

ORIGINAL ARTICLE

Optimisation de la Fertilisation du Sol Agricole de Ngaoundéré par l'Utilisation du Biochar : Application sur la Culture du Maïs (*Zea mays*), variété ATP- SR-Y

^{a*}Abdoullahi Iya/ ^aMaliki Ibrahim Bello/ ^aBagari Iya Souley/ ^aBouba Martin Diri/
^aMbassi Linda stella/ ^aSounya Jeans Boris/ ^bBiyanzi Pierre/ ^aBobo Djamilia /

Authors' Affiliation

Institut de Recherche Agricole pour le Développement, Centre de Recherche Agricole de Wakwa, BP 65, Ngaoundéré, Cameroun

¹Université de Ngaoundéré, Ecole Nationale Supérieure des Sciences Agro-industrielles (ENSAI), BP 455, Ngaoundéré, Cameroun

Corresponding author

Abdoullahi Iya

Institut de Recherche Agricole pour le Développement, Centre de Recherche Agricole de Wakwa, BP 65, Ngaoundéré, Cameroun

Email: iyaabdoullahi@yahoo.fr

Tel :

+237 691125198 / 679839833

Funding source

None

Résumé

En vue de déterminer l'effet de l'utilisation du biochar comme fertilisant des sols agricoles sur la culture du maïs, une étude a été menée sur la variété ATP-SR-Y de Mai à Octobre 2020 à Ngaoundéré. Un total de 36 unités parcelaires réparties en 3 blocs de 13 unités a été utilisé pour cette étude. Chacun des blocs s'est vu attribué au hasard 10 doses de biochar (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5 kg), une dose d'engrais minérale (0,25 kg de d'Azote Phosphore Potassium NPK), une dose combinée de biochar et d'engrais minéral (0,25 kg de NPK + 1 kg de biochar) et un témoin n'ayant ni biochar, ni engrais minéral. Les résultats des essais en plein champs ont montré que le biochar est un excellent engrais qui favorise une croissance rapide du maïs (0 kg (témoin): 65,00±0,63 cm ; T₁₁ (5 kg): 122,00±0,63 cm ; T₁₃ (1/4 kg de NPK + 1 kg de biochar): 150,00±2,61 cm. au 60^{ème} Jours Après Semis (JAS). Par ailleurs, le rendement du maïs a augmenté avec le niveau de biochar utilisé (5 kg de biochar a donné un rendement en maïs de 21 kg tandis que 0 kg (témoin) de biochar a donné 4 kg de maïs).

Application pratique

Le biochar substitue parfaitement l'engrais chimiques dans la culture du maïs. Il pourrait permettre aux agriculteurs d'augmenter leur rendement et leur bénéfice, tout en économisant l'argent destiné à l'achat d'engrais chimique qui constituerait la majorité de leurs dépenses.

Mots clés : *Biochar, pyrolyse, terra preta.*

Abstract

In order to determine the effect of the use of biochar as fertilizer of agricultural soils on maize production, a study was carried out on variety ATP-SR-Y from May to October 2020 in Ngaoundéré. A total of 36 plots divided into 3 blocks of 13 units were used. Each of the blocks was randomly assigned 10 doses of biochar (0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3; 3.5; 4; 4.5; 5 kg), one dose of mineral fertilizer (0.25 kg of Nitrogen Phosphorus, Potassium NPK), a combined dose of biochar and mineral fertilizer (0.25 kg of NPK + 1 kg of biochar) and a control having neither biochar nor mineral fertilizer. Results showed that biochar is an excellent fertilizer which promotes rapid growth of maize (0 kg (control): 65.00 ± 0.63 cm; T₁₁ (5 kg): 122.00 ± 0.63 cm; T₁₃ (1/4 kg of NPK + 1 kg of biochar): 150.00 ± 2.61 cm, at the 60th day after planting. In addition, the corn yield increased with the level of biochar used (5 kg of biochar led to 21 kg of corn while 0 kg (control) of biochar led to only 4 kg of corn).

Practical application

Biochar can substitute chemical fertilizers in maize production. It can help farmers to improve in their production yield and benefits while reducing the cost for chemical fertilizers that constitute the majority of their expenses.

Keywords : *Biochar, pyrolysis, terra preta.*

1. Introduction

La conservation de la fertilité des sols cultivables est un enjeu qui devient primordial pour nourrir

de manière satisfaisante la population mondiale (Nakamura, et al., 2007). La matière organique est un des facteurs clé de la fertilité des sols.



Pendant des décennies, les sols ont été délaissés et donc appauvris en matière organique, ce qui les fragilise, et les rend plus sensibles aux dégradations. La découverte des *terra preta* en Amazonie, pourrait donner espoir de cultiver en préservant nos sols de manière durable, voire de cultiver des sols peu fertiles (Bruges, 2010). Ces *terra preta*, de réputation très riche en matière organique et stable, contiennent du biochar. Le biochar est la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, de la sylviculture et des industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers ayant subi une pyrolyse (Husk & Mayor, 2012). Il est utilisé dans plusieurs domaines, parmi lesquelles la fertilisation du sol. En effet, l'appauvrissement des sols agricoles pousse les agriculteurs à recourir à l'utilisation d'engrais chimiques pour augmenter le rendement de leur culture (Steiner, 2007). Cependant l'engrais chimique a des conséquences négatives tant bien pour le sol que pour les agriculteurs eux-mêmes, qui y perdent leurs économies. Pour pallier à ce problème, nous optons pour l'utilisation du biochar à la place de l'engrais chimique. Pour ce faire, nous avons mené cette étude dans la localité de Bamyanga Hamadjangui, située à cinq kilomètre au Sud du centre-ville de Ngaoundéré dans le vaste plateau de l'Adamaoua. Trois blocs de treize unités de traitement de quatre mètres carré chacune ont servi à cette étude.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel

Matériel biologique et chimique : maïs (variété ATP-SR-Y), biochar, fiente de poule, engrais (NPK)

2.2. Méthodes

2.2.1. Etapes de production du biochar mûr

Les étapes de production du biochar mûr effectuée dans cette étude sont présentées sur les figures 1 et 2.

2.2.2. Préparation du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental de cette étude est présenté sur la figure 3. La préparation du dispositif expérimental a consisté principalement à déboiser ; défricher ; essoucher ; labourer ; râtelier ; faire ressortir les différentes unités.

2.2.3. Description du dispositif

Le dispositif expérimental est un champ rectangulaire de 16 mètre de long et de 6 mètre de large, constitué de 14 unités de 4 m² chacune (figure 4).

Chaque unité représente une quantité de biochar mûre :

-T₁ (témoin) : 0 kg biochar

-T₂ : 0,5 kg de biochar

-T₃ : 1 kg de biochar

-T₄ : 1,5 kg de biochar

-T₅ : 2 kg de biochar

-T₆ : 2,5 kg de biochar

-T₇ : 3 kg de biochar

-T₈ : 3,5 kg de biochar

-T₉ : 4 kg de biochar

-T₁₀ : 4,5 kg de biochar

-T₁₁ : 5 kg de biochar

-T₁₂ : 1/4 kg d'engrais NPK

-T₁₃ : 1/4 kg de NPK+ 1kg de biochar

La figure 4 montre le dispositif expérimental avec les quatorze unités et la figure 5 une unité du dispositif expérimental tel que utilisé dans cette étude.

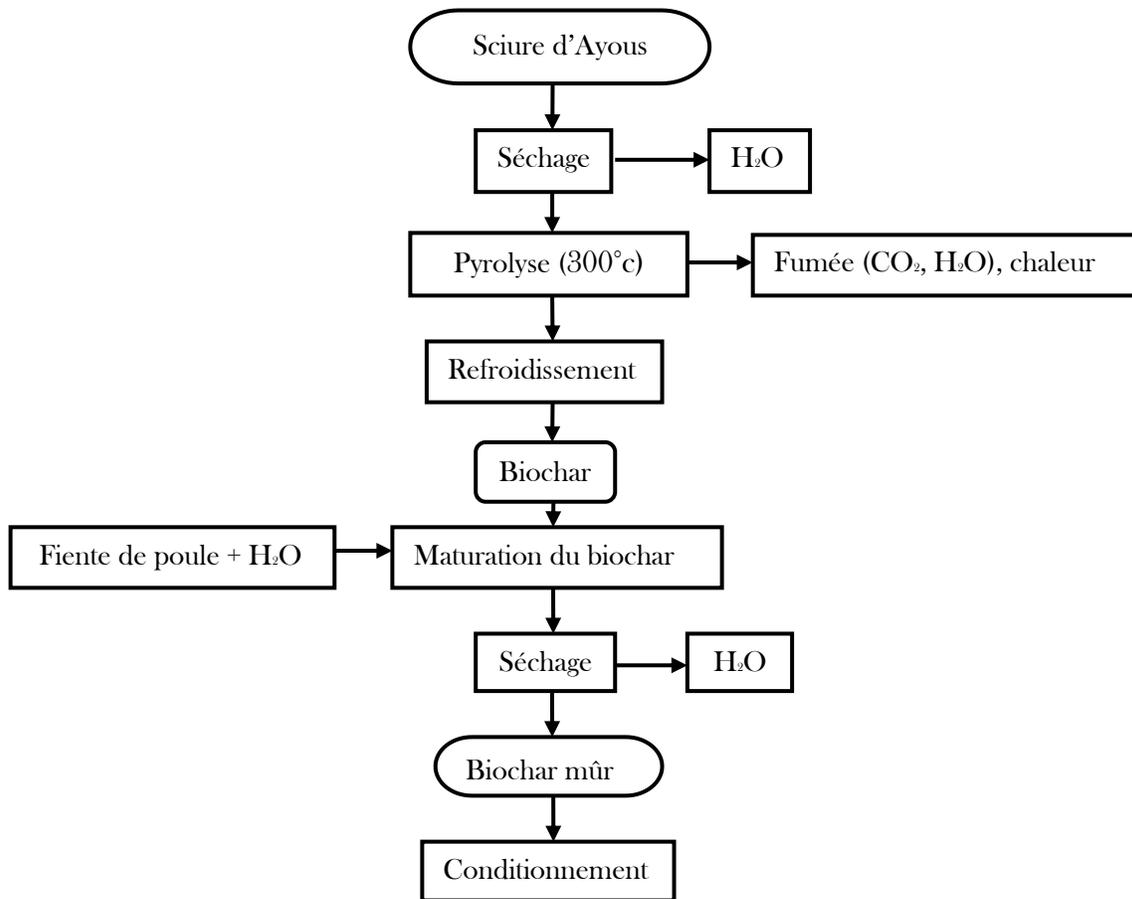


Figure 1 : Etapes de production du biochar mûr

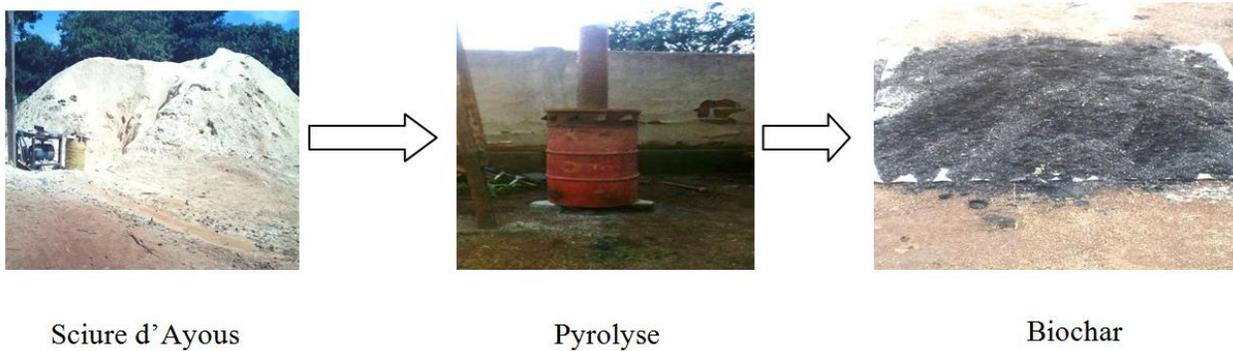


Figure 2 : Etapes de production du biochar mûr



Figure 3: Dispositif expérimental

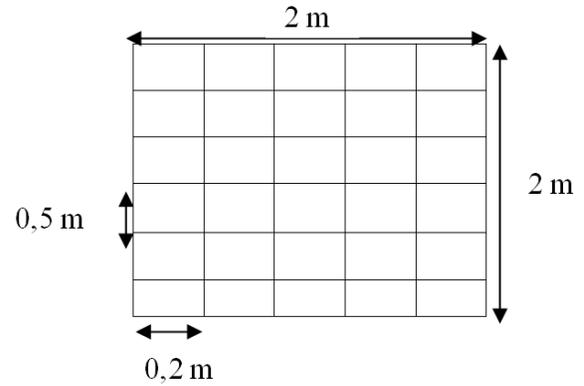


Figure 5: Schéma d'une unité du dispositif expérimental

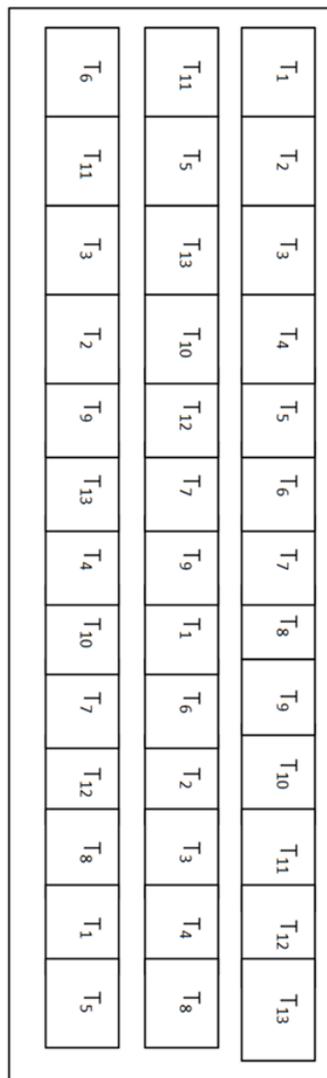


Figure 4 : Schéma du dispositif expérimental

2.2.4. Application du biochar au sol

Le biochar mûr a été appliqué sur chaque unité en tas. Par la suite, un râteau a été utilisé pour homogénéiser les unités de parcelles.

2.2.5. Ensemencement (semis)

L'ensemencement s'est effectué une semaine après la mise à terre du biochar. Au départ, les graines ont été mises dans les poquets (deux graines par poquet) et la distance entre les poquets était de 0,2 m, celle entre les lignes de 0,5 m. Deux semaines après la germination, les plants ont été réduits à 01 par poquet et les données collectées.

2.2.6. Croissances des plants

Tous les dix jours, les données sur la germination des graines ont été collectées. Elles concernent le délai de levée (date de la levée de la graine après le semis), le nombre de graines levées par traitement, la hauteur moyenne des plants, la longueur et le nombre de feuilles. Les données ont été collectées sur 3 mois à l'aide d'un mètre ruban et d'une règle de mesure graduée.

2.2.7. Délai de germination (jour)

Le test de germination permet de connaître la faculté germinative (ou taux de germination) d'un lot de semences ou de chaque unité du dispositif expérimental. Il est important de connaître ce taux pour plusieurs raisons (Bates, 2010) :

- Contrôler l'efficacité de ses propres méthodes de récolte, extraction et stockage des semences,
- Savoir la dose de biochar qui favorise une meilleure germination (faible taux de germination),
- Adapter la quantité de graines à semer en fonction d'un objectif de plants à obtenir,
- Ne pas confier des semences qui ne germent pas suffisamment dans un système.

Les tests de germination peuvent être réalisés à différents moments, soit directement après la récolte des semences, soit en cours de conservation, soit juste avant la période des semis. Dans notre cas, le test de germination a été effectué lors de la première phase après le semis. Il ne faut pas oublier que la graine est un être vivant qui suit des cycles biologiques selon son milieu d'origine. Certaines semences germent à tout moment, d'autres ont besoin d'une période de dormance.

2.2.8. Taux de germination

On a commencé à compter les plantules unité par unité immédiatement le premier jour qui marque leurs apparitions. Le comptage s'est poursuivi tous les jours selon l'avancée de la germination. Ce test de germination a pris fin une semaine après l'apparition des plantules en fonction des unités.

Lors de la lecture du test (décompte), on compte séparément:

- Les semences germées et normales (représente le taux de germination).
- Les semences non germées.
- Les semences germées et anormales (pas de racine, racine atrophiée sans poils absorbants, absence de cotylédons), plantules malades.

Le résultat est obtenu suivant l'équation:

$$\text{Taux de germination en \%} = \frac{\text{Nombre de semences germées} \times 100}{\text{Nombre de semence testée}}$$

2.2.9. Hauteur des plants

La hauteur des plantules de chaque unité a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban pour mesurer la taille de chaque plante de l'unité. Ceci pour avoir une bonne représentativité. Ensuite, la moyenne de chaque unité a été calculée.

2.2.10. Diamètre des tiges

Le diamètre des tiges a été mesuré par un mètre ruban. La mesure s'est effectuée à la base de la tige. Le résultat des mesures était la moyenne de toutes les mesures de chaque plante sur l'unité.

2.2.11. Nombre des feuilles

L'évaluation de nombre des feuilles s'est faite par comptage, à l'exception de la dernière feuille de la tige. Le résultat était la moyenne de toutes les mesures de l'unité.

2.2.12. Longueur et largeur des feuilles

Les mesures des longueurs et largeurs des feuilles ont été réalisées par un mètre ruban. Le résultat était la moyenne de toutes les mesures.

2.3. Analyse physico-chimique

2.3.1. pH du sol avant application du biochar

L'échantillonnage des sols a été réalisé dans treize placettes carrées de 10 cm de côté, au centre des unités de 2 m² après avoir effectué

une bonne randomisation du sol. Des blocs de sol de 50 g ont été extraits à 10 cm de profondeur du sol. Ces blocs d'échantillons de sols ont été ramenés au laboratoire dans des sacs en papier pour réaliser la mesure de pH.

Le pH est un coefficient qui caractérise l'acidité d'un sol, due à la présence d'ions H⁺, ou la basicité. Il définit la concentration d'ions H⁺ dans la phase liquide du sol. Le pH varie de 0 à 14 et la neutralité est atteinte lorsque le pH est égal à 7. On peut classer les sols selon leur acidité de la manière suivante (Hugill, 2013) :

- pH < 4,5 : sols très acides
- 4,5 < pH < 6 : sols faiblement acides
- 6 < pH < 7 : sols équilibrés permettant une bonne alimentation minérale
- pH > 7 : sols calcaires et /ou salés.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre

2.3.2. Protocole expérimental

2.3.2.1. Préparation des solutions

10 g de sol T₁, T₂, T₃...T₁₃ a respectivement été pesé et introduit dans un bécher étiqueté de 100 mL de volume. Par la suite, 50 mL d'eau distillée y a été ajouté. Après introduction du barreau aimanté dans la solution, le contenu du bécher a été agité pendant 30 min à l'aide d'un agitateur magnétique. La solution était donc prête pour les analyses.

2.3.2.2. Filtration des solutions

La filtration des différentes solutions a été effectuée à l'aide du papier filtre (whatman grade 40).

2.3.2.3. Mesure du pH

En ce qui concerne la mesure du pH, un le pH-mètre de paillasse de marque METTER TOLEDO FiveEasy F20 a été utilisé. Le calibrage s'est fait à l'aide d'une solution tampon (NIST/DIN) à pH=7 et une à pH=4. La sonde pH-métrique a été introduite dans une des solutions et la valeur du pH relevée. Après nettoyage de l'appareil, la valeur de pH de la deuxième solution a été enregistrée.

2.3.3. pH du sol après application du biochar

La connaissance de la valeur du pH après l'application du biochar est d'une importance capitale, car le maïs se développe favorablement dans un intervalle de pH compris entre 6 et 7,5 (Lehmann & Stephen, 2009).

L'échantillonnage et la mesure de la valeur du pH s'est fait de la même manière qu'avant l'application du biochar.

2.4. Analyses statistiques

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance ANOVA suivant le Modèle Linéaire Général (MLG) ci-après :

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \alpha_{ij} + e_{ijh}$$

y_{ij} = Observation sur la plante j ayant reçu les traitements i ;

μ = moyenne générale ;

α_i = effet du niveau de traitement i ;

e_{ij} = erreur résiduelle sur la plante j ayant reçu les traitements i .

Lorsqu'il y avait des différences significatives entre les traitements, les moyennes étaient séparées par le test de Duncan au seuil de probabilité 5% (Steel & Torrie, 1986). Le

logiciel SPSS version 20.0 a été utilisé pour analyser les données.

3. Résultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. pH

La figure 6 présente les changements de pH du sol avant et après application du biochar. Il en ressort que le pH du dispositif expérimental a varié en fonction des unités. Par ailleurs, ces unités représentent les différentes quantités de biochar appliquée. La fertilisation par l’engrais chimiques et par l’association des biochar et les engrais chimiques ne modifie pas significativement le pH du sol par rapport aux valeurs de pH avant application du biochar. Par contre, l’apport des Biochar augmente significativement le pH du sol de 0,1 à 0,5 unités par rapport aux valeurs obtenues avant l’application du biochar. On constate en plus que, le pH de tout le deuxième bloc est plus élevé.

3.1.2. Croissance des plants

3.1.2.1. Délai et taux de germination

Le tableau1 présente le résultat de suivi des délais et taux de germination des graines de maïs sur les différentes unités. Il ressort de ce tableau que les données sur les graines germées commencent à être disponibles à partir du 5^{ème} jour après semis (JAS). Comme on peut le constater, seule les unités à 4 ; 4,5 et 5 kg de biochar ont germé. Les autres sont apparus à partir du 6^{ème} et 7^{ème} jour. Au-delà de 8^{ème} jour après semis, il n’y a pas de différence significative entre les unités. Néanmoins, on observe une différenciation au 7^{ème} JAS. Le témoin a eu un taux de germination de graines (100%).

Concernant le facteur germination, les graines des unités T₉, T₁₀ et T₁₁ germent plus vite et ont un taux de germination de 100%, suivies des témoins (96 et 96,4%) et des unités allant de T₂ à T₈ (tableau 1).

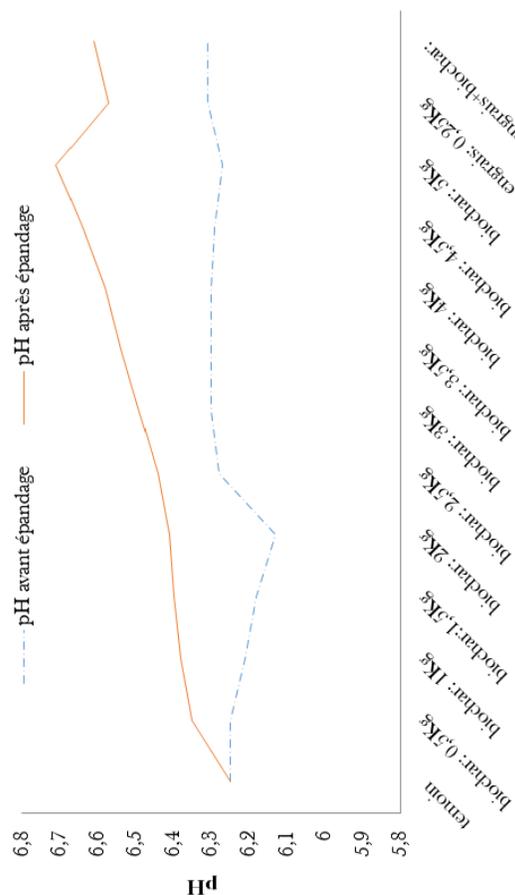


Figure 6: pH du sol avant et après application du biochar

Les figures 5 et 6 montrent l’évolution des maïs respectivement au 14^{ème} et au 21^{ème} JAS.

Tableau 1: Délai et taux de germination

	Délai germination (jours)	Taux de germination (%)
Témoin : 0	6	96
Biochar : 0,5 kg	6	98
Biochar : 1 kg	6	100
Biochar : 1,5 kg	6	100
Biochar : 2 kg	6	100
Biochar : 2,5 kg	6	100
Biochar : 3 kg	6	100
Biochar : 3,5 kg	6	100
Biochar : 4 kg	5	100
Biochar : 4,5 kg	5	100
Biochar : 5 kg	5	100
NPK : 0,25 kg	6	100
NPK+Biochar	7	100



Figure 5 : maïs 14^{ième} jour après semis



Figure 6: Maïs 21^{ième} jour après semis

3.1.3. Suivi de la croissance des maïs

Les tableaux 2 et 3 présentent les influences du traitement sur les paramètres agronomiques du maïs à 30 et 60 JAS respectivement. Il en ressort que pour la hauteur des tiges, l'unité : biochar+engrais minéral croit plus rapidement que tous les autres traitements ; elle est suivie d'engrais minéral et de biochar d'unité ayant de 4 à 5 kg de biochar. Enfin viennent les témoins. Une évolution tout à fait opposée à celle de la durée de germination, Ceci montre que les évolutions du délai et du taux de germination sont disproportionnées à la hauteur de la tige.

3.1.3.1. Hauteur des tiges

Les résultats de l'analyse du paramètre hauteur de tige, sont résumés dans le tableau 4. Il ressort qu'il existe des différences significatives entre les traitements au 30^{ème} JAS. Cette différence s'observe également au 60^{ème} JAS. Une différence significative s'observe entre les unités traitées avec du biochar, et les unités témoins dont les hauteurs des tiges varient respectivement de 80 à 122 cm, pour le premier et de 65 à 66 cm pour le second au 60^{ème} JAS. Par ailleurs, parmi toutes ces unités, on observe une croissance remarquable des hauteurs des tiges sur l'unité 14 (150 cm) et l'unité 13 (130 cm).

Tableau 2: Influence du traitement sur les paramètres agronomiques du maïs à 30 JAS

Paramètres agronomiques					
Traitements (Kg)	Hauteur des tiges	Nombre des feuilles	Longueur des feuilles	Largeur des feuilles	Diamètre des tiges
Témoin	31,33±5,65 ^a	7,17±0,98 ^c	52,00±2,74 ^f	5,67±0,52 ^f	4,00±0,00 ^f
Biochar : 0,5	39,00±2,76 ^{ab}	8,67±0,52 ^a	70,40±5,94 ^{bcd}	8,00±0,00 ^c	5,50±0,00 ^c
Biochar : 1	44,33±4,68 ^{abc}	9,00±1,26 ^d	63,83±3,63 ^{cd}	9,33±0,82 ^a	6,42±0,38 ^d
Biochar : 1,5	45,83±3,82 ^{abc}	9,00±1,26 ^d	62,60±2,41 ^{cd}	9,17±0,75 ^{ab}	6,67±0,26 ^d
Biochar : 2	43,00±2,10 ^{bc}	9,67±0,52 ^a	68,57±2,35 ^d	9,28±0,52 ^a	6,58±0,38 ^d
Biochar : 2,5	49,00±2,10 ^{cd}	11,17±0,41 ^{ab}	78,67±4,58 ^{bc}	9,17±0,52 ^{ab}	6,83±0,26 ^d
Biochar : 3	50,33±1,0 ^{cd}	11,33±0,41 ^{ab}	79,66±5,13 ^{bc}	8,17±0,41 ^{abc}	6,75±0,27 ^d
Biochar : 3,5	55,67±6,22 ^c	10,83±1,17 ^{bc}	79,60±2,30 ^b	9,16±0,52 ^{ab}	7,16±0,38 ^{cd}
Biochar : 4	66,00±2,83 ^b	12,17±0,41 ^a	78,00±1,58 ^{bc}	9,00±0,00 ^{ab}	7,75±0,27 ^{cd}
Biochar : 4,5	87,00±3,10 ^a	12,00±0,00 ^a	78,60±2,30 ^b	9,00±0,00 ^{ab}	7,83±0,26 ^{cd}
Biochar : 5	69,50±8,48 ^b	11,33±0,00 ^{ab}	79,00±3,08 ^b	8,50±0,00 ^{bc}	7,08±0,27 ^{cd}
NPK : 0,25	78,17±9,02 ^a	12,00±0,00 ^a	71,00±3,56 ^{cd}	8,58±0,45 ^{ab}	8,00±0,45 ^{ab}
NPK: 0,25+Biochar: 1	78,50±8,12 ^a	12,00±0,00 ^a	85,20±1,10 ^a	8,58±0,38 ^{bc}	8,67±0,75 ^a

a, b, c... : pour chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre minuscule en exposant ne sont pas significativement différentes (p<0,05).

Tableau 3 : Influence du traitement sur les paramètres agronomiques du maïs à 60 JAS

Paramètres agronomiques					
Traitements (Kg)	Hauteur des tiges	Nombre des feuilles	Longueur des feuilles	Largeur des feuilles	Diamètre des tiges
Témoin	65,00±0,06 ^f	8,00±1,14 ^f	54,83±0,52 ^f	6,00±0,34 ^f	7,00±0,72 ^f
Biochar : 0,5	80,00±1,41 ^f	10,00±0,77 ^f	73,50±0,89 ^f	10,00±1,43 ^b	8,50±0,35 ^f
Biochar : 1	100,00±1,26 ^c	11,00±0,71 ^c	73,33±0,88 ^f	11,00±0,69 ^b	9,43±0,06 ^f
Biochar : 1,5	105,00±1,90 ^{cd}	11,00±1,29 ^c	73,00±0,66 ^f	12,00±0,95 ^a	9,68±0,02 ^{cd}
Biochar : 2	110,00±1,26 ^{cd}	11,00±0,64 ^{cd}	74,00±0,34 ^f	11,53±0,80 ^a	9,61±0,02 ^{cd}
Biochar : 2,5	115,00±1,41 ^{cd}	11,97±0,71 ^{bcd}	76,00±0,68 ^{cd}	11,52±0,37 ^a	9,85±0,03 ^{cd}
Biochar : 3	115,00±0,63 ^{cd}	12,17±0,66 ^{abc}	81,00±0,81 ^{cd}	11,10±0,71 ^{ab}	9,77±0,03 ^{cd}
Biochar : 3,5	117,00±1,41 ^c	13,00±0,25 ^{cd}	88,00±0,34 ^{abc}	11,00±0,73 ^{ab}	10,15±0,10 ^{cd}
Biochar : 4	118,00±2,00 ^c	13,00±0,63 ^c	90,00±0,69 ^{cd}	11,38±0,64 ^a	10,80±0,29 ^{cd}
Biochar : 4,5	119,17±1,72 ^c	13,00±0,63 ^c	89,17±1,03 ^{cd}	11,50±0,34 ^a	10,85±0,03 ^{cd}
Biochar : 5	112,00±0,63 ^{cd}	12,67±0,00 ^{cd}	83,00±0,64 ^{bcd}	11,50±0,96 ^a	10,22±0,02 ^{cd}
NPK : 0,25	130,00±141 ^a	13,00±0,00 ^a	90,97±0,85 ^a	11,70±0,99 ^a	11,14±0,03 ^a
NPK : 0,25 + Biochar : 1	150,00±2,61 ^a	13,00±0,63 ^a	94,03±0,43 ^a	11,87±0,89 ^a	12,65±0,04 ^a

a, b, c... : pour chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre minuscule en exposant ne sont pas significativement différentes (p<0,05).

Le tableau 4 présente également la comparaison de croissance des maïs à 30 et 60 JAS respectivement. Il en ressort que, pour la hauteur des tiges, l'unité biochar + engrais minéral croît plus que tous les autres traitements. Elle est suivie de l'unité engrais minéral et de l'unité ayant 4 à 5 kg de biochar. Les unités témoins viennent à la fin. Une évolution complètement opposée à celle de la durée de germination.

Tableau 4: comparaison de croissances des maïs à 30 et 60 JAS

Paramètres agronomiques						
Traitements (Kg)	Période (Jours)	Hauteur des tiges (cm)	Nombre des feuilles (cm)	Longueur des feuilles (cm)	Largeur des feuilles (cm)	Diamètre des tiges (cm)
Témoin	30	31,33±5,65 ^b	7,17±0,98 ^b	52,00±2,74 ^a	5,67±0,52 ^b	4,00±0,00 ^b
	60	65,00±0,63 ^a	8,00±1,14 ^a	54,83±0,52 ^a	6,00±0,34 ^a	7,00±0,72 ^a
Biochar : 0,5	30	39,00±2,76 ^b	8,67±0,52 ^b	69,40±5,94 ^a	8,00±0,00 ^b	5,50±0,00 ^b
	60	80,00±1,41 ^a	10,00±0,77 ^a	73,50±0,89 ^a	10,00±1,43 ^a	8,50±0,35 ^a
Biochar : 1	30	44,33±4,68 ^b	9,00±1,26 ^b	66,80±3,63 ^b	9,33±0,82 ^b	6,42±0,38 ^b
	60	100,00±1,26 ^a	11,00±0,71 ^a	73,33±0,88 ^a	11,00±0,69 ^a	9,43±0,06 ^a
Biochar : 1,5	30	45,83±3,82 ^b	9,00±1,26 ^b	62,60±2,41 ^b	9,17±0,75 ^b	6,67±0,26 ^b
	60	105,00±1,90 ^a	11,00±1,29 ^a	73,00±0,66 ^a	12,00±0,95 ^a	9,68±0,02 ^a
Biochar : 2	30	43,00±2,10 ^b	9,67±0,52 ^b	62,00±2,35 ^b	9,33±0,52 ^b	6,58±0,38 ^b
	60	110,00±1,26 ^a	11,00±0,64 ^a	74,00±0,34 ^a	11,53±0,80 ^a	9,61±0,02 ^a
Biochar : 2,5	30	49,00±2,10 ^b	11,17±0,41 ^b	70,00±4,58 ^a	9,33±0,52 ^b	6,83±0,26 ^b
	60	115,00±1,41 ^a	12,00±0,71 ^a	76,00±0,68 ^a	11,52±0,37 ^a	9,85±0,03 ^a
Biochar : 3	30	50,33±1,03 ^b	11,33±0,41 ^a	76,40±5,13 ^a	8,17±0,41 ^b	6,75±0,27 ^b
	60	115,00±0,63 ^a	12,17±0,66 ^a	81,00±0,81 ^a	11,00±0,71 ^a	9,77±0,03 ^a
Biochar : 3,5	30	55,67±6,22 ^b	10,83±1,17 ^b	78,60±2,30 ^b	9,33±0,52 ^b	7,08±0,38 ^b
	60	117,00±1,41 ^a	13,00±0,25 ^a	88,00±0,34 ^a	11,00±0,73 ^a	10,15±0,10 ^a
Biochar : 4	30	66,00±2,83 ^b	12,17±0,41 ^b	81,00±1,58 ^b	9,00±0,00 ^b	7,75±0,27 ^b
	60	118,00±2,00 ^a	13,00±0,63 ^a	90,00±0,69 ^a	11,00±0,64 ^a	10,80±0,29 ^a
Biochar : 4,5	30	87,00±3,10 ^b	12,00±0,00 ^b	78,60±2,30 ^b	9,00±0,00 ^a	7,83±0,26 ^b
	60	119,17±1,72 ^a	13,00±0,63 ^a	89,17±1,03 ^a	10,71±0,34 ^a	10,85±0,03 ^a
Biochar : 5	30	69,50±8,48 ^b	11,33±0,00 ^a	79,00±3,08 ^a	7,28±0,00 ^a	7,75±0,27 ^b
	60	122,00±0,63 ^a	12,67±0,00 ^a	83,00±0,64 ^a	8,50±0,96 ^a	10,83±0,02 ^a
NPK : 0,25	30	78,17±9,02 ^b	12,00±0,00 ^b	82,20±3,56 ^b	8,58±0,92 ^b	7,75±0,45 ^b
	60	130,00±1,41 ^a	13,00±0,00 ^a	90,97±0,85 ^a	11,70±0,99 ^a	10,85±0,03 ^a
NPK : 0,25 + Biochar : 1	30	78,50±8,12 ^b	12,00±0,00 ^b	85,20±1,10 ^b	8,58±0,38 ^b	8,67±0,75 ^b
	60	150,00±2,61 ^a	13,00±0,63 ^a	94,03±0,43 ^a	11,87±0,89 ^a	12,65±0,04 ^a

La Figure 7, présente l'évolution des hauteurs de maïs à 30 (A), 40 (B), 60 (C) JAS.



Figure 7: A maïs 30^{ème} JAS, B maïs 40^{ème} JAS, C maïs 60^{ème} JAS

3.1.3.2. Nombre des feuilles

L'analyse statistique des nombres de feuilles, présente des différences significatives entre les différents traitements (tableau 4).

Le nombre de feuilles est plus élevée chez les plants des traitements avec du biochar + NPK et biochar à 5 kg comparé aux autres traitements. Leurs valeurs sont suivies des traitements ayant reçu 4,5 ; 4 et 3,5 kg de biochar. Vient ensuite les unités avec 3 à 1 kg de biochar, suivies de l'unité à 0,5 kg de biochar et enfin les unités témoins.

3.1.3.3. Longueur des feuilles

L'analyse statistique des valeurs de la longueur des feuilles (tableau 4) montre qu'une différence significative entre les traitements apparaît au 30^{ième} JAS également au 60^{ième} JAS. En effet, à ces dates on observe une différence significative entre les unités témoins (51 à 52 cm et de 54 à 55 cm), ensuite les unités avec biochar (de 62 à 78 cm et de 73 à 89 cm). L'unité constituée d'engrais minéral et l'unité ayant le mélange de biochar plus engrais minéral (82,2 à 85,2cm et de 91 à 94 cm), constituent les plus grandes longueurs de feuilles enregistrées de toutes les unités.

3.1.3.4. Largeur des feuilles

L'analyse des résultats de mesures des largeurs des feuilles (tableau 4) montre qu'il n'y a pas des différences significatives qui apparaissent entre les traitements au 30^{ième} JAS. Par contre au 60^{ième} JAS, des différences apparaissent au niveau des unités NPK 0,25 + Biochar 1 ; NPK 0,25 et unités Biochar 5 ; Biochar 4,5. En effet, à ces dates, on observe une différence significative entre les unités témoins et les autres unités notamment, les unités de différentes doses de biochar, l'unité de NPK et l'unité de mélange de biochar + NPK.

3.1.3.5. Diamètre des tiges

Le tableau 4 montrent également que les diamètres des tiges sont plus élevés au niveau de l'unité biochar + NPK, suivi des unités NPK 0,25 ; Biochar 5 et Biochar 4,5 qui présentent de légères variations.

Pour ce qui est des diamètres des tiges, le meilleur résultat a été obtenu avec l'unité du biochar + engrais minéral, suivi de l'engrais minéral simple et les quatre dernières unités traitées avec du biochar simple.

3.1.4. Rendement

Après la récolte par unité, les épis des maïs ont été égrainés différemment puis séchés avant d'être pesé. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure 8. Il en ressort que le rendement des unités augmente en fonction de la quantité du biochar et du mode de traitement apporté. L'unité à 5 kg de biochar a presque le même rendement que l'unité avec engrais NPK et l'unité NPK plus biochar a le plus grand rendement de toutes les unités. Ce rendement résulterait de la libération rapide des nutriments dont la fourniture dans le sol n'est pas synchronisée avec les besoins de la plante Nyami *et al.*, 2016).. D'où le meilleur rendement obtenu avec le traitement NPK plus biochar par rapport aux autres traitements.

3.2. Discussion

La germination rapide des graines des unités 9, 10 et 11 par rapport à celles des autres traitements s'expliquerait par le fait que la graine a été directement exposée à la température et a accru son niveau d'absorption d'eau par ses téguments. Le résultat de la germination va dans le sens de celui obtenu par (Quashie *et al.*, 2009) qui ont trouvé que l'amélioration de la germination était due à la fragilisation des téguments, les rendant ainsi perméables.

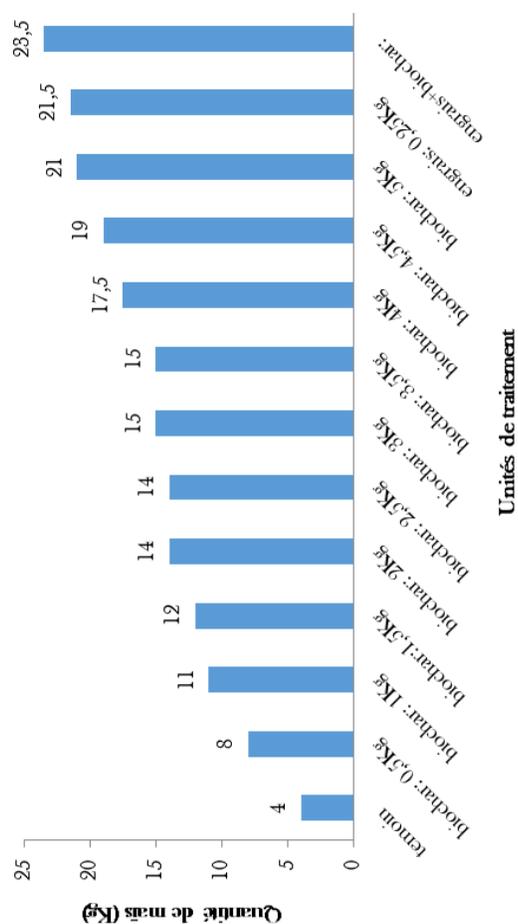


Figure 7 : rendement de traitement en maïs par dose

En effet, l'apport du biochar induit chez la graine une baisse du potentiel hydrique de l'embryon qui entraîne une synthèse de nouvelles substances de poids moléculaires faibles et ceci conduit à une production de l'énergie (Enu-kwesi *et al.* 1986 ; Maguire & Bennett 1996 ; Ahmad & Ibrar, 1996). Une autre hypothèse qui pourrait expliquer cette différence est qu'au regard des résultats des travaux de (Bruges, 2010) in vitro ou en serre, la présence de la lumière diminue le temps de germination tout en réduisant de 10 à 20%, les taux cumulés de cette dernière (Skjemstad *et al.*, 1999) ce qui expliquerait la différence entre le délai de germination observé aux différents traitements, car la présence de la lumière sur le dispositif allait de dix heures à seize heures trente. Pour la hauteur des tiges, le résultat obtenu signifie que l'effet du traitement des unités au

biochar survient immédiatement avant le semis. Le maïs est une plante tropicale, il est grand consommateur d'eau (Wardle & Zackrisson, 2008). Il consomme la moitié d'eau dont il a besoin pour sa croissance de trois semaines avant la floraison à trois semaines après (Bates, 2010). Le manque d'eau à ce stade se traduit par une chute de rendement. Le biochar vient remédier à ce problème, car à travers ses pores, il augmente le taux de rétention d'eau du sol (Gobeil, 2015).

La chute légère des valeurs observées au traitement biochar 2 jusqu'au biochar 3,5 et l'augmentation des valeurs observées sur les traitements NPK 0,25 et NPK 0,25+Biochar 1 seraient due à une croissance (élongation de la tige principale) survenue entre le 30^{ème} et 60^{ème} JAS. Au niveau des témoins, l'effet inverse aux autres unités a été observé et ceci serait dû à un ralentissement de la croissance chez les jeunes plants (Das *et al.*, 2020). Ce résultat montre que le traitement avec le biochar + NPK semblerait être plus efficace, suivi du biochar aux quantités allant de 3,5 à 5 kg.

Pour ce qui est de la longueur des feuilles, le meilleur traitement était le biochar+engrais minéral, suivi de l'engrais minéral simple et les quatre dernières unités traitées avec du biochar simple.

Les plants de l'unité biochar + NPK sont statistiquement meilleurs (94 cm). Ensuite l'unité biochar 4,5 et les unités biochar 4 et biochar 3,5 ; ont sensiblement la même hauteur, ce qui suppose un comportement similaire de ces traitements surtout au 60^{ème}JAS, montrant ainsi que pour cette variable, aucune différence significative n'a été observée entre les deux méthodes de traitements.

Pour ce qui est de la largeur des feuilles, le meilleur traitement est le biochar + NPK, suivi de

NPK simple et les quatre dernières unités traités avec du biochar simple.

En ce qui concerne le rendement de chaque unité, des quantités allant de 4 à 23,5 kg ont été obtenues. On remarque d'après le graphique que le rendement de ces unités augmente en fonction de la quantité du biochar et du mode de traitement apporté. On voit que l'unité à 5 kg de biochar a quasi le même rendement que l'unité avec engrais NPK et l'unité d'engrais et biochar a le plus grand rendement de toutes les unités. L'application combinée de biochar et d'engrais minéraux a entraîné une augmentation significative du pH. Cela c'est accompagner d'une meilleure disponibilité du phosphore, du calcium et du magnésium dans le sol. Ce résultat est en accord à celui de (Kachaka *et al.*, 2016) qui a trouvé que, l'application combinée d'engrais minéral et de biochar permet de presque doubler le rendement du manioc et tripler celui du maïs par rapport au témoin sans intrants.

4. Conclusion

Arrivé au terme de notre travail qui portait sur l'optimisation de la fertilisation des sols agricoles de Ngaoundéré par l'utilisation du biochar : application sur la culture du maïs (*zea mays*) variété ATP- SR-Y, il ressort clairement que, le biochar simple et celui mélangé avec de l'engrais minérale améliorent la croissance des maïs au même titre voire plus que l'engrais minéral.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont nulle part eu de conflit d'intérêt pendant la soumission de l'article.

Remerciements

Les auteurs remercient le Dr. Oumarou Palou Madi chef de centre IRAD (Institut de Recherche Agricole pour le Développement) de Wakwa pour ses encouragements.

Références

- Ahmadou, A. (2019). Réduction de la mycotoxicité dans l'agriculture malienne à partir de l'utilisation de biochar obtenu des sous-produits de la filière cajou (Doctoral dissertation, Université Montpellier)
- Ahmad, S., & Ibrar, R. (1996). Competition and yield advantage sunflower-summer legumes, Arid Agricultures. *HELLA*, 19 (25): 71-78.
- Auzel, P., Bekah, S., & Robert, M. L. (2001). Estimation des coûts de production du bois des forêts communautaires à partir des résultats du sciage d'un bossé clair et d'un kossipo dans la forêt communautaire de Kompia. Projet Forêts Communautaires, Yaoundé, Cameroun.
- Bates, A. (2010). La Solution du Biochar : L'Agriculture au Carbone et le Changement Climatique, New Society Publishers, ISBN : 9780865716773.
- Bruges, J. (2010). Le Débat sur le Biochar : Le Potentiel du Charbon pour Inverser le Changement Climatique et Constituer la Fertilité des Sols, The Schumacher Briefings, Chelsea Green Publishing, ISBN-10 : 160358255X, ISBN-13 : 978-160358255.
- Das, S. K., Ghosh, G. K., & Avasthe, R. (2020). Application of biochar in agriculture and environment, and its safety issues. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-11.
- Husk, B. A. R. R. Y., & MAJOR, J. (2012). Le biochar comme amendement du sol au Québec: résultats agronomiques de quatre ans d'essais terrain. BlueLeaf inc, 30.
- Kachaka, C., Lele, B., & Lejoly, J. (2016). Effet de l'application d'engrais minéral complet NPK et de biochar sur les performances de la culture pure du manioc et de l'association manioc-maïs dans les conditions du plateau des Batéké en

- République Démocratique du Congo (RDC). *Tropicultura*, 34(1).
- Kwesi, E.L., Nwalozie, M., Anyanwu, D.I., Guildford. (1986). Butterworth scientific, Tropical agriculture, National agricultural library, Beitsville, Maryland N° 91-32.
- Lehmann, J., & Stephen, J. (2009). *Le Biochar pour la Gestion Environnementale : Science et Technologie*, Earthscan Publications Ltd. ISBN-10:184407658X, ISBN-13: 978-1844076581.
- Maguire, D. A., & Bennett, W. S. (1996). Patterns in vertical distribution of foliage in young coastal Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*, 26(11), 1991-2005.
- Nyami, B. L., Sudi, C. K., & Lejoly, J. (2016). Effet du biochar et des feuilles de *Tithonia diversifolia* combiné à l'engrais minéral sur la culture du maïs (*Zea mays* L.) et les propriétés d'un sol ferrallitique à Kinshasa (RDC). *BASE*
- Nakamura, S., Hiraoka, M., Matsumoto, E., Tamura, K., & Higashi, T. (2007). Humus composition of Amazonian dark earths in the middle Amazon, Brazil. *Soil Science & Plant Nutrition*, 53(3), 229-235.
- Steel, D. R. G., & Torrie, J. H. (1986). *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. McGraw-Hill.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and soil*, 291(1), 275-290.
- Skjemstad, J.O. Taylor, J. A., Janik, L. J. & Marvanek, S. P. (1999). Soil organic carbon dynamics under long-term sugarcane monoculture. *Australian Journal of Soil Research*, 37: 151-164.
- Wardle, D. A., Nilsson, M. C. & Zackrisson, O. (2008). The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Oecologia* 419-426.

Cite this paper as: Abdoullahi, I., Maliki, I.B., Bagari, I.S., Bouba, M. D., Mbassi, L.S., Sounya, J.B., & Biyanzi, P., Bobo.D.(2021). Optimisation de la Fertilisation du Sol Agricole de Ngaoundéré par l'Utilisation du Biochar : Application sur la Culture du Maïs (*Zea mays*), variété ATP- SR-Y. *Journal of Food Stability*, 4 (5), 1-14
[DOI: 10.36400/J.Food.Stab.4.5.2021-0041](https://doi.org/10.36400/J.Food.Stab.4.5.2021-0041)