

# Caractérisation chimique d'un biochar de résidus de récolte de riz destiné à l'amendement des sols en Côte d'Ivoire

Chemical characterization of a biochar from rice harvest residues intended for soil amendment in Ivory Cost

Bakayoko S • Soro NC • Bolou-Bi E • Koné B

Received: 05 August 2025 / Accepted: 02 October 2025 / Published online: 02 January 2026  
© PASRES Abidjan Côte d'Ivoire 2026

**Résumé** En adoptant le concept de l'amélioration de la chaîne de valeurs de la riziculture, les déchets agricoles de la riziculture pourraient être transformés en une forme d'énergie renouvelable par des méthodes thermochimiques de traitement de la biomasse. Cette méthode peut être utilisée pour la production de biochar. L'utilisation du biochar a plusieurs applications importantes. Ces applications comprennent l'amélioration du sol par l'amendement en stimulant la production agricole en apportant des nutriments dans le sol. Dans ce travail de recherche, un biochar a été obtenu par un processus de pyrolyse lente de résidus agricole de la riziculture. Cette expérience a été réalisée en utilisant un carbonisateur soumis à une température de 500 °C. Le biochar obtenu après pyrolyse de la paille de riz a fait l'objet d'une caractérisation chimique. Cette caractérisation chimique du biochar a été faite à l'aide des méthodes d'analyse usuelles du laboratoire. Les résultats montrent que le biochar a une teneur de 26,03% en C, 50,37% en matière organique, le rapport C/N est de 46,48. Le biochar a une forte teneur en silice 16,78%. Le biochar est basique avec un pH qui est égal à 10,35. Cette étude révèle que le biochar de paille de riz peut être utilisé pour l'amendement des sols.

**Mots clés** : biochar, pyrolyse, paille de riz, basique, amendement

**Abstract** By adopting the concept of improving the rice-growing value chain, rice-growing agricultural waste could be converted into a renewable form of energy using thermochemical biomass processing methods. This method can be used to produce biochar. The use of biochar has several important applications. These include soil amelioration, stimulating crop production by delivering nutrients to the soil. In this research work, biochar was obtained by a slow pyrolysis process of agricultural residues from rice cultivation. The experiment was carried out using a carbonizer subjected to a temperature of 500 °C. Chemical characterization of the biochar obtained after pyrolysis of rice straw was performed. This chemical characterization of the biochar was carried out using the laboratory's usual analytical methods. The results showed that the biochar had a C content of 26.03%, an organic matter content of 50.37% and a C/N ratio of 46.48. The biochar had a high silica content of 16.78%. Biochar was basic, with a pH equal to 10.35. This study shows that rice straw biochar can be used as a soil improver.

**Key words** : biochar, pyrolysis, rice straw, basic, soil improver.

Bakayoko S • Koné B

Université Polytechnique de Man, UFR-SGM,  
Laboratoire des Sciences Géologiques Minières, Man,  
Côte d'Ivoire.

Soro NC • Bolou-Bi E

Université Felix Houphouët-Boigny, UFR-STRM,  
Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eaux et des  
Géomatériaux, Abidjan, Côte d'Ivoire.

Bakayoko S (✉)

Université Polytechnique de Man, UFR-SGM,  
Laboratoire des Sciences Géologiques Minières, Man,  
Côte d'Ivoire.  
soubakayoko5@gmail.com

## Introduction

En Afrique subsaharienne, il est reconnu que les sols ont un niveau de dégradation élevé en comparaison aux sols en Europe ou en Amérique du Nord (FAO, 2003). Cette dégradation des sols est une conséquence de l'effet conjugué de divers processus associés aux activités agricoles intensives et au changement climatique (Nyamekye *et al.*, 2018 ; IFAD, 2019). Ces processus entraînent une acidification des sols et/ou une érosion des sols. Ainsi, la dégradation des sols en Afrique a un impact direct et négatif sur le rendement des cultures. A titre d'exemple, les sols sont majoritairement acides en Côte d'Ivoire (Perraud, 1969). Cette acidité des sols est la conséquence des mauvaises pratiques agricoles et de la variation des saisons en termes d'intensité de pluies et de température. Cette dégradation des sols constitue la plus grande menace à long terme pour l'agriculture ivoirienne. En effet, les sols acides et dégradés sont caractérisés par un faible capacité d'échange cationique, de faibles teneurs en éléments minéraux (P, K, Ca, Mg) et par une acidité marquée (Fallavier, 1995). De plus, le taux de minéralisation annuel de la matière organique dans ces sols varie de 2 à 5% alors que dans les sols sous climat tempéré, ces taux oscillent autour de 1% (Collaud, 2014). Cette minéralisation assez poussée entraîne également une baisse de fertilité des sols. Or, il existe des possibilités de maintien et d'amélioration de la fertilité de ces sols en vue d'accroître leur productivité et assurer ainsi les besoins alimentaires grandissants d'une population toujours croissante. Des apports combinés de différents types de matière organique avec des engrais chimiques augmenteraient les stocks des éléments minéraux disponibles pour les besoins des plantes (Palm *et al.*, 1997). Plusieurs programmes de gestion durable de la fertilité des sols ont alors adopté cette technique dans différentes régions du monde (Boko, 1992 ; Akanza *et al.*, 2017 ; Lompo *et al.*, 2021). Dans ces conditions, la matière organique est appliquée au sol après une étape de compostage. Cependant depuis peu, la communauté scientifique investit de plus en plus sur l'utilisation du biochar, découvert en Amazonie.

Le biochar est issu de la pyrolyse de biomasses végétales (Matovic, 2016). Initialement, les

habitants d'Amazonie incorporaient de grandes quantités de charbon au sol ainsi que des fumiers et autres engrais biologiques pour améliorer les rendements de leurs cultures (Sohi, 2012). Aujourd'hui plus de 500 années après la fin de ces pratiques agricoles, les sols noirs d'Amazonie ou Terra Preta sont très prisés pour leur excellente fertilité, leur fort contenu en éléments nutritifs (C, N, P, K et Ca), leur bonne capacité d'échange cationique (CEC) et leur capacité à retenir et recycler les éléments nutritifs sur de longues périodes de culture (Lima *et al.*, 2002; Steiner *et al.*, 2008 ; Laird *et al.*, 2010). Les récentes études portant sur l'utilisation du biochar pour amender les sols tropicaux fortement fragilisés démontrent les effets bénéfiques de cet amendement sur les différentes propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols (Glaser *et al.*, 2002). Globalement, la fertilité des sols est améliorée par l'ajout de biochar grâce à son effet tampon sur le pH du sol ainsi qu'à une meilleure rétention en nutriments dans le sol découlant de la capacité du biochar d'adsorber les cations à sa surface (Liang *et al.*, 2006). L'amendement en biochar du sol, permet d'améliorer la fertilité du sol et les rendements des cultures (Major *et al.*, 2009). En plus dans un contexte de changement climatique, l'amendement des sols en biochar revêt un avantage environnemental car cette pratique permet la séquestration à long terme du carbone dans les sols (Naisse, 2015 ; Wang *et al.*, 2020).

Des travaux sur le biochar indiquent que les effets bénéfiques du biochar sur les propriétés des sols sont variables et dépendent fortement de la nature de la biomasse initiale et de la température de la pyrolyse impactant les caractéristiques du biochar produit (Lehmann *et al.*, 2009 ; Singh, 2010 ; Wu *et al.*, 2012 ; Xu *et al.*, 2012 ; Schimmelpfening et Glaser, 2012). Ainsi avant de proposer le biochar comme amendement du sol, des études préliminaires doivent être effectuées afin de déterminer les caractéristiques chimiques du biochar produit dans les conditions expérimentales du moment. Cette étude vise donc à caractériser le biochar issu de la pyrolyse de résidus de rizière en vue d'un amendement des sols en Côte d'Ivoire.

## Matériel et méthodes

### Site d'étude

La biomasse utilisée pour cette étude est constituée de résidus de rizière. Il s'agit principalement de la paille constituée de tige et de feuilles de riz. Ce résidu a été collecté après la récolte, séchage et battage dans une riziculture localisée dans la commune de Songon dans le sud de la Côte d'Ivoire (Figure 1 carte de localisation). Le choix s'est porté sur la paille de riz à cause de sa disponibilité et de la plus-value à la chaîne de valeur de la riziculture. En effet, les rizières

prospectées dans la commune de Songon ont la capacité de produire annuellement une quantité de 67 t/ha<sup>-1</sup> tonnes de résidus secs.

### Production du Biochar

Le biochar a été produit par la pyrolyse de la paille de riz obtenue à l'aide d'un carbonisateur traditionnel pouvant contenir 5 kg de paille, sous une température de plus de 500 °C pendant 3 heures pour donner le biochar de paille de riz.

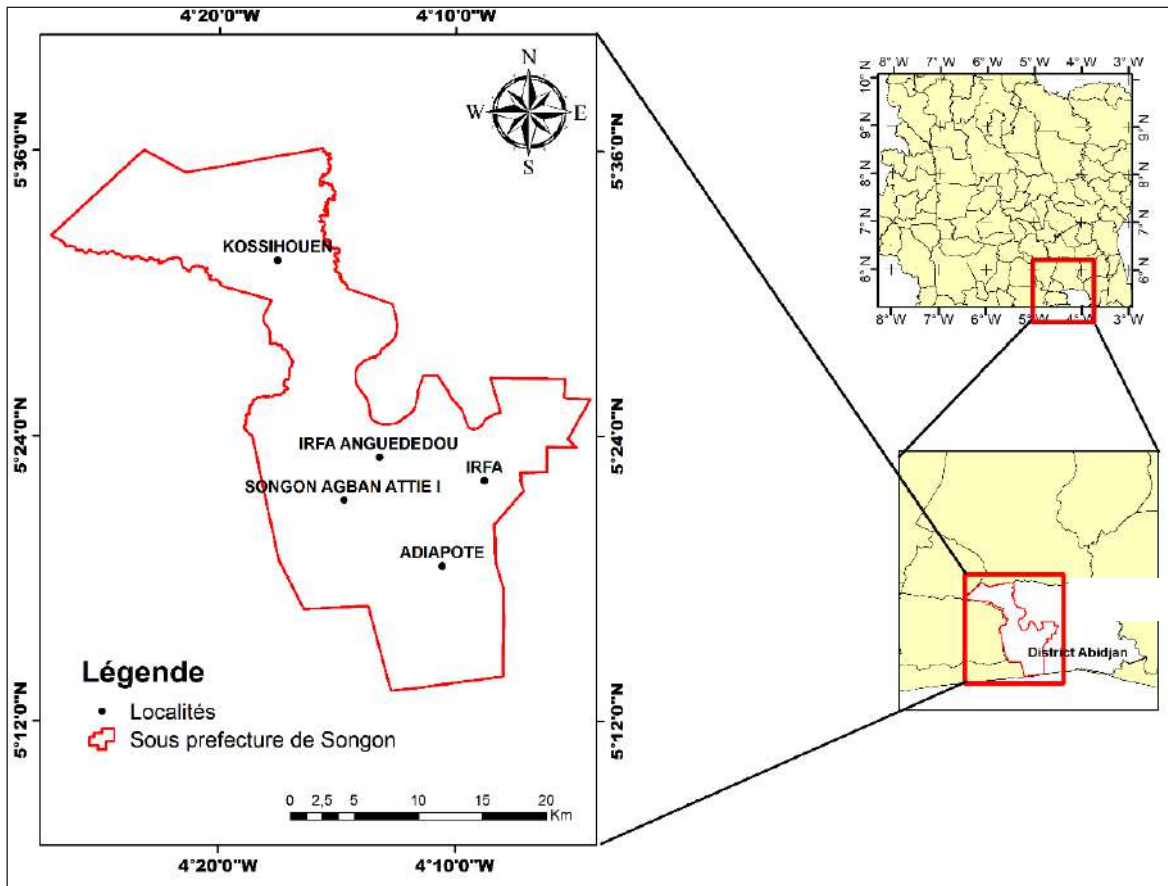


Figure 1 : Localisation du site de l'étude

### Caractérisation du biochar

Le biochar obtenu a été broyé, tamisé dans un tamis de 2 mm après séchage et conservé dans un sac pour des analyses au laboratoire. Les paramètres chimiques du biochar qui ont été déterminés sont le pH eau, les teneurs en oligo-éléments (Cu, Fe et Zn), en matière organique, en carbone organique, en azote total, en phosphore et en potassium. Le pH eau a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre dans le surnageant d'un mélange biochar-eau ayant un rapport de 1/2,5 selon la norme AFNOR. Les teneurs en oligo-éléments (Cu, Fe et Zn), ont été

déterminés après calcination de l'échantillon à 650 °C (Bell, 1964). La teneur en azote total (N total) a été déterminée par la méthode de Kjeldahl. Le taux de matière organique a été analysé par la méthode de Walkley-Black modifiée, le Corg obtenu par titrage, une solution de bichromate de potassium est ajoutée à un échantillon en présence d'acide sulfurique. Après la réaction, le dosage de la quantité de bichromate qui n'a pas réagi avec l'échantillon permet d'établir la concentration de carbone organique total. Après une minéralisation par l'acide sulfurique salsalique, les dosages du P et du K ont été effectués respectivement à l'aide d'un photomètre à flamme.

### Teneur en Matière Volatile

Cette teneur a été déterminée à partir de la formule 1.

$$MV = 100 (m_2 - m_3 / m_2 - m_1) - H$$

[1]

m<sub>1</sub> = masse du creuset vide et son couvercle, m<sub>2</sub> = masse du creuset, du couvercle et du biochar avant chauffage, m<sub>3</sub> = masse du creuset, de son couvercle et de l'échantillon après chauffage, H = humidité en pourcentage massique du biochar.

### Teneur en Humidité

Elle est déterminée selon la formule 2.

$$H = (m_h - m_s / m_h) * 100$$

[2]

m<sub>h</sub> = masse initiale de l'échantillon supposé sec;  
m<sub>s</sub> = masse sèche après étuvage.

### Teneur en Cendre

Elle se calcule suivant la formule 3.

$$Ce = (m_3 - m_1 / m_2 - m_1) * 100$$

[3]

m<sub>1</sub> = masse de la nacelle, m<sub>2</sub> = masse de la nacelle et du charbon, m<sub>3</sub> = masse de la nacelle et des cendres.

### Teneur en Carbone fixe

Cette teneur est obtenue suivant la formule 4.

$$CF = 100 - (MV\% + Ce\%)$$

[4]

## Résultats

### Analyse chimique du biochar

Les résultats de l'analyse chimique du biochar sont indiqués dans les Tableaux I, II et III. Ces résultats montrent que le biochar issu de la paille de riz a une composition en carbone organique comprise dans la gamme des compositions données dans la littérature. Les teneurs en Ca et Mg de biochar de paille de riz sont respectivement de 7,74% et 1,12%. Les teneurs en azote et du phosphore du biochar de paille de riz sont de 0,56% et 1,16%, celle du potassium est 16,53%.

Le biochar à base de paille de riz possède des teneurs en éléments chimiques (Si, K, Mg, Ca, Na et P) plus élevées avec des taux de 4 à 2000 fois supérieurs, en comparaison aux autres sources de biomasses.

Les teneurs du Cu, du Fe et du Zn dans le biochar de paille de riz sont de 4,73%, 0,53% et 4,75%. Ces teneurs en métaux sont plus élevés dans le biochar de la paille de riz comparativement aux biochar de la sciure de bois, roseau et du charbon de bois.

### Valeurs du carbone, de la matière organique, du rapport C/N, du pH, Ce, MV et CF des biochars

Les résultats de l'analyse du Tableau 1, montrent que les biochars ont une forte concentration en carbone (26,07 %; 59,49 %; 17,07% et 49,02%). Le rapport carbone sur azote (46,48) du biochar de paille de riz est largement supérieur à celui du

biochar de balles de riz (15,29). Le biochar de paille de riz est fortement riche en matière organique (50,37%) comparativement au biochar de la balle de riz (34,52%). Le pH du biochar de paille de riz (10,35) est plus alcalin comparativement au pH de la balle de riz (7,8) qui est neutre.

### Teneurs en éléments nutritifs majeurs et secondaires du Biochar de paille de riz

Les résultats des éléments nutritifs du Tableau II, montrent que le biochar de paille de riz est plus riche en éléments nutritifs comparativement au biochar de balle de riz. Le silicium est l'élément le plus abondant dans le biochar de résidus de récolte du riz, avec une teneur de 16,78% comparativement aux autres biochars tels que le biochar de la sciure de bois (0,001%), du roseau (0,9%) et du charbon de bois (0,136%).

### Teneurs en oligo-éléments du Biochar de paille de riz

Les résultats de l'analyse du Tableau III, révèlent que la présence d'oligo-éléments (Cu, Fe et Zn) dans le biochar de paille de riz (4,73%, 0,86% et 4,75%) est faible comparativement au biochar de balle de riz (7,73%, 5,80% et 37,51%). Le biochar de paille de riz possède une forte teneur en métaux tels que le Pb (0,02), S (3,22%), Cl (2,82%) plus que le biochar de sciure de bois, de roseau et du charbon de bois.

**Tableau I :** Valeurs du carbone organique, de la matière organique, du rapport C/N et du pH du biochar de paille de riz

Biochar					
Eléments chimiques	Paille de riz	Balles de riz (Lompo et al., 2021)	Sciure de bois (Augou,2020)	Roseau (Ahitey,2020)	Charbon de bois (Augou, 2020)
pH	10,35	7,8	.	.	.
C	26,07	59,49	17,07	49,2	.
N	0,56	0,51	.	.	.
Mo	50,37	34,52	.	.	.
C/N	46,48	15,29	.	.	.
Ce	40	.	.	.	.
MV	50	.	.	.	.
CF	10	.	.	.	.

C : Carbone; N : Azote; Mo : Matière organique; C/N : Rapport Carbone sur Azote; Ce : Cendres; MV : Matière volatile; CF : Carbone fixe

**Tableau II :** Teneurs en éléments nutritifs majeurs et secondaires des Biochars

Biochar					
Eléments nutritifs	Paille de riz	Balles de riz (Lompo et al., 2021)	Sciure de bois (Augou, 2020)	Roseau (Ahitey, 2020)	Charbon de bois (Augou, 2020)
K	16,53	2,18	0,06	4,2	1,239
Ca	7,74	3,94	.	0,4	.
Mg	1,12	1,04	.	0,3	.
Na	0,21	.	0,001	0,3	.
Si	16,78	.	.	0,9	0,136
P	1,16	0,52	.	.	.

K: potassium; Ca : calcium; Mg : magnésium; Na : sodium; Si : silicium; P : Phosphore

**Tableau III :** Teneurs en oligo-éléments du Biocharbon de paille de riz

Biochar					
Oligo-éléments (%)	Paille de riz	Balles de riz (Lompo et al., 2021)	Sciure de bois (Augou,2020)	Roseau (Ahitey,2020)	Charbon de bois (Augou, 2020)
Fe	0,86	5,80	0,002	0,4	0,210
Al	0,39	.	0,001	0,1	0,043
Cu	4,73	7,73	.	.	.
Zn	4,75	37,51	.	.	.
Pb	0,02	.	0,0003	0	0
Cl	2,82	.	.	0,7	.
S	3,22	.	0,0016	0,3	0,034

Fe : fer; Al : aluminium ; Cu : cuivre; Zn : zinc; Pb : plomb; Cl: chlore; S : soufre

## Discussion

### Température et qualité du biochar produit

Le résultat de carbone fixe obtenu dépend des résultats de la matière volatile et de la cendre du biochar. La matière volatile du biochar a été obtenue dans un four amorphe à 500 °C pendant 3 heures, dans lequel la transformation du biochar en une phase gazeuse se produit pendant la pyrolyse de la biomasse. Les résultats montrent que la température

de pyrolyse a un impact significatif sur le pourcentage de carbone fixe, de cendres et de matières volatiles. Avec la paille de riz, un plus grand pourcentage de carbone fixe pourrait être obtenu si la température était encore basse. Nos résultats sont en accord avec les résultats d'autres publications existantes concernant la pyrolyse des graines de grenade (Uçar *et al.*, 2009), des copeaux de bois (Masck *et al.*, 2013), pyrolyse d'épis de maïs (Timothy *et al.*, 2022).

La teneur en cendre du biochar de paille de riz est 40%. Cela pourrait être dû à la forte teneur en matière minérale du biochar. La teneur des éléments chimiques représentant la matière minérale (K, Ca, Mg, Na, Fe, Si, Al) est égale à 26,85 %. Cette teneur montre que le biochar de paille contient un taux de cendres élevé. En effet, selon FAO (2018), cette valeur doit être comprise entre 5 et 10 %. Nos résultats sont en accord avec les données de la littérature qui ont montré que, le biochar dérivé du matériel de riz a montré une teneur élevée en cendres à toutes les plages de la température, et cela peut être la cause de la modification partielle de la composition favorisée par une éventuelle interaction entre constituants organiques et inorganiques lors de la pyrolyse de la charge dans le biochar qui contient une quantité de cendres supérieurs à 20% (Enders *et al.*, 2012).

#### **Qualité du biochar et lien avec la nature de la biomasse initiale**

Dans les travaux de Cluet et Penot (2011), les résultats sur le chlore et le soufre montrent que les teneurs sont respectivement égales à 5,5 % et 0,18 % pour la tige de typha ; 0,17 % et 0,048 % pour la balle de riz. Sur la base de ces résultats, il ressort que le charbon de paille contient un taux considérable de chlore et de soufre. Le taux de soufre (3,22 %) pourrait générer des problèmes, car ce composé peut se combiner avec l'hydrogène pour former des sulfures d'hydrogènes (toxique). Le taux de chlore (2,82 % > 0,17 %) peut être un véritable problème pour la combustion, car lorsqu'il est émis dans l'atmosphère, il peut s'associer à d'autres éléments chimiques pour former des composés chimiques dangereux pour la santé humaine et environnementale (Cluet et Penot 2011).

L'analyse élémentaire a montré que le carbone est le composé majoritaire du biochar de paille et les biochars. Sa teneur est égale à 26,07 % sur sa masse sèche. Cette teneur montre que le biochar de paille peut être exploité comme combustible. Nos résultats sont en accord avec les travaux d'autres auteurs, qui ont montré que les surfaces des biochars sont dominées par le carbone. Comparativement au riz (le biochar de paille de riz a la plus grande teneur en Si (3,92 %) et le biochar de copeaux de peuplier montre le moins (0,54%) indiquant que la composition élémentaire des biochars sont fonction des matériaux d'origine (soleil *et al.*, 2014). La teneur en plomb est égale à 0,02 %, le charbon de paille contient une faible proportion de plomb (métaux lourd dangereux pour la santé). Il faudra mettre en

place un système de traitement de la biomasse et des fumées afin de garantir la qualité du biochar. Cette phase est extrêmement importante si le biochar est destiné à l'usage ménager. La combustion du biochar est effectuée dans des foyers sans traitement des fumées, ce qui peut entraîner des pollutions environnementales et sanitaires.

Le carbone des biochars varient entre 35% et 95% (Lompo *et al.*, 2021). Pour les résidus culturaux, cette teneur en carbone est comprise entre 40% et 50%, 70% à 90% pour les biochars de bois et coques ou écorces (Cha *et al.*, 2016 ; EBC, 2020). La teneur en carbone est un bon indicateur de la teneur en carbone des biochars. La fraction du carbone est stockée dans le sol (Lehmann et Joseph, 2009). Cela donne l'aptitude aux biochars à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère (Mukome *et al.*, 2016), d'augmenter la capacité de rétention en eau du sol, de réduire les gaz à effet de serre, la disponibilité des nutriments et les rendements des cultures (Lompo *et al.*, 2021 ; Yao *et al.*, 2012). Le rapport C/N du biochar de paille de riz est 46,48%. Les valeurs élevées du rapport C/N pourraient compromettre la croissance et le développement des cultures (Lompo *et al.*, 2021), cette forte valeur pourrait entraîner l'immobilisation de l'azote du sol (Kanouo, 2017). Ce qui pourrait avoir un effet négatif sur le développement des cultures si l'utilisation du biochar n'est pas combinée à un engrais azoté (Lompo *et al.*, 2021). Le biochar de paille de riz est basique présentant un pH élevé qui est égal à 10,35 avec une teneur en cendres qui est de 40 %. Nos résultats corroborent les travaux d'autres auteurs. Par ailleurs, on constate que les biochars de résidus de cultures contiennent des quantités substantielles d'acides alcalins et métaux alcalino-terreux, les valeurs étant plus élevées (4%) pour le coton et le maïs (soleil *et al.*, 2014). Les biochars sont généralement basiques (Wu *et al.*, 2012 ; Laghari *et al.*, 2016). Les pH basiques des biochars s'expliquent par leurs teneurs élevées en cendres qui les enrichissent en composés tels KHCO<sub>3</sub> et CaCO<sub>3</sub> qui ont des capacités alcalinisant importantes (Domingues *et al.*, 2017). Les biochars dérivés de paille de cultures présentent une teneur en cendres plus élevée que le charbon de bois (2,24%). Tous les biochars testés ont des valeurs élevées de pH (plus de 9,0) indiquant leur niveau relativement élevé d'alcalinité et donc leur fort pouvoir tampon vis-à-vis des sols acides. Nos résultats sont en accord avec les références de la littérature, qui suggèrent que les biochars obtenus à partir de la pyrolyse sont principalement alcalins (Enders *et al.*, 2012). Le pH élevé du biochar peut lui permettre d'être utilisé pour l'amendement des sols acides en relevant le pH (Lompo *et al.*, 2021).

Les teneurs en azote et du phosphore du biochar de paille de riz sont de 0,56% et 1,16%, celle du potassium est 16,53%. Les autres éléments sont en faibles quantités. L'on serait tenté, face à ces résultats d'affirmer que nos résultats sont en accord avec les travaux de certaines études qui ont montré que les biochars obtenus à partir des résidus de cultures sont pauvres en éléments nutritifs (Lompo *et al.*, 2012). La teneur très élevée du potassium ne

corrobore pas les résultats des travaux de certaines études (Slavich, 2013). Les teneurs en Ca et Mg sont respectivement de 7,74% et 1,12%.

Les teneurs du Cu, du Fe et du Zn dans le biochar de paille de riz sont de 4,73%, 0,53% et 4,75%. Ceci confirme, les travaux de certaines études qui ont montré que la teneur en oligo-élément varie en fonction des types de biomasses (Lopez-cano *et al.*, 2018).

## Conclusion

L'étude sur la caractérisation chimique, physique du biochar de paille de riz obtenu par pyrolyse à une température de 500 °C à l'aide d'un carbonisateur a montré qu'il renferme de faibles teneurs en éléments nutritifs. En plus, sa teneur en silice, carbone matière organique sont très élevées. Le biochar est basique lui conférant un

pH alcalin, donnant la capacité de relever le pH des sols acides. Vu les qualités de notre biochar il pourrait être préconisé comme amendement des sols en vue d'observer son effet sur le développement et le rendement des cultures. En perspective, nous envisageons d'évaluer l'effet du biochar sur le rendement des cultures.

## Remerciements

Les auteurs remercient les responsables du Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eaux et des

Géomatériaux de l'UFR-STRM de l'Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire).

## References Bibliographiques

**Ahitey A M U. 2020.** Recherche de substituts au charbon de bois : conception et caractérisation de biocharbons à base de roseau (*Cenchrus purpureus*). Pour l'obtention du diplôme de MASTER en sciences de la terre, spécialité : Géomatériaux. 42p.

**Augou O S F. 2021.** Recherche de substituts au charbon de bois : conception et caractérisation de combustibles à base de sciure de bois, Thèse de Doctorat en Sciences de la terre à l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, 145p.

**Bell D F. 1964.** Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *Journal of Soil Science*, 12 : 84 - 92.

**Cha J S, Park S H, Jung S C, Ryu C, Jeon J K, Shin M C, Park Y. 2016.** Production de biochar: un aperçu. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 40 : 1 -15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>

**Domingues R R, Trugilho P, Silva C A, Melo I. C N A D, Melo L C A, Magriotis Z M, Sanchez-Monedero M A. 2017.** Propriétés du biochar issu du bois et des biomasses riches en nutriments dans le but d'obtenir des bénéfices agronomiques et environnementaux. *PLOS ONE*, 12 (5): 1-19.

**Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S, Lehmann J. 2012.** Caractérisation des biochars pour évaluer la récalcitrance et les performances agronomiques. *Bioresource Technology*, 114 :644-653.

**EUROPEAN BIOCHAR CERTIFICATE (EBC) 2020.** EBC Guidelines for a Sustainable Production of Biochar.' European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland, Rapport, (2020), DOI:210.13140/RG.2.1.4658.7043

**FAO. 2003.** Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique Subsaharienne. 51p.

- Glaser B, Lehmann J, Zech W. 2002.** Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35: 219-230.
- Jindo K, Mizumoto H, Sawada Y, Ma Sanchez-Monedero, Sonoki T. 2014.** Caractérisation physique et chimique des biochars issus de différents résidus agricoles. *Biogeosciences*, 11 :6613-6621.
- Kanouo B M D. 2017.** Production et utilisation du biochar pour l'amendement des sols rouges lessivés tropicaux. Université de Laval, Québec, Canada, Thèse de Doctorat, (2017), 98 p. <http://hdl.handle.net/20.500.11794/28120>
- IFAD. 2019.** International Fund for Agricultural Development (2019), Creating opportunity for rural youth, Rural Development Report, Rome, Italy. Rapport
- Laghari M, Naidu R, Xiao B, Hu Z, Saffar M, Hu M, Kandhro M N, Chen Z, Guo D, Jogi Q, Abudi Z N, Fazal S. 2016.** *Journal of Science, Food and Agriculture*, 96 : 4840 – 4849.
- Laird D, Fleming P, Wang B, Horton R, Karlen D. 2010.** Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158: 436-442.
- Lehmann J, Czimczik C, Laird D, Sohi S. 2009.** Stability of biochar in the soil. In Lehmann J., Joseph S. (eds) : biochar for environmental management, London, Earthscan: pp. 183-205.
- Lehmann J, Joseph S. 2009.** Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan, London. pp. 1-405.
- Liang B, Lehmann J, Solomon D, Kinyangi J, Grossman J, O'neill B, Skjemstad J, Thies J, Luizão F, Petersen J., Neves E. 2006.** Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal*. 70: 1719-1730.
- Lima H, Schaefer C, Mello J, Gilkes R, Ker J. 2002.** Pedogenesis and pre-Colombian land use of «Terra Preta Anthrosols («Indian black earth») of Western Amazonia. *Geoderma*, 110 : 1-17.
- Lompo Dj, Ye L, Ouedraogo S, Sori S I, Nacro H B. 2021.** Caractérisation chimique d'un biocharbon de balles de riz destiné à l'amendement des sols au Burkina Faso, Afrique SCIENCE 18(1 :16 – 222
- Lopez-Cano I, Luz Cayuela M, Sanchez-Garcia M. Et Sanchez - Matovic D. 2011.** Suitability of Different Agricultural and Urban Organic Wastes as Feedstocks for the Production of Biochar—Part 2: Agronomical Evaluation as Soil Amendment, pp. 2-19.
- Major J, Steiner C, Downie, Lehmann J. 2009.** Biochar effects on nutrient leaching Chapter 15. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London. pp. 271-282.
- Mukome F, Zhang X, Silv L, Six J, Parikh S. 2013.** Utilisation des caractéristiques chimiques et physiques pour étudier les tendances des matières premières de biochar. *Journal of agriculture and Food Chemistry*, 61 : 2196-2204.
- Mukome F N D, Parikh S J. 2016.** Chemical, Physical, and Surface Characterization of Biochar. In: Biochar Production, Characterization, and Applications, edited by Yong Sik Ok, Sophie M. Uchimiya, Scott X. Chang, Nanthi Bolan; International Standard Book Number-13: 978-1-pp. 4822-4230, Livre, (2016).
- Nyamekye C, Thiel M, Schönbrodt-Stitt S, Zoungrana B Jb, Amekudzi L K. 2018.** Soil and Water Conservation in Burkina Faso, West Africa. *Sustainability*, 10 : 3182.  
Doi:10.3390/su10093182, pp.2-24.
- Naisse C. 2015.** Potentiel de séquestration de carbone de biochars et hydrochars, et impact après plusieurs siècles sur le fonctionnement du sol, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Thèse de Doctorat, (2015)
- Schimmelpfennig S, Glaser B. 2012.** One Step Forward toward Characterization: Some Important Material Properties to Distinguish Biochars. *Journal of Environmental Quality*, 41 :1001 -1013, <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0146>
- Singh B, Singh B P, Cowie A L. 2010.** Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 48:516 - 525, <https://doi.org/10.1071/SR10058>
- Slavich P G, Sinclair K, Morris S G, Kimber S W L, Downie A, Van Zwieten L. 2013.** Contrasting effects of manure and green waste biochars on the properties of an acidic ferralsol and productivity of a subtropical pasture. *Plant Soil*, 366 : 213–227. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1412-3>
- Sohi S P. 2012.** Carbon storage with benefits. *Science*, 338: 1034-1035.
- Soleil J, Fei L, Zhongqi Liu, Lingyan Zhu, Chanson De Zhengguo (2014).** Biochars dérivés de diverses pailles de cultures : caractérisation et potentiel d'élimination de Cd (II). *Ecotoxicologie et Sécurité Environnementale*, 106 : -231.

- Steiner C, Glaser B, Teixeira W G, Lehmann J, Blum W Eh, Zech W. 2008.** Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171: 893-899.
- Timothy A, Oluwasogo D, Jegede K. 2020.** Pyrolyse d'épis de maïs à différentes températures pour la production de biochar : proximité, ultime et caractéristique spectroscopique. *Research in Agricultural Engineering*, 68 : 27-34.
- Wang D, Jiang P, Zhang H, Yuand W. 2020.** Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review. *Science of The Total Environment*, 723 : 137775.
- Wu Wx, Yang M, Feng Q B, Mcgrouter K, Wang H L, Lu H H. 2012.** Caractérisation chimique du biochar dérivé de la paille de riz pour l'amendement du sol. *Biomass Bioenergy*, 47 :268 – 276
- Xu G, Lv Y, Sun J, Shaoh, Wei L. 2012.** Recent advances in biochar applications in agricultural soils: Benefits and environmental implications. *Clean - Soil, Air, Water*. 40: 1093-1098.
- Yao Y, Gao B, Zhang M, Inyang M, Zimmerman A R. 2012.** Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89: 1467-1471.
- Yost J L, Hartemink A E. 2019.** Soil organic carbon in sandy soils: A review, In: *Advances in Agronomy*, volumes 158, pp.217-301.
-