

## Research Article

# AMÉLIORATION DE LA FERTILITÉ D'UN LIXISOL AVEC LES BALLES DE RIZ À SANGUÉRÉ PAUL (Nord-Cameroun)

<sup>1,\*</sup> Ahmadou Yerima Yaya Alim, <sup>1</sup> Simon Djakba Basga, <sup>2</sup> Jean Pierre Nguetnkam, <sup>1</sup> Sadou Hayatou, <sup>3</sup> Njoya Mfokou Abdou Nasser, <sup>1</sup> Tiki Denis, <sup>1</sup> Arafat Gové, <sup>4</sup> Amina Aboubakar

<sup>1</sup>Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), BP 415, Garoua Cameroun.

<sup>2</sup>Université de Ngaoundéré, Facultés des Sciences, BP 454, Ngaoundéré Cameroun.

<sup>3</sup>Institut National de Cartographie (INC), Laboratoire de recherche sur les Risques Naturels, B.P 157, Yaoundé Cameroun.

<sup>4</sup>Centre Régional de la Recherche et de l'Innovation (CRRI) du Nord, BP 1512, Garoua Cameroun.

Received 15<sup>th</sup> March 2023; Accepted 16<sup>th</sup> April 2023; Published online 25<sup>th</sup> May 2023

## RESUME

Le présent travail est une contribution à l'amélioration de la fertilité des lixisols de la localité de Sanguéré Paul (Nord Cameroun) avec le biochar et la poudre des balles de riz. Pour ce faire, la poudre ( $\Phi \leq 2$  mm) a été obtenue par broyage et tamisage des balles de riz et le biochar ( $\Phi \leq 2$  mm) par carbonisation des balles de riz à l'aide d'un four artisanal. Les deux produits ont été appliqués sur un lixisol appauvri suivant un dispositif expérimental en pots constitué de trois traitements chacun : le sol témoin (ST), le sol témoin mélangé à 200 g du biochar (ST + B) et le sol témoin mélangé à 200 g de la poudre (ST + P). Chaque traitement a été répété trois fois et les paramètres physico-chimiques ont été évalués pendant 0, 1, 2 et 4 mois. Les analyses physico-chimiques du lixisol composite indiquent une forte acidité (pH = 5,4). La poudre utilisée est riche en carbone organique (CO = 38,55 %) et le biochar riche en potassium (2,43 %), en magnésium (0,40 %) et en carbone organique (40,9 %). L'application de 20 % du biochar et de la poudre a amélioré les propriétés chimiques du lixisol : le pH passe d'acide (5,4) à faiblement acide (6,5 avec la poudre) et neutre (7,2 avec le biochar); le taux de saturation, ainsi que la somme des bases échangeables et la capacité d'échange cationique ont augmenté. Le biochar et la poudre des balles de riz contribuent donc à réhabiliter la fertilité chimique des sols dégradés.

**Mots Cles:** fertilité chimique, sol, biochar, balles de riz, Sanguéré Paul.

## INTRODUCTION

La dégradation des sols et l'infertilité sont des contraintes majeures pour la production agricole durable dans de nombreuses parties du monde (Syers et al., 2011). Les facteurs favorables à cette dégradation sont en l'occurrence les effets combinés des activités agricoles et du changement climatique (Nyamekye et al., 2018; IFAD, 2019). Un sol dégradé, pauvre en matière organique et en éléments fins, au complexe absorbant limité, à la fertilité physique réduite, ne peut valoriser les engrais minéraux appliqués (Levrat, 2010). Ce qui a pour corollaire la réduction des surfaces fertiles à exploiter et la baisse des rendements (Tsozué et al., 2014). Plus de la moitié de la superficie des terres agricoles du continent africain est affectée par le phénomène de dégradation, impactant ainsi négativement les rendements des cultures d'après l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE) et le Programme de Nations Unis pour l'Environnement (UNEP) (OCDE, 2013; UNEP, 2015). Cette dégradation émerge comme l'un des problèmes majeurs de l'humanité (Millenium, 2005; Parent, 1995) et est considérée comme un risque mondial car affecte la productivité des écosystèmes qu'ils soient agricoles, pastoraux ou forestiers (Pimental, 2006). Au Nord-Cameroun, les sols les plus répandus et les plus cultivés appartiennent aux classes des sols ferrugineux différenciés ou lixisols (majeure partie des sols cultivables), des halomorphes et des vertisols (Brabant et Gravaud, 1985). Les premiers, sont des sols acides et les seconds plutôt neutres voire légèrement basiques. Leur mise en culture continue provoque généralement une acidification et une grande sensibilité à l'érosion qui mobilise les

particules fines et les nutriments (Guibert et al., 2002; Nguetnkam JP et Dultz S, 2014; Basga et al., 2018). Par ailleurs, l'introduction des engrais minéraux est peu efficace pour ces sols parce que les nutriments sont très rapidement lessivés. Bien plus, les petits paysans de la région du Nord Cameroun n'ont pas suffisamment des moyens financiers pour se procurer les intrants chimiques nécessaires pour augmenter leur production (Bekunda et al., 2010). Il en découle donc une diminution continue de la fertilité des sols cultivés. Il devient impératif de réduire, voire d'inverser cette tendance de dégradation des sols en zone soudano-sahélienne du Cameroun en vue d'accroître la productivité agricole. Ainsi, plusieurs techniques de gestion durable de la fertilité des sols ont été adoptées dans les différentes régions du monde. Parmi lesquelles : l'utilisation de la fumure organique en combinaison avec la fumure minérale (Olina et al., 2008), l'utilisation des résidus des cultures et cultures sous couvertures végétales (Olina et al., 2008; Hinimbio, 2019) et plus récemment l'utilisation du biocharbon (Boris, 2017; Sadou, 2019). Ces différentes techniques se sont basées récemment sur la transformation des balles de riz en compost (Garba et al., 2020), en vermicompost (Guei et al., 2020) et en biocharbon (Lompo et al., 2021). D'où l'intérêt de cette étude qui vise à valoriser les balles de riz dans la Gestion Intégrée de la Fertilité des sols (GIFS) à travers un test de ré-minéralisation d'un lixisol dégradé avec le biochar et la poudre des balles de riz.

## MATERIEL ET METHODES

### Site d'échantillonnage

Le sol a été échantillonné au niveau de la couche arable (0 à 25 cm) sur cinq (05) parcelles improductives (**figure 1**) à Sanguéré Paul, localité située à environ 10 km de la ville de Garoua. Ainsi, les sols

\*Corresponding Author: Ahmadou Yerima Yaya Alim,

1Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), BP 415, Garoua Cameroun.

ont été prélevés en différents points des horizons de surface, et un échantillon composite de sol a été obtenu en mélangeant tout l'échantillon et en le quartant. Le biochar a été produit à partir d'un four artisanal confectionné à partir d'un fus de 200 L avec un faible apport d'oxygène. La poudre a été obtenue par broyage et tamisage. Le biochar et la poudre utilisés ont un diamètre  $\leq 2$  mm. Les balles de riz ayant permis la production du biochar et de la poudre ont été collectés à Sanguéré Paul. L'intérêt résultait de leur disponibilité locale, de leur accessibilité, de leur faible coût d'exploitation et de leur large extension géographique

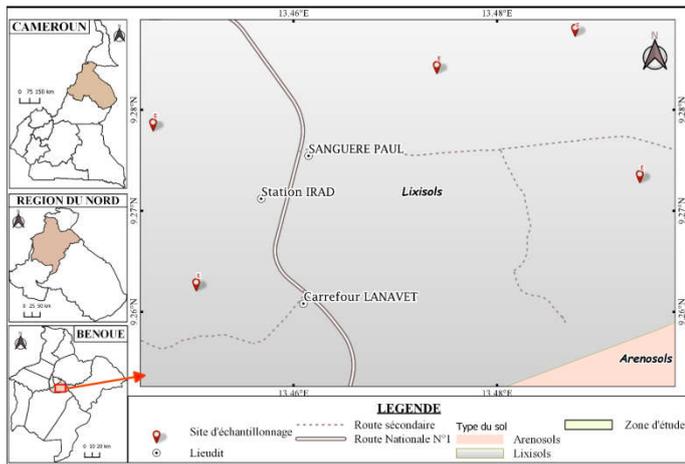


Figure 1: Carte d'échantillonnage des sols

### Analyses du lixisol, du biochar et de la poudre

Les sols ont été séchés à l'air, mélangés et quartés afin d'obtenir un échantillon représentatif. L'analyse physico-chimique a été réalisée sur des échantillons de sols séchés à l'air broyés pour passer au tamis de 2 mm et a consisté à déterminer le pH, les bases échangeables et la capacité d'échange cationique (CEC). La saturation a été évaluée. Ces analyses ont été réalisées au laboratoire des sols de l'université de Dschang, Cameroun. Le  $pH_{eau}$  du sol a été mesuré avec un pH-mètre équipé d'une électrode de verre dans des suspensions sol-eau 1:2,5. Les cations basiques échangeables ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) ont été extraits à l'aide d'une solution d'acétate d'ammonium neutre ( $pH_{eau} = 7$ ) et leur quantité mesurée par spectrométrie d'émission de flamme et d'absorption atomique. La somme de tous les cations basiques échangeables a été déduite comme suit  $S = Ca^{2++} Mg^{2++} Na^{++} K^+$ . La capacité d'échange cationique (CEC) a été déterminée à l'aide d'un acétate d'ammonium neutre en trois étapes : saturation du complexe absorbant en ion  $NH_4^+$  et extraction des cations basiques échangeables ; élimination à l'alcool de la solution saturante de  $NH_4^+$  remplissant les trous de l'échantillon ; dosage de  $NH_4^+$  par distillation Kjeldahl après une désorption quantitative au KCl. Le taux de saturation a été déduit de la somme des cations basiques échangeables (S) et de la capacité d'échange de cations (CEC) comme suit (S/CEC en %). L'analyse du biochar et la poudre a porté sur le carbone organique, l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et le  $pH_{eau}$  avec les méthodes et techniques précédemment cités.

### Dispositif expérimental

Une expérience en pot a été réalisée au sein de la station de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Garoua (N 09°16'11.1"; E 13°27'31.4"), située à environ 10 km au Sud de la ville de Garoua. 1 kg d'échantillon de sol composite du lixisol a été placé dans des pots. Un dispositif expérimental en blocs aléatoires constitués de trois traitements chacun a été utilisé : le témoin (ST), le

sol témoin mélangé à 200 g du biochar (ST + B), le sol témoin mélangé à 200 g de la poudre (ST + P). Chaque traitement a été répété trois fois. Les pots étaient disposés en rangées selon les traitements et espacés de 1 m entre les traitements. Les sols sont arrosés par la pluie. Les paramètres physico-chimiques des sols étudiés ( $pH_{eau}$ , bases échangeables, capacité d'échange cationique et saturation) sont mesurés après 0 mois, 1 mois, 2 mois et 4 mois d'incubation.

## RESULTATS

### Propriétés physico-chimiques du lixisol

L'échantillon composite (tableau 1) est gris, sablo-limoneux et particulière. Il est fortement acide ( $pH_{eau} = 5,4$ ) avec des faibles teneurs en argile (A = 10%) et en limon (L = 07%). La teneur en sable (S = 83%) est très élevée. La somme de bases échangeables est faible (SBE = 1,83 méq/100g) et la capacité d'échange cationique moyenne (CEC = 15 méq/100g). Ce sol est désaturé (Saturation = 11%).

Tableau 1: propriétés physico-chimiques du lixisol composite

Paramètres	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)	pH	SBE (méq/100 g)	CEC (méq/100 g)	S (%)
Teneurs	10	07	83	5,4	1,83	15	11

### Propriétés chimiques du biochar et de la poudre

Les propriétés chimiques du biochar et de la poudre des balles de riz (tableau 2) sont respectivement : (i) Le biochar expérimental présente un pH de 7,6, qui est alcalin. Une alcalinité qui lui confère l'aptitude pour le chaulage des sols acides. Par ailleurs, ce biochar présente des teneurs relativement faibles en azote (0,8%) et en phosphore (0,36%). Par contre, la teneur en potassium (2,43%) est relativement élevée. Les teneurs en éléments mineurs notamment le calcium (1,45%) sont élevées par rapport à celles du magnésium (0,4%). La teneur en Carbone organique (40,9%) est également élevée. (ii) La Poudre présente des teneurs en éléments majeurs (azote = 0,25 %, phosphore = 0,21% et potassium = 0,32%) et mineurs (calcium = 0,18% et magnésium = 0,05%) inférieures à celles du biochar. Il en est de même pour la teneur en carbone organique (38,55%) ainsi que le  $pH_{eau}$  (6,7) qui sont inférieurs à ceux du biochar. Ces résultats indiquent que le biochar présente des bonnes capacités fertilisantes que la poudre.

Tableau 2 : propriétés chimiques du biochar et de la poudre des balles de riz

Paramètres	Biochar Expérimental	Poudre des balles de riz
N (%)	0,8	0,25
$P_2O_5$ (%)	0,36	0,21
$K_2O$ (%)	2,43	0,32
CaO (%)	1,45	0,18
MgO (%)	0,4	0,05
CO (%)	40,9	38,55
pH eau	7,6	6,7

### Effet du biochar et de la poudre des balles de riz sur la fertilité chimique des sols

Après l'application de 20% du biochar et de la poudre, les paramètres physico-chimiques ont augmenté (tableau 3) par rapport au sol témoin (ST). L'acidité s'est améliorée dans les deux traitements

durant toute la période d'incubation par rapport au témoin. La meilleure valeur du pH est obtenue avec le biochar (pH = 7,2) à quatre mois d'incubation. Cette application a induit également une augmentation des bases échangeables dans les sols traités avec un pic (SBE = 4,77 méq/100 g) avec le traitement au biochar à quatre mois d'incubation. La CEC s'est également améliorée pendant les périodes d'un mois et deux mois d'incubation avec un pic (CEC = 16,35 méq/100 g) à deux mois d'incubation avec le biochar. Par contre, la valeur de la CEC reste constante avec la poudre pendant toute la durée d'incubation (CEC proche de 15 méq/100 g). Le même effet positif a été observé au niveau de la saturation avec une augmentation du taux de la saturation pendant toute la durée d'incubation avec les deux traitements. Le meilleur taux (**S = 32%**) a été obtenu avec le traitement du biochar à quatre mois.

**Tableau 3** : paramètres chimiques du sol en fonction des traitements et du temps d'incubation

Traitements	Temps d'incubation (mois)	0	1	2	4
<b>BIOCHAR</b>	Paramètres	Témoin	B1	B2	B4
	pHeau	5,4	6,5	6,5	7,2
	SBE (méq/100 g)	1,83	3,46	3,59	4,77
	CEC (méq/100 g)	15	15,35	16,35	15
	Saturation (%)	12	22,54	21,94	32
<b>POUDRE</b>	Paramètres	Témoin	P1	P2	P4
	pHeau	5,4	6,4	6,7	6,5
	SBE (méq/100 g)	1,83	3,11	3,26	3,57
	CEC (méq/100 g)	15	15,1	15,2	15
	Saturation (%)	12	22,59	21,43	26

B1 : Sol traité avec le biochar à 1 mois ; B2 : Sol traité avec le biochar à 2 mois ; B4 : Sol traité avec le biochar à 4 mois ; P1 : Sol traité avec la poudre à 1 mois ; P2 : Sol traité avec la poudre à 2 mois et P4 : Sol traité avec la poudre à 4 mois.

## DISCUSSION

Le sol étudié est un lixisol (sol ferrugineux tropical) présentant un faible potentiel organique et minéral (Martin, 1962) dans lequel s'observe un lessivage des particules fines et des minéraux (Guibert et al., 2002; Nguetkam JP et Dultz S, 2014; Basga et al., 2018). D'où l'intérêt de réhabiliter ce sol avec les balles de riz à travers le biochar et la poudre des balles de riz dont les caractéristiques chimiques sont supérieures à celles des fumiers surtout pour le biochar. En effet, le **biochar** expérimental présente des teneurs en azote (0,8%), et en potassium (2,43%) supérieures par rapport à celles obtenues par (Lompo et al., 2021). Le potassium (K) est un élément qui influence l'absorption des autres éléments. Il contribue à favoriser la floraison et le développement des fruits (Yara, 2017). Par contre, la teneur en phosphore (0,36%) est légèrement faible. Les teneurs en Calcium (1,45%) et en Magnésium (0,4%) sont relativement faibles par rapport à celles obtenues par (Lompo et al., 2021). Par contre les teneurs en Carbone organique (40,9%) sont légèrement supérieures à celles obtenues par ces auteurs. En effet la teneur en carbone organique des biocharbons varient généralement entre 35% et 95% en fonction du type de biomasse, et entre 40 et 50% pour les résidus culturels (Cha et al., 2016). Le biochar expérimental a un pH de 7,6 proche de celui obtenu (pH = 7,8) par (Lompo et al., 2021). Cette alcalinité lui confère l'aptitude d'être utilisé pour le chaulage des sols acides (Frimpong et al., 2019). Il est à noter qu'excepté la teneur en azote du biocharbon, tous les autres paramètres sont largement supérieurs aux valeurs moyennes des fumiers. A cet effet, (Lui et al., 2012) affirment que les teneurs en éléments fertilisants contenus dans les biochars couvrent des gammes qui sont plus larges que ceux rapportées pour l'ensemble

des fertilisants organiques connus. S'agissant de la poudre, les teneurs en carbone et azote de la poudre de balles de riz sont respectivement de 38,55% et 0,25%. Ces teneurs sont dans la gamme des valeurs obtenues par (Béli, 2002) dont le carbone variant de 35,8% à 42,12%; et l'azote entre 0,38% à 0,6%. Le carbone organique du sol est responsable d'une grande part de la fertilité des sols (Yost, 2019). Toutefois, les teneurs des autres paramètres sont légèrement inférieurs aux valeurs moyennes du biochar ainsi que des fumiers.

Les deux produits (biochar et poudre) incorporés dans le sol ont induit une augmentation globale au bout de quatre mois de tous les paramètres chimiques avec le biochar et la poudre : le **pH eau = +1,1** (avec la poudre) à **+1,8** (avec le biochar), la **SBE = +1,74 méq/100 g** (avec la poudre) à **+2,94 méq/100 g** (avec le biochar) et la **saturation S = 15%** (avec la poudre) à **21%** (avec le biochar). Ces résultats corroborent avec les travaux de (Major, 2010 ; Atkinson, 2010) qui ont affirmé que le biochar améliore une gamme des propriétés physiques des sols (porosité et distribution des pores, teneur en eau disponible). Et à (Lehmann, 2009) de conclure que le biochar pourrait modifier certaines propriétés chimiques des sols telles que le pH et le rapport C/N. Ils peuvent augmenter le pH des sols de 2,5 après une petite période d'incubation de 4 mois dans le sol.

## CONCLUSION

Le sol étudié de Garoua (Sanguéré Paul) est un lixisol (sol ferrugineux tropical) présentant un faible potentiel organique et minéral avec une forte acidité. L'application du biochar et de la poudre des balles de riz à 20 % induit l'amélioration des propriétés physicochimiques des sols amendés : le pH du sol passe d'acide à faiblement acide ; la somme des bases échangeables augmente avec la CEC et le taux de saturation pendant la période d'incubation. Le traitement avec le biochar au bout de quatre mois apparaît comme la meilleure pour l'amélioration des propriétés physico-chimiques des lixisols appauvris de Garoua. Les résultats globaux indiquent que le biochar et la poudre des balles de riz peuvent être une alternative intéressante aux engrais chimiques très coûteux dans la réhabilitation des sols dégradés.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été menée grâce aux soutiens scientifiques des encadreurs, également certains collègues tous cités en co-auteurs.

## REFERENCES

1. Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D. et Higgs, N.A. (2010) Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil*, 337, 1-18.
2. Basga SD, Temga JP, Tsozue D, Danbe N, Nguetkam JP. (2018). Morphological, mineralogical and geochemical features of topomorphic vertisols used for sorghum production in North Cameroon. *Eurasian Journal of Soil Science* 7(4): 346 – 354.
3. Bekunda M, Sangina N, Woome PL. (2010). Restoring Soil Fertility in Sub-Sahara Africa Chapter four. *Adv Agron*. 108 :183-206.
4. Béli Neya. (2002). Valorisation de la biomasse du Burkina Faso: Faisabilité de panneaux de particules à base de déchets agricoles & recherche de nouveaux biocides pour la préservation du bois à partir d'essences naturellement durables. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy-1. 145 pages.

5. Boris Merlain Djousse Kanou. (2017). Production et utilisation du biochar pour l'amendement des sols rouges lessivés tropicaux. Thèse de Doctorat, Université Laval, Québec, Canada. 118 pages.
6. Brabant P et Gravaud. (1985). Soil and land resources in Northern Cameroon. ORSTOM.  
Cha JS., S. H. Park, S. C. Jung, C. Ryu, J. K. Jeon, M. C. Shin, Y. K. Park. (2016). Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 40 1 - 15. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>.
7. Frimpong Manso E., E. K. Nartey, T. A. Adjadeh, D. A. Darko, I. Y. D. Lawson and C. A. Amoatey. (2019). West African Journal of Applied Ecology, 27 (2) 32 – 50.
8. Garba Ousmane, Mamane Tchicama Mella, Saidou Addam Kiari, M. Hamissou I. Gremaet Adamou Zanguina. (2020). Valorisation de glume de mil et balle de riz par compostage : caractérisations physico-chimiques des composts. Afrique Science 17(4) (2020) 29 – 38. <http://www.afriquescience.net>.
9. Guei Arnauth Martinez, Ferdinand Gohi Bi Zro, Sidiky Bakayoko, Fabrice Djè Bi Ta. (2020). Effets du vermicompost à base d'ordures ménagères associées aux balles de riz sur les paramètres agronomiques du maïs (*Zea mays* L.). Journal of Applied Biosciences 154 : 15862 – 15870.
10. Guibert, H., M'biandoun, M., et Olina, J.P. (2002). Productivité et contraintes des systèmes de culture au Nord-Cameroun In Jamin J.Y., Seiny Boukar L. (eds.) Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes de colloque, Maroua Cameroun. N'Djamena, Tchad, [Cédérom]. PRASAC.
11. Hinimbio Taida Pierre. (2019). Réhabilitation de la fertilité des sols par usage des bioressources (*Crotalaria juncea* L. et *Brachiaria ruziziensis* G.&E.) en zone cotonnière de l'Extrême-Nord, Cameroun. Thèse de Doctorat, Université de Maroua, Cameroun. 238 pages.
12. International Fund for Agricultural Development (IFAD). (2019). Creating opportunity for rural youth, Rural Development Report, Rome, Italy. Rapport.
13. Lehmann J., Joseph S. (2009). Biochar for Environmental Management: An Introduction. Earthscan, Dunstan House, 14a St Cross Street, London, EC1N 8XA, UK, 449p.
14. Levrat R. (2010). Culture commerciale et développement rural, l'exemple du coton au Nord-Cameroun depuis 1950, L'Harmattan, Paris, France, 297p.
15. Lompo Désiré Jean Pascal, Lambiénou Ye, Souleymane Ouedraogo, Siélé Ibrahim Sori et Hassan Bismarck Nacro. (2021). Caractérisation chimique d'un biocharbon de balles de riz destiné à l'amendement des sols au Burkina Faso. Afrique Science 18(1) (2021) 216 – 222. <http://www.afriquescience.net>.
16. Lui J., Schulz H., Brandl S., Miehtke H., Huwe B. and Glaser B. (2012). Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. Vol 175(5): 698-707.
17. Major J., Rondon M., Molina D., Riha S.J., Lehmann J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna soil. Plant Soil. 333 :117–128.
- Martin D. (1962). Etude pédologique du casier de Sanguéré. I. R. CAM Yaoundé. 21 pages.
- Millenium ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis, Island press Washington, DC.
18. Nguetnkam JP et Dultz S. (2014). Clay dispersion in typical soils of North Cameroon as a function of pH and electrolyte concentration. Land Degrad.develop. 25, 153-162.
19. Nyamekye C., M. Thiel, S. Schönbrodt-Stitt, B. J.-B. Zoungrana and L. K. Amekudzi. (2018). Sustainability, 10, 3182, Doi:10.3390/su10093182.
20. Olina Bassala JP, M. M'Biandoun, J.A. Ekorong & P. Asfom. (2008). Evolution de la fertilité des sols dans un système cotonnier-céréales au Nord Cameroun : diagnostic et perspectives. Tropicultura, 26, 4, 240-245.
21. Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE). (2013). Peuplement, marché et sécurité alimentaire, cahiers de l'Afrique de l'ouest, ed. De l'OCDE, Livre.
22. Parent LE, Dafir M. (1995). A Theoretical Concept of Compositional Nutrient Diagnosis. J Am Soc Hortic Sci. 117 :239–242.
23. Pimentel, D. (2006). Soil erosion: a food and environmental threat, Environmental, Development and Sustainability, 8: 119–137.
24. Sadou Hayatou. (2019). Réponse de l'amendement au biochar et à la fumure organique combinés à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.). Mémoire de Master, Université de Maroua, Cameroun. 70 pages.
25. Syers JK, Bekunda M, Cordell D, Corman J, Johnston J, Rosemarin A, Salcedo I. (2011). Phosphorus and Food Production. In Govere, T., & Bech, S. (Eds.), UNEP Yearbook 2011: Emerging Issues in Our Global Environment (pp. 34-45). Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP) – Division of Early Warning and Assessment.
26. Tsozué D., Haiwe B.R., Louleo J., Nghonda J.P. (2014). Local Initiatives of Land Rehabilitation in the Sudano-Sahelian Region: Case of Hardé Soils in the Far North Region of Cameroon, Journal of Soil Science, Scientific research.
27. United Nations Environment Program (UNEP). (2015). The economics of Land Degradation in Africa: Benefits of Action outweigh the cost, Nairobi, Ecosystem Services Economics Units, UNEP Division of Environmental Policy Implementation, rapport.
28. Yara, (2017). Fertilisation : Résumé nutritionnel du maïs. <http://www.yara.fr/fertilisation/cultures/mais/lesfondamentaux/be-soinsnutritionnels/>. Consulté le 12 décembre 2022.
29. Yost J. L., A. E. Hartemink. (2019). Soil organic carbon in sandy soils: A review, In: Advances in Agronomy, Livre.

\*\*\*\*\*