

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université 20 Août 1955 Skikda

Faculté des Sciences

Département des Sciences Agronomiques



Filière : Sciences Agronomiques

Option : Science du Sol

Mémoire de MASTER II :

Thème :

**Valorisation des déchets ménagers et agricoles en biochar pour
l'agriculture et la production d'énergie renouvelable**

Présenté par :

Negreche Rabia

Membres de Jury:

Mme : Oujane Faiza	(MCA) Président	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mme : Souilah Nabila	(MCA) Examineur	Université du 20 Août 1955 – Skikda
Mme : Bounouara Zohra	(MCA) Promoteur	Université du 20 Août 1955 – Skikda

Année universitaire : 2022-2023

Résumé

L'objectif de cette étude est la fabrication du biochar à partir des déchets ménagers organiques et agricoles, en l'utilisant comme amendement organique du sol, activé par des engrais ou du compost, pour voir son effet sur les propriétés du sol et le rendement de la culture de blé. L'application du biochar avait pour effet d'augmenter la population et l'activité biologiques des sols et d'accroître l'efficacité de la fertilité du sol, il augmente la disponibilité des nutriments des plantes, et le rendement des cultures. En outre, avec ses propriétés récalcitrantes, le biochar est un bon puits de stock de carbone, ce qui pourrait contribuer à réduire le réchauffement climatique dû à l'émission de méthane.

Summary

The objective of this study is the manufacture of biochar from organic household and agricultural waste, using it as an organic soil amendment, activated by fertilizers or compost, to see its effect on soil properties and wheat crop yield. The application of biochar had the effect of increasing soil biological population and activity and increasing soil fertility efficiency, it increases plant nutrient availability, and crop yield. In addition, with its recalcitrant properties, biochar is a good carbon stock sink, which could help reduce global warming due to methane emissions.

Sommaire

List des Abréviation	
Liste des Figures	
Liste des Tableaux	
Introduction	
Chapitre 1. Revue bibliographique	
1. Historique et intérêt de biochar	
2. Définition du biochar	
3. Les caractéristique et la structure de biochar	
4. Technique de production de biochar	
5. Effet du biochar sur les propriétés du sol	
Chapitre II. Matériel et méthodes d'étude	
Chapitre III. Résultats et discussion	
Conclusion	

Introduction générale

Introduction

Avec l'augmentation de la demande alimentaire, la limitation des ressources en matière organique et l'effet négatif de l'agriculture intensive, à la fin du 20^{ème} siècle, les experts agricoles cherchent des autres ressources des matières organiques plus résistantes. En regardant les expériences traditionnelles des agriculteurs de l'Amazonie, l'Amérique de Sud on a eu l'idée d'utiliser le charbon à des fins agricoles. Cette idée se pose en raison de la durabilité de la production végétale dans les sols noirs de l'Amazonie qui étaient alors réputés par leur richesse en "char". Ce matériel est maintenant connu par le nom "biochar" **(Stavi L. et Lal R. 2013)**

Le biochar est un charbon d'origine végétale obtenu par pyrolyse de biomasse des matières organiques d'origine diverse. Il a été découvert il y'a environ 6000 ans par les amérindiens vivant en Amazonie, qui ont compris que l'utilisation de ce charbon pouvait transformer leurs sols pauvres et infertiles en sols fertiles. Aujourd'hui, des travaux de recherche sur le biochar revisitent ses origines et son utilisation en passant par ses impacts sur l'amélioration de la fertilité des sols tropicaux confrontés à une forte dégradation **(Luc Gerard)**

L'application du biochar en agriculture reçoit une attention particulière depuis quelques années notamment pour son pouvoir d'être un excellent puits de carbone et l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol et la production végétale **(Yao et Al, 2012).**

Le biochar donc permet une meilleure fertilité des sols et une plus grande productivité des cultures , il est produit par un processus appelé pyrolyse, qui consiste à chauffer les déchets organiques à des températures élevées en l'absence d'oxygène. Ce processus transforme les déchets en un matériau carboné stable, résistant, riche en carbone.

Vue la rareté des matières organiques et les produits organiques fertilisants et suite à l'importance de biochar en agriculture pour améliorer le sol et les processus des cultures, la fabrication de ce matériel et son utilisation en agriculture est devenu importante. En effet, la valorisation des déchets agricoles et ménagers en biochar propose une solution innovante pour gérer les déchets, et promouvoir une agriculture durable. Elle vise à valoriser ces déchets en les transformants en biochar, un produit bénéfique pour l'agriculture en tant qu'amendement du sol, ainsi que pour la production d'énergie renouvelable (Biogaz et électricité). Cependant, la transformation de ces déchets en biochar est-il bénéfique comme amendement pour le sol et pour le développement des cultures ?

Notre objectif dans cette optique est la fabrication du biochar à partir des déchets ménagers organiques et agricoles, pour l'utiliser comme amendement organique du sol, et voir son effet sur les propriétés du sol et la production de la culture de blé. Pour atteindre cet objectif, un essai expérimental est réalisé, dont des parcelles d'un mètre carré ont été préparées avec différents traitements de biochar activé par des engrais et du compost, en raison de trois répétitions totalement randomisées. T0 : témoin sans apport, T1 : 1kg de biochar activé par des engrais, T2 : 2kg de biochar activé par des engrais, T3 : 1kg de biochar activé par l'engrais et le compost, T4 : compost seul. Nous visons à voir l'effet de la dose du biochar et le type d'activateur sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol et le rendement de la culture de blé.

Les hypothèses proposées sont :

- Le Biochar fabriqué à partir des déchets améliore les propriétés du sol et le rendement de culture.
- La dose 2kg de biochar présente un effet plus élevé sur le sol et la culture par rapport aux autres traitements.

Le document s'articulera sur les chapitres suivants:

Chapitre 01: synthèse bibliographique

Chapitre 02: matériel et méthodes

Chapitre 03: Résultats

Chapitre 01: Synthèse bibliographique

1. Historique et intérêt de biochar

L'origine de le biochar proviendrait des pratiques agricoles des habitants d'Amazonie qui incorporaient des grandes quantités de charbon Ainsi que des fumiers et autre engrais biologique pour améliorer les rendements de leurs cultures (Sohi . 2012).

Il y a environ 6000 ans que les amérindiens vivants en forêt dans l'Amazonie découvraient que l'utilisation du charbon pouvait transformer leurs sols pauvres et infertiles appelés « oxisols » équivalent au sols ferrallitiques en sols fertiles appelé « terra preta » qui signifie terre noire. Ces peuples avaient créés un type de culture appelé « slash and char agriculture » qui consistait à couper les arbres de la forêt et ainsi que ceux issus du défrichement des champs et à carboniser cette biomasse plutôt que de la bruler complètement. Par la suite, charbon était incorporé dans le sol avec d'autres fertilisants naturels tels que les fumiers. Les travaux de recherche effectués par les pédologues et les archéologues ont permit d'identifier aussi dans ces sols les déchets de cuisine, les os de poissons et d'animaux, des morceaux de pots en céramique. C'est pourquoi ces sols ont été qualifiés d'anthrosols qui signifie sol créé par l'action de l'homme. On retrouve les « Terra preta » par poches d'hectare dans la forêt amazonienne. (Luc Gerard , O)

L'analyse moléculaire des restes de charbon du sol identifiés dans terra preta laisse penser que si une partie du charbon provenait du bois brûlé lors du défrichement, une autre partie, plus significative en profondeur est un charbon provenant de la combustion incomplète des déchets agricoles ou du bois dans les foyers. En conséquence l'idée sous entendue derrière le concept biochar n'est pas de reproduire le système de culture tel que pratiqué à l'aire de la civilisation des amérindiens, mais d'identifier un élément de ce système « le charbon » dans l'espoir de créer des sols qui deviendront aussi fertiles et riche en carbone à long terme comme terra preta. (Luc Gerard , O)



Figure 01: coupe transversale du sol de 1 mètre de profondeur comparant la « Terra Preta » sur la gauche avec un oxisol à sur la droite.(Glasee,B , Hamaier ,L ,Guggenber ,G and Zech, W ,2001)

L'équivalent actuelle du charbon Utilisé dans les sols noirs d'Amazonie est un biochar produit par le procédé de pyrolyse décomposant la biomasse première sous des hautes températures et sous des faibles concentrations en oxygène. **(Lehman, 2007)**

Des études plus récentes sur le sujet recommandent le biochar pour sa capacité d'améliorer l'état des sols naturellement pauvres ou acides, voir même dégradés par une agriculture intensive. **(Steiner et al, 2007)** en favorisent une meilleure structure du sol qui améliore ses propriétés physico-chimiques. **(Rillig et Mummey, 2006)**.

A l'autre côté, peu d'études traitent de l'effet de biochar en production biologique voir même en culture sous terre. Et sur la croissance des diverses espèces cultivées dans un substrat biologique à base de tourbe amendé en biochar à présentés des effets bénéfiques, nuls ou néfastes selon l'espèce étudiée. **(Gravel et al, 2013)**.

2. Définition de biochar :

Le terme 'biochar' est l'abréviation de 'bio-charcoal'. Du préfixe « bio » qui veut dire origine biologique et du mot anglais « charcoal » qui signifie charbon de bois. Il désigne un charbon d'origine végétale obtenu par pyrolyse de biomasse des matières organiques d'origine diverse.



Figure 02: le biochar

De manière conventionnelle (Initiative International sur le biochar), le terme biochar désigne toute matière organique carbonisée carbonisée dans l'intérêt de l'appliquer au sol ou de séquestrer le carbone.

Les biochars sont des solides riches en carbone stable et récalcitrant à la minéralisation par les microorganismes du sol, du fait de sa composition riche en structures aromatiques. Il joue ainsi le rôle de fixation du carbone dans le sol et donc de puits de carbone, ce qui explique son intérêt dans le contexte des préoccupations concernant le réchauffement climatique.

Le biochar peut être produit à partir des matières organiques d'origines diverses (résidus agricoles, fumier, résidus d'exploitation forestière...etc

Le biochar est un produit solide de la pyrolyse· il est noir , poreux et riche en charbon , on l'obtient en chauffant la biomasse végétale à des températures inférieure à 700 c° en absence presque total d'oxygène.(Lehmann et Jpseph ,2009).

Il est possible avec les technologies modernes de pyrolyse de produire du biochar à partir d'une large gamme de matières premières issues de la biomasse végétale(Figure 03), et pas seulement des grumes ligneuses utilisées pour produire du charbon (Shackley et al., 2016).



Figure 03: les différents types de biochar

Le biochar est un matériau poreux et riche en carbone stable obtenue par pyrolyse dans des conditions de limitation d'oxygène, dont l'application comme amendement au sol offre potentiellement l'avantages d'améliorer simultanément les caractéristiques des sols par la séquestration du carbone, et la fourniture de nutriments . (Lehmann,2007; Lehmann et Stepher, 2009).

3. Caractéristiques et structure de biochare

3.1. La structure de biochar

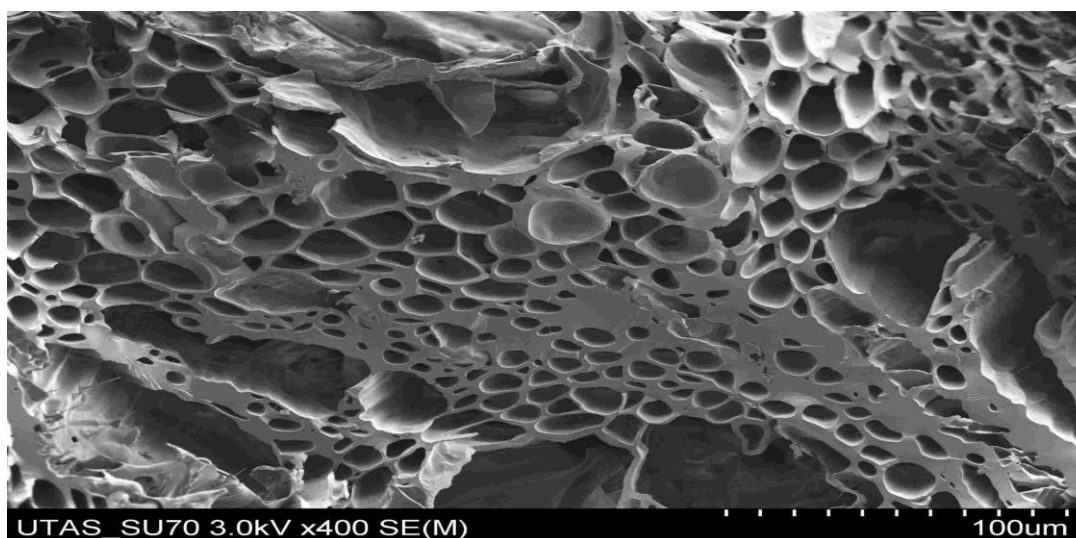


Figure 04: la structure poreux de biochar.

Les résultats incontestés proviennent de la composition et structure du Biochar charbon végétal possédant une étonnante surface micro-poreuse, exceptionnellement développée, permettant une très forte capacité de rétention de l'eau et des nombreux micro-organismes existants naturellement dans le sol. Biochar structure micro poreuse (Adorla.com).

Le charbon de bois agricole constitue ainsi un micro environnement parfait pour créer des échanges nutritionnels puissants (carbone, azote, phosphore, nitrate) mais aussi pour favoriser des complexes symbiotiques protégeant naturellement les plantes.

Le charbon agriculture diminue les risques de « lessivage » des sols (perte en nitrate), réduit les risques de toxicité (captage aluminique), lutte contre le réchauffement climatique en captant les gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, méthane). Le biochar, charbon de bois épuré, a un effet très durable sur les sols, en instaurant une régulation et un apport micro-organique positif et constant.

3.2. Les caractéristiques de la structure de biochar :

Les caractéristiques du biochar dépendent spécialement du type de matières premières et des conditions des traitements, la température de carbonisation, la vitesse de chauffage, le temps de séjour, ces derniers déterminent les caractéristiques morphologiques, physique, chimiques du biochar.

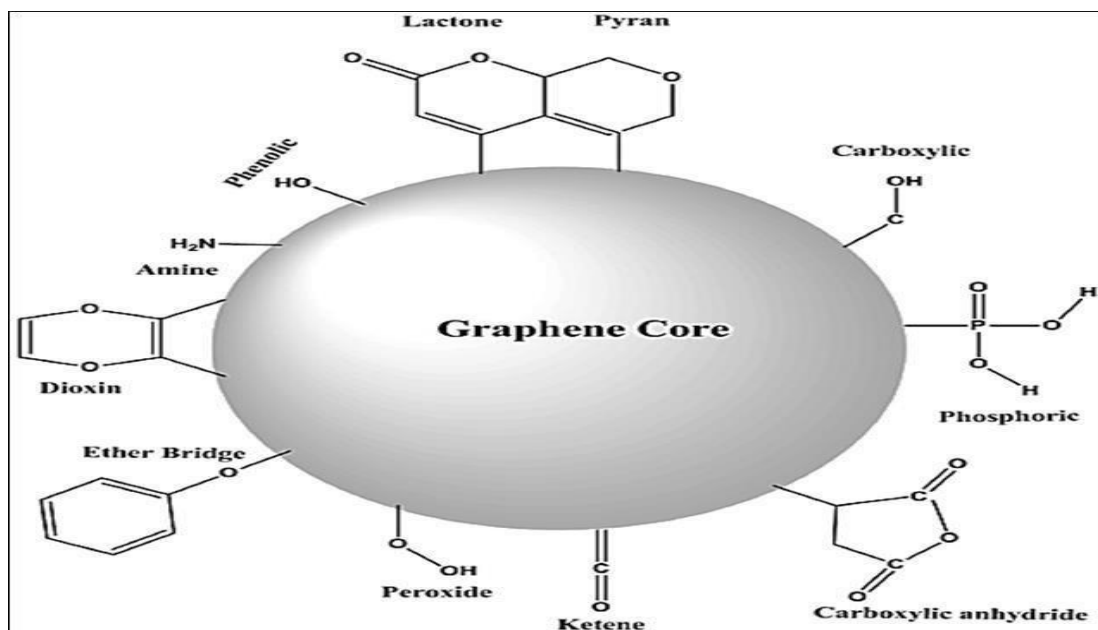


Figure 05: Structure du biochar avec différents groupes fonctionnels présents à sa surface (Berennan,JK, et Al,2001, Lehmann,J et Al , 2009).

L'unité structurale de base du biochar est le carbone amorphe et graphène (Fig 5). Le changement de température de pyrolyse provoque le changement de morphologie cristalline du biochar. La transformation de la structure du carbone d'amorphe en aromatique a lieu avec l'augmentation de la température de pyrolyse, ce qui entraîne la fusion de diverses feuilles de graphène. De plus, une température de pyrolyse plus élevée peut augmenter l'ordre des cristallites et la surface. La structure vésiculaire du biochar contribue généralement à sa grande porosité alors que ; la température élevée de la pyrolyse provoque la formation de nanopores à grande surface capables de retenir l'eau et les nutriments du sol (Glaser,B et Al ,2002,Karhu, k et Al ,2011).

Les caractéristiques physiques comprennent la densité des particules, la surface et la distribution de la taille des pores, tandis que les principales caractéristiques chimiques comprennent le pH, le C total et le N total, la conductivité, le P, la capacité de neutralisation des acides, les cations échangeables, la capacité d'échange de cations et certains nutriments et oligo-éléments contaminants. Lorsque la température de production est > 500 oC, le pH du biochar varie de neutre à alcalin. Les composants volatils et N du biochar ont diminué tandis que la teneur en cendres et en carbone fixe a été améliorée avec l'augmentation de la température de pyrolyse de 400 à 600 oC. Le degré d'aromaticité des structures C est mesuré par les rapports élémentaires H/C et O/C (Krull,ES et Al,2009).

Le biochar produit à < 500 °C a des rapports H/C $> 0,5$, alors que $< 0,5$ dans le cas du biochar préparé à des températures > 500 °C, où le rapport H/C inférieur indique un haut degré d'aromaticité (Hammes, K et Al, 2006).

De plus, l'augmentation de la température de pyrolyse entraîne une réduction de la CEC du biochar (Novak, J et Al, 2013). Ainsi, le biochar préparé à 600 °C avait un rapport C: N plus large, ce qui le rend plus stable dans le sol en raison de son taux de décomposition réduit.

4. Techniques de production du biochar :

Les équipements pour la fabrication du biochar peuvent être aussi simples qu'un feu de camp primitif ou aussi complexe qu'une bioraffinerie moderne. Le processus de base est appelé pyrolyse.

4.1. Définition de la pyrolyse :

La pyrolyse est un procédé de décomposition (lyse) thermochimique (pyro), dans lequel la matière organique est transformée par chauffage dans une absence d'oxygène partielle ou totale en une matière solide et volatile riche en carbone (Demirbas, A, 2001). Le solide, appelé diversement comme char, biochar, charbon de bois, contient généralement une haute teneur en carbone et peut contenir environ la moitié du carbone total de la matière organique d'origine. Les substances volatiles peuvent être partiellement condensées pour donner une fraction liquide sortant d'un mélange appelée gaz «non condensables». Le processus est simplement représenté dans la figure 06. Chacun des trois produits issus de la pyrolyse, solides, liquides et gaz, peuvent avoir des propriétés et des utilisations qui apportent une valeur du processus voir figure 06.

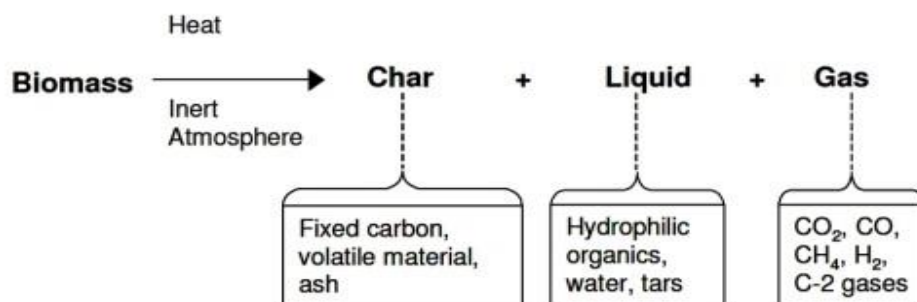


Figure 06: représentation simplifiée de la pyrolyse (Demirbas, A, 2001).

4.2. Types de processus de pyrolyse :

En fonction des conditions opératoires, la pyrolyse peut être classée en trois catégories principales : Pyrolyse lente (conventionnelle), rapide et flash ; celles-ci se différencient par la Température de traitement, le taux de chauffage, le temps de résidence du solide, la taille des particules de biomasse, etc.

4.2.1. Pyrolyse rapide:

La pyrolyse rapide se caractérise par des vitesses de chauffage élevées de la biomasse en absence d'oxygène. Les rendements maxima en huiles sont obtenus pour des Vitesses de chauffage supérieures à $100\text{ }^{\circ}\text{C} \times \text{s}^{-1}$, à des températures de réactions proches de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ et des temps de séjours des vapeurs relativement faibles de l'ordre de la seconde. Ces conditions permettent de réduire au minimum les réactions secondaires et d'obtenir Des rendements massiques de 80 % (Sun Y, Cheng ,J, 2012).

Des rendements acceptables, c'est-à-dire Supérieurs, a 50 % en masse, peut être obtenu avec des temps de séjour de l'ordre de 5 s, si la Température des vapeurs est maintenue au-dessous de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ les caractéristiques Principales d'un procédé de pyrolyse rapide sont donc :

1. Une vitesse de chauffage et de transfert thermique élevée qui impose, pour la Majorité des procédés, l'utilisation d'une matière première de faible granulométrie (particules),
2. Une température de réaction bien maîtrisée voisine de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ avec une température Des vapeurs comprise entre 400 et $450\text{ }^{\circ}\text{C}$,
3. Un court temps de séjour des vapeurs de pyrolyse dans le réacteur (inférieur à 2s), Pour minimiser les réactions secondaires et.
4. Un refroidissement rapide des vapeurs pour les mêmes raisons.

La plupart des procédés de pyrolyse rapide fonctionnent selon le principe général Représenté général représenté sur la figure 07. Ils génèrent majoritairement des composés à l'état vapeur qui après refroidissement et condensation, sont récupérés en une phase Liquide. Les sous produits qui sont les gaz incondensables et dans une moindre mesure, le Charbon végétal sont généralement récupérés dans un second réacteur pour y être brûlés et Servir d'énergie d'appoint à la pyrolyse (Poitrat,E,2008 , Ademe ,2002).

accompagné de produits liquides et de gaz, bien que ceux-ci ne sont pas toujours récupérés, mais évacués sous forme de fumée avec des problèmes environnementaux qui en découlent (Kammer,M,lewJ,2005).

Les procédés traditionnels, en utilisant des puits, des monticules ou des fours, impliquent généralement une combustion directe de la biomasse, le plus souvent du bois, comme source de chaleur dans le four.

Les pyrolyseurs lents ont plusieurs avantages par rapport à d'autres technologies de conversion thermo-chimique; les unités ont tendance à être petites et peu coûteuses, elles peuvent accepter diverses sources de matières premières, et la biomasse n'a pas besoin d'être broyée finement.

Les pyrolyseurs lents sont cependant difficiles parce que le transfert de chaleur dans une biomasse grossière est relativement lent, et par conséquent la matière première va avoir un temps de séjour relativement long dans la chambre de réaction (Pelaez-Samaneigo, M, R, et Al, 2008).

Les pyrolyseurs lents produisent relativement plus de biochar et des petites quantités de produits énergétiques utilisables que les autres technologies de conversion thermochimique.

Les pyrolyseurs lents peuvent également être optimisés pour la production du biochar de haute qualité, bien que cela dépendra de l'application ciblée, la nature de la matière première ainsi que les détails du processus thermochimique (Pelaez-Samaneigo, M, R et Al, 2008).

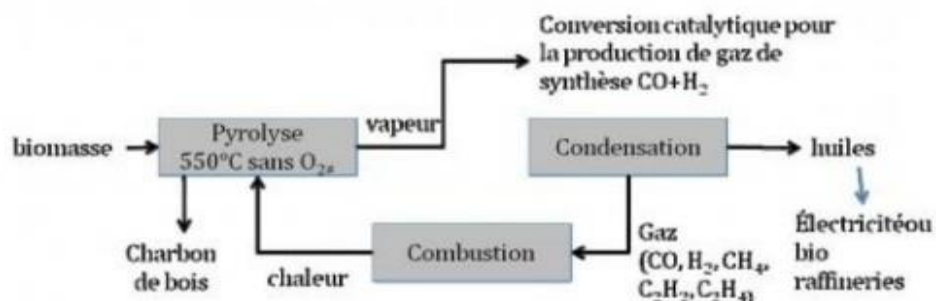


Figure 07 : schéma de principe d'une pyrolyse rapide (Poitrat, 2008. Ademe, 2002).

La technologie de pyrolyse rapide peut avoir des coûts d'investissement relativement Faible et une efficacité de haute énergie par rapport à d'autres processus, en particulier sur Une petite échelle.

4.2.2. Pyrolyse lente :

La pyrolyse lente peut être divisée en fabrication de charbon de bois traditionnel et Des procédés plus modernes, elle se caractérise par une vitesse de chauffage faible de la Biomasse en absence d'oxygène (<50 °C/min) jusqu'à des températures de réactions Inférieures à la pyrolyse rapide (400 °C) et des temps de séjour du solide de quelques Heures. Elle est à ce jour et au niveau industriel généralement réalisée a pression atmosphérique (Poitrat, E, 2008. Ademe, 2002). Le produit cible est souvent le charbon végétal, mais il est toujours Accompagné de produits liquides et de gaz, bien que ceux-ci ne sont pas toujours récupérés, Mais évacués sous forme de fumée avec des problèmes environnementaux qui en découlent (Kammer, M, Iew, J. 2006).

Les procédés traditionnels, en utilisant des puits, des monticules ou des fours, impliquent généralement une combustion directe de la biomasse, le plus souvent du bois, comme source de chaleur dans le four.

Les pyrolyseurs lents ont plusieurs avantages par rapport à d'autres technologies de Conversion thermochimique; les unités ont tendance à être petites et peu coûteuses, elles peuvent accepter diverses sources de matières premières, et la biomasse n'a pas besoin d'être broyée finement. Les pyrolyseurs lents sont cependant difficiles parce que le Transfert de chaleur dans une biomasse grossière est relativement lent, et par conséquent la Matière première va avoir un temps de séjour relativement long dans la chambre de Réaction(**Pelaez-Samaneigo, M, R et Al, 2008**). Les pyrolyseurs lents produisent relativement plus de biochar et des petites Quantités de produits énergétiques utilisables que les autres technologies de conversion Thermochimique.

Les pyrolyseurs lents peuvent également être optimisés pour la production du biochar De haute qualité, bien que cela dépendra de l'application ciblée, la nature de la matière Première ainsi que les détails du processus thermochimique (**Pelaez-Samaneigo, M, R et Al, 2008**).

4.2.3. Pyrolyse flash :

La pyrolyse flash de la biomasse est un procédé prometteur pour la production de Combustibles solides, liquides et gazeux à partir d'une biomasse qui peut atteindre jusqu'à 75 % du rendement des biohuiles (**Demirbas, A, 2000**). Ce processus peut être caractérisé par une Dévolatilisation rapide dans une atmosphère inerte, vitesse de chauffage élevée des Particules, des hautes températures de réaction comprises entre 450 °C et 1000 °C, et un Temps de résidence de gaz très court (moins de 1s) (**Aguado, R, et Al, 2002**). Toutefois, ce processus a des Limites technologiques, par exemple: une mauvaise stabilité thermique et la corrosivité de L'huile, des matières solides dans l'huile et l'augmentation de la viscosité au cours du temps Par l'action catalytique du char (**Cornelissen, T et Al, 2008**).

5. L'effet du biochar

5.1. l'effet du biochar sur le sol

Les effets du biochar sur le pH du sol sont variables selon les études. Le pH du biochar Influence, en l'augmentant ou le diminuant, celui du sol dans lequel il est incorporé (**Lehmann, 2007 ; Chan & Xu, 2009**). Le pH diminue lorsque son carbone est oxydé en acides carboxyliques, Tandis qu'il augmente lorsque des minéraux basiques sont mis en solution (**Cheng et al., 2006 ; Lehmann et al., 2011**).

L'effet du biochar dépend de l'état de chaulage, de la matière première Utilisée, de la température de pyrolyse (**Lehmann, 2007 ; Chan & Xu, 2009**) et du degré D'oxydation du biochar (**Cheng et al., 2006**).

Le biochar affecte plusieurs propriétés physiques des Sols. Il réduit tout d'abord la force de tension du sol (**Chan et al., 2007**), définie comme étant la Résistance du sol à une charge mécanique (**Li et al., 2019**). Sa diminution permet aux racines et aux mycorhizes de creuser dans le sol et de trouver les nutriments plus efficacement. Elle permet Aussi aux graines de se développer plus facilement (**Bengough & Mullins, 1990**).

Les invertébrés Ont eux plus de facilité à se mouvoir dans le sol, influençant les relations proies-prédateurs, ce qui Peut nuire au développement racinaire. L'impact net positif ou négatif de la diminution de la Tension du sol sur les racines n'a cependant pas été démontré (**Lehmann et al., 2011**). Le biochar Est constitué de pores de différentes tailles et sa densité est inférieure à celle de certains minéraux. De ce fait, il augmente la porosité et la réserve utile en eau du sol (**Lehmann et al., 2011**).

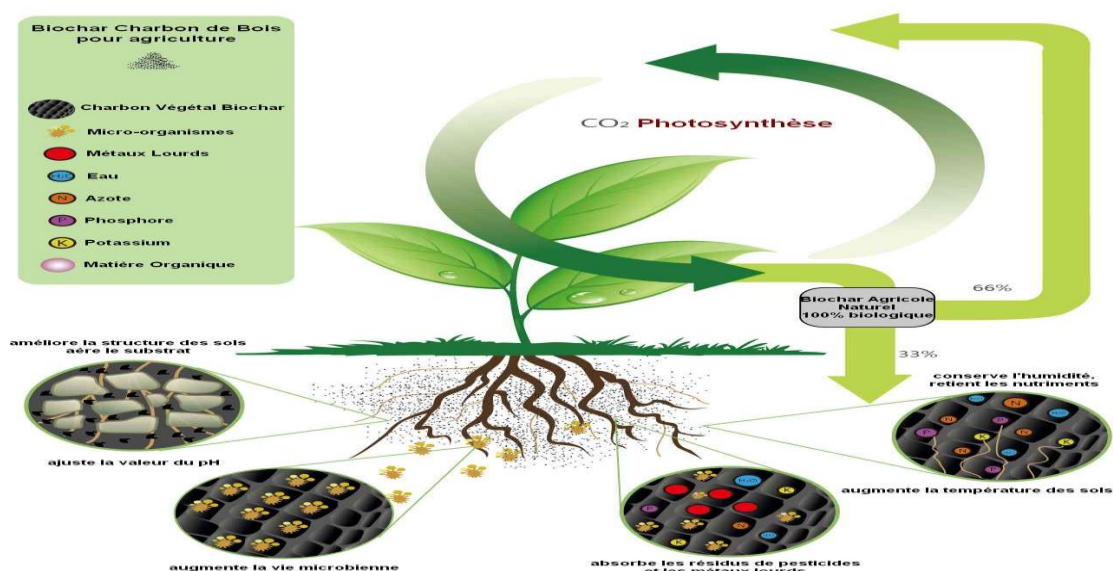


Figure 08: biochar ou charbon de bois un remède miracle pour l'agriculture

5.2. L'effet du biochar sur la croissance de plante :

Le biochar peut avoir un effet bénéfique sur la croissance des plantes (**Biedermann et Harpole, 2013**). Par exemple, (**Graber et al., 2010**) ont étudié l'apport de biochar de citronnier (1, 3 et 5% m/m) sur la croissance de la tomate et du poivron dans de la fibre de coco. Selon leurs résultats, la croissance de la tomate et du poivron a été significativement plus élevée dans les substrats amendés en biochar que dans le témoin sans amendement. Une autre étude a démontré un effet bénéfique sur la croissance de la tomate et du poivron suite à un amendement en biochar dans un sol sableux (**Harel et al., 2012**).

Ils mentionnent que l'effet du biochar varie beaucoup avec le type de sol et le type de culture et qu'une interaction entre la plante, le sol et le type de biochar est possible. D'autre part, une Étude récente rapporte que l'ajout de 5% (m/m) de biochar (mélange d'écorces de riz et de coton) dans un loam sableux a permis de réduire les apports en eau sans affecter les rendements d'une culture de la tomate (Akhtar et al., 2014). Selon les auteurs de cette étude, l'augmentation du pouvoir de rétention dans le sol amendé en biochar pourrait avoir contribué à réduire le nombre d'irrigations. Toutefois, des effets divergents peuvent se manifester et cela va dépendre des exigences nutritionnelles, du type de cultivar et du stade de développement de la plante (accari et Al., 2015).

5.3. Effet du biochar sur le rendement végétal :

En règle générale, l'amendement en biochar améliore la production végétale, cependant, des résultats antagonistes ont été rapportés dans la littérature. Des auteurs ont rapporté lors d'une expérimentation sous serre une augmentation significative (jusqu'à 96 %) des rendements de radis au cours de l'application de biochar issu de la litière de volaille et ont suggéré que cette augmentation du rendement est en grande partie en raison de la capacité du biochar à augmenter la disponibilité de N (Chan, K., 2008, Edmund C., 2012).

Tandis que dans une étude menée sur 4 ans, le rendement du maïs n'a pas augmenté de manière significative lorsqu'un taux de 20 t ha⁻¹ de biochar de bois a été ajouté au cours de la première année, mais a augmenté de 28 % dans la deuxième année à 140 % dans la quatrième année (Major, J., et Al., 2010).

Les auteurs ont attribué l'augmentation du rendement à l'augmentation du pH et à la rétention des éléments nutritifs dans le sol suite à l'application du biochar (Major, J., et Al., 2010). Cependant, d'autres études ont rapporté que l'application du biochar avait moins d'effets sur le rendement prévu (Gaskin, J et Al., 2010), et que le rendement a diminué au plus bas lors de l'application du biochar à base de déchets verts (10 t ha⁻¹), mais a augmenté lorsque le biochar a été appliqué avec un engrais azoté (Yorror, D., 2014).

Le biochar peut augmenter la nutrition azotée du végétal lorsqu'il est appliqué avec un engrais azoté qui augmenterait les rendements de cultures (Steiner et Al., 2007). Ceci est dû soit à la diminution de la perte d'azote en raison de l'augmentation de la CEC du sol (Chan, K et Al., 2008), ou à la capacité du biochar à inhiber la transformation du N-NO₃ et N-NH₄ libéré par les engrais. (Soehono, L., et Al., 2012).

Le biochar, ainsi, fonctionne comme un conditionneur du sol, en améliorant la croissance des plantes par sorption et la mobilisation des nutriments importants, en particulier le P, pour la croissance des plantes. L'effet du biochar sur la productivité des cultures est

crucialement lié aux communautés microbiennes responsables de la solubilisation du phosphore, qui améliorent l'absorption des nutriments par les racines. L'absorption accrue du P par les plantes est particulièrement importante dans les sols pauvres en éléments nutritifs, tels que sous les tropiques (Deba D. et Al. 2016).

Aussi ;les parcelles amendées de biochar recevant le NPK ont enregistré plus de rendement par rapport aux parcelles témoins où le rendement a diminué rapidement. Lors des essais en pot d'une culture de riz les résultats des sols semi-arides en Australie ont montré une réponse positive au biochar en combinaison avec de l'engrais (Chan,KY et Al.2007).

Cette divergence entre les réponses des cultures à l'utilisation de biochar est encore En recherche, elle peut être expliquée par divers facteurs tels que (lie,J et Al.2012):

- ❖ **La quantité de biochar appliquée:** des recherches montrent l'existence d'une quantité maximale de biochar pour différentes cultures, ce qui conduit à des baisses de rendement, si cette dose est dépassée (Lehman,Jet Al.2006).
- ❖ **Les propriétés du biochar:** les propriétés de biochar sont dictées par le type de biomasse et la température de pyrolyse utilisée (Abiven,S.2015).
- ❖ **Le type de sol:** plus la qualité du sol est médiocre(faible teneur en matière organique, le pH et la disponibilité des nutriments) plus la réponse descultures est positive (Lie,J et Al .2012).
- ❖ **Le nombre d'années successives de la culture:** l'effet bénéfique du biochar Augmente à mesure que les années passent (Prommer,J et Al.2012).
- ❖ **Type de culture:** le type de cultures testées influence la réponse.

Chapitre II

Matériel et méthodes

1. Fabrication de biochar à partir des déchets ménagers organiques et agricoles

Les étapes à suivre pour arriver à la fabrication de biochar sont:

1.1. Collecte, séchage et tri des déchets agricoles et ménagers :



1.2. Transformation des déchets en Biochar :

Nous avons réalisé une charbonnière basée sur un processus de pyrolyse. La pyrolyse est un procédé de décomposition (lyse) thermo-chimique (pyro), dans lequel la matière organique est transformée par chauffage dans une absence d'oxygène partielle ou totale en une matière solide et volatile riche en carbone.

1.3. Le produit fabriqué (Biochar)



Figure. Biochar fabriqué à partir des déchets organiques ménagers organiques (Ordures de fruits et légumes) et agricoles (résidus de bois des branches et des écorces de chêne vert)

2. Expérimentation sur terrain

2.1. Le site expérimental

Le site expérimental (parcelle agricole) est situé à l'université 20 Aout 1955 Skikda, c'est ex champs d'arboriculture, Abattu et délaissai pendant plus de 10 ans. Sur le plan géomorphologique, le profil apparait dans les sols situés sur des terrasses alluviales de pente très faible, à quelques mètres d'oued Zeramna. Un profil pédologique a été effectué pour caractériser le sol. Les caractéristiques morphologique analytiques de sol sont indiqués dans le chapitre résultats et discussion.

2.2. Le biochar

Le biochar fabriqué avec des résidus de bois comme des branches et des écorces de chêne vert (*Quercus ilex*), est finement broyé et tamisé ($\leq 2\text{mm}$) afin de l'analyser.

2.3. Le compost

Le Compost composite issu d'un mélange de 5 différents composts, fabriqués à Skikda, broyé et tamisé à 2mm pour avoir un mélange homogène.

2.4. L'engrais

Les engrais utilisés dans cette expérimentation sont :

Le MAP

L'urée

K₂SO₄

Les doses d'engrais apportés sont calculées à base des besoins nutritionnels de la culture de blé en NPK

2.5. Les traitements

Les traitements sont basés sur la dose de biochar apportée et le type d'activation de biochar (engrais chimiques ou compost)

T0: Témoin sol sans apport

T1: Traitement 1 (1kg de biochar + engrais)

T2 : Traitement 2 (2kg de biochar + engrais)

T3: Traitement 4 (1kg de biochar + engrais + compost)

T4: Traitement 3 (1,5 kg Compost seul)

Les traitements ont été réalisés sur des parcelles de 1m², en raison de trois répétition pour chaque.

T0R1	T2R2	T4R3
T1R1	T1R2	T3R3
T2R1	T0R2	T2R3
T3R1	T3R2	T1R3
T4R1	T4R2	T0R3

1.1. La culture et sa mise en place de semis

La culture choisie est le blé dur, variété précoce VITRON. La mise en place de semis de la culture est faite le la fin janvier, un peu tard suite à des empéchement de préparation. les différentes caractéristiques de culture ont été mesuré suivant les stade végétatives.



Figure. Le site expérimental, présentation des blocs de traitements (randomisation total) et la mise en place de la culture de blé

Chapitre III.

Résultats et discussion

1. Caractéristique du sol

1.1. Caractéristiques morphologiques et analytiques du profil pédologique de la parcelle agricole du site expérimental

Description morphologique

Nom du profil : Université 1

Numéro du profil : P1

Date de description : Avril 2023

Localisation : 36°50'55.25"N, 6°53'45.68"E

Physiographie : Terrasse alluviale

Topographie : Pente à 2%

Matériau parental : Dépôt alluvionnaire sous Micaschiste

Occupation des sols : Champs expérimental, l'année de description (Sol délaissé pendant plus de 10 ans, ex champ d'arboriculture)

Drainage : Mauvais

Classification USDA 2022 : CumulicHaploxeroll

Classification CPCS 1967 : Sol peu évolué d'apport alluvial humifié



Photo représentative du profil

Horizon Ap (0 – 25cm) : Horizon labouré, frais, brun à brun foncé, Brown (7,5YR 3/3) à l'état sec, Dark Brown (7,5YR 2,5/2) à l'état humide. Limoneux argileux, structure polyédrique fine, friable, collant, enracinement moyennement dense, végétation herbacée, très peu d'éléments grossiers (1%), pas d'effervescences à l'HCl, transition diffuse.

Horizon AC (25 – 40 cm) : Frais, brun à brun foncé, Brown (7,5YR 3/5) à l'état sec, Dark Brown (7,5YR 3/5) à l'état humide. Limoneux argileux, structure polyédrique moyenne, compact, collant, faible enracinement, pas d'éléments grossiers, pas d'effervescences à l'HCl, transition diffuse.

Horizon IIC1 (40 - 60cm) : Frais, brun foncé, Brown (7,5YR 5/3) à l'état sec, VeryDark Brown (7,5YR 2,5/1) à l'état humide. Argileux limoneux, structure polyédrique moyenne, très compact, collant, très peu de racine, pas d'éléments grossiers, pas d'effervescences à l'HCl, transition diffuse.

Horizon IIC2 (60-80 cm) : Frais, brun foncé, Brown (7,5YR 5/3) à l'état sec, VeryDark Brown (7,5YR 2,5/2) à l'état humide. Argileux limoneux, structure polyédrique moyenne, compact, collant, très peu de racine, pas d'éléments grossiers, pas d'effervescences à l'HCl.

Résultats analytiques du profil

Tableau : Résultats des analyses physiques et chimiques du profil 01

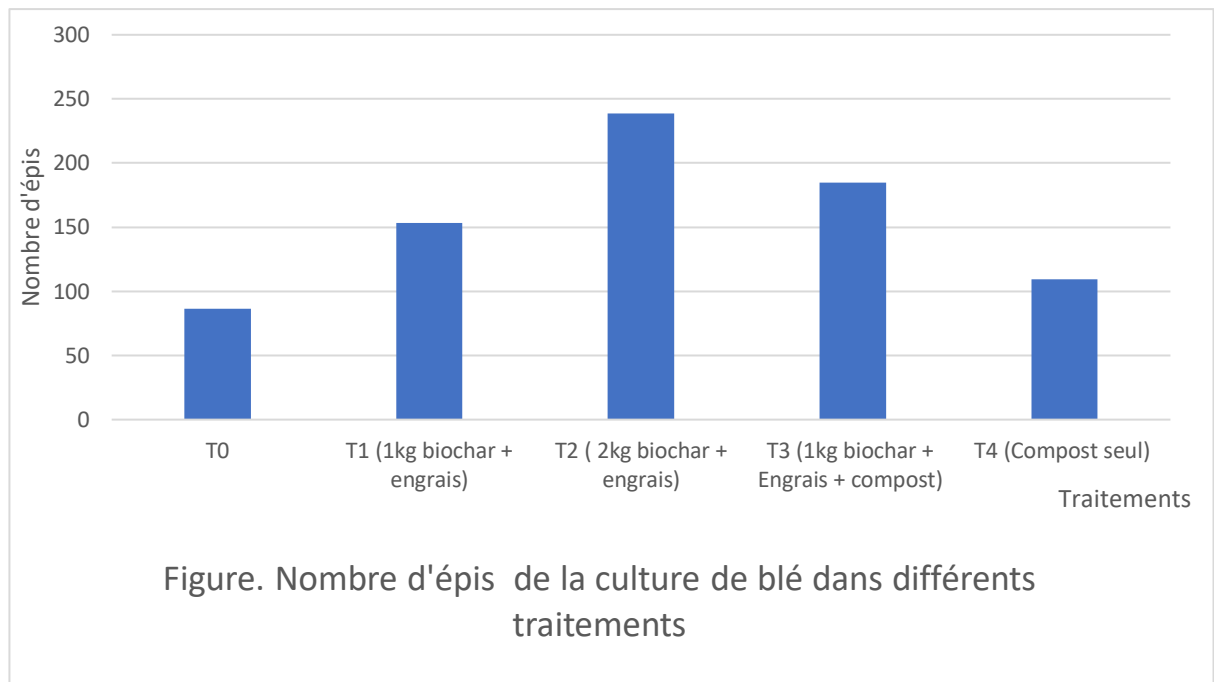
Horizon	H1	H2	H3	H4
Profondeur (cm)	0-25	25-40	40-60	60-80
Argile %	32,0	37,2	44,0	46,5
Limon %	47,8	52,2	47,0	40,8
Sable %	21,0	10,6	9,0	12,8
Texture	Limoneux - argileuse	Limoneux -argileuse	Argilo- limoneuse	Argilo- limoneuse
Élément grossiers %	1	0	0	0
Da	1,30	1,32	1,42	1,42
Dr	2,18	2,08	2,21	1,85
Porosité %	40,37	36,55	35,99	23,31
Humidité à pF 3 %	24,23	23,84	31,13	19,80
Humidité à pF 4,2 %	13,94	13,90	21,85	11,51
RU (mm)	33,44	19,69	26,35	23,56
MO %	1,52	2,96	2,22	1,49
Carbone %	0,88	1,72	1,29	0,86
Azote %	0,1	0,108	0,0821	0,069
C /N	8,8	15,92	15,71	12,46
pH eau	6,6	6,2	5,85	6,02

pH KCl	5,82	5,41	5,19	5,81
Calcaire total %	0	0	0	0
CEC (cmol /kg)	12,8	14,9	16,5	17,5
Ca ⁺⁺ (cmol /kg)	6,6	6,7	7,5	7,1
Mg ⁺⁺ (cmol /kg)	4,1	4,5	4,7	5,4
Na ⁺ (cmol /kg)	0,5	0,4	0,5	0,5
K ⁺ (cmol /kg)	0,7	1,3	1,5	1,5
V %	95	86 ,57	86,06	82,85

Caractéristiques synthétiques et interprétation du profil pédologique

Le Profil est localisé dans un champ expérimental (parcelle agricole) à l'université 20 Aout 1955 Skikda, c'est ex champs d'arboriculture, Abattu et délaissai pendant plus de 10 ans. Sur le plan géomorphologique, le profil apparait dans les sols situés sur des terrasses alluviales de pente très faible, à quelques mètres d'oued Zeramna. Selon la classification USDA, il appartient à l'ordre des Mollisols – CumulicHaploxeroll (Ap/C/IIC1/IIC2), sol peu évolué d'apport alluvial noirci-humifère, selon la classification française CPCS. C'est un sol profond, brun foncé, compact, moyennement poreux, caractérisé par une structure polyédrique fine à moyenne, de texture limono-argileuse en surface à argilo- limoneuse en profondeur, avec un taux d'argile qui varie de 32 % en surface à plus de 37 % en profondeur, contribuant à une bonne réserve et rétention en eau, cependant le drainage interne très mauvais favorise la stagnation d'eau en surface et le problème d'asphyxie. Le sol est marqué par un taux d'azote faible et un taux de carbone organique faible à moyen, qui varie de 0,88 % à 0,72 %, ce dernier présente des fluctuations en profondeur traduisant le caractère alluvial de ces sols. La CEC du sol est faible en surface à moyenne en profondeur, variant de 12 à 17 cmol/kg, avec un complexe adsorbant riche en calcium. En effet le sol est non salé, non calcaire à pH légèrement acide.

2. Effets du biochar sur les différentes caractéristiques de la culture de blé



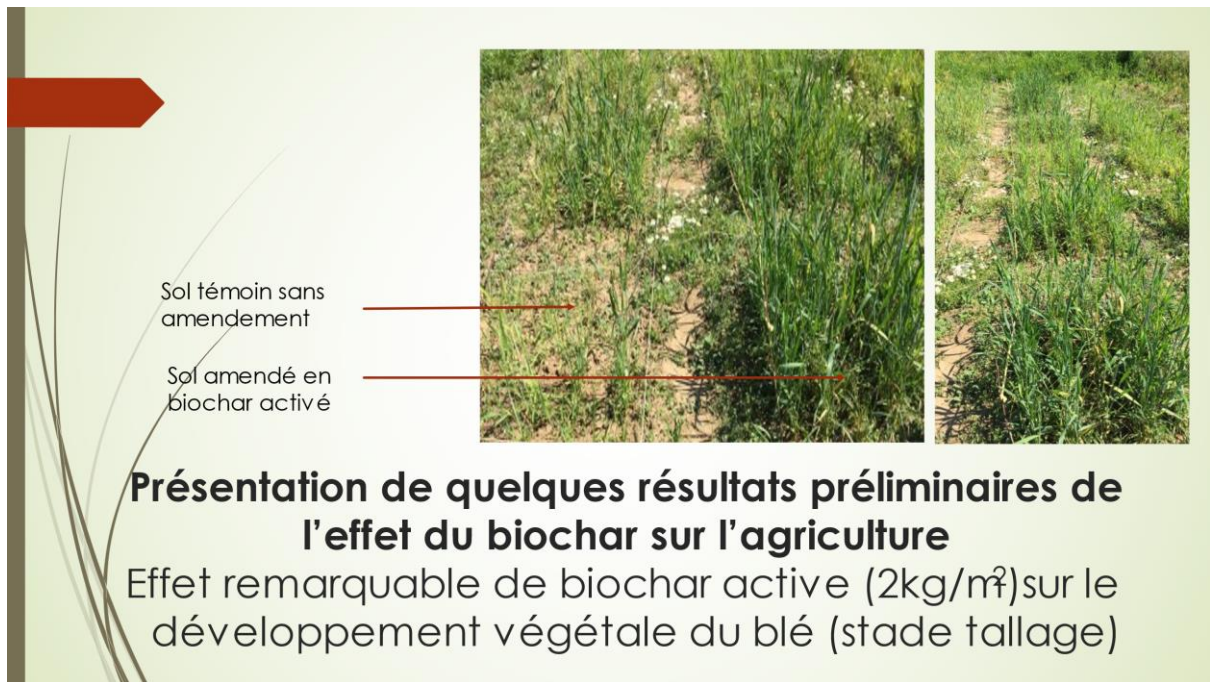


Figure. Champ de blé (stade tallage)

Conclusion et discussion

L'objectif de cette étude est la fabrication du biochar à partir des déchets ménagers organiques et agricoles, et voir son effet, comme amendement organique du sol, sur les propriétés du sol et la production de la culture de blé. Pour atteindre cet objectif, des parcelles d'un mètre carré ont été préparées avec différents traitements de biochar, en raison de trois répétitions totalement randomisées. T0 : témoin sans apport, T1 : 1kg de biochar activé par des engrais, T2 : 2kg de biochar activé par des engrais, T3 : 1kg de biochar activé par l'engrais et le compost, T4 : compost seul. Nous visons à voir l'effet de la dose du biochar et le type d'activateur sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol et le rendement de la culture.

À la lumière des résultats obtenus sur le site expérimental, nous pouvons récapituler que l'amendement du sol en biochar en raison de 2 kg/m² activé par les engrais (urée, MAP et K₂SO₄) a permis de stocker mieux le carbone organique dans le sol et influence par conséquent la production et la croissance de la culture de blé. Venant en second lieu le traitement du sol par le biochar 1kg activé par le compost et l'engrais. Enfin le sol Les faibles rendements sont signalés dans le sol seul sans amendement.

L'application du biochar avait pour effet d'augmenter la population et l'activité biologiques des sols et d'accroître l'efficacité de la fertilité du sol, il augmente la disponibilité des nutriments des plantes, et le rendement des cultures. En outre, avec ses propriétés récalcitrantes, le biochar est un bon puits de stock de carbone, ce qui pourrait contribuer à réduire le réchauffement climatique dû à l'émission de méthane. Mais aussi les résultats confirment la complexité des effets des biochars sur les processus biologiques, chimique et physique des sols et leur spécificité en fonction des biochars eux-mêmes et des sols auxquels ils sont appliqués.

Des études approfondies sont nécessaires pour développer ces recherches pour voir l'effet à plus long terme des biochars utilisés, sur les processus physicochimiques et biologiques des sols étudiés, et d'autre part mesurer les activités enzymatiques par des méthodes appropriées à la réactivité du biochar.

Liste des références :

- 1- Stavi, I. & Lal, R. Agroforestry and biochar to offset climate change: A review. *Agron. Sust. Develop.* 33, 81–96 (2013).
- 2- Luc Gerard.o//iedafrique.org
- 3- Yao Et Al.2012
- 4- Sohi, S. P. (2012). Carbon storage with benefits. *Science* 338: 1034-1035
- 5- Sohi, S. P. (2012). Carbon storage with benefits. *Science* 338: 1034-1035
- 6- Luc Gerard.o//iedafrique.org
- 7- Luc Gerard.o//iedafrique.org
- 8- [Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., and Zech, W. (2001). The Terra Pretaphenomenon: a model for Sustainable agriculture in the humidtropics. *Naturwissenschaften* 88, 37-41.
- 9- Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 381–387
- 10- Steiner, C., Teixeira W.G., Lehmann J., Nehls T., Vasconcelos de Macêdo J.L., Blum W.E.H. et 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: 275-290.
- 11- Rillig, M.C. et Mummey, D.L. (2006). Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist.* 171: 41-53.
- 12- Gravel, V., Dorais, M., et Ménard, C. (2013). Biochar used in combination with Organic fertilization for potted plants: its effect on growth and pythium Colonization. *Canadian Journal of Plant Science.* 93: 1217-1227.
- 13- wikipedia.com
- 14- Wikipedia.com
- 15- Wikipedia.com
- 16- Lehmann, J., et Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: science And technology. Earthscan, London. Pp. 1-405.
- 17- Shackley, S., Ruyschaert, G., Zwart, K., & Cross, A. (2016). The role of biochar in Agricultural soils. In *Biochar in European Soils and Agriculture: Science and Practice* (1 Edition). Routledge.
- 18- Lehmann, J. (2007 b) ‘A handful of carbon’, *Nature*, vol 447, pp143–144.
- 19- Luc Gerard, O//iedafrique.org
- 20- Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 381–387.

- 21- Lehmann, J., JosephS., 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earthscan, London, Sterling, VA.
- 22- Shackley, S., Ruyschaert, G., Zwart, K., & Cross, A. (2016). The role of biochar in Agricultural soils. In *Biochar in European Soils and Agriculture: Science and Practice* (1 Edition). Routledge.
- 23- adorla.com
- 24- Brennan JK, Bandosz TJ, Thomson KT, Gubbins KE. Water in porous carbons. *Colloids and Surfaces A.* 2001; 187-188:539-568
Lehmann J, Joseph S. Biochar

- systems. In: Lehmann J, Joseph S (ed). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, 2009; 147-168
- 25- Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. *Biology and Fertility of Soils*. 2002; 35:219-230
 - Karhu K, Mattila T, Bergstrom I, Regina K. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity- results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 2011; 140:309-313.
 - 26- Krull ES, Baldock JA, Skjemstad JO, Smernik RJ. Characteristics of biochar: Organo-chemical properties. In Lehman J, Joseph S (ed). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London, 2009.
 - 27- Hammes K, Smernik RJ, Skjemstad JO, Herzog A, Vogt UF, Schimdt MWI. Synthesis and characterization of laboratory-charred grass straw (*Oryza Sativa*) and Chestnut Wood (*Castanea sativa*) as reference materials for black carbon quantification. *Organic Geochemistry*. 2006; 37:1629-1633.
 - 28- Novak J, Cantrell K, Watts D. Compositional and thermal evaluation of lignocellulosic and poultry litter chars via high and low temperature pyrolysis. *Bio Energy Research*. 2013; 6:114-130
 - 29- Demirbas, A. 2001. Carbonization ranking of selected biomass for charcoal, liquid and Gaseous products. *Energy Conversion and Management*. 42, 1229-1238.
 - 30- Demirbas, A. 2001. Carbonization ranking of selected biomass for charcoal, liquid and Gaseous products. *Energy Conversion and Management*. 42, 1229-1238.
 - 31- Sun Y, Cheng J (2002) hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production :
 - 32- Les biocarburants 46 (E. Poitrat, 2008 ; ADEME, 2002)
 - 33- Kammer D.M., and D.J Lew. 2005. Review of Technologies for the Production and Use of Bio-char. Energy and Resources Group & Goldman School of Public Policy. UC Berkley and NREL
 - 34- Pelaez-Samaniego M.R., M. Garcia-Perez, L.B. Cortez, F. Rosillo-Calle, and J. Mesa 2008. Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of a global Biomass economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 1063-1086
 - 35- Pelaez-Samaniego M.R., M. Garcia-Perez, L.B. Cortez, F. Rosillo-Calle, and J. Mesa 2008. Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of a global Biomass economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 1063-1086
 - 36- Les biocarburants 46 (E. Poitrat, 2008 ; ADEME, 2002)
 - 37- Les biocarburants 46 (E. Poitrat, 2008 ; ADEME, 2002)
 - 38- Kammer D.M., and D.J Lew. 2005. Review of Technologies for the Production and Use of Bio-char. Energy and Resources Group & Goldman School of Public Policy. UC Berkley and NREL
 - 39- Pelaez-Samaniego M.R., M. Garcia-Perez, L.B. Cortez, F. Rosillo-Calle, and J. Mesa 2008. Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of a global Biomass economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 1063-1086
 - 40- Pelaez-Samaniego M.R., M. Garcia-Perez, L.B. Cortez, F. Rosillo-Calle, and J. Mesa 2008. Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of a

- global Biomass economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 1063-1086
- 41- Demirbas, A. 2001. Carbonization ranking of selected biomass for charcoal, liquid and Gaseous products. *Energy Conversion and Management*. 42, 1229-1238.
 - 42- Aguado, R.; Olazar, M.; Gaisan, B.; Prieto, R.; Bilbao, J. 2002. Kinetic study of Polyolefin pyrolysis in a conical spouted bed reactor. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 41, 4559–4566.
 - 43- Cornelissen, T.; Yperman, Y.; Reggers, G.; Schreurs, S.; Carleer, R. 2008. Flash co-Pyrolysis of biomass with polylactic acid. Part 1: Influence on bio-oil yield and heating Value. *Fuel*, 87, 1031–1041.
 - 44- Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 381–387. Chan K.Y. & Xu Z., 2009. Biochar: Nutrient properties and their enrichment. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Routledge, 67–84.
 - 45- Cheng C.H., Lehmann J., Thies J.E., Burton S.D. & Engelhard M.H., 2006. Oxidation of black Carbon by biotic and abiotic processes. *Org. Geochem.* 37(11), 1477–1488. Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C. & Crowley D., 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biol. Biochem.*
 - 46- Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 381–387. Chan K.Y. & Xu Z., 2009. Biochar: Nutrient properties and their enrichment. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Routledge, 67–84.
 - 47- Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 381–387. Chan K.Y. & Xu Z., 2009. Biochar: Nutrient properties and their enrichment. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Routledge, 67–84.
 - 48- Cheng C.H., Lehmann J., Thies J.E., Burton S.D. & Engelhard M.H., 2006. Oxidation of black Carbon by biotic and abiotic processes. *Org. Geochem.* 37(11), 1477–1488.
 - 49- Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A. & Joseph S., 2007. Agronomic values of Greenwaste biochar as a soil amendment. *Soil Res.* 45(8), 629.
 - 50- Li H. Da, Tang C.S., Cheng Q., Li S.J., Gong X.P. & Shi B., 2019. Tensile strength of clayey Soil and the strain analysis based on image processing techniques. *Eng. Geol.* 253, 137– 148.
 - 51- BENGOUGH A.G. & MULLINS C.E., 1990. Mechanical impedance to root growth: a review Of experimental techniques and root growth responses. *J. Soil Sci.* 41(3), 341–358.
 - 52- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C. & Crowley D., 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biol. Biochem.*
 - 53- Lehmann J., Rillig M.C., Thies J., Masiello C.A., Hockaday W.C. & Crowley D., 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biol. Biochem.*
 - 54- Biederman, L.A., Harpole, W.S., 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy* 5, 202–214.
 - 55- Harel, Y.M., Kolton, M., Elad, Y., Rav-David, D., Cytryn, E., Borenstein, M., Shulchani, R., Graber, E.R., 2012. Biochar impact on plant development and disease resistance in pot trials. *IOBC/WPRS Bulletin* 78, 141–147.

- 56- Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N., Liu, F., 2014. Biochar enhances yield and quality of Tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management* 138, 37–44.
- 57- Chan, K. Y., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie and Joseph, S. 2008. Using Poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research* 46(5): 437–444. Edmunds, C. W. 2012. The effects of biochar amendment to soil on bioenergy crop yield and biomass composition, p108..
- 58- Major, J., J. Lehmann, M. Rondon and Goodale, C. 2010a. Fate of soil-applied black Carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology* 16(4): 1366–1379.
- 59- Major, J., M. Rondon, D. Molina, S. J. Riha and Lehmann, J. 2010 b. Maize yield and Nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil* 333(1-2): 117–128.
- 60- J. W. Gaskin, R. A. Speir, K. Harris et al., —Effect of peanut hull and pine chip biochar On soil nutrients, corn nutrient status, and yield, *Agronomy Journal*, vol. 102, no. 2, pp. 623–633, 2010. View at Publisher · View at Google Scholar · View at Scopus
- 61- Yarrow, D. 2014. Biochar use in soil guidelines & instructions for growers carbon smart Tools for sustainable agriculture.
- 62- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macedo, J. L. V., Blum, W. E. H., & Zech, W. 2007. Long effect of manure, charcoal and mineral fertilization on crop Production and fertility on highly weathered central amazonian upland soil. *Plant Soil*, 291, 275–290.
- 63- Chan, K. Y., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie and Joseph, S. 2008. Using Poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research* 46(5): 437–444.
- 64- Soehono L. A, Guritno, B and Utomo, W.H. 2012. Maize (*Zea mays* L.) in Green House Experiment. *Journal of Agricultural Science* Vol. 4, No. 5;
- 65- Deba, D. Kloft, M, Lässig, J. And Walsh, S. 2016. Variable effects of biochar and p Solubilizing microbes on crop productivity in different soil conditions. *Agroecology and Sustainable food systems.*, vol. 40, no. 2, 145–168.
- 66- Chan K Y, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A and Joseph, S. 2007. Agronomic Values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* 45, 629–634.
- 67- Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B., & 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* 175, 698–707
- 68- Lehmann, Johannes, John Gaunt and Marco Rondon. 2006. “Biochar Sequestration in Terrestrial Ecosystems -A Review.” *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.
- 69- Abiven, S. 2015. Que faut-il penser des biochars? Webinaire de l'Association Française Pour l'Etude des Sols.
- 70- Liu, J., Schulz, H., Brandl, S., Miehtke, H., Huwe, B., & 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* 175, 698–707

- 71- Prommer, J., Wanek W, Hofhansl F, Trojan D, Offre P, Urich T, Schleper C, Sassmann S, Kitzler B, Soja G, Hood-Nowotny RC.,. Biochar decelerates soil organic nitrogen Cycling but stimulates soil nitrification in a temperate arable field trial. *PloS One*. 9.2014