon FAO (2005), le potassium, à titre d'exemple, joue un rôle primordial dans le développement racinaire, dans l'absorption des cations (ions positifs, par exemple NH₄⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Cu⁺⁺, Fe⁺⁺), dans l'accumulation des hydrates des protéines, dans l'activation des enzymes de la photosynthèse, dans le maintien de la turgescence de la cellule (assurant ainsi la rigidité des tissus) et la régulation de l'économie en eau de la plante (régulation des stomates). C'est aussi un élément de résistance des plantes au gel, à la sécheresse et aux maladies.

Le rendement moyen obtenu avec la variété Babungo (5,6 t.ha⁻¹) est supérieur par rapport à celui obtenu avec la variété Katanga (5,5 t.ha⁻¹) et Unilu (5 t.ha⁻¹). Ce résultat serait lié au génotype des plantes. Les rendements obtenus pour le présent essai se situent dans la gamme proposée par Anonyme (2008), soit 6 à 8 t.ha⁻¹. Le rendement moyen en maïs grain a augmenté en fonction de doses des déchets humains recyclés appliqués. Par ailleurs, les moyennes de rendement obtenues avec les doses de 30 et 50 t.ha⁻¹, ont été similaires entre eux, mais supérieures à celle observée sur le traitement sans engrais minéraux (2,3 t.ha⁻¹) et avec engrais minéraux (6 t.ha⁻¹). Cependant, la dose maximale des déchets humains recyclés (50 t.ha⁻¹) a induit un rendement moyen (7,8 t.ha⁻¹) supérieur par rapport à ceux obtenus avec l'application de toutes doses intermédiaires et minimale. L'apport des déchets humains recyclés a accru de manière significative le rendement du maïs comparativement aux parcelles de contrôle. En effet, le rendement obtenu sur les parcelles non fertilisées sont 4 fois moins que ceux obtenus sur les parcelles fertilisées aux doses de 50 tonnes de déchets humains recyclés par hectare. La faible production des sols témoins peut être attribuée aux facteurs caractéristiques des sols acides : pH acide, toxicité Al et Mg, déficiences en nutriments (Ca, Mg, P, K, B et Zn). En plus, sur les parcelles témoins, l'absence d'apports organiques

s'accompagne d'une perte en matières organiques et en nutriments, d'une acidification des sols, d'une réduction de la biomasse et de l'activité microbienne, d'une insolubilisation du phosphore qui ensemble contribuent à la baisse sensible des rendements des cultures (Mulaji, 2010). Les effets bénéfiques des amendements organiques sur la production végétale ont été prouvés par de nombreux chercheurs et il a été montré que l'application de d'amendements organiques améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol (Aggelides et Londra, 2000 ; Thyries et al., 2000). Les nutriments contenus dans les amendements organiques augmentent le rendement des cultures (Cogger et al., 2001). Reed et al. (1991) et N'dayegamiye et al. (2007) ont signalé que les applications d'engrais et des boues de vidange de fosses septiques compostées en tant que source de nutriments n'ont pas d'incidence sur le rendement en grain et d'ensilage de maïs, ce qui indique que la valeur fertilisante des boues de vidange de fosses septiques a été comparable à celle des engrais minéraux. Pedreno et al. (1996) ont constaté que le rendement de la tomate a été nettement accru par l'épandage de boues de vidange de fosses septiques et qu'une différence a été observée avec d'autres traitements d'engrais organiques. En outre, l'épandage des fèces humaines comme engrais permet de recycler les éléments nutritifs et d'éliminer la nécessité d'utiliser des engrais chimiques dans les terres cultivées (Chino et al., 1992). L'application déchets humains recyclés sur les sols agricoles améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, car elles contiennent des matières organiques et éléments nutritifs des plantes (Dakouo, 1991). Le rendement significativement plus élevé sur les parcelles fertilisées avec les doses de 30 et 50 tonnes des déchets humains recyclés pourrait être due à la mobilisation des éléments nutritifs en grande quantité ; ce qui est en bon accord avec les conclusions de Dorn et al. (1985) qui ont déclaré que les doses les plus élevées d'application des boues de vidange de fosses septiques fournissent plus d'éléments nutritifs pour les plantes, par conséquent, le rendement est augmenté. Cette augmentation progressive des rendements est attribuable en grande partie à l'amélioration des propriétés du sol qui créent de meilleures conditions de croissance et de nutrition pour les cultures, tel que démontré par Chattopadhyay et al.

CONCLUSION

Les résultats obtenus ont montré que les 3 variétés de maïs ont donné des rendements similaires et que les doses des composts des fèces humaines accroissent significativement le rendement du maïs. Par conséquent,

(1992). En effet, les ressources locales comme les déchets organiques et les roches naturelles, appliquées aux sols tropicaux pauvres et acides peuvent fournir les éléments nutritifs nécessaires pour l'alimentation et la croissance des plantes et par conséquent, accroître le rendement des plantes cultivées. Par contre, les faibles doses de déchets humains recyclés n'ont pas permis d'obtenir des rendements élevés en maïs-grain, probablement à cause de la faible disponibilité de leurs éléments nutritifs, particulièrement l'azote. En effet, l'azote des composts de fèces serait principalement sous forme organique et sa minéralisation en période de végétation n'a probablement pas été suffisante pour combler les besoins en N du maïs-grain. Le faible rendement obtenu sur les parcelles fertilisées aux fertilisants inorganiques par rapport aux fortes doses de compost déchets humains recyclés (30 à 50 t.ha⁻¹) s'expliquerait cela non seulement par le fait que les fèces tout comme le fumier améliorent l'alimentation hydrique des plants (Ouattara, 2000), mais aussi par le fait qu'ils sont riches en éléments nutritifs majeurs et surtout disponibles. En outre, Esray et al. (2001) ont montré que les fèces sont également riches en micronutriments pouvant jouer un rôle majeur dans la croissance des plants. Des résultats similaires obtenus dans un essai conduit au Burkina Faso ont montré que de rendements en maïs grains similaires (1,05 t.ha⁻¹) ont été obtenus entre les trois doses de fèces (490kg, 980 kg et 1470 kg.ha⁻¹) et la fumure minérale (Kiba, 2005). Les faibles rendements obtenus par cet auteur (1,05 t.ha⁻¹) par rapport à ceux du présent essai (3,6 à 7,8 t.ha⁻¹) s'explique par les fortes doses de déchets humains recyclés appliquées et la variation au niveau de la composition chimique. Le RVC de l'emploi des déchets humains recyclés diminuent avec la dose et des RVC de la catégorie non rentable ont été obtenu pour les fertilisants inorganiques et la forte dose de composts de fèces humaines. Ceci serait lié au coût de production élevée qui aurait réduit le bénéfice net. Des résultats similaires, montrant que les apports de faibles doses de *Tithonia diversifolia* accroissent la rentabilité des cultures, ont été obtenus au Kenya sur la culture de maïs sur un sol déficient en phosphore (Nziguheba et al., 2002) et au Nigeria sur un sol pauvre utilisant le maïs comme culture test (Chukwuka et Omotayo, 2009).

deux apports de ces fèces humains (30 et 50 tonnes par hectare) ont créé de meilleures conditions de croissance et de nutrition pour les cultures, augmentant ainsi le rendement du maïs par rapport aux fertilisants

inorganiques. L'efficacité fertilisante des composts des fèces humaines semble cependant faible eu égard aux fortes doses appliquées et c'est pourquoi il est nécessaire de combiner l'apport de ces matériaux avec des engrais

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les lecteurs Anonymes pour leurs remarques et les ingénieurs agronomes Kitabala Misonga

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aggelides S.M., Londra P.A., 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresour. Technol.* 71: 253-259.
- André M., 2001. Wastes management and processing for energy, organic fertilizer, and pollution control in a tropical slaughterhouse. In: VIth European conference biomass for energy, industry, and environment. Elsevier Applied Science.
- Anonyme, 2008. Catalogue nationale des espèces et variétés de cultures vivrières. SENASEM, MINAGRI, Kinshasa, RDC.
- Anonyme, 2009a. Guide du vulgarisateur : Cultures vivrières. SNV avec le projet CTB « semences » Minagri Kinshasa, RDC.
- Anonyme, 2009b. Politique nationale de développement du sous-secteur de semences. SENASEM avec le projet CTB « semences » Minagri Kinshasa, RDC.
- Bodruzzaman A.C.A., Meisner B.M.A., Sadat A., Israil Hossain M., 2010. Long-term effects of applied organic manures and inorganic fertilizers on yield and soil fertility in a wheat-rice cropping pattern. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia.
- Bjon V., Hokan J., Era S., Anna R.S., 2004. Tentative guidelines for agricultural use of urine and faeces. *Ecosan Glossing the loop*, 101-108
- Chattopadhyay N., Dutta M., Gupta S.K., 1992. Effect of city waste composts and fertilizer on the growth, nutrient uptake, and yield of rice. *J. Indian Soc. Soil. Sci.*, 40: 464-468.
- Chino M., Goto S., Youssef R.A., 1992. Behaviour of zinc and copper in soil with long-term application of sewage sludge. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38 (1) : 159-167.
- Chukwuka K.S., Omotayo O.E., 2009. Soil fertility restoration potential of *Tithonia* green manure and water hyacinth compost on a nutrient depleted soil in southwestern Nigeria using *Zea mays* L. as test crop. *Research journal of soil biology* 1(1): 20-30
- Cogger C.G., Bary A.I., Fransen S.C., Sullivan D.M., 200. Seven years of biosolids versus inorganic nitrogen applications to tall fescue. *J. Environ. Qual.* 30 : 2188-2194.
- Compaoré E., Nanema L.S., Bonkougou S. et Sedogo M.P., 2010. Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. *Journal of Applied Biosciences* 33 : 2076 – 2083
- Dakouo D., 1991. Maintien de la fertilité dans les systèmes de culture en motorisation intermédiaire. Cas de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso. Rapport de synthèse. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso:INERA/Programme Coton.
- Dorn C.R., Reddy C.S., Lamphere D.N., Gaeuman J.V., Lanese R., 1985. Municipal sewage sludge application on Ohio farms: Health effects. *Environ. Res.*, 38 : 332-359.
- Esray S.A., Jean G., Dare R., Ron S., Mayling S. H., Jeorje V., 2001. Assainissement Ecologique. Ed Winblad. 91 p.
- FAO, 2000. Fertilizers and their use – A pocket guide for extension officers. Fourth edition. FAO, Rome, 34p
- FAO, 2004. Utilisation des phosphates naturels pour une agriculture durable. Rome, FAO.
- FAO, 2005. Notions de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Manuel de formation, Projet Promotion de l'Utilisation des Intrants agricoles par les Organisations de Producteurs du Niger, Rome, FAO.
- FAO, 2006. World reference base for soil resources ». World Soils Resources Report 84. Food and Agricultural Organization of United Nations, Rome. 130 p.
- Hien V., Sédogo P.M. & Lompo F., 1994. Gestion de la fertilité des sols au Burkina Faso. Bilan et

- perspectives pour la promotion de systèmes agricoles durables dans la zone soudano-sahélienne. Rome : FAO, 47-59.
- 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.
- Kirchmann H., Petterson S., 1995. Human urines chemicals composition and fertilizers use efficiency. *Fertilizing research* 40: 149-154
- Lompo F., Sédogo M.P. & Hien V., 1995, Agronomic impact of Burkina phosphate and dolomite limestone. In: Gerner H. & Mokwunye A.U., eds. Proceedings of a seminar on the use of local mineral resources for sustainable agriculture in West Africa, November 21- 23, 1994, International Fertilizer Development Center (IFDC), Lomé, Togo. Miscellaneous Fertilizers studies n°11. Miscellaneous Schools, AL, USA: IFDC, 54-66.
- Muhammad A.T.G., Kazi R., Ansari S.M., Mujtaba B., Khanzada M.A., Khan M.U., Shirazi, Mumtaz S., 2007. Effects of un-treated sewage sludge on wheat yield, metal uptake by grain and accumulation in the soil. *Pak. J. Bot.*, 39(7): 2511-2517.
- Mujinya B.B., Mees F., Boeckx P., Bode S., Baert G., Erens H., Delefortrie S., Verdoodt A., Ngongo M.L., Van Ranst E., 2011. The origin of carbonate in the termite mounds of the Lubumbashi area, DR Congo. *Geoderma*, 165: 95-105
- Mulaji, 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 Liege- Gembloux Agro-Biotech, 220p.
- N'Dayegamiye A. Drapeau A., Laverdière M. R., 2007. Effets des apports de composts de résidus ménagers sur les rendements des cultures et certaines propriétés du sol. *Agrosol*, 16 (2) : 135-144.
- Nzinguheba G., Merckx R., Palm C.A., Mutuo P., 2002. Combined effects uses of *Tithonia diversifolia* and inorganic fertilizers for improving maize product in a phosphorus deficient soil in western Kenya. *Agrofor. Syst*, 55: 165-174
- Pedreno J.N., Gomez I., Moral R., Mataix J., 1996. Improving the agricultural value of a semi arid soil by addition of sewage sludge and almond residue. *Agric. Ecosyst. Environ.* 58 : 115-119.
- Reed B.E., Carriere P.E., Matsumoto M.R., 1991, Applying sludge on agricultural land. *Biocycle*, 37: 58-60.
- Selivanovskaya S.Y., Latypova V.Z., Kiyamova S.N., Alimova F.K., 2001, Use of microbial parameters to access treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. *Agric. Ecosyst. Environ.* 86: 145-153.
- Snyman H.G., De Jong J.M., Aveling A.S., 1999. The stabilization of sewage sludge applied to agricultural land and the effects on maize seedlings. *Water Sci. Technol.* 38: 87-95.
- Thyries L., Arrufat A., Dubois M., Fellrt C., Herrmann P., Larré-Larrouy M.C., Martin C., Pansu M., Remy J.C., Viel M., 2000, Influence d'une fertilisation organique et de solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. *Étude et gestion des sols*, 7 (1) : 73-88.
- Yemefack M., Nounamo L., Njomgang R. & Bilong P., 2004. Influence des pratiques agricoles sur la teneur en argile et autres propriétés agronomiques d'un sol ferrallitique au sud du Cameroun. *Tropicultura* 22 (1) : 3-10.
- Yeledhalli N.A., Prakash S. S., Ravi M.V., Narayana Rao K., 2008, Long-Term Effect of Fly Ash on Crop Yield and Soil Properties. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 21 (4) :507-512.
- Zougmoré R., Zida Z., Kambou N.F., 2003, Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil Tillage Res.*, 72: 56-65.