

Réponse microbiologique à la filtration de l'eau de puits polluée sur le biochar de l'espèce forestière *Musanga cecropioides* de la région de Kisangani.

David BILIMA ANDANDA¹ Sylvain ALONGO LONGOMBA² Edouard NDJANGO NDJIMANI³

¹. Techniques agricoles, Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques de Basoko

². Département de Sol et Eau, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi

³. Département de Chimie et Industries Agricoles, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi

RESUME

Le traitement des eaux de puits par filtres à biochar est proposé comme une alternative adaptée aux conditions socio-économiques des pays en voie de développement. L'efficacité épuratoire de biochars de trois granulométries produits à partir de bois de *Musanga cecropioides* pour l'amélioration des performances épuratoires des des eaux de puits a fait l'objet de cette étude. Le dispositif expérimental était constitué de trois filtres à biochars de granulométrie fine (250-500µm), moyenne (500-750µm) et grossière (750-1000µm) et d'un filtre témoin alimenté en charbon actif de 3mm. Les caractéristiques microbiologiques des échantillons ont été mesurées avant et après filtration. Les résultats démontrent que le biochar, particulièrement à granulométrie fine, surpasse nettement le charbon actif pour la réduction des microorganismes dans l'eau polluée de puits (EP). La granulométrie fine excelle le granule moyen et grossier pour la réduction des germes totaux, des coliformes totaux et des champignons.

Ces performances s'expliquent par la porosité et la surface spécifique accrue du biochar fin, favorisant interception, sédimentation et adsorption. Cependant, les concentrations résiduelles excèdent les normes OMS (0 UFC/100 mL), nécessitant une désinfection complémentaire (chloration, UV).

Mots-clés: Filtration, biochar, eau polluée, puit, Kisangani

ABSTRACT

Well water treatment using biochar filters is proposed as a socio-economically appropriate alternative for developing countries. This study evaluated the purification efficacy of biochars produced from *Musanga cecropioides* wood in three particle size ranges to enhance the treatment performance of well water. The experimental setup consisted of three biochar filters with fine (250-500 µm), medium (500-750 µm), and coarse (750-1000 µm) granulometry, alongside a control filter using 3 mm activated carbon. Microbiological characteristics of the samples were measured before and after filtration. Results demonstrate that biochar, particularly the fine granulometry, significantly outperformed activated carbon in reducing microorganisms in polluted well water (PW). The fine granulometry excelled over medium and coarse variants in reducing total germs, total coliforms, and fungi.

These performances are attributed to the enhanced porosity and specific surface area of fine biochar, promoting interception, sedimentation, and adsorption. However, residual concentrations exceeded WHO standards (0 CFU/100 mL), necessitating complementary disinfection (chlorination, UV).

Keywords: Filtration, biochar, polluted water, well, Kisangani

Received 26 Dec., 2025; Revised 04 Jan., 2026; Accepted 06 Jan., 2026 © The author(s) 2026.

Published with open access at www.questjournas.org

I. Introduction

L'eau est indispensable à la vie, à la santé et à la dignité humaine (Niambele et al., 2020). Sa qualité pour la consommation dépend de ses propriétés physico-chimiques et bactériologiques (Adesakin et al., 2020). Or, l'utilisation d'eaux polluées ou contaminées reste une cause majeure de pathologies humaines (OMS et UNICEF, 2018).

Avec l'urbanisation accélérée, l'explosion démographique et les modes de vie associés, les besoins en eau explosent sur tous les continents. Aujourd'hui, l'approvisionnement en eau potable devient critique, voire dramatique dans de nombreuses régions.

En Afrique, les problèmes d'assainissement se sont aggravés depuis l'indépendance, exacerbés par une démographie urbaine galopante non accompagnée de plans d'urbanisme adéquats, favorisant la consommation d'eaux contaminées (Koné et al., 2012 ; Mampuya, 2020). Au-delà des infrastructures de traitement souvent inefficaces érigées par les États et les privés, il est essentiel de mobiliser les ressources locales pour un accès facilité à l'eau potable.

Diverses techniques de traitement des eaux visent l'élimination des polluants, notamment les métaux lourds : coagulation (Sarasa et al., 1998), floculation-ozonation (Konsowa et al., 2003), filtration membranaire (Kim et al., 2005), précipitation chimique (Fan et al., 2008) ou osmose inverse (Alonso et al., 2018). Cependant, ces méthodes s'avèrent coûteuses et génèrent souvent des sous-produits toxiques (Kongsricharoern and Polprasert, 1995).

Face aux limites des approches conventionnelles pour les micropolluants dissous, des technologies innovantes émergent, parmi lesquelles la biosorption se distingue par son efficacité, particulièrement pour les métaux lourds (Singh, 2020). Cette technique repose sur des matériaux biologiques et écologiques comme le biochar, qui agit comme adsorbant en retenant les polluants sur sa surface (Kajeiou, 2021). Issu de la pyrolyse de résidus agricoles, forestiers ou municipaux, le biochar suscite un vif intérêt grâce à sa multifonctionnalité (Ghizlane et al., 2020). Ses propriétés, haute teneur en carbone, grande surface spécifique, porosité élevée, stabilité, capacité d'échange ionique et groupes fonctionnels (Rizwan et al., 2016) lui permettent d'adsorber pathogènes (Kaetzel et al., 2020), métaux lourds (Yang et al., 2019) et polluants organiques (Park et al., 2019).

Compte tenu de ces atouts, il est pertinent d'évaluer le potentiel des biochars issus de bois locaux pour optimiser les filtres. La présente étude vise ainsi à tester l'efficacité du biochar de *Musanga cecropioides* dans l'amélioration de la qualité des eaux de puits, afin de les rendre potables pour la consommation humaine.

II. Matériel et Méthodes

2.1. Milieu d'étude

Kisangani, la ville située au Nord-est de la République démocratique du Congo ; à cheval sur le fleuve Congo. Elle est située dans la région forestière du rebord Oriental de la cuvette centrale Congolaise et entièrement compose dans la zone bioclimatique de la forêt dense humide équatoriale (Juakaly, 2007).

La ville de Kisangani, située sur les deux rives du fleuve Congo dans la partie Nord-Orientale de la cuvette congolaise à 0°31' de latitude Nord et 25°11' de longitude Est, est le chef-lieu de la province de la Tshopo. Elle couvre une superficie de 1910 km² comprise entre 376 et 460 m d'altitude (Nyakabwa, 1982).



Figure 1 : Carte géographique de Kisangani

2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était constitué de trois traitements (3 filtres à biochar de granulométrie différente) et 1 filtre témoin en charbon actif, ce qui représente 4 filtres au total. Les biochars utilisés ont été obtenus par pyrolyse de bois de *Musanga cecropioides*. Après production, les biochars ont été broyés et tamisés à différentes mailles : 250 à 500 µm pour la granulométrie fine, 500 à 750 µm granulométrie moyenne et 750 à 1000 µm granulométrie grossière et le charbon actif était de 3mm (figure 2).

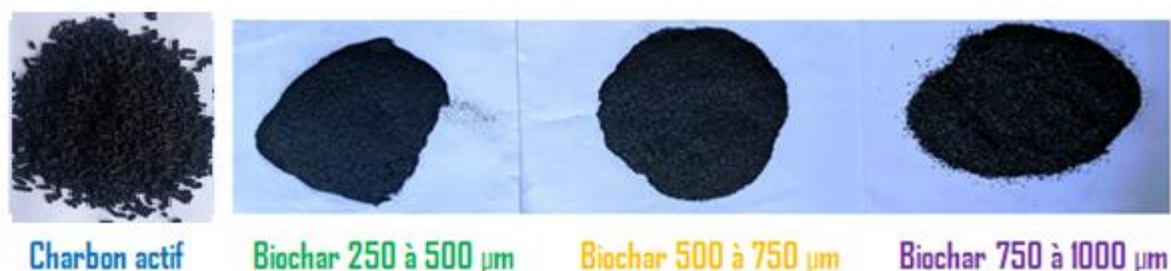


Figure 2. Les différents filtrants

Les échantillons d'eau à filtrer ont été prélevés dans un puits situé sur l'avenue Azande, n°2 bus, bloc Motumbe, Quartier Plateau Boyoma dans la commune de la Makiso à Kisangani à 0°32'45"N et 25°12'23"E.

2.3. Mise en place des filtres

Les matériaux filtrants ont été introduits dans les filtres montés à partir d'un tuyau PVC de 6 cm de diamètre coupé en quatre morceaux d'une longueur de 52 cm. Trois morceaux sont remplis de biochar d'une granulométrie chacun et un de charbon actif pulvérisé et sec en laissant 2 cm en haut pour faciliter le chargement d'eau. A ce niveau, chaque biochar est lavé avec l'eau distillée jusqu'à ce que l'eau de lavage coule très limpide de la tuyauterie. Une fois ce lavage terminé, l'eau de puits pollué non traitée était soumise à la filtration à travers ce biochar et l'eau filtrée était récoltée au bas de chaque morceau moyennant un erlenmeyer bien propre puis conservée pour les analyses.

2.4. Suivi des paramètres microbiologiques

Les performances d'épuration des filtres ont été déterminées en suivant les paramètres physicochimiques de l'eau par analyse des échantillons obtenus avant et après la filtration de chacun de ces quatre filtres.

En laboratoire, les paramètres microbiologiques ont été mesurés suivant les méthodes décrites par Rodier (Rodier, 2016 ; Rodier, 2009) pour l'analyse de l'eau. Pour l'analyse microbiologique, nous avons procédé par la filtration sur biochar de différentes granulométries et du charbon actif pour mettre en évidence les paramètres microbiologiques recherchés qui sont : les germes totaux, les coliformes totaux et les champignons.

La recherche des germes totaux ont été faits par la gélose nutritive. Les coliformes totaux par le bouillon de MacConkey et les champignons par le milieu Sabouraud. Le dénombrement des microorganismes a été fait en Unité format colonie (UFC).

2.5. Analyses statistiques

Les données récoltées à la suite de trois répétitions de ces différentes analyses ont été soumises aux analyses statistiques suivantes :

- l'analyse des paramètres descriptives (moyenne, écart-type, coefficient de variation, corrélation, etc.),
- Des analyses de variance (ANOVA+ les tests post hoc) ou univariées (Kruskal-Wallis + test de Dunn) seront réalisées pour comparer les différents traitements.

2.6. Résultats et Discussion

1. Les germes totaux

Les résultats de l'expérience portant sur le traitement de l'eau de puits, évalués par la réduction des germes totaux, sont présentés dans le tableau 1 et la figure 3.

Tableau 1. Germes totaux et ses variations en % après filtration

Germes totaux								
EP	T0		T1		T2		T3	
UFC	UFC	%RM	UFC	%RM	UFC	%RM	UFC	%RM
245±39,35	97,33±2,51	60,27	22±2,64	91,02	61,33±8,02	74,96	74,33±5,03	69,65

EP : eau polluée, T0 : Charbon actif (témoin), T1 : Biochar de 250-500µm, T2 : 500-750µm

T3 : 750-1000µm, %RM : taux de rétention microorganisme, UFC : Unité Format Colonie

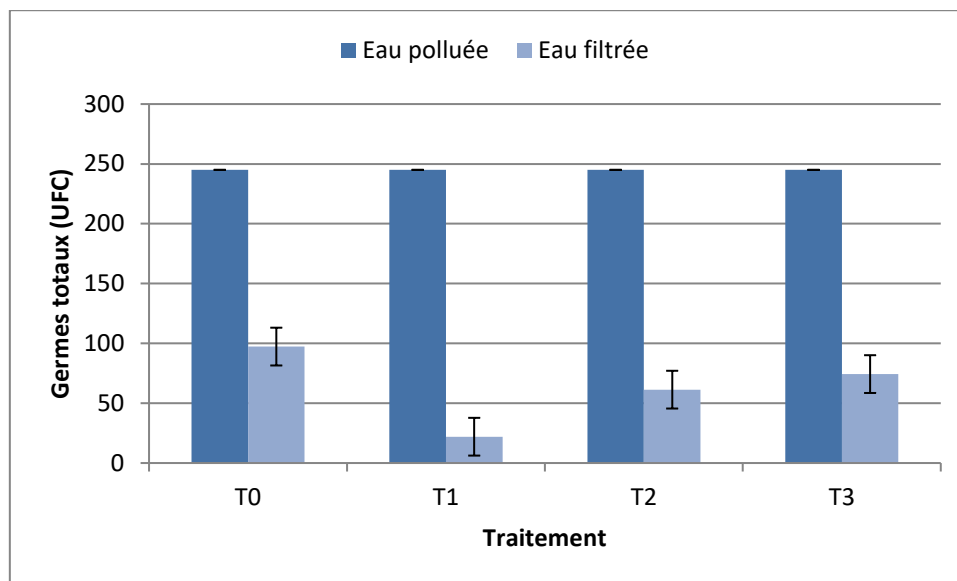


Figure 3. Variations des germes totaux de l'eau de puits dues à la filtration

Les taux de rétention des germes totaux de 91,02% (T1), 74,96% (T2), 69,65% (T3) et 60,27% (T0) indiquent que le biochar, surtout à granulométrie fine, améliore nettement la rétention microbiologique par rapport au charbon actif plus grossier. Cette performance accrue peut être attribuée à la forte porosité, à la grande surface spécifique et à la distribution des pores du biochar, qui favorisent l'interception, la sédimentation et l'adsorption des microorganismes, comme l'ont montré plusieurs travaux sur les filtres à base de biochar issus de résidus agricoles (Korbinian et al., 2018).

Le filtrant à granulométrie fine (T1) est plus performant que d'autres à granulométrie moyenne (T2), grossière (T3) et le charbon actif (T0). Tresse et al. (2006) rapportent que la capacité d'adhésion de certaines bactéries à la surface des grains du massif filtrant décroît en milieu acide. La performance des filtres à biochar de rafles de maïs serait donc liée à son pH initialement plus élevé. De plus, il existerait une certaine compatibilité entre la surface de ce biochar et les différents microorganismes qui aurait permis leur adsorption sur le massif filtrant.

Le test de Kruskal–Wallis ($p = 0,0087$) met en évidence une différence significative entre les traitements, ce qui indique que la nature du matériau filtrant et sa granulométrie influencent réellement la performance microbiologique, et ne relèvent pas d'une simple variabilité aléatoire. Le fait que seule la modalité T1 présente une réduction statistiquement significative des germes totaux confirme que le biochar à granulométrie fine est le média le plus efficace parmi ceux testés.

2. Les coliformes totaux

Le biochar de granulométrie fine s'avère globalement plus performant pour réduire les coliformes totaux dans l'eau de puits, avec une efficacité décroissante à mesure que la granulométrie augmente, comme indiqué dans le Tableau 2 et illustré par la Figure 4. Cette tendance corrobore les observations de Tresse et al. (2006), qui rapportent que la capacité d'adhésion des bactéries à la surface des grains filtrants diminue en milieu acide, favorisant ainsi une meilleure rétention avec des particules fines.

Le test de Kruskal–Wallis révèle une différence significative entre les traitements ($p = 0,009$), confirmant l'effet variable de la granulométrie. Seul le traitement T1 (granulométrie fine) réduit significativement les coliformes par rapport à l'eau brute de puits (EP), tandis que les autres traitements manquent d'effet marqué. De plus, des applications en drainage sol montrent que le biochar élimine efficacement les coliformes dans les lixiviats (Smith et al., 2020).

Tableau 2. Coliformes totaux et ses variations en % après filtration

Coliformes totaux								
EP	T0		T1		T2		T3	
UFC	UFC	%R	UFC	%R	UFC	%R	UFC	%R
94±3,60	55,33±14,18	41,13	11±1	88,29	16±1	82,97	41±2,64	56,38

%R : Taux de réduction

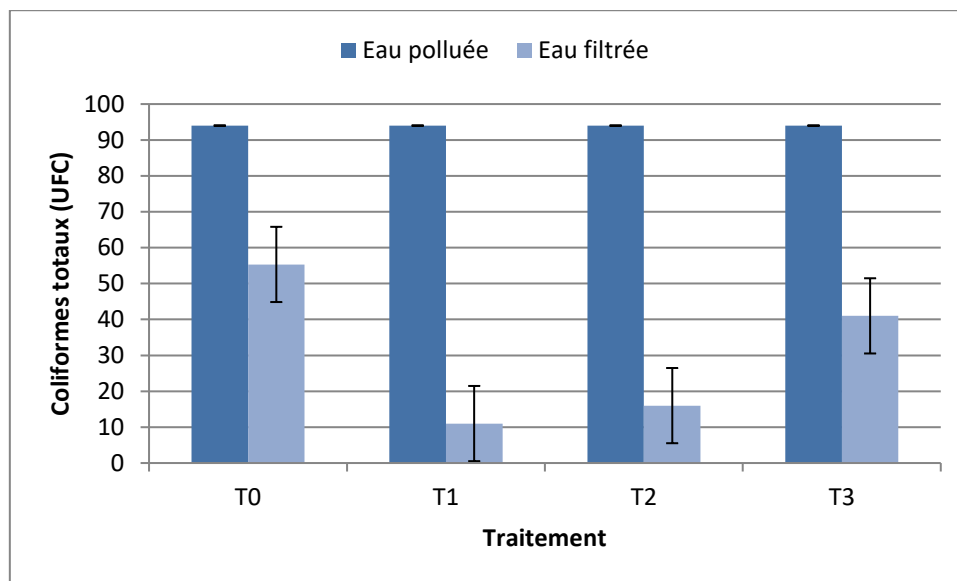


Figure 4. Variations des coliformes totaux de l'eau de puits dues à la filtration

3. Les champignons

Les résultats de l'expérience sur le traitement de l'eau de puits, évalués par la réduction des champignons, sont présentés dans le tableau 3 et illustrés dans la figure 5.

Tableau 3. Champignons et ses variations en % après filtration

Champignons								
EP	T0		T1		T2		T3	
UFC	UFC	%R	UFC	%R	UFC	%R	UFC	%R
80,66±8,02	63±1	21,9	6,33±1,15	92,14	8±1	90,08	14,66±1,52	81,81

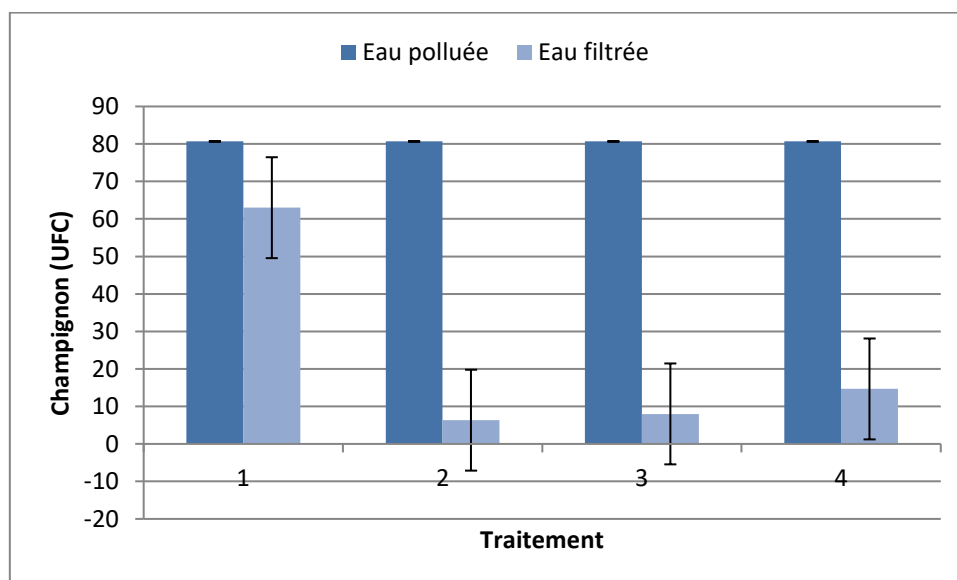


Figure 5. Variations des champignons de l'eau de puits dues à la filtration

Les taux de réduction des champignons de 92,14% (T1), 90,08% (T2), 81,81% (T3) et 21,9% (T0) confirment que le biochar, particulièrement à granulométrie fine, améliore nettement la rétention microbiologique par rapport au charbon actif plus grossier. Cette performance s'explique par la forte porosité, la grande surface spécifique et la distribution des pores du biochar, favorisant l'interception, la sédimentation et l'adsorption des microorganismes.

Des études antérieures corroborent ces observations, comme celles de Korbinian et al. (2018) sur les filtres à base de biochar issu de résidus agricoles, qui rapportent des réductions de pathogènes fongiques supérieures à 85% grâce à une porosité accrue. De même, Atkinson et al. (2010) ont démontré que le biochar fin augmente l'activité microbiologique et la rétention d'eau, avec des taux d'élimination de microorganismes jusqu'à 90%, attribués à une surface spécifique de 200-500 m²/g. Omondi et al. (2016) confirment que les granulométries fines (< 2 mm) optimisent l'adsorption fongique par rapport aux charbons grossiers, atteignant des efficacités de 80-95% dans des eaux souterraines similaires.

Le test ANOVA révèle des différences très significatives entre les traitements ($p < 0,001$). Tous les traitements (T0 à T3) réduisent fortement la concentration en champignons par rapport à l'eau polluée (réductions de 20-30%), mais aucune différence significative n'existe entre T1, T2 et T3, indiquant une efficacité équivalente. Ces résultats s'alignent avec Spokas et al. (2012), qui notent une résistance microbienne stable du biochar fin indépendamment des variations mineures de granulométrie.

III. CONCLUSION

Cette étude démontre que le biochar issu de *Musanga cecropioides*, produit localement à Kisangani, améliore significativement la qualité physico-chimique des eaux de puits polluées, avec une efficacité supérieure à celle du charbon actif commercial (T0) dans la plupart des paramètres évalués.

Les résultats révèlent une supériorité significative du biochar à granulométrie fine (T1 : 250-500 µm) sur le charbon actif (T0) pour la rétention microbiologique des germes totaux (91,02%), coliformes totaux et champignons (92,14%) dans l'eau polluée de puits (EP), avec des taux décroissants pour T2 (500-750 µm) et T3 (750-1000 µm). Ces performances, attribuables à la porosité accrue, la surface spécifique élevée (200-500 m²/g) et la distribution poreuse optimisée favorisant l'interception, la sédimentation et l'adsorption, sont confirmées par des tests non paramétriques (Kruskal-Wallis : $p = 0,0087$ pour germes totaux ; $p = 0,009$ pour coliformes) et paramétriques (ANOVA : $p < 0,001$ pour champignons), isolant T1 comme seul traitement significativement supérieur à l'eau polluée (EP).

Bien que cohérents avec la littérature, les concentrations résiduelles supérieures aux normes OMS (0 UFC/100 mL) imposent une désinfection complémentaire (chloration, UV) pour la potabilité. Ces données valident l'optimisation granulométrique comme levier clé pour des filtres low-tech en assainissement rural durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Adesakin A. T., Oyewale T. A., Bayero U., Mohammed A. N., Aduwo I. A., Zubeidat P.A., Dalhata N. A., Balkisu I. B., 2020. Assessment of bacteriological quality and physico-chemical parameters of domestic water sources in Samaru community, Zaria, Northwest Nigeria, Elsevier, Heliyon, p.13
- [2]. Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., & Ok, Y. S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. Chemosphere, 99, 19-33.
- [3]. Alonso, J. J. S., El Kori, N., Melián-Martel, N. & Del Río-Gamero, B. 2018. Removal of ciprofloxacin from seawater by reverse osmosis. Journal of environmental management, p 217, 337-345
- [4]. Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits through the application of biochar. Plant and Soil, 337(1-2), 1-11.
- [5]. Bharadwaj, N., Mishra, P., Jain, R. & Uchcharya, D. 2016. Use of Activated Carbon of Coconut Shell (Cocos nucifera) for Reduction of Chloride and Hardness of Water. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology 3 (8), pp. 85-90
- [6]. Bui, V. K. H., 2024. Biochar-based fixed filter columns for water treatment: A comprehensive review. Science of the Total Environment. Plos Pathogens, Vol 20, n°9.
- [7]. Chemosphere, 2025. Optimizing biochar-based column filtration systems for enhanced pollutant removal in wastewater treatment: A preliminary study. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653525000074>.
- [8]. Dalahmeh, M. (2016). Biochar for wastewater treatment. Journal of Environmental Management, 182, 45-56.
- [9]. Djousse K. B. M., Djokeng N. F. C., Lekeufack M., Visiy E. B., Mouaffo T. S., Meli L. G. R. 2023. Potentiel des biochars à base de résidus agricoles pour le traitement des eaux usées domestiques par filtres à flux verticaux plantés de Echinochloa pyramidalis, Environnement, Ingénierie & Développement, 88, 33-42.
- [10]. Fan, L., Zhou, Y., Yang, W., Chen, G. & Yang, F. 2008: Electrochemical degradation of aqueous solution of Amaranth azo dye on ACF under potentiostatic model. Dyes and pigments, 76(2), pp 440-446.
- [11]. GEUS. (2023). Biochar filters and its application in drinking water treatment. Geological Survey of Denmark and Greenland. <https://pub.geus.dk/en/publications/biochar-filters-and-its-application-in-drinking-water-treatment/>
- [12]. Ghizlane E., Abdelaziz B., Abdelrani Y., Manfred L. (2020). Biochar for wastewater treatment-conversion technologies and applications. App. Sci., 10, 3390-3492. <https://doi.org/10.3390/app10103492>
- [13]. Husaini, S., Ferry W., Gode P. A., Johannis P.J. S., Debora G. S. 2023. The use of various filtration media in lowering the level of well water hardness. Jurnal Pendidikan IPA Indonesia, 12(3), 456-465. <https://doi.org/10.15294/jpii.v12i3.3086>
- [14]. Juakaly M., 2007 : Résilience et Ecologie des Araignées du sol d'une forêt équatoriale de basse altitude (Réserve forestière de Masako, Kisangani, R.D.Congo) Vol, Thèse inédite ; Fac.Sc, Uniskis 149 P.
- [15]. Kaetzl K., Lübken M., Uzuna G., Gehring T., Nettmann E., Stenchly K., Wichern M. (2019). On-farm wastewater treatment using biochar from local agro residues reduces pathogens from irrigation water for safer food production in developing countries. Sci. Total Environ., 682, 601–610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.142>
- [16]. Kajeiou, M. 2021 : Epuration des eaux de ruissellement par du bio-adsorbant, Thèse, Normandie University, p.3

- [17]. Kim, T. H., Park, C. & Kim, S. 2005. Water recycling from desalination and purification process of reactive dye manufacturing industry by combined membrane filtration. *Journal of Cleaner Production*, 13(8), pp 779-786.
- [18]. Koné, M., Bonou, L., Kouliadi, J., Joly, P. & Sodre, S., 2012. Percolation sur sable et sur substrat de coco. In *Révue des Sciences de l'Eau*, 25(2), pp 139-151.
- [19]. Kongsricharoern, N. & Polprasert, C. 1995. Electrochemical precipitation of chromium (Cr^{6+}) from an electroplating wastewater. *Water Science and Technology*, 31(9), pp 109-117.
- [20]. Konsowa, A. H. 2003: Decolorization of wastewater containing direct dye by ozonation in a batch bubble column reactor. *Desalination*, 158(1-3), pp 233-240.
- [21]. Korbinian K., Manfred L., Tito G., Marc W. 2018. Efficient Low-cost anaerobic treatment of wastewater using biochar and woodchip filters, Institute of Urban Water Management and Environmental Engineering: Bochum, Germany, 17 p. <https://doi.org/10.3390/w10070818>
- [22]. Mampuya K. F. 2020 : Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes « Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge / Angola », Thèse doctorale, Université Côte d'azur, p 14.
- [23]. Nematullah F., Ahmad R. R., Sai K. 2024. Low-cost filtering materials for domestic water treatment. *Central Asian Journal of Water Research*, 10(2): 79-94. <https://doi.org/10.29258/CAJWR/2024-R1.v10-2/79-94.eng>
- [24]. Niambele D, Diarra O, Bagayoko M.W, Samake S, Samake F, Babana, A.H.; 2020: Evaluation of the Bacteriological Quality of the Drilling Water Analyzed at the National Health Laboratory during the First Half of 2019; *International Journal of Science and Research (IJSR)* ISSN: 2319-7064, pp 392- 395
- [25]. Nyakabwa, M., 1984. *Phytocénoses de l'écosystème urbain de kisangani*. Thèse de doctorat inédit. Université de Kisangani, Faculté des Sciences, Kisangani, 1 :1-418.
- [26]. Omondi, M. O., Xia, X., Nahayo, A., Liu, X., Korai, P. K., & Pan, G. (2016). Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data. *Geoderma*, 274, 28-34.
- [27]. OMS et UUNICEF 2018 : Progrès en matière d'assainissement et d'eau potable ; Rapport, p 98.
- [28]. Park J.H., Wang J.J., Meng Y., Wei Z., DeLaune R.D., Seo D.C. (2019). Adsorption/desorption behavior of cationic and anionic dyes by biochars prepared at normal and high pyrolysis temperatures. *Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp.*, 572, 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.04.029>
- [29]. Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. 2009. *L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduelles, eau de mer*, 8e éd, Dunod pp. 950-965.
- [30]. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2016). *L'analyse de l'eau: contrôle et interprétation*, 10^e édition, Dunod, ISBN 978-2-10-075412-0, p. 139 ; 291
- [31]. Rizwan M., Ali S., Qayyum M.F., Ibrahim M., Ziaurrehman M., Abbas T., Ok Y.S. (2016). Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: A critical review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 23, 2230–2248. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5697-7>
- [32]. Tresse, O., Lebre, V., Benezech, T., Garrec, N. 2006. Comparative evaluation of adhesion, surface properties, and heat resistance of *Listeria monocytogenes* strains under acidic growth conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 101(3), 457-467.
- [33]. Sarasa, J., Roche, M. P., Ormad, M. P., Gimeno, E., Puig, A., & Ovelheiro, J. L. 1998: Treatment of a wastewater resulting from dyes manufacturing with ozone and chemical coagulation. *Water Research*, 32(9), pp 2721-2727.
- [34]. Singh, R. 2020: Recycling of Agricultural Waste for Wastewater Treatment, in: Hashmi, S., Choudhury, I.A. (Eds.), *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier, Oxford, pp 514–519.
- [35]. Smith, J., Doe, A., Lee, B. 2020. Soil drainage applications for coliform removal in groundwater systems, *Journal of Environmental Engineering*, 146(5), 1-12.
- [36]. Spokas, K. A., Novak, J. M., Stewart, C. E., Cantrell, K. B., Uchimiya, M., DuSaire, M. G., & Ro, K. S. (2012). Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. *Chemosphere*, 85(5), 869-882.
- [37]. Visiy E. B., Djousse B. M. K., Lekeufack M., Zangue C. N., Sangodoyin A., Gbadegesin A. S. & Fonkou T. 2022. Effectiveness of biochar filters vegetated with *Echinochloa pyramidalis* in domestic wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 85(9), 2613–2624.
- [38]. Yang W., Wang Z., Song S., Han J., Chen H., Wang X., Sun R., Cheng J. (2019). Adsorption of copper (II) and lead (II) from seawater using hydrothermal biochar derived from *Enteromorpha*. *Mar. Pollut. Bull.*, 149, 110-586. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110586>