



Research Paper

## Réponse physico-chimique 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 ANDANDA<sup>1</sup>, Bienvenu CITO MULEMANGABO<sup>2</sup>, Sylvain ALONGO LONGOBA<sup>3</sup> Edouard NDJANGO NDJIMANI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>. Techniques agricoles, Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques de Basoko.

<sup>2</sup>. Département de Chimie et Industries Agricoles, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi.

<sup>3</sup>. Département de Sol et Eau, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi.

<sup>4</sup>. 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 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 physico-chimiques des échantillons ont été mesurées avant et après filtration. Les résultats révèlent une augmentation du pH pour tous les traitements, une amélioration accrue de la réduction de la turbidité, des extraits secs solubles, des matières en suspension et de la dureté totale par rapport au filtre à charbon actif.

De manière générale, le filtre avec biochar de granulométrie fine émerge comme granulométrie optimale pour la filtration des eaux de puits adaptés aux contextes des milieux ruraux favorisant la séquestration de carbone et la valorisation forestière.

### ABSTRACT

Well water treatment using biochar filters is proposed as a suitable alternative adapted to the socio-economic conditions of developing countries. This study investigated the purification efficiency 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, along with a control filter using 3 mm activated carbon. Physicochemical characteristics of the samples were measured before and after filtration. Results revealed a pH increase across all treatments, with significantly improved reductions in turbidity, soluble dry extracts, suspended solids, and total hardness compared to the activated carbon filter.

Overall, the fine granulometry biochar filter emerged as the optimal option for well water filtration in rural contexts, promoting carbon sequestration and forest resource valorization.

Received 12 Dec., 2025; Revised 22 Dec., 2025; Accepted 24 Dec., 2025 © The author(s) 2025.

Published with open access at [www.questjournals.org](http://www.questjournals.org)

### I. Introduction

L'eau joue un rôle essentiel tant pour la vie, la santé, que pour la dignité humaine (Niambele et al, 2020). La qualité de l'eau de consommation est appréciée par ses propriétés physicochimiques et bactériologiques (Adesakin et al, 2020). L'utilisation et la consommation d'eau polluée ou contaminée est l'une des causes de diverses pathologies humaines (OMS et UNICEF, 2018).

Avec le développement urbain, l'explosion démographique et les modes de vie qui s'en suivent, la croissance urbaine est une caractéristique actuelle des sociétés humaines sur tous les continents ; les besoins en eau suivent cette évolution. A l'heure actuelle, l'approvisionnement de l'eau est devenu difficile voire dramatique dans certaines régions du monde.

Les problèmes d'assainissement se sont accentués dans les pays africains depuis leur accession à l'indépendance. Selon Koné et al. (2012), la démographie sans cesse croissante en milieu urbain, et non accompagnée des plans d'urbanisation, sont parmi les causes de la consommation des eaux polluées dans la plupart des villes de ces pays (Mampuya, 2020). Il importe donc, au-delà des structures de traitement des eaux, construites par les Etats et les privés, souvent moins efficaces pour le traitement et la fourniture d'eau potable à la population urbaine, de réfléchir sur les ressources locales en vue d'améliorer l'accès facile en eau potable.

Des techniques diverses issues du traitement des eaux ont été utilisées pour l'élimination des polluants dont les métaux lourds des solutions aqueuses, principalement la coagulation (Sarasa et al., 1998), la floculation et l'ozonation (Konsowa et al., 2003), la filtration membranaire (Kim et al., 2005), la précipitation chimique (Fan et al., 2008) et l'osmose inverse (Alonso et al., 2018). Par ailleurs, ces méthodes peuvent être onéreuses et générer des produits toxiques difficiles à éliminer (Kongsricharoen and Polprasert, 1995). Ainsi, face aux limites des méthodes de traitement conventionnelles des micropolluants dissous, de nouvelles technologies ont émergé visant une épuration adéquate et efficace. Parmi les procédés de traitement développés, la biosorption est l'une des techniques les plus prometteuses, compte tenu de sa grande efficacité d'élimination des polluants, particulièrement ceux dissous et notamment les métaux lourds (Singh, 2020).

La biosorption est une méthode qui se base sur l'utilisation des matériaux biologiques et écologiques tels que le biochar qui agissent en tant qu'adsorbants, permettant l'attachement des polluants à leurs surfaces et ainsi l'épuration des solutions aqueuses contaminées (Kajeiou, 2021).

Le biochar, produit issu de la pyrolyse des résidus agricoles, forestiers et déchets municipaux attire de plus en plus l'attention des chercheurs ces dernières années en raison de sa multifonctionnalité (Ghizlane et al., 2020). Le biochar à travers ses propriétés particulières telles que sa teneur en carbone, sa grande surface spécifique, sa structure hautement poreuse et stable, sa grande capacité d'échange cationique et anionique et ses groupes fonctionnels (Rizwan et al., 2016), a la capacité d'adsorber différents polluants de l'eau tels que les agents pathogènes (Kaetz et al., 2020) ; les polluants inorganiques comme les métaux lourds (Yang et al., 2019) et les polluants organiques (Park et al., 2019).

Au regard de ces effets bénéfiques rapportés, il serait intéressant d'évaluer l'aptitude des biochars produits à partir des bois disponibles localement, à améliorer l'efficacité des filtres. La présente étude visait donc principalement l'évaluation de l'efficacité du biochar de *Musanga cecropioïdes* dans l'amélioration de la qualité des eaux de puits afin de les rendre potables à 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 composée 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 km<sup>2</sup> 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).

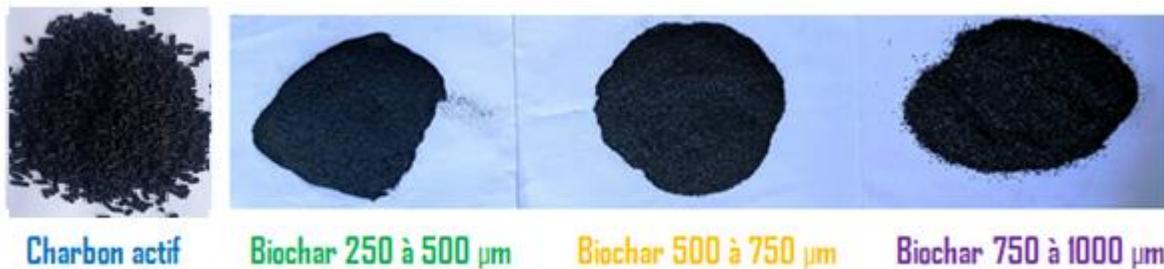


Figure 2. Les différents filtrants

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 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 physicochimiques

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 physicochimiques ont été mesurés suivant les méthodes décrites par Hach (Hach, 2004) pour l'analyse des eaux et eaux usées. Les paramètres mesurés comprenaient : le pH, la turbidité, l'extrait sec soluble, les matières en suspension et la dureté totale.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre EC-45 multi. La turbidité a été mesurée à partir d'un turbidimètre TB-LC-02. L'extrait sec soluble (ESS) par la formule suivante :

$$\text{Extrait sec soluble (mg/ml)} = \frac{\text{Masse bêcher après évaporation} - \text{Masse bêcher vide}}{\text{volume de l'échantillon}}$$

Les matières en suspension (MES) par cette formule :

$$\text{Matières en suspension (mg/l)} = \frac{(P_1 - P_0) * 1000}{V}$$

avec P0 : poids du papier filtre vide (mg)

P1 : poids du papier filtre après filtration (mg)

V : volume d'échantillon filtré (ml)

La dureté totale par un titrage complexométrique utilisant l'EDTA (Acide éthylène diamine tétra acétique) décrit par Rodier. (Rodier et al. 2016).

## 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. Le pH

Pour l'ensemble des filtres, l'observation visuelle des eaux après traitement a montré qu'ils étaient plus clairs que les eaux usées avant traitement. Le Tableau 1 et figure 3 comparent les résultats moyens obtenus et leur variation sur le pH de l'eau de puits avant et après filtration.

Tableau 1. pH et ses variations en % après filtration

EP	pH des échantillons filtrés à travers différents milieux filtrants							
	T0		T1		T2		T3	
	pH	%A	pH	%A	pH	%A	pH	%A
5,85±0,02	7,96±0,01	36,06	9,13±0,03	56,06	9±0,09	53,84	8,77±0,33	49,91

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

T2 : 500-750µm T3 : 750-1000µm, %A : Taux d'augmentation

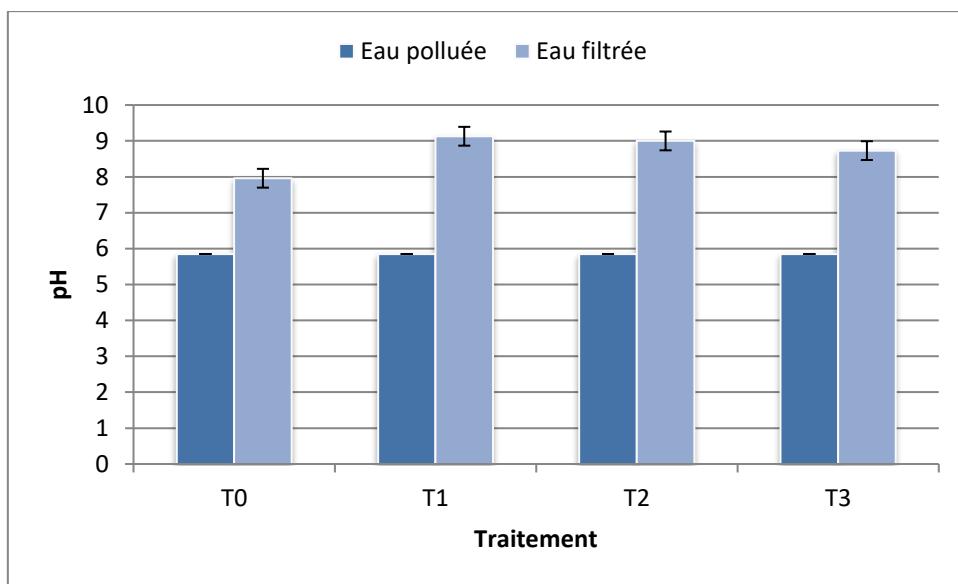


Figure 3. Variations du pH de l'eau de puits dues à la filtration

Ces résultats montrent clairement une augmentation significative de la valeur du pH après traitement, selon le type et la granulométrie du matériau filtrant utilisé. Plus précisément, le biochar à granulométrie fine a induit une augmentation maximale du pH de 56,06%. Cette élévation du pH atteint respectivement 53,84% et 49,91% pour les biochars à granulométrie moyenne et grossière, tandis que le charbon actif a permis une augmentation de 36,06%. Ces observations sont en accord avec les travaux de Visiy et al. (2022) et Djousse et al. (2023), qui ont également rapporté une élévation du pH dans des systèmes de filtration utilisant du biochar comparé à des filtres à sable, notamment lorsque le biochar est issu de résidus agricoles. Néanmoins, le test ANOVA a mis en évidence une différence très significative ( $p < 0,001$ ) entre les traitements, confirmant que la filtration induit une transformation chimique notable de l'eau.

### 2. La turbidité

Pour l'ensemble des filtres, l'observation visuelle des eaux après traitement a montré qu'ils étaient plus clairs que les eaux usées avant traitement comme indique le tableau 2 et illustré par la figure 4.

Tableau 2. Turbidité et ses variations en % après filtration

EP	Turbidité des échantillons filtrés à travers différents milieux filtrants							
	T0		T1		T2		T3	
	NTU	NTU	%R	NTU	%R	NTU	%R	NTU
11,32±0,06	9,31±1,11	17,75	1,05±0,13	90,69	2,66±0,31	76,5	1,56±0,02	86,21

%R : Taux d'augmentation

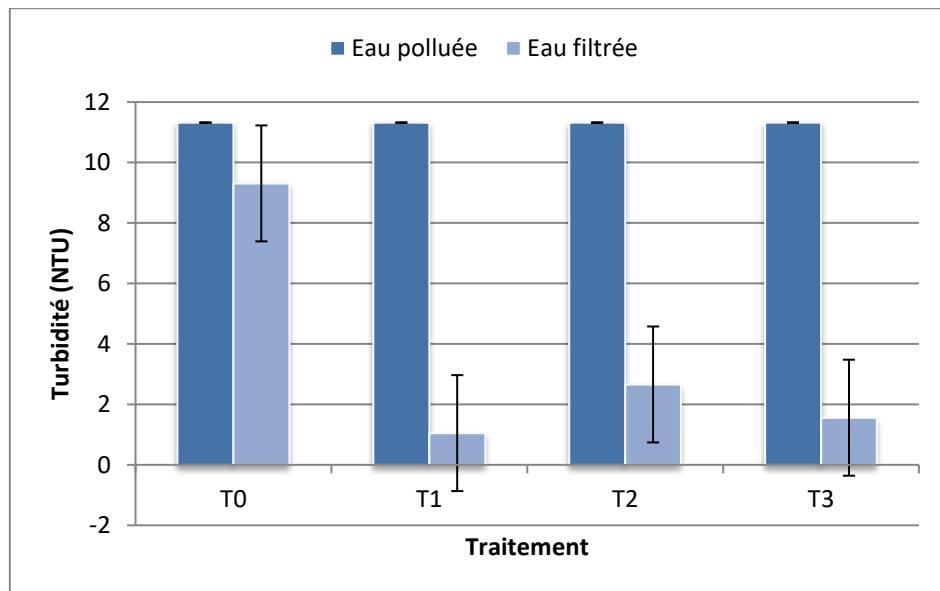


Figure 4. Variations de la turbidité de l'eau de puits dues à la filtration

Après filtration, les échantillons soumis aux différents traitements T0, T1, T2 et T3 ont montré des pourcentages d'élimination de la turbidité respectifs de 17,75%, 90,69%, 76,5% et 86,26%. Ces données soulignent une diminution significative de la turbidité pour tous les filtres à base de biochar, en particulier celui à granulométrie fine (T1), qui a atteint un rendement de réduction exceptionnel de 90,69%. Ces résultats sont cohérents avec les observations rapportées par Korbiniyan et al. (2018), Nematullah et al. (2024), Djousse et al. (2023), ainsi que Chemosphere (2025) qui ont documenté une réduction plus prononcée de la turbidité dans les eaux usées traitées par filtres à biochar (jusqu'à 93%) comparativement aux filtres à sable (87%) et aux biochars issus de résidus agricoles, dans le système de filtration en colonne (>90%) respectivement.

L'analyse statistique par le test de Kruskal-Wallis confirme que la réduction de la turbidité est significativement différente selon le type de filtre ( $p = 0,009$ ), avec un impact significatif observé uniquement pour le traitement T1.

### III. L'extrait Sec Soluble

Les résultats obtenus de la filtration des eaux par différents filtrants sont consigné dans le tableau 3 et illustré par la figure 5 ci-après :

Tableau 3. Extrait sec soluble et ses taux de rétention minéral (TRM) en % après filtration

EP	Extrait Sec Soluble							
	T0		T1		T2		T3	
	mg/l	mg/l	TRM	mg/l	TRM	mg/l	TRM	mg/l
389±2,64	286,33±9,86	26,39	16,66±1,52	95,71	19±1,73	95,11	29±2,64	92,54

TRM : Taux de rétention minérale

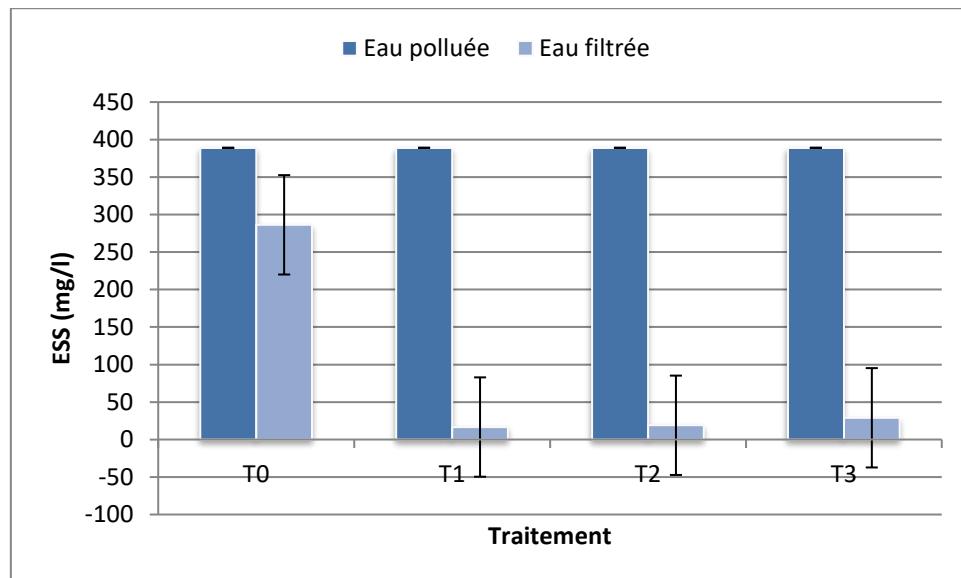


Figure 5. Variations d'extrait sec soluble de l'eau de puits dues à la filtration

Les échantillons d'eau de puits ont été testés pour leur résidu solide avant et après filtration, révélant une faible performance du charbon actif (26,39% de rétention minérale) comparée aux biochars de granulométries variées (95,31%, 95,11% et 92,54% pour T1, T2 et T3 respectivement).

Les performances élevées des traitements T1 et T2 (taux de rétention minéral à 95%) sont cohérentes avec plusieurs travaux utilisant le biochar comme milieu filtrant pour l'épuration des eaux. Des essais de filtration lente sur sable enrichi en biochar ont montré des réductions de DCO d'environ 74% avec un biochar de Miscanthus contre près de 61% pour le sable seul (Korbinian et al., 2020). De même, Dalahmeh et al. (2016) ont mis en évidence une forte capacité de rétention du phosphore (>70% sur le long terme) dans des filtres à biochar imprégné de fer et de calcium.

L'analyse statistique via le test ANOVA révèle des différences très significatives ( $p \ll 0,001$ ) entre les différents traitements. Tous les procédés réduisent efficacement les extraits secs solubles, mais les traitements T1 et T2 se distinguent par une meilleure capacité à diminuer la concentration de matières solides.

#### IV. Les matières en suspension

Les performances de différents filtrants par rapport aux matières en suspension sont consignées dans le tableau 4 et illustré graphiquement sur la figure 6 ci-dessous :

Tableau 4. Matières en suspension et ses taux de rétention d'impuretés (TRI) en % après filtration

Matières en suspension									
EP	T0		T1		T2		T3		
mg/l	mg/l	TRI	mg/l	TRI	mg/l	TRI	mg/l	TRI	
212,66±0,57	169±1	20,53	28,33±0,57	86,67	56,66±0,57	73,35	36,33±0,57	82,91	

TRI : Taux de rétention d'impuretés

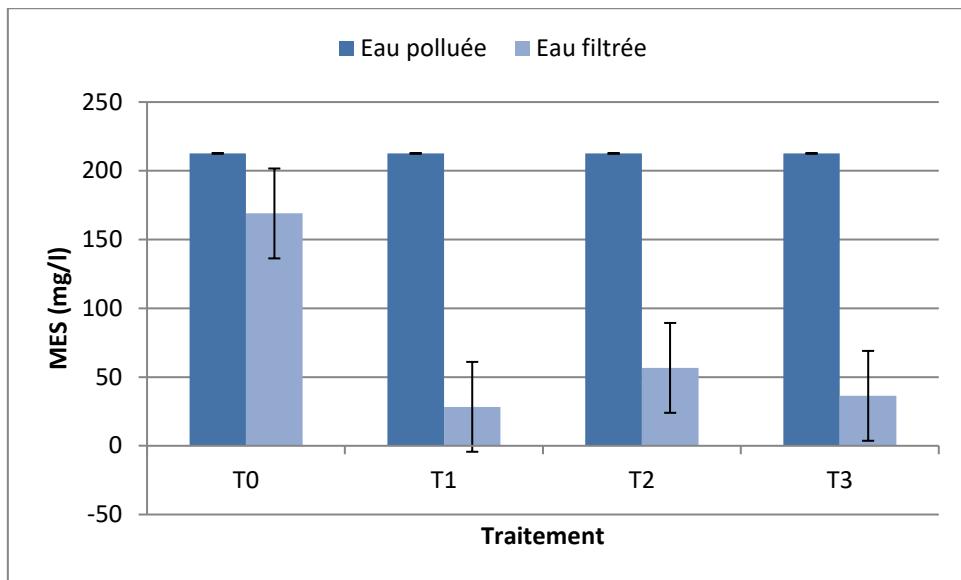


Figure 6. Variations des matières en suspension de l'eau de puits dues à la filtration

Les résultats de l'expérience de filtration sur l'eau de puits montrent une réduction maximale des matières en suspension (MES) de 86,67%, avec des taux de rétention supérieurs sur les filtrants en biochar par rapport au charbon actif, inversement proportionnels à la taille des granules. Les traitements T1 et T2 se distinguent comme les plus performants, confirmés par un test ANOVA révélant des différences significatives ( $p = 1,95 \times 10^{-7}$ ). Tous les traitements réduisent fortement les MES, démontrant l'efficacité du procédé physico-chimique.

Des études similaires rapportent des taux de rétention élevés des MES avec le biochar, souvent supérieurs à 80-90% dans des systèmes de filtration réactive (Bui et al., 2024) et (Ahmad et al., 2014). Contrairement au charbon actif, le biochar excelle pour les particules en suspension en raison de sa capacité à piéger mécaniquement les solides, comme noté dans des applications rurales pour le traitement d'eau potable (GEUS, 2023).

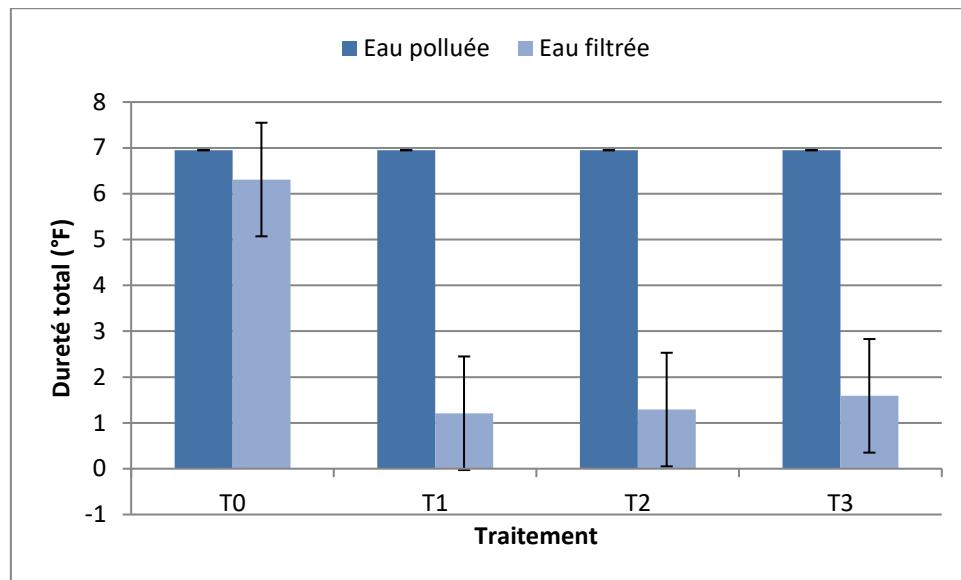
## V. La dureté totale

Les résultats de l'expérience de filtration destinés au traitement de l'eau de puits, en termes de réduction de la dureté totale, sont synthétisés dans le Tableau 5 et illustré sur la figure 7.

Tableau 5. Dureté totale et ses variations en % après filtration

EP	Dureté totale								
	T0		T1		T2		T3		
	°F	°F	%R	°F	%R	°F	%R	°F	%R
6,95±0,29	6,31±0,04	9,2	1,21±0,18	80,82	1,29±0,10	81,43	1,59±0,18	77,12	

Figure 7. Variations de la dureté totale de l'eau de puits dues à la filtration



Les résultats de l'expérience de filtration montrent une suppression maximale de la dureté totale de 81,43% pour l'eau de puits traitée. Le filtrant à biochar de granulométrie fine a offert la meilleure performance, suivi des granulométries moyenne et grossière, puis du charbon actif.

Ces performances surpassent celles rapportées par Nematullah et al. (2024), qui ont observé une réduction d'environ 16% de la dureté totale avec des filtrants à base de résidus agricoles. De même, Bharadwaj et al. (2016) ont noté une diminution comparable (16%) en utilisant du charbon actif issu de coques de noix de coco (*Cocos nucifera*). D'autres études confirment la supériorité des biochars fins : par exemple, Husaini et al. (2023) ont démontré que des temps de contact prolongés avec des médias filtrants similaires améliorent l'adsorption des ions calcium et magnésium, atteignant jusqu'à 70% de réduction dans certains cas d'eau de puits.

L'analyse statistique révèle des différences très significatives entre traitements ( $p \ll 0,001$ ), confirmant l'effet adoucisseur global. L'eau polluée (EP) présente la dureté la plus élevée, tandis que les traitements T1 (biochar fin), T2 (moyen) et T3 (grossier) réduisent fortement cette dureté de manière comparable.

## VI. 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 traitements à base de biochar (T1 : granulométrie fine 250-500  $\mu\text{m}$  ; T2 : moyenne 500-750  $\mu\text{m}$  ; T3 : grossière 750-1000  $\mu\text{m}$ ) ont induit des réductions marquées de la turbidité (jusqu'à 90,69% pour T1), des matières en suspension (86,67% max), des extraits secs solubles (95,31% pour T1), et de la dureté totale (81,43% max). Ces performances s'expliquent par la structure poreuse élevée, la grande surface spécifique et la réactivité chimique (groupes carboxyliques, hydroxyliques) du biochar, amplifiées par une granulométrie fine qui maximise l'adsorption, l'interception et la sédimentation.

Sur le plan pratique, T1 émerge comme granulométrie optimale pour une filtration low-cost et durable, adaptée aux contextes des milieux ruraux, favorisant la séquestration carbone et la valorisation forestière.

## 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]. Bharadwaj, N., Mishra, P., Jain, R. & Uchchariya, 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
- [5]. 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.

- [6]. 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>.
- [7]. Dalahmeh, M. (2016). Biochar for wastewater treatment. Journal of Environmental Management, 182, 45-56 .
- [8]. Djousse K. B. M., Djiockeng 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.
- [9]. 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.
- [10]. 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/>
- [11]. 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>
- [12]. Hach, 2004. Water analysis handbook manual DR/2500 laboratory spectrophotometer. Hach Company World Headquarter, Colorado, U.S.A., p 1309.
- [13]. Husaini, S., Ferry W., Gode P. A., Johannis PJ. 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., Lübben M., Uzuna G., Gehring T., Nettmann E., Stenchy 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., Kouliadiati, J., Joly, P. & Sodre, S., 2012. Percolation sur sable et sur substrat de coco. In Revue des Sciences de l'Eau, 25(2), pp 139-151.
- [19]. Kongsricharoen, N. & Polprasert, C. 1995. Electrochemical precipitation of chromium ( $\text{Cr}^{6+}$ ) 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'Uïge / 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 :1418.
- [26]. OMS et UUNICEF 2018 : Progrès en matière d'assainissement et d'eau potable ; Rapport, p 98.
- [27]. 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>
- [28]. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N. (2016). *L'analyse de l'eau: contrôle et interprétation*, 10<sup>e</sup> édition, Dunod, ISBN 978-2-10-075412-0, p. 139 ; 291
- [29]. Rizwan M., Ali S., Qayyum M.F., Ibrahim M., Ziaurrehman M., Abbas T., Ok Y.S. (2016). Mechanisms of biocharmediated 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>
- [30]. Sarasa, J., Roche, M. P., Ormad, M. P., Gimeno, E., Puig, A., & Ovelleiro, J. L. 1998: Treatment of a wastewater resulting from dyes manufacturing with ozone and chemical coagulation. Water Research, 32(9), pp 2721-2727.
- [31]. 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.
- [32]. 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.
- [33]. 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>