

Co-compostage boues de station d'épuration et déchets verts: Optimisation multicritère pour des amendements organiques durables

[Co-composting of sewage sludge and green waste: Multicriteria Optimization for sustainable organic amendments]

Djiha Boni Richard¹, Kouadio Konan-Kan Hippolyte¹, Adechina Olayossim², and Akotto Odi Faustin¹

¹Laboratoire des Sciences du sol, de l'Eau et des Géomatériaux, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

²Département Agriculture et Technologies Nouvelles, Université de San Pedro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study, carried out in San Pedro (Southwest Côte d'Ivoire), evaluates the agronomic valorization of wastewater treatment sludge (WTS) and green waste (GW) through co-composting for sustainable soil improvement and circular economy promotion. Four GW/ WTS formulations (Co1: 0/100, Co2: 25/75, Co3: 50/50, Co4: 75/25) were monitored over 90 days, with regular measurements of temperature, moisture, and pH. Mature composts were characterized for physico-chemical properties, biological maturity, and heavy metal content. A weighted multicriteria matrix, based on ten strategic indicators, identified Co3 as the optimal formulation (score 40/45), outperforming Co4, Co2, and Co1. Co3 reached 65 °C by day 40, satisfying sanitary requirements, maintained optimal moisture, increased soil organic carbon by 284 %, corrected pH to 7.9, and complied with NFU 44-051 heavy metal standards. The heatmap and hierarchical clustering analysis confirmed its superiority, positioning Co3 as a safe and effective amendment for sustainable agriculture adapted to local soils.

KEYWORDS: co-composting, sewage sludge, green waste, soil amendment, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude réalisée à San Pedro (Côte d'Ivoire) évalue la valorisation agronomique des boues de station d'épuration (BSE) et des déchets verts (DV) par co-compostage pour améliorer durablement les sols et promouvoir l'économie circulaire. Quatre formulations de Co-compost de DV/ BSE (Co1: 0/100, Co2: 25/75, Co3: 50/50, Co4: 75/25) ont été suivies pendant 90 jours, avec un suivi régulier de la température, de l'humidité et du pH. Les co-composts matures ont été caractérisés physico-chimiquement, évalués par leur maturité biologique et leur teneur en métaux lourds. Une matrice multicritère pondérée sur 10 critères, a désigné la formulation Co3 comme optimale (score 40/45), surpassant significativement Co4 (29/45), Co2 (21/45) et Co1 (15/45). Co3 a atteint 65 °C au jour 40, satisfait aux exigences sanitaires (normes NFU 44-051), maintenu une humidité optimale, augmenté le carbone organique de 284 %, corrigé le pH à 7,9 et respecté les normes NFU 44-051. L'analyse en heatmap et le clustering hiérarchique ont confirmé sa supériorité, positionnant Co3 comme un amendement sûr et performant pour l'agriculture durable adaptée aux sols locaux.

MOTS-CLEFS: co-compostage, boues de station, déchets verts, amendement organique, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La gestion des déchets organiques urbains et industriels constitue un défi environnementaux majeurs en Afrique subsaharienne [1], [2], [3] où l'augmentation des flux fermentescibles s'accompagne d'une dégradation progressive des sols agricoles [4], [5]. En Côte d'Ivoire, la production de déchets ménagers (0,64 kg par habitant par jour) dépasse la moyenne (0,46 kg par jour) de l'Afrique subsaharienne [6], offrant un potentiel de valorisation agronomique pour l'agriculture péri-urbaine [7] et urbaine [8], [9]. Le co-

compostage de boues de station d'épuration (BSE), riches en nutriments, et de déchets verts (DV), à forte teneur en carbone, améliore l'équilibre des substrats et optimise la stabilisation organique [10], [11]. Toutefois, des incertitudes persistent sur l'optimisation des ratios, les indicateurs de maturité et la maîtrise des éléments traces métalliques (ETM) [12]. L'absence de cadres d'évaluation multicritère intégrant qualité fertilisante, stabilité biologique et innocuité environnementale limite la sélection rationnelle de formulations adaptées [13]. Cette étude vise à optimiser le co-compostage BSE-DV par une approche multicritère combinant suivi cinétique, analyse multivariée et vérification de conformité environnementale.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRES PREMIÈRES

Les BSE provenaient de la station d'épuration TRANSCAO-CI à San Pedro (traitement par boues activées, 25 jours d'âge). Elles présentaient un pH de 7,91, un rapport C/N de 74 et une matière organique (MO) de 62,38 % (Tab. 1). Les DV (tontes de gazon, Université de San Pedro) affichaient un pH de 9,9 et un C/N de 14,2. Avant co-compostage, les BSE ont été partiellement déshydratées et les DV broyés en particules de 5 cm. Quatre formulations ont été testées à raison de 20 t·ha⁻¹ de matière sèche: Co1 (0/100 DV/BSE), Co2 (25/75), Co3 (50/50) et Co4 (75/25). Cette dose de référence est basée sur les essais de [14] sur sols ferrallitiques tropicaux.

Tableau 1. *Caractéristiques physico-chimiques initiales des substrats et composition des formulations testées (dose totale = 20 t·ha⁻¹)*

Table 1. *Initial physico-chemical characteristics of substrates and composition of tested formulations (total dose = 20 t·ha⁻¹)*

Section A : Caractéristiques des substrats			
Paramètre	DV	BSE	Unité
pH (eau 1:2,5)	9,9	7,9	—
Matière organique (MO)	2,77	62,38	%
Carbone (C)	1,61	36,27	%
Azote total (N)	0,11	0,49	%
Rapport C/N	14,2	74	—
Phosphore assimilable	8,09	3800	mg·kg ⁻¹
Calcium (Ca)	0,403	0,48	%
Magnésium (Mg)	0,23	0,53	%
Potassium (K)	0,02	2,27	%
Chrome (Cr)	54	137	mg·kg ⁻¹
Nickel (Ni)	21	28	mg·kg ⁻¹
Cuivre (Cu)	69	21	mg·kg ⁻¹
Zinc (Zn)	237	228	mg·kg ⁻¹
Plomb (Pb)	9	159	mg·kg ⁻¹
Section B : Formulations			
Ratio DV/BSE (%)	(t·ha⁻¹)	(t·ha⁻¹)	Total (t·ha⁻¹)
Co1[0/100]	0	20	20
Co2[25/75]	5	15	20
Co3[50/50]	10	10	20
Co4[75/25]	15	5	20

2.2 CONDUITE DU CO-COMPOSTAGE

Le co-compostage a été conduit en andains aérés (1,5 m × 1,2 m × 3 m) pendant 90 jours, avec retournement bi-hebdomadaire et arrosage pour maintenir l'humidité entre 40 et 60 % [15]. La température et l'humidité ont été mesurées tous les deux jours à trois profondeurs (0, 15 et 30 cm) avec un thermo-hygromètre TA 298. Le pH a été déterminé dans un extrait aqueux (rapport 1: 10 m/v) avec un pH-mètre WTW Multi 3420. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque formulation.

2.3 CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES

À 90 jours, la MO a été mesurée par perte au feu (550°C, 5h), le carbone organique par Walkley-Black, l'azote total par Kjeldahl, les éléments majeurs (P₂O₅, K₂O, Ca, Mg) et éléments traces métalliques (ETM) dont le Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, par spectrométrie d'absorption atomique et ICP-MS, conformément aux normes NF U44-163 et NF EN 13650.

2.4 ANALYSES STATISTIQUES ET ÉVALUATION MULTICRITÈRE

Une analyse de variance à deux facteurs (ANOVA 2, formulation $\times$ temps) a été réalisée, suivie du test LSD de Fisher ($\alpha = 0,05$). Une heatmap couplée à un dendrogramme hiérarchique a visualisé les propriétés finales. Une matrice multicritère pondérée sur 10 indicateurs (correction acidité, séquestration carbone, rapport C/N, rétention eau, enrichissement azoté, complexe cationique, rétention potassium, sécurité métallique) a permis le classement des formulations sur une échelle de 0 à 5, avec un score global sur 45. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R 4.5.2.

3 RÉSULTATS

3.1 DYNAMIQUES DE TRANSFORMATION

La cinétique thermique a révélé quatre phases: mésophile initiale (0-10 j, 24-27 °C), thermophile (10-40 j), refroidissement (40-70 j) et maturation (70-90 j) (Fig. 1). Co2 et Co3 ont atteint 64-65 °C au jour 40, satisfaisant les critères d'hygiénisation NFU 44-051 (60 °C pendant 14 jours), contrairement à Co1 (47 °C) et Co4 (59 °C). L'ANOVA2 indique un effet significatif de la formulation ($F_{3,27} = 3,357$, $p = 0,033$) et du temps ($F_{9,27} = 23,53$, $p < 0,0001$), avec des températures moyennes plus élevées pour Co2 ($40,4 \pm 4,6$ °C) et Co3 ($41,3 \pm 4,7$ °C) que pour Co1 et Co4.

L'humidité a diminué de 53-65 % à 23-32 %, avec Co3 conservant une meilleure rétention hydrique (effet formulation: $F_{3,27} = 25,83$, $p < 0,0001$). Le pH a suivi une trajectoire en V caractéristique, avec acidification transitoire en phase thermophile (5,0-5,8) puis alcalinisation progressive. Co3 a atteint un pH final de 7,9, le plus élevé (effet formulation: $F_{3,27} = 18,27$, $p < 0,0001$).

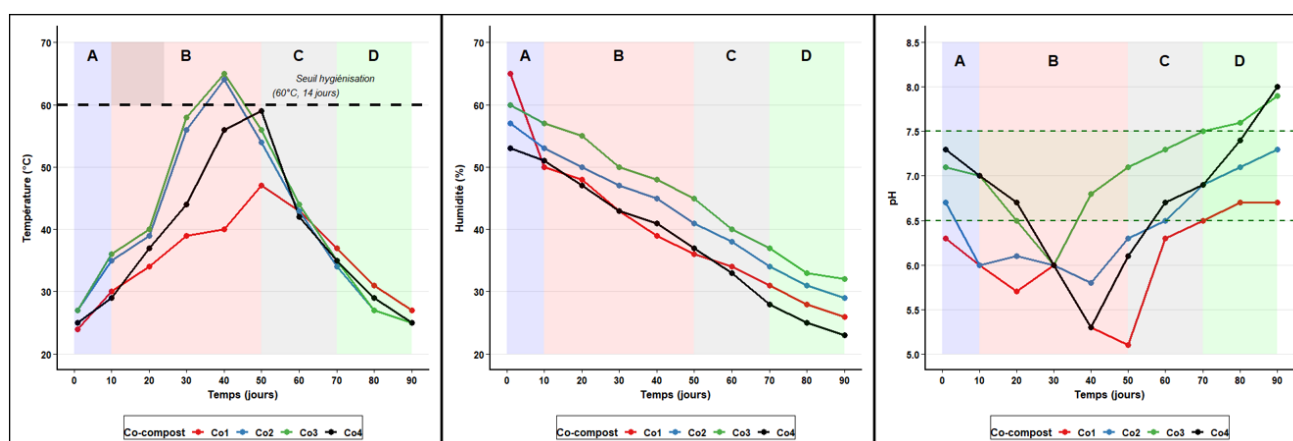


Fig. 1. Profils thermiques, évolution de l'humidité et du pH au cours du co-compostage des quatre formulations sur 90 jours

Fig. 1. Thermal profiles, moisture and pH evolution during co-composting of the four formulations over 90 days

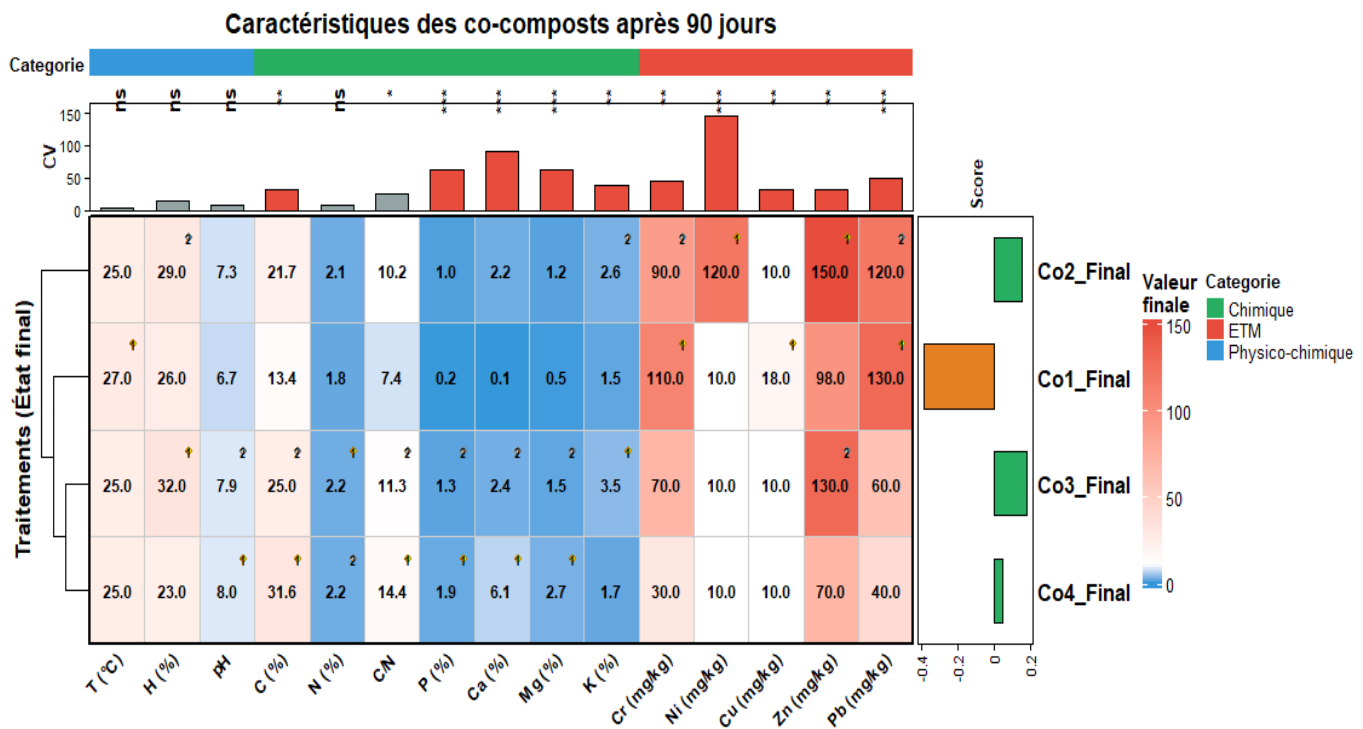
(A) Température: phases mésophile (0-10 j), thermophile (10-40 j), refroidissement (40-70 j), maturation (70-90 j). Ligne discontinue = seuil d'hygiénisation (60 °C pendant 14 jours, NFU 44-051). (B) Humidité: diminution progressive de 53-65% à 23-32%. (C) pH: trajectoire en V avec acidification transitoire puis alcalinisation. Moyennes de 3 répétitions par formulation.

3.2 ANALYSE MULTIVARIÉE DES PROPRIÉTÉS FINALES

L'observation en heatmap couplée au dendrogramme hiérarchique (Tableau 2) a révélé une organisation binaire des formulations: Co1-Co2 et Co3-Co4, traduisant des trajectoires de transformation différenciées (tableau 2). La dispersion inter-formulation était particulièrement marquée pour le phosphore (CV = 63,9 %), le calcium (CV = 92,3 %), le magnésium (CV = 61,9 %), le nickel (CV = 146,7 %) et le plomb (CV = 50,6 %), avec des différences hautement significatives ($p < 0,001$).

Tableau 2. Heatmap couplée au dendrogramme hiérarchique des propriétés finales des co-composts après 90 jours

Table 2. Heatmap coupled with hierarchical dendrogram of final properties of co-composts after 90 days



Le dégradé de couleurs indique l'intensité relative (bleu = faible, blanc = médiane, rouge = élevé). CV% = coefficient de variation inter-traitements. Dendrogramme = regroupement hiérarchique (méthode de Ward). Flèches: dorée = rang 1, argentée = rang 2.

3.3 TRANSFORMATIONS BIOGÉOCHIMIQUES

Co3 a montré une accumulation exceptionnelle de carbone organique (+284 %, de 6,51 à 25,03 g·kg⁻¹), tandis que Co1, Co2 et Co4 enregistraient des pertes (-59,7 à -63,1 %) (Tab. 3). Le rapport C/N final de Co3 (11,32) indique une humification optimale, supérieur à Co1 (7,43) et Co2 (10,18). L'azote total a chuté sous Co3 et Co4 (-76,1 % et -80,7 %), tandis que Co1 présentait un gain atypique (+267 %). L'ANOVA révèle des effets formulations très hautement significatifs pour tous les paramètres (F > 500, p < 0,001).

Le complexe cationique a subi des pertes différentielles (Tab. 3). Co3 a maintenu le niveau potassique final le plus élevé (3,53 cmol (+) ·kg⁻¹) malgré une diminution de 44 %, tandis que Co4 a perdu 75,8 % de son potassium. Pour le calcium et le magnésium, Co2 et Co4 ont mieux conservé ces cations que Co1 et Co3.

Tableau 3. Matière organique, éléments nutritifs majeurs et complexe d'échange cationique

Table 3. Organic matter, major nutrients and cation exchange complex

Paramètres	Co1		Co2		Co3		Co4		F ; p-value
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	
Corg (g kg ⁻¹)	36,27 ^c	13,40 ^e	53,79 ^b	21,70 ^f	6,51 ^h	25,03 ^e	84,36 ^a	31,61 ^d	684,7***
Ntot (g kg ⁻¹)	0,49 ^f	1,80 ^e	4,12 ^c	2,13 ^{de}	9,26 ^b	2,21 ^d	11,40 ^a	2,20 ^d	927,6***
Ptot (g kg ⁻¹)	0,38 ^e	0,21 ^h	1,17 ^e	0,97 ^f	1,68 ^c	1,34 ^d	2,64 ^a	1,89 ^b	500***
Rapport C/N	74,02 ^a	7,43 ^e	13,05 ^{bc}	10,18 ^d	7,29 ^e	11,32 ^{cd}	7,40 ^e	14,36 ^b	1242***

Initial = état au début du co-compostage; Final = état à la fin. Moyennes de 3 répétitions. Lettres en exposant = groupes homogènes (test LSD Fisher, α = 0,05). Corg: carbone organique; Ntot: azote total; Ptot: phosphore total. Complexe cationique en cmol (+) ·kg⁻¹.

Les ETM ont montré une hiérarchisation nette (Tab. 4). Co3 et Co4 respectaient les normes NFU 44-051 pour tous les métaux, tandis que Co1 et Co2 présentaient des charges excessives en plomb (130 et 120 mg·kg⁻¹ dépassant le seuil de 100 mg·kg⁻¹). Co4 a montré la

meilleure décontamination en chrome (-40 %) et cuivre (-87,5 %), tandis que Co2 présentait une augmentation problématique de nickel (+500 %).

Tableau 4. *Éléments traces métalliques*

Table 4. *Trace metal elements*

Paramètres	Co1		Co2		Co3		Co4		F ; p-value
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	
Chrome (Cr)	137 ^a	110 ^b	110 ^b	90 ^c	80 ^d	70 ^e	50 ^f	30 ^g	387,6 ***
Nickel (Ni)	21 ^b	10 ^c	20 ^b	120 ^a	20 ^b	10 ^c	10 ^c	10 ^c	1793 ***
Cuivre (Cu)	28 ^b	18 ^c	20 ^c	10 ^d	10 ^d	10 ^d	80 ^a	10 ^d	1138 ***
Zinc (Zn)	159 ^b	98 ^f	180 ^a	150 ^c	140 ^d	130 ^e	90 ^g	70 ^h	244,9 ***
Plomb (Pb)	228 ^a	130 ^b	130 ^b	120 ^c	90 ^d	60 ^e	60 ^e	40 ^f	747,2 ***

Initial = état au début; Final = état à la fin. Moyennes de 3 répétitions. Lettres en exposant = groupes homogènes (test LSD Fisher, $\alpha = 0,05$). Seuil NFU 44-051 pour Pb: 100 mg·kg⁻¹. Éléments traces métalliques (mg·kg⁻¹)

3.4 ÉVALUATION MULTICRITÈRE

La matrice décisionnelle a désigné Co3 comme formulation optimale avec un score de 40/45, suivie de Co4 (29/45), Co2 (21/45) et Co1 (15/45) (**Tab. 5**). Co3 s'est distinguée par sa capacité de correction de l'acidité (5/5), sa séquestration de carbone (5/5) et sa rétention hydrique (5/5), tout en respectant les normes métalliques (4/5). Co4 a obtenu de bonnes performances pour l'enrichissement azoté et le complexe cationique, mais a été pénalisée pour la rétention potassique (2/5). Co2 et Co1 ont été fortement pénalisées pour leurs profils métalliques problématiques (1/5 pour la sécurité métallique).

Tableau 5. *Matrice décisionnelle multicritère intégrative (scores sur 5 et score global sur 45)*

Table 5. *Integrative multicriteria decision matrix (scores out of 5 and global score out of 45)*

Critère stratégique	Co1	Co2	Co3	Co4
Correction de l'acidité	1	3	5	4
Séquestration du carbone	0	1	5	3
Qualité de la MO (C/N final)	5	4	3	1
Rétention hydrique	2	4	5	1
Enrichissement azoté	2	3	3	5
Stabilité du complexe d'échange	2	4	4	2
Pertes en K ⁺	3	2	2	0
Sécurité métallique globale	0	0	4	5
Compatibilité agriculture biologique	0	0	5	4
Score total /45	15	20	40	29

Critères: correction acidité, séquestration C, qualité MO (C/N), rétention eau, enrichissement N, complexe cationique, rétention K, sécurité métallique (7 ETM), hygiénisation, maturité biologique. Barème: ≥ 40 excellent; 30-39 bon; 20-29 acceptable; < 20 inadéquat.

4 DISCUSSION

La dynamique thermique de Co3 confirme l'importance d'un ratio DV/BSE équilibré (50/50) pour atteindre les objectifs sanitaires. Cette performance résulte de l'équilibre optimal entre substrats carbonés facilement dégradables (DV) et apport azoté (BSE), créant des conditions favorables aux microorganismes thermophiles [16]. La prolongation de la phase thermophile (30 jours au-dessus de 55 °C) traduit une dégradation efficace de la MO labile.

L'acidification transitoire observée résulte de l'accumulation d'acides organiques par les bactéries acidogènes, phénomène classique du co-compostage [17]. La remontée du pH jusqu'à 7,9 sous Co3 s'explique par la neutralisation progressive par l'ammoniaque libéré lors de la minéralisation azotée, confirmant la maturation biochimique [18].

La rétention hydrique supérieure de Co3 résulte du rôle structurant des DV, facilitant l'aération et la circulation de l'oxygène [19]. Ce maintien de l'humidité optimale tout au long du processus favorise l'activité microbienne et la qualité finale du co-compost.

L'accumulation de carbone (+284 %) positionne Co3 comme amendement de choix pour la séquestration et l'amélioration de la structure des sols tropicaux, souvent pauvres en MO (Guibert *et al.*, 2017). Le C/N final de 11,32 indique une humification équilibrée, favorable à la minéralisation progressive de l'azote [20], [21].

Le respect des normes métalliques NFU 44-051 par Co3 contraste avec les charges excessives de Co1 et Co2, soulignant l'importance du ratio initial sur la qualité environnementale finale [22]. L'approche multicritère développée offre un outil décisionnel robuste pour sélectionner des formulations adaptées aux contextes pédoclimatiques locaux, en intégrant simultanément performances agronomiques et innocuité environnementale

5 CONCLUSION

Cette étude démontre que le co-compostage BSE-DV à ratio 50/50 (Co3) produit un amendement organique optimal, combinant hygiénisation efficace (65 °C), séquestration de carbone (+284 %), équilibre nutritionnel (C/N = 11,32) et conformité environnementale (normes NFU 44-051). L'approche multicritère intégrative confirme Co3 comme solution agronomique durable pour valoriser les déchets urbains et améliorer la fertilité des sols tropicaux. Ces résultats ouvrent des perspectives pour l'économie circulaire en zone urbaine africaine et soulignent l'importance d'une optimisation rationnelle des ratios de mélange pour garantir la qualité et la sécurité des amendements organiques produits.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre reconnaissance à la société TRANSCAO-CI (Transformation du Cacao Côte d'Ivoire) de San Pedro (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire), pour la fourniture des boues de station d'épuration ayant servi de matériau d'étude.

REFERENCES

- [1] Ngahane. E.L., Tambe. R.M, Tchifofo. L.R., Sagne. M.J. (2023). Vermicompostage des Boues de la Station d'Épuration des eaux Usées du Camp SIC Cité-Verte (Yaoundé-Cameroon. *European Scientific Journal, ESJ*, 24, 722. Retrieved from <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/17591>.
- [2] Zoma. V., Kiemdé. A., Sawadogo. Y. (2022). Principaux défis de la croissance urbaine de Ouagadougou. *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et de Développement des Suds (REGARDSUDS)*, 2022, Septembre (2), pp.77-92. (hal-03831409).
- [3] Zoma. V., Sama. N., Gnankon. K.E.G. (2023a). Problématique de la gestion des déchets solides dans la commune de Saaba au Burkina Faso. *Cinq Continents Revue Roumaine de Géographie*, 13 (28), pp.197- 212.
- [4] Perry. B.M, Katenda. K., Hanocq. P. (2023). Enjeux socio-économiques et urbanisation: précarité des ménages, vulnérabilité des groupements urbains au quartier Luwuwoshi. *International Journal of Innovation an Applied Studies* 39 (2): 954-964. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [5] Ngabirano. E., Nke. Ndi. J., Bigumandondera. P., Manirambona. J. B., Nsengiyumva. V. (2025). The Bujumbura City Facing the Challenges of Household Solid Waste Management: Contribution to the Anthropology of Development. *Open Journal of Social Sciences*, 13, 728-738. doi: 10.4236/jss.2025.137040.
- [6] Yao-Kouassi. Q.C., Gohourou. F., N'guessan. K.G. (2017). Collecte des déchets ménagers et croissance urbaine dans les communes de Cocody et Yopougon (District d'Abidjan, Côte d'Ivoire). *Revue Ivoirienne des Lettres, Arts et Sciences Humaines*, 35, pp.131-140. fffhal02403751.
- [7] Akotto. P. O., Boccanfuso. D., Yergeau M-E. (2020). Agriculture urbaine et péri-urbaine, pauvreté, sécurité alimentaire et environnement dans les pays en développement: une revue exploratoire des méthodologies et des impacts. *Cahiers de recherche* 20-03.
- [8] Akotto. O.F, Kouadio. K.-K.H., Messoum. F.G., Ouattara. B.I. (2022). Influence de l'application du compost solide sur les paramètres de croissance et de rendement de la culture de tomate au centre de la Côte d'Ivoire. *REV. RAMRES - 10* (02), 37-42.
- [9] Zoma. V., Sama. N., Kabran. G.E.G. (2023b). Solid Waste Management Issues in the Commune of Saaba in Burkina Faso. *Cinq Continents Romanian Journal of Geography*, 13, 77-88. <https://hal.science/hal-04264000/>.
- [10] Mankulu. J., Ive. E., Kagheni. E., Mavanga. T., Opota. D., Mana. D. (2022). Pharmacotechnical and Chemical Study of Paracetamol Sold in Kinshasa-DR Congo: Comparative Quality Assessment of Five Brands. *Open Journal of Applied Sciences*, 12, 501-516. doi: 10.4236/ojapps.2022.124035.
- [11] Kane. N.A., Soumare. A., Ndiaye. L., Mbaye. P.N., Camara. B., Charahabil.M.M. (2025). Méta-analyse sur l'impact des amendements organiques et des champignons mycorrhiziens arbusculaires dans la réhabilitation des sols salés. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 19 (3): 1209-1222. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v19i3.29>.
- [12] Souley. A.H., Alhou. B., Tackx. M., Probst. J.L., Azemar. F. (2023). Distribution et enrichissement des éléments traces métalliques dans les sédiments du fleuve Niger, Niger: Distribution and enrichment of trace metal elements in the sediments of the Niger River, Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16 (6), 2945–2963. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i6.38>.

- [13] Kebalo. L. (2024). Produits résiduels organiques issus de déchets périurbains: évaluation des potentialités et impacts agro-environnementaux en maraîchage périurbain. *Agronomie*. Université Paris- Saclay, NNT: 2024UPASB003. 303 p.
- [14] Guibert. H., Cretenet. M., Fadoegnon. B., Fayalo. G., Koné. M., Dureau. D., Brédoumy. K., S., Gigou. J. (2007). *Amendements organiques, productivité des cultures et dynamique du carbone des sols en Afrique Sub-Saharienne*. Communication présentée à « Agroécologie et techniques innovantes dans les systèmes de production cotonniers », Maroua 24-28 septembre. 22 p.
- [15] Sema. A.-I.M., Koledzi. E.K., Krou. N.M, Tcha-Thom. M. (2021). Étude comparée de la ventilation naturelle et automatique à l'aide de tuyaux perforés et du procédé classique de retournements des andains en compostage. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15 (1), 354–366. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.30>.
- [16] Grgas. D., Štefanac. T., Barešić. M., Toromanović. M., Ibrahimpašić. J., Vukušić. Pavičić. T., Habuda-Stanić. M., Herceg. Z., Landeka. Dragičević. T. (2021). Co-composting of Sewage Sludge, Green Waste, and Food Waste, *J.sustain. dev. energy water environ. syst.*, 11 (1), 203, DOI: <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d10.0415>.
- [17] Chanakya HN, Ramachandra TV, Guruprasad M, Devi V. 2007. Micro-treatment options for components of organic fraction of MSW in residential areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135 (1–3), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9711-5>.
- [18] Bernal. V., Erto. A., Giraldo. L., Moreno-Piraján J. C. (2017). Effect of Solution pH on the Adsorption of Paracetamol on Chemically Modified Activated Carbons. *Molecules*, 22, Article 1032.
- [19] Doublet. J., Francou. C., Poitrenaud. M., Houot. S. (2010). Sewage sludge composting: Influence of initial mixtures on organic matter evolution and N availability in the final composts. *Waste Management*, 30 (10): 1922-1930. 10.1016/j.wasman.2010.04.032
- [20] Boueunan. B.W., Bongoua.D.-A.J., Michaël. B.L.F. (2024). Étude des propriétés physico-chimiques et microbiologiques d'un biofertilisant élaboré à partir de résidus de récolte, d'un consortium bactérien et de roche phosphatée. *European Scientific Journal, ESJ*, 29, 569. Retrieved from <https://ejournal.org/index.php/esj/article/view/18171>.
- [21] Mamane. A.I.M.I., Hassane. B.Y., Mamane. M.T., Zanguina. A. (2024). Etude des caractéristiques physico-chimiques d'un compost élaboré par une technique de compostage innovante à Madaoua, Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 18 (3): 1166-1179. DOI: 10.4314/ijbcs.v18i3.34.
- [22] Chennaoui. M., Salama. Y., Makan. A., Mountadar. M. (2016). Compostage en cuve des déchets ménagers et valorisation agricole du compost obtenu. *Algerian journal of arid environment*, 6 (2), 53-66.
- [23] Environnement dans les pays en développement: une revue exploratoire des méthodologies et des impacts. *Cahiers de recherche* 20-03. <http://gredi.recherche.usherbrooke.ca/wpapers/GREDI-2003.pdf>.