

# Effet des amendements de biochars activés sur la fertilité du sol et les rendements de la laitue cultivée dans l'ouest du Burkina Faso

---

Issaka SENOU<sup>1,2</sup>,  
Hamza OUEDRAOGO<sup>2</sup>,  
Hassan Bismarck NACRO<sup>2</sup>

## Résumé

Cette étude, conduite à Bobo-Dioulasso, évalue les effets de l'apport de différents types de biochar sur les paramètres du sol et les rendements de la laitue. La culture de laitue a été réalisée dans des pots contenant des sols contaminés, amendés avec les différents types de biochar à trois doses. Le biochar a été produit par pyrolyse des tiges de cotonnier et activé par procédés physique à 500 °C, soit chimiquement avec du chlorure du calcium. Le dispositif expérimental était un plan en bloc factoriel, comportant sept traitements répartis sur trois blocs. L'application du biochar activé chimiquement a entraîné une baisse des niveaux d'azote, de phosphore et de potassium dans le sol, avec un pH limité à 6,69. En conséquence, les rendements ont chuté de 161,66 g/pot à 116,61 g/pot, puis 106,86 g/pot avec l'augmentation des doses de biochar respectives de 0, 2,5 et 5 t/ha. À l'inverse, le biochar activé physiquement a enrichi significativement le sol en éléments nutritifs, portant l'azote total à 0,33 %, le phosphore total à 1420,41 mg/kg et le potassium total à 1064,64 mg/kg, avec une hausse du pH jusqu'à 6,90. Ces améliorations se sont traduites par une augmentation du rendement, passant de 10,12 pour 0 t/ha de ce type de biochar à 11,55 t/ha pour la dose maximale. Le biochar non activé a amélioré également la fertilité du sol et les rendements, mais dans une moindre mesure. Le biochar activé physiquement apparaît ainsi comme le plus efficace pour optimiser la nutrition du sol et la production agricole.

**Mots clés** : biochar, fertilité des sols, rendement, laitue, Burkina Faso

## Impact of activated biochar amendements on soil fertility and lettuce yield in western Burkina Faso

### Abstract

---

<sup>1</sup> Institut des Sciences de l'Environnement et du Développement Rural, Université Daniel OUEZZIN COULIBALY (UDOC), BP : 176, Dédougou (Burkina Faso)

<sup>2</sup> Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité du Sol (LERF), Institut du Développement Rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso. BP 1091 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

\*Auteur correspondant : Issaka SENOU ; [issakasenou@gmail.com](mailto:issakasenou@gmail.com); ORCID ID: 0009-0007-3594-6145.

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstsna.v44i2.2010>

This study, conducted in Bobo-Dioulasso, highlights the impact of different types of biochar amendment on soil fertility and lettuce yields. To do so, pots experiment with contaminated substrate was carried out under lettuce. Soils was amended with the different types of biochar at three rate. Biochar is produced by pyrolysis of cotton stalks and is physically activated at 500° C. and chemically activated with calcium chloride. The experimental design was a factorial block, with seven treatments and three replicated. The application of chemically activated biochar resulted in a decrease in soil nitrogen, phosphorus and potassium contains, with a pH limit of 6.69. As a result, yields dropped from 10.12 t/ha to 7.30 t/ha, and then 6.69 t/ha with the increase in biochar doses of 0, 2.5 and 5 t/ha, respectively. Conversely, the physically activated biochar significantly enriched the soil with nutrients, bringing total nitrogen to 0.33%, total phosphorus to 1420.41 mg/kg and total potassium to 1064.64 mg/kg, with a pH increase to 6.90. These improvements result in an increase in yield from 10.12 per 0 t/ha of this type of biochar to 11.55 t/ha for the maximum dose. Inactivated biochar also improved soil fertility and yields. Physically activated biochar appears to be the most effective for optimizing soil nutrition and agricultural production

**Key words :** activated biochar, soil fertility, yield, lettuce, Burkina Faso

## Introduction

La fertilité des sols et l'amélioration de la productivité agricole sont des priorités dans la lutte contre l'insécurité alimentaire, particulièrement dans les régions tropicales comme l'Afrique de l'Ouest, où les sols subissent une dégradation croissante. Cette dégradation, liée à l'érosion, à l'épuisement en nutriments et, dans certains cas, à une contamination par des métaux lourds provenant des activités agricoles et industrielles, réduit progressivement la durabilité des terres cultivables. Des solutions telles que l'utilisation du biochar, matériau carboné obtenu par pyrolyse de biomasses, ont récemment émergé pour améliorer la qualité des sols. Le biochar est reconnu pour ses avantages sur la rétention en eau, l'enrichissement en nutriments et la biodiversité microbienne, tout en contribuant à la séquestration du carbone (LÉLÉ, 2016).

Dans les sols pauvres de l'ouest du Burkina Faso, où la culture de la laitue (*Lactuca sativa* L.) est répandue, le biochar pourrait représenter un amendement précieux pour à la fois améliorer la fertilité des sols et atténuer les risques de bioaccumulation de métaux lourds dans cette plante alimentaire. Plusieurs études récentes ont étudié les impacts du biochar sur la qualité des sols et les performances agronomiques de diverses cultures. Par exemple, RESS *et al.* (2014) ont observé que l'ajout de biochar dans les sols appauvris permet de réduire la mobilité du plomb et du cadmium, minimisant leur absorption par les plantes.

De plus, Karami *et al.*, 2011 ont rapporté une amélioration significative de la rétention en eau et de la disponibilité des nutriments dans les sols amendés avec du biochar. Ces résultats sont confirmés par l'étude de KARTIKA *et al.*, (2018), qui montrent que le biochar améliore également la capacité des sols sableux à retenir les nutriments essentiels, favorisant ainsi une croissance accrue des cultures

Toutefois, bien que ces travaux aient permis de mieux cerner les effets du biochar, plusieurs limites persistent. Nombre de ces études, par exemple, n'explorent qu'un seul type de biochar, ne prenant pas en compte l'influence des méthodes d'activation ou de dosage sur l'efficacité du biochar dans les conditions locales. De plus, la majorité des recherches ont été menées en Asie ou en Amérique latine, dans des contextes climatiques et pédologiques distincts de l'Afrique de l'Ouest, ce qui limite la transférabilité des résultats. Quant aux études locales, comme celle de CISSÉ (2022), elles se concentrent sur des cultures vivrières de grande taille, laissant de côté les légumes-feuilles tels que la laitue, pourtant sensibles aux métaux lourds, notamment dans des zones de production intensives.

À la lumière de ces observations, la problématique de cette étude s'articule autour de la question suivante : comment l'utilisation de différents types et doses de biochar peut-elle être optimisée pour accroître la fertilité des sols de l'ouest du Burkina Faso tout en garantissant la sécurité sanitaire des cultures de laitue ? Autrement dit, quels types de biochar sont les plus efficaces pour réduire la bioaccumulation de métaux lourds tout en améliorant la qualité des sols et les rendements de la laitue ?

Cette recherche se propose donc d'examiner l'impact de différents types de biochar, activés par des méthodes variées et appliqués à différentes doses, sur la fertilité du sol et le rendement de la laitue dans l'ouest du Burkina Faso. Nos objectifs spécifiques incluent l'analyse de l'effet du biochar sur les propriétés physico-chimiques du sol, ainsi que l'évaluation de la croissance, du rendement et des niveaux de bioaccumulation des métaux lourds dans les différents organes de la laitue.

## **I. Localisation du site**

La zone d'étude se situe à Bobo-Dioulasso, l'une des principales villes du Burkina Faso, située à environ 365 km au sud-ouest de la capitale, Ouagadougou (INSD, 2012). Capitale de la province du Houet et chef-

lieu de la région des Guiriko, Bobo-Dioulasso est une ville importante pour la recherche agronomique en raison de ses caractéristiques écologiques et de sa position stratégique dans une région agricole active.

L'étude a été réalisée au Centre de Formation et de Recherches de l'Université Nazi Boni, situé dans le secteur 20 de l'arrondissement 6, à l'ouest de Bobo-Dioulasso (figure 1). Ce centre est situé aux coordonnées géographiques 11°9'51,326" de latitude nord et 4°18'54,538" de longitude ouest. Le climat de la zone d'étude est de type soudano-sahélien avec une saison des pluies s'étendant de juin à octobre, conditions particulièrement favorables aux expérimentations culturales et aux études environnementales.

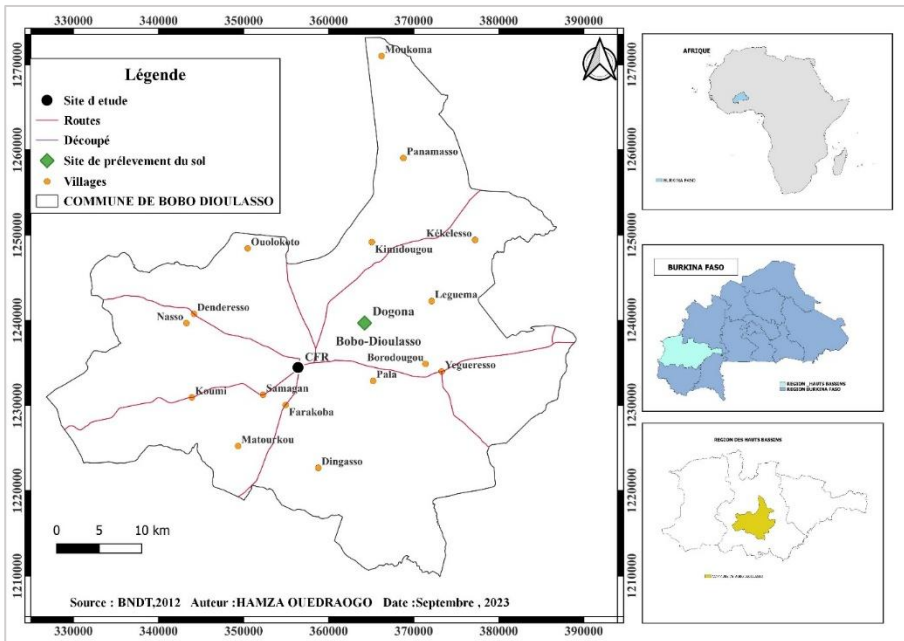


Figure 1 : Carte de localisation du site d'étude

## II. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel d'étude

**Biochar :** Le biochar utilisé pour cette étude a été obtenu à partir de tiges de cotonnier, sélectionnées pour leur disponibilité saisonnière au moment de l'expérimentation. Sa production a été réalisée à la station de recherche de l'Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (I.N.E.R.A) de Farako-Bâ. Afin d'améliorer ses capacités

d'adsorption des métaux lourds, une partie du biochar a été soumise à deux procédés distincts d'activation : l'activation physique et l'activation chimique.

**Sol** : Le sol utilisé pour les cultures en pot de laitue a été prélevé dans le périmètre maraîcher de Dogona, situé à proximité de Bobo-Dioulasso. Il se caractérise par une forte teneur en matière organique, issue en partie dérivé des apports massifs des déchets ménagers et industriels de la ville. Sa couleur noire traduit la présence importante de matière organique ainsi que l'influence de résidus incinérés (SENOU *et al.*, 2019). D'après la classification proposée par KISSOU *et al.* (2014), ce type de sol est identifié comme un technosol.

**Laitue** : La laitue (*Lactuca sativa*) a été retenue pour cette étude en raison de sa croissance rapide et de sa sensibilité aux variations de la fertilité du sol. Elle est fréquemment utilisée dans les recherches agricoles, car elle réagit de manière marquée aux changements de conditions de culture, ce qui en fait un indicateur pertinent des effets des amendements en biochars sur la fertilité du sol. Par ailleurs, la laitue figure parmi les légumes feuilles les plus largement consommée par les populations locales.

## **2.2. Méthodes d'étude**

### **2.2.1. Production du biochar**

La production du biochar a été réalisée par pyrolyse de la biomasse, selon un processus en plusieurs étapes. D'abord, l'allumage a consisté à former une cheminée dans le four kon-tiki, en empilant du bois jusqu'aux trois quarts de la hauteur du four. Le fond a ensuite été recouvert de tiges de cotonnier, allumées pour initier la combustion. Environ dix minutes plus tard, la structure de la cheminée a été démontée, permettant aux flammes de se diffuser et aux braises de se répartir uniformément au fond du four. Ensuite, le four a été chargé en tige de cotonnier jusqu'à son sommet. Des tiges de cotonnier supplémentaires sont ajoutées pour entretenir les flammes si nécessaires. L'opération a été stoppée après une demi-heure, quand les flammes ont naturellement cessé et qu'une couche de biochar incandescent s'est formée. Enfin, le biochar incandescent a été sorti du four et éteint avec de l'eau propre pour stopper la combustion, puis laissé à refroidir et séché avant d'être prêt à l'utilisation.

### **2.2.2. Activation du biochar**

Le biochar produit a été soumis à deux types d'activation afin d'améliorer ses propriétés. Activation physique : La méthode utilisée est celle décrite par OMLIN ET CHESAUX (2010). Un kilogramme de biochar sec a été immergé dans de l'eau distillée pendant 24 heures. Après égouttage, le biochar a été placé dans un four chauffé à 500°C pendant 5 heures. À l'issue du chauffage, il a été réimmergé dans de l'eau distillée puis séché à l'air libre.

Activation chimique : Pour l'activation chimique, un kilogramme de biochar sec a été immergé dans une solution de chlorure de calcium (2 mol.L<sup>-1</sup>) pendant 24 heures. Ensuite, le biochar a ensuite été chauffé dans un four à 400°C pendant 5 heures, puis refroidi, lavé à l'eau distillée et séché à l'air libre.

### **2.2.3. Mise en place du dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental a été conçu sous forme de blocs factoriels, comportant sept traitements et trois répétitions, soit un total de 21 pots réparties sur trois blocs. Les deux facteurs étudiés étaient le type de biochar utilisé à savoir le biochar activé physiquement (BAP), le biochar activé chimiquement (BAC) et biochar non activé (BNA), et les doses de biochar appliquées qui étaient de 2,5 t/ha et 5 t/ha. Le traitement témoin n'a pas reçu d'amendement biochar. Le dispositif comportait 21 pots distribuées entre les trois (03) blocs. Chaque parcelle était constituée de quatre pots donc 84 pots au total. Les traitements étaient les suivants : T0D0 : témoin sans apport de biochar ; T1D1 : 2,5 t de biochar activé chimiquement (BAC)/ha ; T1D2 : 5 t de biochar activé chimiquement (BAC)/ha ; T2D1 : 2,5 t de biochar activé physiquement (BAP)/ha ; T2D2 : 5 t de biochar activé physiquement (BAP)/ha ; T3D1 : 2,5 t de biochar non activé (BNA)/ha ; T3D2 : 5 t de biochar non activé (BNA)/ha.

### **2.2.4. Conduite de l'essai de culture de laitue dans les pots**

Avant l'emportage, le sol a été tamisé pour éliminer les gros débris et uniformisé pour garantir une texture homogène. Chaque pot a ensuite été rempli de cette terre préparée et amendée selon les doses spécifiques de biochar définies pour chaque traitement.

Les semences de laitue ont été d'abord mise en pépinière, où elles ont bénéficié les mêmes traitements que ceux appliqués ultérieurement en pot, afin d'assurer des conditions expérimentales dès le départ. Après environ deux semaines, lorsque les plants avaient deux semaines après

semis, le repiquage a été effectué en transférant délicatement chaque plant dans les pots individuels.

Durant toute la période de culture, un entretien régulier a été assuré, comprenant des arrosages constants pour maintenir une humidité optimale, ainsi que le contrôle des mauvaises herbes et des éventuels ravageurs. Après cinq semaines de repiquage correspondant à la maturité commerciale, les plants de laitue ont été récoltés. Chaque pot a ensuite fait l'objet de mesures spécifiques destinées à évaluer l'effet des différents traitements. Les échantillons collectés comprenaient la biomasse totale, utilisée pour déterminer le rendement ainsi que des prélèvements des échantillons de sol.

$$R = \left( \frac{\sum m}{n} \right) \cdot N$$

**R** : rendement de laitue (kg/ha)

**m** : masse d'un plant de laitue (kg)

**n** : nombre de laitue

**N** : nombre de plants de laitue par hectare (N= 62 500 plants)

### 2.2.5. Prélèvement des échantillons de sol, de biochar et de plants

Les prélèvements ont été effectués sur le sol, le biochar et les échantillons végétaux à différentes étapes clés de l'expérimentation.

**Sol** : pour le sol, un premier prélèvement a été réalisé avant le semis, consistant en 200 g de sol tamisé à l'aide d'une maille de 2 mm. Un second prélèvement a été effectué après la récolte, à raison de 50 g par pot, regroupant les échantillons de quatre pots d'une même parcelle pour constituer un échantillon composite.

**Biochar** : concernant le biochar, 50 g de chaque type, à savoir biochar activé physiquement (BAP), biochar activé chimiquement (BAC) et biochar non activé (BNA) ont été prélevés après sa production et activation. À l'issue de la récolte, le biochar incorporé au sol a été récupéré par sédimentation dans l'eau, puis séché dans une étuve à 50 °C.

**Végétaux** : quant aux échantillons végétaux, quatre plantes entières ont été collectées par pot pour former un échantillon composite. Les racines, tiges et feuilles des laitues ont été soigneusement lavées à l'eau distillée, puis pesées pour déterminer le rendement.

## 2.2.6. Méthode d'analyse des échantillons de sol et de biochar

Les analyses des sols et des biochars ont consisté à la détermination des paramètres suivants :

**pHeau** : Il a été mesuré par potentiométrie (AFNOR, 1981) dans une suspension sol/solution (1/2,5) avec un pH-mètre à électrode de verre.

**Taux de carbone et de matière organique** : Ils ont été déterminés par la méthode Walkley et Black modifiée, impliquant une oxydation à chaud et une mesure colorimétrique (650 nm). (NELSON et al., 1982)

**N-total** : Il a été obtenu par la méthode de Kjeldahl (AFNOR ISO 11-261).

**P-total** : Il a été mesuré après minéralisation ( $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-SeH}_2\text{O}_2$ ) par colorimétrie selon la méthode BRAY, et le K-total par spectrophotométrie à flamme. (MURPHY ET RILEY, 1962)

**P-assimilable et le K-disponible** : Ils ont été extraits respectivement par les méthodes BRAY 2 et  $\text{HCl-H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , puis analysés par spectrophotométrie et photométrie à flamme. (BRAY ET KURTZ, 1945)

## 2.2.7. Analyse statistique des données

Les données ont été saisies sous Microsoft Excel 2016 et analysées avec le logiciel R (version 4.3.1). Les tests de normalité (Shapiro-Wilk) et d'homoscédasticité (Levene) ont été réalisés. Une ANOVA à deux facteurs au seuil de 5 % a été utilisée pour les données normales, tandis que le test de Kruskal-Wallis a été appliqué pour les données non conformes aux hypothèses des tests paramétriques. En cas de différences significatives, les moyennes ont été comparées avec le test HSD de Tukey (paramétrique) ou le test de Dunn (non paramétrique), au seuil de 5 %. Des tests de régression linéaire ont également été employés pour déterminer liens entre les paramètres.

# III. Résultats

## 3.1. Paramètres chimiques des échantillons de sol et de biochar avant semis

Les paramètres chimiques des échantillons de sol et de biochar avant semis sont illustrés par le tableau I. Les analyses montrent que le pHeau du sol initial, égal à 6,42, est inférieur à celui des biochars. Le carbone organique total du sol est de 1,86 %, contre 46,66 % pour le biochar non activé, 43,12 % pour le biochar activé physiquement et 40,72 %

pour le biochar activé chimiquement. La matière organique est de 3,37 % dans le sol, nettement inférieure aux 84,40 % du biochar non activé, 77,45 % du biochar activé physiquement et 73,13 % du biochar activé chimiquement. Les éléments nutritifs du sol initial affichent 0,28 % pour N<sub>total</sub>, 103,67 mg/kg pour P<sub>total</sub> et 965,45 mg/kg pour K<sub>total</sub>, des valeurs inférieures aux niveaux observés dans les biochars. Le biochar non activé enregistre les valeurs les plus élevées pour tous les paramètres chimiques, suivi du biochar activé physiquement, puis du biochar activé chimiquement.

**Tableau I** : Paramètres chimiques des échantillons de sol et de biochar avant semis

Substrats	pHeau	COT (%)	MO (%)	N <sub>total</sub> (%)	C/N	P <sub>total</sub> (mg/kg)	K <sub>total</sub> (mg/kg)
BAC	6,65	40,72	70,2	0,99	41,13	2224,26	1614,59
BAP	7,85	44,20	76,18	1,04	42,50	2357,57	1655,02
BNA	9,94	46,66	80,44	1,24	37,62	2561,22	1781,28
Sol initial	6,42	1,86	3,21	0,28	6,64	103,67	965,45

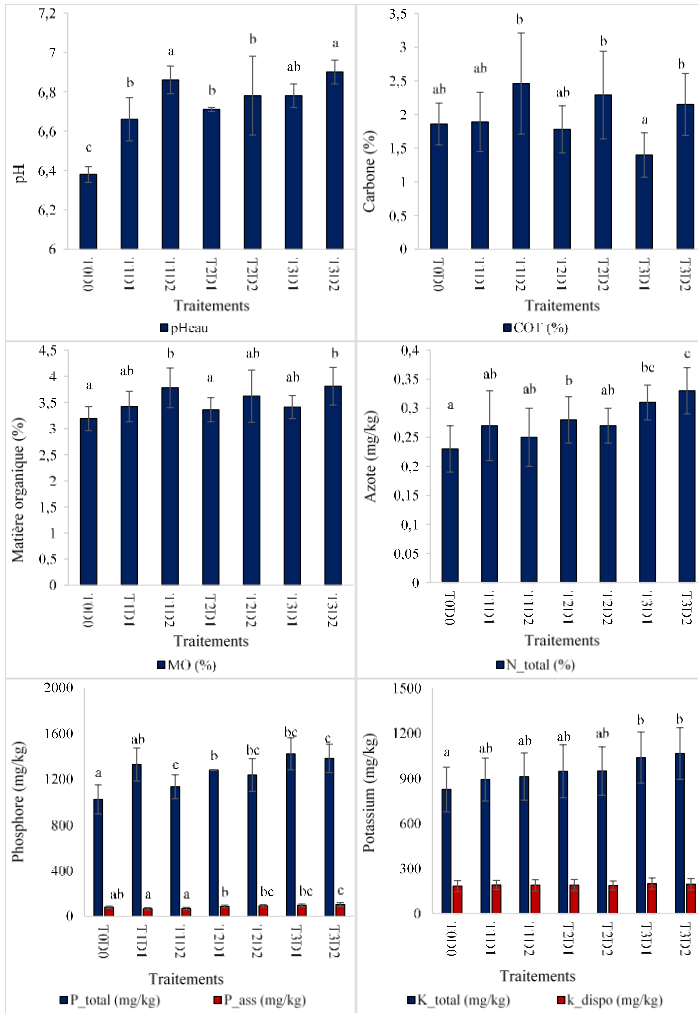
BAC : Biochar Activé Chimiquement ; BAP : Biochar Activé Physiquement ; BNA : Biochar Non Activé ; COT : Carbone Organique Total.

### 3.2. Paramètres chimiques des échantillons de sol et de biochar

#### 3.2.1. Paramètres chimiques des échantillons de sol

L'analyse des paramètres physico-chimiques des différents traitements montre des variations significatives (figure 2). En effet, le pH augmente légèrement, passant de 6,38 pour le traitement T0D0 à 6,90 pour le traitement T3D2. Le carbone organique total présente des valeurs comprises entre 1,40 % pour le traitement T3D1 et 2,46 % pour le traitement T1D2, tandis que la matière organique varie de 3,19 % pour le traitement T0D0 à 3,81% pour le traitement T3D2. L'azote total suit une tendance similaire, avec une concentration minimale de 0,23 mg/kg pour le traitement T0D0 et maximale de 0,33 mg/kg pour le traitement T3D2.

Concernant les éléments nutritifs, le phosphore total a augmenté avec les traitements, atteignant une valeur maximale de 1420,41 mg/kg pour le traitement T3D1 contre une valeur minimale de 1022,11 mg/kg pour le traitement T0D0. Le phosphore assimilable présente des valeurs variant de 66,44 mg/kg pour le traitement T1D1 à 103 mg/kg pour le traitement T3D2. Le potassium total suit la même tendance, variant de 825,71 mg/kg pour le traitement T0D0 à 1064,64 mg/kg pour le traitement T3D2. Enfin, le potassium disponible fluctue entre 182,15 mg/kg pour le traitement T0D0 et 199,29 mg/kg pour le traitement T3D1.



**Figure 2 :** Variation des paramètres chimiques des échantillons de sol en fonction des traitements appliqués ; K\_Total : Potassium total K\_ass : Potassium assimilable P\_Total : Phosphore total P\_ass : Phosphore assimilable

### **3.2.2. Paramètres chimiques des échantillons de biochar**

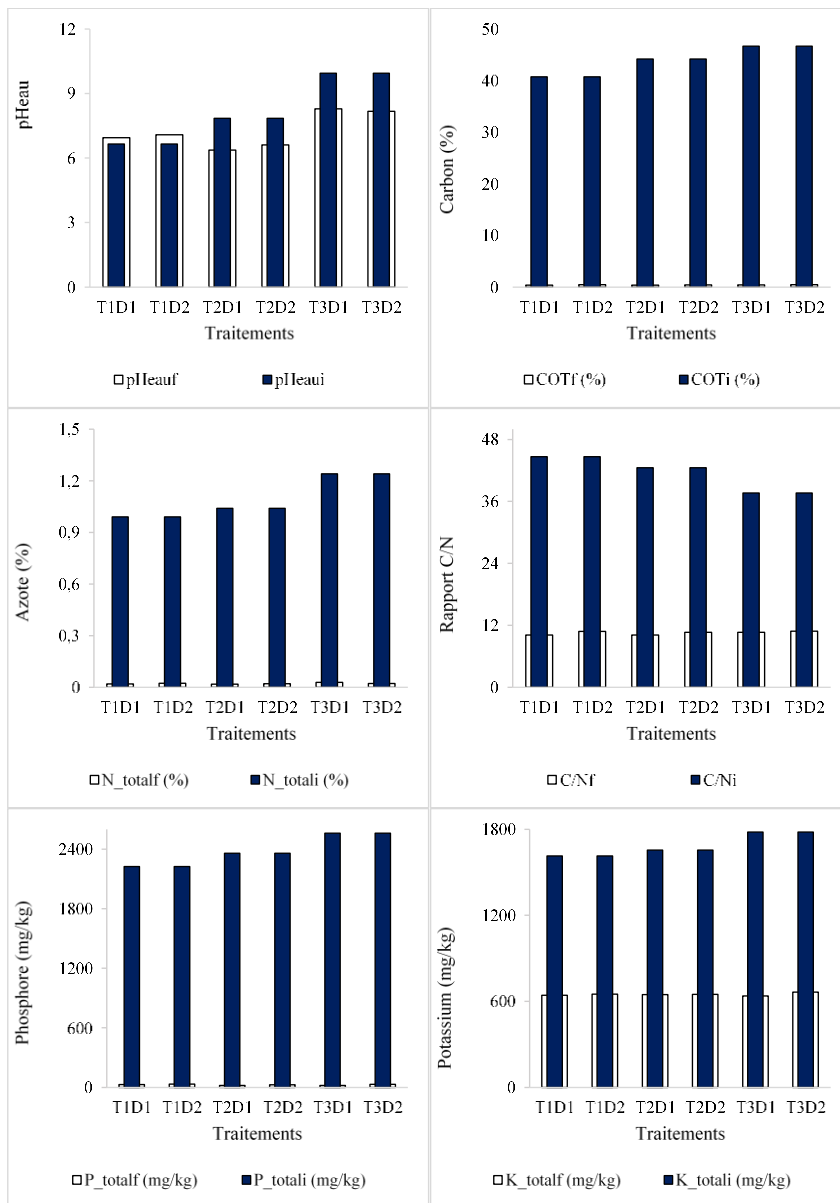
L'analyse des paramètres physico-chimiques des biochar provenant des différents traitements montre des variations significatives (figure 3). Le pH initial varie de 6,37 pour le traitement T2D1 à 8,28 pour le traitement T3D1, tandis que le pH final oscille entre 6,65 pour les traitements T1D1 et T1D2 et 9,94 pour les traitements T3D1 et T3D2. Le carbone organique total final est compris entre 38 % pour le traitement T2D1 et 46 % pour le traitement T1D2, alors que le carbone organique total initial varie de 40,72 % pour les traitements T1D1 et T1D2 à 46,66 % pour les traitements T3D1 et T3D2. L'azote total final fluctue entre 0,018 % pour le traitement T2D1 et 0,028 % pour le traitement T3D1, tandis que l'azote total initial varie de 0,99 % pour les traitements T1D1 et T1D2 à 1,24 % pour les traitements T3D1 et T3D2. Le rapport carbone sur azote final est compris entre 10,12 pour les traitements T1D1 et T2D1 et 10,83 pour le traitement T3D2, tandis que le rapport carbone sur azote initial oscille entre 37,62 pour le traitement T3D1 et 44,65 pour les traitements T1D1 et T1D2.

Concernant le phosphore total mesuré à la fin de l'expérimentation, il a varié de 19,88 mg/kg pour le traitement T2D1 à 33,16 mg/kg pour le traitement T1D2, et que le phosphore total initial fluctue entre 2224,26 mg/kg pour les traitements T1D1 et T1D2 et 2561,22 mg/kg pour les traitements T3D1 et T3D2. Le potassium total final est compris entre 637,46 mg/kg pour le traitement T3D1 et 664,64 mg/kg pour le traitement T3D2, alors que le potassium total initial oscille entre 1614,59 mg/kg pour les traitements T1D1 et T1D2 et 1781,28 mg/kg pour les traitements T3D1 et T3D2. Ces résultats indiquent que les traitements influencent significativement la dynamique des éléments nutritifs et des paramètres organiques, ce qui pourrait avoir un impact sur la fertilité du sol et la disponibilité des nutriments.

### **1.2. Effets du biochar activé sur les rendements de la laitue**

#### **3.3.1. Variation du rendement par traitement**

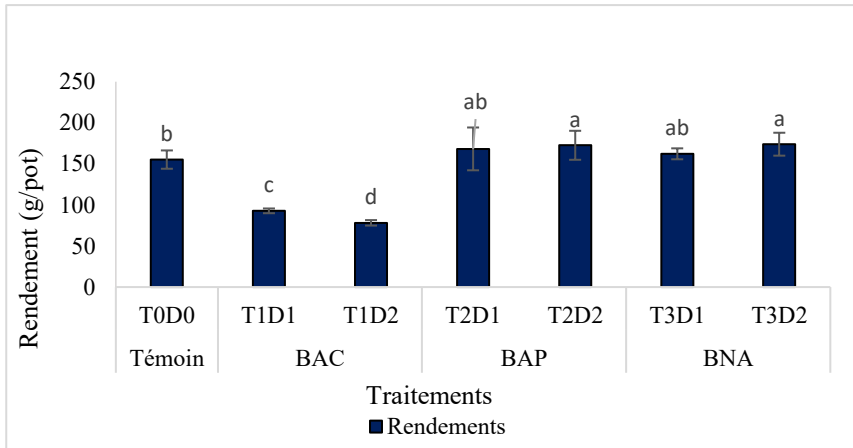
La figure 4 présente les rendements de laitue obtenus sous différents traitements à une culture base de laitue. L'analyse des résultats montre que le traitement témoin T0D0, présente un rendement de 155,20 g/pot. Les traitements BAC avec T1D1 et T1D2 affichent une forte baisse du rendement par rapport au témoin, avec des valeurs respectives de 92,80 g/pot et 78,20 g/pot.



**Figure 3 :** Variation des paramètres chimiques des échantillons de biochar

K\_totalf : Potassium total final K\_totali : Potassium total initial P\_totali : Phosphore total initial P\_totalf: Phosphore total final

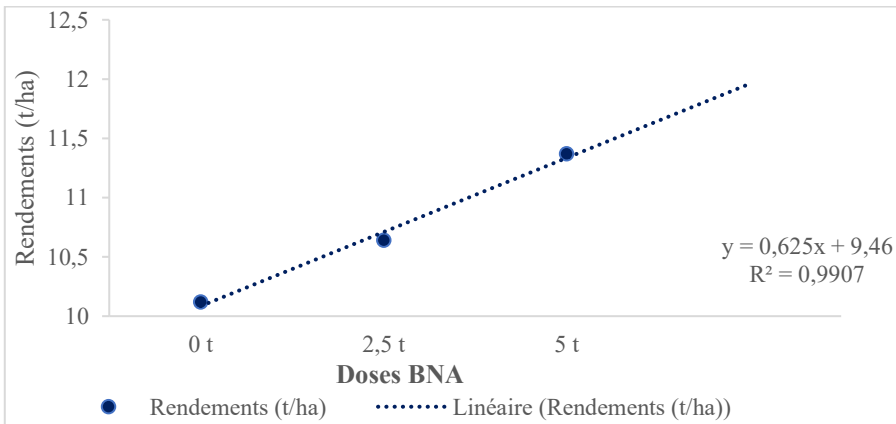
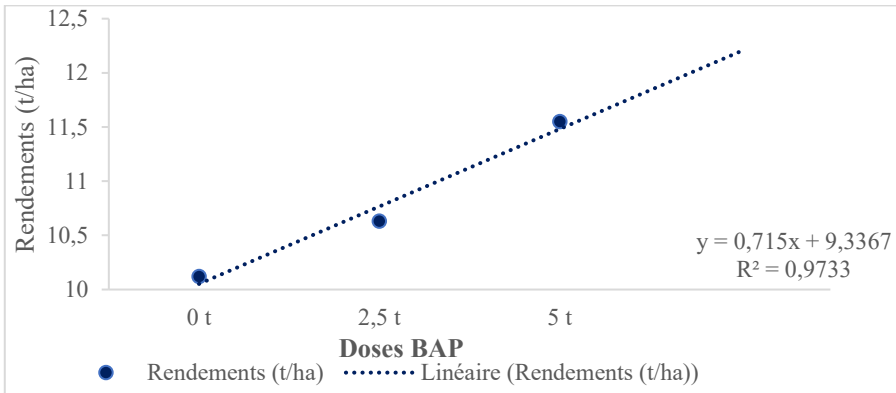
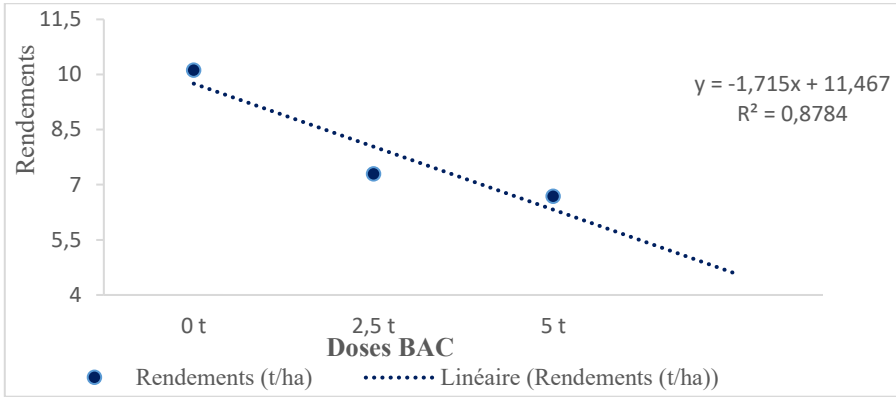
En revanche, les traitements BAP avec T2D1 et T2D2 montrent les rendements les plus élevés que le témoin, atteignant une production respective de 168,23 g/pot et 172,60 g/pot respectivement. Les traitements BNA avec T3D1 et T3D2 présentent également une amélioration, avec des rendements de 162,23 g/pot et 173,93 g/pot, mais leur performance reste inférieure à celle de BAP.



**Figure 4 :** Variation des rendements de laitue en fonction des traitements à base de biochar

### 3.3.2. Prédiction des rendements selon les doses de biochar

L'analyse de la figure 5 met en évidence l'effet différencié des amendements sur le rendement agricole. On observe une corrélation négative entre la dose de BAC et la productivité, cette dernière diminuant de 34 % à la dose maximale (5 t/ha). À l'opposé, le BAP et le BNA induisent une réponse positive. Si le BAP permet d'atteindre le rendement le plus élevé (172,60 g/pot à 5 t/ha), le BNA suit une dynamique similaire, bien que légèrement plus modéré, avec un rendement final de 173,93 g/pot.



**Figure 5** : Prédiction des rendements selon la dose de biochar apporté

**Légende** : BAC = biochar activé chimiquement, BAP = biochar activé physiquement, BNA = biochar non activé.

## II. Discussion

Bien que les biochars aient été retirés à l'issue de l'essai, leur présence a durablement modifié les propriétés chimiques du sol. Initialement acide, le pH-eau du sol a montré une nette augmentation après l'expérimentation. Cette élévation de pH est particulièrement marquée pour le biochar non activé (BNA). Ce phénomène s'explique vraisemblablement par le pouvoir chaulant intrinsèque du biochar, capable de neutraliser l'acidité libre du sol par l'apport de cations basiques. En effet, l'analyse du pHeau des différents types de biochar initial a donné des pHeau variant entre 6,65 et 9,94 respectivement pour le biochar activé chimiquement et le biochar non activé. Nos résultats sont en accord avec ceux de LÉLÉ (2016) qui a trouvé que l'incorporation du biochar au sol entraîne une élévation du pH du sol et permet ainsi de lutter contre le phénomène d'acidification des sols. Selon EL-NAGGAR *et al.* (2019) les biochars contiennent des cendres alcalines de concentrations élevées que l'eau d'irrigation pourrait permettre de libérer dans le sol et par ce biais contribuer à améliorer son pHeau. Cependant les sols ayant reçu le biochar activé ont les valeurs de pHeau les plus faibles par rapport aux biochars non activés. Ce qui expliquerait cette différence est que l'activation réduirait la teneur en cendre (Gueye, 2009), en partie responsable de la hausse du pHeau du sol amendé au biochar.

Les résultats mettent également en évidence un enrichissement significatif des sols amendés en carbone organique total (COT) et en matière organique (MO) par rapport au témoin. Cette augmentation s'explique par la nature intrinsèquement carbonée des biochars. Il est probable que l'interaction entre le biochar et la matrice tellurique entraîne une libération de microparticules organiques ou de carbone organique dissous (COD), contribuant ainsi durablement à l'amélioration du stock organique du sol, même après le retrait physique des fragments macroscopiques.

La baisse des pourcentages en carbone et en matière organique des biochars après récolte permet de soutenir cette hypothèse. Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par EL-NAGGAR *et al.* (2019) et GUO (2020) qui ont montré que l'apport du biochar comme amendement permet une amélioration significative des teneurs en carbone et en matière organique du sol. En revanche ils sont en contradiction avec ceux trouvés par KARTIKA *et al.* (2018). Les différences de résultats

pourraient s'expliquer par le type de biochar, la dose d'amendement apportée, la forme d'apport du biochar et la durée de l'expérimentation.

Concernant les propriétés chimiques post-récolte, une diminution généralisée des teneurs en éléments minéraux a été observée dans tous les traitements par rapport au sol initial. Cette baisse s'explique, d'une part, par le lessivage d'une fraction des nutriments sous l'effet des eaux d'irrigation et, d'autre part, par l'exportation minérale liée au prélèvement de la culture de laitue. Ces observations corroborent les travaux de MENSAH ET FRIMPONG (2018), qui attribuaient également l'épuisement des stocks minéraux du sol à cette double dynamique de perte par lixiviation et de consommation végétale.

Les analyses statistiques ont montré des différences significatives entre les traitements avec les plus faibles teneurs détenues par le témoin (sans apport de biochar) suivi des traitements T1D2 (5 t/ha de biochar activé chimiquement), les plus fortes teneurs ont été relevées sur le traitement T3D2 (5 t/ha de biochar non activé). Sachant que les biochars ont été séparés des échantillons de sols après l'essai, ces résultats pourraient se justifier par le potentiel d'adsorption varié des différents types de biochar utilisés. Cette hypothèse est soutenue par CHEN *et al.* (2020) qui ont démontré que le biochar activé chimiquement est plus poreux et a une surface beaucoup plus réactive que le biochar activé physiquement et le biochar non activé. Grâce à ces potentialités, le biochar activé chimiquement peut piéger efficacement les éléments nutritifs du sol et davantage si la dose est élevée au détriment du sol. Cependant nos résultats ne corroborent pas ceux obtenus par CISSÉ (2022) qui ont montré que l'apport du biochar n'avait pas un effet significatif sur l'amélioration des teneurs en éléments nutritifs. La divergence de nos résultats avec ceux de CISSÉ (2022) pourrait s'expliquer par le fait que le biochar a été retiré dans tous les échantillons de sol avant les analyses chimiques. Par ailleurs, le dispositif expérimental en pots a pu influencer la dynamique des nutriments. Contrairement aux conditions de plein champ, où le volume de sol exploré est plus vaste, la culture en pots restreint le développement racinaire et confine les solutions du sol. Cette limitation de l'espace racinaire réduit la mobilité latérale et verticale des éléments nutritifs, tout en intensifiant la vitesse d'épuisement des stocks minéraux dans un volume de terre restreint.

Les différents traitements ont eu un effet sur les rendements de la laitue. L'apport du biochar activé chimiquement a impacté négativement les

rendements contrairement au biochar activé physiquement et au biochar non activé qui ont permis d'avoir des rendements supérieurs au sol témoin. Nos résultats sont en accord avec ceux de CRISCUOLI (2016) qui ont révélé que le biochar non activé permettait d'améliorer la production agricole. Les faibles rendements observés au niveau du biochar activé chimiquement pourraient être causés par les résidus de chlorure de calcium utilisé pour l'activation. En effet, selon GORHAM *et al.* (1990), la laitue est une plante très sensible au chlorure. Une teneur élevée d'ion chlorure dans le sol peut induire une inhibition de l'exportation du phosphore de la racine vers les feuilles (ATTIA *et al.*, 2008).

## **Conclusion**

L'utilisation du biochar comme amendement constitue une approche prometteuse pour améliorer la fertilité des sols et optimiser les rendements agricoles. Cette étude, menée dans la commune de Bobo-Dioulasso, a évalué l'effet de différents types de biochar sur la disponibilité des paramètres du sol et le rendement de la laitue. Les résultats indiquent que l'apport de biochar activé chimiquement a entraîné une diminution de la fertilité du sol, se traduisant par une baisse des rendements. À l'inverse, le biochar activé physiquement a favorisé une meilleure disponibilité des nutriments, améliorant significativement la productivité de la laitue. Le biochar non activé a également contribué à l'amélioration des propriétés chimiques du sol et des rendements, mais dans une moindre mesure que le biochar activé physiquement. L'analyse des résultats montre ainsi que l'efficacité du biochar dépend largement de son mode d'activation. Le biochar activé physiquement apparaît comme le plus performant pour optimiser la fertilité des sols et accroître la productivité agricole, tandis que le biochar activé chimiquement, malgré certaines capacités d'adsorption, s'est révélé moins bénéfique pour les rendements. ces travaux pourraient constituer une base solide pour l'élaboration de politiques agricoles visant à encourager l'adoption de pratiques durables et respectueuses de l'environnement, assurant une production alimentaire de qualité tout en préservant durablement la fertilité des sols.

## **Conflit d'intérêt**

Tous les auteurs déclarent aucun conflit d'intérêt

## **Contribution des auteurs :**

IS a rédigé la partie matériel et méthode et corrigé l'article après la rédaction ; HO a rédigé le reste de l'article dans l'article ; HBN a supervisé cette étude avec IS.

## Références bibliographiques

**ALLAIRE E. S. AND LANGE S., 2013.** Biochar in porous media: the solution considering environmental aspects? *Vecteur Environnement*, 1 (1) : 57-67.

**ATTIA H., ARNOULD N., KARRAY N., RABHI M. ET LACHAAL M., 2008.** Long-term effects of mild salt stress on growth, ion accumulation and superoxide dismutase expression of Arabidopsis rosette leaves. *Physiologia Plantarum*, 132 (1) : 293-305.

**BRAY R. H. AND KURTZ L. T., 1945.** Determination of total organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59 (1) : 39-46.

**CISSÉ D., 2022.** Effets des amendements à base de biochar sur les paramètres agro-pédologiques dans une rotation coton-maïs à l'ouest du Burkina Faso. Doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique et en Système de production végétale, spécialité Science du sol. Université de Liège Gembloux agro-bio Tech (Belgique) en cotutelle avec l'Université Nazi Boni de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). 144 p.

**CRISCUOLI I., 2016.** Stabilité du charbon végétal (biochar) dans le sol et impact sur la productivité et les cycles des nutriments des prairies alpines. Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie (France). 186 p.

**EL-NAGGAR A., LEE S. S., RINKLEBE J., FAROOQ M., SONG H., SARMAH A. K., ZIMMERMAN A. R., AHMAD M., SHAHEEN S. M. AND OK Y. S., 2019.** Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. *Geoderma*, 337 (1) : 536-554.

**GORHAM J., WYN JONES R. G. AND BRISTOL A., 1990.** Partial characterization of the trait for enhanced K + -Na + discrimination in the D genome of wheat. *Planta*, 180 (1) : 590-597.

**GUEYE M., 2009.** Synthèse et étude des charbons actifs pour le traitement des eaux usées d'une tannerie. Mémoire de master en énergie

et procédés industriels. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou (Burkina Faso). 61 p.

**GUO M., 2020.** The 3R Principles for Applying Biochar to Improve Soil Health. *Soil Syst.*, 4 (1) : 1-9.

**KARAMI N., CLEMENTE R., MORENO-JIMÉNEZ E., LEPP N. W. AND BEESLEY L., 2011.** Efficiency of green waste compost and biochar soil amendments for reducing lead and copper mobility and uptake to ryegrass. *Journal of Hazardous Materials*, 191 (1) : 41-48.

**KARTIKA K., LAKITAN B., WIJAYA A., KADIR S., WIDURI L. I., SIAGA E. AND MEIHANA M., 2018.** Effects of particle size and application rate of rice-husk biochar on chemical properties of tropical wetland soil, rice growth and yield. *AJCS*, 12 (05) : 817-826.

**KISSOU R., TRAORÉ E., GNANKAMBARY Z., NACRO H. B. ET SÉDOGO M. P., 2014.** Connaissance endogène de la classification et de la fertilité des sols en zone Sud-Soudanienne du Burkina Faso. *VertigO*, 14 (1) : 17 p.

**LÉLÉ N. B., 2016.** Potentiel d'amélioration de la fertilité des sols sableux et acides de Kinshasa (RDC) par l'usage du charbon des bois (biochar), de la biomasse végétale et des engrais minéraux. Thèse de doctorat. Université de Liège (Belgique). 196 p.

**MENSAH A. K. AND FRIMPONG K. A., 2018.** Biochar and/or Compost Applications Improve Soil Properties, Growth, and Yield of Maize Grown in Acidic Rainforest and Coastal Savannah Soils in Ghana. *International Journal of Agronomy*, 1-8. doi:10.1155/2018/6837404

**MURPHY J. AND RILEY J. P., 1962.** A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Analytica Chimica Acta*, 27 : 31-36.

**NELSON D. W. AND SOMMERS L. E., 1982.** Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of soil analysis : Part 2, Chemical and microbiological properties* (2nd ed., pp 539-579), Page A. L., Miller R. H. AND Keeney D. R. (Eds). American Society of Agronomy, Madison, WI.

**OMLIN J. ET CHESAUX, 2010.** Évaluation de charbons actifs en poudre (CAP) pour l'élimination des micropolluants dans les eaux résiduaires urbains. Mémoire de master en sciences et technologies de

l'environnement. École Polytechnique Fédérale De Lausanne (Suisse).  
62 p.

**REES F., SIMONNOT M. O. AND MOREL J. L., 2014.** Short-term effects of biochar on soil heavy metal mobility are controlled by intra-particle diffusion and soil pH increase. *European Journal of Soil Science*, 65 (1) : 149-161.

**SENOU I., NIMI M., NACRO H. B. ET SOME A. N., 2019.** Évaluation du niveau de transfert de métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et zinc) dans *Lactuca sativa* L. co-cultivée avec *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *Journal of Applied Biosciences*, 144 : 14801 – 14812.