



HAL
open science

Potentiel des biochars à base de résidus agricoles pour le traitement des eaux usées domestiques par filtres à flux verticaux plantés d’Echinochloa pyramidalis potential of biochars from agricultural residues in domestic wastewater treatment using vertical flow filters vegetated with echinochloa pyramidalis

Boris Merlain KANOOU DJOUSSE, Cybelle Francine Djiokeng Nguiffo, Martin Lekeufack, Sibelle Mouaffo Tsague, Giles Raoul Lontsi Meli, Edna Buhnyuy Visiy

► **To cite this version:**

Boris Merlain KANOOU DJOUSSE, Cybelle Francine Djiokeng Nguiffo, Martin Lekeufack, Sibelle Mouaffo Tsague, Giles Raoul Lontsi Meli, et al.. Potentiel des biochars à base de résidus agricoles pour le traitement des eaux usées domestiques par filtres à flux verticaux plantés d’Echinochloa pyramidalis potential of biochars from agricultural residues in domestic wastewater treatment using vertical flow filters vegetated with echinochloa pyramidalis. 2023. hal-04035400v1

HAL Id: hal-04035400

<https://hal.science/hal-04035400v1>

Preprint submitted on 17 Mar 2023 (v1), last revised 13 Nov 2023 (v3)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

1 **POTENTIEL DES BIOCHARS À BASE DE RÉSIDUS AGRICOLES POUR LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES DOMESTIQUES**
2 **PAR FILTRES À FLUX VERTICAUX PLANTÉS D'*Echinochloa pyramidalis***

3 **POTENTIAL OF BIOCHARS FROM AGRICULTURAL RESIDUES IN DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT USING**
4 **VERTICAL FLOW FILTERS VEGETATED WITH *Echinochloa pyramidalis*.**

5 **Boris Merlain DJOUSSE KANOOU ^{1*}, Francine Cybelle NGUIFFO DJIOKENG¹, Martin LEKEUFACK ² Sibelle MOUAFFO**
6 **TSAGUE ¹, LONTSI MELI Raoul³, VISIY Edna Buhnyuy ⁴**

7 ¹ Unité de recherche en gestion de l'eau, Département du Génie Rural, Faculté d'Agronomie et des Sciences
8 Agricoles (FASA), Université de Dschang (Uds), , B.P. 222 Dschang, Cameroun

9 ²Unité de recherche en botanique appliquée, Département de Biologie végétale, Faculté de Sciences, Université de
10 Dschang (Uds), B.P. 222 Dschang, Cameroun.

11 ³Unité de recherche en sciences du sol et de l'environnement, Département de sciences du sol, Faculté d'Agronomie
12 et des Sciences Agricoles (FASA), Université de Dschang (Uds), B.P. 222 Dschang, Cameroun.

13 ⁴Pan African University, Life and Earth Sciences Institute (Including Health and Agriculture), P.M.B 20, Ibadan,
14 Nigeria.

15 *Auteur Correspondant : djoussemerlain@gmail.com

16 **RESUME**

17 Le traitement des eaux usées domestiques par filtres plantés est proposé comme une alternative adaptée aux
18 conditions socio-économiques des pays en voie de développement. L'utilisation du biochar dans ces filtres en
19 substitution partielle ou totale des massifs filtrants classiques était au centre de la présente étude. L'efficacité de
20 trois biochars à améliorer des performances épuratoires des filtres à flux vertical, plantés de roseaux a été étudiée
21 ici. Le dispositif expérimental était constitué de trois filtres à biochars répliqués trois fois et de trois filtres témoins
22 alimentés à 142 l/m²/jr. Les caractéristiques de l'eau traitée et les paramètres physiques de croissance des plantes
23 ont été appréciés à 30 jours puis 60 jours depuis le début de l'essai. Les résultats révèlent une augmentation du PH,
24 une amélioration de la réduction de la teneur en azote, fer, phosphore et des Unités formant des colonies dans les
25 filtres à biochar comparé aux filtres à sable classiques. Globalement, le filtre avec biochar de rafles de maïs a permis

26 d'obtenir de meilleurs résultats au bout de six mois. Il reste opportun pour les prochaines études de faire le suivi
27 des paramètres sur une plus longue durée et de tester l'effet de la combinaison des trois biochars.

28 **Mots clés** : eaux usées domestiques, biochar, filtres plantés

29 **ABSTRACT**

30 The treatment of domestic wastewater by vegetated filters is proposed as an alternative better suited to the socio-
31 economic conditions of developing countries. The use of biochars in these filters in partial or total replacement of
32 the conventional filter substrate was the main aim of the present study. The effectiveness of three biochars in
33 improving the purification performance of vertical flow filters vegetated with antelope grass was studied. The
34 experimental set-up consisted of three biochar filters plus a control replicated three times. The filters were
35 supplied at a hydraulic loading rate of $142 \text{ l} / \text{m}^2 / \text{day}$. The characteristics of the treated water and the plant
36 growth parameters were collected 30 and 60 days from the beginning of the experiment. Results showed an
37 increase in PH, an improvement in the reduction of nitrogen, iron, phosphorus and colony forming units content, in
38 the effluent of biochar filters compared to that from conventional sand filters. Overall, the corn cob biochar filter
39 gave better results after two months. It will be important for future studies to monitor the parameters over a
40 longer period and to test the effect of the combination of the three biochars when used as substrate.

41 **Keywords**: domestic wastewater, biochar, vegetated filters

42 **1. INTRODUCTION**

43 La forte croissance démographique couplée à une urbanisation non contrôlée s'accompagne inévitablement de la
44 production des volumes importants de déchets solides et liquides au rang desquelles les eaux usées domestiques
45 (Zulfiqar et *al.*, 2019). Le rejet non contrôlé de ces déchets dans la nature entraîne inévitablement la dégradation
46 de l'environnement et des ressources de plus en plus limitées. Face à cette situation alarmante, il est important de
47 bien traiter les eaux usées domestiques avant de les rejeter dans l'environnement afin d'éviter la pollution des res-
48 sources en eau de plus en plus limitées et les maladies hydriques. D'après EME (2012), les filtres plantés de macro-
49 phytes sont reconnus aujourd'hui comme des procédés de traitement des eaux usées domestiques adaptés au
50 contexte urbain des pays en développement. Ils peuvent être à écoulement vertical ou horizontal. Le modèle à
51 écoulement vertical a la particularité d'appliquer des eaux brutes sur le filtre, s'affranchissant d'une étape préala-

52 ble de traitement (EME, 2012). Ce principe de traitement biologique est adapté à un type de pollution organique et
53 présente de faibles capacités à éliminer les polluants chimiques du fait des faibles capacités d'adsorption des maté-
54 riaux constituant le massif filtrant (Dalameh, 2016). Ceci dit, La qualité chimique des effluents issus de ces filtres
55 reste donc inappropriée. Ces résultats mitigés indiquent la nécessité d'optimiser leur efficacité épuratoire. Le bio-
56 char, produit issu de la pyrolyse des résidus végétaux, forestiers et déchets municipaux attire de plus en plus
57 l'attention des chercheurs ces dernières années en raison de sa multifonctionnalité (Ghizlane et *al.*, 2020). Le bio-
58 char à travers ses propriétés particulières telles que sa teneur en carbone, sa grande surface spécifique, sa structu-
59 re hautement poreuse et stable, sa grande capacité d'échange cationique et anionique et ses groupes fonctionnels
60 (Rizwan et *al.*, 2016), a la capacité d'adsorber différents polluants de l'eau tels que les agents pathogènes (Kaetz et
61 *al.*, 2020) les polluants inorganiques tels que les métaux lourds (Yang et *al.*, 2019) et les polluants organiques (Park
62 et *al.*, 2019). Au regard de ces effets bénéfiques reportés, il serait intéressant d'évaluer l'aptitude des biochars
63 produits à partir des résidus végétaux disponibles localement à améliorer l'efficacité des filtres plantés à écoule-
64 ment vertical. La présente étude visait principalement à améliorer l'efficacité des filtres plantés pour le traitement
65 des eaux usées domestiques. Il s'agissait plus spécifiquement de concevoir et mettre en place une mini station de
66 filtres à biochar plantés de roseaux, de déterminer l'effet de 04 biochars produits à partir de chacun des trois rési-
67 dus végétaux (rafles de maïs, coques de noix de coco, coques de noix de palmiste), sur les performances des filtres
68 et enfin de déterminer l'effet du biochar sur les paramètres de croissance des macrophytes dans les filtres.

69 **2. MATERIEL ET METHODES**

70 **2.1. Présentation de la zone d'étude**

71 Cette étude a été menée à la station expérimentale d'épuration des eaux usées de l'Université de Dschang, entre
72 5°25' et 5°30' de Latitude Nord et entre 10° et 10°5' de longitude Est. L'eau usée domestique brute utilisée provient
73 de la cité universitaire, elle a été collectée dans le bassin d'égalisation de la station de traitement.

74 **2.2. Conception du dispositif expérimental**

75 Le dispositif d'essai était constitué de douze sceaux de 86 cm de haut et 30 cm de diamètre chacun servant
76 d'ossature du filtre ; de trois grandes bassines de 50 litres chacune servant de réservoirs d'alimentation et d'une
77 table servant de support aux réservoirs. Le massif filtrant était fait à l'image de celui des filtres à sable lent, une

78 partie du sable fin a été substituée par le biochar. Le biochar utilisé a été obtenu par pyrolyse lente de trois résidus
79 végétaux à savoir : les rafles de maïs, les coques de noix de coco, et les coques de noix de palmiste (figure 1).

80

81



86 **Figure 1. Différents résidus utilisés pour la production du biochar**

87 Ces résidus agricoles ont été choisis en raison de leur disponibilité locale en grande quantité. Il est à noter que les
88 coques de noix de palmiste posent un problème sanitaire dans les zones de grande production et une valorisation
89 permettra de résoudre ce problème. Après production du biochar, il a été écrasé et tamisé pour obtenir les
90 granulométries comprises entre 0,25 - 1 mm et entre 1 – 2 mm. Cette granulométrie a été choisie suivant les
91 granulométries de la couche filtrante du second étage des filtres plantés à écoulement vertical proposée par Molle
92 et *al.*, (2005). La granulométrie comprise entre 0,25 mm et 1 mm a été utilisée pour le sable. Pour ce qui est du
93 gravier, deux granulométries ont été utilisées à savoir : celle comprise entre 2 mm et 12 mm et celle comprise entre
94 10 et 20 mm. Morand (2007). *Echinochloa pyramidalis* (communément appelé Roseau) a été choisie pour les essais
95 d'épuration compte tenu de son efficacité épuratoire reportée dans les travaux précédents notamment ceux
96 effectués par Fonkou et *al.*, (2010) ; et de sa disponibilité dans la zone d'étude. Des jeunes pousses d'une hauteur
97 moyenne de 21 ± 5 cm et possédant entre 2 et 5 feuilles avec un système racinaire long de 5 ± 3 cm ; ont été
98 prélevés à l'aide d'une machette, caractérisés et repiqués dans les filtres le même jour. La figure 2 illustre la mesure
99 de la hauteur des jeunes pousses.



100

101 **Figure 2. Mesure des hauteurs de jeunes pousses de *Echinochloa pyramidalis***

102 **2.3. Mise en place du dispositif**

103 Après nettoyage du site, les 12 filtres contenant le massif filtrants, la table support et des réservoirs d'élimination
104 ont été disposés. Une fois les différentes couches constituant le massif filtrant disposées, les filtres ont été saturés
105 en eau et les plants introduits à une densité de 85 plants m⁻². La saturation a été maintenue pendant 30 jours,
106 durée requise pour permettre l'acclimatation des plantes et la formation des biofilms. Après acclimatation des
107 plantes, les conduites de contrôle du niveau d'eau dans les filtres ont été abaissées et maintenus à une hauteur de
108 40 cm (limite supérieure de la couche de biochar). Ceci permettait d'avoir à la fois des conditions aérobies et
109 anaérobiques, nécessaire à l'épuration des eaux.

110 **2.4. Mesure des paramètres physicochimiques et microbiologiques des effluents**

111 Deux échantillonnages ont été analysés : le premier après 30 jours de fonctionnement et le second après que la
112 végétation se soit bien développée (60 jours), Notons que les paramètres physicochimiques et microbiologiques de
113 l'eau ont été déterminés avant et après traitement. Les échantillons destinés à la mesure de ces paramètres ont été
114 prélevés dans les bouteilles en verre borosilicaté préalablement stérilisées à l'autoclave à 115° C pendant 15
115 minutes et transportés dans une glacière à 4°C au laboratoire pour analyse. En laboratoire, les paramètres
116 physicochimiques ont été mesuré suivant les méthodes décrites et publiées par Hach (2004) pour l'analyse des
117 eaux et eaux usées. Pour paramètres microbiologiques, elles ont été mesurées dans les conditions d'asepsie total

118 suivant les méthodes de filtration sur membrane décrites par APHA (1998)

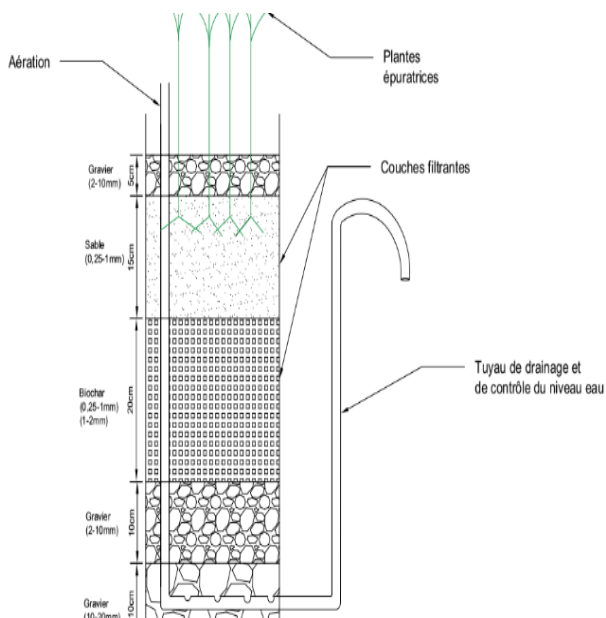
119 2.5. Evaluation du comportement des plantes épuratrices

120 Une fois la végétation bien acclimatée et en pleine croissance (30 jours après le repiquage), cinq plantes ont été
121 choisies au hasard par filtres et étiquetées. Les mesures ont été effectuées sur ces dernières. En effet, le travail a
122 consisté à : mesurer la hauteur de chaque plante, la longueur de la plus longue feuille et le diamètre au collet. Les
123 données collectées ont été analysées avec le logiciel Genstat version 9.0. Les tests de Kolmogorov-Smirnov et le test
124 de Shapiro-Wilk ont permis de vérifier la normalité des données avant la réalisation de l'ANOVA.

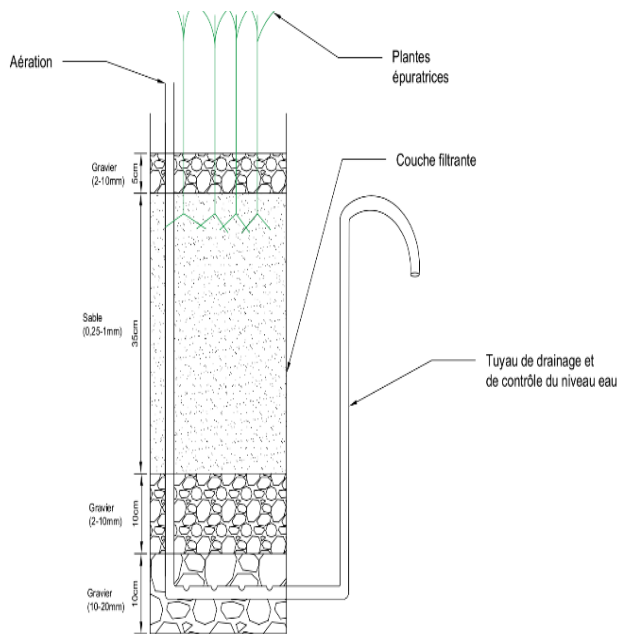
125 3. RESULTATS ET DISCUSSION

126 3.1. Dispositif conçu

127 La figure 3 présente les filtres conçus avec les dimensions retenues. La différence entre ces deux filtres se situe au
128 niveau de la couche de filtration. Elle est constituée de 58 % de biochar et 42 % de sable dans les filtres à biochar et
129 de 100% de sable dans les filtres à sable



130



131

132 **Figure 3. Coupe longitudinale des filtres**

133 **3.2. Caractéristiques des substrats**

134 Les trois types de biochar et le sable ont été analysés pour avoir une idée de la composition physicochimique. Le
 135 tableau 1 présente les résultats obtenus. Il en ressort que le biochar de rafles de maïs est plus riche en éléments
 136 chimiques que les autres substrats. Ceci est probablement due à la température de pyrolyse qui était plus élevée et
 137 la composition initiale du résidu. Singh et *al.* (2015) stipule que l'augmentation de la température de pyrolyse
 138 favorise la production de cendres et une augmentation du contenu en cations basiques (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} et Ca^{2+}), qui
 139 sont directement corrélés avec le pH basique du biochar.

140

141 **Tableau 1. Caractéristiques physicochimiques des substrats utilisés**

Paramètres	Biochar			Sable
	Rafles de maïs	Coques de noix	Coques de noix de	
		de coco	palmiste	
Ph	9,6	9,3	7,2	7,1
Conductivité (mS/cm)	4,03	1,44	0,19	0,005
Azote total (mg/kg)	606,00	458,50	168,00	147,00

N-nitrates (mg/kg)	147,105	77,055	56,040	77,055
N- nitrite (mg/kg)	109,00	57,10	41,53	57,10
Phosphore total (mg/kg)	24,00	24,00	12,00	18,00
Fer (mg/kg)	7,10	6,60	5,80	4,50
Potassium (mg/kg)	20444,55	5427,58	1530,60	329,65
Calcium (mg/kg)	368,0	256,0	224,0	32,0
Sodium (mg/kg)	1308,86	619,97	177,26	69,11
Cendres (%)	99,2	10,0	20,0	3,3
Matière organique (%)	90,0	96,7	80,0	1,7
Carbone organique (%)	45,0	48,3	50,0	0,8

142

143 3.3. Dispositif mis en place

144 La mise en place du dispositif a consisté à introduire les substrats suivant l'ordre présenté par la figure 3 et en
 145 respectant les épaisseurs. Une fois les substrats introduits, les jeunes pousses de *Echinochloa pyramidalis* y ont été
 146 repiqués et le dispositif mis en fonctionnement. La figure 4 présente le dispositif en fonctionnement après 30 et 60
 147 jours.

148



149

150 **Figure 4. Dispositif en fonctionnement après 30 et 60 jours**

151 **3.4. Effets des traitements sur les paramètres des effluents**

152 **3.4.1. Paramètres physiques**

153 Le figure 5 présente l'eau brute et les effluents issues des filtres. A l'observation nous constatons que par rapport à
154 l'eau brute, les effluents des filtres sont plus clairs.



155 **a) Eau Brute** **b) Effluents des filtres à**
156 **biochar à base des rafles**
157 **de maïs** **c) Effluents des filtres à**
158 **biochar à base des coques**
d) Effluents des filtres à
biochar à base des Coques
e) Effluents des filtres à
sable (Témoin)

159 **Fig. 5. Eau brute et les effluents des différents filtres**

160 Les résultats de l'ANOVA sur les paramètres physiques des effluents montrent que Les traitements n'ont pas eu
161 d'effet significatif sur le pH de l'eau brute après 30 et 60 jours de traitement. Toutefois, une augmentation générale
162 est observée dans les filtres avec biochar avec le temps, par rapport aux filtres à sable qui n'ont entraîné aucune
163 variation. Le biochar de rafles de maïs étant celui dont le degré d'augmentation a été le plus important (de 0,77
164 unités à 60 jours). Ceci peut s'expliquer par la libération des bases fortement contenues dans ce biochar étant
165 donné son pH initialement élevé.

166 La turbidité a été significativement réduite ($P < 0,001$) pour tous les filtres après 60 jours, les filtres à biochar étant
167 plus performants (avec des rendements de 94,35 %, 91,79 % et 87,91 % respectivement du biochar de rafles de
168 maïs, de coques de palme et de coque de coco contre 71,41% au niveau du sable). Ce résultat se rapproche de celui
169 obtenu par Korbinian et *al.* (2018) qui rapporte une réduction plus importante de la turbidité de l'eau usée dans les
170 filtres à biochar (93 %) par rapport aux filtres à sable (87 %).

171 La conductivité de l'eau initiale a été significativement réduite par tous les filtres à 60 jours de traitement ($p < 0,005$)
172 avec des effets statistiquement identiques. Les ions solubles responsables de la conductivité de l'eau sont
173 progressivement retenus à la surface des substrats et consommés par les microorganismes présents pour leurs
174 activités biologiques.

174 **3.4.2. Paramètres chimiques**

175 **1. Pollution organique (DBO₅ et DCO)**

176 L'ANOVA a montré que le type de traitement a eu un effet hautement significatif ($p < 0,01$) sur la DCO et la DBO₅ de
177 l'eau usée après 30 et 60 jours de traitement. La séparation des moyennes est présentée dans le tableau 2.

178 **Tableau 2. Séparation des moyennes des DCO et DBO₅ par type de traitement**

Traitements	DCO (mg/l)		DBO ₅ (mg/l)	
	30 jrs	60 jrs	30 jrs	60 jrs
B maïs	9680 ^c	5707 ^a	132,7 ^a	90 ^a
B coco	3407 ^a	1080 ^a	132,7 ^a	104,3 ^a
B palme	5993 ^b	2660 ^a	117,0 ^a	83,7 ^a
Témoin	8690 ^c	4817 ^a	138,3 ^a	133,7 ^a
Eau brute	9830 ^c	16000 ^b	377,0 ^b	319,0 ^b

179 NB : les moyennes ayant les lettres identiques (sur la même colonne) sont statistiquement identiques au seuil
180 signification de 5%

181 La DCO a été significativement réduite ($P < 0,01$) par tous les substrats à 30 et 60 jours de traitement. Globalement,
182 Les filtres à biochar de noix de coco étaient les plus performants durant toute la période de traitement avec des
183 rendements de 65,34 % et 91,64 % de réduction respectivement après 30 et 60 jours de traitement contre 11,60 %
184 et 62,70 % chez les filtres à sable. Ce résultat corrobore ceux d'autres travaux ayant débouché sur une meilleure
185 efficacité des filtres à biochar dans la réduction de la DCO par rapport aux filtres à sable. Il s'agit entre autre de
186 Zhou et *al.* (2017) qui ont obtenu des rendements de 94,4 % et 80 % respectivement après 90 jours, de Kaetzl et *al.*
187 (2020) avec des rendements de 74 % et 61 % respectivement des filtres à biochar et à sable ; et de Korbinian et *al.*
188 (2018) qui ont obtenus des rendements de 87 % et 74% respectivement des filtres à biochar et à sable à l'issu du
189 traitement des eaux usées domestiques.

190 Pour ce qui est de la DBO₅, les performances des filtres à biochar ont été statistiquement identiques à celles des
191 filtres à sable pour les deux vagues de mesure. Toutefois, les filtres à biochar ont présenté des rendements plus
192 importants. Le biochar de noix de palme a été le plus performant avec des rendements de 68,97 % et 76,49 %
193 contre 63,32 % et 62,38 % des filtres à sable après 30 et 60 jours. Comme dans cette étude, Dalahmeh (2016) a
194 débouché sur une performance meilleure des filtres à biochar de bois (98 % de réduction) par rapport aux filtres à
195 sable (70 % de réduction) dans la réduction de la DBO₅ des eaux usées, avec une charge hydraulique de 37

196 litres/m²/jr sur une période de 120 jours.

197 La matière organique de l'eau usée peut être réduite par deux mécanismes à savoir : l'adsorption et l'assimilation
198 biologique par les microorganismes (biofilm). L'efficacité des filtres dans la réduction de la charge polluante
199 organique varie en fonction des caractéristiques du substrat qui y est contenu à l'instar de la surface spécifique et
200 de l'habilité à promouvoir le développement du biofilm (Kaetzl et al., 2019). La caractérisation des substrats utilisés
201 dans cette étude a montré que les différents biochar étaient plus riche en cendres et en minéraux que le sable.
202 Ainsi, le biofilm responsable de la réduction de la pollution organique se serait rapidement développé dans les
203 filtres à biochar en se nourrissant des éléments nutritifs présents, d'où les meilleures performances. En outre, la
204 structure poreuse du biochar et sa grande surface spécifique favoriseraient l'adsorption de certains composés
205 organiques et la colonisation rapide du substrat par le biofilm (Kadlec et Wallace, 2008) plus importante comparée
206 aux filtres à sable.

207 2. Azote total, Nitrates et nitrites

208 L'ANOVA a montré que les différents filtres ont eu un effet hautement significatif ($p < 0,01$) sur la concentration en
209 azote total pour les deux vagues de traitement. Le tableau 3 montre une réduction générale de la concentration en
210 azote totale par tous les filtres après 60 jours de fonctionnement.

211 **Tableau 3. Séparation des moyennes de l'azote total, des nitrates et nitrites par type de traitement**

Traitements	N total (mg/l)		N – NO ₃ ⁻ (mg/l)		N – NO ₂ ⁻ (mg/l)	
	30 jrs	60 jrs	30 jrs	60 jrs	30 jours	60 jours
B maïs	26,52 ^b	5,273 ^a	0,257 ^a	0,046 ^{ab}	0,193 ^a	0,036 ^b
B coco	33,10 ^c	5,800 ^a	0,283 ^a	0,044 ^a	0,210 ^a	0,034 ^a
B palme	17,86 ^a	6,683 ^a	0,290 ^a	0,049 ^b	0,213 ^a	0,037 ^b
Témoin	32,60 ^c	5,357 ^a	0,260 ^a	0,040 ^a	0,190 ^a	0,029 ^a
Eau brute	37,72 ^d	12,01 ^b	0,260 ^a	0,096 ^d	0,190 ^a	0,071 ^d

212 NB : les moyennes ayant les lettres identiques (sur la même colonne) sont statistiquement identiques au seuil
213 signification de 5%.

214 Les performances des filtres à biochar de noix de palme et de rafles de maïs avec des rendements de 52,65 % et
215 29,69 % respectivement étaient plus élevées et statistiquement différents de celles des filtres à sable (13,57 %).

216 Plusieurs travaux de recherche ont abouti à un résultat similaire dans la réduction de l'azote total. Entre autres,
 217 Zhou et al. (2017) qui ont obtenu des rendements de 52,7 % des filtres plantés à biochar de bambous contre 29,9 %
 218 pour les filtres à sables après 90 jours ; et Dalahmeh (2016) qui a obtenu des rendements de 50 % et 5 %
 219 respectivement des filtres à biochar et à sable après 150 jours. Par rapport aux résultats obtenus dans cette étude,
 220 ces rendements sont plus faibles. Ceci serait certainement due à la composition des résidus initiaux et aux
 221 conditions de production des biochars qui étaient différentes mais aussi à notre durée d'essai plus courte. La
 222 réduction de l'azote total peut se faire par adsorption, assimilation biologique par le biofilm, nitrification et
 223 dénitrification. Ces processus sont plus importants dans les filtres à biochar à raison des conditions qui y sont plus
 224 favorables.

225 3. Bases échangeables

226 L'ANOVA sur les bases échangeables a révélé que : Les différents filtres ont eu un effet significatif ($p < 0,05$) sur la
 227 concentration en fer et calcium de l'eau brute après 30 et 60 jours. Il ressort de la séparation des moyennes
 228 (tableau 4) qu'après 30 jours de traitement, les filtres à biochar de coque de palme ont été plus performants dans la
 229 réduction de la concentration en fer. Après 60 jours, la concentration en fer de l'eau brute a été significativement
 230 réduite par tous les filtres.

231 **Tableau 4 : Séparation des valeurs moyennes des minéraux par type de traitement**

Traitements	Fe ²⁺		Ca ²⁺	
	30 jrs	60 jrs	30 jrs	60 jrs
B maïs	11,87 ^{bc}	0,002 ^a	10,67 ^a	8,93 ^a
B coco	12,07 ^{bc}	0,003 ^a	10,67 ^a	11,07 ^a
B palme	8,64 ^a	0,002 ^a	10,80 ^a	8,67 ^a
Témoin	10,36 ^{bc}	0,200 ^b	0,40 ^a	11,87 ^a
Eau brute	14,31 ^c	14,31 ^c	7,20 ^b	21,20 ^b

232 NB : les moyennes ayant les lettres identiques sur la même colonne sont statistiquement identiques à 5%.

233 Les filtres à biochar ont été plus performants et statistiquement différents des filtres à sable. On note des
 234 rendements de 99,96 % ; 99,96 % ; 98,99% et 84,67 % respectivement des biochars de rafles de maïs, de coques de
 235 coco, de coques de palme et des filtres à sable. Ayesha et al. (2017) rapportent un résultat similaire sur l'efficacité

236 des filtres plantés à biochar (avec un rendement de 90 %) dans la réduction de la concentration en métaux lourds
 237 (Fe, Zn, Cu, Ni) des eaux usées. La réduction de la concentration en minéraux est liée au fait que les minéraux
 238 positivement chargés se fixent à la surface du massif filtrant suite à une attraction électrostatique. Cette attraction
 239 est plus importante dans des filtres à biochar étant donné que le biochar comporte des groupes fonctionnels
 240 contenant de l'oxygène tels que les carboxylates, les groupes COOH et hydroxyles (OH) qui sont négativement
 241 chargé et ont par conséquent une forte interaction avec les minéraux (Ayesha et al., 2017).

242 4. Phosphates

243 L'ANOVA montre que les différents filtres ont eu un effet hautement significatif ($p < 0,01$) sur la concentration en
 244 phosphate initiale. La séparation des moyennes (tableau 5) montre qu'à 60 jours d'épuration, les filtres à biochar
 245 ont été plus performants que les filtres à sable avec des rendements de 75,30 % ; 68,71% et 61,91% respective-
 246 ment du biochar rafles de maïs, coque de coco et coque de palmiste contre un rendement de 41,17% des filtres à
 247 sable uniquement.

248 **Tableau 5. Séparation des valeurs moyennes des phosphates par types de traitement**

Traitements	Phosphate (mg/l)	
	30 jrs	60 jrs
B maïs	15.57 ^c	13.00 ^a
B coco	24,16 ^a	16,83 ^b
B palme	37,02 ^b	20.05 ^b
Témoin	15.78 ^c	21,68 ^c
Eau brute	52.65 ^d	52,65 ^d

249 NB : les moyennes ayant les lettres identiques sur la même colonne sont statistiquement identiques à 5%.

250 L'adsorption est le principal mécanisme par lequel les phosphates sont réduits dans les filtres et la capacité d'un
 251 substrat à retenir le phosphore dépend de son pH et de sa concentration en minéraux (Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+}) (Pigna-
 252 tello, 2011) d'où la meilleure performance des filtres à biochar

253 3.4.3. Paramètres microbiologiques

254 L'analyse de variance montre que les traitements ont eu un effet hautement significatif ($P < 0,01$) sur la qualité
 255 microbiologique de l'eau usée brute ; ceci sur toutes les bactéries étudiées. La séparation des moyennes est
 256 présentée dans le tableau 6.

257 A la première vague de mesure, les filtres à biochar de rafles de maïs ont présenté des performances plus élevées et
258 statistiquement différentes des autres substrats. Après 60 jours, les performances des filtres à biochar de rafles de
259 maïs ont été statistiquement identiques à celles des filtres à sable dans la réduction des coliformes fécaux, des
260 salmonelles, des shigelles, des streptocoques, des staphylocoques et du vibrion colérique.

261 Les filtres à biochar de noix de coco et de noix de palme ont par contre été moins performants que les filtres à
262 sable. En outre, le taux de réduction des salmonelles et des shigelles par les filtres à sable a été significativement
263 plus élevé que celui des filtres à biochar de coques de noix de palme et de coco. Seuls les staphylocoques ont été
264 les plus réduits par ces filtres à biochar par rapport aux filtres à sable.

265 De manière générale et pour les deux vagues de mesure, le biochar de rafle de maïs a été plus performant dans la
266 réduction de la contamination microbiologique de l'eau usée initiale. Tresse et *al.* (2006) rapportent que la capacité
267 d'adhésion de certaines bactéries à la surface du massif filtrant décroît en milieu acide. La performance des filtres à
268 biochar de rafles de maïs serait donc liée à son pH initialement plus élevé. De plus, il existerait une certaine
269 compatibilité entre la surface de ce biochar et les différents microorganismes qui aurait permis leur adsorption sur
270 le massif filtrant.

271 **Tableau 6. Séparation des moyennes des paramètres microbiologiques (CFU/ml) par type de traitement**

Traitements	Coliformes totaux		Coliformes fécaux		Salmonelles		Shigelles		Staphylocoques		Streptocoques		Vibrion	
	30 jrs	60 jrs	30 jrs	60 jrs	30 jrs	60 jrs	30jrs	60 jrs	30 jrs	60 jrs	30 jrs	60 jrs	30jrs	60 jrs
B maïs	900 ^a	1350 ^a	720 ^a	900 ^a	700 ^a	775 ^a	80 ^a	140 ^a	400 ^b	0 ^a	1150 ^a	110 ^a	30 ^a	30 ^a
B coco	1433 ^{ab}	1750 ^a	967 ^{ab}	1125 ^a	1020 ^b	1550 ^b	200 ^c	175 ^a	377 ^b	175 ^{ab}	1600 ^b	1750 ^b	200 ^b	50 ^a
B palme	1867 ^b	1767 ^a	1200 ^b	1200 ^a	1600 ^c	1633 ^b	100 ^a	433 ^b	49 ^a	450 ^b	1767 ^b	375 ^a	190 ^b	375 ^b
Témoin	1467 ^c	1733 ^a	1017 ^b	1067 ^a	1233 ^d	867 ^a	170 ^b	153 ^a	167 ^a	2333 ^c	2200 ^c	367 ^a	165 ^b	67 ^a
Eau brute	3000 ^d	7000 ^b	1800 ^c	5500 ^b	1800 ^d	4500 ^c	500 ^d	1000 ^c	600 ^c	4000 ^d	2800 ^d	1500 ^b	480 ^c	1000 ^c

272 NB : les moyennes ayant les lettres identiques (sur la même colonne) sont statistiquement identiques à 5%..

273

274 **3.5. Effets des biochars sur les paramètres de croissance des plantes**

275 Il ressort de l'ANOVA que les effets des différents filtres sur les paramètres de croissance des plantes ont été
276 statistiquement identiques ($P>0,05$) à 30 et 60 jours de traitement. Cependant les paramètres de croissance des
277 plantes ont significativement augmenté entre 30 et 60 jours. Bien que non statistiquement significative, il a été
278 observé une croissance plus importante des plantes dans les filtres à biochar par rapport aux filtres à sable
279 uniquement. Le biochar de rafles de maïs étant le substrat dans lequel la croissance est plus rapide. En effet, les
280 plantes consomment les éléments nutritifs dans l'eau et ceux retenus par le massif filtrant pour se développer. Ces
281 minéraux sont plus importants dans des substrats à biochar étant donné leur richesse en ces minéraux comparé au
282 sable.

283 **4. CONCLUSION**

284 Cette étude visait à déterminer l'effet de l'ajout de différents biochars produits à partir des rafles de maïs, des
285 coques de noix de coco et des coques de noix de palmiste, sur les paramètres physicochimiques et microbiologiques
286 des effluents ; et sur les paramètres de croissance des plantes épuratrices. Après conduite de l'expérience en
287 condition réelle, collecte et analyse des données, il en ressort au vue des performances épuratoires du biochar de
288 rafles de maïs, que ce dernier peut être fortement suggéré comme substitut de sable pour le traitement des eaux
289 usées domestiques dans les filtres plantés à écoulement vertical. Ceci sous réserve des essais à grande échelle. Une
290 combinaison avec le biochar de palme ou de coco pourrait potentiellement donner des meilleurs résultats.

291 **5. REMERCIEMENTS**

292 Les auteurs adressent leur immense gratitude aux différents laboratoires et unités de recherche de l'Université de
293 Dschang notamment le laboratoire des sols et des eaux, le laboratoire des sciences du sol et l'unité de recherche en
294 botanique appliquée pour avoir fourni un environnement propice à la mise en place de l'expérimentation et pour
295 leur collaboration lors de la réalisation des analyses du sol et de l'eau.

296 **6. RÉFÉRENCES**

297 1. American Public Health Association (APHA), Water Environment Federation, 1998, Standard Methods for
298 the Examination of Water and Wastewater: 20th edition. Washington, DC, USA. 1220 p

- 299 2. Ayesha R., Saman S., Saif-ur-Rehman K., Zeeshan U., Maria K., 2017, To evaluate the efficiency of char and
300 biochar for waste water treatment. *Journal of waste recycling*, **2**(2), 1-7.
- 301 3. Dalahmeh, S.S., 2016, Capacity of Biochar Filters for Wastewater Treatment in Onsite Systems—Technical
302 Report; Report 2016-90; Havs och vattenmyndighet: Göteborg, Sweden; Swedish University of Agricultural
303 Sciences: Uppsala, Sweden, 47 p.; ISBN 978-91-576-9398-3.
- 304 4. EME C., 2012, Traitement des eaux usées domestiques par filtres plantés à macrophytes : adaptation de la filière
305 au contexte tropical : état de l’art. Office National de l’eau et des milieux aquatiques (ONEMA), France, 76 p.
- 306 5. Fonkou T., Fonteh M.F., Djousse K.B.M., Amougou A., 2010. Performance des filtres plantés d’Echinochloa
307 pyramidalis dans l’épuration des eaux usées de distillerie en Afrique subsaharienne. *Tropicultura.*, **28**, 69-76.
- 308 6. Ghizlane E., Abdelaziz B., Abdelrani Y., Manfred L., 2020, Biochar for wastewater treatment-conversion
309 technologies and applications. *App. Sci.*, **10**, 3390-3492.
- 310 7. Hach, 2004, Water analysis handbook manual DR/2500 laboratory spectrophotometer. Hach Company World
311 Headquarter, Colorado, U.S.A., p 1309
- 312 8. Kaetzel K., Lübken M., Uzuna G., Gehring T., Nettmann E., Stenchly K., Wichern M., 2019, On-farm wastewater
313 treatment using biochar from local agro residues reduces pathogens from irrigation water for safer food
314 production in developing countries. *Sci. Total Environ.*, **682**, 601–610.
- 315 9. Kaetzel K., Lübken M., Nettmann E., Krimmler S., Wichern M., 2020, Slow sand filtration of raw wastewater using
316 biochar as an alternative filtration media. *Sci. Rep.*, **10**, 1229-1250.
- 317 10. Korbinian K., Manfred L., Tito G., Marc W., 2018, Efficient Low cost anaerobic treatment of wastewater using
318 biochar and woodchip filters, Institute of Urban Water Management and Environmental Engineering: Bochum,
319 Germany, 17 p.
- 320 11. Molle P., Lienard A., Boutin C., Merlin G., Iwema A., 2005, How to treat raw sewage with constructed wetlands:
321 an overview of the French systems: *Water Sci. Technol.*, **51**, pp. 11-21.
- 322 12. Morand N., 2007, Cahiers des Clauses Techniques Particulières (CCTP), filtres plantés de roseaux. Ministère de
323 l’agriculture et de la pêche, Lyon, France, 76 p.
- 324 13. Park J.H., Wang J.J., Meng Y., Wei Z., DeLaune R.D., Seo D.C., 2019, Adsorption/desorption behavior of
325 cationic and anionic dyes by biochars prepared at normal and high pyrolysis temperatures. *Colloids Surf. A*

- 326 Physicochem. Eng. Asp., **572**, 274–282.
- 327 14. Rizwan M., Ali S., Qayyum M.F., Ibrahim M., Ziaurrehman M., Abbas T., Ok Y.S., 2016, Mechanisms of biochar-
328 mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: A critical review. Environ. Sci. Pollut. Res., **23**, 2230–
329 2248
- 330 15. Pignatello J.J., 2011, Interactions of Anthropogenic Organic Chemicals with Natural Organic Matter and Black
331 Carbon in Environmental Particles. Biophysico-Chemical Processes of Anthropogenic Organic Compounds in
332 Environmental Systems, Hoboken, USA, 50 p.
- 333 16. Singh R., Babu J.N., Kumar R., Srivastava P., Singh P., Raghubanshi A.S., 2015, Multifaceted application of crop
334 residue biochar as a tool for sustainable agriculture: An ecological perspective. Ecological Engineering., **77**, 324–
335 347.
- 336 17. Tresse O., Lebret V., Benezech T., Faille C., 2006, Comparative evaluation of adhesion,
337 surface properties, and surface protein composition of *Listeria monocytogenes* strains after cultivation at
338 constant pH of 5 and 7. Journal of applied microbiology, **101**(1), 53- 62.
- 339 18. Yang W., Wang Z., Song S., Han J., Chen H., Wang X., Sun R., Cheng J., 2019, Adsorption of copper(II) and lead(II)
340 from seawater using hydrothermal biochar derived from *Enteromorpha*. Mar. Pollut. Bull., **149**, 110-586.
- 341 19. Zhou X., Wang X., Zhang H., Wu H., 2017, Enhanced nitrogen removal of low C/N domestic wastewater using a
342 biochar-amended aerated vertical flow constructed wetland, *Bioresource Technology* consulté le 15 Mai 2019
343 sur: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.072>
- 344 20. Zulfiqar M., Samsudin M.F.R., Sufian S., 2019, Modelling and optimization of photocatalytic degradation of
345 phenol via TiO₂ nanoparticles: An insight into response surface methodology and artificial neural network. J.
346 Photoch. Photobio., **384**, 112-398.