

Efficacité agronomique et phytotoxicité résiduelle d'amendements organiques à base de boues de vidange sèches et de substrats locaux sur les cultures de maïs (*Zea mays* L.) et de cotonnier (*Gossipium herbaceum* L.) au Burkina Faso

Alain Sabiriba Hema^{*1}, Bazoumana Koulibaly², Mamadou Traore¹, Kalifa Coulibaly¹ Basba Yanogo³, et Hassan Bismarck Nacro¹

⁽¹⁾Université Nazi Boni. Institut de Développement Rural. Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du sol. 01BP 1091 Bobo Dioulasso 01 (Burkina Faso). Email : hemaalain715@yahoo.fr

⁽²⁾Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles. Programme coton. 01 BP 864504 Ouagadougou (Burkina Faso)

⁽³⁾Ecole Nationale de Formation Agricole (ENAF). BP 130 Bobo Dioulasso (Burkina Faso).

Reçu le 04 novembre 2022, accepté le 14 décembre 2022, publié en ligne le 11 mars 2023

RESUME

Description du sujet. La pauvreté des sols est une contrainte majeure à l'intensification agricole. Les boues de vidange sèches (BVS) issues des dispositifs d'assainissement sont des potentiels amendements organiques et leur valorisation agricole constitue une option intéressante à explorer pour l'amélioration de la fertilité des sols.

Objectif. L'étude conduite en vase de végétation vise à évaluer sur le maïs (*Zea mays* L.) et le cotonnier (*Gossipium herbaceum* L.), l'efficacité agronomique et la phytotoxicité résiduelle de sept formules d'amendements organiques à base de BVS en combinaison avec le zinc, la chaux éteinte, la montmorillonite et le phosphate Naturel de kodjari ou le Burkina phosphate (BP).

Méthodes. Pour réaliser cette étude, sept amendements organiques à base de boues de vidange sèches (BVS) et de substrats locaux ont été formulés. Les boues utilisées avaient une durée de stockage d'au moins trois ans. Les substrats locaux utilisés en association avec les BVS étaient : le Burkina phosphate, l'argile montmorillonitique (argile du type 2/1), le zinc et la chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Le pH eau, la teneur en carbone, azote, phosphore, potassium, calcium, matière organique et en sel (salinité) des amendements ont été évalués. La phytotoxicité résiduelle des formules a été évaluée au 7^{ème} jour après la levée du maïs et du coton par la détermination du taux et de l'indice de germination, la longueur des racines et la biomasse aérienne fraîche en vase de végétation. Le test de Shapiro et celui de Tukey HSD ont été utilisés pour l'analyse des données.

Résultats. Les différentes formules d'amendements organiques ont montré une aptitude à la production végétale et n'ont pas révélé de phytotoxicité résiduelle préjudiciable tant sur le maïs que sur le cotonnier. Au 7^{ème} jour après la levée, le taux de germination (Tg) a significativement varié entre les formules d'amendement organiques et d'une culture à une autre ($p < 0,05$). La formule F4 constituée de BVS (70,00 %), du phosphate naturel (1,50 %), d'argile (27,50 %), de la chaux (0,50 %) et du zinc (0,50 %) a permis une augmentation du taux de germination de 12,96 % et de 15,81 % respectivement pour *Z. mays* et *G. herbaceum*, par rapport à la formulation témoin F0 (95,00 % BVS + 2,50 % $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + 2,50 % zinc).

Conclusion. Ces résultats montrent que les BVS traitées par le phosphate naturel et l'argile peuvent servir d'amendements organiques pour la culture du cotonnier et du maïs.

Mots-clés : Boues de vidange sèches, phytotoxicité, coton, maïs, Burkina Faso.

ABSTRACT

Agronomic efficacy and residual phytotoxicity of organic amendments based on dry faecal sludge and local substrates on corn (*Zea mays* L.) and cotton (*Gossipium herbaceum* L.) crops in Burkina Faso

Subject description. Soil poverty is a major constraint to agricultural intensification. Dry faecal sludge (DFS) from sewage systems are potential organic fertilizers. Their agricultural valorization is an interesting option to explore for the improvement of soils fertility.

Objective. The study, conducted in a vegetation vase, aims to evaluate the agronomic efficiency and residual phytotoxicity of seven formulas of organic amendments based on DFS in combination with zinc, slaked lime, montmorillonite and natural kodjari phosphate or Burkina phosphate (BP) on corn (*Zea mays* L.) and cotton (*Gossipium herbaceum*).

Method. The pH-water, carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, organic matter and salinity of the amendment formulas were evaluated. Residual phytotoxicity of the formulas was assessed on day 7 after release by determining germination rate and index, root length and fresh aboveground biomass on *Z. mays* L. and *G. herbaceum* in a growing vase. Shapiro's test and Tukey HSD test were used for data analysis.

Results. The different organic amendment formulas showed suitability for plant production and did not reveal detrimental residual phytotoxicity on both the corn and cotton plants. At day 7 after release, germination rate (Tg) varied significantly between formulas and across crops ($p < 0.05$). The F4 formula consisting of BVS (70.00 %), natural phosphate (1.50 %), clay (27.50 %), lime (0.5%) and zinc (0.50 %) resulted in an increase in germination rate of 12.96 % and 15.81 % for *Z. mays* and *G. herbaceum*, respectively, compared to the F0 control formula (95% BVS + 2.50 % Ca(OH)₂ + 2.50 % zinc).

Conclusion. The results show that DFS treated with phosphate rock and clay can be used as organic fertilizers on cotton and corn crops.

Keywords : Dry faecal sludge, phytotoxicity, cotton, corn, Burkina Faso.

1. INTRODUCTION

Au Burkina Faso, la production agricole est assurée par des petits agriculteurs ayant un accès limité aux fertilisants organiques et minéraux (Traoré *et al.*, 2019). En outre, la durabilité de la plupart des exploitations agricoles est compromise par un faible recyclage des résidus de cultures et une mauvaise intégration de l'agriculture - élevage (Sanon *et al.*, 2014). Il en résulte un faible niveau de production et d'application des fertilisants organiques dans les exploitations familiales ; ce qui affecte la productivité des sols et les expose à une dégradation rapide (Coulibaly *et al.*, 2018).

La forte concurrence sur les substrats traditionnels de production de compost est une contrainte qui hypothèque sérieusement la production de fertilisants organiques ; cela a des répercussions négatives sur la gestion durable de la fertilité des sols et des systèmes de production agricole. Pour pallier à ces contraintes, des investigations basées sur la mise au point des fertilisants organiques à base de substrats physiquement disponibles et économiquement accessibles, ont été menées (Traoré *et al.*, 2015). Cependant, même si ces substrats sont disponibles, leurs méthodes d'incorporation présentent une faible efficacité (Diallo *et al.*, 2019).

De par leurs caractéristiques physico-chimiques et leur disponibilité, les boues de vidange sèches (BVS) sont des substrats potentiels pour la production d'amendements organiques. En effet, les BVS qui ont fait l'objet de cette investigation ont des teneurs élevées en matières minérales et organiques d'une part et d'autre part, ne présentent pas de risques de pollution aux métaux lourds du sol (Koné *et al.*, 2016 ; Lo *et al.*, 2019 ; Héma *et al.*, 2022).

Pour ce qui est de leur disponibilité physique, il existe un fort potentiel de production de boues du fait de l'augmentation de la population urbaine, de l'existence de stations de traitement de BVS dans certaines grandes villes du pays comme Bobo Dioulasso et Ouagadougou (Rochery et Gabert, 2012 ; Koné *et al.*, 2016). Dans ces stations de

traitement, le processus d'assainissement se limite seulement à l'assèchement et au stockage des BVS (Soumbougma *et al.*, 2020). Par ailleurs, l'utilisation directe des BVS en Afrique sub-saharienne est souvent confrontée à des contraintes telles que la forte acidité, la minéralisation rapide de la matière organique et la faible teneur en éléments majeurs comme le phosphore et le potassium dans ces substrats (Niang *et al.*, 2012 ; Strande *et al.*, 2014 ; Héma *et al.*, 2022).

La présente étude a été initiée dans l'optique d'évaluer l'efficacité agronomique et la phytotoxicité résiduelle des amendements organiques à base de boues de vidanges sèches et de substrats locaux accessibles, avant leur application à grande échelle en plein champs.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation du site de collecte et échantillonnage des boues de vidange sèches

Les boues de vidange utilisées comme substrat de base dans la formulation des fertilisants organiques ont été collectées à la station de Dogona située dans la commune de Bobo Dioulasso à l'Ouest du Burkina Faso. Cette station a une capacité de 250 m³/jour pour les boues de vidange et 850 m³/jour pour les eaux usées. Elle est constituée de 60 lits de séchage non plantés et s'étend sur une superficie de 3,42 ha (Défo *et al.*, 2015).

Les boues de vidange avaient une durée de stockage supérieure ou égale à trois ans ; avec un taux de siccité variant entre 70 à 80 % après un temps de séjour de 21-30 jours dans les lits de séchage non plantés. Un tri manuel a été effectué en vue de débarrasser les boues d'impureté comme les sachets plastiques, les morceaux de cailloux et de fer. Selon Héma *et al.* (2022), ces boues de vidange sont très acides, avec des valeurs de pH_{H2O} de 5,96 et des teneurs en métaux lourds non préjudiciables à l'agriculture (Tableaux 1 et 2). Pour la collecte des boues, trois points de prélèvement ont été effectués, dont un au centre du tas et les deux autres de part et d'autre de la périphérie. Pour chaque point de

prélèvement, l'échantillonnage a été fait jusqu'au fond après quatre à six prélèvements. Les échantillons prélevés ont été mélangés pour

constituer un échantillon composite utilisé pour les différentes formulations.

Tableau 1. Composition physico-chimique des boues de vidange séchées d'au moins 3 ans (BVS \geq 3 ans) de la station de Dogona (Héma *et al.*, 2022)

	pH _{H2O}	K Total (mg.kg ⁻¹)	P Total (mg.kg ⁻¹)	Ca (mg.kg ⁻¹)	Mg (mg.kg ⁻¹)	MO (%)	N Total (%)	Rapport C/N
BVS \geq 3 ans	5,96 \pm 0,4 5	781,34 \pm 33,07	14234,32 \pm 3442,41	8978,98 \pm 2798,18	2432,56 \pm 35,55	40,97 \pm 9,99	2,22 \pm 0,56	10,74 \pm 0,11

Tableau 2. Caractéristiques toxicologiques des boues de vidange sèches de la station de Dogona (Héma *et al.*, 2022)

ETM	Teneurs (mg/kg)	Normes d'usage agricole (Brouzes et Chauvière, 2009)
Cuivre	103,9 \pm 2,00	1750
Zinc	714,83 \pm 15,20	4000
Plomb	33,03 \pm 1,65	1200
Cadmium	1,46 \pm 0,11	40
Nickel	34,34 \pm 0,27	400
Chrome	771,15 \pm 18,36	1750

2.2. Formulation des amendements s organiques et évaluation de la phytotoxicité résiduelle

Sept amendements organiques à base de boues de vidange sèches (BVS) et de substrats locaux ont été formulés. Les boues utilisées avaient une durée de stockage d'au moins de trois ans. Les substrats locaux utilisés en association avec les BVS étaient : le Burkina phosphate, l'argile montmorillonitique (argile du type 2/1), le zinc et la chaux éteinte Ca(OH)₂. Le phosphate naturel utilisé provient du gisement de Kodjari, localisé dans la région Est du Burkina Faso et contenant en moyenne 25,00 % de P₂O₅ (dont seulement 0,03 % soluble dans l'eau) et 35 % de CaO (Lompo, 1993). La montmorillonite a été prélevée sur des sols bruns de la commune urbaine de Manga (11°40'12" Nord, 1°04'01" Ouest), dans la province de Zoundwéogo, région du Centre-Sud. Le zinc utilisé provient du gisement de Perkoa (12°14'49" Nord, 2°27'46" Ouest) dans la province du Sanguié, région du Centre-Ouest. La chaux éteinte, constituée d'hydroxyde de calcium (Ca(OH)₂) a été fournie par la Compagnie Villageoise d'Exportation Minière (COVEMI). Pour les formulations, les boues de vidange sèches ainsi que les substrats locaux ont été combinés à différentes proportions en fonction de chaque formule (tableau 3).

Tableau 3. Composition des différentes formules organiques

Traitements	Constituants				
	BVS (%)	BP (%)	Argile (%)	Ca(OH) ₂ (%)	Zinc (%)
F0	95,00	0,00	0,00	2,50	2,50
F1	80,00	2,00	15,00	1,00	2,00
F2	70,00	1,25	25,00	1,25	2,50
F3	95,00	1,00	0,00	1,00	3,00
F4	70,00	1,50	27,50	0,50	0,50
F5	80,00	2,00	15,00	2,00	1,00
F6	95,00	2,00	0,00	1,50	1,50

Légende : BVS (Boues de vidange séchées) ; BP (Burkina phosphate) ; Ca(OH)₂ (Chaux éteinte)

La phytotoxicité résiduelle des différentes formulations a été évaluée sur la variété de maïs « Barka » et sur le cotonnier (variété FK 37) en vase de végétation, dans des pots en plastique de 250 cm³. Pour se faire, les pots ont été remplis aux $\frac{3}{4}$ avec une masse de 500 g de chaque formulation organique et exposés à la température ambiante. Pour ce qui est de la conduite des essais, l'arrosage a été fait par aspersion avec un apport de 250 ml d'eau de robinet chaque 48 heures, à l'aide d'une seringue. Un scarifiage du contenu des pots a été effectué en vue

de permettre une bonne aération et une infiltration de l'eau. Pour plus de représentativité, quatre réplifications par type de formulation ont été effectués. Les paramètres suivants ont été mesurés ou calculés : le taux et l'indice de germination, la longueur des racines ainsi que la biomasse fraîche aérienne. La biomasse fraîche a été obtenue par pesée à l'aide d'une balance de précision et la longueur des racines a été mesurée à l'aide d'un triple décimètre gradué. Le taux et l'indice de germination ont été calculés selon la formule de

Zucconi *et al.* (1981) au septième jour après la levée:
 $Tg(\%) = \frac{Gg}{Gs} * 100$ avec, **Tg** : taux de germination, **Gg** : nombre de grains germés, **Gs** : nombre de grains semés. **Ig** ($\%^\circ = ((Gc/Gt) \times (Lc/Lt)) * 100$ avec, **Gt** : nombre de graines germées dans le cas du traitement témoin, **Gc** : nombre de graines germées dans le cas des autres traitements, **Lt** : longueur des racines dans le cas du traitement témoin.

2.3. Analyses physico-chimiques des différentes formules d'amendements organiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées selon les procédures décrites par Walinga *et al.* (1989). Le pH_{H2O} a été mesuré selon les normes ISO 10390 dans une solution de rapport formulation /eau de 1/5 (AFNOR, 1998). Le mélange a été agité pendant 10 minutes et laissé au repos durant 30 minutes avant la mesure du pH à l'aide d'un pH-mètre à électrode de verre. La conductivité a été mesurée dans le même mélange à l'aide d'un conductivimètre GLP 21 Grison muni d'une électrode de verre, selon la méthode décrite par Lo *et al.* (2019). Les teneurs en matières organiques des boues ont été déterminées par la méthode de calcination (APHA, 2005). Pour cela, les échantillons de boues ont été portés à 550 °C dans un four pendant cinq heures et leurs teneurs en matières organiques quantifiées par la formule [I] :

$$MO = (M_0 - M_1) / M_0 \text{ avec ;}$$

M₀ : masse de la formulation avant calcination, **M₁** : masse de la formulation après calcination.

La teneur en carbone organique a été déduite selon la formule [II] :

CO = MO/1,74 (Africompost, 2013), avec ; **M₀** : matière organique, **CO** : carbone organique.

En ce qui concerne la détermination des éléments totaux (azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium), les échantillons de chaque formulation ont été d'abord minéralisés par un mélange de H₂SO₄-Se-H₂O₂ pendant quatre heures. Ensuite, les teneurs en N et P ont été déterminées par la méthode de dosage colorimétrique pour P (Milin, 2012), et par spectrométrie proche infrarouge pour le carbone (ISO 10694) (AFNOR, 1995). Enfin, les teneurs en K, Ca et Mg ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme (De Oliveira *et al.*, 2000). Le rapport C/N a été calculé à partir des résultats d'analyses distinctes du carbone et de l'azote.

3.4. Analyses statistiques

Le tableur Microsoft Excel 2016 a été utilisé pour la saisie des données et la réalisation des graphiques. La base de données a été importée dans le logiciel R. 4.1.3 (R Core Team, 2022) pour les analyses statistiques. Le test de Shapiro a été utilisé pour vérifier la normalité des données, et le test de Tukey HSD pour la séparation des moyennes au seuil de probabilité de 5 %.

3. RESULTATS

3.1. Caractéristiques physico-chimiques des différentes formules de amendements organiques constitués

Les différentes formules mises au point ont présenté des valeurs du pH_{eau} dans la gamme de la neutralité. La formule F4 (70, 00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)₂ + 0,5% zinc) a eu la faible valeur de pH_{eau} (7,28 ± 0,11) tandis que la plus forte valeur (7,54 ± 0,09) a été induite par la formule F5 (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 2,00 % Ca(OH)₂ + 1,00 % zinc). Les teneurs en matière organique des formulations ont oscillé entre 16,58 ± 1,40 % et 44,34 ± 4,80 % respectivement pour le témoin F0 (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) et F4.

Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques des formules organiques à base de BVS

Traitements	pH _{H2O}	M. org (%)	N-total (%)	P-total (mg/kg)	K-total (mg/kg)	Rapport C/N
F0	7,32±0,03	16,66±0,05	1,66±0,12	9440,32±2,80	2547,18±2,50	16,82±0,21
F1	7,36±0,04	28,69±0,34	1,12±0,07	24106,94±9,90	2668,01±23,40	16,17±0,13
F2	7,37±0,04	22,95±0,15	0,78±0,03	25383,55±1,60	2693,30±4,62	17,23±0,15
F3	7,33±0,08	30,80±1,04	0,94±0,02	32457,59±24,90	2645,35±4,54	19,11±0,08
F4	7,27±0,03	44,89±0,34	0,86±0,05	25378,47±50,50	2561,34±24,01	16,57±0,30
F5	7,53±0,10	22,57±0,41	0,49±0,04	32254,44±35,00	2782,52±3,07	18,98±1,00
F6	7,48±0,05	21,54±0,17	0,76±0,02	39059,18±11,30	2743,03±2,87	16,96±0,08

Légende : M. org (Matière organique) ; C/N (Rapport carbone/azote)

F0 (95% BVS + 2,50 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) ; **F1** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 1,00 % Ca(OH)₂ + 2,00 % zinc) ; **F2** (70,00 % BVS + 1,25 % BP + 25,00 % Argile + 1,25 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) ; **F3** (95,00 % BVS + 1,00 % BP + 1,00 % Ca(OH)₂ + 3,00 % zinc) ; **F4** (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)₂ + 0,50 % zinc) ; **F5** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 2,00 % Ca(OH)₂ + 1,00 % zinc) ; **F6** (95,00 % BVS + 2,00 % BP + 1,50 % Ca(OH)₂ + 1,50 % zinc).

Les teneurs en phosphore ont varié entre 9440,32 mg/kg et 39059,18 mg/kg respectivement pour les formulations F0 (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) et F6 (95,00 % BVS + 2,00 % BP + 1,50 % Ca(OH)₂ + 1,50 % zinc). Pour ce qui est du potassium, la plus faible teneur a été observée avec la formulation F0 (9440,32 ± 2,80 mg/kg) et la plus forte avec F5 (39059,18 ± 11,30 mg/kg). Sur l'ensemble des sept formulations, le rapport d'équilibre trophique C/N a varié entre 16,17 ± 0,13 et 19,11 ± 0,08 respectivement pour F1 (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 1,00 % Ca(OH)₂ + 2,00 % zinc) et F3 (95,00 % BVS + 1,00 % BP + 1,00 % Ca(OH)₂ + 3,00 % zinc).

3.2. Phytotoxicité résiduelle des formulations organiques sur le maïs

Effets des formulations sur le taux et l'indice de germination du maïs

Les figures 1 et 2 mettent en exergue les effets des formules d'amendement organiques sur le taux de germination et l'indice de germination respectivement. Avec la formule F4 (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)₂ + 0,50 % zinc), le taux de germination du maïs (99,96 ± 0,18 %) a été significativement amélioré par rapport à la formule témoin F0 (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) avec un taux de 87,00 ± 2,00 % (Figure 1). L'adjonction du Burkina phosphate et de la montmorillonite respectivement à 1,25 % et 25,00 %, en présence de la chaux (12,50 kg/tonne de boues) et du zinc (30 kg/tonne de boues), au niveau de la formule d'amendement F4, a induit une augmentation du taux de germination de 14,89 % par rapport à F0 qui ne contenait ni d'argile ni du Burkina phosphate. La tendance globale a montré une augmentation du taux de germination proportionnelle à la quantité du Burkina phosphate et de l'argile combinés aux BVS. L'indice de germination a été significativement influencé par les différentes formules testées ($p < 0,05$), avec une valeur plus élevée avec la formule F4 (201,00 ± 1,10 %) ; laquelle valeur était significativement supérieure à celle de F0 (78,67 ± 0,45 %) (Figure 2). L'indice de germination a évolué suivant la même tendance que le taux de germination selon les quantités du Burkina phosphate et de la montmorillonite. La formulation F4 a induit une augmentation de l'indice de germination de 156,42 % par rapport à la formulation F0.

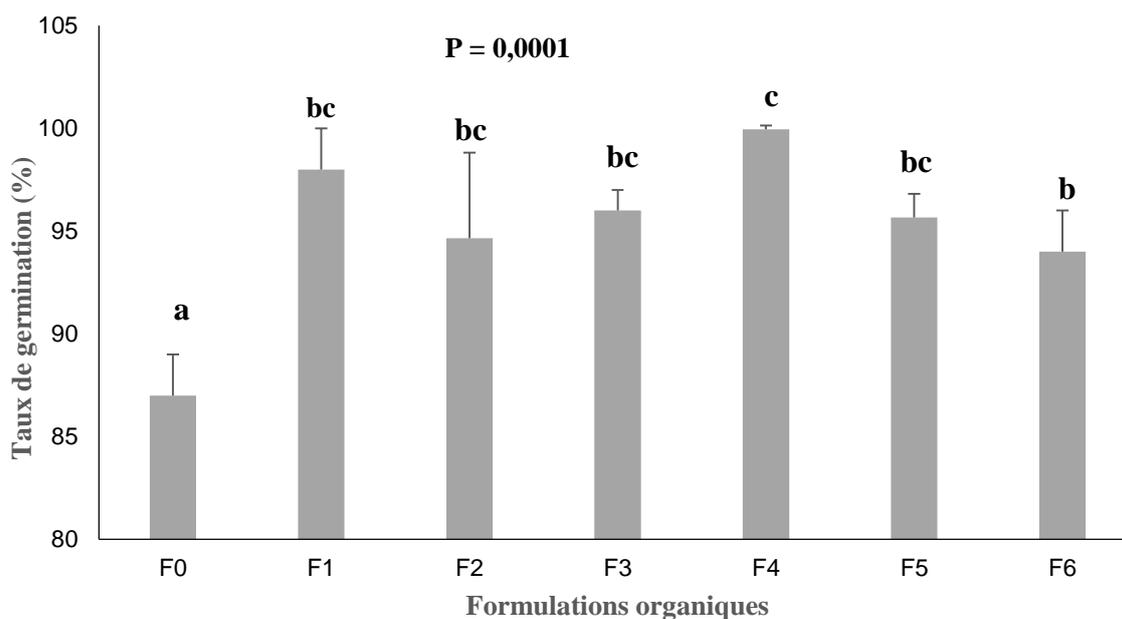


Figure 1. Variation du taux de germination du maïs en fonction des formulations

Légende : **F0** (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) ; **F1** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 1,00 % Ca(OH)₂ + 2,00 % zinc) ; **F2** (70,00 % BVS + 1,25 % BP + 25,00 % Argile + 1,25 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) ; **F3** (95,00 % BVS + 1,00 % BP + 1,00 % Ca(OH)₂ + 3,00 % zinc) ; **F4** (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)₂ + 0,50 % zinc) ; **F5** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 2,00 % Ca(OH)₂ + 1,00 % zinc) ; **F6** (95,00 % BVS + 2,00 % BP + 1,50 % Ca(OH)₂ + 1,50 % zinc).

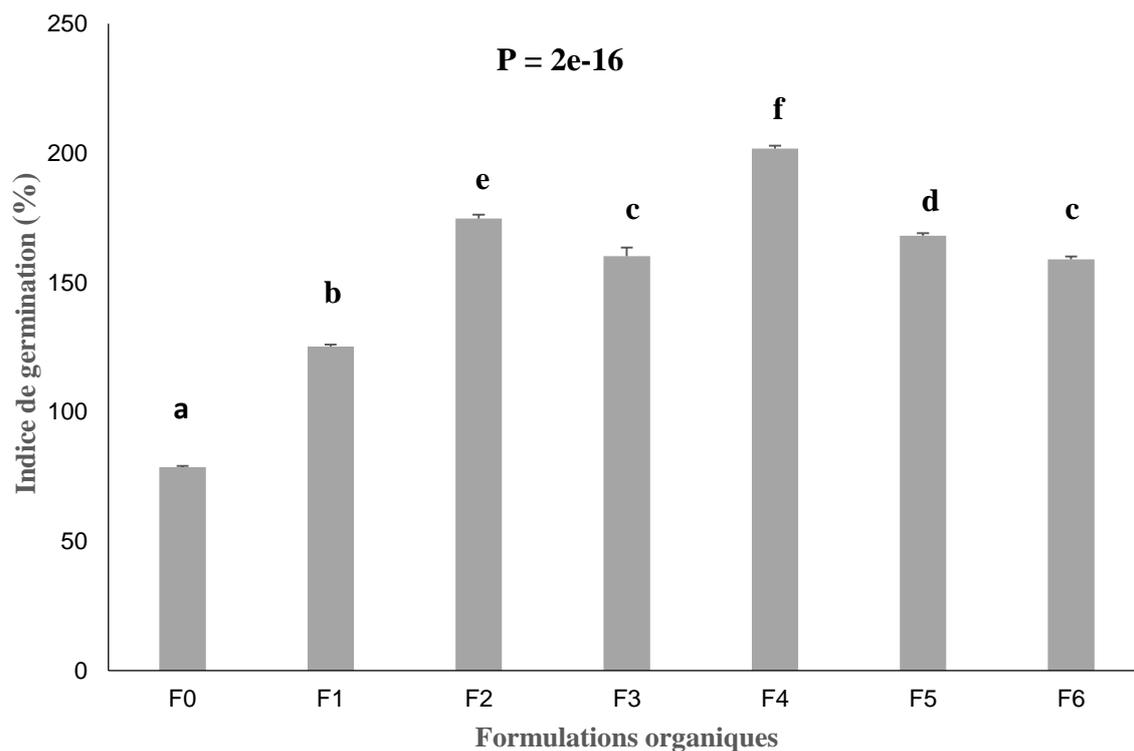


Figure 2. Variation de l'indice de germination du maïs en fonction des formulations

Légende : **F0** (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc) ; **F1** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 1,00 % Ca(OH)_2 + 2,00 % zinc) ; **F2** (70,00 % BVS + 1,25 % BP + 25,00 % Argile + 1,25 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc) ; **F3** (95,00 % BVS + 1,00 % BP + 1,00 % Ca(OH)_2 + 3,00 % zinc) ; **F4** (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)_2 + 0,50 % zinc) ; **F5** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 2,00 % Ca(OH)_2 + 1,00 % zinc) ; **F6** (95,00 % BVS + 2,00 % BP + 1,50 % Ca(OH)_2 + 1,50 % zinc).

Effets des formulations sur la croissance des racines et la production de biomasse fraîche du maïs

La longueur des racines a varié en fonction de la nature de la formulation organique. Cette variation a été significative ($p < 0,05$) entre la formulation témoin F0 (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc) qui a enregistré la plus faible valeur ($13,20 \pm 0,26$ cm) et la formulation F4 (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)_2 + 0,50 % zinc), la plus forte valeur ($23,65 \pm 1,72$ cm) (Figure 3). Cependant, aucune différence significative n'a été observée entre les formulations F0 et F1 d'une part, et d'autre part, entre F2, F3, F5 et F6 (Figure 3). Quant à la biomasse fraîche, aucune différence significative n'a été observée entre les formulations F1, F2, F3 et F6 ($p > 0,05$) ; cependant, la biomasse fraîche enregistrée au niveau de ces formulations reste significativement différente de celle observée au niveau de F0. Sur l'ensemble des sept formulations, la plus forte valeur ($36 \pm 1,52$ g) de la biomasse fraîche a été enregistrée avec la formulation F4 et la plus faible valeur ($22 \pm 2,00$ g) avec F0 (Figure 4).

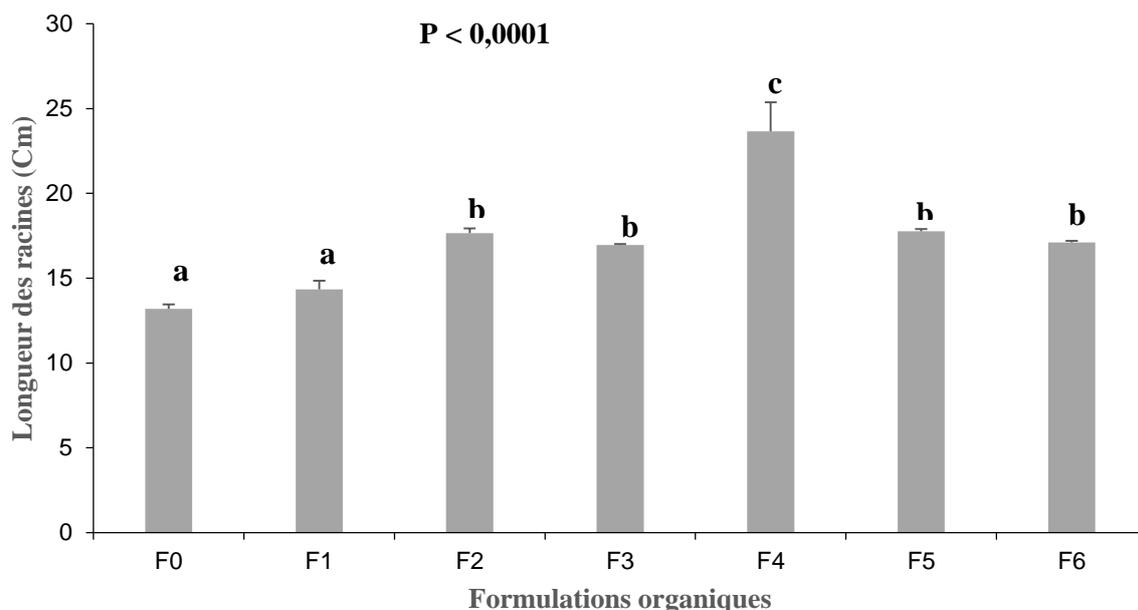


Figure 3. Variation de la longueur des racines du maïs en fonction des formulations

Légende : **F0** (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc) ; **F1** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 1,00 % Ca(OH)_2 + 2,00 % zinc) ; **F2** (70,00 % BVS + 1,25 % BP + 25,00 % Argile + 1,25 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc) ; **F3** (95,00 % BVS + 1,00 % BP + 1,00 % Ca(OH)_2 + 3,00 % zinc) ; **F4** (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)_2 + 0,50 % zinc) ; **F5** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 2,00 % Ca(OH)_2 + 1,00 % zinc) ; **F6** (95,00 % BVS + 2,00 % BP + 1,50 % Ca(OH)_2 + 1,50 % zinc).

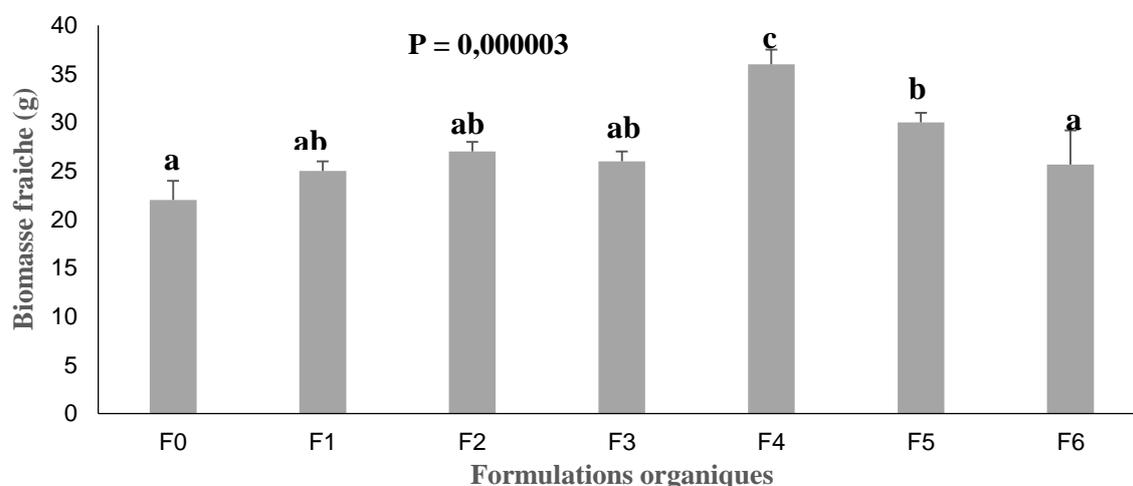


Figure 4. Variation de la biomasse fraîche du maïs en fonction des formulations

Légende : **F0** (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc) ; **F1** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 1,00 % Ca(OH)_2 + 2,00 % zinc) ; **F2** (70,00 % BVS + 1,25 % BP + 25,00 % Argile + 1,25 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc) ; **F3** (95,00 % BVS + 1,00 % BP + 1,00 % Ca(OH)_2 + 3,00 % zinc) ; **F4** (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)_2 + 0,50 % zinc) ; **F5** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 2,00 % Ca(OH)_2 + 1,00 % zinc) ; **F6** (95,00 % BVS + 2,00 % BP + 1,50 % Ca(OH)_2 + 1,50 % zinc).

3.3. Phytotoxicité résiduelle des formules d'amendements organiques sur le cotonnier

Le tableau 5 donne les variations du taux et l'indice de germination, la longueur des racines et la biomasse fraîche du cotonnier en fonction des différentes formulations des amendements. Le taux de germination a significativement varié entre les sept amendements organiques ; avec un maximum de ($87 \pm 0,65$ %) atteint avec la formulation F4 (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)_2 + 0,50 % zinc) et un minimum ($48,33 \pm 2,22$ %) avec la formulation F2 (70,00 % BVS + 1,25 % BP + 25,00 % Argile + 1,25 % Ca(OH)_2 + 2,50 % zinc).

Tableau 5. Phytotoxicité résiduelle des formulations sur le cotonnier

Traitements	Taux de germination (%)	Longueurs des racines (cm)	Indice de germination (%)	Biomasse Fraiche au 7 ^e JAL g/formulation
F0	68,31±5,80 ^{ab}	3,52±0,35 ^a	85,76±2,98 ^a	12,60±0,54 ^a
F1	73,85±5,97 ^{ab}	3,96±0,10 ^a	94,94±0,39 ^b	14,84±0,19 ^b
F2	68,11±1,02 ^a	7,38±0,08 ^b	174,35±0,98 ^e	17,19±0,18 ^c
F3	60,04±6,20 ^b	8,70±0,48 ^c	161,18±4,90 ^d	17,05±0,10 ^c
F4	81,14±12,20 ^{ab}	12,57±0,37 ^d	178,81±0,23 ^e	22,21±0,28 ^e
F5	68,40±1,51 ^{ab}	8,39±0,20 ^c	110,55±1,37 ^c	19,10±0,12 ^d
F6	73,15±5,33 ^{ab}	8,04±0,05 ^{bc}	112,42±1,55 ^c	16,82±0,61 ^c
Probabilité	0,0295	0,0001	0,0006	0,0005

NB : les moyennes d'une même colonne affectées des mêmes lettres ne diffèrent pas significativement selon le test de Tukey HSD au seuil de probabilité de 5 %.

Légende : **F0** (95,00 % BVS + 2,50 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) ; **F1** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 1,00 % Ca(OH)₂ + 2,00 % zinc) ; **F2** (70,00 % BVS + 1,25 % BP + 25,00 % Argile + 1,25 % Ca(OH)₂ + 2,50 % zinc) ; **F3** (95,00 % BVS + 1,00 % BP + 1,00 % Ca(OH)₂ + 3,00 % zinc) ; **F4** (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)₂ + 0,50 % zinc) ; **F5** (80,00 % BVS + 2,00 % BP + 15,00 % Argile + 2,00 % Ca(OH)₂ + 1,00 % zinc) ; **F6** (95,00 % BVS + 2,00 % BP + 1,50 % Ca(OH)₂ + 1,50 % zinc).

Le taux de germination du cotonnier a significativement ($p < 0,005$) varié entre les différentes formulations organiques, avec une valeur extrême inférieure observée au niveau de la formulation F0 (68,31 ± 5,80) et celle supérieure avec F4 (81,14 ± 12,20). Quant à l'indice de germination, la plus forte valeur a été enregistrée avec la formulation F4 (178,81 ± 0,23) et la plus faible valeur au niveau de la formulation F0 (85,76 ± 2,98) ; ces différences restent significatives au seuil de probabilité de 5 %. Aucune différence significative n'a été observée d'une part entre F5 et F6, et d'autre part, entre F2 et F4. Au 7^{ème} jour après la levée, la longueur des racines du cotonnier a atteint 12,57 ± 0,37 cm avec la formule F4, alors qu'elle ne dépassait pas 3,52 ± 0,35 cm au niveau de la formule F0, prise comme témoin ; soit une baisse de 28,00 %. La longueur d'enracinement était similaire pour les formules d'amendement F5 et F6. Pour ce qui est de la biomasse fraîche du cotonnier, elle s'est révélée plus importante au niveau de la formulation F4 (22,21 ± 0,28 g), et plus faible avec la formulation F0 (12,60 ± 0,54 g). Au niveau des deux cultures testées, les amendements organiques ont été plus efficaces sur le maïs, quel que soit le paramètre considéré. Parmi les sept formules d'amendements organiques testés, la phytotoxicité résiduelle la plus faible a été induite par la formule F4 et ce, quelle que soit la culture et le paramètre de phytotoxicité considéré.

4. DISCUSSION

4.1. Caractéristiques physico-chimiques des formulations organiques

Les formulations organiques se sont révélées faiblement acides à neutres (pH_{H20} 7,28 ± 0,11 à 7,54 ± 0,09). L'amélioration de l'acidité des formulations organiques par rapport à celles des BVS vis-à-vis de la production végétale serait imputable à la nature des substrats locaux adjoints aux BVS, notamment la chaux éteinte (Ca(OH)₂) et le Burkina Phosphate (BP). En effet, la chaux éteinte libère le CaO qui agit sur l'acide carbonique (H₂CO₃) des boues et neutralise progressivement les ions H⁺ ; ce qui entraîne une augmentation du pH_{H20} et par conséquent, une diminution de l'acidité. Par ailleurs, l'adjonction de ces deux substrats aurait permis la production des ions Ca²⁺ qui permettent une correction du pH_{H20}. Strande *et al.* (2014), ont mis en évidence l'efficacité de la chaux éteinte sur la réduction de l'acidité des boues de vidange brutes. La

teneur en matière organique (MO) des différentes formulations s'est révélée nettement supérieure à celle des BVS. Les fortes teneurs en MO des formulations s'expliqueraient par l'apport des substrats locaux qui auraient permis non seulement le renforcement des agrégats réduisant ainsi la minéralisation de la matière organique et d'autre ; mais aussi l'augmentation de la teneur en matière organique des formules de par leur présence.

Les différentes formules d'amendements organiques sont caractérisées par un rapport C/N élevé ; ce qui serait liée d'une part à l'action conjuguée des différents substrats locaux adjoints, laquelle action aurait permis la formation des complexes internes permettant de renforcer le complexe argilo-humique et par ricochet, la réduction de la vitesse de minéralisation de la matière organique. Par ailleurs, la faible biodégradabilité des différentes formules d'amendements serait imputable à une diminution de leur teneur en azote total, consécutive à une utilisation par les bactéries en présence ; ce qui entraîne une

augmentation du rapport C/N et par conséquent, une diminution de la biodégradabilité. Les facteurs tels que la diversité des matières premières impliquées dans le processus de formulation, les conditions climatiques et la durée de stockage des formulations, auraient influencé le processus de dégradation et d'humification des fertilisants organiques testés.

4.2. Effets des formulations organiques sur le taux et de l'indice de germination du maïs et du cotonnier

Le taux et l'indice de germination ainsi que la longueur des racines sont généralement les paramètres utilisés pour évaluer la phytotoxicité d'un substrat organique. Pour la présente étude, ces deux paramètres ont statistiquement varié au niveau du maïs et du cotonnier, en fonction des formules d'amendements organiques testés. Les effets des formulations organiques sur ces deux paramètres de la phytotoxicité résiduelle ont été plus efficaces sur le maïs par rapport au cotonnier. Parmi les sept formules d'amendements organiques, la formule F4 (70,00 % BVS + 1,50 % BP + 27,50 % Argile + 0,50 % Ca(OH)₂ + 0,50 % zinc) s'est avérée plus efficace sur le taux et l'indice de germination et ce, au niveau des deux spéculations. De façon globale, l'effet stimulateur des formulations pourrait s'expliquer par leurs caractéristiques physico-chimiques, lesquelles ont été propices à la germination. En effet, selon Kharmouz *et al.* (2013), le pouvoir stimulateur d'un substrat vis-à-vis de la germination dépend de sa disponibilité en eau et sa capacité de rétention des ions. L'amélioration du taux de germination par la formule F4 par rapport aux autres, serait liée à sa capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs du fait de sa teneur relativement élevée en argile (montmorillonite). Le faible effet stimulateur de la germination observé avec les différentes formulations sur le cotonnier, serait imputable soit à la qualité de la semence testée ou aux conditions du milieu d'expérimentation en occurrence la température du milieu et l'humidité du sol des pots ; lesquelles paramètres n'auraient pas été favorables à la germination et à la l'émergence du cotonnier. En effet, dans les conditions d'expérimentation, la température était maintenue à 25 °C, tandis que Parry (1982) préconise une température comprise entre 25 – 30 °C pour une bonne germination-levée du cotonnier.

4.3. Effets des formulations organiques sur la longueur des racines et la biomasse fraîche du maïs et du cotonnier

À l'instar du taux et de l'indice de germination, les formules de fertilisants organiques ont eu un effet significatif sur la longueur des racines et la biomasse

fraîche du maïs et du cotonnier. La bonne croissance racinaire observée sur le maïs avec l'ensemble des sept formulations serait liée d'une part à leur teneur en nutriments essentiels notamment le phosphore qui est indispensable à la croissance racinaire et d'autre part, à leur faible teneur en sodium (Na). Selon Richard (2002), un taux élevé de sels serait un facteur responsable de l'inhibition de la croissance racinaire de la plante, tandis que le phosphore favorise la croissance racinaire. La production importante de la biomasse enregistrée au niveau du maïs et du cotonnier avec la formulation F4 serait la conséquence d'un bon développement racinaire. En effet, la bonne production de la biomasse racinaire permet une bonne absorption de l'eau et des nutriments, une bonne photosynthèse et par conséquent, une production importante de la biomasse aérienne. Par ailleurs, le rapport d'équilibre trophique C/N, pourrait expliquer l'augmentation de la production de la biomasse au niveau de la Formulation F4. En effet, selon Diallo *et al.* (2019), ce rapport influe sur la dynamique d'évolution des microorganismes et de l'azote minéral du sol et par conséquent, sur les paramètres de rendement des cultures.

5. CONCLUSION

L'étude a montré que les boues de vidange sèches de la station de Dogona sont conformes aux normes d'usage agricole et peuvent être combinées aux substrats locaux tels que le Burkina phosphate, la montmorillonite, la chaux éteinte et le zinc pour leur valorisation agricole. Les différentes formules d'amendements organiques mises au point et testées n'ont présenté aucune phytotoxicité résiduelle sur le maïs et le cotonnier, car n'ayant pas inhibé ni la germination, ni la levée, ni la croissance des racines. Elles ont permis une bonne germination, un développement racinaire et une production importante de la biomasse aérienne pour ces deux cultures, avec une meilleure efficacité lorsque la quantité du phosphate naturel et d'argile (montmorillonite) augmentent dans la formule. Au regard de leurs performances agronomiques mises en évidence sur la croissance et le développement de la plante, une application directe de ces formules d'amendements organiques en plein champ est envisageable, tout en prenant en compte d'autres paramètres agronomiques et du sol.

Références

- AFNOR, 1995. *Sols : reconnaissance et essais*, 94 - 056.
- AFNOR, 1998. *Déchets - Essai de lixiviation*. XP X 31- 210.
- Africompost, 2013. *Protocole d'analyses obligatoires*. Disponible sur le site

http://wiki.laboratoirelca.com/index.php/NF_U_44-051 (consulté le 17 Décembre 2021).

APHA, 2005. *Standards Methods for Examination of Water and Wastewater (21st edn)*. American Public Health Association, American Water Work. Association Water Environmental Federation. Washington DC.

Coulibaly K., Gomgnimbou A. P. K., Traoré M., Sanon J. F. K. & Nacro H. B., 2018. Effets de l'agriculture de conservation sur la dynamique de l'eau et le stock de carbone d'un sol ferrugineux tropical à l'Ouest du Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées*, série 4, 273-282.

De Oliveira, M. Miyazawa M., Pavan M.A. & Ionashiro M., 2000. Gravimetric Determination of Soil Organic Matter. *Brazilian Arch. Biol. Technol.*, 43(5), 475-478

Défo C., Fonkou T., Mabou P.B & Nana P., 2015. Collecte et évacuation des boues de vidange dans la ville de Bafoussam, Cameroun (Afrique centrale). *La Rev. Electronique en Sciences de l'Environnement*, 15(1).

Diallo Mariama D., Bakary D., Papa Madiallacké D., Siré D., Touroumgaye G., Doelsch E., Aliou D. & Aliou G., 2019. Effets de l'application de différents fertilisants sur la fertilité des sols, la croissance et le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. dans la Commune de Gandon au Sénégal. *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 2(2), 7-15.

Héna S.A., Traoré M., Coulibaly K., Koulibaly B. & Nacro H.B., 2022. Agricultural Soil Fertilizing Potential of Dry Faecal Sludge from Treatment Plants in Burkina Faso. *Open Journal of Soil Science*, 12, 225-241. <https://doi.org/10.4236/ojss.2022.126010>.

Kharmouz M., Mohamed S., Saadi S. & Chafi A., 2013. Evaluation de la phytotoxicité et du stress salin des sols de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda : Bio-essais de laboratoire. *Les technologies de Laboratoire*, 8 (32), 63-70.

Koné M., Bonou L., Kouliadiati J., Joly P., Sodré S. & Bouvet Y., 2012. Traitement d'eaux usées urbaines par infiltration percolation sur sable et sur substrat de coco après un bassin anaérobie de lagunage sous climat tropical. *Revue des Sciences de l'Eau*, 25(2), 139-151.

Koné M., Emmanuelle S., Ouattara Y., Ouattara P., Bonou L. & Pierre Joly P., 2016. Caractérisation des boues de vidange dépotées sur les lits de séchage de Zagtouli (Ouagadougou). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(6), 2781-2795.

Lo M., Sonko M., Dieng D., N'diaye D., Diop C., Seck A. & Gueye M., 2019. Co-compostage de boues de vidange domestiques avec des déchets maraîchers et des déchets de poissons à Dakar (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 13(6), 2914-2929. Available online at <http://www.ifgdg.org>.

Lompo F., 1993. *Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso : Etudes des effets de l'interaction phosphates naturels-matières organiques*. Thèse de doctorat, Université nationale de Côte D'Ivoire, Côte D'Ivoire, 263 p.

Milin S., 2012. Comparaison de deux méthodes spectrophotométriques de dosage de l'acide phosphorique : Application à des sols et des végétaux. *Le cahier des techniques de l'INRA* (77), n°3.

Niang Y., Niang S., Niassy S., Dieng Y. & Gaye M.L., 2012. Urban agriculture in Senegal: effect of wastewater on the agronomical performance and hygien quality of tomato and lettuce. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 6(4), 1519-1526. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.11>.

Parry G., 1982. *Le cotonnier et ses produits*. Paris, France, Edition Maisonneuve et Larose, 502 p.

Richard J. F., 2002. *Caractérisation de substances humiques-like, comparaison avec des substances humiques naturelles*. Toulouse, Institut National Polytechnique, 156 p.

Rochery F. & Gabert J., 2012. La filière de gestion des boues de vidange : de l'analyse aux actions. *Actes de l'atelier du 1^{er} Mars 2012, Paris, Gret, juin 2012*, 60 p.

Sanon H.O., Savadogo M., Tamboura H.H. & Kanwé B.A., 2014. Caractérisation des systèmes de production et des ressources fourragères dans un terroir test de la zone soudanienne du Burkina Faso », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], 14, 2. DOI :<https://doi.org/10.4000/vertigo.15171>

Soumbougma A., Kadeba A., Compaoré NF. & Boussim JI., 2020. Caractérisation des effluents industriels et effets de leur utilisation agricole sur la santé humaine des populations : cas de la commune de Bobo Dioulasso. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 36, 52-68. ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>.

Strande L., Ronteltap M. & Brdjanovic D., 2014. *Faecal Sludge Management : Systems Approach for Implementation and Operation*. (IWA Publishing). 12 Caxton Street London SW1H 0QS, UK: EAWAG/UNESCO-IHE.

Traoré M., Koulibaly B., Pousga S., Kambou A., Ouédraogo S., Coulibaly K. & Nacro H. B. 2019. Variation of carbon and major nutrients contents in two types of soil under stone bunds management in cotton-based cropping systems in the Sudanese zone of Burkina Faso. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 4(6), 1896-1904. <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.46.40>.

Traoré M., Nacro H.B., Doamba W. F., Tabo R. & Nikiema A., 2015. Effets de doses variées du tourteau de *Jatropha curcas* sur la productivité du mil (variété HKP) en condition pluviale en Afrique de l'Ouest. *Tropicultura*, 33(1), 19-25.

Walinga I., Vark W., Houba V.J.G. & Lee J.J., 1989. Soil and plant analysis, Part 7, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 43 p.

Zucconi F., Pera A., Forte M. & De Bertoldi M., 1981. Evaluating toxicity of immature compost. *Biocycle*, 22, 54 - 57.