



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE  
DEL'ENSEIGNEMENTS SUPERIEUR  
ET DELA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université 20 Août 1955 Skikda F  
Faculté des Sciences  
Département des Sciences Agronomiques  
**Filière:** Sciences Agronomiques  
**Option:** Science du sol

**Mémoire de fin d'études:**

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Sciences Agronomiques

**Thème:**

**Effet de l'apport du sol en compost et biochar sur le stock de carbone et le rendement du blé**

**Présenté par:**

- Lechelek Nihel
- Bouachemane Yousra

**Membres du Jury :**

Mme. Larid Sabah	(MCB)	<b>Présidente</b>	Université du 20 Août 1955 – Sk
Mlle. Bala Sahima	(MCB)	<b>Examinatrice</b>	Université du 20 Août 1955 – Sk
Mlle. Bounouara Zohra	(MCB)	<b>Encadrante</b>	Université du 20 Août 1955 – Sk

**Année universitaire : 2021-2022**

## **Remerciement**

*On remercie Dieu et tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir lieu sans l'aide et l'encadrement de M<sup>lle</sup> **Bounouara***

***Zohra**, nous la remercions pour sa qualité d'encadrement exceptionnelle, sa patience, sa précision et sa disponibilité au moment où nous préparons ce mémoire*

*Tout le remerciement à :*

*Monsieur le directeur général et le chef département d'agronomie*

*En fin tout personne qui a participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire soit sincèrement remerciée*

*Et tous mes enseignants au cours des 5 années et tous le personnel département d'agronomie.*

## **Dédicace**

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir à toi mon père" **S**alah"*

*A la flamme de mon cœur a maman "**H**assina" pour son amour et qu'elle m'a toujours accordé en témoignage de ma reconnaissance envers sa confiance, ces sacrifices et sa tendresse*

*A une personne unique à ma tante "**H**anifa"la source de mes efforts ,ma vie et mon bonheur que dieu vous protège*

*Ames sœur "chaima", "**F**arah" et mon frère "mohamed" qui me sont très chers ,source de joie et de bonheur*

*A mes grands-mères ,mes oncles ,et mes tante seta tout les cousins que dieu leur donne une longue et joyeuse vie, merci pour leurs amours*

*A mes chers amies "**I**men", "**R**ayane"merci pour leur conseil et leurs encouragements  
Et a tout ceux qui m'aiment.....*

***N**ihel**L**echelek*

## **Dédicace**

*J*edédiecemémoire

*A*meschersparents mamère et monpère

*pourleurpatience, leuramour, leursoutienetleursencouragements Amesf*  
*rères*

*A*monfilsmoussaouisamiabdsnnor *A*mo

*ncherMari*                    *etatoutesafamille*

*A*mesamies etmes camarades

*S*ansoubliertouslesprofesseursquecesoitduprimaire, dumoyen, dusecondaire  
*oudel'enseignementsupérieur*

*B*ouachemaneyousra

## Résumé:

Le biochar ou bois de charbon a monté dernièrement son efficacité sur la fertilité des sols et la production végétale. L'objectif de cet étude est d'évaluer l'effet comparatif de l'amendement du sol en biochar, et compost sur le stockage et le déstockage (minéralisation) de carbone dans le sol (mollisol) et par conséquent leur effet sur la production et le rendement végétale, au moyen de la technique respirométrique au laboratoire par incubation dans des conditions contrôlés de température et d'humidité, et un test biologique (blé) par essais de pôts en serre. Différents traitements ont été élaborés pour atteindre cet objectif : sol sans amendement, sol enrichi par des amendements et du biochar activé pendant 15 jours avant l'incorporation : (biochar

et compost, biochar et urée, biochar+compost+urée), sol enrichi par des amendements incorporés directement au sol : (biochar et compost, biochar et urée, biochar +compost +urée), sol avec compost seul, sol avec urée seul et sol avec biochar seul. A la lumière des résultats obtenus nous pouvons récapituler que l'amendement des sols, principalement le mollisol enrichi en biochar activé par l'urée et le compost ou incorporé directement au sol ont permis de stocker mieux le carbone organique dans le sol et influence par conséquent la production végétale. Ces derniers ont subi une grande résistance à un choc thermique au niveau de la serre après 20 jours de croissance, alors que le reste des traitements ont été brûlés. L'application du biochar actif et le compost a permis pour effet d'augmenter la population et l'activité biologiques des sols et d'accroître l'efficacité de la fertilité du sol, il augmente par conséquent la disponibilité des nutriments des plantes, et le rendement des cultures.

**Mots clés :** Biochar, compost, minéralisation, stock de carbone, rendement de blé.

## ملخص

زاد الفحم الحيوي أو الفحم مؤخرًا من فعاليته على خصوبة التربة وإنتاج المحاصيل. والهدف من هذه الدراسة هو تقييم التأثير المقارن لتعديل التربة باستخدام الفحم الحيوي والسماد العضوي على تخزين وإزالة (تمعدن) الكربون في التربة (موليسول) و بالتالي تأثيرها على الإنتاج والإنتاجية النباتية، باستخدام تقنية قياس التنفس في المختبر عن طريق الحضانة تحت ظروف مضبوطة لدرجة الحرارة والرطوبة، والاختبار البيولوجي (القمح) عن طريق اختبار الأواني في الدفيئة. تم تطوير معالجات مختلفة لتحقيق هذا الهدف: تربة بدون تعديل، تربة غنية بالتعديلات وفحم حيوي نشط لمدة 15 يومًا قبل التأسيس: (biochar + compost، biochar et urée، biochar and compost + urea)، تربة غنية بالتعديلات المدمجة مباشرة في التربة: (biochar + compost + urea، urea، biochar و biochar)، تربة مع السماد وحده، تربة مع اليوريا وحدها والتربة مع biochar وحده. تسمح اليوريا والسماد العضوي أو دمجها مباشرة في التربة بتخزين أفضل للكربون العضوي في التربة وبالتالي تؤثر على إنتاج النبات، وأن باقي المعالجات قد تم حرقها. إن تطبيق الفحم الحيوي النشط والسماد العضوي له تأثير على زيادة النشاط والنشاط البيولوجي للتربة وزيادة كفاءة خصوبة التربة، وبالتالي زيادة توافر المغذيات النباتية، وإنتاجية المحاصيل. الكلمات المفتاحية: الفحم الحيوي، السماد العضوي، التمعدن، مخزون الكربون، محصول القمح.



## Sommaire

Résumé .....	05
Introduction générale .....	11
<b>Chapitre 1 : synthèse bibliographie .....</b>	<b>14</b>
<b>1–l'effet de l'apport du sol en biochar .....</b>	<b>15</b>
1-Introduction .....	15
2-l'histoire du biochar .....	15
3-Définition du biochar... ..	16
4-Technologies de production... ..	17
5-Composantes de la biomasse .....	20
• Cellulose.....	22
• Hémicellulose .....	22
• Lignine .....	23
-Matière extractible .....	24
6-caractéristiques et propriétés physico-chimiques des biochar .....	24
6-1-capacité d'échange cationique .....	24
6-2-la porosité et la surface spécifique.....	25
6-3-capacité de rétention en eau... ..	26
6-4-pH et conductivité électrique.....	26
7-effet de l'amendement du biochar .....	27
7-1-effet du biochar sur le sol.....	27
7-2-effet du biochar sur la vie microbienne.....	27
7-3-effet du biochar sur la croissance de la plante.....	28
<b>2-L'effet de l'apport du sol en compost .....</b>	<b>31</b>
B-Compostage.....	31
1-Introduction .....	31
2-qu'est-ce que le compostage .....	31
3-principe général.....	32
4-processus de compostage .....	32
4-1-Processus aérobie et production de chaleur .....	32
4-2-Structure du substrat et aération .....	34
4-3-Processus biologique.....	34
6-TECHNIQUES DE COMPOSTAGE .....	35
6-1-Le compostage individuel .....	36

6-2-Le compostage en andains.....	36
6-3-le compostage en canal .....	37
7-CARACTÉRISTIQUES DES COMPOSTS .....	37
8-UTILISATION DU COMPOST .....	39
9-Les phases du compostage.....	39
9-1-Phase active ou thermophile .....	40
9-2-Phase de séchage ou mésophile .....	41
9-3-Maturation... ..	41
10-Activation du compostage .....	41
Conclusion .....	42
<b>3-Carbone (évolution du C dans le sol cycle C).....</b>	<b>43</b>
<b>Chapitre 2: Matériel et méthodes .....</b>	<b>45</b>
1-Matériau d'étude .....	46
1-1-le sol .....	46
1-2-Les amendements organiques .....	47
A- le biochar .....	47
B- le compost .....	47
2-Méthode de travail .....	48
2-1-Préparations de traitements en pots .....	48
2-3-Expérimentation en conditions contrôlées .....	50
<b>Chapitre 3: Résultats et discussion... ..</b>	<b>53</b>
1-Effet de l'apport des amendements organiques sur le végétal (blé) dans le sol .....	54
1-1-effet sur la taille (longueur) de végétale.....	54
1-2-Effet sur la production en matière sèche du végétal .....	55
2-Variation de la quantité de carbone dans les différents traitements .....	56
2-1-Variation du stock C (t/ha) dans les différents traitements .....	58
3-Effet d'apport du sol en amendement organique sur la minéralisation du carbone organique (dégagement de CO <sub>2</sub> .....	58
3-1 Evolution cumulée de CO <sub>2</sub> dégagé durant la période d'incubation (mg/Kg de sol) dans les différents traitements .....	60
Conclusion... ..	62

## LISTEDESTABLEAUX

N°	Tableau	Page
01	.Fractionsdesmacromoleculesconstituantdiverstypesdebiomasseslignocellulosiques	21
02	Caractéristiquesmoyennesd'uncompostdedéchetsMénagers.	38
03	Propriétésphysico-chimiquesdessolsétudiés	46
04	caractéristiquedubiochar,compost	47

## LISTE DES FIGURES

N°	Figures	Page
01	Illustration de la structure de la biomasse ligno-cellulosique	22
02	Le cellobiose, dimère de D-glucose est l'unité de répétition du polymère de cellulose	22
03	Principaux composés de l'hémicellulose	23
04	Structure des unités de phenylpropane C6C3 présentes dans la lignine	24
05	Le cycle du C dans les sols d'un agroécosystème cultivé et les volants d'action	40
06	Effet des amendements organiques sur la taille des plantes (longueur) du sol (avec les deux répétitions)	44
07	courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage (franco.2003)	54
08	Effet des amendements organiques sur la taille des plantes (longueur) du sol (avec les deux répétitions)	55
09	production en matière sèche de végétale	56
10	variation de la quantité de carbone dans les différents traitements	57
11	variation du stock (t/ha) dans les différents traitements	58
12	évolution de la quantité de CO <sub>2</sub> dégagée de l'incubation du sol	
13	évolution cumulative de CO <sub>2</sub> dégagée pendant 14 jours	60

## LISTE DES PHOTOS

N°	Photos	Page
01	Le biochar (biocharbon)	16
02	Différents types de biochars	17
03	La machine de pyrolyse "3R", utilisée pour la fabrication de biocharbon	18
04	Four à charbon	19
05	les produits résultant de la pyrolyse de la biomasse (biochar, bio-huile et gaz $CO_2$ , $H_2$ , $CH_4$ )	20
06	<i>Début de l'expérimentation et le semis des grains de blé dans les différents traitements</i>	49
07	l'expérimentation après 10 jours de semis ((germination et levée des grains, arrosage des plantes)	49
08	l'expérimentation après 18 jours de semis (stade tallage, les plantes poussent rapidement spécialement dans le traitement biocharactif pendant 15 jours par le compost et l'urée)	50
09	Disposition des bocaux dans l'étuve	51
10	Titration par HCl	52

## LISTEDESIMAGE

N°	Images	Page
01	SEM images of biomass and biochar: (a) wood sawdust; (b) B-350; (c) B-450; and (d) B550 (Magnification 12000x, 20.0kV, Low Vacuum)	25
02	biochar ou charbon de bois un remède miracle pour l'agriculture	29
03	le plant avec/sans biochar	30
04	compost	32
05	substrat adapté au compostage (M. argano)	33
06	compostage individuel	36
07	retournement d'un compost en andains (photo T. Beffa)	37

# *Introduction générale*

Les amendements organiques représentent un ensemble assez général de fertilisants d'origines naturelles, principalement issus du compostage des déchets. L'utilisation de compost et de biochar permettra d'améliorer la qualité des sols et la croissance des plantes en réduisant l'utilisation d'engrais, mais aussi de séquestrer le carbone.

Le biochar réfère à du biocharbon obtenu d'une décomposition thermique de matériaux riches en carbone et des herbes. Le bois, le tronc, les branches et divers résidus agricoles et forestiers (Yao et al., 2012).

L'application du biochar en agriculture reçoit une attention particulière depuis quelques années, notamment pour son pouvoir d'être un excellent puits de carbone capable d'atténuer les changements climatiques, d'augmenter la capacité de rétention en eau du sol, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, et de contrôler la mobilité d'un bon nombre de polluants environnementaux tels que les métaux lourds, les pesticides et autres contaminations. (Yao et al., 2012).

On peut dire que le biochar permet une meilleure fertilité des sols et une plus grande productivité des cultures (Sohi et al., 2012). Comme le compost qui signifie « engrais composé

» c'est un fertilisant écologique et économique pour le jardin. On le conçoit grâce au recyclage de déchets par un procédé de compostage en silo, en tas ou en surface avec ces déchets d'origine animale ou végétale, sont mis en fermentation dans le but d'obtenir un produit concentré en minéraux et matières organiques.

Le compost est totalement naturel et peut être mélangé à terre afin de l'enrichir, il est utilisé pour améliorer la structure du sol ; c'est un engrais particulièrement nourrissant pour les plantes du jardin ; des plantes qui sont ainsi plus saines et résistent mieux aux maladies.

Composter des éléments variés permet la constitution d'un compost plus riche. Il s'agit de l'engrais le plus équilibré qui soit, à condition de bien différencier les déchets utilisés pour le compostage. Mais toujours il y a une relation très forte entre le compost et le carbone.

Le carbone est le constituant majeur de deux gaz à effet de serre  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$ . La nature du carbone se retrouve sous deux formes : le carbone organique et le carbone inorganique.

En agriculture, le biochar, le compost sont des éléments essentiels nécessaires pour améliorer le sol et le processus des cultures. La question qu'on peut poser ainsi, c'est quelle est la différence entre ces amendements et quel est l'amendement qui peut donner le meilleur stock en C ? Le meilleur rendement en agriculture ? Peut-on savoir le mécanisme de stockage et de stockage de carbone ?

## Introduction générale

---

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'effet comparatif de l'amendement du sol en biochar, et compost et l'urée, sur le stockage et déstockage (minéralisation) de carbone dans le sol (mollisol), et par conséquent leur effet sur la production végétale, au moyen de la technique respirométrique au laboratoire par incubation dans des conditions contrôlées de température et d'humidité, et un test biologique (blé) par essais de pots en serre. Pour atteindre cet objectif, différents traitements ont été élaborés :

- Sol seul (Mollisol) sans amendement, un seul traitement
- Sol amendé en biochar activé pendant 15 jours
- Sol amendé en biochar activé par l'urée pendant 15 jours
- Sol amendé en biochar activé par le compost et l'urée pendant 15 jours
- Sol amendé en biochar et compost incorporés directement au sol
- Sol amendé en biochar et l'urée incorporés directement au sol
- Sol amendé en biochar et l'urée et compost incorporés directement au sol
- Sol amendé en urée seul incorporés directement au sol

Les hypothèses proposées pour donner le stock et rendements sont :  
sur différents traitements et amendements de biochar et compost apportés sur sol, biochar activé par compost et l'urée activés pendant 15 jours, qui stockent le C et donnent le meilleur rendement.  
\_ Puis le biochar et compost et l'urée incorporés directement au sol  
\_ Ensuite le biochar et compost incorporés directement  
\_ et enfin le sol + biochar seul

Les documents articulés sur les chapitres suivants : Chapitre

I : synthèse bibliographique sur

- l'effet de l'apport du sol en biochar
- l'effet de l'apport du sol en compost
- Le cycle du carbone.

Chapitre II. Matériel et méthode  
Chapitre III. Résultats et discussion

**CHAPITRE I :**

**Synthèse bibliog  
raphique**

## **1- L'effet de l'apport du sol en biochar:**

### **1. INTRODUCTION :**

C'est l'International Biochar Initiative à partir de l'Université Cornell qui a fait émerger cette technologie il y a 12 ans environ et montré que le biochar stimule le métabolisme du sol et les défenses immunitaires des plantes qui se défendent ainsi contre maladies et insectes. De plus, le biochar agit comme un rétenteur d'eau et convient particulièrement aux sols arides. Aujourd'hui, le biochar est obtenu par pyrolyse de biomasse végétale (chauffage à environ 500°C en l'absence d'oxygène), généralement à partir de résidus agricoles. Il se présente sous forme de petits fragments noirs, légers et poreux. (pro-nature international, 2020)

Les sols les plus riches du monde sont les « terres noires » d'Amazonie, ou terra preta. Ses anciennes populations y ont incorporé une forme particulière de charbon, qui porte le nom de "biochar". Le simple fait d'apporter à votre terre cette poudre de matière végétale carbonisée en présence de très peu d'oxygène et ensemencée de micro-organismes va améliorer sa structure, réduire les besoins en fertilisants, endiguer les effets des métaux toxiques, stimuler la croissance des plantes en stockant l'eau et les nutriments, et augmenter la biodiversité microbienne. En outre, sa production maîtrisée est non seulement très peu polluante mais participe à la séquestration du carbone dans les sols. (cox, 11 Janvier 2021), malgré que le biochar puisse présenter des risques pour la faune du sol, il peut tout aussi bien améliorer grandement la santé biologique d'un sol (Thies et Rillig, 2009).

### **2- L'histoire du biochar:**

L'origine du biochar proviendrait des pratiques agricoles des habitants d'Amazonie qui incorporaient de grandes quantités de charbon au sol ainsi que des fumiers et autres engrais biologiques pour améliorer les rendements de leurs cultures (Sohi, 2012). Aujourd'hui, après plus de 500 ans après la fin de ces pratiques agricoles qui ont mené à leur création, les sols noirs d'Amazonie ou Terra Preta sont les plus prisés des sols agricoles pour leur excellente fertilité, leur fort contenu en éléments nutritifs (C, N, P, K et Ca), leur bonne capacité d'échange cationique (CEC) et leur capacité à retenir et recycler les éléments nutritifs sur de longues périodes de culture (Laird et al., 2010; Lima et al., 2002; Steiner et al., 2008). De plus, certains auteurs avancent que l'ajout de charbon de bois dans les sols tropicaux fortement fragilisés améliore les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols (Glaser et al., 2002). L'équivalent actuel du charbon utilisé dans les sols noirs d'Amazonie est un biochar produit par le procédé de pyrolyse décomposant la biomasse première sous de hautes températures et sous de faibles concentrations en oxygène (Lehmann, 2007). Des études plus récentes sur le sujet recommandent le biochar pour sa capacité d'améliorer l'état des sols, naturellement pauvres ou acides, voire même dégradés par une agriculture intensive (Steiner et al., 2007) en favorisant une meilleure structure du sol, qui en améliore ses propriétés physico-chimiques (Rillig et Mummey, 2006). Globalement, la fertilité des sols est améliorée par l'ajout de biochar grâce à son effet tampon sur le pH du sol ainsi qu'à une meilleure rétention des nutriments dans le sol découlant de la capacité du biochar d'adsorber les

cations à sa surface (Liang et al., 2006). Le biochar influence également la communauté biologique du sol entre autres par sa composition et son abondance (Liang et al., 2010). Par conséquent, l'effet du biochar sur les communautés microbiennes du sol a été démontré dans les sols noirs d'Amazonie où une meilleure composition et diversité des communautés microbiennes furent observées (Kim et al., 2007). Malgré que le biochar puisse présenter des risques pour la faune du sol, il peut tout aussi bien améliorer grandement la santé biologique d'un sol (Thies et Rillig, 2009). L'impact sur les organismes du sol est fortement lié aux propriétés intrinsèques du biochar et du type de sol amendé. De plus, le biochar peut affecter les émissions de gaz à effet de serre tels l'oxyde nitreux et le méthane (Zhang et al., 2010). D'autre part, peu d'études ont traité de l'effet du biochar en

production biologique voire même en culture sous serre. Nichol et Savidov (2009) ont suggéré que l'amendement en zéolite, qui possède des propriétés similaires au biochar, a un impact favorable ou négligeable sur les rendements d'une culture en serre hors-sol. Une étude plus récente sur la croissance de diverses espèces (poivron, laitue, basilic, géranium et coriandre) cultivées dans un substrat biologique à base de tourbe amendé en biochar (1:1 v/v) a présenté des effets bénéfiques, nul ou néfastes selon l'espèce étudiée (Gravel et al., 2013).

### 3-Définition du biochar:



Le biochar est le produit solide de la pyrolyse, il est noir, poreux et riche en carbone. On l'obtient en chauffant la biomasse végétale à des températures inférieures à 700 °C, en absence presque totale d'oxygène. En plus de stocker le carbone dans le sol, le biochar a aussi des effets bénéfiques potentiels sur le sol et la croissance des plantes (Lehmann & Joseph

2009),

**Photo 1:** le biochar (biocharbon)

Le biochar est fabriqué par le même procédé que le charbon de bois, ils ont les mêmes propriétés physiques et chimiques, mais se distinguent par leurs usages, le charbon de bois est employé comme combustible alors que le biochar est apporté au sol. Il peut être déposé en toute sécurité dans l'environnement, où il reste stable pendant des centaines, voire des milliers d'années (Shackley et al., 2016).

Il est possible avec les technologies modernes de pyrolyse de produire du biochar à partir d'une large gamme de matières premières issues de la biomasse végétale (photo 1), et pas seulement des grumes ligneuses utilisées pour produire du charbon (Shackley et al., 2016)

Au cours de la pyrolyse la structure chimique de la biomasse change, les atomes de carbone se lient fortement les uns aux autres conférant au biochar une structure moléculaire résistante à la

dégradation par les microorganismes (Shackley et al., 2016), les sous-produits volatils (souvent de l'hydrogène, du mono et dioxyde de carbone, et du méthane) sont recueillis et utilisés pour alimenter la fabrication de biochar, et les huiles sont récupérées, filtrées et utilisées comme biocarburants de synthèse, un substitut de plus en plus prometteur pour les combustibles fossiles (Lehmann & Joseph, 2015). Ce qui permet une gestion efficace des résidus agricoles, agroindustriels et toutes sortes de biomasse végétale considérée comme déchet, tout en produisant de l'énergie. Le biochar a ainsi plusieurs fonctionnalités (fig. 2), dont l'atténuation du changement climatique, la production d'énergie, la gestion de déchet et l'amélioration des sols. Et tout dans une optique socio-économique plus générale (Etelvino Henrique Novotny, Maia, Carvalho, & Madari, 2015).



Photo 2...différents types de biochars

#### **4. Technologies de production:**

Le biocharbon est un produit carboné stable fabriqué à partir de sous-produits de la biomasse animale ou végétale ou des déchets organiques pour l'usage dans l'agriculture de conservation. Le biocharbon est produit sous des conditions thermiques réductrices et doit avoir une qualité bien définie et contrôlée. Le biocharbon peut être utilisé pour améliorer les propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques des sols. Une large gamme de matières premières organiques peut être utilisée pour la production du biocharbon mais pour sa fabrication on doit respecter les exigences de durabilité, comme ne pas utiliser de matières compétitives avec l'alimentation humaine, la nourriture animale et la nutrition des plantes. (<https://www.refertil.info/sme/fr/quest-ce-que-cest-est-le-biocharbon-et-comment-lon-produit>, 2020)



**Photo 3:** La machine de pyrolyse "3R", utilisée pour la fabrication de biocharbon

Le biochar se définit comme le produit de la thermo-dégradation de la matière organique en milieu pauvre en oxygène, destiné à un usage agricole (Lehmann & Joseph 2009).

Ce processus de transformation est dénommé pyrolyse. De nombreux modèles de fours à pyrolyse existent pour la production de biochar, chacun aboutissant à l'obtention d'une gamme de produits en proportions diverses (biogaz, biohuile et biochar). (Verheijen et al 2010). On distingue trois types de pyrolyses

: rapide, intermédiaire et lente, cette dernière parfois appelée carbonisation (à cause de la concentration de la fraction de carbone dans la matière). La pyrolyse rapide se fait généralement avec des dispositifs améliorés du type « fluidized bed reactor » qui polluent très peu car ils recyclent les gaz et condensent les fumées. La biomasse est portée très rapidement (< 1 s) à une température comprise entre 400 et 700 °C en absence d'oxygène. Pour cela, la biomasse doit être réduite en particules < 2 mm, ce qui requiert une quantité importante d'énergie pour le préconditionnement (Cummer & Brown 2002). Cette technologie produit seulement 15-25% de biochar et 60-70% de bio-

huiles après condensation des vapeurs de pyrolyse (Bridgwater & Peacocke 1994; Czernik & Bridgwater 2004; Mohan et al. 2006).

Le biochar obtenu est très riche en condensés aromatiques. Ceci le prédispose à être mieux séquestré dans le sol eu égard à la nature récalcitrante de ses composés. La pyrolyse intermédiaire requiert un préconditionnement similaire au précédent, seulement le temps de séjour dans le four est plus long (10-20 secondes) et la proportion de bio huile obtenue est supérieure à celle de la pyrolyse lente.

La pyrolyse lente se fait soit avec des fours traditionnels ou des fours modernes. Les fours traditionnels « traditional charcoal kiln » ne recyclent aucun sous-produit de la thermo-dégradation, ils

---

sont moins efficaces énergétiquement et produisent des émissions polluantes (Kammen & Lew 2005).



**photo4:Four à charbon**

La quantité de biochar produite est plus importante et ce biochar contient plus de groupes fonctionnels du type C=O et C-H qui peuvent servir éventuellement de sites d'échange pour les nutriments du sol après oxydation (Glaser et al. 2002). Mieux encore, ils sont plus faciles à manipuler et requièrent moins de contrôle, présentent des caractères organiques incluant des structures de type aliphatiques et cellulose.

identifient quatre fractions importantes qui constituent le biochar : l'humidité, les cendres, les matières labiles et les matières récalcitrantes. Selon leurs travaux, le biochar pourrait absorber jusqu'à trois fois

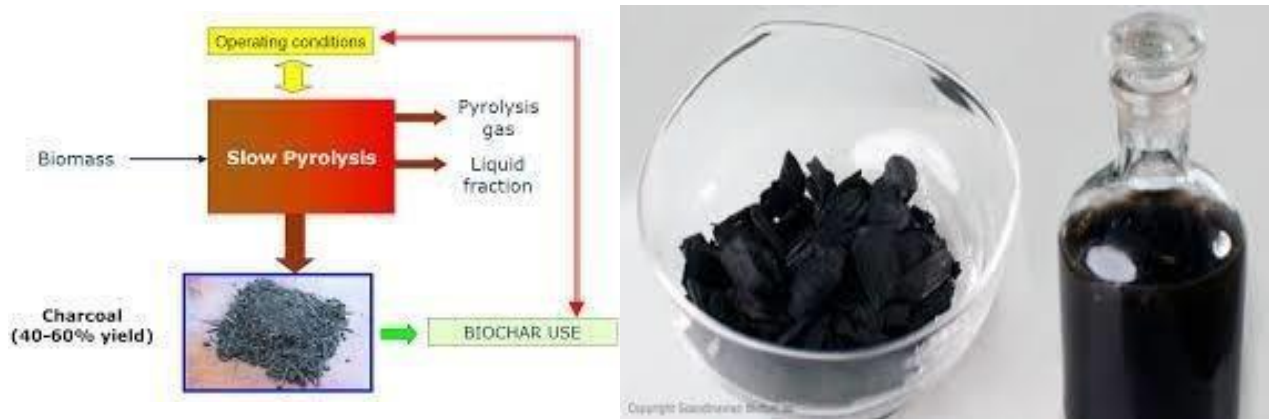
son poids sous forme d'humidité; des résultats similaires ont aussi été obtenus par Allaire et al. (2015). Le biochar à base de bois (matière ligneuse) est généralement faible en cendre (< 1 %), alors que celui issu de la biomasse riche en minéraux comme les résidus agricoles en contient jusqu'à 24% (Amonette & Joseph 2009). Le biochar produit à base des déjections animales peut contenir jusqu'à 45 % de cendres (Koutcheiko et al. 2007). Les cendres du biochar sont constituées essentiellement de calcium (Ca), fer (Fe), magnésium (Mg), sodium (Na), potassium (K), phosphore (P), silice (Si) et d'aluminium (Al) (Amonette & Joseph 2009). Les matières labiles font référence à la fraction du biochar qui s'altère de manière abiotique ou biotique quelques jours à quelques semaines suivant son incorporation dans le sol. Cette fraction est importante, car sa décomposition peut entraîner l'immobilisation de l'azote par la biomasse microbienne, suite à une augmentation du rapport C/N. Cette immobilisation est souvent suivie d'une baisse temporaire de rendement des cultures (Rondon et al. 2007; Asai et al. 2009; Blackwell et al. 2010). La matière récalcitrante, essentiellement le carbone avec sa structure fortement aromatique, constitue la grande proportion du biochar et lui garantit sa stabilité chimique dans le sol (Sohi et al. 2010).

La diversité des méthodes de production ainsi que des biomasses utilisées constituent un défi pour la valorisation agronomique des différents biochars (Schmidt et al. 2000; Lehmann & Joseph 2009). En effet, la qualité finale du biochar dépend de la biomasse

utilisée et des conditions de fabrication, tels que la température et le temps de séjour dans le four. La manipulation de l'un de ces trois facteurs permettrait au producteur d'orienter la pyrolyse en fonction des objectifs d'usage visés. Par ailleurs, certains biochars peuvent soit stimuler ou inhiber le développement

de la faune du sol (Liesch et al. 2010); soit stimuler ou inhiber la germination et la croissance de la plante chez certaines espèces (Chan et al. 2008; Free et al. 2010; Van Zwieten et al. 2010). D'où la

nécessité pour une meilleure compréhension des mécanismes d'action du biochar, de préciser pour chaque expérience ses caractéristiques physico-chimiques ainsi que les détails de fabrication (biomasse utilisée, température de pyrolyse, le taux d'application et la méthode d'application) (Warnock et al. 2007; Tomlinson et al. 2012).



**Photo 5:** les produits résultant de la pyrolyse de biomasse (biochar, bio-huile

et gaz  $CO_3$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ )

### 5- Composantes de la biomasse:

La biomasse désigne l'ensemble des matières organiques pouvant se transformer en énergie. On entend par matière organique aussi bien les matières d'origine végétale (résidus alimentaires, bois, feuilles) que celles d'origine animale (cadavres d'animaux, êtres vivants du sol).

Il existe trois formes de biomasse présentant des caractéristiques physiques très variées:

- les solides (ex: paille, copeaux, bûches);
- les liquides (ex: huiles végétales, bioalcools);
- les gazeux (ex: biogaz).

La biomasse est une réserve d'énergie considérable née de l'action du soleil grâce à la photosynthèse. Elle existe sous forme de carbone organique. Sa valorisation se fait par des procédés spécifiques selon le type de constituant. La biomasse est parfois considérée comme une source d'énergie renouvelable uniquement si sa régénération est au moins égale à sa consommation (par exemple, l'utilisation du bois ne doit pas conduire à une diminution du nombre d'arbres). (<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse,2011>).

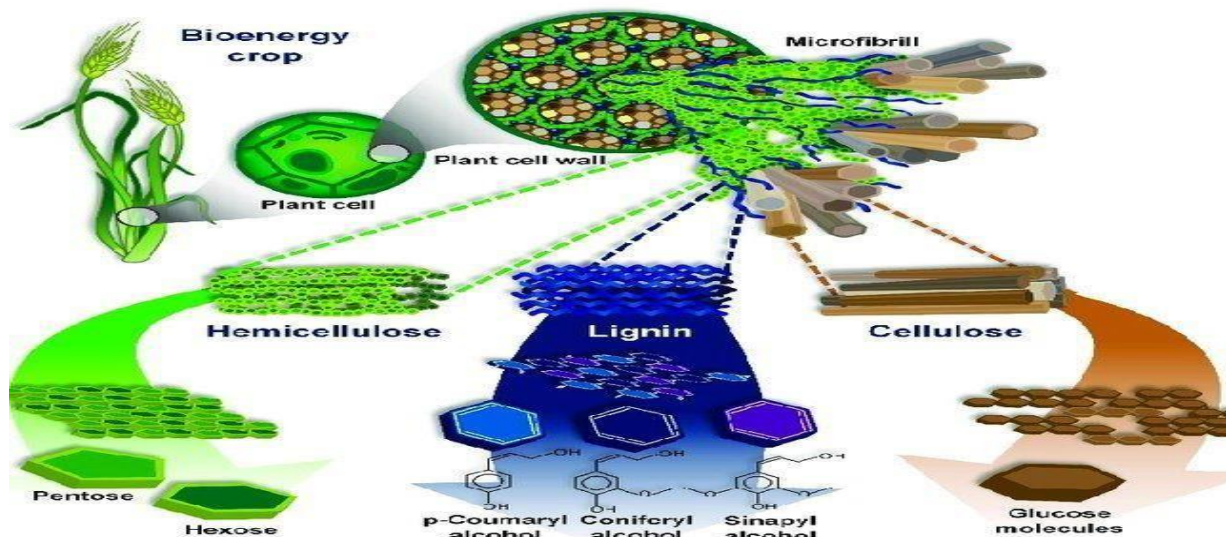
La biomasse végétale est constituée principalement de matière organique ainsi que de matière inorganique en plus faible quantité. La matière organique à l'échelle macromoléculaire consiste en la cellulose, l'hémicellulose, la lignine et des matières extractibles. Les polymères de cellulose et d'hémicellulose sont formés de glucides et se réfèrent ensemble à l'holocellulose. Avec la lignine, ce sont trois types de

macromolécules composent les parois cellulaires des plantes (Figure 3). C'est la lignine qui donne cependant la rigidité à la fibre végétale. Les matières extractibles, quant à elles, représentent principalement le matériel non structural de la plante. Elles sont extractibles à l'aide de solvants (tels l'eau et/ou l'éthanol) et sont constituées de cires, graisses, résines, tannins, sucres non structuraux, amidons, pigments et autres [Guo et al., 2010; Sluiter et al., 2008]. Une fraction de la plante se compose aussi d'une matière inorganique. Cette dernière ayant été assimilée

lors de la croissance de la plante à partir du sol ou recueillie lors de manipulations de la biomasse (ex. : par exemple en contact avec les sol et particules du sol restant collées à sa surface). Un des défis concernant la valorisation de la biomasse est essentiellement la variabilité dans la composition d'une même plante ainsi qu'entre les types de plantes (Tableau 2.2). Les proportions de chacun des constituants de

la biomasse lignocellulosique varient selon les facteurs suivants [Rousset et al., 2011; Vassilev et al., 2010; Yan et al., 2006]:

- le type de biomasse, le type d'espèce ou la partie de la plante;
- les conditions climatiques et géographiques pouvant affecter la croissance (ex. : période d'ensoleillement, sol, eau);
- l'âge de la plante;
- les fertilisants et pesticides utilisés (affectant principalement les éléments inorganiques);
- les saisons de récolte, les techniques de récolte, de transport et d'entreposage

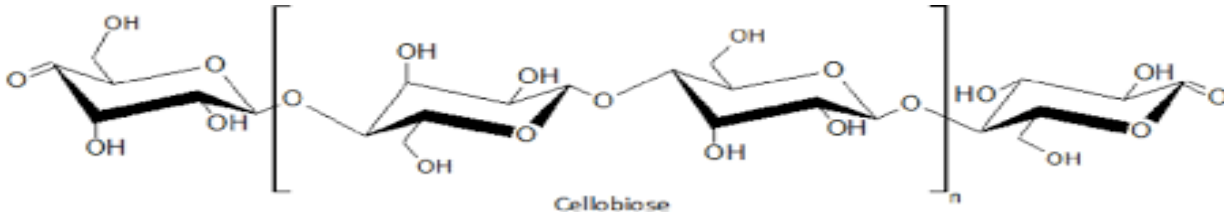


**Figure 1:** Illustration de la structure de la biomasse ligno-cellulosique (Wild, 2011)

### Cellulose:

La cellulose est un polysaccharide, formé de monomères de glucides, mais plus particulièrement de D-glucose ((C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub>), dont l'unité de répétition est le cellobiose, un dimère de glucose (Figure 4) [Demirbas, 2000; Lee et al., 2010],

Lacelluloseestconstituédelongspolymèresnonréticulésquisontprincipalementorganisésousuneformecristallineoupouvantaussisepresentersousformeentrelacée, correspondant ainsi à la cellulose amorphe. L'organisation des polymères de cellulose de forme cristalline rend ce constituant de la biomasse très résistant à l'hydrolyse (réaction de dégradation à partir des ions de l'eau;  $H^+$  et  $OH^-$ ). La cellulose cristalline est aussi plus résistante à la pyrolyse que la cellulose amorphe et l'hémicellulose [Rousset et al., 2011].



**Figure 2** : Le cellobiose, dimère de D-glucose est l'unité de répétition du polymère de cellulose. Source : Mohan et al. [2006]

### Hémicellulose:

L'hémicellulose est composée de glucides polymérisés enchevêtrés avec la cellulose et qui entrent dans la formation des membranes cellulaires (Figure 3) [Reed, 1981]. La structure des polymères d'hémicellulose est similaire à celle de la cellulose excepté que l'hémicellulose est réticulée alors que les polymères de cellulose sont linéaires. La structure des polymères d'hémicellulose, avec la variété de sucres la constituant, confère à l'hémicellulose une structure amorphe. Cette structure formée de liaisons faibles la rend moins résistante à la dégradation thermique que la cellulose cristalline [Almeida et al., 2010].

L'hémicellulose est formée habituellement de 2 à 6 glucides. Le D-xylose et le D-mannose sont les sucres les plus courants. D'autres sucres, tels que le D-glucose, le D-galactose et le L-

arabinose peuvent également y être retrouvés (Figure 5). Le xylène, polymère de D-xylose, est généralement la fraction la plus abondante et la plus réactive des

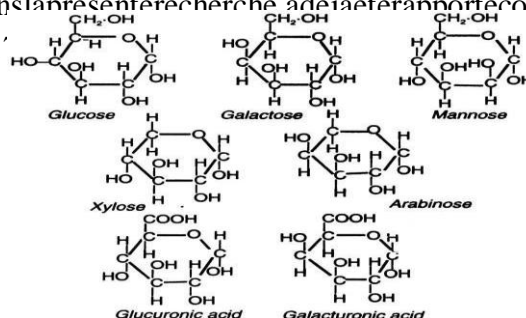
hémicelluloses [Prins et al., 2006b; Rousset et al., 2011]. Le xylane représenterait environ 80-

90% de l'hémicellulose des bois de feuillus et jusqu'à un tiers de tous les hydrates de carbone pour l'ensemble des types de biomasses lignocellulosiques

[Reed, 1981; Sun et Cheng, 2002], L'hémicellulose des conifères diffère de celle des feuillus et est constitué à 60-

70% de glucomannanes [Prins et al., 2006b; Rousset et al., 2011]. Le panicérite (*Panicum virgatum*), espèce employée dans la recherche adhésive, est un exemple de biomasse comportant des glu-

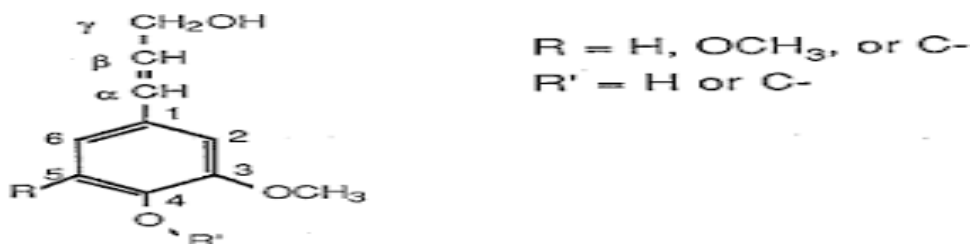
canes (41,6%), xylènes (1%) et mannanes (0,8%) [Hee et al., 2009].



**Figure 3:** Principaux composés de l'hémicellulose. Source: Mohan et al. [2006]

### Lignine:

La lignine constitue la portion aromatique et en conséquence non-glucidique de la paroi cellulaire [Reed, 1981; Rousset et al., 2009]. Elle est composée de polymères phénoliques dont l'unité principale est le phénylpropane (Figure 6) [Reed, 1981; Sharma et al., 2002]. La lignine comporte une structure complexe, variable, et entrelacée avec les autres polymères de cellulose et d'hémicellulose (Figure 3) [Butterman et Castaldi, 2010; Rousset et al., 2009]. Les noyaux aromatiques entourés de groupes fonctionnels variés sont omniprésents dans la lignine. Le lien principal à l'intérieur même de l'unité de phénylpropane de la lignine est le lien P-O-4 (Figure 6).



**Figure 4:** Structure des unités de phénylpropane C6C3 présentes dans la lignine. Source: Il est important de noter que la lignine extraite de biomasse et souvent utilisée pour des analyses de conversion thermo-chimiques (ex.: analyses par ATG) peut varier selon le type de biomasse et selon le mode d'extraction utilisé pour son isolation de la matrice lignocellulosique. Ainsi, les études qui présentent des résultats de décomposition thermique de la lignine ne correspondent pas nécessairement à sa décomposition lorsque celle-ci est présentée dans la biomasse originale [Mohan et al., 2006]. Parmi les précédents menant à l'isolement de la lignine se trouvent, entre autres, le précédent de l'industrie des pâtes et papier qui génère de la lignine kraft ou lignine alcaline, l'explosion à la vapeur ainsi que divers précédents de production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique ou la lignine se retrouve comme sous-produit [Pandey et Kim, 2011],

### Matière extractible

Les matières extractibles constituent la matière non structurale de la biomasse et peuvent être extraites de la biomasse à l'aide de solvants aussi bien polaires que apolaires [Sluiter et al., 2008]. Les bois mous abondent en résines et terpènes, 2 types de matières extractibles. Cependant, en général, la plupart des essences de bois comportent des cires, des acides gras, des pigments et des glucides (ex.: sucres simples, amidon), tous se terminant comme matières extractibles [Bourgois et al., 1989; Guo et al., 2010; Reed, 1981]. Le panicier (*Panicum virgatum* L.) extrait avec 95% d'éthanol et analysé par GC-MS a démontré la présence de glucides, d'acides gras, d'alcools gras, de glycérol, d'alcane et de stérols [Yan et al., 2010]. En général, le contenu total en matière extractibles varie selon le type de biomasse, se situant toutefois sous 10% de l'ensemble

e de la biomasse [Guo et al., 2010].

### **6- Caractéristiques et propriétés physico-chimiques des biochars :**

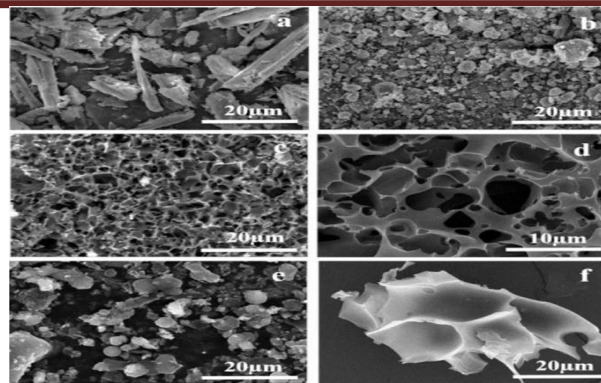
La matière première, la température, la vitesse d'élévation de la température, le temps de chauffage et la grosseur des particules peuvent affecter les propriétés physico-chimiques et la qualité d'un biochar (Brewer et al., 2011; Lehmann et Joseph, 2009; Pituello et al., 2015). Parmi les propriétés physico-chimiques qui distinguent un biochar, il y a :

#### **6-1 Capacité d'échange cationique :**

Il a été établi que plus la température de la pyrolyse est faible plus la CEC est faible et viceversa (Lehmann, 2007). De plus, l'amendement avec un biochar possédant une surface spécifique élevée peut favoriser davantage la CEC des sols (Liang et al., 2006). La CEC du biochar est attribuée en partie à une augmentation de l'oxygénation des groupements fonctionnels retrouvés sur la surface du biochar (Cheng et al., 2006). Ces différents groupes fonctionnels qui interagissent avec le milieu sont les groupements pyrannes, phénoliques, carboxyliques, lactones et les amines (Brennan et al., 2001). Ces groupes peuvent agir sur l'agrégation des particules du sol, sur la matière organique dissoute et sur le transport des gaz et de l'eau (Joseph et al., 2009). Selon certains chercheurs, l'oxydation de la surface du biochar mènerait à une plus grande CEC par unité de carbone dans le sol (Liang et al., 2006; Mao et al., 2012). Toutefois, l'ajout de biochar peut aussi avoir un effet nul sur la CEC du sol et cela pourrait dépendre du type de biomasse utilisée. Par exemple, Novak et al. (2009b) rapportent que l'amendement avec un biochar de coquilles de noix de pécan pyrolysé à 700°C n'a eu aucun effet sur la CEC d'un sol incubé pendant 67 jours.

#### **6-2 Porosité et la surface spécifique :**

La porosité est une propriété physique fondamentale, le type de pores, leur taille et leur volume conditionnent la surface spécifique, une notion très importante dans la caractérisation des biochars. La porosité du biochar est très variée, elle englobe différentes dimensions de pores, depuis les macropores jusqu'aux nanopores, catégorisés selon la classification standard de l'IUPAC. Généralement, les biochars produits à partir d'une biomasse riche en lignine sont macroporeux, alors qu'une biomasse riche en cellulose favorise davantage la formation de micropores. On voit sur cette image une variété de structures poreuses selon le type de biomasse utilisée pour la fabrication des biochars. Il s'agit de charbon de bois fin (CR), de coque de noix de coco (CS), de pelure d'orange (OP), de grappe de palmier à huile (PO), de bagasse de canne à sucre (SB) et de la jacinthe d'eau (WH).



**Image 01.** SEM images of biomass and biochar: (a) woodsawdust; (b) B-350; (c) B-450; and (d) B550 (Magnification 12000x, 20.0kV, Low Vacuum)

Observés au MEB, la taille de leurs pores varie entre 6 à 10  $\mu\text{m}$ , sauf pour la jacinthe (WH) qui présente une surface rugueuse, probablement à cause de l'effondrement des pores et le remplissage du système poreux par des cendres (Batista et al., 2018). La variabilité dans la porosité du biochar se répercute directement sur sa surface spécifique, elle se situe en général entre 112 à 642  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  (Li et al., 2017) comme elle pourrait atteindre les 859  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  (Ducouso, 2015), voire même plus. Le volume poral et la surface spécifique changent aussi avec la température de pyrolyse, lorsque les températures élèvent de 500 à 900°C, ils passent respectivement de 0.056 à 0.099  $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  et de 25,4 à 67,6  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ . On pourrait cependant observer le phénomène inverse déjà mentionné plus haut, et qui s'explique soit par la destruction de la texture poreuse du biochar, soit par le blocage des pores suite à la formation des goudrons condensés sous haute température.

### **6-3. Capacité de rétention en eau:**

Le rapport O/C d'un biochar serait un indicateur potentiel pour déterminer son caractère hydrophile et sa polarité. Normalement, lorsque la température de la pyrolyse augmente, le biochar a une faible teneur en oxygène et donc un rapport O/C très faible. Selon une étude de Wang et al. (2006) l'augmentation de la température de la pyrolyse peut diminuer la polarité sur la surface du biochar résultant en une diminution de sa capacité de rétention en eau. Cependant, Kinney et al. (2012) ont observé une faible hydrophobicité de trois différents biochars pyrolysés entre 400°C à 600°C.

### **6-4. pH et conductivité électrique:**

La température de la pyrolyse peut influencer le pH du biochar. Par exemple, Novak et al. (2009a) ont observé qu'un biochar produit à une température élevée (700°C) avait un pH plus élevé comparativement à un biochar produit à faible température (250°C). Une autre étude rapporte une augmentation de 2 unités de pH entre les biochars produits à une température de 300°C et de 600°C (Rajkovich et al., 2012). L'augmentation de la température de pyrolyse peut favoriser la production de cendre et une augmentation du contenu en cations basiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ ) qui sont directement corrélés avec le pH du biochar (Singh et al., 2015). La matière première choisie peut également faire varier le pH du biochar, allant d'un pH = 4 à un pH = 12 (Cheng et al., 2006; Lehmann, 2007; Rogovska et al., 2012). Un biochar produit à partir de bois, un matériau très ligneux, possède en général un pH plus élevé qu'un biochar produit à partir

des résidus de cultures carson contenu en  $\text{Ca}^{2+}$  est plus élevé (Singh et al., 2015). Toutefois, une récente revue littérature rapporte aucun effet du contenu en lignine sur le pH du biochar (Dinget al., 2016).

Le pH du biochar est plutôt proportionnel avec la température de pyrolyse propre à chacune des biomasses végétales. D'autre part, la méthode de pyrolyse (rapide ou lente) peut influencer le pH du biochar. Bruun et al. (2012) ont observé qu'un biochar produit à partir de pailles de blé et pyrolysé lentement (vitesse de  $6^\circ\text{C min}^{-1}$ ; température maximale de  $525^\circ\text{C}$  maintenue durant 2 heures) avait un pH plus élevé (pH = 10,1) qu'un biochar pyrolysé rapidement (pH = 6,8 ; pyrolyse en continu avec un temps de résidence de quelques secondes; vitesse de  $250$  à  $1000^\circ\text{C s}^{-1}$ ). Par rapport à la conductivité électrique (CE), celle-ci semble varier plus en fonction du type de biomasse que de la température de la pyrolyse (Rajkovich et al., 2012). Par exemple, la CE dans des biochars d'origine animale (bovin et volaille) et de maïs présentés dans l'étude de Rajkovich et al. (2012) n'a pas été influencée avec l'augmentation de la température de la pyrolyse, allant de  $300$  à  $600^\circ\text{C}$ . En excluant les résidus alimentaires et ceux des boues de papeteries, la CE des biochars dans l'étude de Rajkovich et al. (2012) est généralement plus élevée dans les biochars d'origine animale ( $200$  à  $500 \text{ mS m}^{-1}$ ) que ceux d'origine végétale ( $3,8$  à  $203 \text{ mS m}^{-1}$ ). Singh et al. (2015) mentionnent que le contenu en sel du matériel original influence la CE du biochar.

## **7- Effet de l'amendement du biochar:**

### **7-1 Effets du biochar sur le sol:**

L'effet du biochar dépend de l'état de chaulage, de la matière première utilisée, de la température de pyrolyse (Lehmann, 2007; Chan & Xu, 2009) et du degré d'oxydation du biochar (Cheng et al., 2006). Le biochar affecte plusieurs propriétés physiques du sol. Il réduit tout d'abord la force de tension du sol (Chan et al., 2007). Les effets du biochar sur le pH du sol sont variables selon les études. Le pH du biochar influence, en l'augmentant ou le diminuant, celui du sol dans lequel il est incorporé (Lehmann, 2007 ; Chan & Xu, 2009). Le pH diminue lorsque le carbone est oxydé en acides carboxyliques, tandis qu'il augmente lorsque des minéraux basiques sont mis en solution (Cheng et al., 2006 ; Lehmann et al., 2011). Sa diminution permet aux racines et aux mycorhizes de creuser dans le sol et de trouver les nutriments plus efficacement. Elle permet aussi aux graines de se développer plus facilement (Bengough & Mullins, 1990). Les invertébrés ont eux plus de facilité à se mouvoir dans le sol, influençant les relations proie-prédateurs, ce qui peut nuire au développement racinaire. L'impact net positif ou négatif de la diminution de la tension du sol sur les racines n'ayant pas été démontré (Lehmann et al., 2011). Le biochar est constitué de pores de différentes tailles et sa densité est inférieure à celle de certains minéraux. De ce fait, il augmente la porosité et la réserve utile de l'eau du sol (Lehmann et al., 2011).

### **7-2 Effets du biochar sur la vie microbienne:**

Le biochar affecte l'activité et la structure microbiennes du sol. Les principaux facteurs influençant l'impact du biochar sur les éléments vivants du sol sont l'adsorption, le pH du sol et les

propriétés physiques du biochar telles que la porosité, la surface spécifique et son association avec la matière minérale. Les modifications de disponibilité en carbone et en divers nutriments grâce au biochar ont parfois tendance à augmenter et parfois à diminuer la biomasse microbienne, et ce selon trois critères : la disponibilité des éléments du sol avant l'ajout de biochar, l'ampleur des modifications dues au biochar et les groupes de microorganismes. Dans la plupart des cas étudiés cependant, l'ajout de biochar a pour effet de augmenter la biomasse microbienne (Lehmann et al., 2011).

Les effets du biochar sur la disponibilité des nutriments pour les microorganismes sont donc très variables en fonction des études (Warnock

et al., 2010). En augmentant la CEC, la capacité d'adsorption du sol, en améliorant le pH et en apportant des nutriments, le

biochar a un potentiel de fertilisation irréfutable (Lehmann et al., 2011). Des études portant sur du biochar issu de produits bovins présentent des augmentations de la respiration et du quotient métabolique, résultant probablement d'une concentration en nutriments, notamment en phosphore et azote, ainsi que d'une proportion en carbone labile plus importantes

(Kolb et al., 2009). Cependant, selon certaines études le biochar occasionne un moindre accès à la disponibilité des nutriments pour le microbiome, et pourrait de ce fait favoriser une diminution de la minéralisation du carbone et donc d'émission de CO<sub>2</sub> (Andersson et al., 2013; Lehmann et al., 2011).

Néanmoins, plusieurs études démontrent que la moindre accessibilité en engrais entraîne un changement dans les communautés des microorganismes, qui se réorganisent en

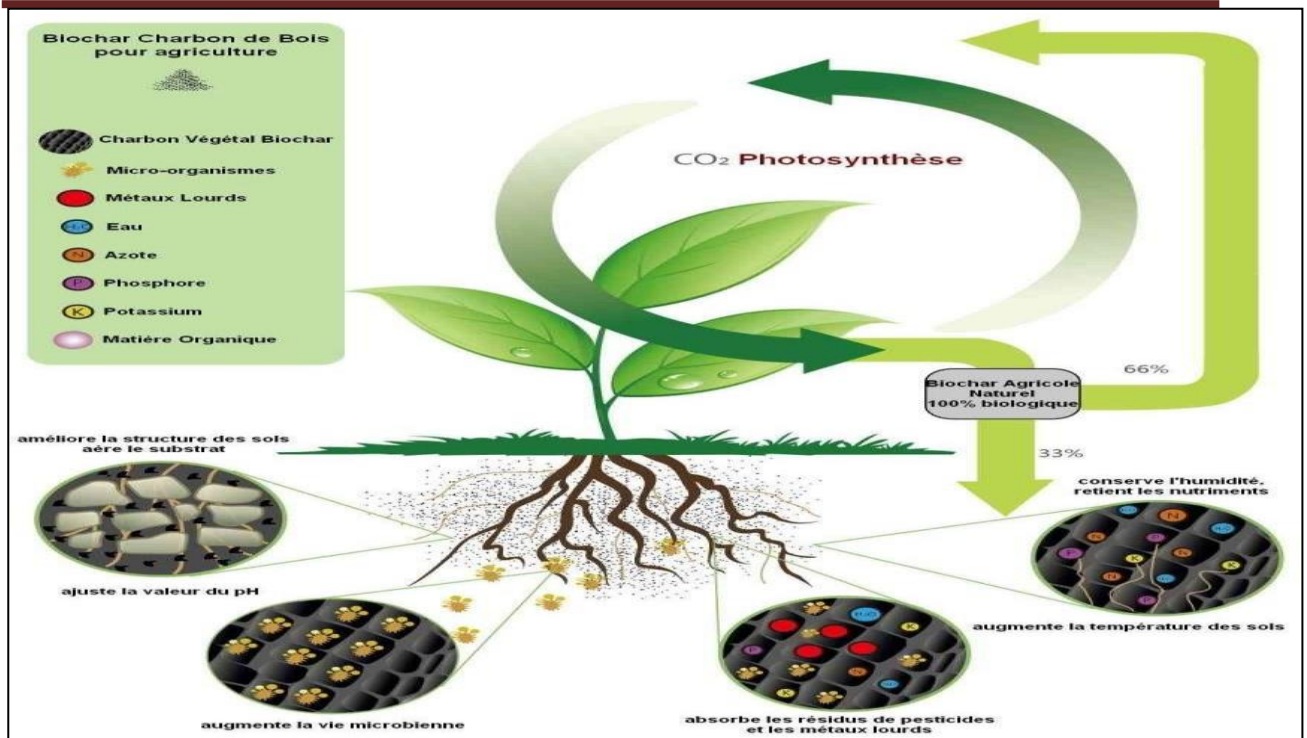
favorisant les espèces

capables d'accéder à la matière organique récalcitrante (Khodadad et al., 2011; Bamminger et al., 2014). Le biochar a des effets différents selon les communautés d'organismes.

Il semblerait que le biochar induise une abondance de bactéries, car suite à leur accrochage sur la surface de celui-ci, leur lessivage est amoindri. Par contre, les communautés fongiques ne

seraient que faiblement impactées par l'ajout de biochar (Pietikäinen et al., 2000). La prédominance d'un de ces groupes de microorganismes par rapport à l'autre pourrait influencer la production de CO<sub>2</sub> (Lehmann et al., 2011). L'immobilisation s'effectue par attraction hydrophobe, par des forces électrostatiques ou par adhésion, en fonction de la taille des pores, de la proportion de cendres et de la fraction labile (Rivera-Utrilla et al., 2001 ; Lehmann et al., 2011). Les champignons et les bactéries sont mieux protégés de leurs prédateurs et compétiteurs grâce aux pores du biochar (Lehmann et al., 2011), accentuant l'importance du rôle des pores et de leur taille (Cassidy et al., 1996 ; Rivera-Utrilla et al., 2001; Samonin & Elikova, 2004). Il est à préciser que les effets positifs du biochar sur un type de communautés ne certifie pas qu'il aura des effets positifs sur une autre (Lehmann et al., 2011).

### **7-3. Effets du biochar sur la croissance de la plante:**



**Image02:** biochar ou charbon de bois un remède miracle pour l'agriculture

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

Par contre, aucun effet significatif sur la croissance de la plante entre les deux doses d'applications de biochar (1 et 3% m/m) n'a été observé. Pour ce qui est de l'étude de Vaughn et al. (2013), des effets divergents ont été observés sur la croissance des plants de tomate et de Marigold amendés avec une dose de 5, 10 ou 15% (v/v) de biochar de bois ou de paille. Bien qu'un amendement de biochar peut avoir des effets positifs, ceci peut aussi occasionner des effets neutres et même nuisibles à la croissance de la plante.

Ceci peut dépendre des propriétés physicochimiques du biochar (Manya et al., 2012). C'est le cas des biochars fabriqués à partir de litières de volaille. Ces biochars possèdent généralement une forte concentration en sodium.

Selon une étude réalisée par Revel et al. (2012), l'application de 2,5% (m/m) de biochar, fabriqué à partir de litières de volaille, avait une concentration en sels solubles (1,2 dS m<sup>-1</sup>) très élevée. Ils constatent que la concentration en sels était beaucoup trop élevée pour la croissance du poivron. Rajkovich et al. (2012) ont également mesuré une concentration élevée en sodium dans les biochars de litières de volaille, mais aussi dans ceux de bovin et de rebuts de pâte et papiers. Cette concentration élevée en sel expliquerait la réduction de

l'accroissement du maïs dans leur étude. Enfin, Rajkovich et al. (2012) mentionnent qu'une application supérieure à 2% (m/m) ( $\approx 26 \text{ t ha}^{-1}$ ) de biochar a permis d'améliorer l'accroissement du maïs.



Image 03: la plante avec/sans biochar

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

## **2- L'effet de l'apport du sol en compost:**

### **1- introduction :**

Le compostage est la décomposition biologique de matière organique par des microorganismes sous des conditions aérobies déterminées en une matière relativement stable qui ressemble à de l'humus et qu'on appelle compost. Le compostage peut prendre différentes formes selon la matière compostée, la méthode et le matériel utilisés et selon l'envergure des opérations. Dans les exploitations agricoles, les matières premières que l'on composte le plus souvent sont les fumiers, la litière et les résidus de culture (paille, rebuts, déchets de transformation à la ferme, etc.).

Traditionnellement, certains agriculteurs avaient l'habitude de mettre le fumier en tas et de le laisser se décomposer en attendant d'être prêts à l'utiliser. Certains parlaient alors de compostage.

En fait, il y a plus dans le compostage que le simple vieillissement du fumier ; c'est une science. La décomposition se produit dans le cadre d'un procédé bien géré qui vise

à obtenir des résultats positifs, c.-à-

d. un produit de valeur, moyennant un minimum de répercussions environnementales

Le compost est un amendement organique qui permet d'améliorer la fertilité du sol et de nourrir efficacement les plantes du jardin. Il est admis que 30% de nos déchets ménagers du quotidien peuvent être transformés en compost et plus les éléments utilisés pour constituer un compost sont variés plus ce dernier sera riche. Parmi les déchets qui peuvent s'y intégrer les déchets de cuisine ou de jardin, mais aussi des boues d'épuration ou des effluents d'élevage voire des digestats de méthanisation.

## 2- Qu'est-ce que le compostage ?

Le compostage est la décomposition biologique de matière organique par des microorganismes sous des conditions aérobies déterminées en une matière relativement stable qui ressemble à de l'humus et qu'on appelle compost. Le compostage peut prendre différentes formes selon la matière compostée, la méthode et le matériel utilisés et selon l'envergure des opérations. Dans les exploitations agricoles, les matières premières que l'on composte le plus souvent sont les fumiers, la litière et les résidus de culture (paille, rebuts, déchets de transformation à la ferme, etc.).

Traditionnellement, certains agriculteurs avaient l'habitude de mettre le fumier en tas et de le laisser se décomposer en attendant d'être prêts à l'utiliser. Certains parlaient alors de compostage. En fait, il y a plus dans le compostage que le simple vieillissement du fumier ; c'est une science. La décomposition se produit dans le cadre d'un procédé bien géré qui vise à obtenir des résultats positifs, c.-à-d. un produit de valeur, moyennant un minimum de répercussions environnementales. (<http://www.omafr.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.htm>, 2016).



Image04: compost

## 3- Principe général :

Plusieurs définitions du compostage sont formulées par différents auteurs (MUSTIN, 1987; FRANCOU, 2003; ALBRECHT, 2007) mais toutes s'accordent sur le principe suivant: Le compostage

est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession des communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée.

Le produit ainsi obtenu est appelé compost riche en matière organique (BAYARD et al., 2001; ZNAIDI, 2002). D'autre définition d'après SHARMA et al., (1997) citée par AMIR (2005); le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie. Cette voie de valorisation des déchets organiques constitue l'objet du présent travail.

#### **4- PROCESSUS DE COMPOSTAGE:**

##### **4-1 Processus aérobie et production de chaleur**

Lorsque le volume de substrat à composter est suffisant, il s'y produit une forte élévation de température puisque l'activité bactérienne aérobie est un processus exothermique. La production de chaleur est proportionnelle à la masse, donc au volume du compost, alors que la chaleur est dissipée vers l'air par sa surface. L'augmentation de la température est donc d'autant plus forte que le rapport volume/surface du tas de compost est élevé. En conditions anaérobies, la quantité d'énergie qu'un microorganisme tire de la dégradation de la matière organique est très faible. Il doit donc être économe du peu d'énergie dont il dispose. La chaleur dégagée par les activités métaboliques anaérobies est donc très modeste par rapport à celle engendrée par les processus aérobie. Dans le cœur anoxique d'une décharge, malgré une dissipation de chaleur extrêmement faible, la température dépasse rarement 30 à 40°C. Une masse de substrat soumise au processus de compostage manifeste un cycle thermique:

La température s'élève tout d'abord rapidement sous l'effet de la chaleur produite (phase thermogène). A ce stade, deux facteurs limitent la production de chaleur, une aération insuffisante et la température maximale permettant l'activité des microorganismes présents:

- Limitation par l'aération. Au fur et à mesure que la température s'élève, la solubilité de l'oxygène diminue alors que sa consommation aérobie augmente. Si la ventilation du compost est insuffisante, des zones anoxiques apparaissent, tant au niveau de la microstructure que de la structure générale, dans lesquelles se manifestent des activités anaérobies beaucoup moins thermogènes.
- Limitation par la température maximale. Tout microorganisme ayant atteint sa température maximale d'activité est inhibé dans sa respiration et dans sa croissance; il ne produit plus de chaleur. D'autres organismes plus thermo tolérants et/ou thermophiles le relaient. Mais les microorganismes du compost doivent être présents et relativement abondants au départ dans le substrat. La vitesse d'échauffement est donc limitée par le potentiel de la microflore du substrat initial à mettre en œuvre une succession de populations de plus en plus thermophiles. La température maximale atteinte est celle supportée par les organismes présents les plus thermophiles (Beffa et al, 1996a). Le système fonctionne alors comme un « biothermostat »!



**Image05: substrat adapté au compostage (M. argano)**

Cette température de croisière se maintient aussi long temps que des substrats facilement métabolisables sont disponibles. Mais ceux-ci s'épuisent peu à peu et les substances restantes sont de plus en plus difficilement et donc lentement dégradables. De ce fait, la production de chaleur décroît, ce qui entraîne un abaissement progressif de la température. Lorsque celle-ci est redevenue proche de la température ambiante, la phase la plus importante de la maturation est terminée. (gobat, 2003)

#### **4-2 Structure du substrat et aération**

Une structure poreuse et perméable du substrat est essentielle pour assurer un bon déroulement du compostage. La circulation de l'air dans le compost en dépend. Celle-ci intervient passivement par un phénomène de <thermosiphon> engendré par l'échauffement de la masse. (gobat, 2003)

### **4-3 Processus biologique:**

Devant la diversité des aliments offerts par les matières à composter, les microorganismes assimilent d'abord de petites molécules solubles (sucres simples, acides aminés, alcools) qu'ils peuvent absorber sans les modifier au préalable dans le milieu extérieur. Ils s'attaquent ensuite, par leurs enzymes extracellulaires, à des biopolymères plus ou moins aisément dégradables (protéines, acides nucléiques, amidon, hémicelluloses, pectines, cellulose) (Lynch, in Hoitink & Keener, 1993). Les éléments constitutifs de ces substances, surtout le carbone, l'azote, le soufre, le phosphore et les métaux, sont alors libérés sous forme de CO<sub>2</sub> et de sels minéraux. Ce processus est analogue à la minéralisation primaire des sols naturels.

Dans les composts, la transformation des matières peu dégradables n'intervient que durant la phase de refroidissement et de stabilisation, conduisant à une pré-humification. En revanche, certains polymères très récalcitrants, comme la lignine, ne sont que très peu, voire pas du tout dégradés lors du compostage. Dans une litière naturelle, la ligninolyse est opérée essentiellement par certains champignons se développant pas à des températures élevées. Elle n'intervient donc pas durant la phase thermogène du processus. Ils suivent une conservation de la lignine, très favorable à la qualité du compost: n'oublions pas qu'elle est un précurseur essentiel des humines héritées H1 et d'insolubilisation H2.

Durant la phase thermogène, on a constaté la présence de bactéries sulfoxydantes thermophiles, certaines capables de croître jusqu'à 80°C (Beffa et al., 1996b). Jusqu'ici, on croyait que de telles bactéries vivaient exclusivement dans les sources chaudes des régions volcaniques. L'azote est minéralisé sous forme d'ammoniaque et le soufre sous forme d'hydrogène sulfuré.

L'ammoniaque n'est souvent pas assimilable directement par les végétaux alors que l'hydrogène sulfuré est un violent toxique. Dans les sols, ces composés sont oxydés respectivement en nitrate et en sulfate par des bactéries chimioolithoautotrophes nitrifiantes et sulfoxydantes. Ces phénomènes ont été très étudiés peu dans les composts.

La nitrification n'a pas lieu à de hautes températures, ce qui est confirmé par la présence d'ammoniaque à concentration relativement élevée dans l'air de composts en phase thermogène (entre 60 et 80°C). En revanche, au cours du refroidissement du compost, l'ammoniaque est oxydée par les bactéries nitrifiantes dès que la température passe au-dessous de 45°C. S'il parvient dans des zones temporairement anoxiques du compost, le nitrate est réduit en azote élémentaire par l'activité des bactéries dénitrifiantes. Il s'ensuit une perte d'azote combiné pour le compost. Si les zones anoxiques deviennent importantes, le sulfate en H<sub>2</sub>S, voire même la formation de méthane. (Gobat, 2003)

### **5- PROBLÈMES HYGIÉNIQUES ET SOLUTIONS:**

Nous avons souligné l'intérêt du compostage dans une approche globale de la gestion des déchets organiques. Le compostage présente néanmoins, dans certaines conditions, un risque hygiénique qu'il s'agit de connaître pour pouvoir le contrôler. Tout d'abord, les déchets destinés au compostage sont susceptibles d'être contaminés par des organismes pathogènes, parasites de l'homme, de plantes ou d'animaux. Le processus de compostage, s'il se déroule à des températures assez élevées, entraîne l'élimination de tels germes.

Un autre risque est représenté par des organismes indigènes au processus de compostage. Ils'agitoutparticulièrementdelamoisissure *Aspergillus fumigatus* qui tolère des températures relativement élevées et se développe particulièrement bien entre 35 et 50°C. Dans ce domaine, elle a peu de concurrents et domine largement les autres moisissures. Malheureusement, elle est aussi un puissant agent de maladies allergiques, semblables à celles qui sont provoquées par la manipulation du foin (le «poumon du fermier»). De plus, elle provoque des mycoses internes graves chez certaines personnes à l'immunité déficiente : c'est donc aussi un parasite opportuniste. Elle est toutefois éliminée à des températures supérieures à 60°C.

On la rencontre essentiellement dans les composts classiques en andains, à l'air libre, où s'établit un gradient de température le cœur chaud et la surface

Les températures les plus favorables à *Aspergillus* sont atteintes dans une couche proche de la surface, qui apparaît blanche du fait de la présence de mycélium. On compte dans cette couche jusqu'à 10 millions de spores par gramme de matière sèche de compost ! Plus en profondeur, à des températures supérieures à 60°C, ce nombre diminue beaucoup. Au cours de la maturation, le nombre de spores s'abaisse également et ne dépasse guère quelques milliers par gramme dans le compost mûr. (Gobat, 2003)

Le risque pathologique lié au compostage (Lott Fischer et al, 1995) tient essentiellement à la dispersion des spores dans l'air lors du retournement des andains . Les travailleurs du compost sont donc plus exposés.

Pour écarter le risque présenté par les opérations de compostage, on doit prendre un certain nombre de précautions vis-à-vis :

- Des travailleurs du compost : porter un masque protecteur lors des opérations de retournement, assurer un suivi médical, ne pas engager de personnes allergiques ou immunodéprimées .
- Du voisinage : ne pas établir de places de compostage trop près d'hôpitaux ou d'établissements de convalescence .

Mais on peut faire plus. Le développement des moisissures allergènes, qui sont inhibées ou tuées à des températures supérieures à 51°C, est fortement réprimé si l'on adapte à cet effet les techniques de compostage (Lott Fischer et al., in de Bertoldi et al., 1996).

## **6- TECHNIQUES DE COMPOSTAGE :**

Le compostage peut être réalisé à différentes échelles (de 01 à 100 000 t/an) et selon des techniques variées (Stentford, in Hoitink & Keener, 1993) parmi lesquelles le compostage individuel, le compostage en andains à l'air libre, le compostage en canal en halle et le compostage en bioréacteur :

**6-1- Le compostage individuel :** des déchets ménagers et de jardin est proche de la décomposition naturelle de la litière. Réalisé à même le sol, il permet à la faune édaphique de s'y établir et de participer à sa maturation. Sauf si de grandes quantités de matériel sont déposées en une fois sur le tas, l'élévation de température est faible. Le processus est lent : il faut un à deux ans pour obtenir un compost équilibré, avec un à deux retournements annuels.

Le compostage individuel doit être encouragé tant que le compost est utilisé sur place; il est donc lié à la possession d'un jardin. Il ne présente aucun risque pour des personnes de santé normale. Les patients sous traitement immunosuppresseur, de même que ceux qui souffrent de maladies immunodépressives (ex. SIDA, certains cancers) doivent toutefois éviter de retourner un compost de jardin.



**Image06:compostageindividuel**

**6-2-Le compostage en andains** à l'air libre consiste à établir, sur une aire appropriée, des andains, tas de substrat allongés de section triangulaire, d'une hauteur de un à deux mètres environ (fig. 10.11). Ces tas sont retournés régulièrement au moyen d'un trax ou de machines plus spécialisées (fig. 10.12). Ce type de compostage s'applique à des échelles très différentes, de quelques tonnes par an dans le cas d'une petite communauté ou d'un quartier à quelques dizaines de milliers de tonnes par an pour une région. En Europe, la majorité des installations de compostage d'une certaine importance utilisent ce système.

Une recherche menée au laboratoire de microbiologie de Neuchâtel (Lott Fischer et al., in de Bertoldi et al., 1996) a montré une relation intéressante entre la fréquence des retournements des andains et le développement d'*Aspergillus*. Avec une gestion intensive (retournement tous les deux jours pendant les 2 à 3 premières semaines, puis environ 2 fois par semaine), le développement du champignon est cent à mille fois plus faible qu'avec une gestion extensive (un retournement hebdomadaire). Une gestion intensive permet d'atteindre des températures plus élevées tout en déplaçant, à chaque retournement, les colonies de moisissures dans la partie chaude de l'andain où elles sont tuées par la température trop haute. (gobat, 2003)



***Image07:retournementd'uncompostenandains (photoT.Beffa)***

**6-3-le compostage en canal**, le compost, disposé dans des canaux de béton, est remué par des appareils se déplaçant le long de ces rigoles. Une insufflation d'air y est également pratiquée. De tels systèmes peuvent être établis en halle ouverte ou fermée, avec un retournement entièrement automatisé. On évite ainsi de mettre les ouvriers en contact avec les spores et les poussières, et l'air de la halle de compostage peut être dirigé sur un filtre.

Si différents systèmes de compostage en bioréacteurs sont proposés sur le marché, peu sont en fonction actuellement. Ils occupent des surfaces réduites et leur impact environnemental (ex. émission d'odeurs) est faible. En principe, la température atteinte dans le bioréacteur devrait être plus élevée et uniforme: l'hygiénisation thermique porterait alors sur toute la masse.

Toutefois, selon le système, l'aération est difficile à contrôler: il se forme parfois des canaux préférentiels de circulation de l'air, d'autres zones devenant alors anoxiques. Le mélange ou le retournement sont souvent pas possibles. (gobat, 2003)

## **7- CARACTÉRISTIQUES DES COMPOSTS:**

Les composts sont très divers, résultant de la combinaison de plusieurs paramètres: nature du ou des substrats de départ, degré d'optimisation du processus, degré de maturité, texture, addition de minéraux ou d'autres compléments.

Au cours du compostage (Chen & Inbar, in Hoitink & Keener, 1993), le substrat perd essentiellement du carbone (sous forme de  $CO_2$ ), de l'hydrogène et de l'oxygène (sous forme d'eau). Dans une moindre mesure, il perd aussi de l'azote sous forme d'ammoniac et, par dénitrification, sous forme d'azote élémentaire, par rapport aux substrats de départ, le compost présente ainsi des concentrations plus élevées en autres bioéléments, phosphore, soufre, potassium, calcium, magnésium et oligoéléments. Vu les pertes relativement faibles, la teneur relative en azote augmente elle aussi (diminution du rapport C/N).

Les caractéristiques d'un compost mûr de déchets verts sont données dans le tableau Des composants tels que les boues d'épuration apportent beaucoup d'éléments nutritifs mais peu

de matériaux humigènes. A l'opposé, les déchets de bois et les écorces sont pauvres en bioéléments mais riches en composés polyphénoliques (lignine, subérine) précurseurs de l'humus. (gobat, 2003)

**Tableau 02: Caractéristiques moyennes d'un compost de déchets Ménagers. (gobat, 2003)**

	Matières sèche (m.s., en % de la matière fraîche)	
	55-70	
500-	Masse volumique apparente (g/l)	800
45-65	Capacité eau (% vol.) Matière organique (% m.s.)	
20-40	Matière organique	
10-20	Rapport C/N	
7-8	PH	
0,5-1,8	Azote total (N, % m.s.)	
0,4-1	Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , % m.s.)	
0,6-1,8	Potassium (K <sub>2</sub> O, % m.s.)	
0,7-3,0	Magnésium (MgO, % m.s.)	
3-12	Calcium (CaO, % m.s.)	

Un premier type de compost, riche en éléments minéraux nutritifs, est essentiellement à fonction d'engrais. Un second, destiné avant tout à améliorer la structure des sols, est à fonction d'amendement. Les composts obtenus à partir de déchets de cuisine et de jardin présentent généralement des caractéristiques intermédiaires, et servent à la fois d'engrais et d'amendement.

Selon les besoins, les composts sont tamisés dans une texture fine (jusqu'à 10 mm), moyenne (jusqu'à 20 mm) ou grossière (jusqu'à 40 mm). Pour des applications particulières ou pour corriger la teneur des composts en éléments nutritifs, on procède parfois à des additions de «terre végétale» ou de certains minéraux. (gobat, 2003).

## 8- UTILISATION DU COMPOST

Le compostage poursuit deux buts

- le traitement des déchets organiques, qui représentent une charge environnementale par leur putrescibilité et les nuisances qu'ils engendrent: odeurs, problèmes hygiéniques, effet attractif sur certains animaux (rats, mouettes, corneilles, mouches, etc.);
- la production d'amendements et d'engrais pour la conservation à long terme des sols agricoles, pour les cultures intensives maraîchères et horticoles, et pour le jardinage privé. (Gobat, 2003)

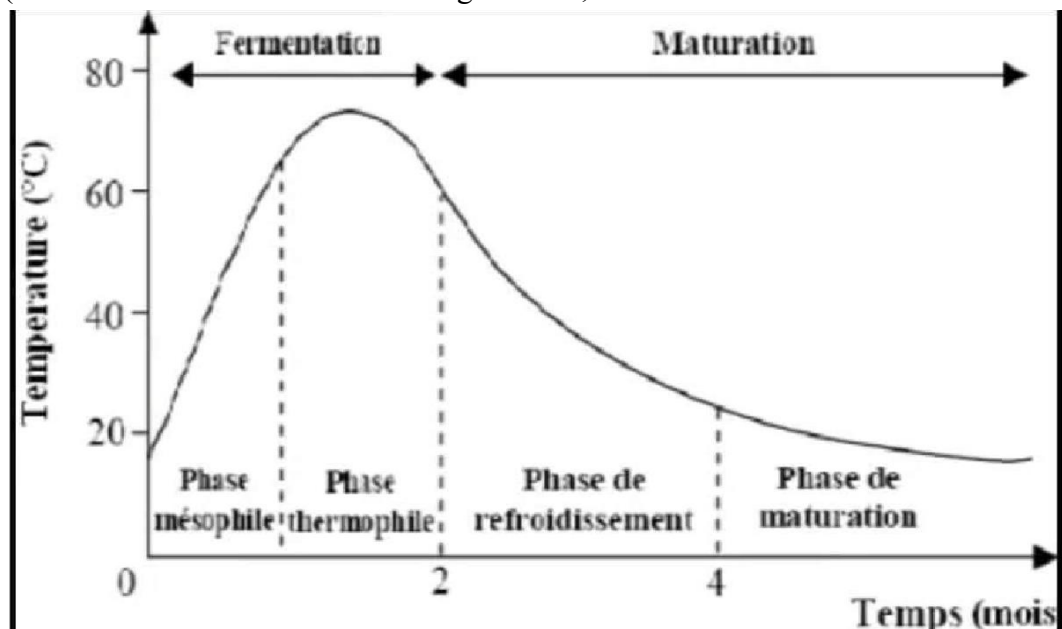
Utilisez le compost judicieusement. Ce n'est pas parce qu'une petite quantité de compost est bonne pour la terre qu'une grande quantité donnera de meilleurs résultats. En règle générale, les applications de compost doivent rester entre 38 et 76 m<sup>3</sup>/ha (20 et 40 yd<sup>3</sup>/ac). Cependant, il est préférable de faire analyser le compost et le sol en laboratoire, afin qu'un agronome professionnel recommande les volumes d'application voulus.

Les composts sont considérés comme des amendements du sol, car ils apportent des matières organiques et des organismes bénéfiques au sol, mais ils ne contiennent pas suffisamment d'azote disponible pour répondre aux besoins des cultures. Certains composts sont toutefois riches en éléments nutritifs et ont de faibles rapports C/N (par exemple le fumier de poule composté) et peuvent également être considérés comme des engrais, car ils apportent une quantité d'azote importante.

## 9- Les phases du compostage

Le processus de compostage se divise en trois phases

:(Avec la courtoisie du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario)



**Figure 07: courbe théorique d'évolution de la température au cours du compostage (francou, 2003)**

**9-1-Phase active ou thermophile:**

C'est la phase au cours de laquelle la décomposition des matières se produit le plus rapidement. Une fois que les différents éléments sont mélangés et mis en tas, la température augmente (au-dessus de 45°C). La décomposition est alors assurée par des organismes thermophiles et aérobies, dont des bactéries, des actinomycètes, des champignons et des protozoaires.

Les microorganismes utilisent de l'oxygène pour consommer les matières premières et produire du dioxyde de carbone. Si les températures (de 40 à 60 °C) et les teneurs en eau (de 50 à 60 %) sont en dehors des fourchettes optimales ou si les concentrations d'oxygène sont faibles, l'activité biologique se trouvera réduite. Par ailleurs, de fortes teneurs en humidité abaissent la concentration d'oxygène, tandis que de faibles teneurs en eau entraînent une trop grande élévation de la température. (<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.htm>.)

La durée de la phase active dépend des matières, des températures ambiantes et de la méthode de compostage. Les systèmes de compostage en milieu fermé avec retournement et aération peuvent accélérer le processus. La phase active peut durer de 1 à 4 mois si l'andain est retourné fréquemment, de 4 à 8 mois si les retournements sont moins fréquents, et de 6 à 24 mois dans le cas d'un compostage passif sans retournement ni aération active. (<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.htm>.)

**9-2-Phase de séchage ou mésophile:**

Après la phase thermophile, la plupart des matières sont décomposées et ne sont plus reconnaissables. Les températures sont plus stables (habituellement moins de 40 °C) même après le retournement du tas. Au cours de cette phase, les populations de microorganismes sont remplacées par d'autres qui préfèrent des températures plus basses. Il n'est plus nécessaire de retourner le compost, mais celui-ci doit rester aérobie. Au cours de la phase de séchage, le compost n'est pas encore arrivé à

maturité. Un compost qui n'est pas mûr peut présenter de plus fortes concentrations en acides organiques, des rapports C/N élevés, des valeurs de pH extrêmes ou de fortes teneurs en sel. Toutes ces caractéristiques peuvent endommager ou détruire les plantes. La phase de séchage peut durer jusqu'à une année, mais elle se déroule généralement en moins de 3 mois (<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.htm>.)

**9-3-Maturation:**

Le compost doit être entreposé pendant un certain temps pour arriver à maturité. Le degré de maturité est une indication du degré d'humification, ou de conversion de la matière organique en substances humiques résistantes à la décomposition microbienne. Plusieurs tests permettent de mesurer le degré de maturité du compost. On peut avoir recours à des analyses en laboratoire ou à des essais de germination à l'aide de graines de laitue ou de cresson. Si le compost n'est pas prêt, il endommagera les graines en germination et fera mourir les plantes. Pendant la phase de maturation, la dimension du tas est moins importante que durant

les phases actives ou de séchage. Le compost peut être déplacé de l'aire d'entreposage à la zone d'utilisation au moment souhaité, mais devrait être utilisé dès que possible (<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.htm>.)

### **10- Activation du compostage:**

Le mélange et l'aération sont des paramètres essentiels de la dynamique du compostage. L'urine se révèle aussi un bon activateur des micro-organismes du compost pour sa teneur en Azote, lorsqu'il fait défaut.

Le contrôle de la température du tas par un thermomètre de poche permet d'observer l'évolution de la température au cœur du compost. La température permet de confirmer l'activité qui y règne.

Si la température est trop élevée, il est utile d'aérer le compost. À l'inverse, si elle est trop basse, il est utile de rajouter de la matière organique fraîche (épluchures de légumes, herbes tondues....) et si nécessaire de l'activateur de compost afin de redynamiser l'activité des bactéries.

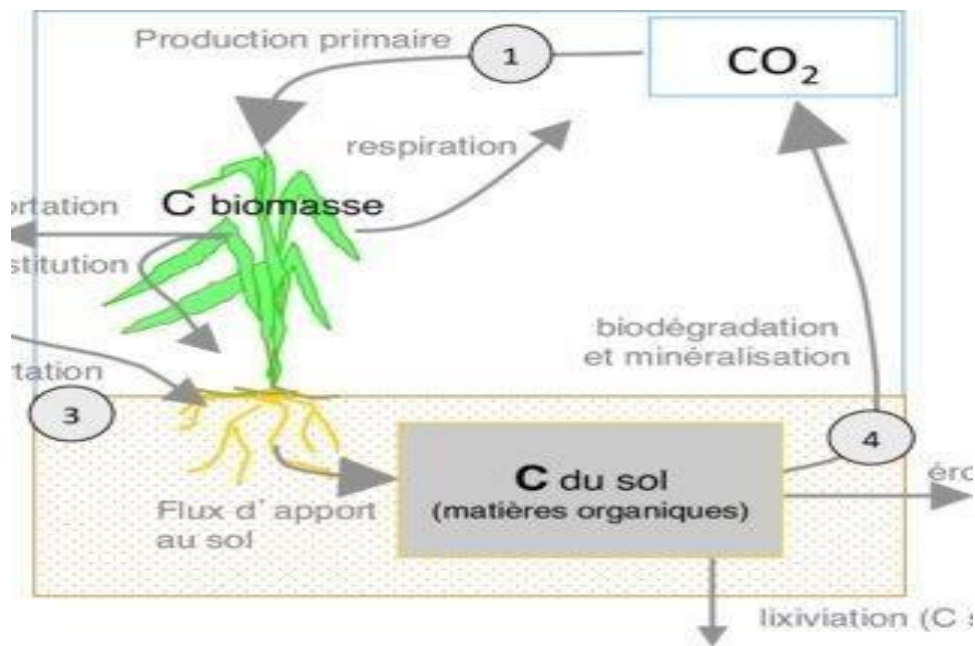
## **3-Le cycle du Carbone (évolution du C dans les sol)**

L'hydrogène (H), l'hélium (He), l'oxygène (O) et le carbone (C) sont, dans l'ordre, les éléments les plus abondants dans le cosmos. Sur Terre cependant, ce sont l'oxygène et le silicium qui dominent, le carbone venant en quatrième place seulement.

Le recyclage des éléments à travers les diverses composantes à la surface de la Planète est fortement lié au fait que la Terre est une planète vivante. L'élément le plus critique attaché à ce recyclage est sans contredit le carbone. Depuis que le cycle biologique du carbone est apparu sur Terre, il a en quelque sorte transformé cette planète en un système fermé qui assure sa continuité. Il est le constituant majeur de deux gaz à effet de serre,  $\text{CO}_2$  et  $\text{CH}_4$ , sans lequel il ne saurait y avoir de vie sur terre ; son recyclage influence particulièrement la productivité biologique et le climat. Le cycle global du carbone implique des processus qui agissent en milieu terrestre et en milieu océanique et où interviennent des réactions chimiques biologiques et non-biologiques. On ne peut discuter sérieusement de changements climatiques sans connaître le B.A.-Ba de ces processus.

Précisons d'abord que dans la nature, le carbone se retrouve sous deux formes: le carbone organique ( $\text{C}_{\text{org}}$ ) et le carbone inorganique ( $\text{C}_{\text{inorg}}$ ). Il est souvent utile de faire la distinction. Le  $\text{C}_{\text{org}}$  est celui qui est produit par des organismes vivants et qui est lié à d'autres carbones ou à des éléments comme l'hydrogène (H), l'azote (N) ou le phosphore (P) dans les molécules organiques ou les hydrocarbures. Le  $\text{C}_{\text{inorg}}$  est celui qui est associé à des composés inorganiques, c'est-à-dire des composés qui ne sont pas et n'ont pas été du vivant et qui ne contiennent pas de lien C-C ou C-H, comme par exemple le carbone du  $\text{CO}_2$  atmosphérique ou celui des calcaires  $\text{CaCO}_3$ .

(<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/cycle.carbone.html>)



**Figure 6:** Le cycle du C dans les sols d'un agroécosystème cultivé et les volants. d'action: 1- augmentation de la production primaire, 2- diminution des exportations et augmentation des restitutions, 3- importation de matières organiques exogènes et 4- diminution des pertes par minéralisation. Les pertes par érosion et par lixiviation de C soluble sont en condition tempérée généralement beaucoup moins importantes que celles par minéralisation. Dans une prairie pâturée il faudrait ajouter à ces flux la consommation d'herbe par le bétail, la respiration des animaux et la restitution de leurs déjections au sol. ([https://www.researchgate.net/figure/Le-cycle-du-C-dans-les-sols-dun-agroecosysteme-cultive-et-les-volants-daction\\_fig1\\_280662841](https://www.researchgate.net/figure/Le-cycle-du-C-dans-les-sols-dun-agroecosysteme-cultive-et-les-volants-daction_fig1_280662841), 2008)

### Conclusion:

A partir d'un déchet de valeur négative (il en coûte à la collectivité pour l'éliminer), on fabrique par le compostage un produit de valeur positive, favorable à la conservation des sols : il y a donc plus-value pour le gestionnaire des déchets comme pour l'utilisateur. Pour inclure le compostage dans l'amélioration des sols de culture, il faut toutefois que l'économie agricole accepte de prendre en compte le long terme : le compost appliqué aujourd'hui ne donnera la pleine mesure de ses effets que quelques années plus tard. Il faut aussi que la collectivité et le secteur privé envisagent le problème des déchets dans sa globalité, de la source au traitement et à l'application : un recours plus généralisé à la pratique du compostage implique des mesures allant de l'amont du processus (conception et choix de matières premières, tri des déchets) au processus lui-même (optimisation, hygiénisation) et à son aval (utilisation) (Gobat, 2003).

## **CHAPITRE II:**

# **Matériefetméthodes**

**1- Matériau d'étude:**

Pour évaluer l'efficacité de l'amendement du sol en biochar, et compost sur le stock de carbone nous avons réalisé une expérience en pots sur le blé. L'essai a été conduit dans la serre durant un mois. Une expérience a été réalisée simultanément au laboratoire durant 14 jours d'incubation en conditions contrôlées pour mesurer le dégagement de CO<sub>2</sub> et évaluer la minéralisation de la MO dans le sol (test respirométrique)

**1-1 Lesol:**

Nous avons pris un type de sol pour l'expérience: le sol mollisol.

- le mollisol a été prélevé à l'université 1955 de Kirkland
- Lesol se séché à l'air libre et puis tamisé à 2mm.
- Les résultats des analyses physiques et chimiques du sol sont présentés dans le tableau suivant:

**Tableau 03: Propriétés physico-chimiques du sol étudié**

Analyse physique	Mollisol
Sable %	10.6
Limon %	52.2
Argile %	37.2
Analyse chimique	
C.E. (mS/cm)	0.401
pH	6.77
C %	0.954
MO %	1.641

**Caractéristique morphologique des sols étudiés:**

**Lemollisol:** un sol peu évolué d'apport alluvial noir ci-humifère, labouré et sous agrumes. Sa structure est polyédrique, et sa texture est limono-argileuse en surface et argilo-limoneuse en profondeur. Sol non calcaire à pH neutre à légèrement acide, la CEC est moyenne. Très faible taux d'éléments grossiers (< 1%).

**1.2. Les amendements organiques:****A-Le biochar:**

Le biochar que nous avons utilisé est un charbon de bois de fabrication artisanale. Il est produit par pyrolyse lente dite conventionnelle à partir de résidus de bois de chêne (*Quercus*) ; il est fabriqué selon le procédé traditionnel de carbonisation en fosse ou en meule mais modifié. Dans ce type de procédé les températures de carbonisation oscillent aux alentours de 280 °C, l'opération peut durer une dizaine de jours selon le poids de la charge, et la température peut atteindre les 400 °C (FAO, 1983). Ce biochar a été caractérisé au cours d'études antérieures, il est très riche en carbone organique avec une teneur totale de 93 %, il appartient fort bien à la classe 1 des biochars (teneur en C org > 60 %) selon la classification de l'IBI (EBO, 2014).

**Activation du biochar:**

Le biochar est activé par un engrais chimique qui est l'urée ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ) et le compost. L'urée (Engrais le plus riche en Azote): composé organique à base de carbone C=20%, d'Azote, N=46,65%, d'Hydrogène H=6,71% et d'Oxygène O=26,64%. Très soluble dans l'eau. Son effet dure longtemps.

**B-Le compost:**

Le compost est composé d'un mélange de feuilles d'olivier, de fumier de mouton et de déchet de volaille, préparé dans une ferme privée et bien traité.

**Tableau 04. caractéristique du biochar et compost**

Paramètres mesurés	Biochar	Compost
C%	44.90	4.748
MO%	77.23	8.167

## **2. Méthode de travail:**

### **2-1. Préparations de traitements:**

L'ajout des amendements est fait en raison de 1%, c'est-à-dire 10 g d'amendement par un kg de sol. Avec deux répétitions pour chaque.

#### **Les Traitements activés pendant 15 jours:**

- Biochar activé par l'urée et le compost (5 g de biochar avec 2,5 g d'urée et 2,5 g de compost dans l'eau)
- Biochar activé par le compost (5 g de biochar avec 5 g de compost dans 1 ml d'eau)
- Biochar seul (10 g dans l'eau)
- Biochar activé par l'urée (5 g de biochar avec 5 g de compost dans l'eau) Laisser l'activation pendant 15 jours

#### **Les traitements incorporés directement au sol:**

- Biochar+compost+urée (5 g de biochar avec 2,5 g d'urée et 2,5 g de compost)
- Biochar+compost (5 g de biochar avec 5 g de compost)
- Biochar+urée (5 g de biochar avec 5 g d'urée)
- Biochar seul (10 g)
- Compost seul (10 g)
- Urée seule (10 g)

#### **Témoin: sol seul**

### **2-2. L'essai en pots:**

L'essai en pots a été conduit dans la serre. Les sols ont été préparés dans les pots en raison de deux répétitions pour chaque traitement. Les graines de blé ont été semées, à raison de 20 grains / pot, 2 cm de profondeur et 1 cm entre la graine et l'autre, réparties uniformément sur toute la surface du pot. Après le semis les pots sont arrosés.)



**Photo06:** Début de l'expérimentation et le semis des grains de blé dans



les différents traitements

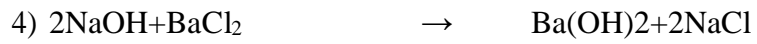
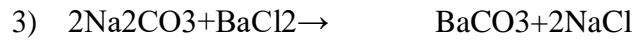
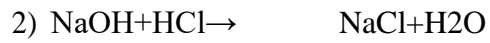
**Photo07:** l'expérimentation après 10 jours de semis ((germination et levée des grains, arrosage des plantes)



**Photo08:** l'expérimentation après 18 jours de semis (stade tallage, les plantes poussent rapidement spécialement dans le traitement biochar activé pendant 15 jours par le compost et l'urée)

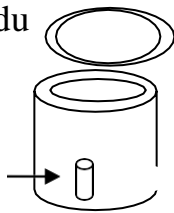
### **2-3-Expérimentation en conditions contrôlées:**

Les traitements précédents ont été reproduits en microcosmes, pour mesurer la respiration microbienne dans des conditions contrôlées de laboratoire. Les amendements sont mélangés au sol à raison de 1 % en masse pour chaque amendement (0,25 g de biochar, compost pour 25 g de sol). 2 bocaux vides sont aussi semés en incubation. La teneur en eau du sol est ajustée (2/3 de la capacité de rétention en eau du sol). deux répétitions par traitement ont été réalisées et incubés dans l'étuve à  $28 \pm 1$  °C dans des bocaux en verre hermétiques, des piluliers contenant 20 ml de soude (NaOH 1 N) sont placés dans les bocaux pour piéger le CO<sub>2</sub> dégagé au cours de l'incubation. L'excès de soude (NaOH) est titré par une solution de HCl (0.2 N) en présence d'un indicateur coloré, la Phénolphthaleine, après avoir fait précipiter le carbonate par du Chlorure de Baryum (20%), afin d'évaluer la carbonatation initiale de la soude et le CO<sub>2</sub> de l'air ambiant. Des mesures périodiques sont réalisées chaque 2 jours, étalés sur une période de 14 jours, dont les points cinétiques suivants : 2j, 4j, 6j, 9j, 14. À chaque date les piluliers sont retirés et renouvelés avec de la soude fraîche. La titration de la soude se fait par l'HCl. Nous étalonnons jusqu'à ce que la couleur rose disparaisse au blanc selon les réactions suivantes:

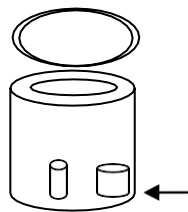


NaOH

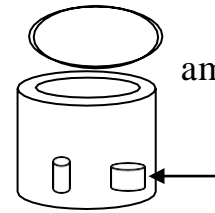
Piégeage du  
CO<sub>2</sub>



témoin



solsans



sol+  
amendement



Photo09: Disposition des bocaux dans l'étuve



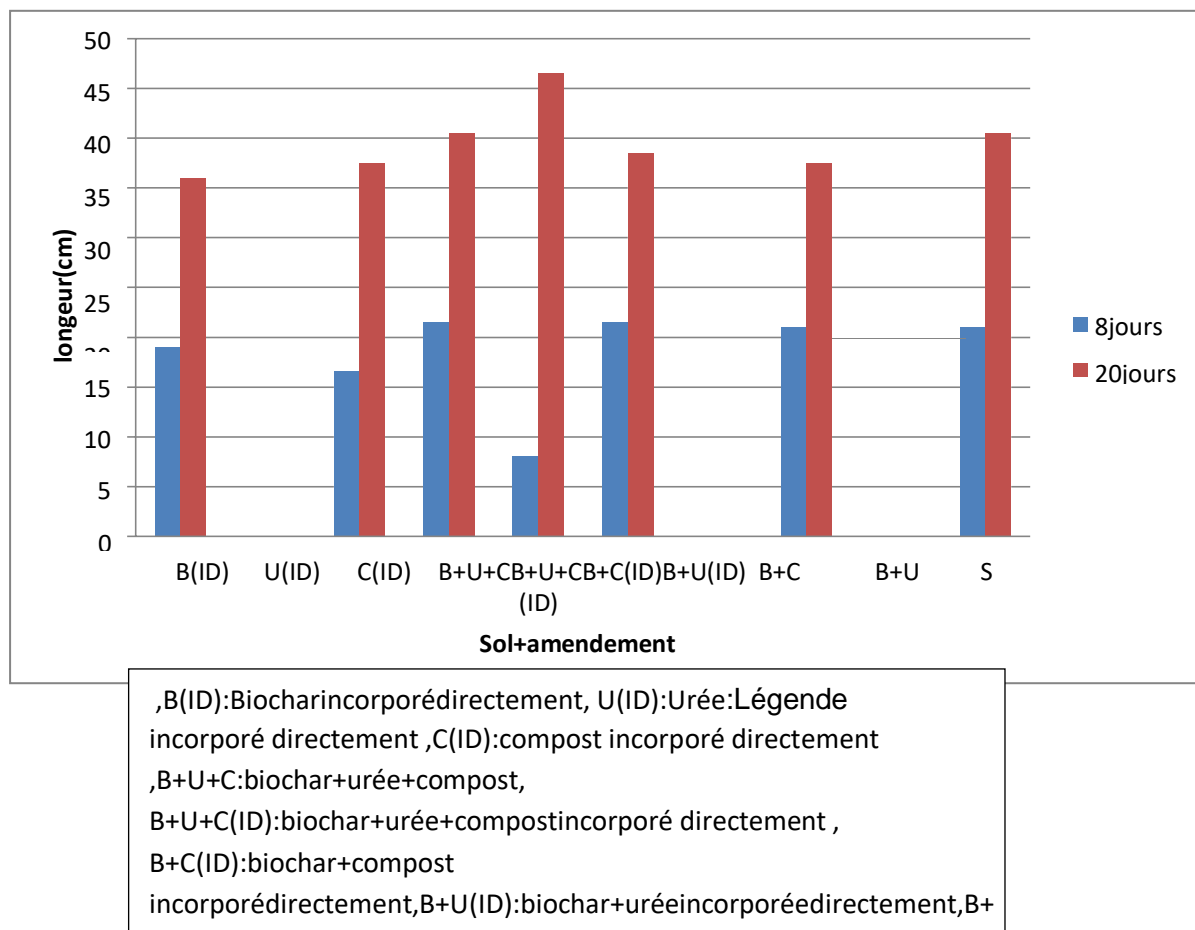
**Photo10:**TitrationparHCl

## **CHAPITRE III:**

# Résultat et discussion

## 1- Effet de l'apport des amendements organiques sur le végétal (blé) dans le sol

### 1-1 Effets sur la taille (longueur) de végétale:



**Figure 08:** Effet des amendements organiques sur la taille des plantes (longueur) du sol (moyenne de deux répétitions)

Pour la longueur des plantes:

Après une semaine de semis, les graines ont poussé d'une façon remarquable dans les traitements (B+U+C activés pendant 15 jours) et B+C(ID). Cependant le levé est tardif dans le traitement (B+C+U(ID)).

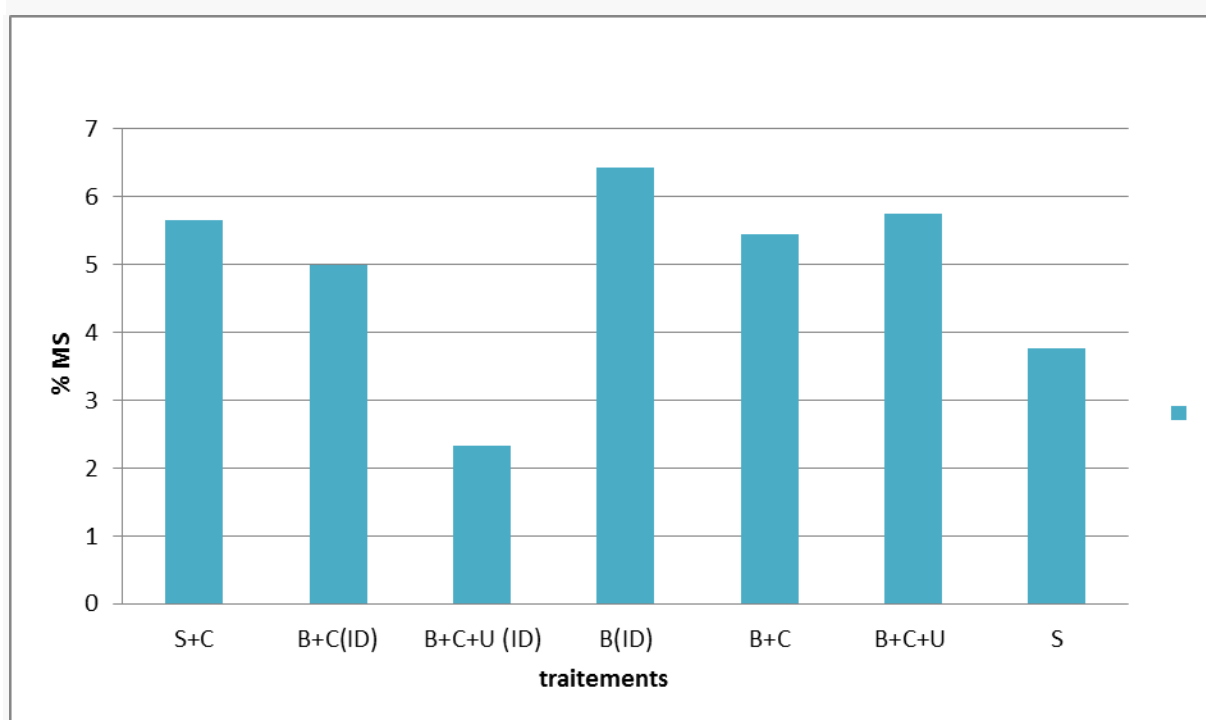
On remarque que la taille de végétal après 8 jours pour tous les traitements est supérieure à 21,5 cm dans le (B+C+U active) et (C+B(ID)) et inférieure à 8 cm dans le (B+C+U(ID)).

Par contre, après 20 jours, la plante tardive du traitement (C+B+U(ID)) a montré un pic et est poussé jusqu'à 46,5 cm. Toutefois la plus faible taille est remarquée dans le (B(ID))

Remarque : des plantes qui n'ont jamais poussé ont été observées dans les traitements : (U(ID)), (B+U(ID)), (B+U).

**Discussion:**

L'apport des amendements organiques à ces sols augmentent significativement la taille des plants. Cependant, une grande variabilité existe entre les différents traitements. L'incorporation directe du mélange biochar et compost et l'urée augmente la croissance des plantes, malgré le retard de levé. Cependant, le biochar a montré des valeurs plus faibles, et spécifiquement le biochar seul non activé. On remarque que pour les trois traitements (biochar + urée (activé 15j)), (biochar + urée (incorporé directement)) et (urée seule) ont provoqué la mort des plantes, et une inhibition totale de germination, suite à l'effet chimique de l'urée. Donc, il faut faire attention à l'application de cette technique parce qu'elle brûle les plantes, il faut les solubiliser dans l'eau ou les faire passer par irrigation.

**1-2 Effets sur la production en matière sèche du végétal:**

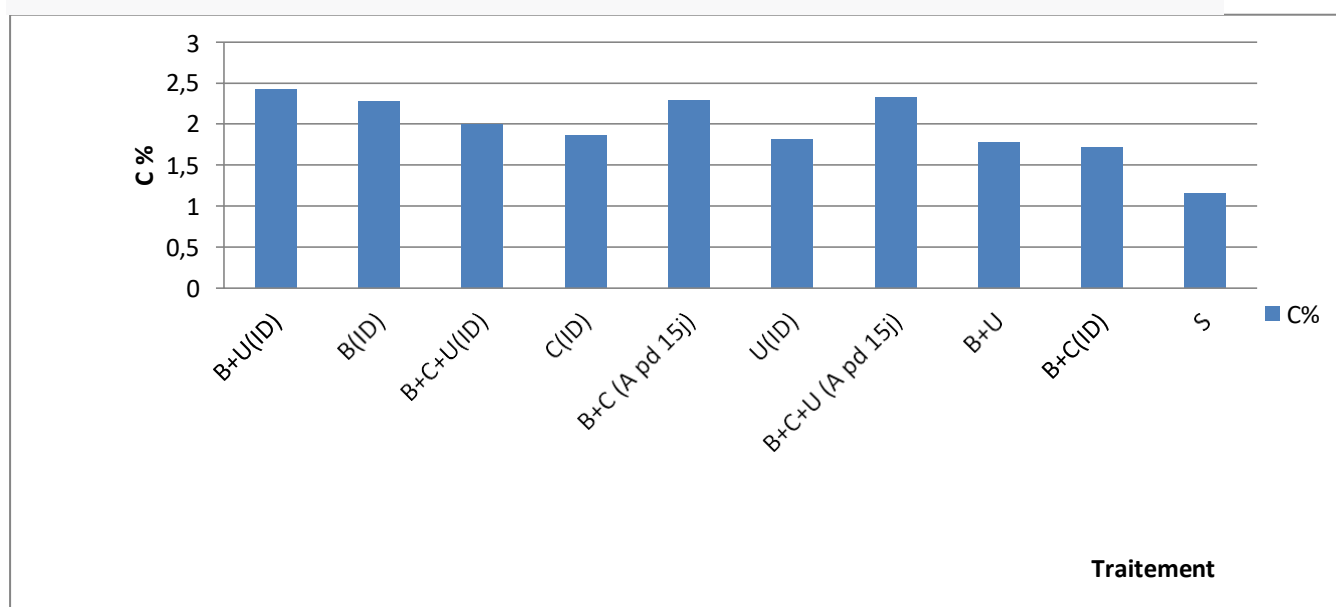
,B(ID):Biochar incorporé directement,U(ID):Urée incorporé directement  
 ,C(ID):compost incorporé directement ,  
 B+U+C:biochar+urée+compost,B+U+C(ID):biochar+urée+compost incorporé  
 directement ,  
 B+C(ID):biochar+compost incorporé directement,B+U(ID):biochar+urée incorporé dir  
 ectement,B+C:biochar  
 +compost,B+U:biochar+urée,S:sol seul

**Figure 09:** production en matière sèche du végétal

L'analyse de la matière sèche du végétal a montré que l'apport l'incorporation directe de biochar (B(ID)) a donné un taux de matière sèche le plus élevé, avec 6,433%. Suivi par les traitements B+C+U active pendant 15j. Le faible taux est marqué dans le B+C+U(ID) (2,3 %).

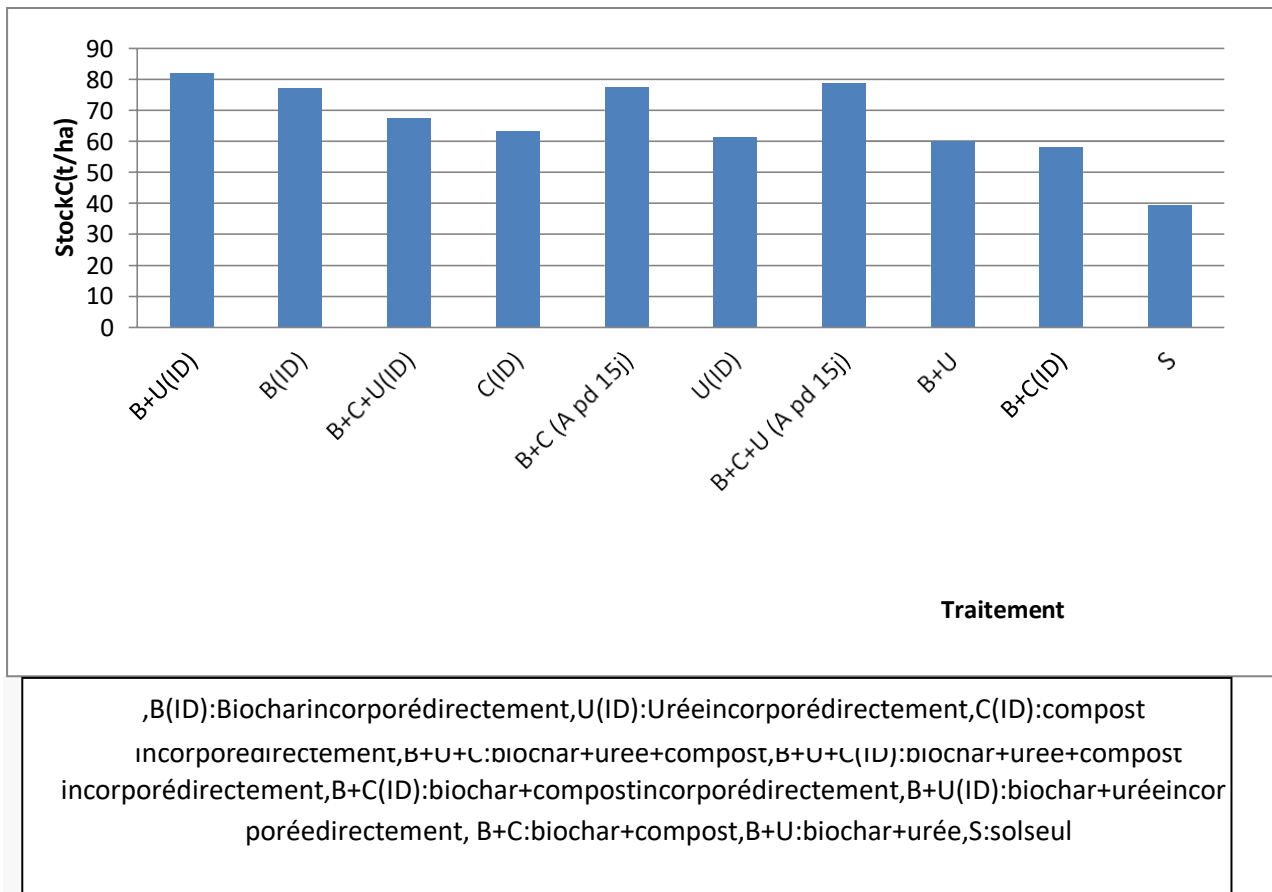
**Discussion:**

Le taux le plus élevé de MS dans le traitement B(ID) est dû aux caractéristiques améliorantes de biochar. Cependant le taux le plus faible dans le B+C+U (ID) est dû à une germination tardive des graines de blé (taux de germination 50% seulement), malgré la taille la plus élevée du végétal observée, suite à un changement brutal des caractéristiques du sol, spécialement le pH. En effet Nigussie et al. 2012 ont observé la même chose pour la laitue et ont conclu que l'application du biochar est bénéfique pour accroître l'absorption des nutriments des plantes et la fertilité du sol. En considérant ces résultats le biochar améliore significativement la disponibilité des éléments. Aussi le biochar semble avoir une charge nette négative et peu retenir plus d'éléments fertilisants en induisant un changement dans le transport des nutriments dans l'eau du sol. Les nutriments sont plus accessibles qui entraînent la lixiviation.

**2-1.****Variation de la quantité et le stock de carbone dans les différents traitements**

,B(ID):Biochar incorporé directement,U(ID):Urée incorporé directement,C(ID):compost incorporé directement , B+U+C:biochar+urée+compost, B+U+C(ID):biochar+urée+compost incorporé directement,B+C(ID):biochar+compost incorporé directement,B+U(ID):biochar+urée incorporé directement,B+C:biochar +compost,B+U:biochar +urée,S:sol seul

**Figure 10:** variation de la quantité de carbone dans les différents traitements



**Figure 11:** variation du stock de C (t/ha) dans les différents traitements

On remarque que la quantité de carbone la plus élevée se trouve dans le traitement (B+U(ID)) avec (2,421%), suivie par le traitement B+C+U active et le B+C active et le B(ID) avec (2,3 à 2,4%), par rapport au sol témoin qui a donné la valeur la plus faible (1,16%).

De même pour le stock organique, dont la valeur la plus élevée est enregistrée dans (B+U(ID)) avec 81 t/ha par rapport au sol témoin (39,45 t/ha).

### **Discussion:**

Les résultats montrent que l'addition du biochar et amendement organique augmente le stock de carbone dans le sol ce qui confirme que tous les amendements organiques ont un effet positif sur le stockage du carbone mais s'effectue d'une manière différente, selon le type de sol, ainsi que l'association de biochar et de compost et urée semble la meilleure pour augmenter le stock de carbone des sols.

Le biochar est un matériau noir riche en carbone organique résultant de la combustion de matières organiques en absence d'oxygène. Avec ces composés aromatiques, le biochar est très résistant à la décomposition, d'où son effet qui dure plus longtemps. C'est un amendement très respectueux du sol. L'application du biochar a été démontrée capable d'augmenter les propriétés chimiques, ainsi que physiques du sol. En outre, avec ces

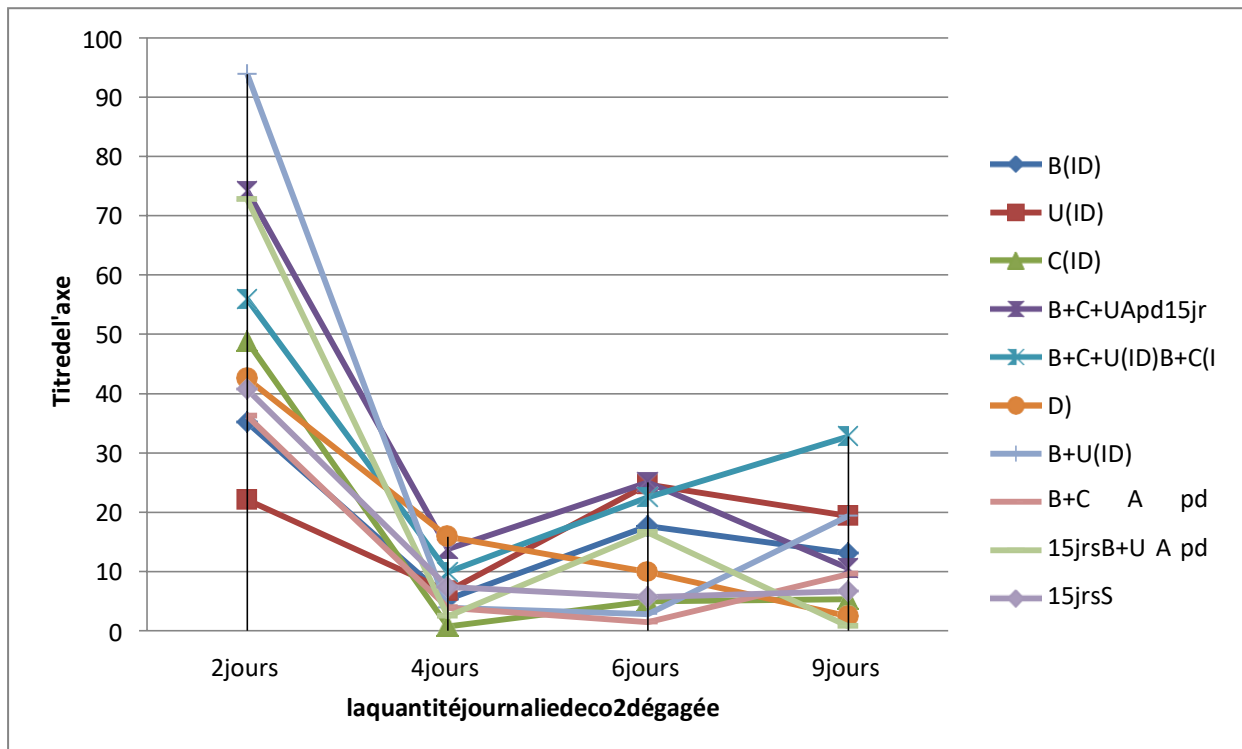
propriétés récalcitrantes, on pense que le biochar est un bon puits de carbone (J. Lehmann (2003)).

En effet, l'incorporation directe de l'urée au biochar inhibe totalement la germination et la décomposition de matière organique, induisant une protection et conservation de C dans le sol, contre la biodégradation sous forme minérale utilisable par la plante.

### 3-Effet d'apport du sol en amendement organique sur la minéralisation du carbone organique (dégagement de CO<sub>2</sub>)

#### 3-1-Evolution journalière de CO<sub>2</sub> dégagé durant la période d'incubation (mg/Kg de sol) dans les différents traitements (test respirométrique)

L'essai réalisé au laboratoire concernant l'incubation relative à la minéralisation du carbone dans le sol a généré les résultats suivants:



B(ID): Biochar incorporé directement, U(ID): Urée incorporé directement, C(ID): compost incorporé directement, B+U+C: biochar+urée+compost, B+U+C(ID): biochar+urée+compost incorporé directement, B+C(ID): biochar+compost incorporé directement

**Figure 12:** Evolution de la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée de l'incubation du sol

Le dégagement du CO<sub>2</sub> ou la minéralisation du carbone organique a été suivi à court et moyen terme dans les trois traitements (traitement activé), (traitements sans activation), (témoin) de température 28°C et d'une humidité proche de la capacité de rétention pendant 2, 4, 6 et 9 jours.

La quantité de CO<sub>2</sub> dégagée pendant les différentes périodes d'incubation variée dans le temps en fonction des traitements.

Cette quantité est exprimée en mg de CO<sub>2</sub>/25 g de sol. Elle traduit l'activité biologique globale de chaque traitement.

Dans le plan figure n°13 montrant l'évolution de la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée de l'incubation du sol en fonction du temps, qui développée pendant 2 jours, pour la seconde période 2 jours et 4 jours montre une faible minéralisation de carbone organique dans le sol pour tous les traitements et pour la troisième période 4 jours à 6 jours la plupart des traitements ont diminué sauf (biochar + urée sans activation), (biochar + compost sans activation), (biochar + compost activé) la quatrième période 6 jours à 9 jours (biochar + compost + urée sans activation), (compost sans activation), (biochar + urée sans activation), (biochar + compost activé) sont augmentés.

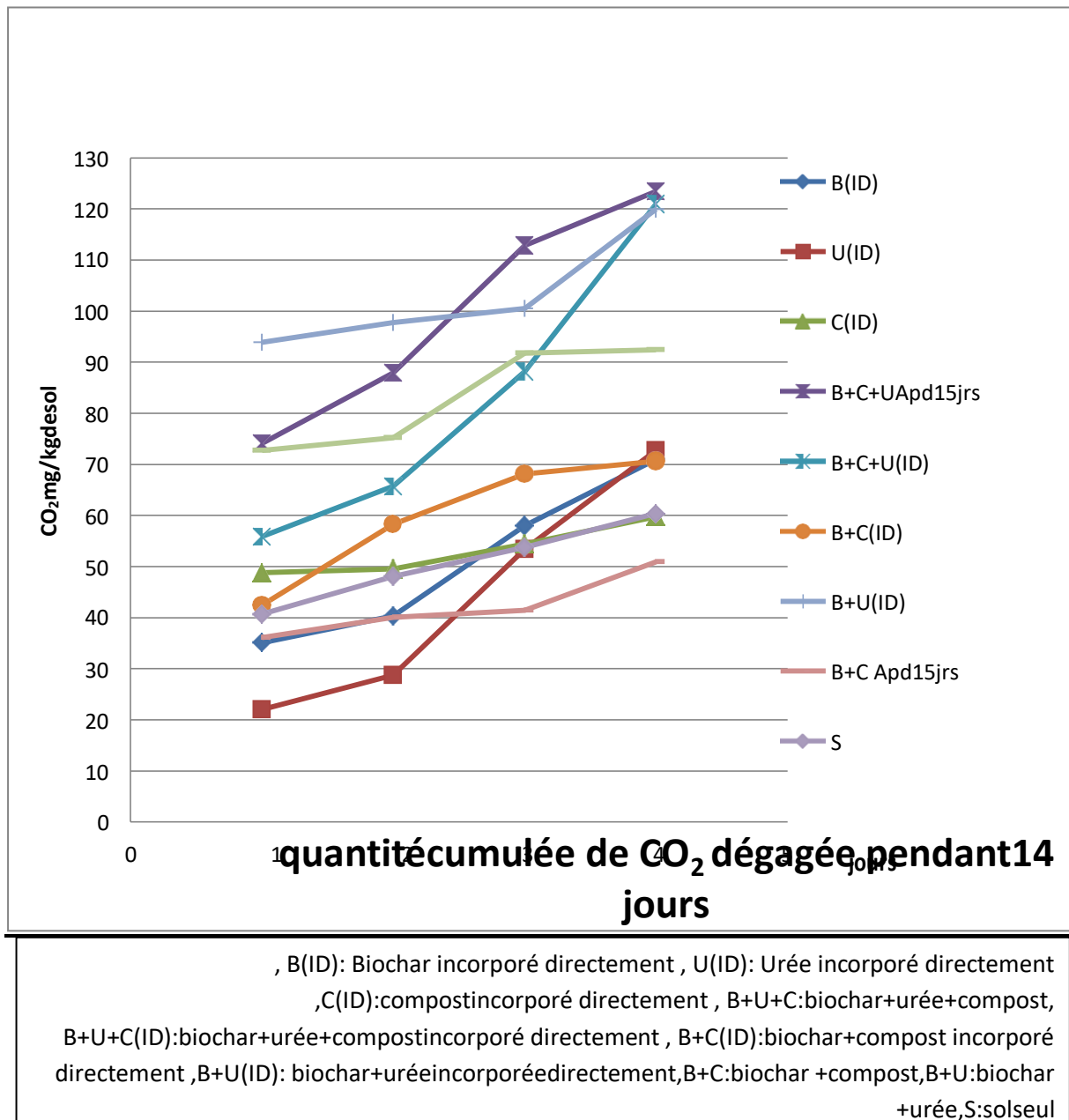
### Discussion:

Il semble se produire au début de l'incubation ce qu'il convient d'appeler une extra-minéralisation, comme le rapportent MARY et REMY (1979) et VONG et AL (1989). D'après ces chercheurs l'extra-minéralisation peut être due au séchage du sol et à la présence de résidus organiques. Frais de décomposition rapide. Ainsi l'enfouissement de fumier et d'engrais vert stimule généralement l'extra-minéralisation en raison d'une richesse en azote et en composés facilement dégradables.

Ces résultats montrent donc que l'évolution de la quantité journalière de CO<sub>2</sub> dégagée en fonction du temps se caractérise par une seule période de forte production de CO<sub>2</sub> et l'autre période est relativement faible.

La période de forte production de CO<sub>2</sub> correspond à des étapes métaboliques assurées par des fractions de microflore microbiennes différentes. La première étape correspond à la dégradation des constituants organiques facilement biodégradables, la deuxième phase correspond à la dégradation des métabolites secondaires facilement biodégradables (SAISON, 2001).

**3-1 Evolution cumulée de CO<sub>2</sub> dégagé durant la période d'incubation (mg/Kg de sol) dans les différents traitements.**



**Figure 13:** évolution cumulative de CO<sub>2</sub> dégagé pendant 14 jours

La figure ci-dessus exprime les résultats de l'activité biologique cumulée à chaque période. En effet, l'incubation à court terme (14 jours), et l'examen de la courbe cumulative révèle que le dégagement de CO<sub>2</sub> cumulé est beaucoup plus élevé dans le cas du traitement (biochar + urée + compost activé), (biochar + urée sans activation), (biochar + urée + compost sans activation), (biochar + urée active). Ce pendant le plus faible taux est enregistré dans le sol témoin sans apport d'amendement (6,688 mg CO<sub>2</sub>/kg)

**Discussion:**

Nos résultats montrent que l'addition des matières organiques au sol augmente nettement la production de CO<sub>2</sub> dégagé pendant la durée d'incubation. Ce qui confirme le rôle des amendements organiques dans la minéralisation de la matière organique. Toutefois l'effet des amendements organiques s'effectue d'une manière différente. L'activité biologique intense est signalée dans le sol traité par le compost et le biochar active cela est due à la richesse du compost en éléments facilement biodégradable et à un rapport C/N faible indiquant une meilleure activité biologique. L'application de biochar augmente la disponibilité des nutriments des plantes, soit en raison de l'amélioration des propriétés du sol ou de l'ajout d'un nutriment végétal dans le biochar. Il a été également rapporté que l'application du biochar avait pour effet d'augmenter la population et l'activité biologique des sols B. Chen et Z. Chen (2009) et d'accroître l'efficacité de la fertilisation azotée.

**REMARQUE :** Suite à un changement brutal de température inattendu dans la serre, les plantes ont été brûlées totalement suite à un choc thermique et augmentation de température. Cependant les traitements des sols par le biochar B+C+U (ID) et C+B+U active ont montré une résistance à cette augmentation brutale de température.

## *Conclusion Générale*

### Conclusion générale

L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets à court terme des amendements organique à savoir le biochar, le compost et l'urée sur le stockage et le déstockage (minéralisation) de carbone organique dans le sol et par conséquent leur effet sur le rendement des cultures (Blé).

À la lumière des résultats obtenus, nous pouvons récapituler que l'amendement de sol principalement le mollisol, en biochar activé par l'urée et le compost permet de stocker mieux le carbone organique dans le sol et influence par conséquent la production végétale. Venant en second lieu le traitement du sol par le compost seul, et en troisième lieu le traitement du sol. Cependant, le biochar seul, non activé a donné le faible rendement. L'application du biochar activé et le compost avait pour effet d'augmenter la population et l'activité biologique des sols et d'accroître l'efficacité de la fertilité du sol.

Le biochar ou bois de charbon est un bon puits de stock de carbone, est à monté dernièrement son efficacité sur la fertilité des sols et la production végétale. ce qui pourrait contribuer à réduire le réchauffement climatique dû à l'émission de méthane. Mais aussi les résultats confirmer la complexité des effets des biochars sur les processus biologiques des sols et leur spécificité en fonction des biochars eux-mêmes et des sols auxquels ils sont appliqués.

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

À la lumière des résultats obtenus nous pouvons récapituler que l'amendement des sols, principalement le mollisol enrichi en biochar activé par l'urée et le compost ou incorporé directement au sol ont permis de stocker mieux le carbone organique dans le sol et influence par conséquent la production végétale. Ces derniers ont subi une grande résistance à un choc thermique au niveau de la serre après 20 jours de croissance, alors que le reste des traitements ont été brûlés. L'application du biochar activé et le compost avaient pour effet d'augmenter la population et l'activité biologique des sols et d'accroître l'efficacité de la fertilité du sol, il augmente par conséquent la disponibilité des nutriments des plantes, et le rendement des cultures.

## *Références bibliographiques*

### Références bibliographiques:

\_lecite webpro-natureinternational en2020

\_ Akhtar, S.S., Li, G., Andersen, M.N., Liu, F., 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agricultural Water Management* 138, 37–44.

\_Allaire S, Lange L, Auclair I, Quinche M, Greffard L, The Char Team. 2015. Rapport: Analyse des propriétés de biochars. CRMR-2015-SA-3. [place unknown].

\_Almeida, G., Brito, J.O. et Perre, P. (2010). Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. *Bioresource Technology*, volume 101, numero 24, p. 9778-9784

\_ Amonette J, Joseph S. 2009. Characteristics of Biochar - Micro-chemical Properties. In: Lehmann J, Joseph S, editors. *Biochar Environ Manag Sci Technol*. London, UK: Earthscan; p. 33–52.

\_ Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, Horie T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crop Res.* 111: 81–84.

\_ Balesdent J. et Arrouays D., 1999 - Usage des terres et stockage de carbone dans les sols du territoire français. Une estimation des flux nets annuels pour la période 1900-1999. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 85, n°6, pp. 265-277

\_ Batista, E. M. C. C., Shultz, J., Matos, T. T. S., Fornari, M. R., Ferreira, T. M., Szpoganicz, B., ... Mangrich, A. S. (2018). Effect of surface and porosity of biochar on water holding capacity aiming indirectly at preservation of the Amazon biome. *Scientific Reports*, 8(1), 10677. doi:10.1038/s41598-018-28794-z

Belaid, D., & Paquier, G. (2015). Le semis-direct, une opportunité de développement. Communication au Séminaire International « Systèmes de Production en Zones Semi-arides. Diversité Agronomique et Systèmes de Cultures ». Université Mohamed Boudiaf de M'sila. 04 et 05 Novembre 2015.

- \_ BENGOUGH A.G. & MULLINS C.E., 1990. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *J. Soil Sci.* 41(3), 341–358.
- \_ Blackwell P, Krull E, Butler G, Herbert A, Solaiman Z. 2010. Effect of banded biochar on dryland wheat production and fertiliser use in south-western Australia: An agronomic and economic perspective. *Aust J Soil Res.* 48:531–545.
- \_ Bourgois, J., Bartholin, M. C. et Guyonnet, R. (1989). Thermal treatment of wood: analysis of the obtained product. *Wood Science and Technology*, volume 23, numero 4, p.303-310.
- \_ Brennan, J.K., Bandosz, T.J., Thomson, K.T., Gubbins, K.E., 2001. Water in porous carbons. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 187–188, 539–568.
- \_ Brewer, C.E., Unger, R., Schmidt-Rohr, K., Brown, R.C., 2011. Criteria to select biochars for field studies based on biochar chemical properties. *BioEnergy Research* 4, 312–323.
- \_ Bridgeman, T. G., Jones, J. M., Shield, I. et Williams, P. T. (2008). Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties. *Fuel*, volume 87, numero 6, p.844-856.
- \_ Bridgwater AV., Peacocke GVC. 1994. Engineering Development in Fast Pyrolysis for Bio-oils. In: *Proc Biomass Pyrolysis Oil Prop Combust Meet 26-28 Estes Park Colorado*; p.110–127.
- \_ Bruun, E.W., Ambus, P., Egsgaard, H., Hauggaard-Nielsen, H., 2012. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 46, 73–79.
- \_ Burgeonet al., submitted to *Geoderma*.

## Référence bibliographiques

---

- \_Butterman, H.C. et Castaldi, M.J. (2008). CO<sub>2</sub> enhanced steam gasification of biomass fuels. Dans Proceedings of the 16th Annual North American Waste to Energy Conference, NAWTEC16, ASME, Philadelphia, PA, USA, p.157-172.
- \_Butterman, H.C. et Castaldi, M.J. (2010). Biomass to fuels: impact of reaction medium and heating rate. Environmental Engineering Science, volume 27, numero 7, p.539-555.
- \_ Chan K.Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A. & Joseph S., 2007. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. Soil Res. 45(8), 629.
- \_ Chan K.Y. & Xu Z., 2009. Biochar: Nutrient properties and their enrichment. In: Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Routledge, 67–84.
- \_ Chan KY, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A, Joseph S. 2008. Using poultry litter biochar as a soil amendment. Aust J Soil Res. 46:437–444.
- \_Chen, Z. Chen, Sorption of naphthalene and 1-naphthol by biochar of orange peels with different pyrolytic temperatures, Chemosphere 76(2009)127–136
- \_ Cheng C.H., Lehmann J. & Engelhard M.H., 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climate sequence. Geochim. Cosmochim. Acta 72(6), 1598–1610.
- \_ Cheng C.H., Lehmann J., Thies J.E., Burton S.D. & Engelhard M.H., 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Org. Geochem. 37(11), 1477–1488.
- \_ Cheng, C.-H., Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., Engelhard, M.H., 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. Organic Geochemistry 37, 1477–1488.
- \_ Demirbas, A. (2000). Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. Energy Conversion and Management, volume 41, numero 6, p.633-646.
- \_ Ducouso, M. (2015). Gasification biochar reactivity toward methane cracking (Thèse de Doctorat: Génie des procédés et de l'environnement). Université de Toulouse.

## Référence bibliographiques

---

- \_ Free H, McGill C, Rowarth J, Hedley M. 2010. The effect of biochars on maize (Zeamays)germination.NewZealandJ.NewZealJAgric Res.53:1–4
- \_ Glaser, B.,Lehmann ,J.,et Zech,W. (2002).Amelioratingphysicalandchemicalproperties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: a review. *Biology andFertilityofSoils*. 35:219-230.
- \_ Glaser, B., Wiedner, K., & Dippold, M. (2013). Studying the Role of Biochar usingIsotopic Tracing Techniques. In N. Ladygina & F. Rineau (Éd.), *Biochar and Soil Biota* (p.134\_164).CRCPress. doi:10.1201/b14585-6
- \_Joseph,S.,Peacocke,C.,Lehmann,J.,Munroe,P.,2009.Developingabiocharclassificationa ndtestmethods.Dans:Lehmann,J.,Stephen,J.(Eds):Biocharforenvironmental management. *Science and technology*. Earthscan Washington. pp: 106–126.
- \_leciteweb([https://www.researchgate.net/figure/Le-cycle-du-C-dans-les-sols-dun-agroecosysteme-cultive-et-les-volants-daction\\_fig1\\_280662841,2008](https://www.researchgate.net/figure/Le-cycle-du-C-dans-les-sols-dun-agroecosysteme-cultive-et-les-volants-daction_fig1_280662841,2008))
- \_leciteweb(<https://www.refertil.info/sme/fr/quest-ce-que-cest-est-le-biocharbon-et-comment-lon-produit, 2020>)
- \_leciteweb(<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.htm,2016>)
- \_leciteweb(<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse,2011>)
- \_leciteweb(<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/cycle.carbone.html>)
- \_leciteweb(<http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/05-024.htm.>)
- \_jeanMichel,gobat2003 ,Lesolvivant

**Nom et prénom: Lechelek Nihel**

**Nom et prénom: Bouachemane Yousra**

---

## **Titre : Effet de l'apport du sol en compost et biochar sur le rendement du blé**

### **Résumé:**

Le biochar ou bois de charbon a montré dernièrement son efficacité sur la fertilité des sols et la production végétale. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet comparatif de l'amendement du sol en biochar, et compost sur le stockage et le déstockage (minéralisation) de carbone dans le sol (mollisol) et par conséquent leurs effets sur la production végétale, au moyen de la technique respirométrique au laboratoire par incubation dans des conditions contrôlées de température et d'humidité, et un test biologique (blé) par essais de pots en serre. Différents traitements ont été élaborés pour atteindre cet objectif: sols sans amendement, sol enrichi par des amendements en biochar activé pendant 15 jours avant l'incorporation: (biochar et compost, biochar et urée, biochar + compost + urée), sol enrichi par des amendements incorporés directement au sol: (biochar et compost, biochar et urée, biochar + compost + urée), sol avec compost seul, sol avec urée seul et sol avec biochar seul. À la lumière des résultats obtenus nous pouvons récapituler que l'amendement des sols, principalement le mollisol enrichi en biochar activé par l'urée et le compost ou incorporé directement au sol ont permis de stocker mieux le carbone organique dans le sol et influencent par conséquent la production végétale. Ces derniers ont subi une grande résistance à un choc thermique à un niveau de la serre après 20 jours de croissance, alors que les restes de traitements ont été brûlés. L'application du biochar activé et le compost avaient pour effet d'augmenter la population et l'activité biologique du sol et d'accroître l'efficacité de la fertilité du sol, il a augmenté par conséquent la disponibilité des nutriments des plantes, et le rendement des cultures.

### **Mots clés:**

Biochar, Compost, Sol (mollisol), Le stockage de carbone, La production végétale