

Étude de l'influence du compost issu des déchets ménagers sur le rendement en biomasse de l'amarante en Ville de Butembo

Kambere Siviri Lwanga¹, Gilbert Paluku Mutiviti², Emmanuel Kakule Vyakuno³, Charles Kambale Valimunzigha⁴

Résumé

Dans le but d'évaluer les effets de trois doses de compost issu des déchets ménagers en Ville de Butembo sur le rendement en biomasse d'amarante, quatre essais ont été installés dans quatre sites (Horizon, ITAV, ULPGL et Wayene) suivant un dispositif expérimental en trois divers blocs aléatoires complets. Chaque bloc était subdivisé alors en cinq parcelles correspondant aux cinq traitements dont T_0 : parcelles témoins non enrichies, T_1 = parcelles enrichies avec 20 t de compost /ha, T_2 = parcelles enrichies avec 30 t de compost /ha, T_3 = parcelles enrichies avec 40 t de compost/ha et T_4 = parcelles enrichies avec 500 kg de NPK 15-15-15/ha. Les données ont été analysées d'abord au niveau de chaque site en recourant à l'analyse de la variance à deux facteurs de classification, modèle croisé mixte et en second lieu, en compilant les données de quatre sites, nous avons réalisé une analyse de la variance à trois facteurs de classification modèle hiérarchisé du type IV. Ces analyses statistiques ont été complétées par l'estimation de l'efficacité agronomique relative de différentes doses du compost et du fertilisant NPK 15-15-15.

¹Professeure Associée en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu RDC) : lwsiviri@gmail.com

² Professeur Ordinaire en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu RDC).

³ Professeur en Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Sociales, Politiques et Administratives de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu RDC)

⁴ Professeur Ordinaire en Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Catholique du Graben (Nord-Kivu RDC).

L'analyse de la variance des données de rendement en biomasse fraîche a révélé une différence significative entre les traitements testés et entre les sites d'essai. Pour les traitements, des rendements de 4,12 t/ha, 6,51 t/ha, 8,82 t/ha, 12,74 t/ha et 20,74 t/ha ont été respectivement obtenus pour T₀, T₁, T₂, T₃ et T₄ (PPDS=3,06 t/ha). Ainsi, la dose d'engrais NPK 15-15-15 a eu un effet positif significativement supérieur sur le rendement en biomasse de l'amarante comparativement aux trois doses de compost. Par rapport aux sites, des rendements de 8,4 t/ha, 8,7 t/ha, 11,54 t/ha et 13,33 t/ha ont été réalisés respectivement dans les sites Horizon, ITAV, ULPGL et Wayene (PPDS= 2,83 t/ha).

Ainsi, les sites ULPGL et Wayene se sont révélés plus favorables à la culture d'amarante comparativement aux deux autres sites Horizon et ITAV. Pour le paramètre d'efficacité agronomique relative, les valeurs moyennes de 36 %, 53,3 %, 66,4 % et 80,1 % ont été estimées respectivement pour T₁, T₂, T₃ et T₄. Seule la dose de l'engrais NPK 15-15-15 s'est révélée plus efficace, car étant au-dessus du seuil 75 % requis pour qu'une dose d'engrais soit considérée comme agronomiquement efficace.

Mots clés : *Compost, déchets ménagers, biomasse, l'amarante*

Abstract

To evaluate the effects of three doses of compost from household waste in the town of Butembo on amaranth biomass and dwarf bean seed yield, four trials for each of the two above-mentioned crops were installed in four sites (Horizon, ITAV, ULPGL and Wayene) following an experimental design in three complete random blocks. Each block was subdivided into five plots corresponding to the five treatments namely T₀: uninvited control plots, T₁ = enriched plots with 20 t of compost /ha, T₂ = enriched plots with 30 t of compost /ha, T₃ = enriched plots with 40t of compost /ha and T₄ = enriched plots with 500 kg of NPK 15-15-15 /ha. The data were analysed first at the level of each site using the analysis of variance with two classification factors, a mixed cross-over model and secondly, by compiling data from four sites, we performed a three-factor analysis of variance with a type IV hierarchical model. These statistical analyses were supplemented by the estimation of the relative agronomic efficiency of the different doses of compost and NPK 15-15-15 fertilizer for both crops.

The analysis of variance of brown biomass yield data revealed a significant difference between the treatments tested and between the test sites. For treatments, yields of 4.12 t/ha, 6.51 t/ha, 8.82 t/ha, 12.74 t/ha and 20.74 t/ha were obtained for T₀, T₁, T₂, T₃ and T₄ respectively (PPDS=3.06 t/ha). Thus,

the NPK 15-15-15 fertilizer dose had a significantly greater positive effect on amaranth biomass yield compared to the three compost doses. Compared to the sites, yields of 8.4 t/ha, 8.7 t/ha, 1154 t/ha and 13.33 t/ha were achieved at horizon, ITAV, ULPGL and Wayene sites respectively (PPDS= 2.83 t/ha).

Thus, the ULPGL and Wayene sites have proven to be more favourable to amaranth cultivation compared to the other two sites Horizon and ITAV. For the relative agronomic efficiency parameter, the mean values of 36 %, 53.3 %, 66.4% and 80.1 % were estimated for T_1 , T_2 , T_3 and T_4 respectively. Only the dose of NPK 15-15-15 fertilizer was found to be more effective, as it was above the 75 % threshold required for a fertilizer dose to be considered agronomically effective.

Key-words: Compost, household waste, biomass, amaranth.

1. Introduction

Actuellement, la production agricole en général et celle des cultures maraichères en particulier, sont bien limitées par l'appauvrissement et la dégradation des sols, accentués par l'apport inadéquat et non raisonné des matières fertilisantes (VALIMUNZIGHA *et al.*, 2019). En outre, la mauvaise gestion, la non-maîtrise des intrants organiques et aussi la combinaison non optimale des engrais chimiques et ceux organiques constituent des facteurs limitants importants de l'augmentation des rendements agricoles (SAÏDOU *et al.*, 2003).

La pression démographique dans les zones urbaines couplée aux besoins croissants en légumes dans plusieurs villes de la République Démocratique du Congo a entraîné la promotion d'une agriculture maraichère urbaine et péri-urbaine ; c'est le cas des plateaux de Bateke et des vallées de N'Djili à Kinshasa de même que des vallées maraichères de Naviundu et de Kilobelobe à Lubumbashi (FAO, 2010) dont l'exploitation est axée sur la production des légumes feuille et fruit et le développement d'une agriculture sédentarisée (manioc, pomme de terre, haricot, bananier, plantain,...) permettant de réduire la pression sur les zones rurales (OGNALAGA *et al.*, 2015).

Dès lors, l'amélioration quantitative et qualitative des productions agricoles ne peut plus être basée sur l'augmentation des surfaces emblavées, moins sur une agriculture itinérante, mais plutôt sur l'augmentation des rendements par unité de surface (OGNALAGA *et al.*, 2015). Cela exige une meilleure connaissance des propriétés édaphiques et surtout une maîtrise des paramètres de fertilité et de la fertilisation des sols (KONÉ *et al.*, 2010).

L'augmentation des rendements par unité de surface exige bien une adoption par les agriculteurs d'un apport systémique, approprié et raisonné des fertilisants, c'est-à-dire, l'utilisation adéquate des engrais à des doses raisonnables (SAÏDOU *et al.*, 2003 ; OLANIYI, 2010 ; OGNALAGA *et al.*, 2015). La fumure minérale seule n'offre pas toujours des perspectives satisfaisantes pour l'agriculture urbaine et péri-urbaine caractérisée par des petits jardins maraichers (KONÉ *et al.*, 2009), et surtout si elle est appliquée sur des sols ferrallitiques reconnus pour leur pauvreté en azote et en phosphore (BIAOU *et al.*, 2017). La principale cause de la réticence aux engrais chimiques par les petits exploitants agricoles est le coût élevé de ces engrais ainsi que leur contribution médiocre dans le maintien de la composition de la matière organique du sol. Dans un tel cas, le recours à l'usage du compost et autres fumures organiques est vivement souhaité.

Une bonne pratique agricole, qui implique l'apport des substances organiques, tels que les engrais et/ou amendements organiques, les résidus de récolte ou différents types de composts, pourrait améliorer la fertilité et la qualité des sols marginalisés (WEBER *et al.*, 2007). En effet, les matières organiques, à l'instar des composts, améliorent plus la structure des sols, augmentent la capacité de rétention en eau et des nutriments du sol, réduisent les risques de pollution, stimulent l'activité microbienne et augmentent le rendement des cultures (CRICHTON *et al.*, 2000 ; LAOS *et al.*, 2000 ; DOUGLAS *et al.*, 2003 ; KOWALJOW et MAZZARINO, 2007). De plus, les sources d'engrais organiques possédant un rapport C/N en dessous de 20 contiennent une concentration élevée

de nutriments (CHAVES *et al.*, 2007 ; TOGNETTI *et al.*, 2008) et possèdent des potentiels d'immobilisation de l'azote (DE NEVE *et al.*, 2004).

Au regard de tous ces avantages qu'offre le compost, le choix de la culture reste aussi un facteur déterminant dans la valorisation des déchets ménagers dans l'agriculture urbaine et péri-urbaine. Dans le contexte de notre investigation, le choix a été porté sur l'amarante (*Amaranthus hybridus*). L'amarante a attiré notre attention, car elle fait partie des légumes les plus cultivés en milieu urbain et péri-urbain de Butembo où elle intervient principalement dans l'alimentation humaine. Elle est facile à cultiver et a un cycle cultural court (environ 28 jours) quand elle est cultivée pour la production des feuilles.

Peu d'informations précises existent sur l'usage du compost dans la conduite de la culture de l'amarante en Ville de Butembo. Les agriculteurs se limitent à une utilisation abusive du compost sans pour autant connaître les doses qui lui conviennent le mieux. Bon nombre d'études dont celle de GRUBBEN (1975) ont révélé qu'une fumure organique à une dose de 25 t/ha couplée à une fumure chimique constituée du NPK (10-10-20) à une dose de 500 kg/ha fournit de bons rendements quel que soit en feuilles ou en grains d'amarante.

Les analyses et les essais de fumures montrent des besoins élevés en potasse. L'engrais chimique NPK (10-10-20) est une bonne formule pour l'amarante. Un apport de 500 kg/ha par culture récoltée par arrachage et de 600 kg/ha par culture récoltée par des coupes successives est généralement recommandable pour les sols pauvres ou moyennement fertiles si l'apport de matière organique ne dépasse pas 25 t/ha (GRUBBEN, 1975). Par ailleurs, selon l'Agence Française de Développement du Gabon, il faut 15 kg de fumier bien décomposé et 50 g de NPK (15-15-15) pour 1 m² soit 15 t/ha du fumier et 500 kg du NPK (15-15-15) pour un rendement acceptable d'amarante.

C'est dans cette logique que s'inscrit ce travail traitant de l'influence du compost issu de déchets ménagers sur le rendement de l'amarante dans quatre zones agroécologiques de Butembo dont l'objectif est

d'évaluer les effets du compost sur le rendement et l'efficacité agronomique relative pour les cultures d'amarante en Ville de Butembo. Afin de baliser le chemin conduisant vers l'élaboration d'une méthodologie pouvant répondre à la problématique reprise ci-dessus, nous avons avancé anticipativement en guise d'hypothèse la réponse suivante à la question soulevée ci-haut :

- ✓ La plus forte dose de compost produit à partir des déchets ménagers à Butembo pourrait entraîner un rendement similaire à celui de l'engrais NPK 15-15-15 et une efficacité agronomique relative similaire à celui de l'engrais NPK 15-15-15 et supérieure à 75 % pour la culture d'amarante, car elle agirait bien comme amendement organique susceptible d'influer positivement sur les propriétés physique, chimique et biologique des sols.

2. Matériels et méthodes

2.1. Site expérimental

Les essais expérimentaux ont été réalisés en Ville de Butembo dans 4 différentes zones agroécologiques, notamment le sud-ouest de la Ville (site Horizon/UCG, 29°15'42,57''E, 0°7'42,04''N, 1838 m), le Sud-Est (site ULPGL, 29°18'20,66''E, 0°5'40,96''N, 1756 m), le nord-est (site Wayene, 29°19'48,78''E, 0°9'14,60''N, 1741 m) et le centre-ville (site ITAV, 29°16'59,45''E, 0°7'50,16''N, 1765 m). Tous les sites étaient précédemment occupés par une courte jachère d'intercampagne et n'avaient jamais subi de traitements d'engrais dans le passé. La figure 1 ci-dessous visualise les sites expérimentaux.

Les analyses chimiques, physiques et biologiques de sols à une profondeur de 25 cm de sites expérimentaux ont révélé ce qui suit (SIVIRI, 2011) :

Figure 1: Visualisation des 4 sites expérimentaux en Ville de Butembo

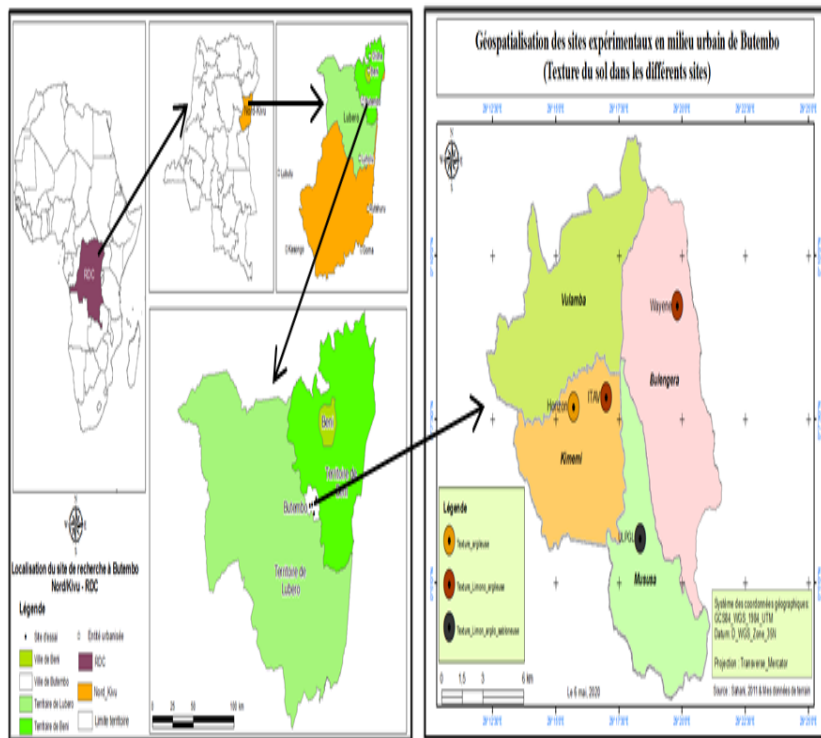


Tableau 1. Résultats des analyses physiques, chimiques et biologiques du sol de Butembo dans les quatre sites expérimentaux

Caractéristique	Horizon			Wayene
		ITAV	ULPGL	
pH-H ₂ O	6,3	5,2	5,1	4,5
pH-KCl	5,4	4,2	4	4
C.Org (g/Kg)	58	27	23	27
Humus (%)	11,5	5,3	4,7	5,5
Ntot (%)	0,46	0,28	0,24	0,24
C/N	13	11	10	12
Pdis (mg/100g)	2	1	1	1
Ca éch	258	68	62	12
Mg éch	53	13	19	3
K éch	65	4	9	7
Na éch	2	2	2	2
Concentration Saline	84	88	40	56
NaCl (mg/100g)	4,7	4,8	4,8	4,8
Indice de battance	0,31	0,33	0,56	0,33
**Mn (mg/Kg)	1059	387	28	68
**Fe (mg/Kg)	853	285	427	224
**Zn (mg/Kg)	-	-	-	-
**Cu (mg/Kg)	-	-	-	-
Pb (mg/Kg)	22,4	13	13,8	17,4
Ni	-	-	-	-
Cd	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5
Hg	-	-	-	-
Respiration (mg de CO ₂ /g de sol)	2,09	1,12	0,95	1,08
% Argile	44,1	33,8	34	34,6
% Limon fin et grossier	37,5	23,7	35,9	23,1
% Sable fin et grossier	18,4	42,5	30,1	42,4
Texture	Argileuse	Limon argileuse	Limon argileuse	Limon argileuse

Les conditions climatiques qui prévalaient lors de la conduite des essais sont présentées dans le tableau 2 ci-après (Stations météo Ville de Butembo, 2019-2020 (ITAV ou Aéroport Rugenda).

Tableau 2. Données météorologiques dans les 2 stations météorologiques de la Ville de Butembo au moment de l'expérimentation

Station		ITAV				Aérodrome Ruwenda			
Mois		Nov.19	Déc.19	Jan.020	Fé.20	Nov.19	Déc.19	Ja.20	Fév.020
P (mm)		126,40	106,50	61,00	73,80	126,4	106,5	102,6	105
Tmax (°C)		24,50	23,94	24,26	23,70	25,0	24,5	24	24
Tmin (°C)		14,66	14,42	13,82	13,87	14,6	13,7	14,6	13,2
Tmoy (°C)		19,60	18,68	19,04	18,80	19,80	19,1	19,3	18,6
H (%)		86,76	87,55	89,13	87,49	88,8	87,7	79	79
Jours de pluies		15	16	7	12	10	12	10	18

Noté : P : Précipitations, Tmax, Tmin Tmoy sont respectivement la température maximale, la température minimale et la température moyenne et enfin H est l'humidité relative de l'air.

2.2. Matériel

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation a été fourni par le Centre de Recherche Agronomique et Vétérinaire du Graben (CERAVEG) de l'Université Catholique du Graben (UCG) ; il était constitué de la semence d'amarante (*Amaranthus hybridus*). D'autres matériels biologiques et non biologiques étaient constitués du compost (constitué de restes de cuisine, bouse de vaches, crottes de lapin, cobayes, chèvres, moutons, des cartons) en base des déchets

ménagers (déchets urbains) qui a servi pour déterminer les doses séquentielles expérimentées, l'engrais minéral NPK 15-15-15, le GPS (marque Garmin) pour la géolocalisation des sites expérimentaux, le pied à coulisse pour bien mesurer le diamètre au collet des plants d'amarante ont constitué les non biodégradables.

2.3. Méthodes

2.3.1. Planification des essais

Les essais ont bien été installés suivant un dispositif expérimental en trois blocs aléatoires complets (DAGNELIE, 2012). Tous les objets placés en expérience étaient présents dans chacun de blocs, le nombre de parcelles par bloc étant au moins égal au nombre d'objets (5). La répartition des objets au sein de différents blocs et de différents sites se faisait de façon complètement aléatoire et indépendamment d'un bloc à l'autre et aussi d'un site à un autre.

Chaque bloc était subdivisé à cinq diverses parcelles correspondant aux cinq traitements, à savoir T_0 : traitement témoin (parcelle non fertilisée) ; T_1 : parcelle enrichie avec 20 t de compost/ha ; T_2 : parcelle enrichie avec 30 t de compost/ha T_3 : parcelle enrichie avec 40 t de compost/ha et T_4 : parcelle enrichie avec du NPK 15-15-15 à la dose de 500 kg/ha. Les parcelles expérimentales avaient des dimensions de 1 m*2 m soit 2 m² séparées au sein d'un même bloc par une distance de 0,5 m. Quant aux blocs, ils étaient séparés entre eux par une distance d'un mètre.

2.3.2. Conduite des essais

La conduite des essais a consisté globalement à la préparation du champ, l'épandage des matières fertilisantes, le semis, le paillage, l'entretien de la culture et la récolte. Le semis est intervenu après l'épandage des matières fertilisantes en dates du 6, 7, 8 et 9 novembre 2019 respectivement dans le site de l'ULPGL, de Wayene, de l'ITAV et

de l'Horizon/UCG. Les lignes de semis étaient espacées entre elles de 20 cm et la distance entre les plantes de 5 cm soit encore l'écartement de (20*5) cm. Le sarclo-binage a été effectué au même moment que l'éclaircissage, quinze jours après le semis.

La récolte est intervenue 30 jours après le semis dans les sites de l'ULPGL et de Wayene et 35 jours après semis dans le site de l'ITAV et de l'Horizon/ UCG. Toute la biomasse au sein de la parcelle hormis celle de la bordure constituée de deux lignes extrêmes et 10 cm extrêmes des lignes centrales a été récoltée et pesée. Les données intermédiaires (hauteur de la plante en cm, diamètre au collet en mm et le nombre de feuilles par plante) ont été collectées sur un échantillon de 10 plantes se trouvant au centre de chaque parcelle expérimentale.

2.3.3. Analyse statistique des données

Pour apprécier l'effet des traitements testés sur les paramètres de croissance et du rendement en biomasse végétative pour l'amarante, nous avons estimé que les données collectées doivent être soumises à l'analyse de la variance suivant deux étapes. Dans un premier temps, la situation de chaque site a été présentée séparément en adoptant l'analyse de la variance à deux facteurs de classification, modèle croisé mixte, où les traitements (doses de compost et de NPK) constituent le facteur fixe et les blocs, le facteur aléatoire.

En second lieu, le facteur site est intervenu en utilisant l'analyse de la variance à trois facteurs de classification, modèle hiérarchisé de type IV, où le facteur traitement (doses de compost et de NPK) croise les facteurs sites et les blocs, mais les blocs sont bien subordonnés aux sites. L'analyse statistique des données a été réalisée à l'aide du logiciel SAS version 8.2 dans laquelle nous avons utilisé préférentiellement le test de Fisher au seuil $\alpha = 5 \%$. La comparaison multiple des moyennes a été effectuée par le test t de Student.

3. Résultats

3.1. Effets des doses de compost et du NPK 15-15-15 sur les paramètres de croissance végétative

Les résultats de l'analyse de la variance des données de la hauteur des plants dans chacun de quatre sites d'expérimentation sont repris dans le tableau 3 ci-dessous. L'examen des résultats présentés dans le tableau 3 ci-dessous indiquent globalement, pour les quatre sites d'essai, des différences significatives entre les effets de la série des doses de matières fertilisantes (trois doses de compost et une dose de NPK 15-15-15) sur la hauteur des plants d'amarante, le diamètre au collet et le nombre de feuilles par plante ($PV < 0,05$). Ceci veut dire que, dans chacun de quatre sites d'essai, les différents traitements ont eu des effets non identiques sur ces paramètres de croissance végétative.

De même, au sein de chacun de quatre sites d'essai, les blocs se sont démarqués différents. Ce qui témoigne de l'hétérogénéité du sol de ces sites d'essai. S'agissant de l'interaction entre les traitements et les blocs, elle a été significative dans trois sites (Horizon, ITAV et ULPGL) où la $PV < 0,05$ et non significative dans le site Wayene ($PV > 0,05$).

Tableau 3. Carrés moyens et degrés de signifiante des données de la hauteur du plant, du diamètre au collet et du nombre de feuilles par plante dans les 4 sites expérimentaux.

Sources de variation	DDL	Hauteur du plant			
		Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
Traitements	4	710,41*	963,75*	1941,76*	2358,66*
Blocs	2	59,65*	38,77*	67,85*	48,48*
Traitements* blocs	8	119,17*	71,47*	205,50*	11,43
Erreur résiduelle	135	3,49	2,29	6,76	10,55
Total	149	-	-	-	-
Sources de variation	DDL	Diamètre au collet			
		Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
Traitements	4	40,98*	25,03*	24,02*	16,25*
Blocs	2	1,79*	0,29	0,14	0,66
Traitements* blocs	8	2,78*	1,44*	4,19*	0,50
Erreur résiduelle	135	0,27	0,19	0,47	0,30
Total	149	-	-	-	-
Sources de variation	DDL	Nombre de feuilles par plant			
		Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
Traitements	4	42,89*	19,24*	15,58	6,57
Blocs	2	4,03*	0,54	0,99	0,99
Traitements* blocs	8	3,27*	1,97*	4,31*	9,15*
Erreur résiduelle	135	0,95	0,39	0,62	0,72
Total	149	-	-	-	-

Tableau 4. Carrés moyens et degrés de signifiante des données compilées de la hauteur des plants d'amarante du diamètre au collet et du nombre de feuilles par plante de quatre sites d'essai

Sources de variation	DDL	Hauteur de la plante	Diamètre au collet	Nombre de feuilles par plante
Traitements	4	5469,03*	100.90*	59,75*
Sites	3	1684,80*	8,27*	63,32*
Blocs (sites)	8	53,69*	0,72*	1,64*
Traitements*sites	12	168,52	1,79	8,18*
Traitements*blocs (sites)	32	101,89*	2,23*	4,68*
Erreur résiduelle	540	5,77	-	0,67
Total	599	-	-	-

L'observation attentive des résultats présentés dans le tableau 4 susmentionné montre qu'en considérant les données compilées de quatre sites d'essai, les traitements, les sites et les blocs dans les sites se sont révélés significativement différents entre eux. Ceci signifie que quels que soient les sites, les traitements n'ont pas eu d'effets similaires sur tous les paramètres de croissance végétative étudiés et quels soient les traitements, les sites n'ont pas eu d'effets identiques sur ces paramètres. La différence significative entre les blocs dans les sites signifierait que les sols dans les quatre sites d'essai n'étaient pas homogènes.

La comparaison multiple des moyennes par le test t de Student de la plus petite différence significative présentée dans le tableau 5 ci-dessous

a montré que les plantules des parcelles fertilisées avec du NPK 15-15-15 ont évolué avec une hauteur, un diamètre au collet et un nombre de feuilles par plante significativement supérieur à ceux d'autres parcelles. S'agissant de l'effet de trois doses séquentielles du compost, bien que dans certains cas, aucune différence significative n'a été constatée entre, d'une part l'effet de ces doses comparées entre elles et, d'autre part l'effet de ces doses comparées au témoin, la tendance générale est que la hauteur des plants d'amarante, le diamètre au collet et le nombre de feuilles par plante ont augmenté au fur et à mesure que la dose du compost augmentait.

De façon particulière, pour le site ULPGL, aucune de trois doses du compost n'a eu un effet significativement supérieur à celui du témoin. S'appuyant aux résultats de l'analyse préalable du sol de quatre sites, surtout pour la teneur en matières organiques avant l'installation des essais, nous supposons que le sol du site ULPGL contenait un niveau de matière organique suffisant pour booster la croissance végétative de l'amarante, de sorte que même en y ajoutant une quantité supplémentaire, tel a été notre cas, l'effet corrélatif de cet ajout s'avèrerait non significatif.

Tableau 5. Comparaison multiple des valeurs moyennes de la hauteur des plants d'amarante (en cm), du diamètre au collet et du nombre de feuilles par plante soumis à différentes doses de fertilisants dans les quatre sites d'essai.

Traitements	Hauteur de la plante (cm)			
	Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
T ₀	8,28 ^c	8,56 ^c	10,26 ^b	15,73 ^d
T ₁	12,38 ^{bc}	10,95 ^{bc}	11,94 ^b	16,60 ^{cd}
T ₂	14,40 ^{bc}	12,42 ^{bc}	13,19 ^b	18,00 ^{bc}
T ₃	16,22 ^{ab}	15,26 ^b	17,67 ^b	19,71 ^b
T ₄	21,47 ^a	23,25 ^a	30,17 ^a	37,05 ^a
PPDS ($\alpha = 0,05$)	6,5	5,03	8,53	2,01
Traitements	Diamètre au collet (cm)			
	Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
T ₀	1,58 ^d	1,54 ^c	1,83 ^b	1,36 ^d
T ₁	1,81 ^{cd}	1,66 ^c	1,89 ^b	1,71 ^{cd}
T ₂	2,57 ^{bc}	2,02 ^{bc}	1,88 ^b	2,03 ^{bc}
T ₃	3,03 ^b	2,41 ^b	2,29 ^b	2,37 ^b
T ₄	4,51 ^a	3,80 ^a	3,93 ^a	3,28 ^a
PPDS	0,99	0,71	1,22	0,42
Traitements	Nombre de feuilles par plante			
	Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
T ₀	5,87 ^c	4,97 ^b	5,03	5,9
T ₁	5,93 ^c	5,4 ^b	6,03	5,5
T ₂	7,13 ^b	5,43 ^b	5,13	5,03
T ₃	7,20 ^b	5,73 ^b	5,77	5,37
T ₄	8,8 ^a	7,07 ^a	6,8	6,23
PPDS	1,07	0,84	-	-

La comparaison multiple des valeurs moyennes de la hauteur des plants, du diamètre au collet et du nombre de feuilles par plante quels que soient les sites et quels soient les traitements est reprise dans les tableaux 6 et 7 ci-après.

Tableau 6. Comparaison multiple des valeurs moyennes de la hauteur des plants, du diamètre au collet et du nombre de feuilles par plante pour les données compilées de quatre sites d'essai.

Traitements	Hauteur de la plante (cm)	Diamètre au collet (cm)	Nombre de feuilles par plante
T ₀	10,71 ^d	1,58 ^d	5,44 ^c
T ₁	12,97 ^{cd}	1,77 ^{cd}	5,72 ^{bc}
T ₂	14,50 ^c	2,13 ^c	5,68 ^{bc}
T ₃	17,21 ^b	2,53 ^b	6,02 ^b
T ₄	27,99 ^a	3,88 ^a	7,23 ^a
PPDS	2,65	0,39	0,57

Tableau 7. Comparaison multiple des valeurs moyennes de la hauteur des plants, du diamètre au collet et du nombre de feuilles par plante pour les données compilées de cinq traitements.

Sites	Hauteur de la plante (cm)	Diamètre au collet (cm)	Nombre de feuilles par plante
Horizon	14,55 ^c	2,70 ^a	6,99 ^a
ITAV	14,09 ^c	2,29 ^b	5,72 ^b
ULPGL	16,65 ^b	2,37 ^b	5,75 ^b
Wayene	21,42 ^a	2,15 ^b	5,61 ^b
PPDS	1,95	0,23	1,64

Eu égard aux valeurs présentées dans le tableau 6 et 7 susmentionnés, considérant les données compilées de quatre sites, la dose de 500 kg de NPK 15-15-15/ha (T₄) a eu donc une plus grande influence positive sur tous les paramètres de croissance végétative des plants d'amarante dans les quatre sites d'essai. Aussi, comparativement au témoin, des effets positifs croissants sur la hauteur, le diamètre au collet et le nombre de

feuilles par plant ont été remarqués avec l'application des doses croissantes du compost.

Ces résultats seraient liés à la plus forte teneur d'éléments nutritifs apportés par le NPK et des teneurs modérées, mais aussi croissantes avec l'augmentation de la dose du compost. Quant qu'aux effets de quatre sites, considérant les données compilées de cinq traitements, les sites sont classés dans l'ordre décroissant de grandeur de leur influence de la manière suivante : Wayene > ULPGL > ITAV = Horizon pour la hauteur des plants ; Horizon > ITAV = ULPGL = Wayene pour le diamètre au collet et pour le nombre de feuilles par plant. Ce classement s'expliquerait par la variation des conditions écologiques à l'échelle locale liées davantage à l'hétérogénéité du sol et aux microclimats qui prévalaient dans chacun de quatre divers sites au moment de l'expérimentation.

3.2. Effets des doses de compost et du NPK 15-15-15 sur le rendement en biomasse

Le tableau 8 reprend les résultats de l'analyse de la variance des rendements en biomasse dans chacun de quatre sites d'essai.

Tableau 8. Carrés moyens et degrés de significances des données du rendement en biomasse dans les 4 sites expérimentaux.

Sources de variation	DDL	Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
Traitements	4	54,84*	37,28*	235,61*	329,39*
Blocs	2	5,90	7,62	30,33	5,66
Traitement*b locs	8	9,05	9,68	30,86	5,65
Total	14	-	-	-	

Le constat que l'on tire du tableau 8 susmentionné est qu'au sein de chacun de quatre différents sites d'essai, les traitements ont eu des effets

significativement différents sur le rendement en biomasse de l'amarante. Considérant les sites comme source de variation, le tableau 9 reprend les résultats de l'analyse de la variance des données compilées de quatre sites d'essai.

Tableau 9. Analyse de la variance des données compilées du rendement en biomasse d'amarante de quatre sites d'essai.

Sources de variation	DDL	SCE	CM	Fobs	PV
Traitements	4	2009,47	502,37	36,99*	<0,0001
Sites	3	251,57	83,86	7,44*	0,01
Blocs (sites)	8	90,14	11,27	-	-
Traitements*sites	12	646,51	53,88	3,97*	0,0009
Traitements* blocs (sites)	32	434,63	13,58	-	-
Total	59	3432,32	-	-	-

La lecture des résultats consignés dans le tableau 9 ci-dessus, fait ressortir, outre l'interaction significative entre les traitements et les sites, des différences significatives entre les traitements et entre les sites ($PV < 0,05$). Les résultats de la comparaison multiple des moyennes (tableau 10) ont révélé que les parcelles traitées avec du NPK 15-15-15 ont produit une biomasse végétative significativement supérieure à celles de quatre autres traitements.

Dans le site ULPGL, il apparaît de façon évidente que les trois doses de compost ont eu des effets similaires à celui du témoin. Ce constat pour le site ULPGL ne fait que conforter l'hypothèse selon laquelle le sol du site ULPGL contiendrait un niveau de matière organique suffisant pour booster la croissance végétative de l'amarante et par conséquent la biomasse végétative, de sorte que même en y ajoutant une quantité supplémentaire, l'effet corrélatif de cet ajout s'avère non significatif.

Tableau 10. Comparaison multiple des valeurs moyennes du rendement en biomasse (en tonnes/ha) dans chacun de quatre sites d'essai.

Traitements	Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
T ₀	2,53 ^c	3,0 ^b	5,47 ^b	5,47 ^c
T ₁	5,52 ^{bc}	6,77 ^{ab}	6,90 ^b	6,77 ^c
T ₂	10,16 ^{ab}	9,51 ^a	8,33 ^b	7,29 ^c
T ₃	10,55 ^{ab}	7,06 ^{ab}	9,56 ^b	16,93 ^b
T ₄	13,15 ^a	12,50 ^a	27,08 ^a	30,21 ^a
PPDS	5,66	5,86	10,46	4,48

La comparaison multiple des moyennes consignée dans le tableau 11 ci-après, indique que quels que soient les traitements, les sites Wayene et ULPGL sont égaux et sont restés significativement supérieurs aux sites Horizon et ITAV qui par ailleurs sont égaux.

Tableau 11. Comparaison multiple des valeurs moyennes du rendement en biomasse d'amarante (en tonnes/ha) pour les données compilées de quatre sites d'essai.

Traitements	dans les quatre sites	Sites pour les quatre traitements	
T ₀	4,12 ^d	Horizon	8,4 ^b
T ₁	6,51 ^{cd}	ITAV	8,7 ^b
T ₂	8,82 ^c	ULPGL	11,54 ^a
T ₃	12,27 ^b	Wayene	13,33 ^a
T ₄	20,74 ^a		-
PPDS	3,06		2,83

3.3. Efficacité agronomique relative des fertilisants

Les résultats de l'efficacité agronomique relative pour les différents fertilisants utilisés sont mentionnés dans le tableau 12. Eu égard aux résultats du tableau 12 ci-dessous, il est à remarquer que dans les quatre

sites d'essai, l'engrais chimique NPK 15-15-15 a enregistré des valeurs d'efficacité Agronomique relative supérieures au seuil de 75 % requis pour qu'un engrais ou une dose d'engrais soit considéré comme efficace. Toutefois, il apparaît aussi qu'au niveau du site Horizon, les deux plus grandes doses du compost se sont révélées efficaces.

Tableau 12. Efficacité Agronomique relative de différents fertilisants utilisés

Traitement	Horizon	ITAV	ULPGL	Wayene
T ₀	-	-	-	-
T ₁	54,82	55,74	20,72	19,20
T ₂	75,10	68,48	34,36	24,96
T ₃	76,04	57,53	42,78	67,69
T ₄	80,76	76,03	79,80	81,89

4. Discussion

Dans cette étude, l'analyse de la variance des données de la hauteur des plants, du nombre de feuilles initié par plant et du diamètre au collet des plants a révélé des différences significatives entre les effets de différents traitements testés. La comparaison multiple des valeurs moyennes de ces paramètres a indiqué que la dose d'engrais minéral de 500 kg/ha a eu une influence positive significativement supérieure à celle de trois doses de compost.

Toutefois, les deux plus grandes doses de compost ont eu plus une influence positive significativement supérieure à celle des parcelles témoins.

Ces résultats peuvent être expliqués par, d'une part, la teneur en éléments nutritifs dans les formulations utilisées, surtout en azote et, d'autre part, par les effets positifs de ces formulations sur les propriétés du sol. En effet, la supériorité du NPK 15-15-15 sur les trois doses de compost serait expliquée par la plus haute teneur de l'engrais minéral

NPK 15-15-15 en azote, élément moteur de la croissance végétative des plantes (SHARMA, 2006).

En effet, il a été démontré que l'azote joue un rôle déterminant dans la croissance horizontale (diamètre) et verticale (hauteur) des plantes, mais aussi dans l'initiation des feuilles (RAMACHANDRA et THIMMARAJU, 1983, MAKUS, 1986, OLUFOLAJI, 1989). Ainsi donc, les composts n'étant pas suffisamment riches en azote en comparaison avec le NPK 15-15-15, il est logique que ses effets soient significativement inférieurs à ceux du NPK 15-15-15. À titre de rappel, un kilogramme de compost issu de la litière avicole contient environ 24,92 g de N soit 2,2 % et un kilogramme de compost issu de litière des ruminants possède environ de 15,54 g soit encore 1,6 % (KOUSSIHOUÈDÉ *et al.*, 2016) ; ces teneurs sont de loin supérieures à celle de 0,95 % N trouvé dans le compost expérimenté dans cette étude.

Évidemment, des effets positifs de l'azote sur la croissance de l'amarante ont été relatés dans de nombreuses études menées à travers le monde (LAW-OGBOMO et AJAYI, 2009 ; OLANIYI *et al.*, 2008 ; AKPAROBI, 2009 ; OKOKOH et BISONG, 2011 ; BAITILWAKE *et al.*, 2011 ; KOUSSIHOUÈDÉ *et al.*, 2016). Dans le cas de notre étude, les deux plus grandes doses de compost ont eu une supériorité par rapport au témoin tout étant inférieures à l'engrais NPK 15-15-15. Ceci serait dû au phénomène bien connu qui se déroule dans le sol ayant une activité microbiologique.

En effet, il est connu qu'en cas de déficit d'azote et de fumure minérale dans le sol, le compost fonctionne surtout comme une réserve d'éléments nutritifs pour la microflore et secondairement pour la plante (FELLER *et al.*, 1981) ; ainsi, notre compost issu des déchets ménagers étant pauvre en azote (0,95 %), une bonne part de cet azote aurait servi en premier lieu à l'entretien de l'activité microbienne du sol et trop peu de cet azote serait absorbé par les plants d'amarante. Néanmoins, nous pouvons supposer qu'en dehors de cette faible absorption supposée de l'azote au niveau des parcelles ayant reçues les deux grandes doses de compost, ces dernières auraient, comme amendement organique,

probablement joué un rôle positif sur les propriétés physiques du sol, d'où leur supériorité sur les parcelles témoins.

En effet, il est connu que les matières organiques, à l'instar des composts, améliorent la structure des sols, augmentent la capacité de rétention en eau et des nutriments du sol, elles stimulent donc l'activité microbienne et augmentent le rendement des cultures (CRICHTON *et al.*, 2000 ; LAOS *et al.*, 2000 ; DOUGLAS *et al.*, 2003 ; KOWALJOW et MAZZARINO, 2007).

Au regard de l'évolution des valeurs moyennes de la hauteur des plants, du diamètre au collet et du nombre de feuilles initié par plant, il y a lieu d'émettre l'hypothèse selon laquelle les doses séquentielles du compost auraient entraîné, sur la croissance végétative des plants d'amarante, des effets positifs proportionnels aux doses utilisées dans notre expérimentation. Il est probable qu'au cours de la conduite de nos essais, la dose optimale du compost n'avait pas été atteinte compte tenu de l'évolution progressive des valeurs moyennes des paramètres de croissance végétative en fonction des doses séquentielles du compost. Ce qui converge vers la troisième loi de la fertilisation, celle des accroissements moins que proportionnels (GROS, 1983 ; DUGUÉ et GIGOU, 2002).

Quant aux différences significatives constatées entre les quatre zones agroécologiques pour tous les divers paramètres de croissance mesurés, elles seraient ainsi dues à la fois aux conditions topographiques, édaphiques et microclimatiques propres à chaque zone agroécologique. Les conditions climatiques, qui prévalaient lors de la conduite des essais, caractérisées par de fortes pluies auraient joué désagréablement sur la croissance végétative des plantes d'amarante dans certains sites de la Ville de Butembo, tel a été le cas pour les sites Horizon et ITAV.

En effet, l'amarante est une culture qui se plaint de l'excès d'eau dans le sol qui crée l'asphyxie des racines entraînant l'arrêt de la croissance des plants et la chlorose des feuilles (MAZOYER, 2005). Par contre, cette contrainte hydrique serait atténuée dans les sites de Wayene et de

l'ULPGL par la nature de leurs sols. Classés en fonction de leur couleur noirâtre, les sols de Wayene et de l'ULPGL ne sont pas du type ferralitique comme ceux de l'ITAV et de l'Horizon qui sont rougeâtres, une des caractéristiques des sols ferralitiques. En effet les sols ferralitiques sont reconnus par leur capacité d'échange cationique faible et une faible quantité de bases échangeables (MAZOYER, 2002). Ce qui entraîne une faible fertilité de ces sols.

Considérant ainsi les données compilées de quatre sites d'essai, les rendements moyens en biomasse d'amarante de 20,74 t/ha, 12,27 t/ha, 8,82 t/ha, 6,51 t/ha et 4,11 t/ha ont été observés respectivement dans les parcelles traitées par l'engrais minéral NPK 15-15-15, 40 t/ha, 30 t/ha, 20 t/ha de compost et parcelles non traitées. Ces résultats paraissent logiques, car le rendement en biomasse fraîche de l'amarante semble corrélér positivement avec les paramètres de croissance végétative, à savoir la hauteur des plants, le diamètre au collet, le nombre de feuilles initié par plant. Comme dit précédemment, l'azote joue un rôle de loin important dans le mécanisme de croissance (hauteur, diamètre, initiation foliaire et vigueur de la plante) des légumes feuilles, en général et de l'amarante, en particulier (KOUSSIHOUÈDÉ *et al.*, 2016).

Les différents résultats du rendement en biomasse obtenus lors de nos expériences sont inférieurs à ceux obtenus dans les grands centres maraichers de la République Démocratique du Congo où le rendement moyen en biomasse d'amarante oscille entre 3 et 4 kg/m² soit entre 30 et 40 t/ha selon le séjour dans le champ (FAO, 2010 ; MUZINGU, 2010). Par contre, nos rendements sont similaires à ceux obtenus par KOUSSIHOUÈDÉ et ses collaborateurs en 2016 au Bénin où des rendements moyens de 3,44 t/ha; 7,31 t/ha et 9,00 t/ha ont été récoltés respectivement sur les parcelles témoins non traitées par le compost, parcelles traitées avec 10 t/ha et parcelles traitées avec 20 t/ha de compost issu de la litière de volaille. Les rendements moyens en biomasse fraîche de l'amarante obtenus à l'issue de nos essais nous poussent à désavouer la première partie de l'hypothèse qui préconisait que « la plus forte dose de compost produit à partir des déchets ménagers

à Butembo pourrait entraîner un rendement en biomasse fraîche similaire à celui de l'engrais NPK 15-15-15 et une efficacité agronomique relative similaire à celui de l'engrais et supérieure à 75 % pour la culture de l'amarante, car elle agirait comme amendement organique susceptible d'influer positivement sur les propriétés physique, chimique et biologique des sols ».

Eu égard aux résultats de l'efficacité agronomique relative (EAR), comparativement aux autres traitements, la dose de 500 kg de l'engrais minéral NPK 15-15-15 a été efficace dans la production des feuilles d'amarante dans les quatre sites d'expérimentation. En effet, n'est considérée comme efficace qu'une dose d'engrais entraînant une efficacité agronomique relative supérieure 75 % (MOREL et FARDEAU, 1991).

Les doses de 30 t/ha et 40 t/ha de compost ont aussi induit une efficacité agronomique relative supérieure 75 % dans le site Horizon, mais en général cette valeur a été variable et inférieure à 75 % pour toutes les doses de compost dans les quatre sites d'essai. Ceci laisse à entrevoir que pour chacun des sites d'essai, il fallait une dose appropriée tenant compte des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols propres pour chaque site. Ceci est en connivence avec la suggestion de RUSHEMUKA et ses collaborateurs en 2014 qui suggéraient déjà que la recommandation d'un fertilisant aux agriculteurs doit être fondée sur une étude systématique des conditions locales incluant le besoin nutritionnel de la plante. Cette variation des rendements en biomasse d'amarante et celle de l'efficacité agronomique relative de différentes doses de compost et du NPK 15-15-15 pour un même traitement dans différentes zones agroécologiques étudiées seraient donc expliquées par l'existence de multiples paramètres propres à chaque zone agroécologique.

Au regard des résultats de l'efficacité agronomique relative obtenus dans cette étude, nous sommes en position d'infirmer la deuxième partie de l'hypothèse qui stipulait que : « la plus forte dose de compost produit à partir des déchets ménagers en Ville Butembo pourrait entraîner un

rendement en biomasse fraîche similaire à celui de l'engrais NPK 15-15-15 et une efficacité agronomique relative similaire à celui de l'engrais et supérieure à 75 % pour la culture de l'amarante, car elle agirait comme amendement organique susceptible d'influer positivement sur les propriétés physique, chimique et biologique des sols ».

Conclusion

Ce travail a été initié en vue d'évaluer les effets du compost sur le rendement et l'efficacité agronomique relative pour la culture d'amarante en Ville de Butembo. En définitive, pour la culture de l'amarante, les résultats obtenus ont globalement prouvé la supériorité de l'influence positive de la dose de 500 kg/ha de l'engrais N-P-K (15-15-15) par rapport aux trois doses de compost sur les différents paramètres végétatifs estimés au cours de l'étude. Toutefois, considérant les données compilées de quatre sites d'essai, on se rend compte que l'application de trois doses séquentielles de compost entraîne des effets positifs de plus en plus significatifs sur ces mêmes paramètres comparativement au témoin (parcelle non amandée ou non fertilisée). Le constat similaire a été obtenu pour le rendement en biomasse fraîche de l'amarante.

Au regard de ces constats, nous avons supposé que, dans le cas de notre travail, la dose optimale de compost n'a pas été atteinte et que si on évoluait avec d'autres doses séquentielles plus consistantes que celles expérimentées, on atteindrait ainsi une dose qui entraînerait un rendement maximum. Au-delà de cette dose, le rendement se stabiliserait ou même commencerait à baisser graduellement. Cela justifie probablement les faibles valeurs de l'efficacité agronomique relative pour les trois doses de compost expérimentées. Cet aspect des résultats ouvre la voie à une étude ultérieure qui pourra, dans la mesure du possible, vérifier l'hypothèse susmentionnée.

Loin de là, au contraire, le mieux serait de répéter dans le temps l'usage de ces intrants pour bénéficier de leurs effets résiduels dans le sol, surtout pour le cas du compost produit à partir des déchets organiques ménagers qui, s'ils ne sont pas pris en charge, resteront une menace, une nuisance, un danger...pour l'homme dans son environnement.

Références bibliographiques

- AUDRY MUKE, MBAYAME CHRISTOPHER ASANZI et RUHEBUZA KIJANA, (2019), *Usage approprié des engrais dans la production du haricot commun (Phaseolus vulgaris) dans les régions tropicales humides de l'est de la République Démocratique du Congo*. Afrique SCIENCE 15(3) (2019) 176-189 176 ISSN 1813-548X,
- ANOTOU M. (2015). *Étude comparée entre les deux systèmes d'irrigation sur la culture de l'amarante (Amaranthus hybridus) goutte à goutte et non goutte à goutte*. Mémoire de fin de formation, UNIVERSITÉ Marien Ngouabi, Brazzaville. 50p
- BAITILWAKE, M.A, S. DE BOLLE, J. SALOMEZ, J. P. MREMA, S. DE NEVE, 2011: *Effect of organic fertilizers on nitrate accumulation in vegetables and mineral nitrogen in tropical soils of Morogoro, TANZANIA. expl agric., volume 48 (1): 111–126.*
- BIAOU O.D.B., SAIDOU A., BACHABI F-X., PADONOU G.E., et Balogoun I., (2017). *Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (Daucus carota L.) sur sol ferrallitique au sud Bénin*. Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(5): 2315-2326
- BAUDOUIN, J.P., VANDERBORGHT, T., KIMANI, P.M. ET MWANGOMBE, A. W. (2001). *Légumes à grains : Haricot*. In : Raemaekers R. H. (éditeur), 2001. *Agriculture en Afrique tropicale*, Bruxelles, Belgique : DGCI (Direction Générale de la Coopération Internationale), MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES, DU COMMERCE EXTÉRIEUR ET DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE, 317-334.

- CABURET A ET HEKIMIAN C.L., (2006). *Les légumineuses à graines. Mémento de l'agronome*, CIRAD- GRET Ministère des Affaires étrangères, FRANCE, 866-868.
- CABURET, A., P. DALY, P., DE BON, H., J. HUAT J., C. LANGLAIS, C., LYANNAZ, J.P. ET RYCKEWAERT P. (2006). LÉGUMES. IN MEMENTO DE L'AGRONOME. CIRAD-GRET, PARIS.
- CHAMBERLAND E., (1982). *Prédiction des besoins en engrais N, P et K des légumes cultivées en sol minéral : pois et haricot*. CANADIAN JOURNAL SOIL OF SCIENCE 62 (4): 663-672.
- CHAVES, B, S. DE NEVE, L.M. PIULATS, P. BOCKX, O. VAN CLEEMPUT, G. HOFMAN, 2007: *Manipulation the N release from Nrich crop residues by using organic wastes on soils with different textures.* , SOIL USE AND MANAGEMENT, 23:212-219.
- CLAUDE L., (1989), *Guide Claude, Traité des travaux du jardinage*, L Claude : SOCIÉTÉ ANONYME LA GRAINE D'ÉLITE, 215P.
- CRICHTON L, SHRAMA A, HEWETT SS, ORTEGA LB. (2000). *Report of Resource Recovery Forum. Recycling Achievements in Euope*. ELLESEMERE PRESS: SKIPON NORTH, YORKSHIRE; 44.
- CLÉMENTINE (2018). *L'amarante, pour ses délicieuses graines et ses feuilles*
- COOKE, F.C., (1947). *Intensive gardening in a P.O.W. camp*. Mai. AGRIC. J. 30:19-26.
- DAGNELIE P. (2011), *Statistique théorique et appliquée. Tome 2, Inférence statistique à une et à deux dimensions*. BRUXELLES, DE BOECK, 736P.
- DAGNELIE P. (2012), *Principes d'expérimentation : Planification des expériences et analyse de leurs résultats*. GEMBLoux, PRESSES AGRONOMIQUES, 413P.
- DAGNELIE P. (2013), *Statistique théorique et appliquée. Tome 1, Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique*. BRUXELLES, DE BOECK, 515P.
- DE NEVE S, GAONASAE'Z S, CHAVE B, SLEUTEL S, HOFMAN G. (2004). *Manipulation N Mineralization from high N crop residues using on-and off farm organic materials*. SOIL BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY, 36: 127-134.

- DESLAURIERS G., (2014), *Méta-analyse d'essais de fertilisation N, P et K sur le haricot et le pois*. MÉMOIRE DE MAITRISE EN SOLS ET ENVIRONNEMENT, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC, CANADA, 88P.
- DOUGLAS JT, AITKEN MN, SMITH CA. (2003). *Effects of five non-agricultural organic wastes on soil composition and on the yield and nitrogen recovery on Italian ryegrass*. SOIL USE MAN., 19: 135-138.
- DEL CASTILLO C., GRÉGORY M. ET WINKEL T., (2008). *Le quinoa en Bolivie : une culture ancestrale devenue culture de rente " bio-équitable "*. BIOTECHNOL. AGRON. SOC. ENVIRON., 12 (4): 421-435.
- DISLAURIERS G., (2014). *Méta-analyse d'essais de la fertilisation N, P et K sur le haricot et le pois*. MÉMOIRE DE MAITRISE, UNIVERSITÉ LAVAL, QUÉBEC, CANADA, 73P.
- DUGUÉ P., ET GIGOU J, (2002), *Gestion de la fertilité*, In *Memento de l'Agronome*, GRET, CIRAD, Ministère des Affaires étrangères, PARIS, 600-641
- DUPLESSIS J., *Le compostage facilité : guide sur le compostage domestique*, NOVA ENVIROCOM QUÉBEC 2002, 110P
- FAO. (2010). *Développement des villes plus vertes en République Démocratique du Congo*. FAO, ROME, ITALIE, 35P
- FELLER, C., F. GANRY, M. CHEVAL, 1981 : *Décomposition et humification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. I. Influence d'une fertilisation azotée (urée) et d'un amendement organique (compost) sur la répartition du carbone et de l'azote dans différents compartiments d'un sol sableux*. AGRONOMIE TROPICALE 36(1) : 9-17.
- GALLAS A. ET BENNFORT H., 1992. *Amélioration des espèces végétales cultivées, objectifs et critères de la sélection-* PARIS. ED : INRA. PP75-142.
- GEPTS P. (1990). *Biochemical Evidence Bearing on the Domestication of Phaseolus (Fabaceae) Beans*. I ECONOMIC BOTAN. 44(3): 28-38.
- GROS, A., (1983). *Engrais: guide pratique de la fertilisation*. 7ème édition revue et complétée. LA MAISON RUSTIQUE. PARIS, FRANCE, 382 P.
- GRUBBEN G.J.H., (1975). *La culture d'amarante légume-feuille tropical*. Section de Phytotechnie Tropicale, INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE, WAGENINGEN, PAYS BAS. 230P.

- HALLOUIN I., (2012). *Tout savoir sur la culture du Haricot. Fiche culturelle du haricot*. CHAMBRE D'AGRICULTURE DES BOUCHES DU RHÔNE, 16p.
- HOLDSWORTH, M., (1959). *A trial of some local soils in Ghana as potting composts*. J. W. AFR. SEL. ASS. 5: 57-63.
- JUANMORUA, R. (2015). *L'Amarante dans les barres nutritives en France*, PROJET PROFESSIONNEL-RAPPORT. 50P
- JONGEN, P. 1970. *Carte des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi*. 26. Nord-Kivu et région du lac Edouard. A. Notice explicative de la carte des sols. BRUXELLES : INEAC, 1970. 78 p.
- KANYENGA L.A., KASONGO L.M., KIZUNGU V.R., NACHIGERA M.G. & KALONJI M.A., (2016). *Effect of climate change on common bean (Phaseolus vulgaris) crop production: determination of the optimum planting period in midlands and Highlands zones of the Democratic Republic of Congo*. GLOBAL JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH AND REVIEWS, 4 (1): 190-199.
- KONÉ B, SAIDOU A, CAMARA M ET DIATTA S., (2010). *Effet de différentes sources de phosphate sur le rendement di riz sur sols acides*. AGRONOMIE AFRICAINE 22:55-63.
- KONE B., ETTIEN J.B., AMADJI G.L., DIATTA S. ET CAMARA M., (2010) *Effets d'engrais phosphates de différentes origines sur la production rizicole pluviale des sols acides en zone de forêt semi-montagneuse sous climats tropicaux : Cas des hyperdystric ferralsols sous jachères en Côte d'Ivoire*. ETUDE ET GESTION DES SOLS, 17 (1) (2010) 7 – 17
- KOUSSIHOUËDÉ H.K.I., ASSOGBA-KOMLAN F., AHOLOUKPÈ N.S.H ET AMADJI L., (2016). *Influence comparée de la litière de volaille et des déjections compostées de petits ruminants sur la productivité de l'amarante (Amaranthus cruentus L.) sur terre de barre au Sud-Bénin*. BULLETIN DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE DU BÉNIN (BRAB), NUMÉRO 80: 14-23
- KOWALJOW E, MAZZARINO MJ. (2007). *Soil restoration in semarid Patagonia: chemical and biological response to different compost quality*. SOIL BIOLOGICAL. BIOCHEMISTRY, 39: 1580-1588.
- LAHCEN E.Y., (2013). *Durabilité d'un système de cultures non conventionnel irrigué par les eaux usées traitées dans la région d'Agadir*. MÉMOIRE DE DOCTORAT, UNIVERSITÉ IBN ZOHR. 161P

- LAOS F, SATTI P, WALTER I, MAZZARINO MJ, MOYANO S. (2000). *Nutrient availability of composted and non-composted residues in a Patagonia Xeric Mollisol*. BIOL. FERT. SOIL., 31: 462- 469.
- LAW-OGBOMO, K.E., AJAYI, S.O., 2009: *Growth and Yield Performance of Amaranthus cruentus: Influenced by Planting Density and Poultry Manure Application*, *Notulae Botanicae Horti AGROBOTANICI CLUJ-NAPOCA* 37 (1), 195-199.
- LEXANDER, K., R. CARLSSON, V. SCHALEN, A. SIMONSSON ET T. LUNDBORST, (1970). *Quantities and qualities of leaf protein concentrates from wild species grown under controlled conditions*. ANN. APPL. BIOL. 66: 193-216.
- LINDERMANN W.C., ET GLOVER C.R., (1990). *Nitrogen fixation by legumes*.
- MAERERE, A.P., G.G. KIMBI, D.L.M. NONGA, 2001: *Comparative effectiveness of animal manures on soil chemical properties, yield and root growth of amaranthus (Amaranthus cruentus L.)*, AJST, VOL.1, N° 4: 8 p.
- MAKUS, D.J., 1986: *Vegetable amaranth response to nitrogen fertility under moderately low and very low residual soil phosphorus levels*. HORTSCIENCE (21):687-697.
- MAZOYER M., (2002). *Larousse agricole*. Éd. LAROUSSE, PARIS, FRANCE, 887p.
- MBUKULA, M., MATONDO, N.K., BURUCHARA, R., RUBYOGO, J.C., LUNZE L., NITUMFUIDI, S. ET MATUTA, S. (2018). *Influence des différentes doses d'engrais minéraux et des fréquences d'arrosage sur le rendement du haricot commun (Phaseolus vulgaris L.)*. INTERNATIONAL JOURNAL OF DEVELOPMENT RESEARCH VOL. 08, ISSUE, 07, pp.21677-21686.
- MOREL C. AND FARDEAU J.C, (1991), *Phosphorus Bioavailability of Fertilizer: A Predictive Laboratory Method for Its Evaluation*. FERT. RES., 28 (1991) 1 – 9
- MULUMEKONE J.R., (2017). *Étude comparative de l'influence de l'engrais chimique NPK et le fumier de ferme sur le rendement et la croissance du haricot nain à Mulungu*. INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH VOL. 32: 199-209.

- MUZINGU BL., (2010). *Les sites maraichers coopératives de Kinshasa en RD Congo : Contraintes environnementales et stratégies des acteurs*. THÈSE DE DOCTORAT, UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN, 199P.
- NYABYENDA P., (2005). *Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique : Généralités, Légumineuses alimentaires, Plantes à tubercules et racines, Céréales*. PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux, BRUXELLES, 225P.
- NZUNGIZE R.J., (2012). *Identification of Pythium species inducing common bean (Phaseolus vulgaris L.) root rot symptoms and development of backcrosses to improve the level of varietal resistance to this disease, these de Doctorat, Sciences Agronomiques et Ingénierie biologique*, UNIVERSITÉ DE LIEGE GEMBLoux AGROBIO TECH, BELGIQUE, 119P.
- O'BRIEN G.K., AND PRICE M.L. (2008). *Amaranth, grain and vegetable types*. ECHO TECHNICAL NOTER, 50P.
- OGNALAGA M.N GINO BOUSSIENGUI-BOUSSIENGUI, PHERLA ICHIDA OYANADIGUI ODJOGUI. (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, 2015. VOL.24, ISSUE 3: 3843-3853
- OKOKOH, S.J., BISONG, B.W., 2011: *Effect of poultry manure and urea-n on flowering occurrence and leaf Productivity of Amaranthus cruentus*. JOURNAL OF APPLIED SCIENCES AND ENVIRONMENT MANAGEMENT. VOL. 15 (1):13 – 15.
- OLANIYI JO, AKANDI WB, OLANIRAN OA AND ILUPEJU OT., (2010). *The effect of organomineral and inorganic fertilizers on the growth, fruit yield, quality and chemical compositions of okra*. JOURNAL OF ANIMAL & PLANT SCIENCE 9: 1135-1140.
- OLUFOLAJI, A.O., 1989: *Response of four Amaranthus cultivars to nitrogen levels and harvesting methods*. TESTS AGROCHEMICALS (10): 166-167.
- OLUJIDE, M.G., OLADELE, O.I., 2007: *Economics of Amaranthus Production under Different NPK Fertilizer Regimes*, BULGARIAN JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE, 13 (2007), 225-229.

- PIERI C, (1989). *Fertilité des terres en savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. MONTPELIER, CIRAD-IRAT, 444p.
- POMEROL, C. ET RENARD, M., (1997). *Eléments de Géologie*. 11ème éd. PARIS, MASSON, 615 P.
- PRIYA, V.P., V.A. CELINE, C. GOKULAPALAN, L. RAJAMONY, 2007: *Screening amaranth genotypes (Amaranthus spp.) for yield and resistance to leaf blight caused by Rhizoctonia solani Kuhn*. PGR Newsletter, FAO, BIOVERSITY, ISSUE N°147, 1-4.
- PROGRAMME CONVERGENCE RURALE (PCR). (2013). *Projet Amarante et Aubergine en Mauricie*/ORGANISME GVDRD NORD-SUD. 5P
- RAMACHANDRA, H.A., THIMMARAJU, K.R., 1983: *Effect of different levels of nitrogen and phosphorus on growth components and yield of amaranthus (Amaranthus gangeticus L.) cv'A-25'*. MYSORE JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCES, 17, 158-164.
- RUSHEMUKA, N.P., BIZOZA, R.A., MOWO J.G., BOCK L., (2014). *Farmers' soil Knowledge for Effective Participatory Integrated Watershed Management in Rwanda: towards soil-specific fertility management and farmers' judgmental fertilizer use*. AGRIC. ECOSYST. AND ENVIRON, 183: 145 - 159
- ROMAIN R. H., (2001). *Agriculture en Afrique tropicale, Bruxelles, Belgique : DGCI (Direction Générale de la Coopération Internationale), Ministère des Affaires Étrangères, du Commerce Extérieur et de la Coopération Internationale*
- SAHANI M., (2011), *Le contexte urbain et climatique des risques hydrologiques de la ville de Butembo (Nord-Kivu/RDC)*, Inédit, THÈSE, UNIVERSITÉ DE LIÈGE, 300p.
- SAHANI M., MOEYERSONS J., VANDECASTEELE I., TREFOIS P. ET OZER P., (2012), *Évolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 à 2010*. IN GEO-ECO-TROP., N°36, p. 121-136.
- SAIDOU A, JANSSEN BH AND TEMMINGHOFF EJM., (2003). *Effets of soil properties and NPK fertilizer on maize yields and nutrients budgets on ferralitic soils in Souther Benin*. AGRICULTURE, ECOSYSTEMS AND ENVIRONMENT 100:165-273.

- SCHMIDT, D.R., (1971). *Comparative yields and composition of eight tropical leafy vegetables, grown at two soil fertility levels*. AGRON. J. 63: 546-550.
- SEBAHUTU A., (1988). *Résultats de la recherche sur la fertilisation du haricot au Rwanda. Actes du quatrième séminaire régional sur l'amélioration du haricot dans la région des grands Lacs*. CIAT AFRICAN WORKSHOP SERIES N°9, BUKAVU, ZAÏRE, pp81-89.
- TOGNETTI, C., M.J. MAZZARINO, F. LAOS, 2008: *Compost of municipal organic waste: effects of different management practices on degradability and nutrient release capacity*. SOIL BIOLBIOCH, 49:2290-2296.
- TORRES, M. (2004). *Légumes et céréales*. (EDS.), DELVILLE, PARIS, 104-108.
- VALIMUNZIGHA CH., AFOKA N. MBUSA H., (2019). *Détermination de la dose optimale de K₂O sur le rendement en tubercules de la culture de la pomme de terre (Solanum tuberosum L) à Butembo, Est de la RD Congo*. JOURNAL OF APPLIED BIOSCIENCES 144 : 14764-14772
- VYAKUNO, K., (2006). *Pression anthropique et aménagement rationnel des hautes terres de Lubero en RDC. Rapports entre société et milieu physique dans une montagne équatoriale, Tome I*, THÈSE, UNIVERSITÉ DE TOULOUSE II, DÉPARTEMENT DE GÉOGRAPHIE ET AMÉNAGEMENT, p.144
- WEBER J, KARCZEWSKA A, DROZD J, LIEZNAR M, LIEZNAR S, JAMROZ E, KOCOWIEZ A. (2007). *Agricultural and ecological aspects of sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts*. SOIL BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY, 39: 1294-1302.
- WINKEL T. (2009). *Le Quinoa : le succès bio équitable d'une plante ancestrale*. ACTUALITÉ SCIENTIFIQUE, 329: 2.