

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI OUZOU

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques

# Mémoire de Fin d'étude

*En vue de l'obtention du diplôme de master II*

*Domaine : science de la nature et de la vie*

*Spécialité : science du sol*

*Thème:*

*Valorisation agronomique d'un  
déchet agroalimentaire*

Proposé et dirigé par : Mme MOUAS BOURBIA S.

Présenté par : Melle KEMMOUM Kamilia

Le : 11-07-2019

Devant le jury :

Présidente : Mme LOUNI D.

M.A.A. à l'U.M.M.T.O.

Encadreur : Mme MOUAS BOURBIA S.

M.C.A. à l'U.M.M.T.O.

Co-encadreur : Melle ISSAOUN D.

Doctorante à l'U.M.M.T.O.

Examinatrice : Mme OMOURI O.

M.A.A. à l'U.M.M.T.O.

Promotion : 2018 / 2019

# *Remerciements*

*Avant tout propos, je remercie « Dieu » le tout puissant qui m'a donné sagesse et santé pour faire ce modeste travail.*

*Il m'est agréable d'exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à Madame MOUAS-BOURBIA S., maitre de conférences à la faculté des sciences biologiques et des sciences agronomique à l'UMMTO de m'avoir encadré. Je lui exprime ma reconnaissance pour ses précieux conseils qui m'ont guidé dans l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude.*

*Mes remerciements les plus respectueux s'adressent :*

*A Madame LOUNI D., maitre assistante à la faculté des sciences biologiques à l'UMMTO de m'avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*A Madame OMOURI O., maitre assistante à la faculté des sciences biologiques et agronomiques à l'UMMTO pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'examiner ce travail.*

*A Monsieur TAMANI S., directeur de l'institut de technologie moyen agricole spécialisé de TIZI-OUZOU d'avoir accepté de collaborer avec nous.*

*A Madame HADJAZ D., ingénieur à l'ITMAS pour ses précieux conseils et son aide pour la réalisation de ce travail.*

*A tout le personnel de l'ITMAS pour leur aide et sympathie.*

*A Monsieur KECHIDI A., ingénieur du laboratoire de chimie pour son aide précieuse.*

*A Monsieur RABHI K, pour son aide et ses orientations précieuses.*

*Au terme de ce travail, je tiens à remercier tous ceux et celles qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail, ainsi que toute la promotion de pédologie 2018/2019.*

**BG** : biochars de grignons

**BS** : biochar de sciure

**F** : fumier

**C** : carbone

**K** : potassium

**CE** : conductivité électrique

**pH** : potentiel hydrogène

**C/N** : rapport teneur en carbone sur teneur en azote

**Da** : densité apparente

**cm** : centimètre

**mm** : millimètre

**µm** : micromètre

**ml** : millilitre

**nm** : nanomètre

**µs** : micro siemens

**%** : pourcentage

**Ø** : diamètre

**I.T.M.A.** : institut de technologie moyen agricole spécialisé

**MEB** : microscope électronique à balayage

**N** : nord

**E** : Est

**° C** : degré Celsius

**L.F** : limons fins

**L.G** : limons grossiers

**S.F** : sables fins

**S.G** : sables grossiers

**ANOVA** : analyse de variance

**Figure 1.** Localisation du site expérimental

**Figure 2.** Disposition des pots sous serre (a et b)

**Figure 3.** Plants de courgette (variété BARAKA)

**Figure 4.** Schéma du four à biochar (a) et du bidon à pyrolyse (b)

**Figure 5.** Four à biochar (a) et bidon à pyrolyse (b)

**Figure 6.** Fumier de bovin

**Figure 7.** Gravier moyen utilisé

**Figure 8.** Mélange en pot

**Figure 9.** Témoin en pot

**Figure 10.** Matériels utilisés

**Figure 11.** Premier arrosage des plants

**Figure 12.** Échantillonnage du sol à différents points (méthode d'échantillonnage)

**Figure 13.** Triangle de texture de l'U.S.D.A. (1986)

**Figure 14.** Les constituants de base du biochar (a : sciure de bois et b : grignon d'olive)

**Figure 15.** Les biochars (a : biochar de sciure et b : biochar de grignon)

**Figure 16.** Grignon avant pyrolyse à différents grossissements

**Figure 17.** Biochar de grignon à différents grossissements

**Figure 18.** Sciure de bois avant pyrolyse à différents grossissements

**Figure 19.** Biochar de sciure à différents grossissements

**Figure 20.** Courbes de l'évolution du pH entre T = 0 et T = 30 jours su sol sableux

**Figure 21.** Courbes de l'évolution du pH entre T = 0 et T = 30 jours du sol limono-argileux

**Figure 22.** Courbes de l'évolution de la CE entre T =0 et T = 30 jours du sol sableux

**Figure 23.** Courbes de l'évolution de la CE entre T = 0 et T = 30 jours du sol limono-argileux

**Figure 24.** Comparaison entre deux plans à la 1<sup>ière</sup> semaine de plantation  
(le 09-05-2019)

**Figure 24.** Croissance à la 1<sup>ière</sup> semaine après plantation (le 12-05-2019)

**Figure 25.** Plants de courgette sur sols 1 (b) et 2 (a) à la 2<sup>ème</sup> semaine de plantation (le 19-05-2019) de gauche à droite : BS30, BS15, BG30, BG15, F et témoin

**Figure 26.** Comparaison de la floraison des plants entre les traitements et le témoin (le 29-05-2019) de gauche à droite : BS30, BS15, BG30, BG15, F et témoin

**Figure 27.** Floraison du plant de courgette sur sol à 30% B

**Figure 28.** Floraison des plants à T = 30 jours

**Figure 29.** Fructification d'un plant de courgette au bout de 47 jours (le 18-06-2019)

**Figure 30.** Nombre de fleurs/plant sur sol sableux à différents traitements

**Figure 31.** Nombre de fruits/plant sur sol sableux à différents traitements

**Figure 32.** Diamètres des tiges des plants sur sol sableux à différents traitements

**Figure 33.** Nombre de fleurs/plant sur sol limono-argileux à différents traitements

**Figure 34.** Nombre de fruits/plant sur sol limono-argileux à différents traitements

**Figure 35.** Diamètres des tiges des plants sur sol limono-argileux à différents traitements

**Tableau 1.** Dispositif expérimental utilisé (dispositif en bloc aléatoire complet)

**Tableau 2.** Traitements pour le sol 1 et nombre de pots/traitement

**Tableau 3.** Traitements pour le sol 2 et nombre de pots/traitement

**Tableau 4.** Résultats des analyses chimiques des constituants

**Tableau 5.** Granulométrie des sols 1 et 2

**Tableau 6.** Résultats de l'analyse du pH et de la CE à T = 0

**Tableau 7.** Résultats de l'analyse du pH et de la CE à T =30 jours

**Tableau 8.** Résultats des mesures biométriques

# Sommaire

## **Introduction**

## **Synthèse bibliographique**

- I. Le biochar
  1. Historique
  2. Définition
  3. Grignons d'olives
  4. Sciure de bois
  
- II. Le fumier
  1. composition
  2. précautions d'usage
  3. intérêts de l'utilisation du fumier
  
- III. Intérêts du biochar
  1. Caractéristiques physico-chimiques :
    - 1.1.Composition chimique
    - 1.2.Structure du biochar
    - 1.3.Densité apparente du biochar
    - 1.4.Propriétés d'échange ionique du biochar
    - 1.5.Le pH
  2. Le potentiel du biochar à augmenter le stockage de carbone dans le sol
  3. Impact du biochar sur les propriétés du sol
  4. Impact du biochar sur la croissance des plantes
  
- IV. La culture de courgette
  1. Description botanique de la plante
    - 1.1.L'origine
    - 1.2.La plante
      - 1.2.1. Le système racinaire
      - 1.2.2. La tige
      - 1.2.3. Les feuilles
      - 1.2.4. Les fleurs
      - 1.2.5. Le fruit
      - 1.2.6. Les semences
  2. Les exigences climatiques de la plante
    - 2.1.Les températures
    - 2.2.Hygrométrie de l'air et humidité du sol
    - 2.3.La luminosité ou intensité lumineuse
  3. Le rendement de la courgette en Algérie

## **Matériels et méthodes**

- I. Caractéristiques et localisation du site expérimental
  1. Coordonnées géographiques
  2. Données météorologiques
- II. Dispositif expérimental
- III. Fabrication des biochars
  1. La pyrolyse
  2. Le four à biochar
- IV. Mise en place des mélanges en pots
  1. Préparation des sols
  2. Récupération du fumier
  3. Préparation des pots
  4. Matériels utilisés
- V. Arrosage après la plantation
- VI. Echantillonnages des sols
  1. Echantillonnages à T = 0 et à T = 30 jours
  2. Analyses chimiques et physique des échantillons de sols 1 et 2 et des biochars (BS et BG)
    - Etape 1 : tamisage et séchage des échantillons
    - Etape 2 : les analyses : pH-CE- analyse granulométrique
  3. Matériels utilisés
- VII. Analyse des biochars avec le MEB

## **Résultats et discussion**

- I. Les biochars
- II. Caractérisation des constituants
  1. Caractérisations chimiques et physique
    - 1.1. Le pH
    - 1.2. La CE
    - 1.3. La granulométrie
  2. Caractérisation des grignons et sciure avants et après pyrolyse au MEB
  3. Caractérisation des mélanges (traitements)
    - 3.1. Evolution du pH entre T = 0 et T = 30 jours
    - 3.2. Evolution de la CE entre T = 0 et T = 30 jours
  4. Résultats des différents traitements sur le végétal
    - 4.1. Suivi de la croissance des plants
    - 4.2. Mesures biométriques

## **Conclusion et perspectives**

Les changements climatiques observés récemment sont liés à un réchauffement de la planète. L'augmentation de la température moyenne globale est causée très probablement par une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, dont les émissions sont liées principalement aux activités anthropiques. La mise en œuvre de modes de gestion des terrains agricoles et pâturages aptes à augmenter les stocks de carbone dans les sols a été évoquée parmi les stratégies possibles de mitigation des changements climatiques (IPCC Core Writing Team PACHAURI et MEYER, 2014).

Le 21ème siècle est également caractérisé par une augmentation de la population mondiale, qui passera de 7.4 milliards en 2015 à 11.2 milliards en 2100 (United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, 2015), ce qui nécessite de doubler les productions agricoles avant 2050 (TILMAN et al, 2011). L'objectif paraît très ambitieux pour de multiples raisons parmi lesquelles on peut citer l'impact des changements climatiques sur les productivités agricoles elles-mêmes (RAY et al, 2013; ROSENZWEIG et al, 2014). Pour répondre à ces deux problématiques, depuis une décennie, l'enfouissement du charbon végétal (*biochar*) dans les sols est proposé comme une stratégie durable pour à la fois (1) mitiger les changements climatiques et (2) augmenter les productions agricoles (BIEDERMAN et HARPOLE, 2012; Laird, 2008). En effet, le temps de résidence du biochar dans les sols est probablement de l'ordre de plusieurs centaines d'années (WANG et al, 2015). Ainsi, l'amendement modifie les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des sols à long terme. Toutefois, jusqu'à présent ces impacts et les mécanismes sous-jacents sont peu connus et mal compris.

L'industrie agroalimentaire constitue un réceptacle de premier choix pour les déchets qu'elle génère. Jadis, Les processus de valorisation étaient abandonnés au profit des techniques d'élimination simples et rapides : l'incinération et la mise en décharge, Le règne de la décharge s'est installé pour atteindre son apogée dans les années 60-70.

Aujourd'hui cette situation n'a plus cours. La prise en compte de l'intérêt croissant des populations pour la préservation de l'environnement a conduit à modifier cette gestion des déchets.

L'objectif général de ce mémoire de fin d'étude a été donc de mettre en valeur un déchet agroalimentaire : le grignon d'olive et de comprendre l'effet du biochar sur les propriétés du sol et sur la croissance des végétaux.

Pour faire nous nous sommes servies de la culture de courgette que nous avons planté sur deux types de sols amendés avec du fumier et du biochar (biochar de grignon et biochar de sciure) à différentes doses : sol limono-argileux de l'I.T.M.A.S. de BOUKHALFA sensés être favorable à la culture de la courgette et sol sableux d'une orangerie à BOUKHALFA.

Les objectifs spécifiques de ce mémoire ont été :

**1<sup>er</sup> Objectif** : diminuer la pollution causée par l'industrie agroalimentaire.

Pour répondre au 1<sup>er</sup> objectif, un déchet agroalimentaire : grignons d'olives, a été mis en valeur et transformé en amendement pour le sol.

**2<sup>ème</sup> Objectif** : étude de l'effet du biochar sur les propriétés physico-chimiques du sol et sur la culture de la courgette.

Pour répondre au 2<sup>ème</sup> objectif, le grignon d'olive a été transformé en biochars par le processus de pyrolyse. A titre de comparaison un biochar à base de sciure de bois a été fabriqué. Ils ont été utilisés en association avec le fumier comme amendements d'un sol sableux et limono-argileux pour une culture de courgette.

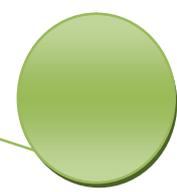
Ce mémoire se scinde en trois chapitres :

**Chapitre 1** : synthèse bibliographique.

**Chapitre 2** : matériels et méthodes.

**Chapitre 3** : résultats et discussion.

Une conclusion associée à des perspectives vient clore ce travail.



## I. Le biochar

### 1. Historique

Les traces attestant la maîtrise de la réaction de carbonisation par l'homme remontent au paléolithique, il y a plus de 30 000 ans, par l'utilisation de charbons pour la réalisation des peintures de la grotte Chauvet (VALLADAS et al, 2005), confectionnées exclusivement à partir d'essences de bois sélectionnées de pin (THÉRY-PARISOT et THÉBAULT, 2005). L'utilisation de charbon en agronomie, n'est également pas récente, et remonte aux origines de l'agriculture, commune tant aux techniques de l'ancienne agriculture européenne (SIGAULT, 1975), qu'à celles de civilisations de l'Amérique précolombienne (GLASER et al, 2001).

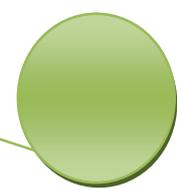
Historiquement le charbon a été principalement une source énergétique domestique (cuisson, chauffage) ou industrielle (fonte de minerais, production d'acier) même si d'autres applications possibles étaient la médecine, les peintures rupestres et l'agronomie (BROWN, 2009). Le biochar est le charbon produit spécifiquement pour être appliqué au sol pour en améliorer la productivité, les qualités physicochimiques et les stocks de carbone (JOHANNES LEHMANN et al, 2006).

### 2. Définition

Le biochar est le sous-produit de la pyrolyse, une décomposition thermochimique de la matière organique qui se réalise quand la biomasse est exposée à des températures supérieures à 350°C en l'absence ou très basse concentration d'oxygène ( $O_2$ ) (LEHMANN et JOSEPH, 2009). Ces conditions sont similaires à celles de la production du charbon de bois lors d'un feu de forêt ou de champs ou lors de la carbonisation dans les charbonnières traditionnelles (SCHMIDT et NOACK, 2000).

### 3. Grignons d'olives

Le grignon d'olive est un résidu de l'extraction d'huile des olives entières broyées obtenu soit par pression soit par centrifugation. Il est constitué par un agrégat de pulpes, de pellicules de fruit, de coques, de noyaux fragmentés et de l'amendant. Il est riche en cellulose brute et pauvre en matières azotées (BENYAHIA et ZEIN, 2003).



Selon la direction des statistiques agricoles et des systèmes d'information (DSASI) 8500 tonnes de grignons d'olives ont été produits dans la wilaya de TIZI OUZOU durant la campagne agricole 2015/2016.

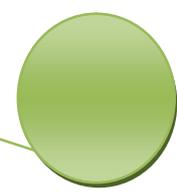
## 4. Sciure de bois

La sciure de bois désigne l'ensemble de petites particules et fins copeaux issus du sciage de bois. Humidifiée, elle était autrefois utilisée pour améliorer le balayage du sol intérieur, tout en limitant les envols de poussière.

La sciure est aussi utilisée comme source de biomasse énergétique, par exemple sous forme de bûchette reconstituée ou de charbon de bois reconstitué.

Elle peut aussi être utilisée dans le compostage par sa capacité d'empêcher la formation d'odeurs et constitue une source de carbone qui améliorera la qualité du compost final. Elle est pour des raisons similaires utilisée comme litière pour certains animaux élevés en cage.

Produit absorbant : la sciure fine sèche ou humide, éventuellement tamisée ou chimiquement traitée (par exemple par adjonction de colorants chimiques, de phosphates ou par phosphorylation de la cellulose avec de l'acide phosphorique et de l'urée) ou ayant subi un traitement thermique (séchage au four à 100-105°C) (selon la/les molécule(s) que l'on souhaite fixer) s'avère être un excellent absorbant ou adsorbant industriel. Elle peut absorber divers produits toxiques. Elle a notamment été testée pour l'absorption de métaux dissous tels que le cuivre, le cadmium, le plomb, le nickel, le chrome, le mercure et le zinc. L'absorption et d'adsorption par la sciure ou la farine de bois dépend de l'essence retenue, du type de bois mais aussi du pH, de la température, du type de fluide, de la granulométrie du bois et du temps de contact. Ainsi HOLAN et VOLESKY(1995) ont montré que la sciure d'épinette (*Picea engelmannii*) peut adsorber des métaux dans un liquide, en suivant globalement l'ordre suivant : sciures non traitées < sciure traitée au formaldéhyde < forme «oxo» après oxydation au périodate < forme carboxylique < phosphorylation ; avec 50 grammes de sciure par litre d'eau polluée (par 1 mg d'ions métalliques par litre d'eau) 94%, 96.7%, 85% du chrome, du plomb et du cadmium présents dans l'eau ont été respectivement retirés avec la sciure.



## II. Le fumier

### 1. composition

Le fumier de vache est le mélange composté de bouses de vache et de paille de litière. Les bovins étant de grands herbivores, le fumier de vache apporte beaucoup d'humus au sol, matière organique essentielle à la bonne croissance des plantes.

### 2. Précautions d'usage

Utilisé trop frais, le fumier de vache peut nuire :

À la santé humaine : des études agronomiques et médicales ont révélé la présence d'antibiotiques dans les déjections bovines longtemps après leur émission. Ces gènes résistants peuvent nuire gravement à la santé humaine.

À la croissance des plantes : la décomposition du fumier de vache induit une fermentation à très haute température (+ 55°C) susceptible de brûler les racines et les plantes.

C'est pour ça qu'on a utilisé du fumier datant d'une année.

### 3. Intérêts de l'utilisation du fumier

Le fumier de vache sert à :

- renforcer les terres légères et à les alourdir
- améliorer la fertilité des sols
- contribuer à la qualité des récoltes
- favoriser le rendement des cultures

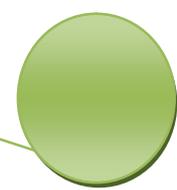
## III. Intérêt du biochar

### 1. Caractéristiques physico-chimiques

#### 1.1. Composition chimique

D'un point de vue chimique le biochar est une matrice composée principalement de carbone (C : 70-90% de sa masse) (COHEN-ORFI et al, 2007, 2006). Après le carbone, les éléments plus abondants sont l'oxygène (O<sub>2</sub>) et l'hydrogène (H). Leur concentration est inférieure au C parce qu'ils sont volatilisés de manière plus importante pendant la

# Synthèse bibliographique



déshydratation sous forme d' $H_2O$ , et pendant la pyrolyse, sous forme d'hydrocarbures, vapeurs de goudron,  $H_2$ ,  $CO$  et  $CO_2$  (ANTAL et GRONLI, 2003).

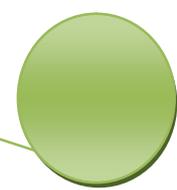
Le rapport H/C du biochar est plus faible, que celui de la biomasse de départ (KUHNBUSCH et CRUTZEN, 1995) surtout pour les biochars produits à de hautes températures. La même tendance est observée pour le rapport O/C (KAREN HAMMES et al, 2006).

Le biochar contient aussi des éléments minéraux (cendres) en proportion variable selon la matière d'origine et les conditions de pyrolyse. En générale, les biomasses ligneuses sont pauvres en cendres (<1% du poids) tandis que dans les biomasses herbacées ou graminées ainsi que dans la couverture des graines, les cendres peuvent représenter jusqu'à 24% du poids (RAVEENDRAN et al, 1995). Le contenu des cendres de la biomasse d'origine se reflète dans le contenu de cendres du biochar et, à cause de l'évaporation de C, H et O, elles représentent une portion du poids plus importante dans le biochar que dans la biomasse fraîche (biochar de litière de poulet : 45% de cendres, (KOUTCHEIKO et al, 2007).

Enfin le biochar est aussi composé d'une partie des huiles qui sont produites lors de la pyrolyse et qui restent attachées à la surface (SCHNITZER et al, 2007) en forme de composés N-hétérocycliques, furanes substitués, phénols, benzène, groupes carbocycliques et aliphatiques.

## 1.2. Structure du biochar

Les produits de pyrolyse (charbon et biochar) présentent des structures cristallines amorphes et des couches de graphène non-ordonnées très stables (PARIS et al, 2005). Le niveau d'organisation de ces matériaux augmente avec la température de production (>600°C) (COHEN-OFRI et al, 2007, 2006). Leur structure est dominée par des composés aromatiques récalcitrants. Si la température de production est entre 350 et 500°C les caractéristiques moléculaires de la biomasse d'origine restent partiellement visibles. Au-dessus de 500°C la conversion des groupes fonctionnels de la plante tend à être plus complète en passant des groupes alkyl et O-alkyl C, associés avec cellulose et hémicellulose, à aryl C et formation de structures hétérocycliques avec N (KRULL et al, 2009).



## 1.3. Densité apparente du biochar

Le biochar est une matière très poreuse. Les micropores (diamètre  $<2$  nm) se forment lors de l'exposition de la biomasse à des températures de pyrolyse hautes (surtout autour de  $750^{\circ}\text{C}$ , (BROWN et al, 2006) et sont responsables de la plus grande partie de la grande surface spécifique du biochar (surface intérieure maximale du biochar de bois de pin obtenue à  $750^{\circ}\text{C}$  :  $400\text{m}^2/\text{g}$ ). Les macropores (diamètre  $>50\text{nm}$ ) dérivent directement de la structure vasculaire des plantes utilisées pour la production du biochar. Ils sont responsables de la plus grande partie du volume intérieur du biochar ( $3\text{ cm}^3/\text{g}$  de biochar pour les biomasses herbacées,  $1.25\text{ cm}^3/\text{g}$  pour les biomasses ligneuses (BREWER et al, 2014).

Le biochar perd entre 3 et 91% du poids de la biomasse de départ pendant la pyrolyse ou gazéification ( $150\text{-}1000^{\circ}\text{C}$ ) (BALDOCK et SMERNIK, 2002; CZIMCZIK et al, 2002) tandis que le volume extérieur se réduit beaucoup moins. Par conséquent, la densité du biochar est toujours plus faible que la densité de la matière organique de départ (BYRNE et NAGLE, 1997).

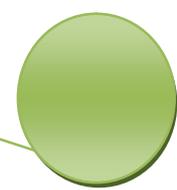
## 1.4. Propriétés d'échange ionique du biochar

La capacité d'échange cationique (CEC) du biochar est en général plus basse que celle de la matière organique du sol (CHENG et al, 2008, 2006) mais elle augmente avec la température de production (LEHMANN, 2007). La capacité d'échange anionique (CEA) est plus élevée, surtout à des pH bas (CHENG et al, 2008). Les propriétés d'échange ionique du biochar changent une fois qu'il est amendé au sol : la CEC augmente avec le temps à cause de l'augmentation des groupes fonctionnels oxygénés sur la surface du biochar (carboxylique, phénolique, hydroxyle, carbonyle ou quinone) tandis que la CEA tend à disparaître (CHENG et al, 2008, 2006; LEHMANN et al, 2011).

## 1.5. Le pH

Le pH du biochar peut varier de 4 à plus de 12 (LEHMANN, 2007) : le pH est bas (acide) pour de basses températures de production, avec une biomasse de départ à basse teneur en cendres et d'une présence élevée de groupes fonctionnels O (LOPEZ-RAMON et al, 1999) (LEHMANN, 2007).

Après apport aux sols le pH du biochar peut diminuer (biomasse ligneuse) ou augmenter (biomasse herbacée) (NGUYEN et LEHMANN, 2009).



## 2. Le potentiel du biochar à augmenter le stockage de carbone dans le sol

Le biochar est une matière très riche en carbone organisé dans des formes chimiques stables. Une fois ajouté au sol il permet donc d'en augmenter le potentiel de stockage du carbone à des échelles de temps plus longues par rapport à d'autres amendements organiques. L'amendement avec le biochar pourrait permettre de stocker le CO<sub>2</sub> atmosphérique.

La stabilité du biochar récent est prouvée par analogie avec les résidus de feux de forêt trouvés dans les sols qui peuvent être âgés de plus de 10.000 ans (LEHMANN et al, 2008; PRESTON et SCHMIDT, 2006) ou les résidus des feux de camp trouvés, par exemple, dans les sols amazoniens de "*Terra Preta*" âgés de 500-7000 ans (NEVES et al, 2003) ou encore des expériences de terrains agricoles contenant du charbon, cultivés pour des longues périodes aux Etats Unis (SKJEMSTAD et al, 2002) et en Allemagne (SCHMIDT et al, 2001).

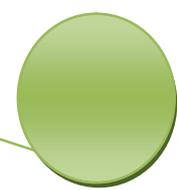
Le potentiel maximal de séquestration du carbone au niveau global grâce à l'enfouissement du biochar dans les sols agricoles a été quantifié en 1,8 Gt CO<sub>2</sub>-Céquivalent, ce qui correspond au 12% des émissions anthropiques de C (WOOLF et al, 2010). Pour ce scénario une application de 50 tonnes C ha<sup>-1</sup> à une profondeur de 15 cm a été considérée. Le potentiel de séquestration a été estimé en prenant en compte :

- a) la séquestration directe du C due à l'enfouissement de la matière organique stable (JOSEPH et al, 2007);
- b) la réduction potentielle des émissions d'autres gaz à effet de serre (N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub>) de la part des sols suite à l'application du biochar (YANAI et al, 2007) ;
- c) les émissions de CO<sub>2</sub> évitées en raison de la substitution des combustibles fossiles grâce à la production d'énergie lors de la pyrolyse et de la gazéification.

## 3. impact du biochar sur les propriétés du sol

Grâce à sa nature poreuse, le biochar est capable d'améliorer l'aération et la capacité de rétention de l'eau des sols (CHAN et al, 2007). La teneur en cendres alcalines (hydroxydes et oxydes de Ca, Mg, K et Na) du biochar peut, après ajout aux sols acides, altérer le pH (CHAN et XU, 2009) et augmenter la teneur en nutriments. L'effet du biochar sur ces paramètres physicochimiques peut être important, surtout s'il est issu d'une biomasse riche en nutriments tel que la litière de volaille (ATKINSON et al, 2010; GLASER et al, 2002).

## Synthèse bibliographique



La présence du biochar peut aussi augmenter la capacité d'échange cationique (CEC) du sol (LEHMANN et al, 2003; YUAN et XU, 2012). À cause de la création des groupements fonctionnels à la surface du biochar pendant les processus d'oxydation, la CEC continue à augmenter dans le temps (CHENG et al, 2008, 2006). En effet, une importante teneur en nutriments et un changement du pH ont été observés non seulement dans les sols récemment amendés avec du biochar (YUAN et al, 2011) mais aussi dans les sols où le biochar a été présent depuis des millénaires, comme la *Terra Preta* en Amazonie (LEHMANN et al, 2003).

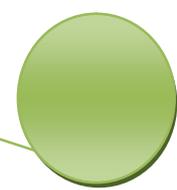
En revanche, la richesse en sites adsorbants à la surface du biochar peut porter aussi des conséquences négatives telles que l'accumulation de métaux lourds et pesticides (JENKINS et al, 2016) tandis que l'apport de nutriments peut se traduire par une lixiviation accrue de P et de K a été démontré par (BUECKER et al, 2016). Mais ce phénomène en général est moins important dans les sols dans lesquels le charbon est présent depuis des siècles (LEHMANN et al, 2003).

Toutefois, l'impact que le même biochar a sur la lixiviation des nutriments à différentes échelles de temps n'a jamais été objet d'étude.

L'apport de biochar augmente aussi les stocks d'azote des sols. Même si cet élément est présent sous forme de composés organiques hétérocycliques (CHAN et XU, 2009), difficilement utilisable pour les microorganismes du sol, il a été montré qu'il peut être absorbé par les plantes (DE LA ROSA et KNICKER, 2011).

Au contraire des autres macroéléments, l'ajout des biochars est en général associé avec une réduction de la lixiviation de nitrates et d'ammonium. Cela a été observé dans des expériences en pot (BUECKER et al, 2016; DING et al, 2010; LAIRD et al, 2010) sur le terrain (VENTURA et al, 2012), à plusieurs échelles temporelles (LEHMANN et al, 2003) et a été expliqué par plusieurs mécanismes. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) sont moins lixiviés grâce à une réduction de l'activité de nitrification (YANG et al, 2015) et à l'immobilisation de l'azote dans la biomasse microbienne qui augmente grâce à la présence d'une grande quantité de carbone (CLOUGH et al, 2013; CLOUGH et CONDRON, 2010). L'ammonium est moins volatilisé parce qu'il est adsorbé sur la surface du biochar (YANG et al, 2015).

Le biochar influence profondément aussi les caractéristiques physiques d'un sol tel que : l'épaisseur, la texture, la granulométrie, la porosité, la densité et le niveau de tassement, facteurs qui influencent la disponibilité en eau et en air pour les plantes, le niveau



d'agrégation, la perméabilité, la capacité de rétention cationique, la provision d'habitat pour les micro-organismes ainsi que sa réponse aux fluctuations des températures (DOWNIE et al, 2009). L'impact du biochar sur ces caractéristiques est généralement positif, mais dépend des caractéristiques du biochar comme aussi celles du sol amélioré (BRADY et WEIL, 2008).

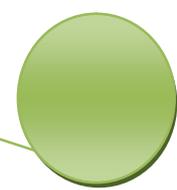
Enfin le biochar réduit l'albédo de la surface des sols (GENESIO *et al*, 2012). Grâce à ces améliorations différents auteurs ont observé une augmentation de la production de biomasse ou des rendements (BIEDERMAN et HARPOLE, 2012 ; JEFFERY *et al*, 2011) dans les sols améliorés à plusieurs échelles de temps. Toutefois, le flux des éléments dans le système sol-plante n'a jamais été évalué pour un même biochar apporté au sol à différents échelles du temps.

L'effet positif que le biochar a sur les cycles biogéochimiques, sur la présence de pathogènes dans les sols ainsi que sur la croissance des plantes peut être expliqué aussi par les changements induits dans les communautés microbiennes du sol. En effet dans la plus grande partie d'études menées sur ce sujet on a observé une augmentation de la biomasse microbienne ainsi qu'un changement significatif de la composition des communautés et de l'activité enzymatique.

Cependant ces phénomènes sont encore peu compris compte tenu de leur complexité. Les effets du biochar sur la faune du sol sont encore moins étudiés sauf quelques rares recherches sur les vers de terre (LEHMANN et al, 2011).

#### **4. Impact du biochar sur la croissance des plantes**

La littérature qui a essayé de répondre à la question « Quel est l'impact que le biochar a sur la croissance des plantes ? » est très vaste et complexe à synthétiser à cause de la grande variété de biochar employé (biomasse de départ et conditions de production), quantité de biochar amendé, type de sol et climat où le biochar est épandu, type d'expérience scientifique (au laboratoire, sur le terrain) ainsi que l'espèce de plante semé/planté. Deux synthèses de littérature (méta-analyses) ont été publiées récemment pour résumer cette complexité de résultats. BIEDERMAN et HARPOLE (2012) à partir de 114 articles scientifiques concluent qu'en moyenne le biochar stimule la productivité de biomasse aérienne et les récoltes agricoles même s'il n'y a pas de relation évidente entre la quantité de biochar amendé au sol et la réponse des plantes en termes de productivité.



La méta-analyse de JEFFERY et al. (2011) montre que la productivité de biomasse aérienne et les récoltes agricoles augmentent en moyenne de +10% mais la gamme des résultats varie entre -28% et +39%. Les meilleures performances ont été obtenues dans le cas de biochars produits à partir de litière de volaille, amendé en quantité de 100 t/ha, dans des sols acides et avec une texture grossière.

Cela suggère que le biochar non seulement agit sur la croissance des plantes en augmentant la disponibilité de nutriments mais aussi à cause de son effet de chaulage et par son effet sur la capacité de rétention de l'eau qui est majeure dans les sols amendés par rapport aux sols non amendés.

L'effet positif que le biochar a sur les récoltes dépend aussi d'autres facteurs tels qu'une augmentation de l'activité microbienne dans le sol (LEHMANN et al, 2011) et de la température des surfaces des sols à cause d'un changement de l'albedo (L GENESIO et al, 2012), l'hormesis (GRABER et al, 2010) et plus souvent une combinaison de plusieurs facteurs (LEHMANN et al, 2011).

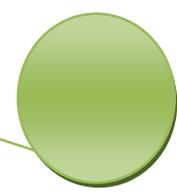
Il est important de noter que la méta-analyse de (JEFFERY et al, 2011) inclut des études menées sur des sols de charbonnière en Afrique (CHIDUMAYO, 1994) ainsi que les sols d'Amazonie où le charbon a été amendé depuis des millénaires (LEHMANN et al, 2003), tandis que dans la revue de (BIEDERMAN et HARPOLE, 2012) exclue ces recherches, mais les conclusions générales sur l'impact du biochar sur la productivité des plantes sont similaires.

Cependant, l'effet du biochar sur la croissance des plantes peut changer suivant le vieillissement de ces matériaux dans les sols, qui modifie leurs propriétés physico-chimiques.

## IV. La culture de courgette

### 1. Description botanique de la plante

La courgette fait partie du groupe des courges (genre : *Cucurbita*) qui comprend trois espèces botaniques cultivées, *Cucurbita maxima* ou Potiron, *Cucurbita moschata* ou courge musquée et *Cucurbita pepo* ou courge pépon où l'on trouve la courge d'Italie ou courgette. Toutes les espèces de *Cucurbita* possèdent 20 paires de chromosomes. La courgette se



distingue par ses fruits qui ont une croissance extrêmement rapide et qui sont consommés jeunes, soit au 1/4 ou 1/3 de leur développement définitif, tandis que les courges et potirons sont récoltés à maturité complète. Les graines de la courgette sont donc plus petites que celles des courges.

## **1. 1. L'origine**

La courgette est une des premières espèces du genre *Cucurbita* à avoir été domestiquée. Les vestiges les plus anciens ont été trouvés au Mexique, dans la vallée d'Oaxaca au sud du Mexique et les cavernes d'Ocampo et Tamanlipas. Sa présence dans les zones sud des États-Unis est également très ancienne. Son introduction en Europe date du 16<sup>e</sup> siècle et les Italiens ont été les premiers à l'adopter.

## **1. 2. La plante**

La courgette est une plante annuelle, à végétation ramassée et à croissance indéterminée.

### **1.2. 1. Le système racinaire**

Les Cucurbitacées possèdent un système racinaire puissant qui peut descendre jusqu'à 2 mètres de profondeur chez la courgette. Toutefois, son développement dépend du type de sol où elle est cultivée : il reste superficiel en sol sableux irrigué (entre 25 et 30 cm de profondeur) et produit de nombreuses racelles restant à la surface du sol, conséquence d'un apport en continu de la ferti-irrigation. En sol à texture plus fine, la majeure partie des racines se situe dans les 60 premiers centimètres.

### **1.2.2. La tige**

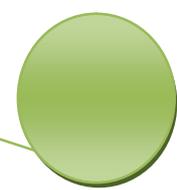
La tige principale de la courgette possède des bourgeons secondaires atrophiés, qui peuvent se développer lors d'un recépage et se ramifier en 2 ou 3 bars. Toutefois cette aptitude est quasi-inexistante chez les variétés hybrides actuelles.

La tige a une croissance sinueuse qui peut être importante, jusqu'à 1 m de longueur. Elle est cylindrique, poilue, épaisse et dure, avec des entre-nœuds courts d'où partent feuilles, fleurs et fruits.

### **1.2.3. Les feuilles**

La courgette possède de grandes feuilles, solidement soutenues par de longues et robustes pétioles. Elles sont isolées, ordonnées selon une hélice autour de la tige.

# Synthèse bibliographique



Le limbe est grand, pouvant atteindre une largeur et une longueur de 50 cm. Sa face supérieure est rugueuse et recouvertes de poils courts, durs et pointus, distribués le long des nervures. Le bord de la feuille est denté en lobes prononcés présentant de profondes entailles qui ne vont pas jusqu'à la nervure médiane.

Le pétiole est long, jusqu'à 60 cm ; il est creux et dur et son diamètre de 1.5 cm au niveau de la soudure avec la feuille, s'évase pour atteindre 2.5 cm au niveau de la tige. Des pilosités fines et courtes ainsi que de petits aiguillons sont distribués tout au long de ce pétiole.

La couleur des feuilles va du vert claire au vert foncé, selon les variétés. On observe des macules gris argenté, plus ou moins grandes, qui correspondent au décollement de l'épiderme. Il s'agit essentiellement d'un facteur variétal et ces macules n'ont aucun effet répulsif sur les pucerons.

## 1.2.4. Les fleurs

La courgette possède de grandes fleurs isolées, axillaires, campanulées et de couleur jaune, portées par un pédoncule plus ou moins long. Elles sont soit femelles, soit mâles. Les deux coexistent sur une même plante, dite monoïque, mais distinctement.

La fleur femelle se distingue de la fleur mâle par un pédoncule court et épais, de section pentagonale ou hexagonale, mais irrégulière. Les fleurs mâles sont un peu plus grandes, portées par un long et grêle pédoncule.

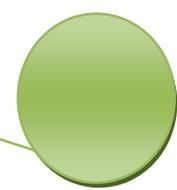
Les caractéristiques des fleurs sont les suivantes :

La fleur femelle possède :

- Un calice formé de 5 petits sépales triangulaires formant 5 dents ;
- Une corolle jaune d'or constituée de 5 pétales plus ou moins soudés entre eux ;
- Un ovaire infère de grande taille (le futur fruit) qui renferme un placenta comportant un grand nombre d'ovules. Cet ovaire est surmonté d'un style divisé en son extrémité en stigmates à 3 lobes. À la base du style, un nectaire secrète le nectar, liquide sucré qui attire les insectes pollinisateurs.

La fleur mâle est constituée :

- D'un calice formé de 5 sépales verts longs et minces ;



- D'une corolle soudée au calice de grande taille, formé de 5 pétales jaunes d'or plus ou moins soudés entre eux ;
- D'un androcée, formé de 3 étamines aux filets aplatis. Ces filets forment une couronne autour d'un organe de couleur orangée en forme de cratère : le nectaire, qui secrète également du nectar.

### **1.2.5. Le fruit**

C'est une baie charnue, uniloculaire, sans cavité centrale, cylindrique, parfois en massue, généralement de couleur verte.

Les fruits naissent à partir des axillaires foliaires, attachés par un pédoncule épais et court. Ils se récoltent avant maturité complète et avant qu'ils durcissent. En conditions printanières précoces. Les premiers fruits sont récoltés entre 70 et 85 jours après le semis. Leur couleur, uniforme ou rayée, tachetée, ainsi que son intensité est un facteur variétal.

Le fruit mûr contient de nombreuses graines et n'est pas commercialisable en raison de son épicarpe dur et de sa grande taille.

### **1.2.6. Les semences**

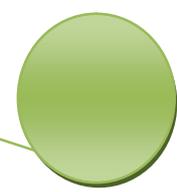
Elles sont de couleur jaunâtre, ovales, allongées et pointues à leur extrémité, avec un sillon longitudinal parallèle au bord extérieur, longue de 1.5 cm large de 0.6 à 0.7 cm et de 0.1 à 0.2 cm d'épaisseur. Elles ont une surface lisse.

Le poids de 1000 graines varie de 100 à 200 grammes.

1 gramme compte 5 à 10 graines.

La graine contient un embryon qui se différencie en feuille, tige et racine.

Les premières feuilles embryonnaires et les cotylédons sont très distincts des feuilles ordinaires. Après la récolte, la graine entre en dormance pendant 25 à 30 jours durant lesquels la germination est déficiente.



## 2. Les exigences climatiques de la plante

### 2.1. Les températures

La courgette n'est pas très exigeante en température, moins que le melon ou le concombre, mais elle est sensible aux températures froides : la température létale se situe à  $-1^{\circ}\text{C}$ .

La température de germination se situe entre  $20$  et  $25^{\circ}\text{C}$  : dans ces conditions, la germination est rapide, entre 36 heures et 48 heures.

La température d'élevage du plant peut aller de  $16$  à  $25^{\circ}\text{C}$  selon la luminosité avec une température de substrat de  $18^{\circ}\text{C}$ .

Les températures au cours de la culture : la température normale du sol de  $12^{\circ}\text{C}$  est requise pour une bonne implantation. Toutefois, la courgette peut supporter  $10^{\circ}\text{C}$  car, à cette température, l'absorption de l'eau et des éléments minéraux est encore suffisante.

La température optimale de croissance végétative se situe entre  $25^{\circ}\text{C}$  et  $30^{\circ}\text{C}$ . Elle ne doit pas dépasser  $35^{\circ}\text{C}$  pendant toutes les phases de croissance. La plante peut supporter, sans dommage pour la production, des températures minimales comprises entre  $7^{\circ}\text{C}$  et  $10^{\circ}\text{C}$  dans la mesure où les températures moyennes sont situées aux alentours de  $15^{\circ}\text{C}$  et plus. La plante acquiert un développement optimal quand la différence de température entre le jour et la nuit n'excède pas  $6^{\circ}\text{C}$ . Lorsque la température moyenne augmente entre  $15^{\circ}\text{C}$  et  $20^{\circ}\text{C}$ , la croissance et le développement sont accélérés et les fruits grossissent plus vite. Durant la floraison, la température optimale se situe aux alentours de  $20^{\circ}\text{C}$  la nuit,  $25^{\circ}\text{C}$  le jour.

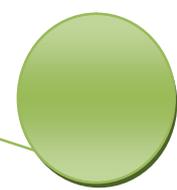
En dessous de  $10^{\circ}\text{C}$ , il y'a risque de coulure des fleurs et de déformation des fruits.

### 2.2. Hygrométrie de l'air et humidité du sol

L'humidité ambiante a une influence sur la respiration, la fécondation, la floraison, ainsi que l'intensité des problèmes sanitaires.

De par ses origines à climat chaud et humide, la courgette a besoin d'humidité mais d'une façon raisonnable car elle n'est pas non plus trop sensible à de faibles hygrométries. Si l'hygrométrie dépasse  $80\%$ , on constate une floraison déficiente, le développement de champignons tels *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Mycosphaerella* ou de bactéries telles *Erwinia*. Des pustules, d'origine physiologique, peuvent aussi être observées sur fruit.

## Synthèse bibliographique



La croissance très rapide de cette plante, le développement végétatif important ainsi que la production des fruits qui contiennent 95% d'eau entraînent des besoins élevés en eau. Toutefois, un excès en eau entraîne une asphyxie racinaire et favorise les maladies fongiques dues à *Pythium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* ainsi que le développement de bactéries.

Les besoins en eau pour une culture de 4 mois sont évalués entre 200 à 300 mm (culture sous abris au printemps en climat méditerranéen).

### **2.3. La luminosité ou intensité lumineuse**

Elle dépend de l'insolation. Bien qu'elle ait une influence moins importante que la température ou l'hygrométrie, une faible intensité lumineuse se traduit par une activité photosynthétique moindre et pour les plantes, en général, la durée du jour a une influence surtout sur la mise à fleur.

Pour la courgette, il n'y a pas une influence très importante de la durée du jour sur la floraison sinon le fait que de fortes luminosités favorisent l'apparition de fleurs mâles. La lumière intervient sur la maturation des fruits et sur leur précocité.

### **3. Le rendement de la courgette en Algérie :**

Il est de 30 à 50 t / ha sous serre et 25 à 40 t / ha en plein champs.



## I. Caractéristiques et localisation du site expérimental

### 1. Coordonnées géographiques

Le travail expérimental a été réalisé au niveau de l'institut de technologie moyen agricole spécialisé (I.T.M.A.S.) de Boukhalfa, situé à 8km Nord-Est de la wilaya de TIZI-OUZOU, au Nord de l'Algérie. L'ITMAS s'étend sur une surface de 30ha (Fig.1), de coordonnées géographiques relevées par Google Earth qui sont :

- Altitude variant de 62 à 94m du point le plus bas au point le plus haut,
- Latitude de 36°42 (N),
- Longitude de 3°42 (E).



Figure 1. Localisation du site expérimental

### 2. Données météorologiques

Le climat du site expérimental est typiquement méditerranéen, jouissant d'une température moyenne annuelle de 18.5°C et une température moyenne mensuelle variant de 28.0°C (mois d'août) à 11.4°C (mois de janvier). La pluviométrie annuelle est de 800mm/an.



## II. Dispositif expérimental

L'expérience a été menée en bloc aléatoire complet (tableau.1, Fig.2) à deux facteurs : le type de sol et le type d'amendement.

Deux sols ont été utilisés, l'un sableux, le second limono-argileux.

Les sols ont été amendés avec deux types de biochars, issus l'un de la pyrolyse de grignons d'olive, le second de la pyrolyse de sciure de bois et du fumier.

Les biochars sont ajoutés à raison de deux doses : 15 % et 30 %.

Le nombre de répétition de chaque traitement est de 5 répétitions/traitement et 30 pots/ type de sol (tableau .2 et .3), en tout 60 répétitions.

Dans chaque pot est repiqué un plant de courgette de la variété BARAKA (Fig.3) le 04/05/2019



Figure 2 . disposition des pots sous serre (a et b)



**Figure 3 . plants de courgette (variété BARAKA)**

**Tableau1. Dispositif expérimental utilisé (dispositif en bloc aléatoire complet)**

Tém(1)	T4(2)	T3(1)	T5(2)	T1(2)	T4(1)	T2(2)	T5(2)	Tém(1)	T1(2)	T3(2)	T1(1)
T4(2)	T5(1)	T4(2)	Tém(1)	T5(2)	T1(1)	Tém(2)	T3(1)	T4(2)	T5(2)	Tém(2)	T2(1)
T1(1)	T1(2)	Tém(2)	T5(2)	T5(1)	T3(2)	T3(2)	T1(1)	T2(1)	T3(1)	T2(1)	T5(1)
T3(2)	T5(1)	T3(2)	T4(1)	Tém(1)	T4(2)	T3(1)	T2(2)	T4(1)	T1(1)	T1(2)	Tém(2)
T4(1)	T2(2)	T2(1)	T1(2)	T4(1)	T2(2)	T2(1)	Tém(2)	T5(1)	Tém(1)	T3(1)	T3(2)

**Tableau 2. Traitements pour le sol 1 et nombre de pots/traitement**

Sol 1 : sol sableux						
Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	Total
0% Biochar (B)	0% B	15% BG (57g/pot)	30% BG (114g/pot)	15% BS (57g/pot)	30% BS (114g/pot)	
0% fumier (F)	F (114g/pot)	F	F	F	F	
5 rep	5 rep	5 rep	5 rep	5 rep	5 rep	
<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	<b>30 pots</b>



**Tableau 3. Traitements pour le sol 2 et nombre de pots/traitement**

Sol 2 : sol limono-argileux						
Témoin	T1	T2	T3	T4	T5	Total
0% B	0% B	15 % BG	30% BG	15% BS	30% BS	<b>30 pots</b>
0% F	F (114g/pot)	(57g/pot)	(114g/pot)	(57g/pot)	(114g/pot)	
5 rep	5 rep	F	F	F	F	
<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	5 rep	5 rep	5 rep	5 rep	
		<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	<b>5 pots</b>	

### III. Fabrication des biochars

#### 1. la pyrolyse

La pyrolyse (ou thermolyse) est la décomposition chimique d'un composé organique par une augmentation importante de la température pour obtenir d'autres produits (gaz et matière) qu'il ne contenait pas. L'opération est réalisée en absence d'oxygène ou en atmosphère pauvre en oxygène pour éviter l'oxydation et la combustion (l'opération ne produit donc pas de flamme). Il s'agit du premier stade de transformation thermique après la déshydratation. Elle permet généralement d'obtenir un solide carboné.

#### 2. Le four à biochar

Les matières premières (grignons d'olives et sciure de bois) sont mises chacune à part dans un bidon en métal de forme cylindrique, de 38cm de base et 59cm de haut, complètement hermétique à l'oxygène (conditions de pyrolyse) (Fig.4, Fig.5 b)

Le bidon est placé à l'intérieur du four à biochar (Fig.4, Fig.5), qui est de forme cylindrique de 58cm de base et 84cm de haut pourvu d'une cheminée par où passe la fumée une fois le feu allumé (Fig.4, Fig.5 a). Le four est troué (deux lignes de trous, l'une à proximité de la base, l'autre en haut), les trous sont espacés de 8cm (conditions de combustion).

Une fois tout en place, on allume le feu de façon homogène de part et d'autre du four avec du bois.

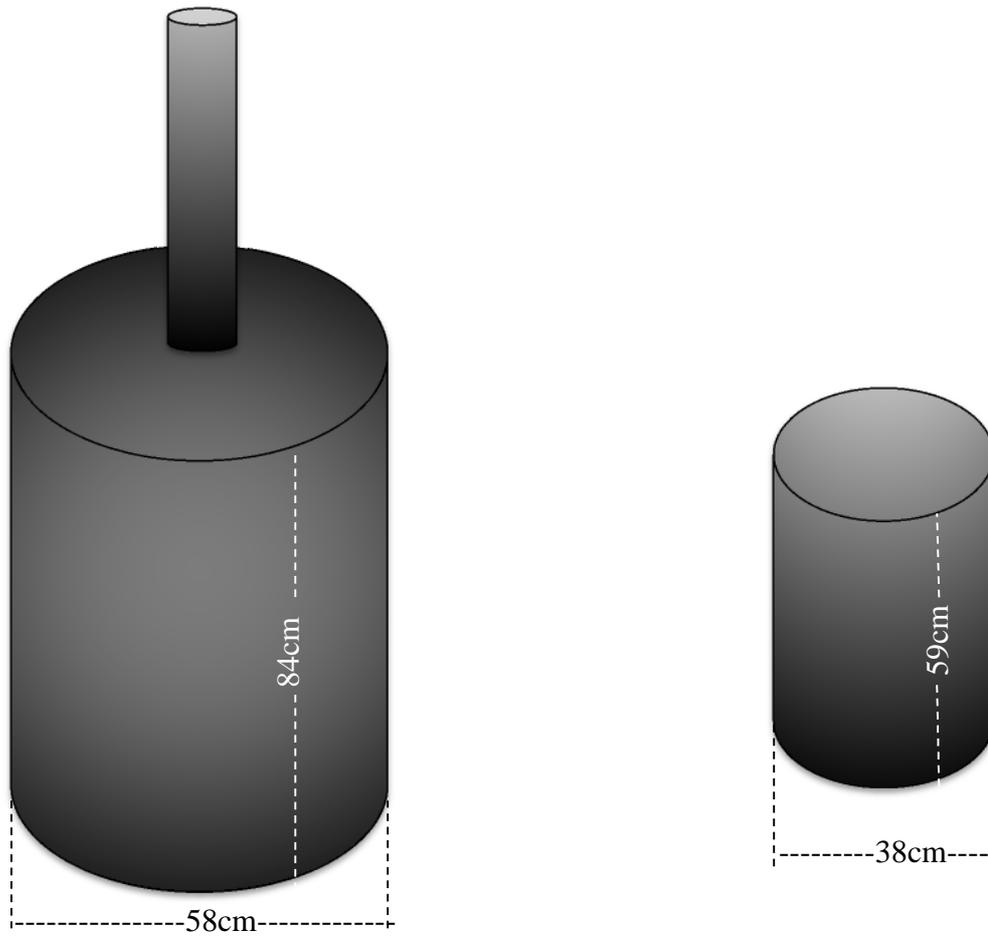


Figure 4. Schéma du four à biochar (a) et du bidon à pyrolyse (b)

(a)

(b)



Figure 5. Four à biochar (a) et bidon à pyrolyse (b)



## IV. Mise en place des mélanges en pots

### 1. Préparation des sols

Les sols en été récupéré à partir de 2 sites :

- 1<sup>ier</sup> sol : sol sableux, récupérer à partir d'une orangerie à BOUKHALFA.
- 2<sup>ème</sup> sol : sol limono-argileux de l'ITMAS de BOUKHALFA.

Ces sols ont été ensuite émiettés et tamiser à 7mm.

Caractéristiques de chaque sol :

- Sols sableux :

Les sols sableux sont souvent secs, pauvres en substances nutritives et très drainants. Ils sont peu (ou pas du tout) aptes à transporter l'eau jusqu'aux couches profondes par capillarité. Par conséquent, le travail des sols sableux au printemps, doit être réduit au minimum pour conserver l'humidité dans le lit de semences. La capacité des sols sableux à retenir les substances nutritives et l'eau peut être améliorée par un apport en matière organique et de biochar.

- Sols limono-argileux :

Ces sols sont différents des sols sableux par leur facilité à former une croûte, souvent très dure. S'ils sont trop travaillés, ils peuvent devenir compacts ce qui réduit leur capacité d'infiltration d'eau lors des périodes humides. Par temps sec, ils peuvent durcir et être difficiles à travailler. Ils exigent une bonne consolidation, mais il faut éviter de les travailler par temps humides.

Deux tas de sols ont été préparé.



1<sup>ier</sup> tas : sol sableux



2<sup>ème</sup> tas : sol limono-argileux



## 2. Récupération du fumier

Le fumier a été récupéré de l'élevage de bovin de l'ITMAS (Fig.6).

Il a ensuite été tamisé à 7mm.

Caractéristiques du fumier :

- Fumier âgé d'au moins une année.
- Odeurs de terre.
- Couleur foncée (riche en matière organique).
- Contient de la paille.



**Figure 6. Fumier de bovin**

## 3. Préparation des pots

Des pots de 22 cm de diamètre et de 19 cm de haut, ont été utilisés.

En premier du gravier moyen a été mis à la base de chaque pot (Fig.7).



**Figure 7. Gravier moyen utilisé**

## Matériels et méthodes

Les mélanges ou traitements (sol + fumier + biochar) (Fig .8), ainsi que les témoins (Fig .9), ont été mis dans les pots étiquetés.



**Figure 8. Mélange en pot**



**Figure 9. Témoin en pot**

### 4. Matériels utilisés (Fig.10)

- Une paire de gans
- Une pelle
- Un tamis de 7mm
- Un broyeur
- Une balance électronique



**Figure 10. Matériels utilisés**



## V. Arrosage après la plantation

Pour le premier arrosage les pots ont tous été arrosés avec la même dose d'eau de 500 ml afin de pouvoir comparer la capacité de rétention en eau des pots (Fig.11)



**Figure 11. Premier arrosage des plants**

### Fréquence et dose d'arrosage

Dose d'arrosage : la dose d'arrosage ne doit pas dépasser 500 ml et ce afin d'éviter le développement d'algues et champignons dans les pots.

Fréquence d'arrosage : l'arrosage se fait tous les 2 ou 3 jours selon le climat (la température), si les  $T^{\circ}$  sont trop élevées on arrose tous les 2 jours, sinon l'arrosage se fait tous les 3 jours afin d'éviter une éventuelle asphyxie et par conséquent le flétrissement des plants.

L'arrosage doit se faire soit le matin avant le lever du soleil, soit le soir après le coucher du soleil. Il doit se faire tout près de la zone racinaire et ne jamais mouiller les feuilles afin d'éviter leur brûlure et le risque de développement des maladies.

## VI. Echantillonnage des sols

Les sols ont été échantillonnés à deux périodes :

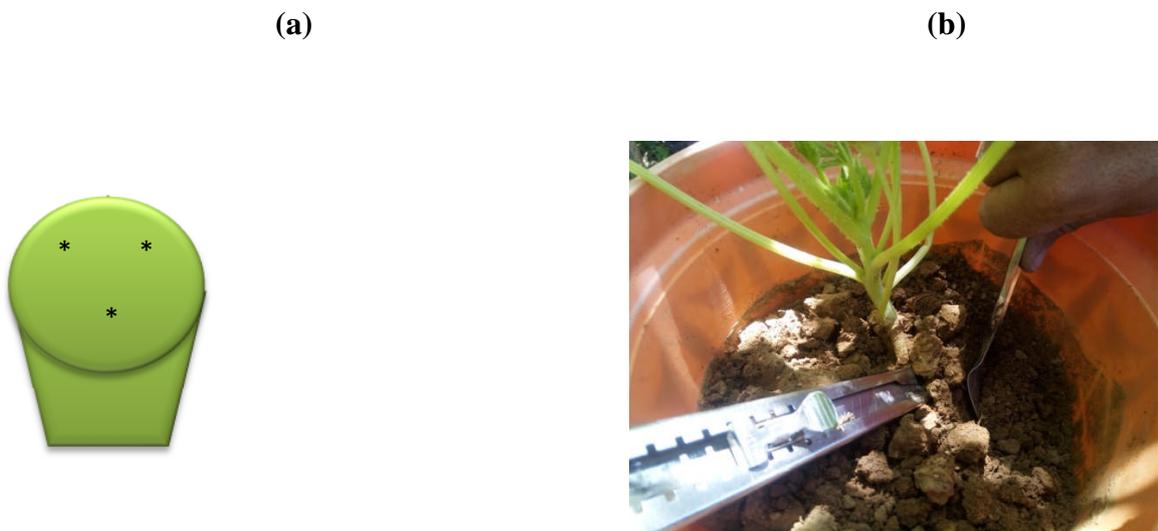
- Au moment du repiquage de la courgette (0 jour = T0)
- A 30 jours après repiquage (30 jours = T30).

Le sol de chaque pot de chaque traitement a été prélevé en 3 points différents de chaque pot (Fig 12. a et b)

### 1. Echantillonnages à T = 0 et à T = 30 jours

Dattes d'échantillonnages : le 04/05/2019 (T = 0) et le 03/06/2019 (T = 30 jours)

Echantillonnage des sols juste avant le repiquage (T =0) et à 30 jours après repiquage des plants (T = 30 jours).



**Figure 12. Schématisation des points d'échantillonnage (a) Échantillonnage du sol à différents points (méthode d'échantillonnage)(b)**

Les échantillons prélevés ont ensuite été mis dans des sachets en plastique étiquetés et organisés selon le type de traitement afin de faciliter le travail.



## Matériels utilisés

- Couteau.
- Cuillère.

## 2. Analyses chimiques et physique des échantillons de sols 1 et 2 et des biochars (BS et BG)

Le fumier, les biochars, les sols 1 et 2 et les substrats ont été soumis à l'analyse du pH et de la CE.

L'analyse granulométrique n'a porté que sur les sols (1 et 2).

Les échantillons prélevés, les sols utilisés ainsi que les biochars ont été transportés au laboratoire où ils ont été soumis à différentes analyses : le pH, la conductivité électrique et la granulométrie.

### • Etape 1 : tamisage et séchages des échantillons

Les échantillons ont été tamisés à 2 mm (à fin de séparer la terre fine des éléments grossiers) et séchés chacun sur un papier journal étiqueté afin d'éviter qu'ils ne se mélangent.

### • Etape 2 : les analyses

les protocoles expérimentaux utilisés ont été repris du livre de MATHIEU (2003).

## Le pH

### • Principe

L'acidité du sol est définie par la concentration en ions  $H^+$  : on oppose l'acidité effective, qui correspond à la concentration en ions  $H^+$  libres, existant dans la solution du sol, à l'acidité titrable qui est représentée par les ions  $H^+$  échangeables (beaucoup plus abondants) fixés par les colloïdes et qui constitue une réserve actuellement non disponible. Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité (alcalinité) est exprimé par le pH. La mesure du pH constitue ainsi le test le plus sensible des modifications survenant dans l'évolution d'un sol.

### • Mode opératoire

1. Peser 10g de sol de chaque échantillon et les mettre dans des flacons étiquetés ;
2. Ajouter 25ml d'eau distillée à chacun (donc un rapport de 1 / 2.5) ;
3. Agiter les flacons pendant 10mn ;



4. Laisser poser 2 heures (au bout de 2 heures on aura deux fractions : le sol va se sédimenté et la solution du sol deviendra claire) ;
5. Mesurer le pH avec un pH mètre étalonné.

### **La conductivité électrique CE**

- **Principe**

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité (MATHIEU, 2003. Analyse chimique des sols).

Cette propriété électro-chimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques, augmentent.

- **Mode opératoire**

1. Peser 20 g de sol de chaque traitement et les mettre dans des flacons étiquetés ;
2. Ajouter 100 ml d'eau distillée (donc un rapport de 1/5) ;
3. Agiter les flacons pendant 1 heure ;
4. Laisser reposer jusqu'à ce qu'il y ait sédimentation du sol ;
5. Mesurer la CE du liquide surnageant avec un conductimètre.

### **Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique a été réalisée selon la méthode la pipette de ROBINSON.

1. Pesée : peser 15 g de sol pour chaque échantillon
2. Oxydation de la matière organique : la destruction des ciments organiques est nécessaire dans la majorité des cas. La matière organique est oxydée par l'ajout de 50ml d'eau oxygénée, à chaud (porter sur le bain de sable), ajouter une 2<sup>ème</sup> dose de 20 ml d'eau oxygénée et agiter de temps à autre les échantillons jusqu'à disparition totale de la mousse provoquée par la présence de matière organique.
3. Dispersion :  
la suspension obtenue après destruction de la matière organique est transvasée dans la fiole d'agitation ;  
ajouter 40 ml de la solution dispersante d'hexamétaphosphate de sodium ;



agiter pendant 4 heures à l'agitateur rotatif ;

transvaser la suspension dans une éprouvette de 1 litre et compléter au volume avec de l'eau distillée ;

placer un thermomètre dans une éprouvette de 1 litre contenant 40 ml d'hexamétaphosphate de sodium et compléter au volume avec de l'eau distillée ;

assurer une remise en suspension totale des particules par une agitation à l'aide d'une tige de verre, faire partir le chronomètre et noter le temps. Prélever à l'aide de la pipette de robinson après le temps de sédimentation nécessaire et à la profondeur retenue qui est en général de 10 cm.

4. Prélèvement de différentes fractions granulométriques :

a- Mesure de l'argile + limons fins : il faut commencer par prélèvement de cette fraction. Déterminer le temps de sédimentation selon la température lue sur le thermomètre plongé dans l'éprouvette témoin contenant l'eau et l'hexamétaphosphate de sodium (prélever à 10 cm de profondeur après 5mn 19 secondes car la température était de 16°C). Récupérer le contenu de la pipette (20ml) dans une capsule tarée et faire sécher à l'étuve à 105°C (p1).

b- Mesure de l'argile : il faut remettre en suspension les particules par agitation énergique. Déterminer le temps de sédimentation selon la température (prélever à 7 cm de profondeur après 6 heures de sédimentation à 17°C). le volume prélevé est transféré dans une capsule tarée et séchée à l'étuve (p2).

c- Détermination du facteur de correction dû à l'hexamétaphosphate de sodium : agiter l'éprouvette contenant seulement la solution d'hexamétaphosphate de sodium et faire un prélèvement à la pipette Robinson, mettre le volume prélevé dans une capsule tarée et faire sécher à l'étuve à 105°C comme pour les prélèvements de l'argile et de l'argile + limons fins (p3).

d- Détermination de la fraction supérieur à 0.05 mm :

- Remettre en suspension les particules par agitation
- Superposer deux tamis de mailles égale à 0.2 mm et 0.05 mm
- Récupérer le contenu de chaque tamis dans une capsule tarée à l'aide de jets de pissette et faire sécher à l'étuve à 105°C. le tamis de maille égale à 0.2 mm contiendra les sables grossiers (p5), le tamis de 0.05 mm contiendra les sables fins (p4)
- La suspension passée à travers les tamis est récupérée et remise dans l'éprouvette pour la détermination des limons grossiers.



e- Détermination des fractions A + Lf + Lg :

- La fraction inférieure à 0.05 récupérée après tamisage est ajustée au volume de 1000 ml à l'eau distillée
- Agiter l'éprouvette et prélever rapidement cette fraction à la pipette de Robinson
- Récupérer le contenu de la pipette dans une capsule tarée, sécher à l'étuve et peser (p6).

5. Calculs :

Soit les données suivantes :

P : prise d'essai (g)

P1 : poids d'argile + limons fins + hexamétaphosphate

P2 : poids d'argile + hexamétaphosphate

P3 : poids d'hexamétaphosphate

P4 : poids de sables fins

P5 : poids de sables grossiers

P6 : poids d'argile + limons fins + limons grossiers + hexamétaphosphate de sodium

U : volume de la pipette Robinson

V : volume total de la suspension

H : % d'humidité résiduelle

$$\% \text{ d'argile} = \frac{(P2-P3) \cdot V \cdot 100}{\left[P - \left(\frac{P}{100} \cdot H\right)\right] \cdot U}$$

$$\% \text{ de limons fins} = \frac{(P1-P2) \cdot V \cdot 100}{P - \left[\left(\frac{P}{100}\right) \cdot H\right] \cdot U}$$

$$\% \text{ de sables fins} = \frac{P4 \cdot 100}{P - \left[\left(\frac{P}{100}\right) \cdot H\right]}$$

$$\% \text{ de sables grossiers} = \frac{P5 \cdot 100}{P - \left[\left(\frac{P}{100}\right) \cdot H\right]}$$

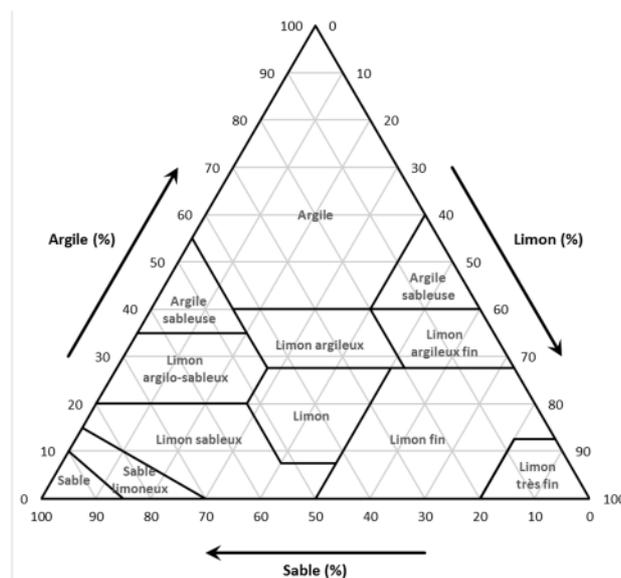


## 6. Exploitation des résultats :

### 6.1. Représentation triangulaire :

Dans ce type de représentation, la composition granulométrique est représentée par ses trois principales fractions (argile, limon, sable). Il existe 3 types principaux de triangle (USDA, AISS, FAO), plus le triangle rectangle français (GEPPA). Pour le triangle de l'U.S.D.A. (1986) (Fig (13)), la détermination de la classe texturale se fait de la manière suivante :

- Positionner sur l'axe de l'argile la teneur en argile granulométrique, et tracer une droite parallèle à l'axe des sables
- Faire la somme des limons fins et des limons grossiers, positionner cette somme sur l'axe des limons, tracer une droite parallèle à l'axe des argiles
- Faire la somme des sables fins et des sables grossiers, positionner la valeur sur l'axe des sables, et tracer une droite parallèle à l'axe des limons. Les 3 droites se rencontrent dans une classe texturale du triangle.



**Figure 13. Triangle de texture de l'U.S.D.A. (1986)**

Ces différents triangles de textures, construits à partir des données de l'analyse granulométrique, définissent des unités, ou classes de texture, suffisamment distinctes pour que chaque classe (ou ensemble de classes) rende compte l'aptitude ou propriétés analogues : propriétés physiques (structure, cohésion, porosité), caractéristiques hydriques (capacité au champs, eau utile aux plantes). Ainsi, on distingue 4 grands ensembles de textures :



- a. Les textures fines ou argileuses : correspondent à des sols plastiques, difficiles à travailler, fortement adhérents et présentant une forte rétention en eau et en éléments nutritifs.
- b. Les textures sableuses : confèrent aux sols une structure particulière et une absence de cohésion. Comme leur capacité de rétention en eau est faible (faible microporosité), ils ont tendance à s'assécher saisonnièrement.
- c. Les sols à texture limoneuses : ces sols ont une stabilité structurale médiocre qui les rend sensibles aux agents de dégradation.
- d. La texture équilibrée (répartition plus ou moins équitable entre les différentes fractions granulométriques) : assure une structure convenable et de bonnes caractéristiques hydriques.

### 3. Matériels utilisés

- tamis de 2mm, 0.2 mm et 0.05mm
- éprouvettes de 1000ml
- béchers
- pissette
- balance de précision
- entonnoir
- étuve
- pipette
- thermomètre
- pH mètre
- conductimètre
- pied à coulisse
- bain de sable
- fiole de 1000ml
- agitateur électrique

## VII. Analyse des biocars avec le MEB

Les biochars ont été soumis au MEB à différents grossissements :

10  $\mu\text{m}$  - 20 $\mu\text{m}$  - 50 $\mu\text{m}$ .



## I. Les biochars

Au niveau des figures (14) et (15) (a et b) sont représentés la sciure et le grignon, et leur transformation par pyrolyse en biochars.



(a)



(b)

**Figure 14. Les constituants de base du biochar (a : sciure de bois et b : grignon d'olive)**



(a)



(b)

**Figure 15. Les biochars (a : biochar de sciure et b : biochar de grignon)**



L'aspect de nos biochars est très proche de ceux que l'on retrouve dans la thèse de CRISCUOLI (2016)

## II. Caractérisation des constituants

### 1. Caractérisations chimiques et physique

Quelques caractéristiques chimiques des constituants sont présentées au niveau (tableau 4.)

**Tableau 4. Résultats des analyses chimiques des constituants**

constituant	CE	pH
SOL1	92.63 $\mu\text{s/cm}$	7.16
SOL 2	145.73 $\mu\text{s/cm}$	7.04
FUMIER	5270 $\mu\text{s/cm}$	6.97
BS	59.5 $\mu\text{s/cm}$	6.07
BG	888 $\mu\text{s/cm}$	7.62

Les résultats du (tableau 4.) montrent un pH neutre à légèrement basique variant de 6 à 7 et une conductivité électrique très variable allant de 59.5  $\mu\text{s/cm}$  pour le BS jusqu'à 5270  $\mu\text{s/cm}$  pour le fumier.

#### 1.1. Le pH

Le pH des sols 1 et 2 étant de 7.2 et 7.0 respectivement. Les pH sont neutres à légèrement alcalins.

Le fumier a présenté un pH de 6.9 et les biochars un pH de 6.1 à 7.6 pour le BS et le BG respectivement.

Ces pH sont neutres à moyennement alcalins.

Les pH des biochars étaient dans la même gamme que ceux proposés par LEHMANN 2007 soit des pH de 4 à 12.

Eu égard à la valeur des pH de nos biochars, il serait intéressant pour augmenter le pH de sols légèrement acides.

#### 1.2. La CE :

Quant à la CE, elle variait de 92.63 à 145.73 $\mu\text{s/cm}$  pour les sols 1 et 2 respectivement.

Les sols ne présentent pas de risque de salinisation selon les normes de MATHIEU (2003).



Le fumier a présenté la CE la plus élevée, qui trouverait son explication dans la richesse de cet amendement en éléments nutritifs.

La CE relativement élevée de BG comparativement à celle de BS pourrait s'expliquer par la nature du matériau soumis à la pyrolyse. En effet les grignons d'olives sont connus pour leur richesse en potassium (K). Le potassium est un cation qui peut élever la CE d'un matériau.

La CE plus faible de BS s'expliquerait par la pauvreté en éléments nutritifs de la sciure de bois.

### 1.3. La granulométrie

La granulométrie des sols 1 et 2 est présentée au niveau du (tableau 5.)

**Tableau 5. Granulométrie des sols 1 et 2**

	% d'argile	% de L.F.	% de L.G.	% de S.F.	% de S.G.
<b>SOL 1</b>	11	21	6	24	38
<b>SOL 2</b>	8.7	38	53	0.39	0.24

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent deux types de textures : sable limoneux et limons argileux.

Nous avons bien deux sols à granulométrie contrastées, le sol 1 avec une fraction fine de 37.7 et grossière de 62.3%, est un sol dominé par la fraction grossière et le sol 2 avec une fraction fine de 99.7 % est un sol dominé par la fraction fine.

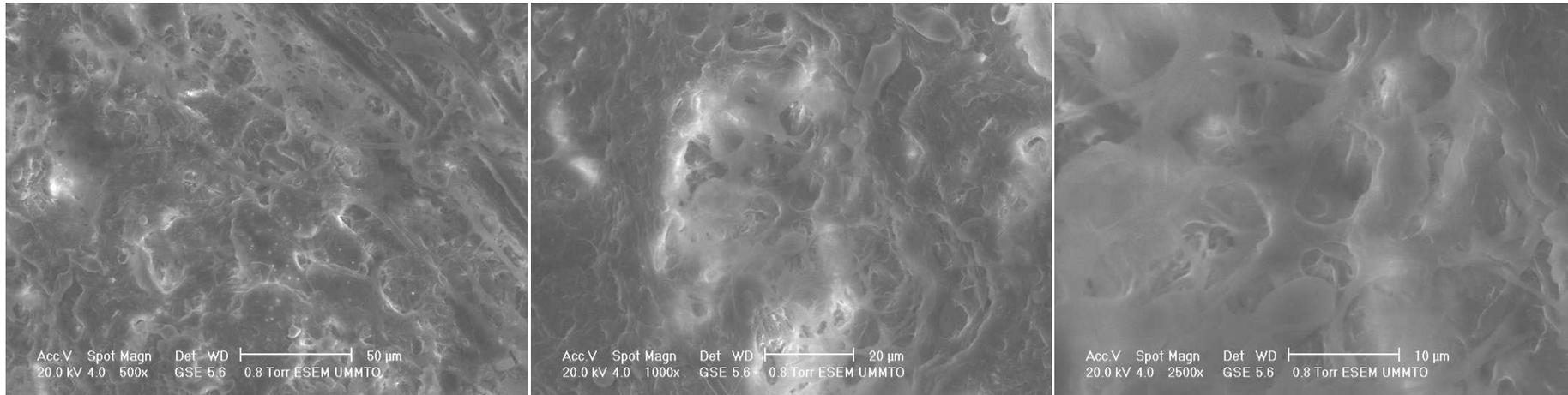
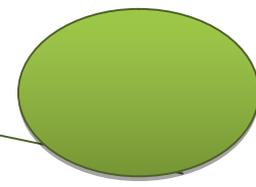
## 2. Caractérisation des grignons et sciure avant et après pyrolyse au microscope électronique à balayage

Les photos au MEB sont présentées au niveau des figures (16 et 17)

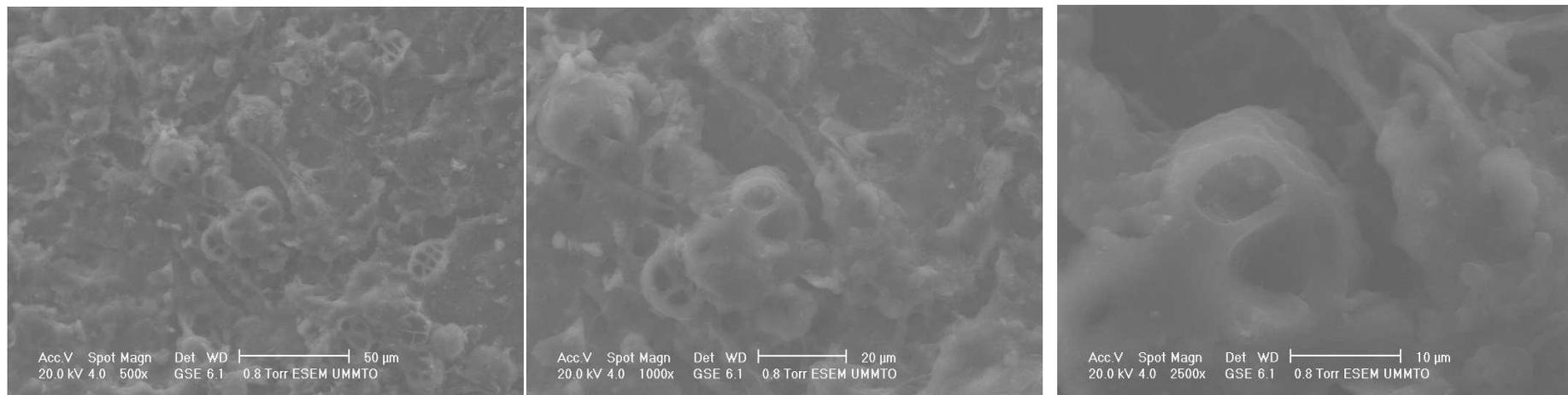
Les photos au MEB ont montré l'apparition de macro et de microporosité après pyrolyse du grignon et de la sciure de bois par conséquent l'augmentations de la CEC (capacité d'échange cationique).

Selon BROWN (2006) et BREWER (2014), le biochar est une matière très poreuse. Les micropores (diamètre <2 nm) sont responsables de la plus grande partie de la grande surface spécifique du biochar et les macropores (diamètre >50nm) sont responsables de la plus grande partie du volume intérieur du biochar.

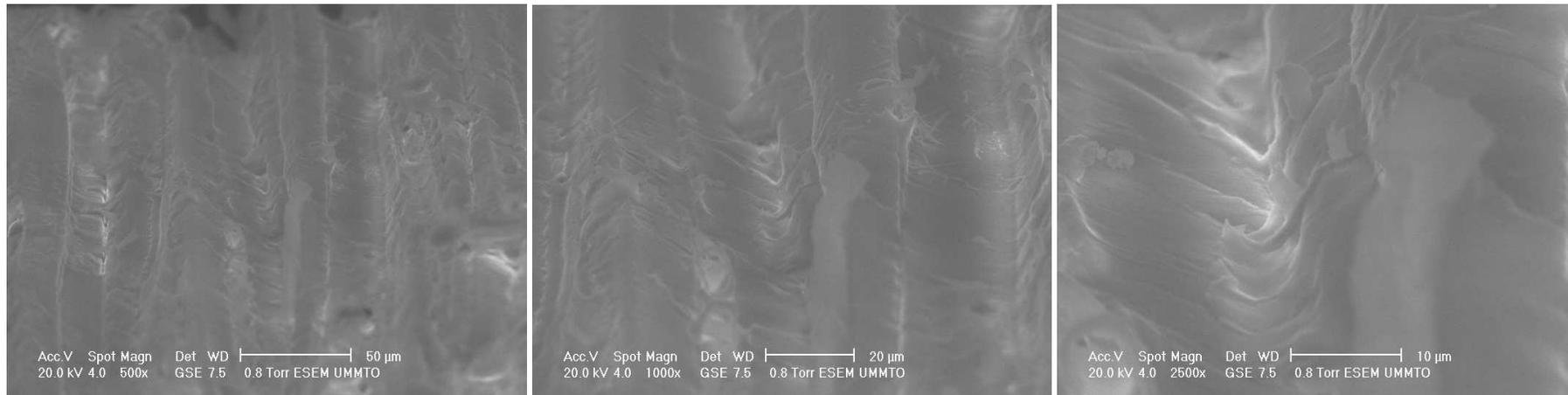
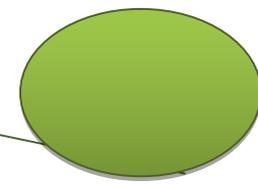
## Résultats et discussion



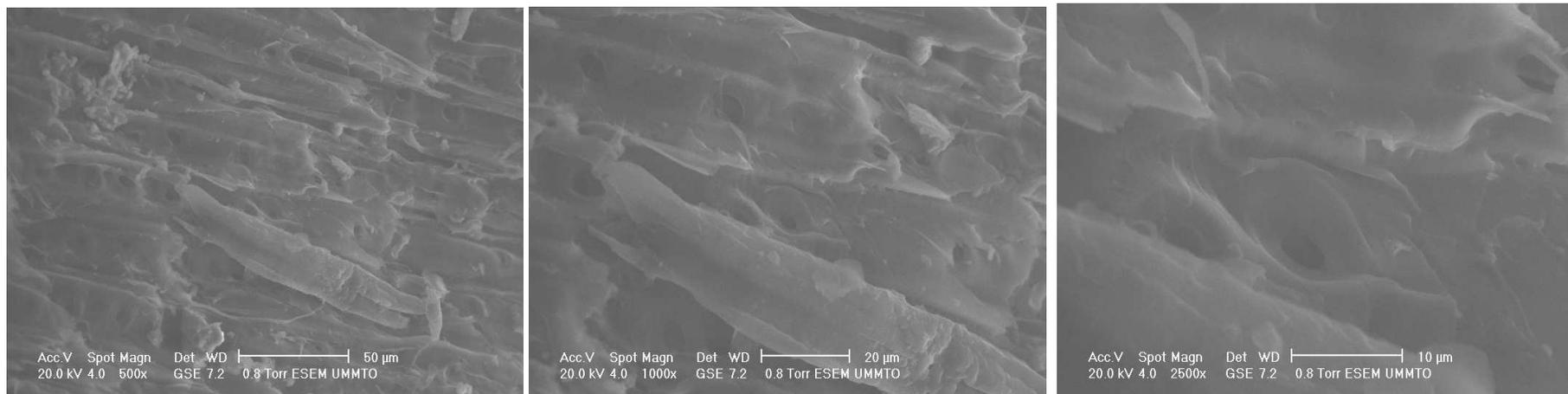
**Figure 16. Grignon avant pyrolyse à différents grossissements**



**Figure 17. Biochar de grignon à différents grossissements**



**Figure 18. Sciure de bois avant pyrolyse à différents grossissements**



**Figure 19. Biochar de sciure à différents grossissements**



### 3. Caractérisation des mélanges (traitements)

Les résultats de l'analyse du pH et de la CE des différents traitements des deux sols à T = 0 sont présentés au niveau du (tableau 6.)

**Tableau 6. Résultats de l'analyse du pH et de la CE à T = 0**

	<b>TRAITEMENTS</b>	<b>pH</b>	<b>CE</b>
<b>SOL 1 SABLEUX</b>	0% BIOCHAR 0% FUMIER	7.16	92.63
	0% BIOCHAR FUMIER	7.15	157.86
	15% BS	7.11	121.16
	30% BS	7.04	175.56
	15% BG	7.2	195.33
	30% BG	7.19	146.8
	<b>SOL 2 LIMONO- ARGILEUX</b>	0% BIOCHAR 0% FUMIER	7.04
0% BIOCHAR FUMIER		6.99	137.7
15% BS		6.9	163.23
30% BS		6.85	118.46
15% BG		7.04	127.43
30% BG		7.03	110.48

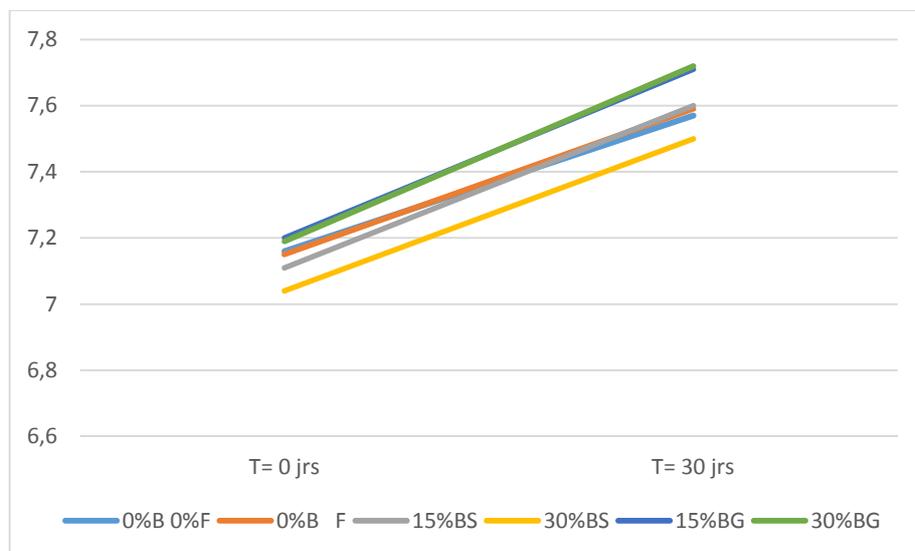
Les résultats de l'analyse du pH et de la CE des différents traitements des deux sols à T = 30 jours sont présentés au niveau du (tableau 7.)



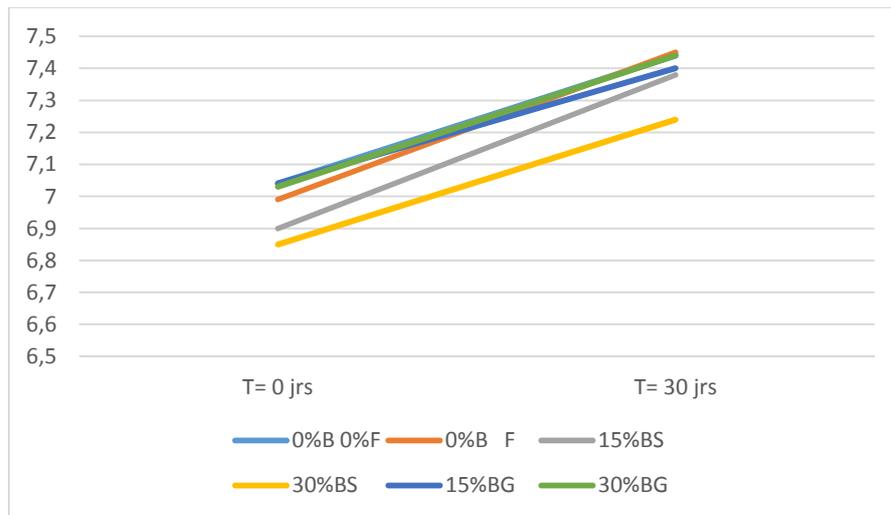
**Tableau 7. Résultats de l'analyse du pH et de la CE à T =30 jours**

	TRAITEMENTS	pH	CE
<b>SOL 1 SABLEUX</b>	0% BIOCHAR 0% FUMIER	7.57	82.1
	0% BIOCHAR FUMIER	7.59	84.1
	15% BS	7.6	72.68
	30% BS	7.5	85.96
	15% BG	7.71	76.58
	30% BG	7.72	84.5
	<b>SOL 2 LIMONO- ARGILEUX</b>	0% BIOCHAR 0% FUMIER	7.44
0% BIOCHAR FUMIER		7.45	89.7
15% BS		7.38	75.88
30% BS		7.24	75.88
15% BG		7.4	75.28
30% BG		7.44	88.73

### 3.1. Evolution du pH entre T = 0 et T = 30 jours



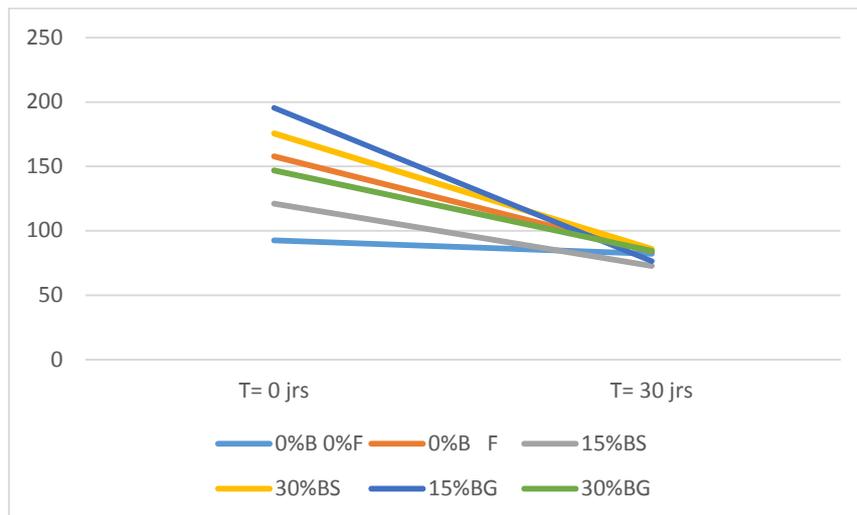
**Figure 20. Courbes de l'évolution du pH entre T = 0 et T = 30 jours du sol sableux**



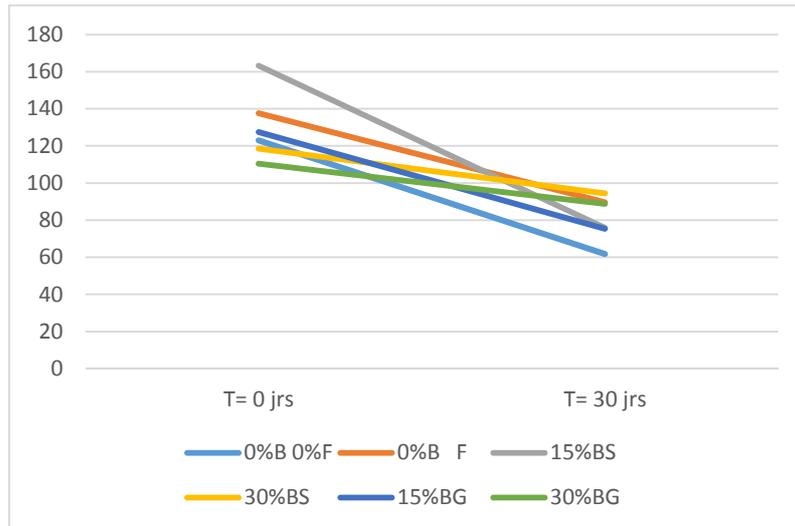
**Figure 21. Courbes de l'évolution du pH entre T = 0 et T = 30 jours du sol limono-argileux**

Les courbes d'évolution des pH des différents traitements entre T = 0 et T = 30 jours des sols sableux (Fig 20.) et limono-argileux (Fig 21.), montrent une augmentation des pH donc une alcalinisation des sols à travers le temps. Cependant l'ANOVA a révélé un effet non significatif des amendements sur le pH au cours du temps.

### 3.2. Evolution de la CE entre T = 0 et T = 30 jours



**Figure 22. Courbes de l'évolution de la CE entre T = 0 et T = 30 jours du sol sableux**



**Figure 23. Courbes de l'évolution de la CE entre T = 0 et T = 30 jours du sol limono-argileux**

Les courbes d'évolution de la CE des différents traitements entre T = 0 et T = 30 jours des sols sableux (Fig 22.) et limono-argileux (Fig 23.), montrent une baisse de la CE à travers le temps, due à la perte d'éléments minéraux par lessivage. Cependant cette diminution de la CE n'est pas significative.

## 4. Résultats des différents traitements sur le végétal

### 4.1. Suivi de la croissance des plants

Le suivi de la croissance des plants a été effectué jusqu'à 47 jours.

#### Croissance à la 1<sup>ière</sup> semaine de culture

Au bout d'une semaine le nombre de feuilles/plant est passé de 3 à 4 feuilles/ plant (Fig 24.). On a remarqué la formation d'une croûte de battence et le développement d'adventice sur les pots qui ne contiennent pas de biochar. Ces adventice ont été enlevé avec un couteau.



**Figure 24. Comparaison entre deux plants à la 1<sup>ière</sup> semaine de plantation (le 09-05-2019)**

## Résultats et discussion



Au bout de seulement 3 jours le nombre de feuilles/plant est passé de 4feuilles/plant à 5 feuilles/plant (Fig 25.).



**Figure 25. Croissance des plants de courgette à la 1<sup>ière</sup> semaine après plantation (Le 12-05-2019)**

### Croissance à la 2<sup>ème</sup> semaine de culture

On a remarqué une augmentation du nombre de feuilles/plant et une croissance très rapide des plants sur pots avec biochar, tandis que les témoins restaient au même stade de croissance (Fig 26.).



(a)

(b)

**Figure 26. Plants de courgette sur sol 1 (b) et sur sol 2 (a) à la 2<sup>ème</sup> semaine de plantation (le19-05-2019) ,de gauche à droite : BS30, BS15, BG30, BG15, F et témoin**



### Croissance à la 3<sup>ème</sup> semaine de culture

La majorité des plans étaient fleuris au bout de 3 semaines après la plantation. Cependant les plants sur sol avec BG30 ont fleuri avant les autres (Fig 27.).

Nous observons un effet du BG30 sur la précocité de la floraison (Fig 28.).



**Figure 27 . Comparaison de la floraison des plants entres les traitements et le témoin(le 29-05-2019), de gauche à droite : BS30, BS15, BG30, BG15, F et témoin**



**Figure 28. Floraison du plant de courgette sur sol à 30% B**



### Croissance à la 4<sup>ème</sup> semaine de culture

A la 4<sup>ème</sup> semaine l'ensemble des plants étaient fleuris (Fig 29.).

On a observé un léger jaunissement des plants suite aux températures trop élevées à l'intérieur de la serre ce qui nous a poussé à sortir les plants à l'extérieur dans un endroit à mi-ombre.



**Figure 29. Floraison des plants à T = 30 jours**

### Croissance à la 6<sup>ème</sup> semaine de culture

Au bout de la 6<sup>ème</sup> semaine après plantation, les plants de courgette sont entrés en phase de fructification (Fig 30.).

Le jaunissement observé à la 4<sup>ème</sup> semaine s'est beaucoup atténué et le développement général des plants s'était amélioré.

On a couvert la surface des pots avec de la paille et ce afin de protéger les plans après l'échantillonnage de sols effectué à T = 30 jours pour diminuer l'évaporation de l'eau, enrichir le sol au fil du temps et éviter le développement d'adventices.



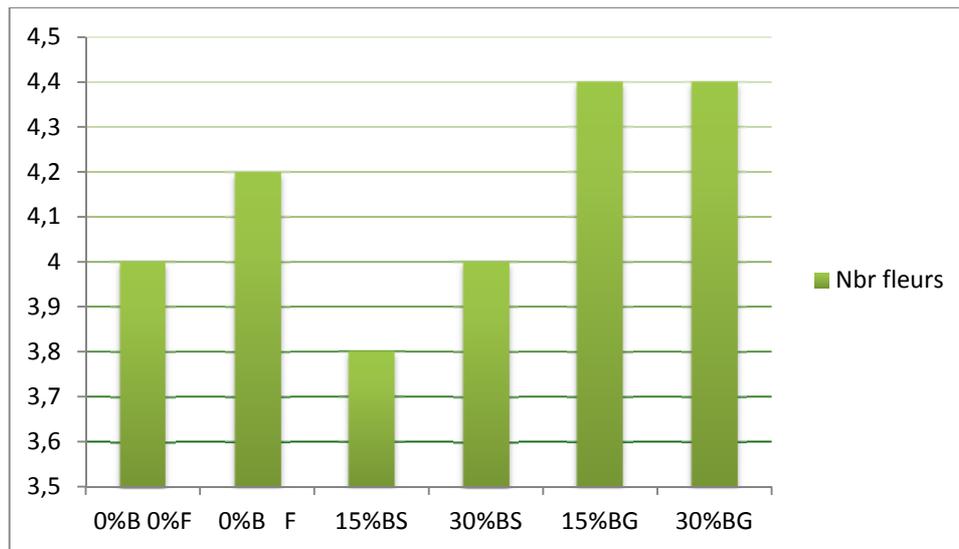
**Figure 30. Fructification d'un plants de courgette au bout de 47 jours (le 18-06-2019)**

## 4.2. Mesures biométriques

Les résultats des mesures biométriques sont présentés au niveau du (tableau 8.).

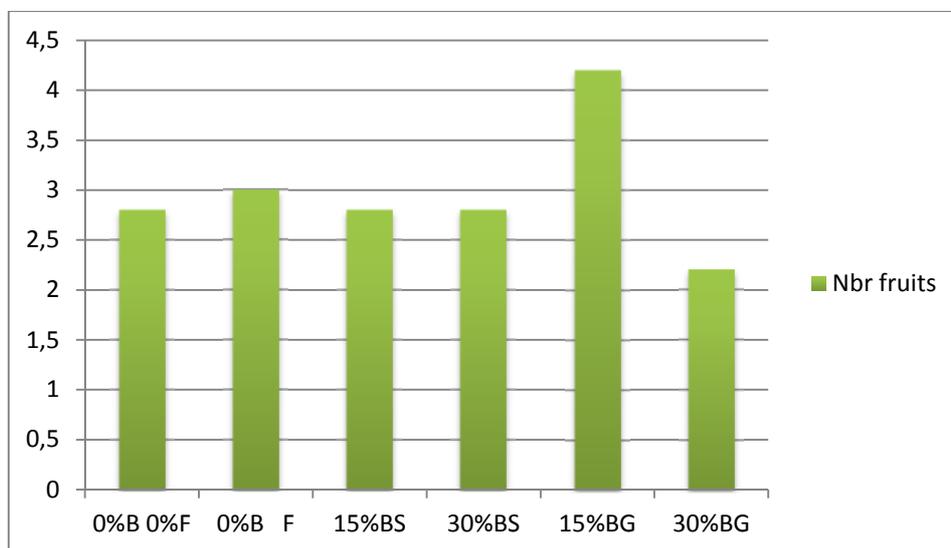
**Tableau 8. Résultats des mesures biométriques**

	Traitement	Nombre fleurs	Nombre fruits	Ø Tige (mm)
<b>SOL 1 : SOL SABLEUX</b>	0% BIOCHAR 0% FUMIER	4	2.8	6.3
	0% B FUMIER	4.2	3	8
	15% BS	3.8	2.8	5.24
	30% BS	4	2.8	6.8
	15% BG	4.4	4.2	5.9
	30% BG	4.4	2.2	6.4
	<b>SOL 2 : MÉLANGE SOL LIMONO- ARGILEUX</b>	0% BIOCHAR 0% FUMIER	4.4	3
0% B FUMIER		4	3.6	4.8
15% BS		4.8	3.6	7.5
30% BS		4.8	3.6	7.5
15% BG		4.2	2.8	6.2
30% BG		3.8	3	7.2



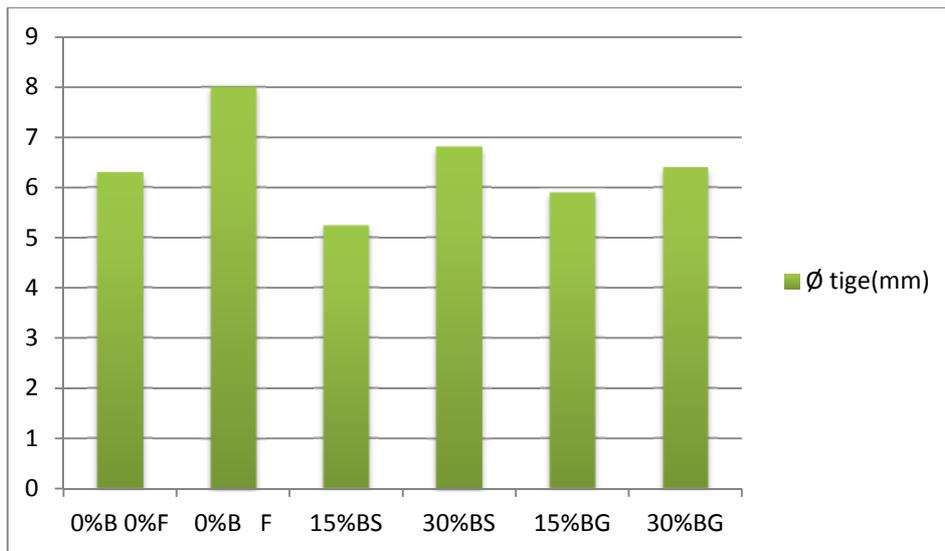
**Figure 31. Nombre de fleurs/plant sur sol sableux à différents traitements**

Au bout de 47 jours de culture, la (Fig 31.) indique que le nombre de fleurs/plant cultivé sur sol sableux augmente avec les amendements au biochars BG 15 et BG 30. Cependant l'ANOVA montre que cette augmentation est non significative.



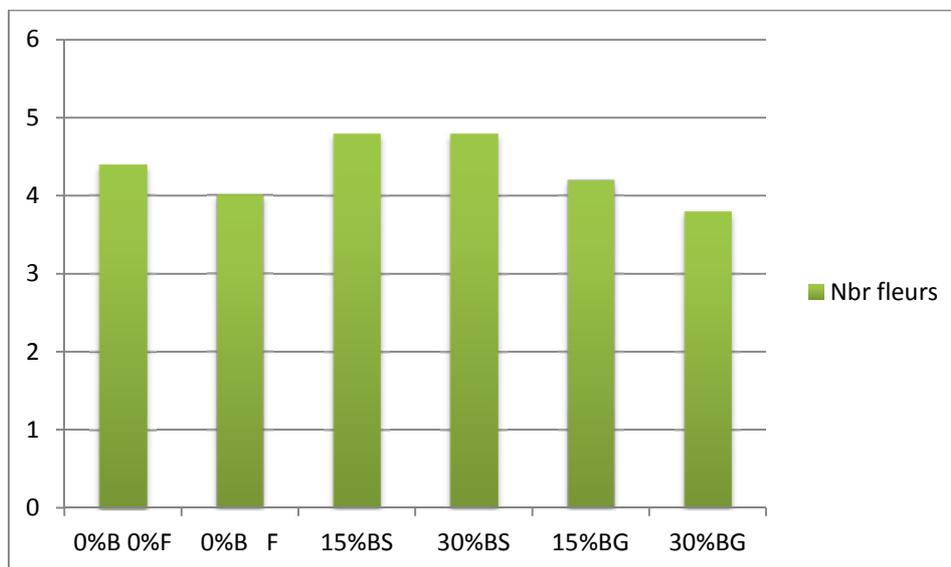
**Figure 32. Nombre de fruits/plant sur sol sableux à différents traitements**

Au bout de 47 jours de culture, la (Fig 32.) indique que le nombre de fruits/plant cultivé sur sol sableux augmente avec les amendements au biochars BG 15. Cependant l'ANOVA montre que cette augmentation est non significative.



**Figure 33. Diamètres des tiges des plants sur sol sableux à différents traitements**

Au bout de 47 jours de culture, la (Fig 33.) indique que le diamètre des tiges des plants cultivé sur sol sableux augmente avec les amendements au fumier et biochars BS 30. Cependant l'ANOVA montre que cette augmentation est non significative.

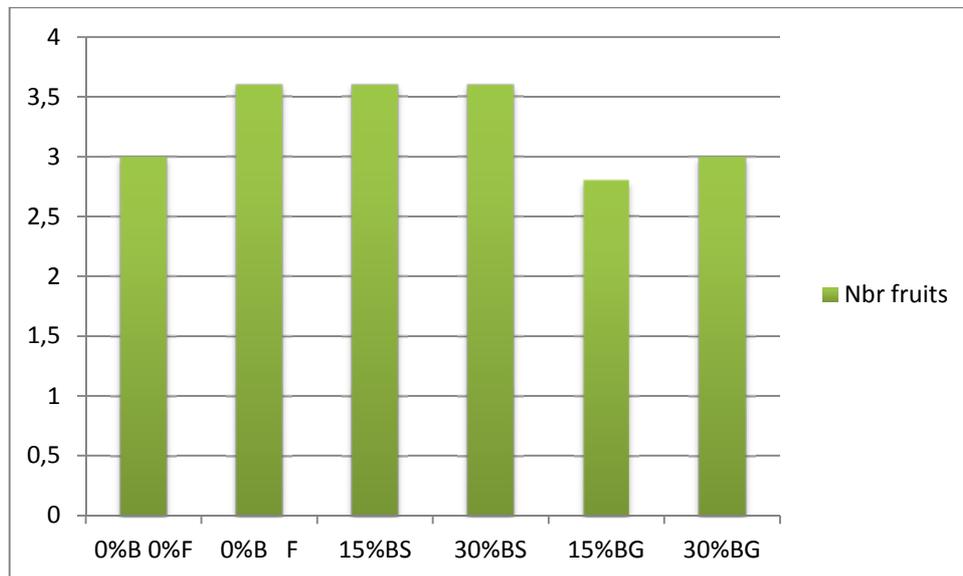


**Figure 34. Nombre de fleurs/plant sur sol limono-argileux à différents traitements**

## Résultats et discussion

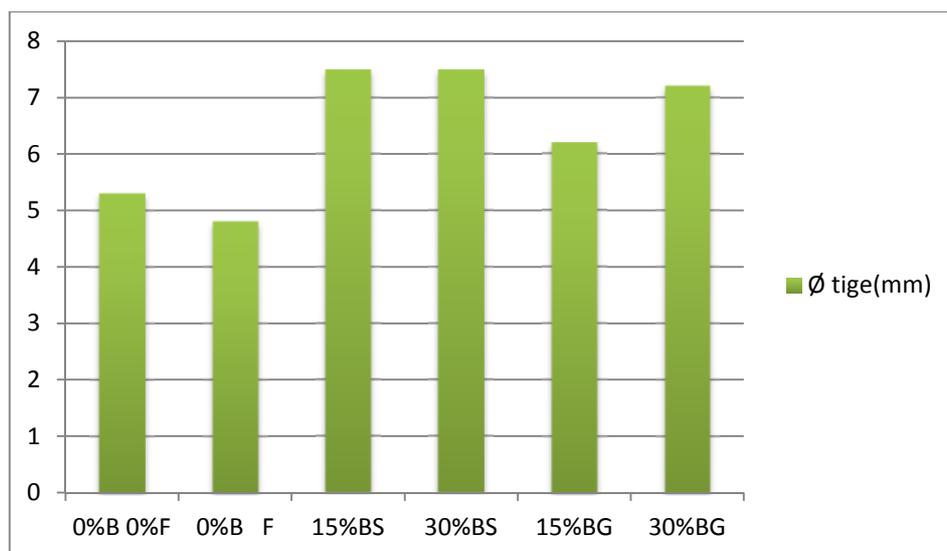


Au bout de 47 jours de culture, la (Fig 34.) indique que le nombre de fleurs/plant cultivé sur sol limono-argileux augmente avec les amendements au biochars BS 15 et BS 30. Cependant l'ANOVA montre que cette augmentation est non significative.



**Figure 35. Nombre de fruits/plant sur sol limono-argileux à différents traitements**

Au bout de 47 jours de culture, la (Fig 35.) indique que le nombre de fruits/plant cultivé sur sol limono-argileux augmente avec les amendements au fumier et aux biochars BS15 et BS30. Cependant l'ANOVA montre que cette augmentation est non significative.



**Figure 36. Diamètres des tiges des plants sur sol limono-argileux à différents traitements**

## Résultats et discussion



Au bout de 47 jours de culture, la (Fig 36.) indique que le diamètre des tiges des plants cultivé sur sol limono-argileux augmente avec les amendements aux biochars BS15, BS30, BG15 et BG30. Cependant l'ANOVA montre que cette augmentation est non significative.

## Conclusion et perspectives



Ce travail mené sur la fabrication de biochars à base de grignons d'olives et sciure de bois, et leur valorisation agricole a montré que :

- Il est possible de fabriquer des biochars de façon artisanale ;
- Ces biochars ont des pH neutres et des conductivités électroniques en dessous des normes de substrats .....
- L'amendement de sol sableux et limono-argileux avec ces biochars en association avec du fumier n'a pas altéré le pH et la CE des sols après 30 jours de culture ;
- La culture de courgette sur sol sableux et limono-argileux amendé avec les biochars a montré un meilleur développement végétatif général que celle sur témoin après 47 jours de culture;
- Cependant, les mesures biométriques effectuées sur le végétal n'ont pas montrées de différences plus ou moins significatifs.

### **Perspectives :**

- Evaluation et comparaison du rendement en courgette.
- Suivi du potentiel nutritif du sol.

- ANTAL, M.J., GRONLI, M., 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial engineering and Chemical Research* 42, 1619–1640
- ATKINSON, C.J., FITZGERALD, J.D., HIPPS, N. a., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and Soil* 337, 1–18. Doi: 10.1007/s11104-010-0464-5
- BALDOCK, J. a, SMERNIK, R.J., 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry* 33, 1093–1109. Doi: 10.1016/S0146-6380(02)00062-1
- BIEDERMAN, L. a., HARPOLE, W.S., 2012. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy*. Doi:10.1111/gcbb.12037
- BRADY, N.C., WEIL, R.R., 2008. *An Introduction to the Nature and Properties of Soils*, 14th editi. Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- BREWER, C.E., CHUANG, V.J., MASIELLO, C.A., GONNERMANN, H., GAO, X., DUGAN, BRANDON, DRIVER, L.E., PANZACCHI, PIETRO, ZYGOURAKIS, KYRIACOS, DAVIES, C.A., 2014. New approaches to measuring biochar density and porosity. *Biomass and Bioenergy* 1–10. doi:10.1016/j.biombioe.2014.03.059
- BROWN, R., 2009 Biochar production technology. In: *Biochar for environmental management: Science and technology*. (Eds Lehmann, J. and Joseph, S.). Earthscan, London, 127-146 p
- BROWN, R.A., KERCHER, A.K., NGUYEN, T.H., NAGLE, D.C., BALL, W.B., 2006. Production and characterization of synthetic wood chars for use as surrogates for natural sorbents. *Organic Geochemistry* 37, 321–333
- BUECKER, J., KLOSS, STEFANIE, WIMMER, B., REMPT, F., 2016. Leachate Composition of Temperate Agricultural Soils in Response to Biochar Application. *Water Air Soil Pollut* 227. Doi: 10.1007/s11270-016-2745-y
- BYRNE, C.E., NAGLE, D.C., 1997. Carbonization of wood for advanced materials applications. *Carbon* 35, 259–266
- CHAN, K. Y., VAN ZWIETEN, L., MESZAROS, I., DOWNIE, A., JOSEPH, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* 45, 629–634. doi:10.1071/SR07109

- CHAN, K.YIN, XU, Z., 2009. Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement, in: Lehmann, Johannes, Joseph, Stephen (Eds.), Biochar for Environmental Management, Science and Technology. Earthscan, London and Sterling, VA, pp. 67–84
- CHENG, C.-H., LEHMANN, JOHANNES, ENGELHARD, MARK H., 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, 1598–1610. Doi:10.1016/j.gca.2008.01.010
- CHENG, C.-H., LEHMANN, JOHANNES, THIES, J.E., BURTON, S.D., ENGELHARD, MARK H., 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry* 37, 1477–1488. Doi:10.1016/j.orggeochem.2006.06.022
- CHIDUMAYO, E.N., 1994. Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia. *Forest Ecology and Management* 70, 353–357.
- CLÉMENT MATHIEU, 2003. Analyse chimique des sols
- CLÉMENT MATHIEU, 1998. Analyse physique des sols : méthodes choisies
- CLOUGH, T., CONDRON, L., KAMMANN, CLAUDIA, MÜLLER, CHRISTOPH, 2013. A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. *Agronomy* 3, 275–293. Doi: 10.3390/agronomy3020275
- CLOUGH, T.J., CONDRON, L.M., 2010. Biochar and the Nitrogen Cycle: Introduction. *Journal of Environment Quality* 39, 1218. doi:10.2134/jeq2010.0204
- COHEN-OFRI, I., POPOVITZ-NIRO, R., WEINER, S., 2007. Structural characterization of modern and fossilized charcoal produced in natural fires as determined by using electron energy loss spectroscopy. *Chemistry – A European Journal* 13, 2306–2310
- COHEN-OFRI, I., WEINER, L., BOARETTO, E., MINTZ, G., WEINER, S., 2006. Modern and fossil charcoal: Aspects of structure and diagenesis. *Journal of Archaeological Science* 33, 428–439

- CZIMCZIK, CLAUDIA I., PRESTON, CAROLINE M., SCHMIDT, MICHAEL W.I., WERNER, R. a., SCHULZE, ERNST- DETLEF, 2002. Effects of charring on mass, organic carbon, and stable carbon isotope composition of wood. *Organic Geochemistry* 33, 1207–1223. Doi: 10.1016/S0146-6380(02)00137-7
- DE LA ROSA, J.M., KNICKER, H., 2011. Soil Biology & Biochemistry Bioavailability of N released from N-rich pyrogenic organic matter : An incubation study. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 2368– 2373. Doi:10.1016/j.soilbio.2011.08.008
- DING, YING, LIU, Y.-X., WU, W.-X., SHI, D.-Z., YANG, M., ZHONG, Z.-K., 2010. Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. *Water, Air, & Soil Pollution* 213, 47–55. Doi: 10.1007/s11270-010-0366-4
- DOWNIE, ADRIANA, CROSKY, ALAN, MUNROE, PAUL, 2009. Physical Properties of Biochar, in: Lehmann, Johannes, Joseph, Stephen (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Earthscan, London and Sterling, VA, pp. 13–32
- GENESIO, L, MIGLIETTA, F, LUGATO, E., BARONTI, S, PIERI, M., VACCARI, F P, 2012. Surface albedo following biochar application in durum wheat. *Environmental Research Letters* 7, 1–8. Doi:10.1088/1748-9326/7/1/014025
- GLASER, B., HAUMAIER, L., GUGGENBERGER, G., ZECH, W., 2001 The ‘Terra Preta’ phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37-41 p
- GLASER, BRUNO, LEHMANN, JOHANNES, ZECH, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biology and Fertility of Soils* 35, 219–230. Doi: 10.1007/s00374-002-0466-4
- GRAETZ, R.D., SKJEMSTAD, J.O., 2003. The charcoal sink of biomass burning on the Australian continent, CSIRO Atmospheric Research. Aspendale
- GRABER, ELLEN R., MELLER HAREL, Y., KOLTON, M., CYTRYN, E., SILBER, A., RAV DAVID, D., TSECHANSKY, LUDMILLA, BORENSHTEIN, M., ELAD, Y., 2010. Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil* 337, 481–496. Doi: 10.1007/s11104-010-0544-6

- HAMMES, KAREN, SMERNIK, R.J., SKJEMSTAD, JAN O., HERZOG, A., VOGT, U.F., SCHMIDT, MICHAEL W.I., 2006. Synthesis and characterisation of laboratory-charred grass straw (*Oryza sativa*) and chestnut wood (*Castanea sativa*) as reference materials for black carbon quantification. *Organic Geochemistry* 37, 1629–1633. doi:10.1016/j.orggeochem.2006.07.003
- IPCC Core Writing Team R.K. PACHAURI and L.A. MEYER (eds.), 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland
- JEFFERY, S., VERHEIJEN, F.G. a., VAN DER VELDE, M., BASTOS, a. C., 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 144, 175–187. Doi:10.1016/j.agee.2011.08.015
- JENKINS, J.R., VIGER, M., ARNOLD, E.C., HARRIS, Z.M., VENTURA, MAURIZIO, MIGLIETTA, FRANCO, GIRARDIN, C., EDWARDS, R.J., RUMPEL, CORNELIA, FORNASIER, F., ZAVALLONI, C., TONON, GIUSTINO, ALBERTI, GIORGIO, TAYLOR, GAIL, 2016. Biochar alters the soil microbiome and soil function: results of next generation amplicon sequencing across Europe. *GCB Bioenergy*. doi:10.1111/gcbb.12371
- JOSEPH, S.D., DOWNIE, A., MUNROE, P., CROSKY, A., LEHMANN, J., 2007. *Biochar for Carbon Sequestration, Reduction of Greenhouse Gas Emissions and Enhancement of Soil Fertility; A Review of the Materials Science* 130–133.
- KOUTCHEIKO, S., MONREAL, C.M., KODAMA, H., McCracken, T., KOTLYAR, L., 2007. Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermo-chemical conversion of chicken manure. *Bio resource Technology* 98, 2459–2464.
- KUHNBUSCH, T.A.J., CRUTZEN, P.J., 1995. Toward a global estimate of black carbon in residues of vegetation fires representing a sink of atmospheric CO<sub>2</sub> and a source of O<sub>2</sub>. *Global Biogeochemical Cycles* 9, 491–501
- LAIRD, D., FLEMING, P., WANG, B., HORTON, R., KARLEN, D., 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158, 436–442. doi:10.1016/j.geoderma.2010.05.012
- LEHMANN, JOHANNES, GAUNT, J., RONDON, M., 2006 *Bio-char Sequestration in Terrestrial Ecosystems – A Review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11, 395–419. Doi: 10.1007/s11027-005-9006-5

- LEHMANN, JOHANNES, JOSEPH, STEPHEN, 2009. Biochar for Environmental Management: An introduction, in: LEHMANN, JOHANNES, JOSEPH, STEPHEN (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Earthscan, London and Sterling, VA, 1–12 p
- LEHMANN, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 381–387
- LEHMANN, JOHANNES, JOSEPH, STEPHEN, 2008. Chapter 9: Biochar Systems.
- LEHMANN, JOHANNES, RILLIG, MATTHIAS C., THIES, JANICE, MASIELLO, C. a., HOCKADAY, WILLIAM C., CROWLEY, D., 2011. Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 1812–1836. doi:10.1016/j.soilbio.2011.04.022
- LEHMANN, JOHANNES, PEREIRA, J., STEINER, C., NEHLS, T., ZECH, W., GLASER, BRUNO, 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249, 343–357
- NEVES, E.G., PETERSEN, J.B., BARTONE, R.N., SILVA, C.A.D., 2003. Historical and sociocultural origins of Amazonian Dark Earths, in: Lehmann, J., Kern, D.C., Glaser, B., Woods, W.I. (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*. Kluwer Aca, Dordrecht, The Netherlands, pp. 29–50
- NGUYEN, B.T., LEHMANN, JOHANNES, 2009. Black carbon decomposition under varying water regimes. *Organic Geochemistry* 40, 846–853  
Doi:10.1016/j.orggeochem.2009.05.004
- PARIS, O., ZOLLFRANK, C., ZICKLER, G.A., 2005. Decomposition and carbonisation of wood biopolymers – a microstructural study of softwood pyrolysis. *Carbon* 43, 53–66
- PATRICIA ERARD (CTIFL), 2002. *La courgette*, Editions centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, 20-27 p
- PRESTON, C. M., SCHMIDT, M. W. I., 2006. Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. *Biogeosciences* 3, 397–420. Doi: 10.5194/bg-3-397-2006
- RAVEENDRAN, K., GANESH, A., KHILAR, K.C., 1995. Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* 74, 1812–1822

- RAY, D.K., MUELLER, N.D., WEST, P.C., FOLEY, J.A., 2013. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PloS one* 8, e66428. doi:10.1371/journal.pone.0066428
- ROSENZWEIG, C., ELLIOT, J., DERYNG, D., RUANE, A.C., MULLER, 2014. Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111, 3268–73. doi:10.1073/pnas.1222463110
- SCHMIDT, M.W. I., NOACK, A.G., 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles* 14, 777–794
- SCHMIDT, M. W. I., SKJEMSTAD, J. O., CZIMCZIK, C. I., GLASER, B., PRENTICE, K.M., GELINAS, Y., KUHNBUSCH, T.A.J., 2001. Comparative analysis of black carbons in soils. *Global biogeochemical cycles* 15, 163–167
- SCHNITZER, M.I., MONREAL, C.M., FACEY, G.A., FRANSHAM, P.B., 2007. The conversion of chicken manure to bio oil by fast pyrolysis I. Analyses of chicken manure, bio oils and char by C-13 and H-1 NMR and FTIR spectrophotometry. *Journal of Environmental Science and Health B* 42, 71–77
- SIGAUT, F., 1975 *L'agriculture et le feu – Rôle et place du feu dans les techniques de préparation du champ de l'ancienne agriculture européenne*. Mouton and Co., Paris
- S.KRULL, E., BALDOCK, J.A., SKJEMSTAD, JAN O., SMERNIK, R.J., 2009. Characteristics of Biochar: Organo chemical Properties, in: LEHMANN, JOHANNES, JOSEPH, STEPHEN (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Earthscan, London and Sterling, VA, pp.53–66
- SKJEMSTAD, J.O., REICOSKY, D. C., WILTS, A.R., MCGOWAN, J.A., 2002. Charcoal carbon in US agricultural soils. *Soil Science Society of America Journal* 66, 1249–1255.
- THERY-PARISOT, I., et THIEBAULT, S., 2005 *Le Pin (Pinus sylvestris) : préférence d'un taxon ou contrainte de l'environnement. Etude des charbons de la Grotte Chauvet*. Acte des Journées Nationales de la Société Préhistorique Française. Lyon 11-12 Octobre 2003
- TILMAN, D., BALZER, C., HILL, J., BEFORT, B.L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of*

Sciences of the United States of America 108, 20260–4.  
doi:10.1073/pnas.1116437108

- United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division, 2015. World Population Prospects. The 2015 Revision. Volume I: Comprehensive Tables, ST/ESA/SER.A/379. New York
- VALLADS, H., TISNÉRAT-LABORDE, N., CACHIER, H., et al, 2003 Bilan des datations carbone 14 effectuées sur des charbons de bois de grotte Chauvet. Bulletin de la Société préhistorique française 102 (1), 109-113 p
- VENTURA, M., SORRENTI, G., PANZACCHI, P., GEORGE, E., TONON, G, 2012. Biochar reduces short-term nitrate leaching from a horizon in an apple orchard. Journal of environmental quality. Doi:10.2134/jeq2012.0250
- WANG, J., XIONG, Z., KUZYAKOV, Y., 2015. Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. Global Change Biology Bioenergy 1–12. doi:10.1111/gcbb.12266
- WOOLF, D., AMONETTE, J.E., STREET-PERROTT, F.A., LEHMANN, JOHANNES, JOSEPH, STEPHEN, 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature communications 1, 56. Doi: 10.1038/ncomms1053
- YANAI, Y., TOYOTA, K., OKAZAKI, M., 2007. Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. Soil Science and Plant Nutrition 53, 181–188.
- YUAN, J.-H., XU, R.-K., 2012. Effects of biochars generated from crop residues on chemical properties of acid soils from tropical and subtropical China. Soil Research 50, 570. Doi: 10.1071/SR12118
- YUAN, J.-H., XU, R.-K., ZHANG, H., 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. Bio resource Technology 102.
- YANG, F., CAO, X., GAO, B., ZHAO, L., Li, F., 2015. Short-term effects of rice straw biochar on sorption, emission, and transformation of soil NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N. Environ Sci Pollut Res. Doi: 10.1007/s11356-014-4067-1
- <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Sciure-de-bois>
- <http://engrais.ooreka.fr/astuce/voir/337495/fumier-de-vache>

- <http://www.vadestad.com/fr/svoir-faire/bases-agronomiques/les-bases-du-sol/caracteristiques-des-differents-types-de-sol/>
- <http://www.aci-algérie.com/courgette/>