

Impact du compostage sur la réhabilitation de la carrière de calcaire de Sika-Kondji (Togo) : effets sur l'attraction des animaux et sur la performance du maïs (*Zea mays* L.)

Outéndé Toundou, Akouèthê Agbogon, Oudjaninyobi Simalou, Dossou S.S. Koffi, Tchagou Awitazi et Koffi Tozo

Volume 17, numéro 3, décembre 2017

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1058390ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Toundou, O., Agbogon, A., Simalou, O., Koffi, D. S., Awitazi, T. & Tozo, K. (2017). Impact du compostage sur la réhabilitation de la carrière de calcaire de Sika-Kondji (Togo) : effets sur l'attraction des animaux et sur la performance du maïs (*Zea mays* L.). *VertigO*, 17(3).

Résumé de l'article

L'exploitation minière contribue à la destruction du sol et de la biodiversité augmentant la pauvreté surtout dans les pays en voie de développement. La restauration d'une mine constitue une obligation pour un développement durable. Dans cette étude des déchets d'un site minier ont été valorisés pour attirer et maintenir certains animaux sur le site et fertiliser le topsol. Il ressort que les insectes sont plus liés aux composts C1 (déchets verts) et C2 (déchets verts et alimentaires) tandis que les composts C3 (déchets verts + calcaires et l'argile) et C4 (déchets verts + alimentaires + calcaires et argiles) attirent plus les amphibiens et les arachnides. Le tas du compost C2 est le plus visité par ces animaux (43 % par rapport aux individus totaux). L'analyse chimique des composts a montré que les composts C2 et C4 présentent les fortes teneurs en matière organique et en azote (1,20 et 0,75 % m.s.), en phosphore (0,45 et 0,38 % m.s.) tandis que les composts C1 et C2 présentent les plus fortes teneurs en potassium (0,48 et 0,60 % m.s.). En ce qui concerne les effets des composts sur la croissance et les paramètres agronomiques du maïs, les plantes cultivées sur les composts C1, C2 et C3 sont celles qui présentent les plus fortes performances. Les composts C1, C2 et C4 seront utilisés dans la restauration de la fertilité du topsol et de la biodiversité de la carrière de Sika-Kondji.



Impact du compostage sur la réhabilitation de la carrière de calcaire de Sika-Kondji (Togo) : effets sur l'attraction des animaux et sur la performance du maïs (*Zea mays* L.)

Outéndé Toundou, Akouèthê Agbogon, Oudjaniyobi Simalou, Dossou S.S. Koffi, Tchagou Awitazi et Koffi Tozo

Introduction

- 1 Les activités minières constituent une importante source de revenus financiers pour les pays en voie de développement. Au Togo, il existe en moyenne plus de 120 unités industrielles réparties sur toute l'étendue du territoire participant ainsi au développement économique du pays (MERF, 2010). Parmi ces unités industrielles, les activités minières occupent une place très importante surtout dans la région maritime. Malheureusement, les intérêts économiques liés à l'exploitation minière s'accompagnent bien souvent d'impacts indésirables non négligeables sur l'environnement comme partout dans le monde (Thomas, 2012 ; Laroche, 2011 ; Danloux et Laganier, 1991 ; Dupon, 1986). Au Togo, on note principalement le manque de restauration et de réhabilitation des mines entraînant une baisse des rendements des cultures et une perturbation de la biodiversité (MERF, 2010 ; MINEO, 2000 ; Goodman, 1974 ; Wild et Wiltshire, 1971) augmentant ainsi la pauvreté des populations qui entourent ces sites miniers. Cependant, ces sites d'extraction minière constituent une importante valeur naturelle s'ils sont bien entretenus. La carrière des calcaires de Sika-kondji (Scantogo) est l'une des plus grandes carrières de production du calcaire au Togo installées par Heidelbergcement. Elle est

localisée au voisinage de 5 villages dont les habitants vivent essentiellement de l'agriculture et de la pêche. Or de récentes investigations du ministère de l'Environnement et des Ressources forestières ont montré que les sols des anciens sites miniers au Togo sont souvent très pauvres et souvent contaminés. Ce qui constitue l'une des causes de la pauvreté des populations riveraines. Les amendements organiques sont une façon d'améliorer la fertilité de ces sols tout en diminuant les concentrations des métaux toxiques dans le sol étant donné que l'ajout de nouvelles matières permet de diluer la toxicité du site (Tordoff et al., 2000). L'objectif principal de notre étude vise à valoriser les déchets putrescibles produits sur le site (la cité, l'usine et la carrière) sous forme de composts pour restaurer la fertilité du sol de la carrière et sa diversité faunistique.

Matériel et méthodes

Situation géographique du site de l'étude

- 2 Le site d'expérimentation est situé dans la zone écofloristique V du Togo plus précisément dans la carrière des roches calcaires de SCANTOGO sise à Sika-Kondji (8 km de la ville de Tabligbo, préfecture de Yoto) à 06°36'48,7" Latitude Nord et 1°34'44,1" Longitude Est. La flore de la zone d'étude est essentiellement constituée des îlots forestiers (Ceiba, Milicia, Antiaris, etc.) Il existe également des forêts-galeries renfermant de grands arbres. La faune est caractérisée par des espèces comme les lézards, les caméléons, les tortues, les serpents, les souris, les aulacodes et des insectes. On y rencontre aussi des oiseaux éparpillés dans la savane.

Nature des déchets et processus de compostage des déchets

Nature des déchets

- 3 Quatre différents composts sont préparés par un mélange de différents types de déchets putrescibles produits sur le site de SCANTOGO et d'un adjuvant naturel (mélange de déchets miniers constitués des calcaires et d'argile). Parmi les déchets putrescibles, on distingue :
- les déchets verts issus du défrichage de la zone d'exploitation et de l'entretien des parterres de l'usine,
 - les déchets alimentaires issus des restaurants et de la cité des employés du site.
- 4 L'adjuvant naturel utilisé est un mélange de calcaires et d'argiles issus de la carrière et transportés vers le drain par l'eau de pompage. Le tableau 1 présente le type et la quantité de déchets par compost.

Tableau 1. Composition des quatre différents types de composts fabriqués (m = masse des déchets et/ou adjuvants considérés et P = pourcentage par rapport à la masse brute totale du tas).

Composts	Déchets verts		Déchets alimentaires		Déchets calcaires et argileux	
	m (kg)	P (%)	m (kg)	P (%)	m (kg)	P (%)

C1	300	100	0	0	0	0
C2	230	76,7	70	23,3	0	0
C3	200	66,7	0	0	100	33,3
C4	250	83,3	20	6,7	30	10

Processus de compostage des déchets

- 5 La méthode de compostage adoptée est celle en tas. Les déchets à composter sont mélangés et disposés en tas de 2m de diamètre et 1 m de hauteur. Les tas sont retournés de manière périodique, à 6 jours, 2 semaines, 1 mois, 2 mois puis 3 mois après la mise en tas afin d'assurer une bonne aération et permettre la dégradation aérobie. L'arrosage est régulier et la quantité d'eau apportée est fonction du taux d'humidité des tas (obtenue en faisant la différence entre la masse fraîche et la masse sèche après passage de l'échantillon à l'étuve à 105 °C jusqu'à une masse constante pendant environ 24 h) afin de maintenir un taux de 50 % jusqu'à la maturité. Les quatre tas de composts sont installés sur une superficie de 625 m² et distants 7 m l'un de l'autre. Le monitoring du processus a concerné la température, le taux d'humidité et le pH tous les 7 jours. Ces paramètres ont permis de suivre le processus de compostage jusqu'à maturation pendant environ 16 semaines. La mesure du taux d'humidité et du pH est réalisée sur des échantillons prélevés à plusieurs endroits du tas (aux côtés, au centre, à la surface et à l'intérieur) environ 100 g pour obtenir un échantillon d'environ 1 kg. La température est mesurée à l'aide d'une sonde thermométrique de marque KIMO Type TK100 tous les 2 jours. La valeur donnée correspond à la moyenne de 6 mesures effectuées dans la longueur de l'andain, de chaque côté et à des profondeurs variables (0,5 ; 1 ; 1,5 et 2 m).

Évaluation de l'impact des composts sur l'attraction et le maintien des animaux sur le site

- 6 L'objectif spécifique de cette partie est de contribuer au maintien de la diversité faunistique avant, pendant et après les activités minières. Ainsi, pendant tout le processus de compostage 16 visites de collecte de données ont été effectuées en raison de 6 visites le matin, 6 le soir et 4 à 12 h (midi). Les données quantitatives collectées concernent le nombre d'individus par espèce ou famille d'animaux rencontrés sur chaque tas de compost. La collecte des données qualitatives concerne la prise des photographies et une description des espèces difficilement identifiables. Les photos et les descriptions ont été ensuite ramenées au laboratoire pour une meilleure identification des espèces.

Étude de la phytotoxicité des composts via un test de germination au bout de 90 jours de compostage

- 7 Un test de germination est réalisé, en 3 répétitions, sur le maïs (*Zea mays* L.) afin d'évaluer la phytotoxicité et la maturité des composts (Compaoré et al., 2010). Les semences (4 grains) sont mises en germination dans des pots avec du sable seul (Témoin),

1/3 de sable et 2/3 de compost et 2/3 de sable et 1/3 de compost. Les essais sont réalisés au laboratoire à température ambiante (25 °C) et un arrosage est maintenu tous les deux jours avec 50 ml d'eau distillée. Le nombre de graines germées est compté au bout de 10 jours. Le taux de germination évalué, en pourcentage, est calculé selon la Formule : $TG (\%) = 100 \times \text{NGG} / \text{NGS}$ (NGG = Nombre de grains germés ; NGS = Nombre de grains semés).

Évaluation des caractéristiques chimiques et du potentiel fertilisant des composts

Évaluation de la matière organique

- 8 La matière organique totale est déterminée par calcination selon la norme NFU 44-160. Le carbone organique total est déterminé conformément à la norme française NF ISO 14-235. Le principe de la méthode repose sur une oxydation à chaud (135 °C pendant 1 h) en milieu acide par le dichromate de potassium.

Évaluation des propriétés chimiques

- 9 Le pH et la conductivité électrique des composts sont mesurés selon les méthodes normées (AFNOR NF ISO 10-390, 2005). 20 g d'échantillon sec sont mis en contact avec 100 ml d'eau distillée. La solution de sol est homogénéisée pendant 2 h puis filtrée sur nitrate de cellulose à 0,45 µm. Les mesures sont effectuées sur les filtrats obtenus à l'aide d'une sonde à pH HANNA Instruments, model pH 210, muni d'une électrode pH HI 1131B combiné à une électrode de référence Ag/AgCl/KCl 3,5M et d'une sonde de température HI 7669 permettant une compensation automatique de température et un conductimètre de marque Knick Model Portamess 911 muni de 4 électrodes à graphite (erreur de ±1 unité).

Évaluation de la matière minérale des composts

- 10 La part minérale est évaluée par quantification des éléments fertilisants (azote, potassium, phosphore). La teneur en azote Kjeldahl (NTK) est déterminée conformément à la norme française AFNOR ISO 11-261. La teneur en potassium et en calcium est déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme (SAA Flamme VARIAN SpectrAA) suite à une minéralisation des échantillons. La minéralisation est effectuée à l'eau régale : 21 ml d'acide chlorhydrique 37 % et 7 ml d'acide nitrique 69 % sont ajoutés à 1 g d'échantillon sec puis chauffés à 120 °C pendant 2 h et à 135 °C pendant 1 h. La teneur en phosphore a été déterminée sur les mêmes minéralisât grâce à une méthode colorimétrique (Murphy et Riley, 1962).

Effets des composts sur la croissance et les paramètres agronomiques du maïs cultivé sur le topsol

Caractéristiques physico-chimiques du sol

- 11 L'état initial de la zone d'influence (14 Km²) est caractérisé par de vastes terres agricoles en friches autour des villages, parsemées des plantations de palmiers et de tecks. Dans la zone minière, les couches supérieures du sol, et donc plus récentes sont des couches de

sables et de limon argileux du Quaternaire. Le Tableau 2 présente ses caractéristiques physico-chimiques.

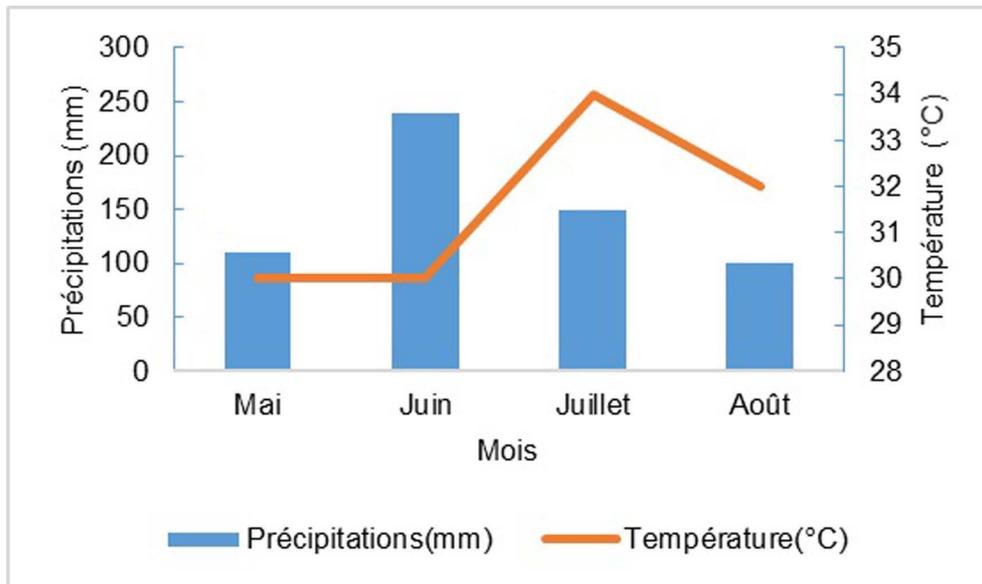
Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques du sol de l'étude.

Paramètres	Valeurs
pH	6,80
Ec ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	140,60
MOT (% m.s.)	7,600
COT (%m.s.)	4,410
N (% m.s.)	0,080
P (% m.s.)	0,270
K (% m.s.)	0,022
Ca (% m.s.)	0,202
Argile 2μ (%)	49,50
Limons fins 2 à 20μ	17,50
Limons grossiers 20 à 50μ	04,35
Sables fins 50 à 200μ	16,70
Sables grossiers 200 à 2000μ	7,80
Eléments 2mm	0,00

Choix de l'espèce et le dispositif expérimental

- 12 Une variété du maïs (*Zea mays*) de 2 mois et demi a été utilisée dans cette étude. Cette espèce est choisie par rapport à sa prédominance dans les champs des paysans des villages environnants. Elles produisent également des fleurs et une forte biomasse pouvant attirer la macrofaune (insectes et arachnides) et fertiliser le sol du site. Les grains ont été semés selon un dispositif en bloc de Fisher comptant 15 parcelles élémentaires réparties de façon aléatoire. Chaque parcelle expérimentale a une superficie de 6 m^2 . L'expérimentation a été menée pendant 4 mois (mai à août). La figure 1 présente les quantités de pluie et les valeurs moyennes de température enregistrées au cours de la période d'essai.

Figure 1. Évolution mensuelle de la température et de la pluviométrie de la zone.



- 13 Les travaux agrotechniques ont porté sur la préparation du terrain, le semis, le repiquage, le démariage, l'entretien de la parcelle et la récolte. 5 traitements ont été appliqués par culture avec trois répétitions par traitement. Ces traitements correspondent aux quatre types de compost (C1, C2, C3 et C4) et un traitement témoin sans amendement (T). Une dose de 10t/ha fractionnée en deux applications (Avant semis et à la floraison).

La collecte des données

- 14 La collecte des données a concerné les paramètres physiologiques de croissance tels que la hauteur moyenne des plantes et le nombre moyen de feuilles par parcelle élémentaire. À la maturité, les rendements en grains et en pailles ont été évalués. Le rendement en grains a été évalué après séchage à la température ambiante jusqu'à l'obtention d'un taux d'humidité de conservation (14 % en moyenne).

Analyses statistiques

- 15 Les données collectées ont été analysées à l'aide des logiciels MSTATC et XLSTAT. Ces données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à deux facteurs (amendement et statut hydrique) par l'utilisation du logiciel MSTATC (version 2,10). Le logiciel XLSTAT (2008) a été également utilisé pour identifier des relations entre les paramètres et les caractéristiques chimiques des composts au seuil de probabilité de 5 %.

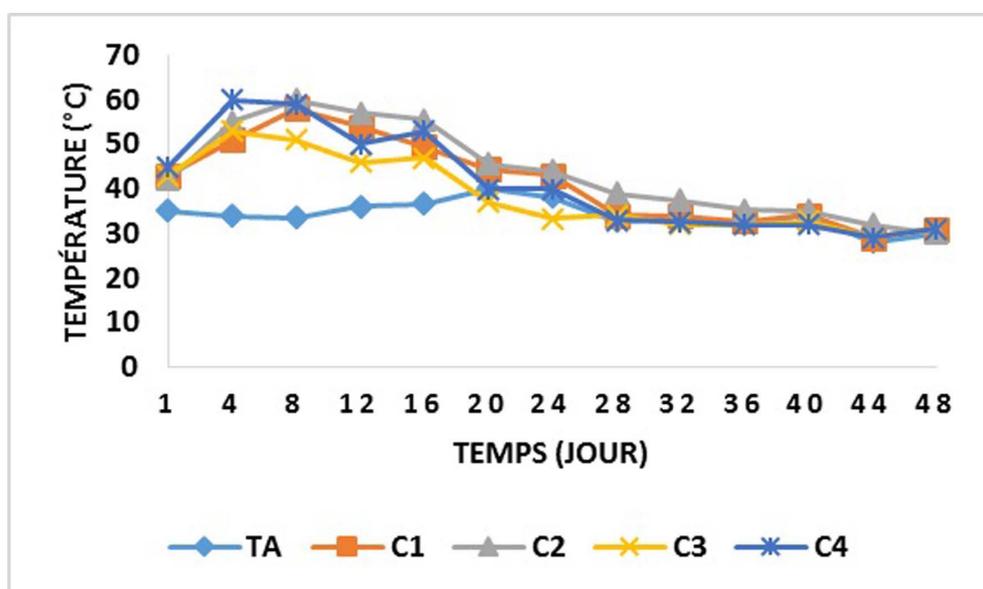
Résultats et discussion

Monitoring du Processus de compostage et évaluation de la maturité des composts

- 16 La figure 2 montre que la température des différents tas de composts est initialement la même au premier jour du processus (40 °C). Elle croit pendant les quatre premiers jours

en s'éloignant de la température ambiante pour atteindre une valeur maximale en moyenne 58 °C. Cependant cette élévation de température est plus accentuée dans le tas du compost C4 et moins importante dans celui du compost C3. Les tas de compost après 2 mois du processus présentent une couleur brune noire similaire à celui d'un terreau de jardin. L'augmentation de la température au début du processus de compostage résulte de la décomposition des matières biodégradables par les micro-organismes (Toundou, 2016 ; Koledzi et al., 2011 ; Compaoré et al., 2010 ; Attrassi et al., 2005 ; Hassen et al., 2001). L'abaissement de la température subséquent s'explique par une diminution de la matière organique biodégradable et la mort de micro-organismes décomposeurs sous l'effet de la chaleur (Hassen et al., 2001). Ces résultats sont conformes à ceux de Toundou (2016), Koledzi et al. (2011) et Manios et al. (2003). Cependant la présence des déchets miniers en forte proportion dans le tas du compost C3 aurait ralenti l'activité des microorganismes, d'où de faibles valeurs de températures enregistrées pour le tas de ce compost pendant tout le processus. En effet, selon Lguirati et al. (2005) certains adjuvants minéraux entassent les matériaux mis en compostage empêchant ainsi une bonne circulation de l'air et de l'eau.

Figure 2. Évolution de la température des tas de composts en fonction du temps (TA = Température ambiante).



- 17 Les résultats du test de germination (Tableau 3) montrent que quels que soient le type et la dose du compost, les taux de germination sont supérieurs à 50 %. Cependant il est plus élevé sur un substrat renfermant 1/3 de compost (similaire au témoin) par rapport à celui renfermant 2/3 de compost. Quelle que soit la dose de compost appliquée, les composts préparés ne présentent aucune toxicité vis-à-vis du maïs. Ces composts sont donc favorables au bout de 3 mois à la croissance des plantes sur le topsol (Zuccooni et al., 1981 ; Koledzi, 2011 ; Toundou, 2016).

Tableau 3. Résultats du test de germination sur le maïs en fonction de la dose du compost (T = Témoin sans compost).

Amendements	C1	C2	C3	C4	T

Taux de germination (%) (1/3 de compost + 2/3 de sable)	100	100	100	100	100
Taux de germination (%) (2/3 de compost + 1/3 de sable)	75	75	100	75	100

Impacts des déchets en compostage sur l'attraction et le maintien des animaux sur le site

- 18 Le compost C2 (déchets verts + déchets alimentaires) a été plus visité par les animaux (Figure 3). De plus, toutes les familles d'animaux inventoriées au cours de l'étude ont visité le tas de ce compost. La répartition des animaux sur les tas de composts est hétérogène car les familles d'indice II sont dominantes. L'analyse ACP (Figure 4) montre que les composts C1 (déchets verts) et C2 (déchets verts + déchets alimentaires) sont plus liés aux insectes tandis que les composts C3 (déchets verts + déchets de calcaires et d'argiles) et C4 (déchets verts + déchets alimentaires + déchets de calcaires et d'argiles) ont plus attiré les arachnides et les amphibiens. En effet, le retour de la faune est la dernière étape pour compléter les travaux de restauration d'un site perturbé. Les résultats indiquent que les insectes, les arachnides et les amphibiens peuvent être facilement retenus par les composts élaborés surtout le compost C2 (déchets verts + déchets alimentaires). En effet, il a été montré que les espèces qui colonisent rapidement un site minier en restauration sont celles qui retrouvent facilement les ressources dont elles ont besoin comme la nourriture, des abris et des sites de reproduction (Ghose, 2004). Il découle donc que ces tas de composts constituent non seulement des abris, mais aussi de la nourriture pour ces animaux pouvant les maintenir sur le site minier. Autour des tas de composts, on retrouve plusieurs familles d'insectes qui constituent des proies pour des amphibiens et des arachnides. Il s'agit alors d'une chaîne et d'un réseau alimentaires tout autour des tas permettant de maintenir ces animaux sur le site minier. Ces tas de composts constituent donc des habitats faunistiques et de nourritures pour ces espèces animales.

Figure 3. Impacts des composts sur l'attraction des animaux (a : nombre d'individus total par ordre ou famille d'espèces ; b =Histogramme de fréquence).

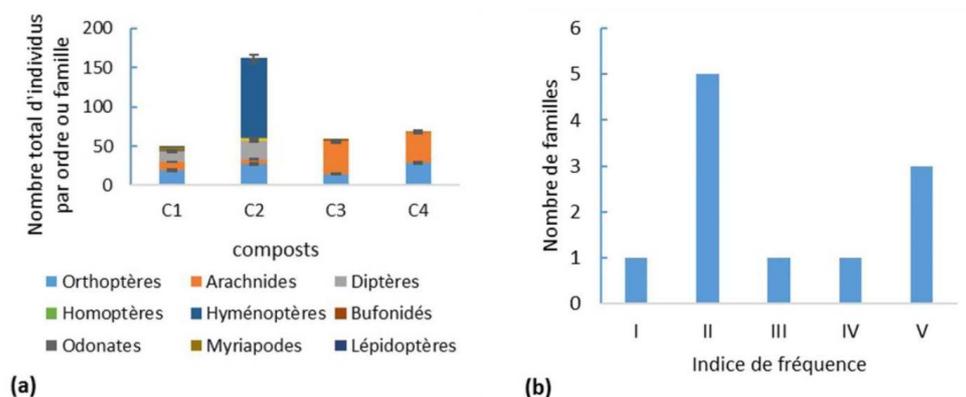


Figure 4. Relations entre les tas de composts et les familles ou ordres d'animaux rencontrés sur les tas de composts.

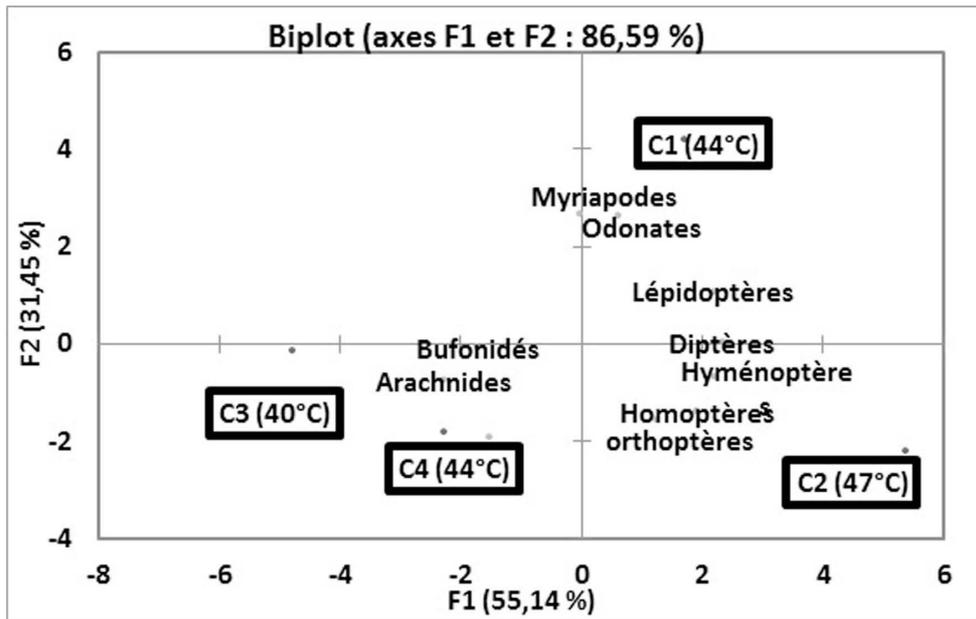


Figure 5. Quelques animaux sur les tas de composts.



Caractéristiques chimiques et le potentiel fertilisant des composts

- 19 Les composts C2 (déchets verts + déchets alimentaires) et C4 (déchets verts + déchets alimentaires + déchets de calcaires et d'argiles) renferment les plus fortes teneurs en matière organique totale (en moyenne $14,60 \pm 1$ % m.s.) et en carbone organique total (en moyenne $8,49 \pm 1,5$ % m.s.) avec des rapports C/N inférieurs à 10 (Tableau 4). Les teneurs des deux autres composts sont similaires en moyenne $11,10 \pm 0,5$ % m.s. pour la matière organique totale et une teneur moyenne en COT égale à $6,45 \pm 0,45$ % m.s. Les valeurs de pH de tous les composts sont supérieures à 7 et se trouvent dans la même gamme (7,80-8,14). Concernant la conductivité ionique, les composts C2 et C4 se révèlent les plus performants avec des valeurs respectives de 3080 ± 100 $\mu\text{S/cm}$ et 2450 ± 150 $\mu\text{S/cm}$.

- 20 Le pH et le rapport C/N sont des indicateurs de maturité du compost. En effet, les composts matures ont un pH compris entre 7 et 9 (Avnimelech et al., 1996). Les pH mesurés variant de 7,80 à 8,14 sont inclus dans cette gamme. Le rapport C/N de tous les composts étant inférieur à 20, on conclut donc que ces composts sont matures et peuvent être utilisés en agriculture à dose acceptable (Toundou et al., 2014 ; Koledzi, 2011 ; Compaoré et al., 2010). Ces résultats viennent appuyer ceux obtenus avec le test de phytotoxicité. Par ailleurs, les composts C2 et C4 (composts renfermant les déchets alimentaires) ont des rapports C/N plus élevés. Ces caractéristiques sont favorables pour leur utilisation dans la régénération du sol de la carrière. Les valeurs de conductivité sont plus élevées pour ces mêmes types de composts indiquant qu'ils contiennent de fortes quantités d'ions pouvant être nécessaires à la croissance des plantes (Toundou, 2016). Les teneurs en azote, phosphore et potassium sont plus élevées pour ces 2 types de composts et respectivement en moyenne égales à 0,98 %, 0,42 % et 0,51 % par rapport aux deux autres composts. Ce résultat s'explique par la présence des déchets agroalimentaires dans les tas de ces composts. En effet, ces déchets agroalimentaires sont principalement constitués de restes d'aliments (fruits, légumes, poissons, farines, etc.) susceptibles de contenir beaucoup de nutriments nécessaires à la croissance des plantes. La teneur en calcium du compost C3 est très élevée (1,63 %). Cette forte teneur en calcium peut avoir des effets dépressifs pour les plantes.

Tableau 4. Teneurs en macroéléments et caractéristiques chimiques composts (m.s. = matière sèche).

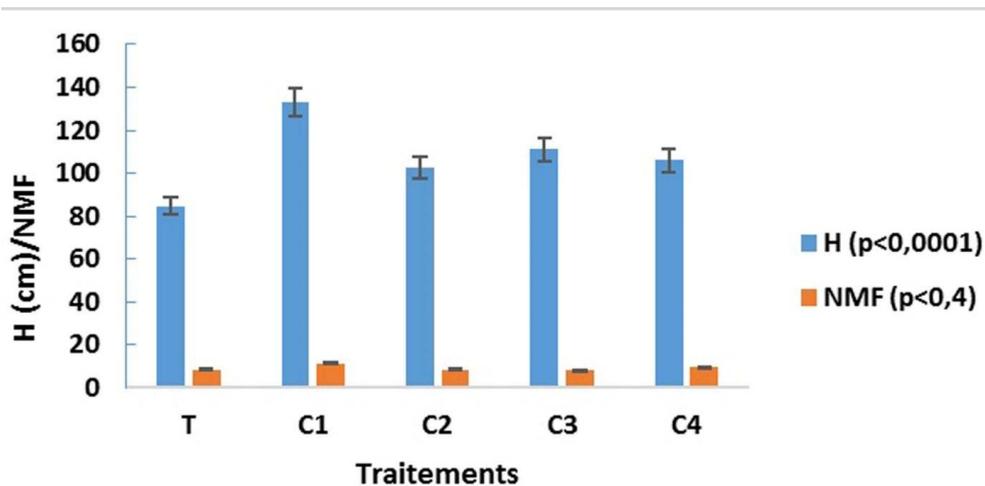
Composts	MOT (%) (m.s.)	COT (%) (m.s.)	N (%) (m.s.)	C/N	P (%) (m.s.)	K (%) (m.s.)	Ca (%) (m.s.)	pH	Ec (µS/cm)
C1	11,00	6,39	0,64	09,98	0,36	0,48	0,92	7,80	1833
C2	15,20	8,83	1,20	07,35	0,45	0,60	1,10	8,14	3080
C3	11,20	6,51	0,41	15,87	0,26	0,35	1,63	8,11	1297
C4	14,00	8,14	0,75	10,85	0,38	0,42	1,28	8,00	2450

Effets des composts sur la croissance et les paramètres agronomiques du maïs

- 21 Les composts ont en général amélioré la croissance des plantes par rapport au témoin (113,2±10 cm en moyenne contre 84,75±7 cm pour le témoin) (Figure 6). On note également que les plantes cultivées sur le compost C1 présentent la hauteur la plus élevée soit une hauteur moyenne de 133 cm. En effet, les teneurs en macronutriments des composts sont largement supérieures à celles du sol. L'apport des composts a donc favorisé une bonne nutrition des plantes donc des paramètres de croissance élevés par rapport aux plantes cultivées sur le sol témoin sans amendement (Toundou, 2016 ; Toundou et al., 2014 ; Yin et al., 2012 ; Diallo et al., 2008). Les meilleures performances de croissance obtenues sur le compost C1 (déchets d'ordures ménagères) s'expliquent par

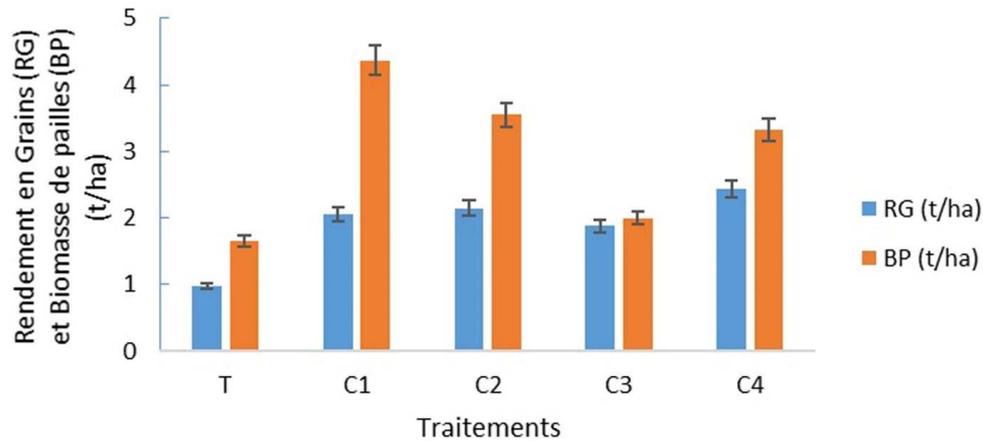
l'équilibre ionique des nutriments dans le sol amendé avec ce compost. En effet, il existe un équilibre ionique nécessaire à l'absorption des éléments nutritifs dont la plante a besoin pour bien croître. Ainsi, bien que ce compost soit moins riche que C2 et C4, sa teneur équilibrée en ions lui a permis d'améliorer la croissance de la plante. Ainsi, une forte teneur en cations peut par exemple inhiber l'absorption de potassium et d'ammonium (Etchebest, 2000) pouvant ralentir la croissance de la plante, cas des plantes cultivées sur les composts C3 et C4 qui renferment de fortes teneurs en calcium (Toundou et al., 2014). Par ailleurs, la composition minérale du compost C1 est le plus favorable pour une bonne croissance des plantes sur le top-sol.

Figure 6. Hauteur moyenne des plantes et nombre moyen de feuilles des plantes de maïs 50e JAS.



- 22 Les composts ont en général amélioré les paramètres agronomiques par rapport au témoin. En ce qui concerne la production en grains, les plantes cultivées sur les composts C2 et C4 présentent des valeurs les plus élevées ($2,29 \pm 0,29$ t/ha en moyenne) contre 0,97 t/ha pour le traitement témoin (Figure 7). Les plantes cultivées sur les composts C1 et C2 enregistrent les meilleures performances en poids de paille. Le compost C3 (déchets verts + déchets miniers) est celui qui présente les plus faibles performances agronomiques. Les résultats obtenus sur les composts C2 et C4 s'expliquent par leurs fortes teneurs en matière organique, en azote et en phosphore (Tableau 4). En effet, une teneur élevée en matière organique du sol contribue fortement à l'absorption du phosphore (Rabeharisoa, 2004) qui joue un rôle très important dans la photosynthèse chez les plantes (Chapman et Edmeades, 1999; Zeinselmeier et al., 1999). La faible production obtenue par les plantes sur le compost C3 s'expliquerait alors par sa faible teneur en nutriments plus particulièrement en phosphore et la précipitation du phosphore par le calcium sous forme de phosphate tricalcique insoluble entraînant une carence en phosphore biodisponible (Toundou et al., 2014; Fonseca et Wesgate, 2005; Kim et al., 2000). La forte teneur en calcium de ce compost pourrait aussi empêcher l'absorption d'autres ions tels que le potassium et l'ammonium indispensables à la croissance et à la production de la plante (Toundou, 2016).

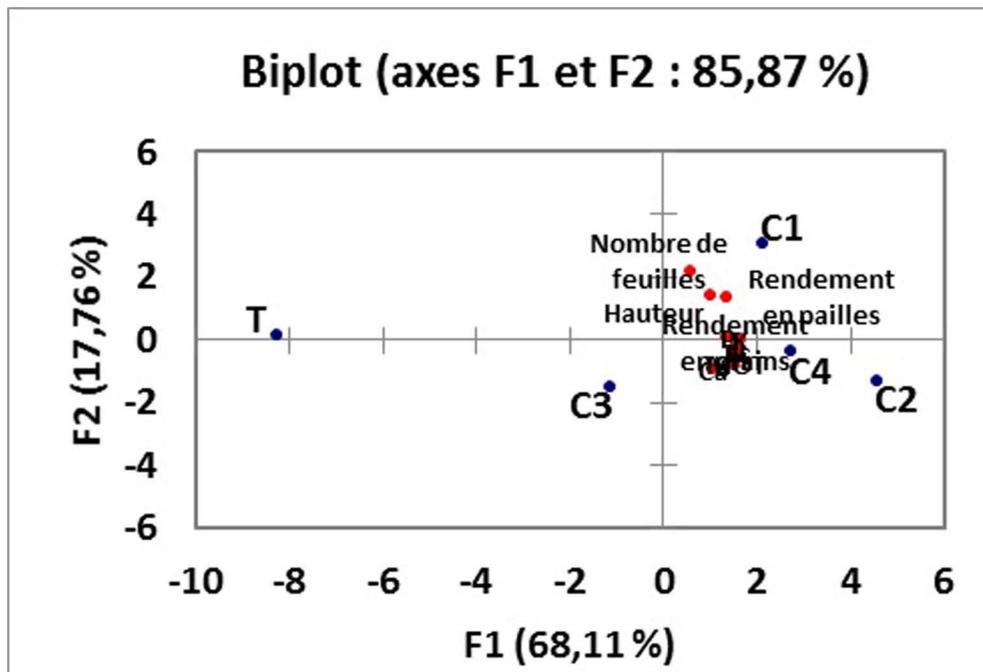
Figure 7. Rendement en grains et biomasse de pailles en fonction des traitements à la récolte.



Relations entre les caractéristiques des composts et les paramètres collectés : Analyses en composantes principales (ACP)

- 23 L'analyse en composantes principales permet de séparer les traitements en deux groupes (Figure 8). Les plantes cultivées sur les composts C1, C2 et C4 sont celles qui sont plus liées aux paramètres de croissance et de rendement puis celles évoluant sur T et C3 qui présentent les faibles performances de croissance et de rendement. Les composts C1, C2 et C4 sont alors les substrats qui peuvent améliorer la croissance et le rendement du maïs sur le topsol. Ces composts renferment de fortes teneurs en azote, phosphore et potassium puis une forte conductivité électrique favorisant une bonne absorption des éléments minéraux donc une bonne production des plantes.

Figure 8. Relations entre les paramètres évalués.



Conclusion

- 24 Les résultats de cette étude montrent qu'on peut attirer et maintenir les arachnides, les insectes et les amphibiens sur le site minier par installation des tas de composts de déchets de type C2 (déchets verts + déchets alimentaires). Il s'agit ici d'un habitat naturel qui représente des abris et de nourritures pour ces espèces animales. La caractérisation des 4 types de compost a montré que les composts C2 (déchets verts + alimentaires) et C4 (déchets verts + alimentaires + calcaires et argiles) sont ceux qui renferment de fortes teneurs en nutriments essentiels. Ces composts ont été aussi les plus performants pour l'amélioration de la fertilité du sol de la mine et l'obtention d'un bon rendement du maïs sur ce sol. Ces composts renferment de fortes teneurs en matière organique, azote, phosphore et potassium puis une forte conductivité électrique. Nos futurs travaux concerneront l'amélioration en matière organique et en nutriments de ces composts afin de mettre en place un programme de restauration du sol de la mine pendant et après l'exploitation de la carrière.

Remerciements

- 25 Les auteurs remercient Scantogo et Heidelbergement pour avoir financé une partie de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

Association française de normalisation (AFNOR), 2005, Le compost : Dénominations, spécifications et marquage ; Eds AFNOR, 16 p.

Attrasi, B., L. Mrabet, A. Douira, K. Ounine et N. El Haloui, 2005, Étude de la valorisation agronomique des composts des déchets ménagers. Biotechnol et Envir, Atelier « Biotechnologies » au Maroc, Setat du 6 mai 2005.

Avnimelech, Y., M. Bruner, J. Ezrony, R., Sela et M. Kochba, 1996, Stability indexes for Municipal Solid Compost. Compost Sci Util, 4, pp. 13-20.

Chapman S.C. et G.O. Edmeades, 1999, Selection improves drought tolerance in tropical maize populations. II. Direct and correlated responses among secondary traits. Crop Sci., 39 (5), pp. 1315-1324.

Compaoré, E., L.S. Nanema, S. Bonkougou et M.P. Sedogo, 2010, Évaluation de la qualité de composts de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture. J Appl Biosci, 33, pp. 2076-2083.

Danloux, I. et J. Laganier, 1991, Classification des phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation sur les bassins touchés par l'exploitation minière en Nouvelle-Calédonie. Hydml Continent., 6 (1), pp. 15-28.

- Dupon, J. F., 1986, Les effets de l'exploitation minière sur l'environnement des îles hautes : le cas de l'extraction du minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie, IRD, Ressources documentaires, [en ligne] URL : http://pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_31-32/34105.
- Diallo, M., J. Chotte, A. Guissé et S.N. Sall, 2008, Influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la croissance du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) et du maïs (*Zea mays* L.). *Sécheresse*, 19 (3), pp. 207-210.
- Etchebest, S., 2000, croissance foliaire du maïs (*Zea mays* L.) sous déficience en phosphore. Analyse à l'échelle de la plante et à l'échelle de la feuille. Thèse préparée à l'unité d'agronomie, INRA Bordeaux, 83 p.
- Fonseca, A. B. et M.E. Wesgate, 2005, Relationship between desiccation and viability of maize pollen, *Field Crops. Res.*, 94, pp. 114-125.
- Ghose, M.K., 2004, Restoration and revegetation strategies for degraded mine land for sustainable mine closure, *Land Contam Recl*, 12, pp. 363-378.
- Goodman, G. T., 1974, Ecology and the problems of rehabilitating wastes from minéral extraction. *Proceedings of the Royal Society*, 339, pp. 373-387.
- Hassen, A., K. Belguith, N. Jedidi, A. Cherif, M. Cherif et A. Boudabous, 2001, Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresour Technol*, 80, pp. 217-225.
- Koledzi K. E., 2011, Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo) : Approche méthodologique pour une production durable de compost. Mémoire de Thèse de Doctorat, 224 p.
- Koledzi, K. E., G. Baba, G. Tchangbedji, K. Agbeko, G. Matejka, G. Feuillade et J. Bowen, 2011, Experimental study of urbans waste composting and evaluation of it's agricultural valorization in Lomé (Togo). *Asian J Appl Sci*, 4 (4), pp. 378-391.
- Kim, J. W., A. Mahe, J. Brangeon et J.L. Prioul, 2000, A maize vacuolor invertase IVR2 is induced by water stress. *Plant Physiol.*, 124, pp. 71-84.
- Laroche, O., 2011, Révégétalisation de sites miniers et valorisation de boues de stations d'épuration : cas de la Nouvelle-Calédonie. Mémoire de Maîtrise en Environnement, Centre universitaire de formation en environnement, université de Sherbrooke, Canada, 128 p.
- Lguirati, A., G. Baddi Ait, A. El mousadik, V. Gilard, J.C. Revel et M. Hafidi, 2005, Analysis of humic acids from aerated and no aerated urban landfill composts. *Inter Biodeter Biodegr*, 56 (1), pp. 8-16.
- Manios, T., D. Laux, V. Manios et E.I. Stentiford, 2003, Cattail plant biomass as a bulking agent in sewage sludge composting ; Effect of the compost on plant growth. *Compost Sci Util*, 11 (3), pp. 210-219.
- Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (MERF), 2010, Rapport national du Togo pour la dix-huitième session de la commission de développement durable des Nations unies (cdd-18), 44 p.
- MINEO Consortium, 2000, Review of potential environmental and social impact of mining, [en ligne] URL : <http://www.brgm.fr/mineo/UserNeed/IMPACTS.pdf>
- Murphy, J. et J.P. Riley, 1962, A modified simple solution method for determination de phosphate in natural water, *Anal Chimic Acta*, 27, pp. 31-36.

- Rabeharisoa, L., 2004, Gestion de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar, Thèse Docteur d'état ès sciences naturelles de l'université d'Antananarivo, Faculté des Sciences, Département de Biologie et d'écologie végétale, Madagascar, 165 p.
- Thomas, S., 2012, Méthodes de végétalisation dans la restauration écologique de sites miniers : comparaison entre le Québec et le Pérou, Faculté Des Sciences, Université de Sherbrooke, 116 p.
- Tordoff, G.M., A.J.M. Baker et A.J. Willis, 2000, Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes. *Chemosphere*, 41, pp. 219-228.
- Toundou, O., 2016, Évaluation des caractéristiques chimiques et agronomiques de cinq composts de déchets et étude de leurs effets sur les propriétés chimiques du sol, la physiologie et le rendement du maïs (*Zea mays* L. Var. Ikenne) et de la tomate (*Lycopersicon esculentum* L. Var. Tropimech) sous deux régimes hydriques au Togo. Thèse de doctorat de l'Université de Lomé en cotutelle avec l'Université de Limoges, 213 p.
- Toundou, O., K. Tozo, K.A.A. Amouzouvi, K. Lankondjoa, G. Tchchangbedji, K. Kili et B. Gnon, 2014, Effets de la biomasse et du compost de *Cassia occidentalis* L. sur la croissance en hauteur, le rendement du maïs (*Zea mays* L.) et la teneur en NPK d'un sol dégradé en station expérimentale. *ESJ*, 10 (3), pp. 294-308.
- Wild, H. et G.H. Wiltshire, 1971, The problem of végétation Rhodesian Mines dumps examined. *Chamber of Mines Journal*, 13 (11), pp. 26-30 et (12), pp. 35-37.
- Yin, X., M. Hayes, M.A. McClure et H.J. Savoy, 2012, Assessment of plant biomass and nitrogen nutrition with plant height in early-to mid-season corn. *Sci. Food Agric.*, 92 (13), pp. 2611-2617.
- Zeinseilmeier, C., B.R. Jeong, J.S. Boyer, 1999, Starch and the control of kernel number in maize at low water potential. *Plant Physiol.*, 121, pp. 25-36.
- Zuccooni, F., M. Forte, A. Monaco et M. De Bertoldi, 1981, Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 22 (2), pp. 27-29.

RÉSUMÉS

L'exploitation minière contribue à la destruction du sol et de la biodiversité augmentant la pauvreté surtout dans les pays en voie de développement. La restauration d'une mine constitue une obligation pour un développement durable. Dans cette étude des déchets d'un site minier ont été valorisés pour attirer et maintenir certains animaux sur le site et fertiliser le topsol. Il ressort que les insectes sont plus liés aux composts C1 (déchets verts) et C2 (déchets verts et alimentaires) tandis que les composts C3 (déchets verts + calcaires et l'argile) et C4 (déchets verts + alimentaires + calcaires et argiles) attirent plus les amphibiens et les arachnides. Le tas du compost C2 est le plus visité par ces animaux (43 % par rapport aux individus totaux). L'analyse chimique des composts a montré que les composts C2 et C4 présentent les fortes teneurs en matière organique et en azote (1,20 et 0,75 % m.s.), en phosphore (0,45 et 0,38 % m.s.) tandis que les composts C1 et C2 présentent les plus fortes teneurs en potassium (0,48 et 0,60 % m.s.). En ce qui concerne les effets des composts sur la croissance et les paramètres agronomiques du maïs, les plantes cultivées sur les composts C1, C2 et C3 sont celles qui présentent les plus fortes performances. Les composts C1, C2 et C4 seront utilisés dans la restauration de la fertilité du topsol et de la biodiversité de la carrière de Sika-Kondji.

Mining activities contribute to soil and biodiversity destruction and increase poverty especially in developing countries. Restoring a mine in all its aspects after exploitation is a requirement method for sustainable development. The main objective of this study is to restore the fertility of

a quarry soil and animals diversity using free wastes. Results indicated that three classes of animals have visited composts piles. They are amphibians, arachnids and insects. Insects are more related to composts C1 (green wastes) and C2 (green wastes + food wastes) while C3 (green wastes + limestone and clay) and C4 (green wastes + food wastes + limestone and clay) attract more amphibians and arachnids. C2 compost pile was most visited by animals (43 % relative to the total individuals). Chemical analysis showed that composts C2 and C4 present the high levels of organic matter, nitrogen (1.20 % and 0.75 ms) and phosphorus (0.45 % and 0.38 ms) contents while composts C1 and C2 have the highest levels of potassium (0.48 % and 0.60 m.s.). Concerning composts effects on agronomics parameters of maize, plants cultivated on composts C1, C2 and C3 are the best. Composts C1, C2 and C4 will be used in restoration programs of Sika-kondji mining site.

INDEX

Mots-clés : déchets, carrière, restauration, sol, faunes, Togo

Keywords : wastes, quarry, restoration, soil, wildlife, Togo

AUTEURS

OUTÉNDÉ TOUNDOU

Laboratoire de physiologie et de biotechnologie végétales (LPBV), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé-Togo et Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo, courriel : toudsolla@gmail.com

AKOUËTHÉ AGBOGAN

Laboratoire de physiologie et de biotechnologie végétales (LPBV), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo, courriel : a_agbogan@yahoo.fr

OUJANIYABI SIMALOU

Laboratoire des Extraits Végétaux et Arômes Naturels (LEVAN), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo, courriel : jacobsimalou@yahoo.fr

DOSSOU S.S. KOFFI

Laboratoire de physiologie et de biotechnologie végétales (LPBV), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé-Togo et Laboratoire de Gestion, Traitement et Valorisation des Déchets (GTVD), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo, courriel : dossou@yahoo.fr

TCHAGOU AWITAZI

ministère de l'Environnement et des Ressources forestières, BP : 4825, Lomé, Togo, courriel : rodolphelmd@yahoo.fr

KOFFI TOZO

Laboratoire de physiologie et de biotechnologie végétales (LPBV), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé-Togo et Laboratoire de gestion, traitement et valorisation des déchets (GTVD), Université de Lomé, BP : 1515, Lomé, Togo, courriel : koffitozo@gmail.com