

Remerciement

Nous remercions Dieu, le Tout Puissant, le Miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

A cet effet, nous remercions madame Meridja Ouafa d'avoir accepté de diriger et de suivre constamment la progression de ce travail par ses suggestions .

Nous tiendrons aussi à remercier madame Ababsa N. D'avoir accepté de présider le jury

Nous remercions aussi à madame Addad D. qui a accepté d'examiner ce travail.

**Nous remercions vivement Monsieur le directeur et les travailleurs de la ferme laatar lakhmissi kais*

En fin, nous tiendrons à exprimer toute nos reconnaissances à tous les enseignants de département d'écologie et environnement et la faculté des sciences de la nature et de la vie, surtout Mr Salhi et Mm Ababsa.

Un grand merci pour toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce travail, par le soutien moral, administratif ou technique.

Dédicaces

Grâce à Dieu, le tout puissant, j'ai accompli ce travail dans l'effort et l'abnégation : je dédie cette modeste contribution scientifique.

A mon très cher père :

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation

A ma très chère mère :

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte.

A mes grandes mères : Hadda, Mhania.

A mes grandes pères : Zaroual, Nadji.

A mon cher frère : Salah addin

À mes chères sœurs : Houda, Assia et son mari, Fatma, Sara, Noussaïba.

À Mon fiancé : Slimani Azzeddine.

À Mon binôme : Touam Dalila

A mes très chère Amis : chahra, nihad, hasna, nadjjet, rayan, sara, khawla, rania, noura, amel, souhila.

A tous mes collègues de la promo 2016-2017 ECOLOGIE et environnement Tous mes enseignants tout au long de mes études.

« Kasmi zineb »

Dédicaces

J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

À mon idéal, l'être le plus généreux, mon très chère père qui m'a encouragé, ma source de force pour tenir jusqu'au bout, l'homme qui m'a toujours soutenu et cru en moi. Sa chaleur paternelle, m'a souvent t été d'un grand réconfort.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, À cette source de tendresse, de patience et de générosité, À ma mère soleil de mes jours.

À mes sœurs : la plus chère Wahiba, Fatima et ses enfants Abd elrahmen Hadil et marwa, Nawal et ses enfants Abd elhak, Abd elsalam et Khadidja

À mes frères : Fares, Naim et sa femme Sabra

À mes amis : Zineb, Zhour, Samira, Tefaha, Afaf, Samira, Amina, Asma, Nouha.

Ainsi qu'a toute la promotion « écologie et environnement 2017 »

À tous ceux que j'aime.

« Touam Dalila »

Résumé

ملخص

في هذه الدراسة ، حاولنا باستخدام تقنية قياس التنفس لتوصيف تأثير التعديلات العضوية (القش، والسماذ) على حركية تمعدن الكربون العضوي في التربة تم إجراء التجربة على التربة الطفيلية في حالة رقابة (28 درجة مئوية) فترة الحضانة 21 يوما، وقد أدرجت جرعة من 5٪ من كلا المادتين العضويتين في التربة

وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أثر إيجابي من التعديلات العضوية (القش والروث) على كمية من الكربون المعدني المنطلق لكن نلاحظ ان أفضل حركية تمعدن في التربة+ القش اين نلاحظ ان نسبة التمعدن الضعف في نظام (140.81 - 284.69٪) التربة والسماذ

سيكون من المثير للاهتمام للغاية لاستكمال هذه الدراسة على مدى فترة أطول ودراسة تأثير التركيب الكيميائي والكيمياء الحيوية لدمج المواد العضوية.

الكلمات المفتاحية: الكربون المعدني, القش , الروث , تمعدن الكربون , قياس التنفس , ثاني أكسيد الكربون

Résumé

Dans cette investigation, nous avons essayée au moyen de la technique de respirométrie de caractériser, l'effet des amendements organiques (paille, fumier) sur la cinétique de minéralisation du carbone organique du sol. L'expérience a été réalisée sur un sol limoneux en condition contrôlée ($t=28^{\circ}\text{C}$) sur une période d'incubation de 21 jours, une dose de 5% des deux matières organiques a été incorporé dans le sol.

Les résultats obtenus révèlent un effet favorable des amendements organique (la paille et le fumier) sur la quantité de carbone minéral dégagé. Toute fois il a signalé que la meilleure cinétique de minéralisation a été observé dans le traitement sol – paille ou nous notons un taux de minéralisation le double observés dans le système sol fumier (284,69% - 140,81).

Il serait fort intéressant, de poursuivre cette étude sur une plus longue période et d'étudier l'effet de la composition chimique et biochimique des matières organiques incorporées.

Mot clés : Carbone Minérale, Paille, Fumier, CO₂. Minéralisation Du Carbone, Respirométrie

Abstract

In this investigation, we have tried through the technique of respirometry to characterize the effect of organic amendments (straw, manure) on the kinetics of mineralization of soil organic carbon. The experience was realized on a silty soil in controlled condition ($T=28^{\circ}\text{C}$) on an incubation period of 21 days, a dose of 5% of two organic matter was incorporated into the soil.

The results obtained reveal a favorable effect of organic amendments (straw and manure) on the amount of carbon released mineral. Any time he pointed out that the best kinetics of mineralization was observed in the treatment ground - straw or we note a mineralization rate The dual observed in the soil system manure (284,69% - 140,81).

It would be very interesting, to continue this study on a longer period and to study the effect of the chemical composition and biochemical characterization of the organic matter incorporated.**Key words:** Minéral Carbon, Straw, Manure, CO₂, Mineralisation Of Carbon, Respirometry.

SOMMAIRE

Remerciement

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : la matière organique dans le sol

Introduction.....	01
1. Définition.....	01
2. Nature et sources de la matière organique dans le sol.....	01
2.1. Nature de la matière organique.....	01
2.2. Source de la matière organique.....	02
3. les différentes fractions de la matière organique.....	02
4. les différentes formes de la matière organique.....	03
4.1. La matière vivante.....	03
4.1.1. La biomasse microbienne.....	03
4.1.2. La faune du sol.....	03
4-1-3-la biomasse végétale.....	04
4.2. La matière organique non vivante.....	04
4.2.1. La matière organique fraîche	04
4.2.2. La matière organique labile :.....	04
4.2.3. La matière organique stable ou humus.....	05
5. le rôle de la matière organique dans le sol.....	05

6. évolution de la matière organique du sol.....	07
6.1. La minéralisation de la matière organique.....	07
6.2. L'humification.....	08
7. facteurs influençant la biodégradation des matières organiques.....	09
7.1. Action de la végétation.....	09
7.2. Action de la texture.....	09
7.3. Action du PH.....	10
7.4. Action de la température.....	10
8. influence des matières organiques sur les propriétés des sols.....	10
8.1. Action de la matière organique sur les propriétés physiques du sol.....	11
8.2. Action de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol.....	11
8.3. Action de la matière organique sur les propriétés biologiques du sol.....	11
9. intérêt agronomique de la matière organique du sol	12
Conclusion.....	12

Chapitre II : cycle de carbone

Introduction.....	13
1. définition.....	13
2. source de carbone.....	14
3. importance de carbone.....	15
4. les réservoirs de carbone.....	15
4.1. La lithosphère.....	15
4.2. L'atmosphère.....	15
4.3. La biosphère.....	16
4.4. L'hydrosphère.....	16
5. les forme de carbone.....	17
5.1. Formes oxydées (inorganique).....	17

5.2. Formes réduites (organique).....	18
6. les différentes phases de cycle de carbone.....	19
6.1. Phase d'organisation.....	19
6.2. Phase de réorganisation-consommation	20
6.3. Phase de minéralisation.....	20
6.4. Phase d'accumulation.....	20
7. les facteurs influencent la minéralisation du carbone.....	22
7.1. Température.....	22
7.2. Humidité.....	22
7.3. La microflore tellurique.....	22
7.4. Surface des agrégats.....	22
8. les principaux facteurs influençant le temps de résidence du carbone organique dans les sols.....	23
Conclusion.....	23

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

Introduction.....	24
1. Matériel et méthode d'analyse.....	24
1.1. Matériel d'étude.....	24
1.1.1. Le sol.....	24
1.1.2. Matières organique.....	26
1.2. Méthode d'analyse biologique.....	28
1.2.1. Méthode d'incubation du sol au laboratoire.....	28
2. technique expérimentale.....	28

2.1. Dispositif de minéralisation du carbone organique dans le sol.....	28
2.1.1. Description de dispositif respirometrique.....	28
3. Technique analytique.....	29
3.1. Dosage de carbone minéral.....	29
3.2. Le PH.....	31
3.3. CE.....	31
3.4. L'azote total.....	31
3.5. Le carbone organique.....	31

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats et discussion.....	32
1. Effet de la paille sur la minéralisation du carbone dans le sol.....	32
2. Effet de fumier sur la minéralisation du carbone dans le sol.....	33
3. Effet des amendements organiques (fumier, paille) su la cinétique de minéralisation du carbone organique des sols.....	34

Conclusion générale

Références bibliographique

Annexe

Résumé

Liste des abréviations :

°C : degré celssus

C : carbone

Ca : calcium

CE : conductivité électrique

CEC :capacité d'échange cationique

CH₄ : le méthane

CI : carbone inorganique

CO : monoxyde de carbone

CO₂ : dioxyde de carbone

Fe : le fer

GTC : giga tonne de carbone

H₂O : l'eau

M1 : minéralisation primaire

M2 : minéralisation secondaire

Mg : magnésium

MO : matière organique

MOF : matière organique fraiche

N: azote

Na : sodium

NH₄⁺: ammonium

NO₃⁻ : nitrate

O₂ : oxygène

Ph : potentiel hydrogène

PO₄ : phosphate

Ppm : partie par million

SO₄ : sulfate

T : température

t/ha : tonnes par hectare

Liste des figures

Figure 1. Rôle et fonction des MO	7
Figure 2. Schéma de l'évolution de la matière organique dans le sol	8
Figure 3. Cycle de carbone.....	14
Figure 4. Le carbone dans les différents réservoirs	17
Figure 5. Cycle du carbone inorganique. Valeurs en gigatonnes de carbone (GtC).....	18
Figure 6. Cycle du carbone organique. Valeurs en gigatonnes de carbone (GtC).	19
Figure 7. Les différentes phases de cycle de carbone.	21
Figure 8. Le sol.....	25
Figure 9. La paille broyée et tamisée.....	26
Figure 10. Le fumier sécher, broyer et tamisé.....	27
Figure 11. Les étapes de l'incubation du sol au laboratoire.....	29
Figure 12. Précipitation des carbonates par le BaCl ₂	30
Figure 13. L'ajoute de quelques gouttes de phénolphthaléine.....	30
Figure 14. Titration avec HCl.....	31
Figure 15. Cinétique de la minéralisation du carbone total dans le système paille-sol.....	33
Figure 16. Cinétique de la minéralisation du carbone total dans le système fumier-sol.....	34
Figure 17. Courbes cumulatives du C-CO ₂ dégagé dans les systèmes (sol+paille) et (sol+fumier).....	36

Liste des tableaux

Tableau 1. Propriétés bio physico chimiques du sol.....25

Tableau 2. Résultat d'analyse de la paille.....26

Tableau 3. Résultat d'analyse du fumier.....27

Introduction Générale

Introduction générale

La richesse des sols en matières organiques (MO) est l'un des principaux indicateurs de la fertilité des sols. Cependant, l'intensification des systèmes de culture et l'augmentation des rendements ont entraîné une diminution des teneurs en MO endogènes des sols cultivés, leur conférant ainsi une moindre fertilité et une sensibilité accrue à la dégradation (**Sleutel et al, 2003 ; Van-Camp et al, 2004**).

Les matières organiques ont de multiples propriétés qui leur confèrent des fonctions primordiales dans les agro et les écosystèmes et en font une composante importante de la fertilité. L'idée de fertilité ne correspondant pas à des notions scientifiques ni économiques précises (**Sebillotte, 1989**).

La matière organique, est le principal déterminant de l'activité biologique. La quantité, la diversité et l'activité de la faune et des micro-organismes sont en relation directe avec la présence de la matière organique (**Robert 2002**).

Les résidus de cultures (paille et autres), évoluent sous l'action des micro-organismes et se transforment progressivement en humus. Les travaux récents de l'INRA montrent pour information que seule une partie du carbone organique du sol est active (environ un tiers) ; elle se minéralise sous l'action du climat (en fonction de l'humidité et de la température du sol) et l'autre partie, majoritaire, est considérée comme stable car se renouvelant seulement à l'échelle du millénaire (**INRA ,2007**).

De ce fait la teneur en matières organiques du sol résulte d'un bilan sur le long terme entre les quantités de matières organiques apportées au sol et les quantités perdues (principalement par minéralisation). Ce sont principalement les processus biologiques de croissance des végétaux (par exemples, les restitutions de pailles ou de racines) et de décomposition des matières organiques qui déterminent si le stock de matières organiques du sol augmente, diminue ou demeure stable (**Gregorich. et al, 2003**).

A titre d'exemple, 7,5 à 10 tonnes de paille et racines produisent 1,1 à 1,5 tonne d'humus stable dans le sol. Cela représente un stock de 450 à 600 kg de carbone, soit 1 650 à 2 200 kg en CO₂ par hectare. On parle ainsi de « puits de carbone » (**Anonyme, 2016**)

Quand on parle de matière organique (M.O.), on se réfère à la quantité de carbone des sols pour 1 hectare donné. Ce carbone est donc composé à l'instant « t » de résidus organiques frais et évolués, de macrofaune, de biomasse microbienne et d'humus.

Composées de 58 % de carbone organique en moyenne, les matières organiques du sol libèrent du dioxyde de carbone (CO₂) et des composés organiques en se décomposant sous l'influence du climat et des conditions ambiantes du sol. L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports de matières organiques végétales au sol et leur minéralisation.

Le sol représente le plus grand réservoir de carbone de la biosphère continentale contenant environ deux fois le stock de carbone atmosphérique et trois fois le stock de carbone contenu dans la végétation (40 tonnes par hectare (t/ha) en sols cultivés et 65 t/ha sous prairies). Une augmentation des stocks de carbone organique des sols cultivés peut jouer un rôle significatif dans la limitation des émissions nettes de gaz à effet de serre vers l'atmosphère en stockant du CO₂ atmosphérique dans la MO des sols.

Le cycle de carbone est l'un des cycles d'éléments les plus compliqué. Une des raisons est que le carbone peut exister sous forme gazeuse, sous forme dissoute ou sous forme minérale.

Le but de notre travail consiste à caractériser et à préciser les effets des matières organiques : paille et fumier sur l'évolution des quantités de carbone minéral endogène d'un sol céréalier. Dans ce cadre la respirométrie a été employée comme technique expérimentale, et l'étude envisagée vise à traiter les différents points suivants :

- Influence de la paille sur la minéralisation du carbone.
- Influence du fumier sur la minéralisation du carbone.

LA PREMIERE PARTIE :
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

chapitre I

la matière organique dans le sol

Introduction

Les matières organique apportées aux sols sous forme de matériaux très divers, résidus essentiellement végétaux, produits organiques d'origine résiduaire et celles qui sont dans le sol depuis plus ou moins longtemps subissent de très nombreuses transformations. Certaines, de nature physique, sont des fragmentations grossières dues à l'action mécanique d'outils de travail du sol ou au contraire plus fines dues à la pédofaune. D'autres, de nature chimique, concernent des modifications des molécules organiques et participent à la dynamique des éléments chimiques dans les sols (Calvet *et al.*, 2011).

1. Définition

Le terme de « matière organique » du sol désigne un ensemble de substances de nature et de propriétés très variées, renfermant une grande quantité de carbone et une fraction importante d'azote, elles sont à l'origine de réactions chimiques et biologiques impliquant les micro-organismes du sol.

La matière organique provient de l'activité de tous les organismes présents à la surface ou à l'intérieur du sol, une partie de cette matière organique est produite par des organismes vivants : déjections animales, exsudats racinaires, et litières végétales, Résidus de culture, le reste est constitué par des débris végétaux morts, les cadavres d'animaux, les cellules microbiennes lysées (Messaoudi, 2005).

Baldock et Nelson (1999), Définissent la matière organique comme étant la somme des composés organiques morts et vivants qui se trouvent dans le sol ou à la surface du sol, indépendamment de leur origine ou de leur stade de décomposition.

2. Nature et sources de la matière organique dans le sol

2.1. Nature de la matière organique

Chamayou (1984), avait désigné sous le terme de la matière organique, un ensemble de substances de nature et de propriétés variées. Leur seul point commun, outre leurs caractéristiques organiques et qu'elles font de la chaîne de réactions biochimiques qui jalonnent la décomposition dans le sol des débris végétaux ou animaux qui y ont été incorporés. Bien que, la participation des cellules microbiennes dans la synthèse de la matière organique n'est pas négligeable.

La nature chimique des matières organiques du sol, bien qu'extrêmement complexe le nombre de composé rencontrés est quasiment infini apparaît assez peu sensible au type de gestion du sol. Seules les proportions de quelques molécules du vivant comme les celluloses et les glucides apparaissent variés significativement concernant les matières organiques à évolution lente (la majorité dans le sol), la dynamique semble peu corrélée à la nature chimique des composés.

La protection physique de matière organique peu être défini comme le ralentissement de la biodégradation des matières organique par les phases minérales présentes (**Balesdent, 1996**).

2.2. Source de la matière organique

Les matières organiques des sols sont d'origine animale, végétale et microbienne, mais les résidus végétaux sont les plus abondants (**Calvet et al., 2011**).

La matière organique a été subdivisée selon son origine en sept principales catégories (**Loison et Niogret in Bensid, 1996**) :

- Débris végétaux.
- Résidus des cultures.
- Bio faune du sol.
- Microorganisme (bactéries – champignons).
- pluvio-lessivats.
- Exsudats racinaires.
- Apports effectués par l'homme : épandage de fumier, lisier, compost, boues résiduaires et divers amendements organiques (résidus de récolte – engrais vert....)

Selon **Deihlier (1975)**, la matière organique des sols aurait pour origine les déchets végétaux et animaux, qui y vivent aussi bien dans les sols naturels que dans les sols cultivés, la fraction d'origine végétale est dominante, mais la part des animaux et des micro-organismes telluriques n'est négligeable.

Cependant, **Boulaine (1978)**, avait émis l'idée que la matière animale se décompose très vite après la mort et que seule la matière végétales donne naissance à des composés à évolution complexe appelés humus.

3. Les différentes fractions de la matière organique

Les auteurs tel que : **Nkundikije, Desseaux et al. in Messaoudi (2005)**, avaient suggérés de diviser la matière organique du sol en quatre fractions :

- Débris végétaux peu décomposés ayant conservé leur structure cellulaire ou fibreuse.
- Produits intermédiaire (ex : lignine).
- Substance colloïdales.
- Composés organiques soluble transitoires qui seront pour certain minéralisés et pour d'autres polymérisés, ce qui conduit à la formation des complexes colloïdales.

Schaffer in Messaoudi (2005), au contraire l'avait divisé en deux grandes fractions d'une part, une fraction non humique à élément ou à caractère chimique encore reconnaissable : cellulose, lignine oligosides, protéines, peptides, lipides, cires résines, pigments, et d'une autre part, une fraction humique, amorphe brune noire, hydrophile, acide à caractère colloïdale et polymérisé, stabilisé et chimiquement très complexe.

4. Les différentes formes de la matière organique

4.1. La matière organique vivante

Ce sont les racines vivantes, les microorganismes, la faune et la flore qui représentent un ensemble correspondant à une biomasse d'environ 15% de la quantité totale de carbone du sol :

4.1.1. La biomasse microbienne

Elle est constituée de champignons, de bactéries et d'algues. Les champignons interviennent dans la dégradation des débris végétaux. Les mycorhizes (champignons associés aux plantes) ont un rôle essentiel dans la nutrition des plantes. Leur pouvoir d'absorption de nutriments est supérieur à celui des cultures pour certains élément (phosphore, azote).

Les bactéries participent aux processus de transformation des matières organiques (minéralisation et humification). Elles sont indispensables aux cycles du carbone et de l'azote du sol (bactéries fixatrices d'azote). Les algues accélèrent la dégradation de la roche-mère.

La fraction vivante (la biomasse microbienne) a un taux de renouvellement important, mais ne représente qu'un faible pourcentage (1 à 3 %) de la matière organique totale (**Bensid, 2015**).

4.1.2. La faune du sol

Encore appelée la pédofaune, elle comprend un grand nombre d'organismes aux caractéristiques morphologique et physiologique très variées. Ils sont répartis en quatre catégories selon leur taille :

- La microfaune : taille < 0,2 mm ;
- La mésofaune : 0,2 mm < taille < 4mm ;
- La macrofaune : 4 mm <taille < 80 mm ;

- mégafaune : 80 mm < taille (Calvet *et al.*, 2011).

L'activité de la faune du sol permet la fragmentation des matières organiques fraîches et le mélange des matières organiques avec les particules du sol ce qui facilite la création de porosité et la formation d'agrégats stables (structure grumeleuse).

4.1.3. La biomasse végétale

Dans le sol, la biomasse végétale est constituée par les racines. La production de racines contribue à l'apport de matière organique au sol (racines mortes et exsudats racinaires). Pour exemple, la canne à sucre produit chaque année 7 t-ha de matière sèche de racines. Les exsudats racinaire peuvent représenter jusqu'à plusieurs dizaine de tonnes par hectare.

De composition variée (sucres, acides aminées, acides organique, vitamines, hormones, enzymes...), ils constituent la nourriture des micro-organismes vivant autour des racines. Micro-organismes ensuite impliqués dans divers mécanismes comme la nutrition des plantes et la protection des racines contre les agents pathogènes (Bensid, 2015).

Les débris végétaux de la nature, feuilles, rameaux morts qui tombent sur le sol, constituent la source essentielle de la matière organique : dès leur arrivée au sol, ils sont plus ou moins rapidement décomposés par l'activité biologique (Mathieu *et al.*, 2003).

4.2. La matière organique non vivante

4.2.1. La matière organique fraîche

Elle regroupe la litière (débris végétaux à la surface du sol), mais aussi, les racines mortes, les exsudats racinaires, les déjections et les cadavres d'animaux. Cette matière organique fraîche va servir de support et d'aliment à la faune et à la biomasse microbienne. Les résidus végétaux constituent la première source de matière organique des sols (Bensid, 2015).

4.2.2. La matière organique labile

Entre biomasse microbienne et humus très stable ; cette fraction de la matière organique stable appelée matière organique transitoire ou intermédiaire résulte de la décomposition de la matière organique fraîche. Elle a souvent, été proposée comme pool actif de la matière organique stable (Parton *et al.*, 1994).

La majeure partie des nutriments issus de la minéralisation de la matière organique ou de molécules issues du métabolisme microbien provient de cette fraction, au point où ce pool a été qualifié de « métabolite » (Lemaitre *et al.*, 1995).

4.2.3. La matière organique stable ou humus

Substance colloïdale, qui résulte de la transformation des sous-produits de la décomposition microbienne, des résidus de végétaux. L'humus provient de l'assemblage de certains produits transitoires et de matières minérales en de nouvelles molécules de plus en plus complexes. L'humus est en fait un mélange de molécules : acides créniques, acides humato mélaniques, acides fulviques, acides humiques et humines. La matière organique stable représente couramment plus de 90 % de la matière organique totale d'un sol.

Elle assure la fertilité du sol à moyen et long terme. La teneur en matière organique donnée par l'analyse de sol correspond en grande partie à cette forme : l'humus.

Cette fraction représente la composante stable de la matière organique, qui peut persister pendant plusieurs années dans les sols, surtout quand l'humus est intimement lié à la matière minérale du sol (argile et limon). Le contenu en matière organique dans les sols dépend à la fois de la restitution de la biomasse au sol (prairie, culture, forêt), de l'apport de matières exogènes (fumier, boues de stations d'épuration, compost.. .) et du taux de minéralisation et d'humification de la matière organique, ces deux paramètres étant fonction, entre autres, de la qualité du substrat organique et de l'environnement physico-chimique du sol (pH, température, humidité...) (**Bensid, 2015**).

La matière organique est constituée de substances hydrocarbonées composées de 40 à 60% de carbone, 30 à 40% d'oxygène et des proportions non négligeables d'hydrogène et d'azote avec en plus du phosphore et du soufre qui se trouvent sous forme de grosse molécules de protéines.

Elle est également composée de corps organiques tels que les sucres solubles d'amidon, de cellulose, de substance minérale « sels de Ca, Mg, Na, Fe » (**Morel, 1984**).

Les proportions de ces composées sont différentes suivant l'âge et la nature des retombés biologiques d'origine végétale ; en effet, les tissus jeunes sont riches en glucides simples et en matières azotées, alors que les tissus âgés sont riches en substances complexes à évolution plus difficile et pauvre en protéines (**Soltner, 1986**).

5. Le rôle de la matière organique dans le sol

La matière organique des sols joue un rôle essentiel dans l'environnement. Elle constitue le substrat indispensable au développement de la vie biologique, car elle est une source majeure de carbone et d'énergie pour les micro-organismes (**Lemee, 2004**).

Dans le sol, les MO assument de nombreuses fonctions agronomiques et environnementales (**Duprarque et Rigalle, 2011**) synthétisées dans la figure 4 :

- Elles assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments nutritifs dont elle a besoin.
- Elles stimulent l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol.
- Elles ont un rôle central dans la structuration du sol et participent à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique.
- Elles favorisent le réchauffement du sol (coloration plus sombre des matières organiques).
- Elles contribuent à la perméabilité, l'aération du sol et la capacité de rétention en eau.
- Elles jouent un rôle fondamental pour les autres compartiments de l'environnement en participant au maintien de la qualité de l'eau par leur forte capacité de rétention des polluants organiques (pesticides, hydrocarbures...) et minéraux (éléments traces métalliques). Mais elles peuvent être aussi source de polluants potentiels, comme les nitrates et les phosphates.
- Elles influencent également la qualité de l'air, par le stockage ou l'émission de gaz à effet de serre.
- Elles ont un rôle de puits ou d'émetteur de carbone (principalement sous forme de CO₂).
- Certains changements d'usage des pratiques agricoles favorisent le stockage du carbone dans les sols (conversion de cultures en prairies). Au contraire, la mise en culture de ces prairies entraîne une diminution du stock de carbone.



Figure 1 : Rôles et fonctions des MO (Duparque et Rigalle, 2011).

6. Evolution de la matière organique du sol

Les MO du sol évoluent sous l'incidence de divers processus physiques, chimiques ou biologiques. Le processus physique correspond à la séquestration du carbone, qui est alors inaccessible par les microorganismes (fig. 02).

Les transformations des matières organiques, se réalisent essentiellement par les processus de recombinaison (humification) et de dégradation (minéralisation).

6.1. La minéralisation de la matière organique

La minéralisation se fait principalement par voie bactérienne, (Junqua, 2002), C'est le processus par lequel les micro-organismes transforment la matière organique fraîche en élément minéraux assimilables par les végétaux (Duchaufour, 1977). En effet la décomposition de la matière organique par les micro-organismes a été divisée en deux types de minéralisation.

La première : étant la minéralisation primaire (M1), qui porte sur la matière organique fraîche, non encore incorporée au sol minéral.

Il s'agit d'un véritable catabolisme édaphique effectué par un réseau excessivement complexe d'organisme tellurique, pour aboutir après une digestion plus ou moins longue à transformer les aliments énergétiques en CO_2 et H_2O (série de réactions d'oxydation) (Dridi, 2001).

La seconde : minéralisation secondaire (M2), qui concerne les composés humiques ; celle-ci, à la particularité d'être relativement lente à cause des liaisons vigoureuses entre les composés humiques et minéraux ; ce qui rend d'ailleurs les humus difficilement biodégradable.

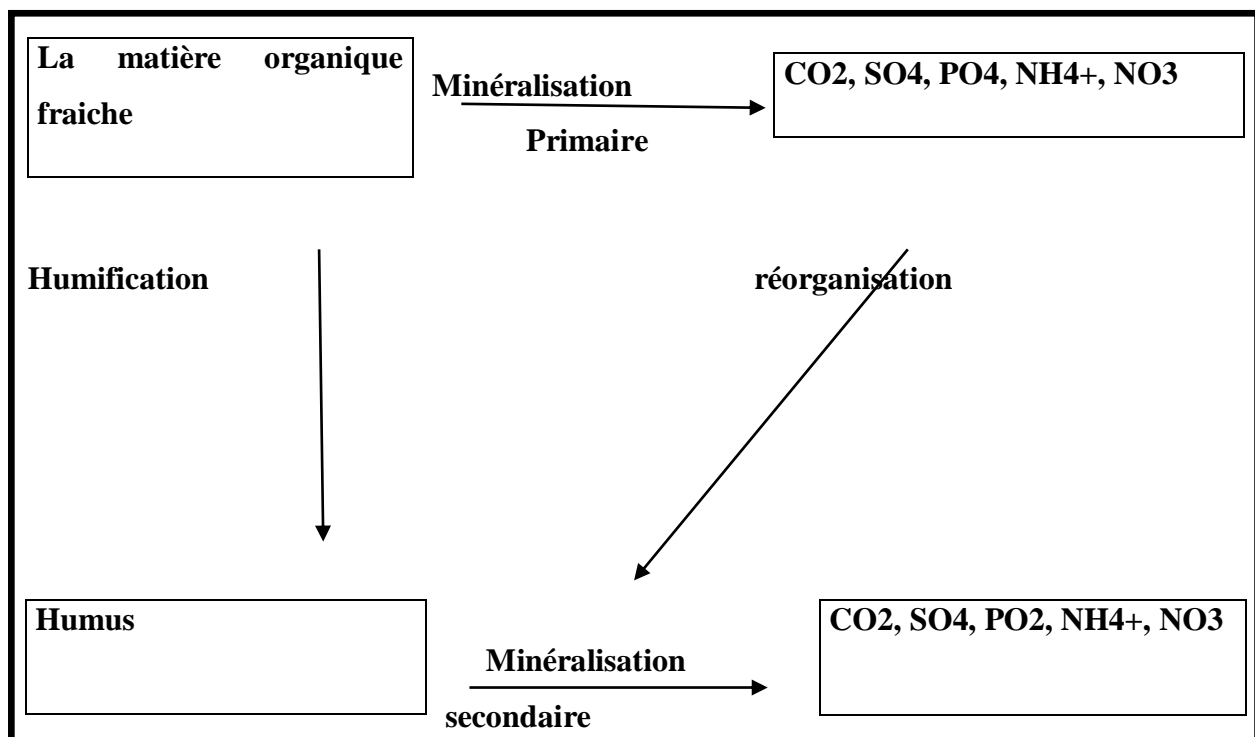


Figure02 : schéma de l'évolution de la matière organique dans le sol

(Duchaufour *et al.*, 1980)

6.2. L'humification

Il s'agit d'un ensemble de réaction chimique, elle aussi catalysées par des enzymes, qui conduisent à la formation d'édifices moléculaires complexe que l'on nomme substance humique (Calvet *et al.*, 2011)

L'humification recouvre la décomposition de la matière organique sous l'action de micro-organisme (champignons, levure et surtout bactéries), les vers, les petits animaux du sol et la

formation de l'humus stable. (Il y a d'abord formation d'humus jeune à évolution rapide qui à son tour, donne l'humus stable).

La nature biochimique des MO apportées au sol détermine le processus d'humification. Une des caractéristiques importantes de ce processus est l'incorporation d'azote (*N*) dans les macromolécules humiques, conduisant à un stockage de l'azote sous forme organique dans le sol.

7. Facteurs influençant la biodégradation des matières organiques

Bonneau, et Souchier (1979), montrent que la bio décomposition des composés organiques et la biosynthèse des composés humiques, dépendent de la nature des apports organiques (composés simples, polymère ...) et des facteurs de l'environnement édaphique : la texture, l'humidité, la température et le pH.

L'étude comparative effectuée par **Voests et al., (1975)** sur l'influence de la variabilité des facteurs éco pédologique et climatiques vis-à-vis de la variabilité des facteurs biologique, indique que la composition biologique des sols forestières est déterminée en premier lieu par des facteurs édaphiques tels que la texture, le pH, le rapport C/N et l'eau. Bien que, la disparition des litières forestières ne soit pas le fais exclusif des facteurs de l'environnement, les organismes qui vivent dans l'humus en sont aussi responsables (**Toutain et al., 1987**).

7.1. Action de la végétation

Les travaux de **Pouget(1980)**, sur les steppes sud – algéroises ont mis l'accent sur la diminution du taux de la matière organique, des horizons de surface dans un climat semi-aride, avec la dégradation du couvert végétal et une aridité croissante du climat du nord vers le sud.

Par ailleurs, il signale l'existence d'une corrélation linéaire entre la teneur en matière organique et l'indice d'aridité. La végétation est donc susceptible d'exercer une influence indirecte sur les processus d'évolution de la matière organique, et de l'altération biochimique des minéraux, point d'orientation de la pédogenèse.

7.2. Action de la texture

La teneur en matière organique est en étroite relation avec la texture du sol (**Bauzou, 1969**).

En effet, de nombreux auteurs avaient montré l'effet protecteur des argiles vis-à-vis de la matière organique, et ont affirmé que l'oxydation des acides humiques était ralenti en

présence d'illite et de montmorillonite. Ainsi, les sols à texture fine sont plus riches en matière organique que les sols à texture grossière (**Pouget, 1980**).

Gheyi, et Halitim (1976), avaient démontré la corrélation positive et hautement significative entre la capacité d'échange cationique et la teneur en argile et en matière organique.

Il est à signaler que les résidus organiques riches en polysaccharides peuvent améliorer la structure des sols s'ils y persistent longtemps (**Cortez, 1977**).

7.3. Action du pH

En maintenant le pH neutre, les organismes vivants du sol, notamment les bactéries responsables de décomposition de la matière organique fraîche et de la matière organique transformée restent en perpétuelle activité (**Dommergues, et Mangenot, 1970**).

7.4. Action de la température

La biodégradation de la matière organique fraîche ou humifiée est très sensible au facteur température. En effet une augmentation de la température de 1°C induit une augmentation souvent importante de la vitesse de décomposition de litières (**Dommergues, 1971**).

8. Influence des matières organique sur les propriétés des sols

Les matières organiques présentes ou incorporées dans le sol exercent des effets sur ses propriétés en modifiant sa fertilité (**Meridja, 2008**).

Il est admis que la matière organique modifie les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol ce qui conduit à l'amélioration de sa fertilité et l'augmentation du rendement des cultures (**Abid Charef, 1992**).

Les actions sont attribuées globalement aux matières organiques bien que la nature, l'intensité et la durée dépend de la fraction considérée ; les effets des matières organiques s'exercent sur les propriétés chimiques, physiques, biologiques et plus globalement sur la fertilité du sol (**Villain, 1989**).

8.1. Action de la matière organique sur les propriétés physique du sol

Les effets des matières organiques appliquées aux sols se manifestent sur différentes propriétés physiques notamment :

- Une augmentation de la capacité du sol à retenir l'eau.
- Une augmentation de l'aération du sol.
- Une augmentation de la résistance du sol à l'érosion éolienne et hydrique.
- Une augmentation de la résistance du sol à la compaction par des machines agricoles.
- Une réduction des pertes d'effets fertilisants dues aux différentes migrations.
- Une augmentation de la formation d'agrégats stable.

8.2. Action de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol

Les matières organiques, agissent sur la fourniture et la disponibilité des éléments minéraux à l'égard des plantes, ainsi que sur la capacité d'échange du sol. (**Villain 1989**).

La libération des éléments nutritifs, par la minéralisation de la matière organique est un processus indispensable à la nutrition végétale. (**Charreau, 1975**).

Les éléments nutritifs seront disponibles aux plantes selon les phénomènes suivants :

- Les matières organiques subissent une fermentation en libérant dans le sol le CO₂ qui va solubiliser ces éléments à partir des minéraux du sol.
- L'eau va entraîner les composés solubles en libérant les éléments qu'il renferme, en plus de leur action solubilisatrice sur les composés minéraux.
- Les complexes « organo minéraux » formés à la suite d'apports de matières organiques augmenteront la capacité d'échange cationique du sol, de ce fait c'est à dire le nombre de sites où les plantes peuvent puiser leurs éléments nutritifs (**Anonyme, 2013**).
- La matière organique forme facilement des complexes avec les métaux lourds, de sorte qu'elle joue le rôle de source et de collecteur d'oligo-élément contrôlant ainsi leur absorption par les plantes. (**Charreau, 1974**).

8.3. Action de la matière organique sur les propriétés biologiques du sol

L'activité biologique d'un sol est au même titre que ses propriétés physiques et chimiques, déterminantes sur sa productivité. En fait, la plupart des avantages d'ordres physiques et chimiques sont liés à l'activité biologique du sol, puisque ces nombreux avantages résultent

principalement de l'action des micro-organismes sur la matière organique, la décomposition de cette dernière aboutit aux sous produits suivants :

- Substances nutritives (organiques et inorganiques) pour les plantes.
- Gommages microbiennes.
- Hormones de croissance.
- Antibiotiques.
- Dioxyde de carbone.....etc.

Dommergues et Mangenot (1970), rapportèrent, que les matières organiques entraînant une diversification de la microflore cellulolytique et favorise le développement d'association microbiennes.

9. Intérêt agronomique de la matière organique du sol

En matière agricole, il convient de faire la distinction entre la matière organique fraîche et celle humifiée. C'est cette dernière qui joue un rôle important dans la fertilité des sols par l'évolution biochimique qu'elle y subit et par les propriétés physico-chimique qui en découlent.

- La matière organique joue un rôle nutritionnel en fournissant des éléments nutritifs par l'intermédiaire des processus de minéralisation (notamment l'azote, le phosphore et le soufre).
- Elle a aussi un effet favorable sur les propriétés physico-chimique du sol, effet d'autant plus marqué que l'humification de la matière organique est plus poussée.
- Elle régularise l'humidité de tous les types de sol : en favorisant l'évacuation de l'eau en excès des sols argileux. En augmentant la capacité de rétention en eau des sols sableux.
- Elle améliore les qualités chimiques du sol. Par sa réaction acide, ses propriétés colloïdales et sa minéralisation continue, l'humus agit sur les caractéristiques chimiques du sol et sur la nutrition des plantes.
- Elle augmente l'activité microbienne : la matière organique constitue, en effet, une source énergétique pour les micro-organismes.

chapitre II

cycle de carbone

Introduction

Le cycle de carbone, cycle clé du fonctionnement de l'écosystème, ils assurent des fonctions essentiels en tant que décomposeurs (biotransformation-biodégradation-minéralisation des matières organiques), mais aussi de producteurs de matières organiques (biomasse, composé humique) et de divers substances d'intérêt pour le fonctionnement des écosystèmes (**Pedro, 2007**).

Le carbone constitue l'élément biogène primordial. Il est présent dans la nature sous une forme minérale prépondérante à l'état de carbonates, roches calcaires d'origine biogène. L'autre forme prépondérante du carbone dans la biosphère, le CO₂ dénommé anhydride carbonique ou vulgairement, gaz carbonique est gazeuse. Le cycle de carbone s'effectue avant tout entre le gaz carbonique et les êtres vivants (**Ramade, 2003**).

1. Définition

Selon **Dommergues et Mangenot (1970)**, le cycle de carbone représente l'ensemble des transformations cycliques le conduisant successivement d'un milieu abiotique (atmosphère) vers les organismes : végétaux, bactéries et l'environnement (lithosphère, hydrosphère) et vice-versa. C'est sans doute le plus parfait des cycles biogéochimiques.

Selon **Bonneau et Souchier (1979)**, ce cycle de carbone correspond à l'ensemble des transformations circulaires qui permettent à cet élément de passer d'un état minéral à un état organique et inversement.

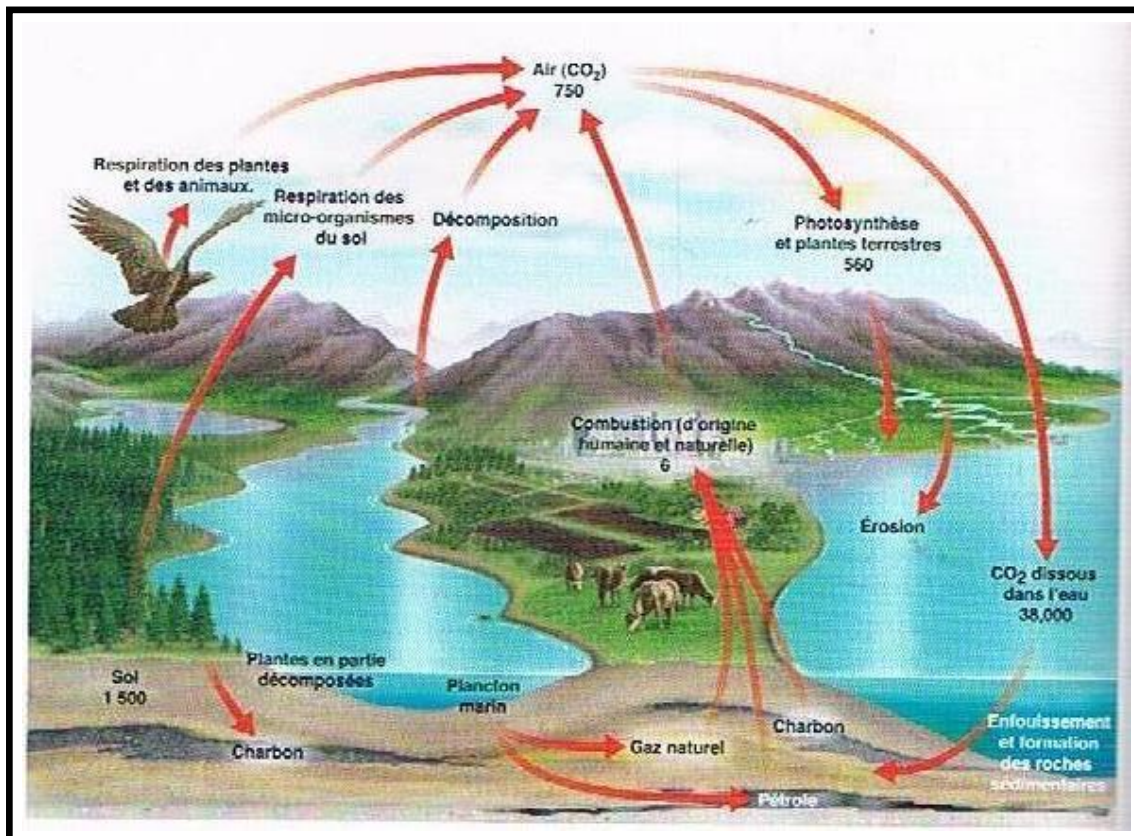


Figure 3- cycle de carbone (Raven et al., 2009).

2. source de carbone

A très long terme (millions-centaines de million d'années), les puits de carbone prépondérants, proviennent d'une part de l'altération chimique des silicates associée à la séquestration dans les sédiments, sous forme de carbonates, d'une partie des produits de cette altération, et d'autre part de la matière organique, d'origine marine et continentale, fossilisée dans les sédiments (Berner, 2003).

Selon Cole et al. (2007) les lacs et les rivières sont généralement reconnus comme des sources nettes de carbone vers l'atmosphère.

Les forêts couvrent 29 pour cent des terres et représentent 60 pour cent du carbone de la végétation terrestre. Le carbone emmagasiné dans les sols des forêts représente 35 pour cent du total de carbone présent dans les réservoirs du sol (Dupouey et al., 1999).

Le carbone est essentiellement présent dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone à l'état de trace. Le CO₂ atmosphérique est indispensable à la vie sur terre.

3. importance du carbone

Le carbone est un élément très important, car il compose la matière organique qui est le point de départ de toute la vie, et le plus abondants à la surface de la Terre. Le carbone est un élément essentiel dans l'existence de la vie sur notre planète, (**Rabiatou, 1999**), il constitue l'élément clef de toutes les substances biochimiques et le moteur des autres cycles d'éléments biogènes, En effet le carbone rentre dans la constitution de la matière vivante, et il influe beaucoup dans l'ajustement des climats terrestres au travers de certains gaz à effet de serre, le gaz carbonique(CO_2) et le méthane (CH_4). Comme le carbone fait partie des éléments indispensables à la vie, il circule constamment entre organismes et "réservoirs, Il sert ainsi de nutriment et intervient dans la respiration (absorption d' O_2 et rejet de CO_2) et dans la photosynthèse (absorption de CO_2 et rejet d' O_2) (**Berruyer, 2013**).

4. les réservoirs de carbone

Le cycle du carbone impliquant des transferts de carbone entre les compartiments atmosphère, biosphère, lithosphère et l'hydrosphère. Les flux entre ces compartiments mettent en jeu des processus physiques, chimiques et biologiques. Les réservoirs représentent une accumulation de matière dans un des compartiments du système, Les transformations qui s'opèrent dans les réservoirs sont soit une modification de phase (gaz, liquide ou solide), soit une transformation chimique, ou un changement de rôle dans l'écosystème (**Julie, 2004**).

4.1. La lithosphère

le réservoir majeur du carbone (fig.4), est constitué par les sédiments qui contiennent 75,000000 Gt de carbone, dont 60,000000 Gt sont inorganique (carbonate) et 15,000000 Gt sont organique (matière organique sédimentaire) ; on doit noter que les réserves de pétrole, de gaz naturel et de charbon exploités par l'homme représentent un réservoir de carbone inférieur d'au moins trois ordres de grandeur à celui de la totalité de la matière organique sédimentaire (**Pedro, 2007**).

La croûte terrestre constitue un stock de carbone gigantesque puisqu'elle contient environ 90,000000 Gt de cet élément (**Sundquist, 1993**).

4.2. L'atmosphère

Dans ce réservoir, le carbone est essentiellement présent sous forme de dioxyde de carbone (CO_2) puisque seul 1 % du stock de carbone de l'atmosphère correspond aux autres gaz : le méthane (CH_4) et autres hydrocarbures et le monoxyde de carbone (CO) (**IPCC., 1995**).

L'atmosphère est considérée comme le plus petit des réservoirs de carbone du globe avec un stock estimé à 750 Gt (GIEC., 2007). La concentration en CO₂ atmosphérique a considérablement évolué au cours des derniers siècles, passant de moins de 280 ppm pendant la période préindustrielle (jusqu'à la fin du 18ème siècle) à plus de 360 ppm à l'époque actuelle (Barnola et al., (1994); Etheridge et al., (1996); Berner, 2003). L'impact des activités anthropiques a été mis en évidence dans l'explosion récente de la concentration du CO₂ de l'atmosphère, due notamment à la combustion des hydrocarbures fossiles (Keeling et al., 1989).

4.3. La biosphère

La biosphère terrestre est constituée par la biomasse animale et végétale, ainsi que par le carbone organique stocké dans la tranche supérieure des sols. La biosphère joue un rôle majeur dans la régulation du climat de la terre et du cycle global du carbone (Hendrickson, 1990), Le stock de carbone de la biosphère est estimé à 2000 Gt (GIEC., 2007).

4.4. L'hydrosphère

Le système océanique renferme un stock de carbone de 38 000 Gt, dont 37 400 Gt sous forme inorganique (bicarbonate, carbonate et CO₂ dissous) et 730 Gt sous forme organique.

Le CO₂ se dissout facilement dans les eaux et la capacité de stockage des océans dépend de la température, de la réserve alcaline et de la quantité de CO₂ déjà présente. Les eaux intermédiaires et les eaux profondes des océans sont de loin le réservoir de carbone le plus important à la surface de la terre (Pedro, 2007).

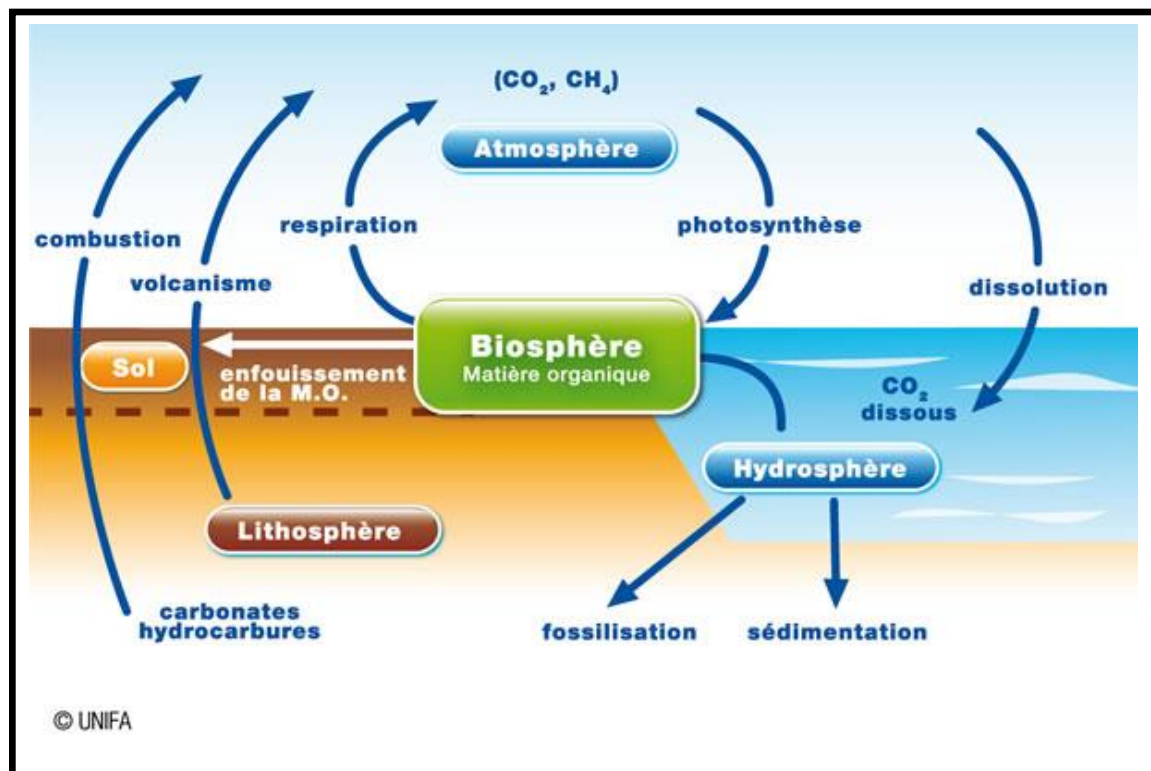


Figure 4- Le carbone dans les différents réservoirs. (<http://fertilisation-edu.fr/cycles-bio-geo-chimiques/le-cycle-du-carbone-c.html>)

5. Les formes du carbone

Dans la nature, le carbone se retrouve sous deux formes : forme oxydée (inorganique) et forme réduite (organique).

5.1. La forme oxydée (inorganique)

Le carbone sous sa forme oxydée (inorganique : dioxyde de carbone, bicarbonates et carbonates) joue un rôle important dans : la photosynthèse ; l'altération chimique des minéraux et la formation des sols ; la précipitation des carbonates et l'effet de serre (**Pedro, 2007**).

A l'échelle du globe, le carbone inorganique est présent dans trois réservoirs qui sont l'atmosphère, l'océan et les roches sédimentaires carbonatées.

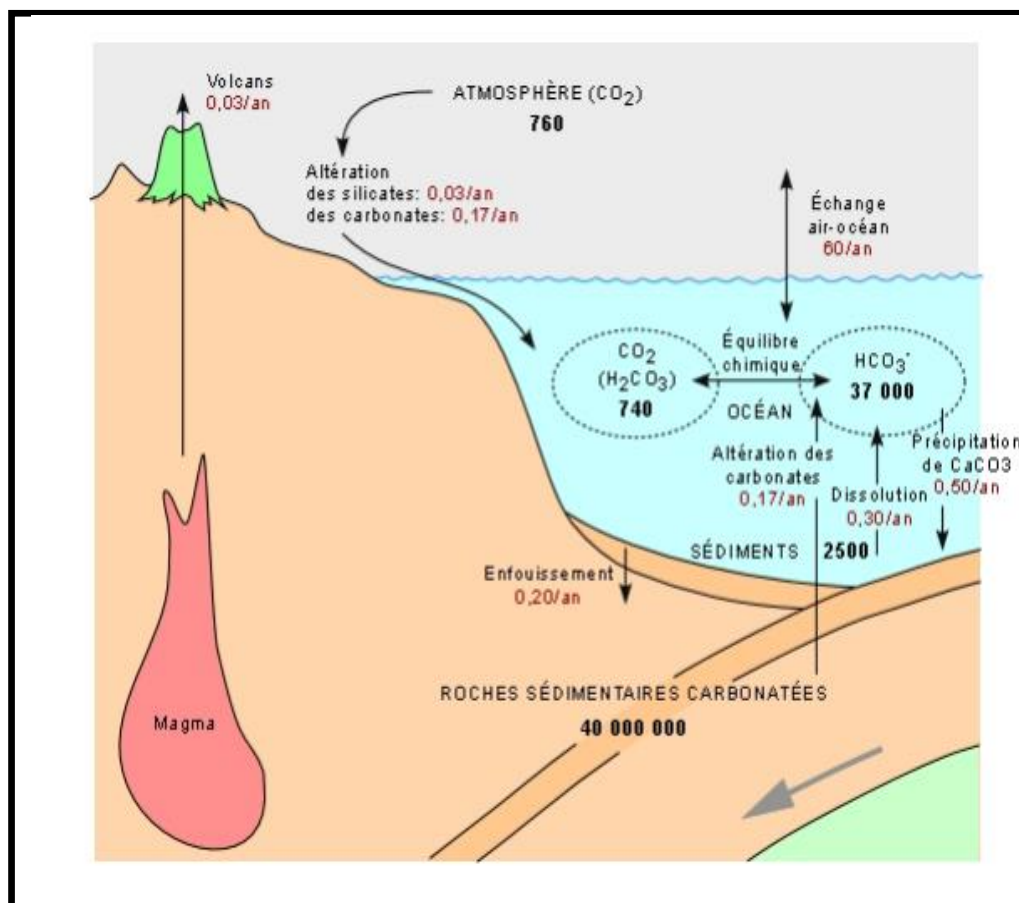


Figure 5 . Cycle du carbone inorganique. Valeurs en gigatonnes de carbone (GtC). Selon Kump *et al.* (1999).

5.2. La forme réduite (organique)

Le carbone sous cette forme est un élément constitutif des organismes vivants ; de la matière organique des sols ; de la matière organique sédimentaire fossilisée (kérogène et charbon) et de ses dérivés tels que le pétrole et le gaz naturel (Pedro, 2007).

Le carbone organique (CO) constitue environ 50% de la matière organique (Schlesinger et Melack, (1981); Meybeck, (1984) et leurs évolutions sont liées. Dans la nature, le carbone organique est susceptible de se transformer en des composés de natures différentes, par des minéralisations ou des enfouissements (tourbe, lignite, charbons, hydrocarbures liquides, gaz naturels), Ces transformations constituent le cycle organique du carbone (fig. 5).

Dans le cycle à court terme (à l'échelle du siècle), la biomasse joue un rôle important, elle stocke et recycle le carbone organique. Les processus de photosynthèse (qui transforme le carbone inorganique en carbone organique) et de respiration (processus inverse à la photosynthèse) sont à la base de ce cycle (Brunet, 2004).

Par contre, à long terme, les processus dominants sont l'enfouissement des matières organiques, la transformation en combustibles fossiles et l'altération. Dans ce cas, les réservoirs de carbone mis en jeu sont très grands mais les flux entre ceux-ci sont faibles, ce qui explique les temps de résidence relativement longs dans les différents réservoirs.

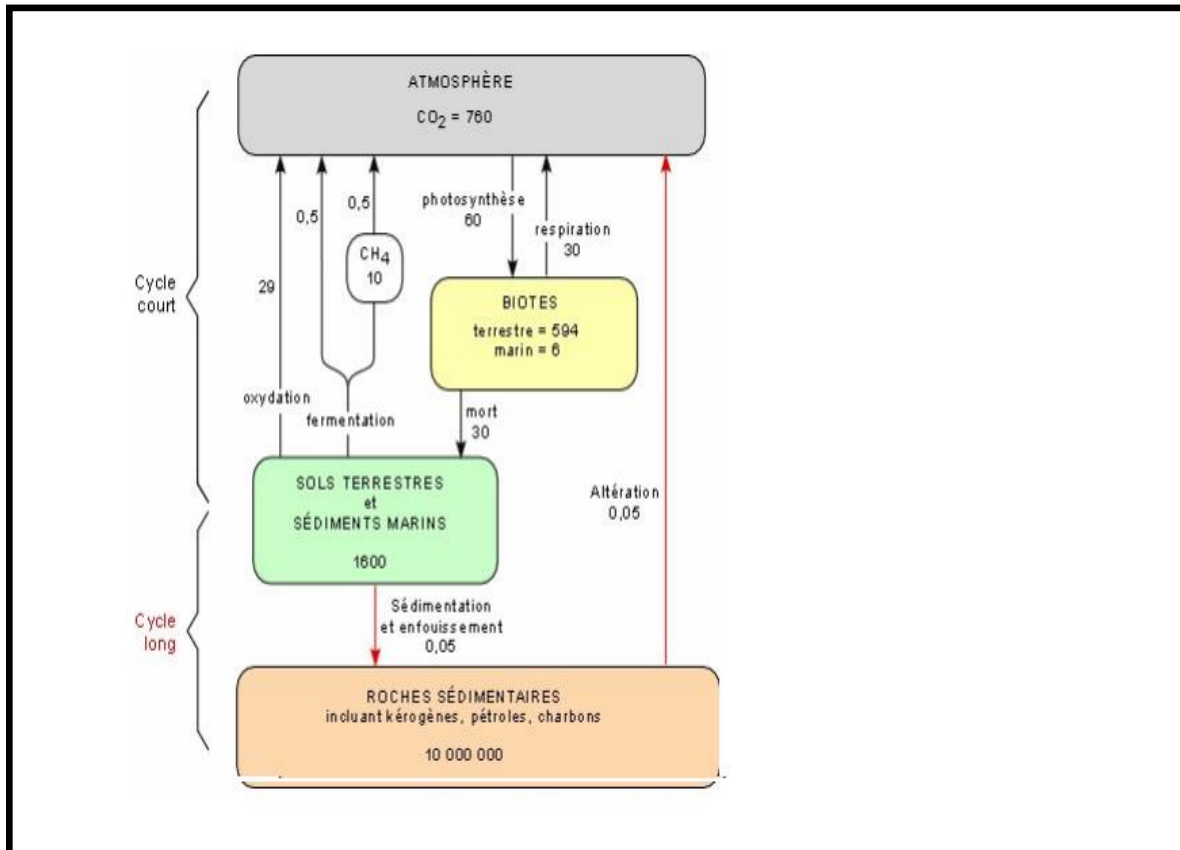


Figure. 6 : Cycle du carbone organique. Valeurs en gigatonnes de carbone (GtC). Selon Kump et al. (1999).

6. Les différentes phases du cycle de carbone

Le cycle de carbone peut être décomposé en 4 phases essentielles :

6.1. Phase d'organisation

Pendant la photosynthèse, les plantes, les algues et certaines bactéries retirent le CO_2 de l'aire et le fixe ou l'incorpore dans des composés chimiques comme les sucres. Les plantes utilisent les sucres pour fabriquer d'autres composés. Ainsi, la photosynthèse incorpore le carbone de l'environnement abiotique dans les composés biologique des producteurs (**Raven et al., 2009**).

6.2. Phase de réorganisation-consommation

Au niveau des aires continentales, les principaux phénomènes vecteurs d'échange du carbone avec l'atmosphère sont la photosynthèse et la respiration. Pendant la journée, les plantes absorbent du dioxyde de carbone qu'elles transforment en biomasse grâce à l'énergie lumineuse (photosynthèse). En parallèle, les plantes, les animaux et les micro-organismes du sol et des eaux consomment cette matière organique et libèrent du dioxyde de carbone dans l'atmosphère (respiration) (**Pedro, 2007**).

6.3. Phase de minéralisation (désorganisation)

La minéralisation faisant passer les éléments d'une forme organique à une forme inorganique (**Calvet, 2003**), les composés organiques sont attaqués selon la complexité de leur structure et les conditions du milieu par les champignons (**Rabiatou, 1999**). Les matières organiques végétales non consommées, retournent au sol ou ils subissent une minéralisation par des micro-organismes saprophytes appelés « décomposeurs » (**Calleja, 1971**).

6.4. Phase d'accumulation mise en réserve

La mise en réserve de certaine fraction organique dans les sols est liée au rythme de la minéralisation des formes du carbone ; les composés organiques comme les tanins et les lignines subissent des transformations qui les rendent souvent plus résistantes à la dégradation.

Le stock du carbone d'un sol est fonction d'une part du flux entrant au sol et d'autre part des vitesses de minéralisation du carbone, ou donc des temps du transit du carbone dans le sol (**Balesdant, 1996**).

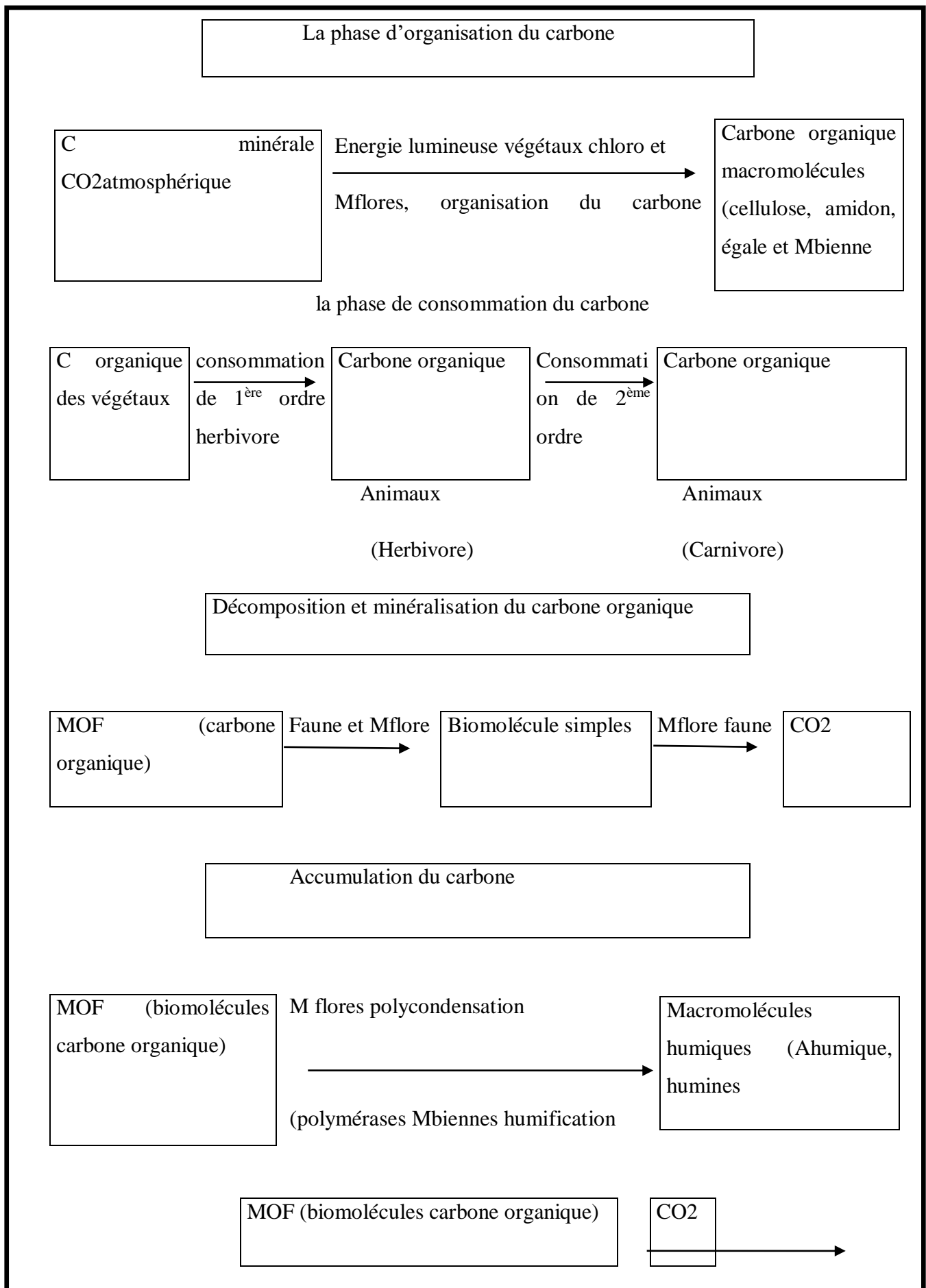


Figure 7. Les différentes phases du cycle du carbone (Messaadia, 2005)

7. Les facteurs influençant la minéralisation du carbone

La minéralisation des composés organiques les fait disparaître avec des vitesses variables selon plusieurs facteurs de sorte qu'ils persistent plus ou moins longtemps dans le sol. Les composés humiques sont les plus persistantes, leur durée moyenne (temps moyenne) de résidence dans le sol déduit des datations au C14, étant de plusieurs siècles (**Calvet, 2003**).

7.1. La température

La matière organique se décompose plus rapidement à des températures plus élevées, si bien que les sols des climats plus chauds tendent à contenir moins de matière organique que ceux des climats plus frais (**C.E, 2009**), Les températures plus froides à certaines périodes de l'année restreignent l'activité microbienne, réduisant ainsi la vitesse de minéralisation de la matière organique (**Poirier, 2007**).

7.2. L'humidité

Plus un sol est humide, moins il y a d'oxygène disponible pour que la matière organique se décompose, si bien qu'elle s'accumule (**C.E, 2009**).

7.3. Les microflores telluriques

Il faut considérer que plus un sol possède une faune abondante plus la minéralisation du carbone s'en trouve favorisée (**Bachelier, 1968 In Bensakhria, 2000**). Il résulte qu'une faune abondante et diversifiée correspond habituellement une microflore importante et active, et une rapide minéralisation au carbone organique (**Bensakhria, 2000**).

7.4. Surface d'agrégat

La texture et la minéralogie du sol influencent aussi de façon marquée le temps de résidence du C dans le sol (**Poirier, 2007**). La présence de particules plus grossières (sables, graviers) dans les sols pourrait également jouer un rôle indirect en raison de son effet sur la porosité accessible à l'air et aux microorganismes (**Koutika et al., 1997**).

8. Les principaux facteurs influençant le temps de résidence du carbone organique dans les sols

L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports organiques au sol et la vitesse de minéralisation. Les principales variables pédologiques, climatiques et anthropiques affectant le temps de résidence (turnover) du carbone dans le sol (**Girard et al., 2005**) sont :

- La température : limite le temps de résidence, la minéralisation augmente avec la température.
- Le labour limite le temps de résidence par la suppression des protections des MO du sol. L'engorgement des sols et l'acidité permanente augmentent le temps de résidence, il y a formation de tourbe en conditions froides à long terme.
- La présence d'Aluminium libre augmente le temps de résidence par une protection physique et physicochimique des MO du sol.
- La teneur et la nature des argiles augmentent le temps de résidence.

D'autres facteurs auraient tendance à augmenter ce temps de résidence (**Girard et al., 2005**) :

- La fréquence des anaérobioses qui induit un rendement microbien moindre.
- La proportion de Ca et Mg échangeables et la teneur en calcaire actif assurent une protection physique des MO du sol.
- Les carences en azote et phosphore disponibles limitent l'activité des micro-organismes.

DEXIEME PARTIE:
PARTIE EXPERIMENTALE

Introduction

La fertilité des sols semble si étroitement dépendante des facteurs biologiques que l'on a cherché de longue date, une expression de l'activité globale susceptible d'en donner un indice. Cependant les actions exercées au sein du sol par sa micro population sont très diverses.

La production de gaz carbonique, terme des processus d'oxydation, en donne une évaluation ; ce dégagement de CO₂ est fonction de l'activité biologique d'un sol et principalement de sa teneur en carbone minéralisable.

1. Matériels et méthodes d'analyses

1.1. Matériels d'études

1.1.1. Le sol

Dans le but de la réalisation de cette étude, relative à l'action des matières organiques dans un agro système, nous avons été amenés à prélever notre sol dans la ferme pilote Laatar Lékhmissi, dans la région de kais, les sols de cette ferme dans l'ensemble, se caractérisent par leur vocation céréalière ; employée dans le cadre d'un système cultural : céréales, jachère travaillée.

L'échantillon utilisé a été prélevé dans la couche (0 – 20 cm) qui représente ainsi la couche hémi organique dans laquelle, se manifeste généralement une activité biologique élevée à cause de l'effet rhizosphérique important sur le plan édaphique. Il s'agit d'un sol de texture limono argileuse, ceci indique que le sol est battant.

Au plan bio physico chimique, ce sol céréalière (fig 08) est modérément calcaire ; il présente un pH alcalin de 8,7 et une valeur de la CE de 0,15mmhos /cm, indiquant qu'il s'agit d'un sol non salé, une CEC moyenne de 17,2 meq /100gr de sol, reflétant ainsi une fertilité chimique satisfaisante, Un taux de carbone organique non satisfaisant de 0,96% (matière organique =1,65%).



Figure 08. L'échantillon de sol

Les principales caractéristiques physiques et chimiques de ce sol sont représentées au plan analytique dans le tableau suivant :

Tableau 01 : propriétés bio physico chimique du sol.

Horizons		H1
Granulométrie (en%)	A	36,50
	LF	22,70
	LG	17,40
	SF	7,20
	SG	16,20
Caco3 Total (en%)		16.88
Caco3 Actif (en %)		16.41
CEC (en méq /100g)		17.32
pH (au 1/5)		8.57
C.E mm hos /cm. (1/5)		0.15
P2O5 ppm		114.50
C%		0.98
MO%		1.65

1.1.2. Matières Organiques

✓ La paille

Il s'agit d'une paille de blé (fig. 09) qui a été finement broyée et tamisée à fin de faciliter le mélange paille - sol et d'augmenter d'autre part son activation métabolique sous l'effet des micro-organismes telluriques.

Les principales caractéristiques de cette paille figurent dans le tableau 2 :



Figure 09. La paille broyée et tamisée

Tableau 2 : résultats d'analyse de la paille

Caractéristiques	valeurs
C%	25,16
N%	0,3
MO%	43 ,27
C/N	83,86

✓ **Le fumier**

C'est un fumier (fig. 10) d'ovins, qui a été mis à sécher, broyer et tamiser, dans les mêmes conditions que la paille. Ce fumier d'ovin présente un taux de carbone de 17.14%

Les résultats d'analyse de ce fumier sont représentés dans le tableau 3 :



Figure 10. Le fumier sécher, broyer et tamisé

Tableau 3 : Résultats d'analyse du fumier

Caractéristiques	Fumier
pH	8,68
CE (ms)	9,2
MO%	29,48
C%	17,14
N%	0,78
C/N	21,97

1.2. Méthode d'analyse biologique

1.2.1. Méthode d'incubation du sol au laboratoire

Le dispositif respirométrique permet de suivre la production de CO₂ à partir des systèmes (Sol + paille, sol + fumier) et ce, par le dosage de gaz carbonique issus de la minéralisation des composés carbonés.

La mise en place des systèmes d'incubation en conditions contrôlées des sols (enrichis en paille et fumier) a permis de déterminer, l'effet des matières organiques sur la concentration du sol en carbone.

L'incubation des sols a été effectuée sur une période de 21 jours ; la cinétique de minéralisation du carbone organique a été suivie avec les pas de temps suivants : 0, 3, 7, 10, 14, et 21 jours.

2. Technique expérimentale

2.1. Dispositif de minéralisation de carbone organique dans le sol :

2.1.1. Description de dispositif respirométrique :

Un échantillon de 25g de sol séché à l'air et passé au tamis (2mm) est placé dans des flacons de volume 0,5 l. À l'intérieur de chaque flacon est placé deux piluliers, un pilulier contenant 20ml de NaOH (0,2N) pour fixer le CO₂ dégagé et l'autre pour l'H₂O. Les flacons fermés hermétiquement sont ensuite placés dans une étuve régulée à une température de 28°C.

Sur le plan expérimental, six traitements ont été retenus pour le sol et avec deux types de matières organiques (fumier, paille), à raison de trois répétitions pour chaque traitement (fig. 11).

Les matières organiques ont été enfouies dans le sol à une dose de (5%), et cela afin d'arriver à un même taux satisfaisant de matière organique dans les sols ; soit une masse de 1.25g pour chaque traitement.

- ✓ Sol seul
- ✓ Sol+paille à 5%
- ✓ Sol+fumier à 5%

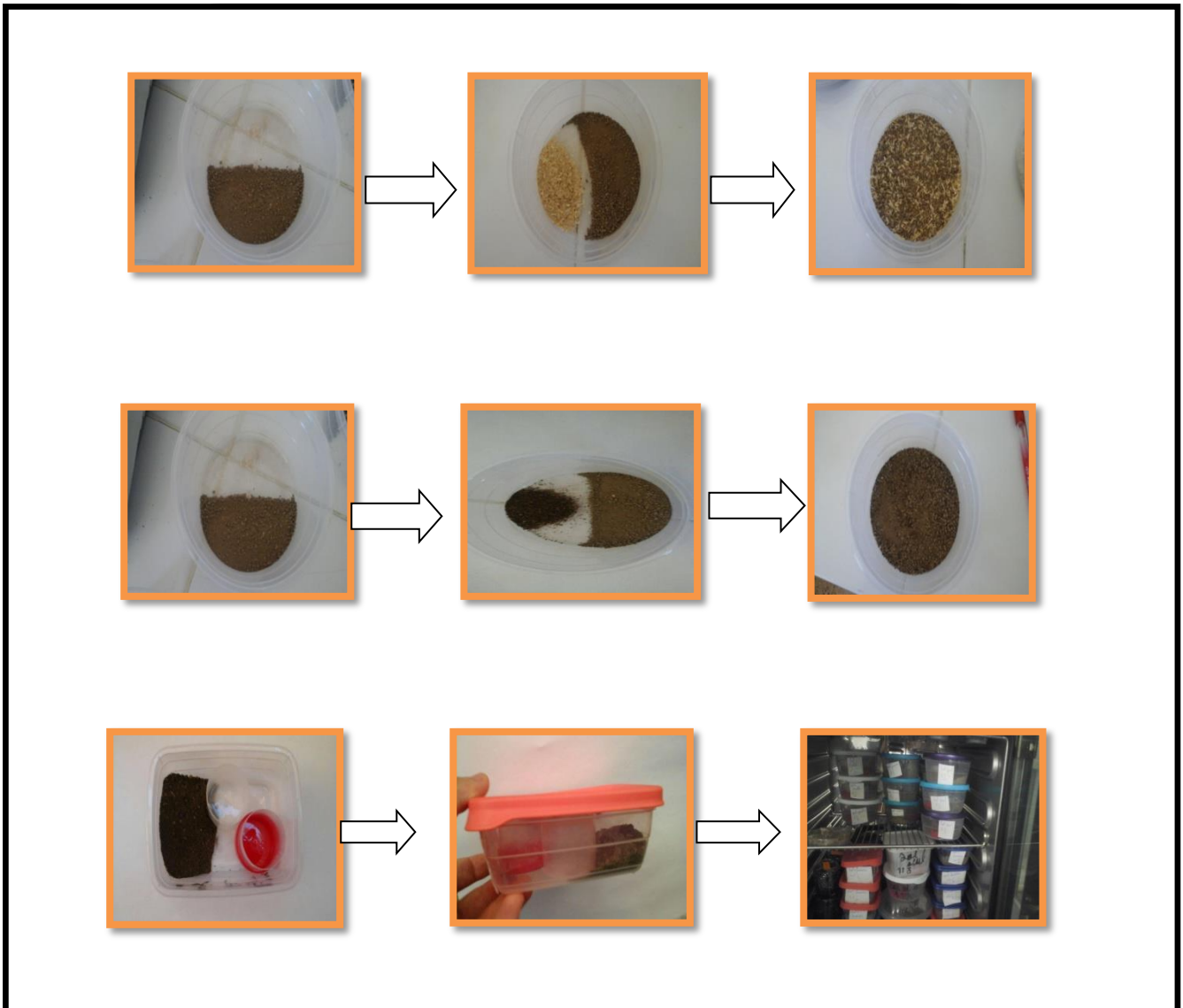


Figure 11. Les étapes de l'incubation du sol au laboratoire

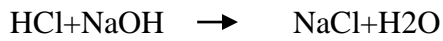
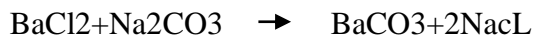
3. Techniques analytiques

3.1. Dosage du carbone minéral

L'activité biologique globale induit dans le milieu un dégagement de CO_2 qui est piégé par la NaOH (0,2 N). L'excès de soude est titré avec HCl 0,5 N après précipitation des carbonates par le BaCl_2 (20%) en présence d'un indicateur coloré la phénophtaléine (cet indicateur est de couleur rose en milieu basique et incolore en milieu acide).

Les étapes de déroulement de cette analyse est représenté par les figures 12 ,13 et 14

Les équations qui ont eu lieu au cours des différentes opérations sont les suivantes :



Les résultats de l'activité respiratoire des différents systèmes sont exprimés en mg /25g de sol sec.



Figure 12. Précipitation des carbonates par le BaCl₂



Figure 13. L'ajoute de quelque gouttes de phénolphtaléine



Figure 14. Titrage avec HCl

3.2. Le pH

Le pH du sol est déterminé par le pH mètre avec un rapport sol/eau de 1/5

3.3. La conductivité électrique CE

Elle est déterminée au conductimètre après préparation d'une solution sol/eau selon le rapport 1/5.

3.4. L'azote total

Il est déterminé par la méthode KJELDHAL, l'azote est transformé en azote ammoniacal sous l'action de l'acide sulfurique concentré, porté à l'ébullition et fixé par ce dernier sous forme de sulfate d'ammonium.

L'azote est ensuite déplacé par la soude en excès, distillé à l'appareil de BUCHI puis dosé par titrimétrie à l'acide sulfurique (H_2SO_4).

3.5. Le carbone organique :

Le taux de carbone organique est obtenu à partir du dosage du carbone organique.

Ce dosage du carbone est effectué par la méthode d'analyse faite par spectrophotomètre Hach Lange DR 2800. A une longueur d'onde de 245.

1. Effet de la paille sur la minéralisation du carbone dans le sol.

L'observation du graphique (fig.15), relatif à l'effet de la paille sur la minéralisation du carbone dans le sol en condition contrôlé ($T= 28^{\circ}\text{C}$), fait apparaître un effet nettement positif de la paille durant toute la période d'incubation des sols (21 jours), qui se traduit par un taux de minéralisation de 53,06%.

La pauvreté de la paille en azote et sa richesse en cellulose, hémicellulose et un peu de lignine environ 45%, divers microorganismes cellulolytiques (champignons, bactéries, Actinomycètes) dégradent activement la cellulose, le terme ultime de cette dégradation est le gaz carbonique (**Villain, 1989**).

Cette effet, se manifeste clairement dès la première semaine (7jours) d'incubation qui se traduit par un dégagement de CO_2 de 0,44mg, contre 0,13mg de CO_2 enregistré à 0 jours, cette production se poursuit jusqu'au 10 eme jour affichant un dégagement de 0,83 mg de CO_2 soit un taux de minéralisation de 84,69%.

Cette production progressive de CO_2 , revient certainement à la stimulation de l'activité microbienne par la présence des sucres (sources d'énergie) fournies par la paille.

Nos résultats rappels ceux trouvés par **Bouajila et al. (2008)**, qui ont enregistré un taux de minéralisation du carbone total de 50, 86% en enfouissant une paille de blé dans un sol limono argileux sur une période de 90 jours.

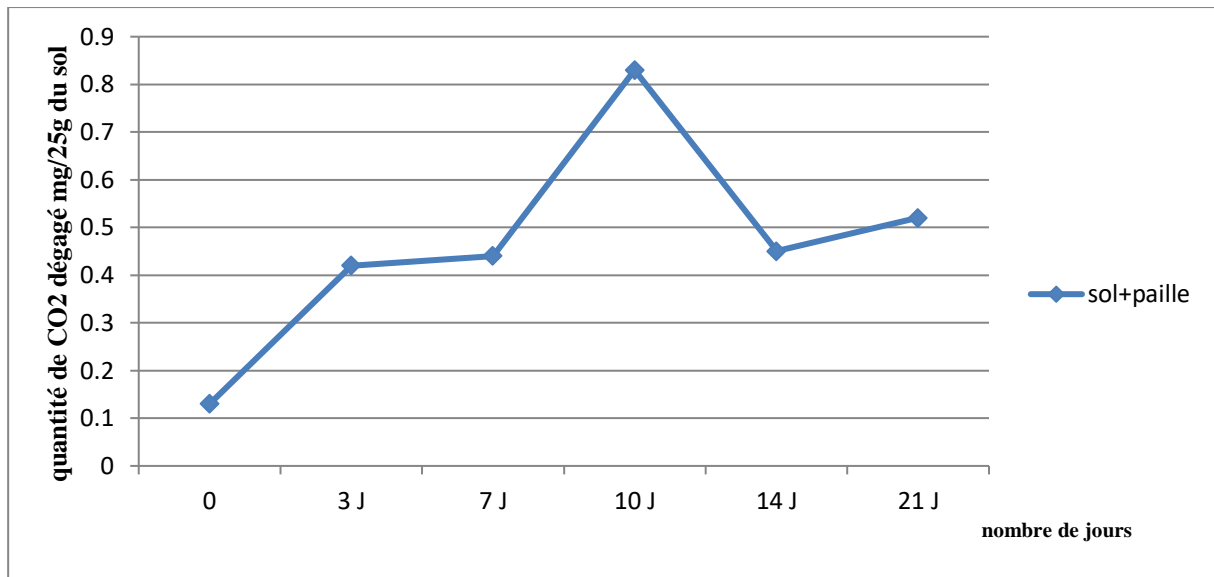


Figure 15. Cinétique de la minéralisation de carbone total dans le système sol- paille.

2. Effet du fumier sur la minéralisation du carbone du sol

L'analyse des résultats représentés par la (fig.16), relatif à l'influence du fumier sur le dégagement de CO₂ dans le sol en condition contrôlé (T=28°C), fait ressortir un effet relativement positif du fumier sur la production de carbone minéral au cours de 21 jours d'incubation.

Rappelons que le fumier est une matière organique pré humifiée, beaucoup plus riches en lignine qu'en substances hydrocarbonés, dès son incorporation dans le sol, une microflore aérobie s'installe et décomposent les substances les plus fermentescibles.

Les résultats obtenus révèlent une faible minéralisation du carbone total durant 14 jours, affichant ainsi une valeur de 0,28 mg/25g de sol, alors qu'à 0 jours le dégagement de CO₂ est de 0,10mg, soit un potentiel de minéralisation de 10,20%.

Ces résultats montrent que le potentiel de minéralisation est lié à la qualité chimique et biochimique du fumier ; plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile suite à la récalcitrance de ces polymères végétaux (**Jedidi, 1998**) confirme ces résultats.

De son côté, **Bouajila et al., (2014)** en incorporant du fumier à un sol limono argileux, a signalé un potentiel de minéralisation de 14,53% sur une période d'incubation de 90 jours.

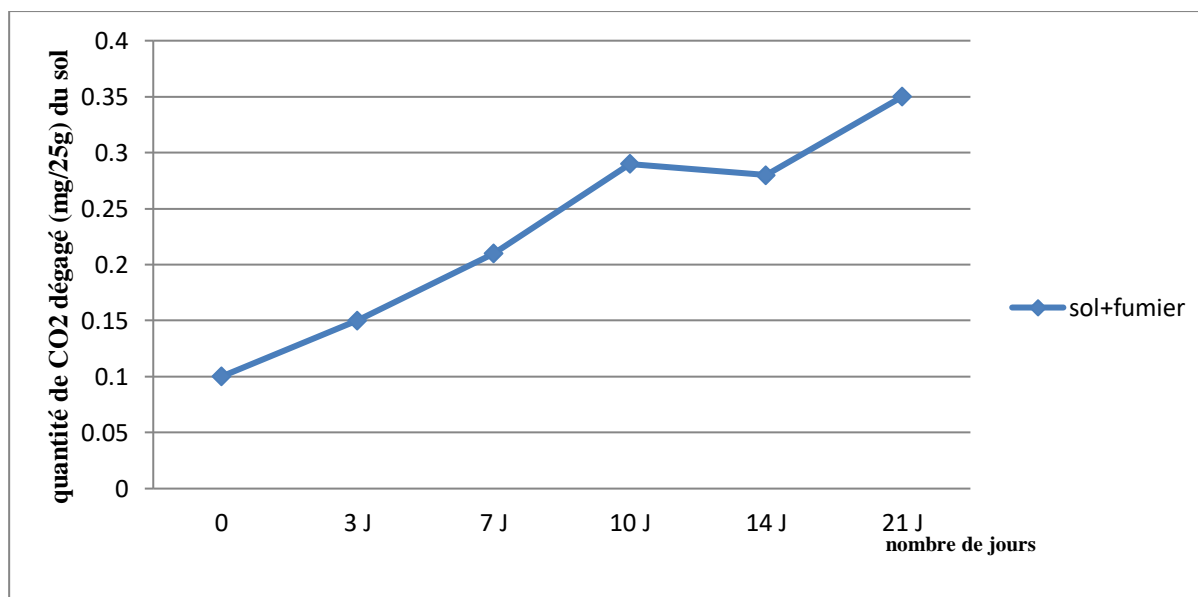


Figure 16. Cinétique de la minéralisation de carbone total dans le système sol- fumier.

3. Effet des amendements organiques (fumier, paille) sur la cinétique de minéralisation du carbone organique des sols.

L'évolution de la minéralisation du carbone organique des sols durant une période d'incubation de 21 jours à une température optimale de 28°C dans des dispositifs simulant la biodégradation des amendements organiques en condition normale, est illustrée par la (fig17). L'examen des courbes cumulatives fait apparaître l'effet positif de paille comparativement à celui du fumier, et ce dès les premiers jours d'incubation. Cette influence des matières organique sur la vitesse de minéralisation du carbone totale se poursuit jusqu'à la fin de l'incubation, ou nous enregistrons un taux de 284,69% dans le système sol+paille et 140,81% dans le système sol+ fumier soit la moitié produite dans le système paille.

De telles observations ont été rapportés par certains travaux réalisés, sur différents résidus de récoltes : (Bouajila et al., 2014 ; 2015). et sur différents fumiers (bovin ovin fiente) (Jemai et al., 2011) et (Boucetta, 2008).

La vitesse de minéralisation du carbone organique est rapide durant la première décade dans le sol amendés de paille par rapport au sol ayant subit l'apport de fumier.

Au plan quantitatif nous avons enregistré les valeurs respectives de 1,82mg de C-CO₂ et 0,75mg de C-CO₂ dans les traitements sol- paille et sol- fumier.

Les résultats obtenus nous permettent, à titre comparatif, de conclure également, que la meilleure cinétique de minéralisation se déroule dans le sol amendé en paille.

Cette variation pourrait être attribuée à la nature et à la quantité de carbone organique facilement biodégradable apporté par la paille et à une prolifération des populations microbiennes.

Les amendements organiques testés étant riches en matière organique, ils favorisent de ce fait la prolifération des microorganismes qui se multiplie et décomposent la matière organique, ceci explique en partie les différences de production de CO₂ enregistrées entre sol+ fumier et sol + paille. Quand à l'intensité et la rapidité relatives avec lesquelles le fumier agit sur le rythme de la minéralisation du carbone organique dans le sol comparativement avec la paille, ceci s'expliquerait par la présence de composés difficilement métabolisable (lignine) dans le fumier qui participe à la formation d'humus stable.

La composition chimique et biochimique des matières organiques exogènes restituées aux sols est un des principaux facteurs qui influencent leurs cinétiques de décomposition dans les sols.

Plusieurs études, ont montré des corrélations entre la composition biochimique. Il est constaté que la décomposition des produits organiques testés est en relation étroite avec l'origine, la nature et avec leurs compositions chimiques et biochimiques. Plus les résidus organiques sont riches en lignine, plus leur biodégradation est difficile suite à la récalcitrance de ces polymères végétaux. Les fractions en fibres des produits organiques ont montré que le fumier est significativement ($P < 0.05$) plus riche en lignine (19.30% MO) et en fraction soluble (70.10 %) alors que les résidus de cultures sont plus riches en cellulose (35.5%) et hémicellulose (43.8%) **(Bouajila, 2015)**.

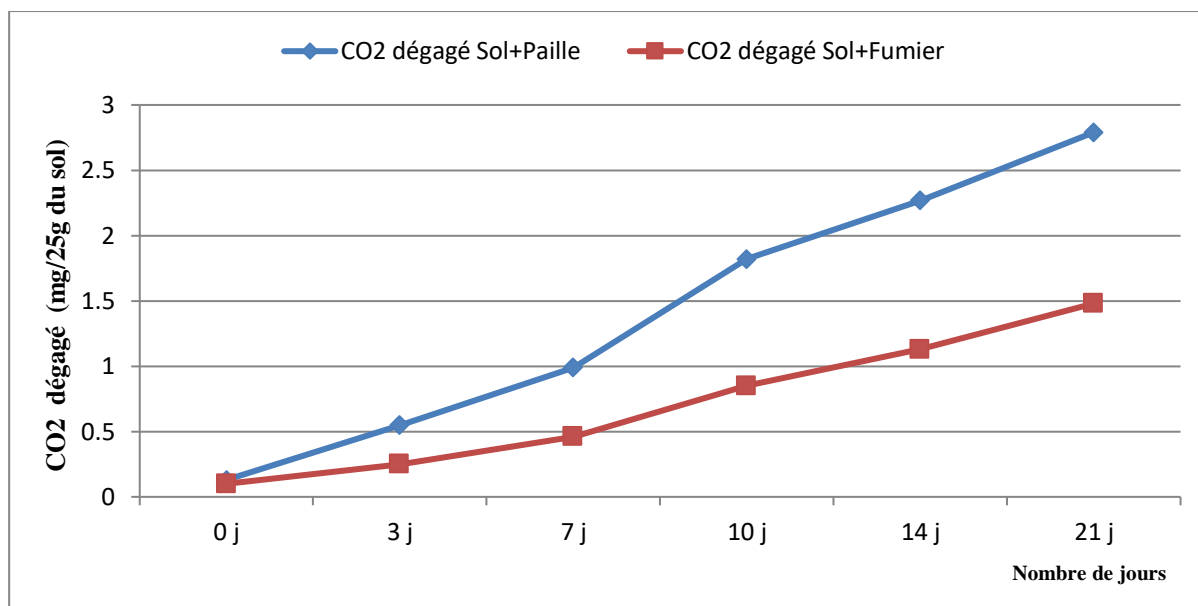


Figure 17. Courbes cumulatives du C-CO₂ dégagé dans les systèmes (sol+paille) et (sol+fumier).

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de notre travail a porté sur l'étude de l'effet de deux types de matières organique fumier de ferme (ovin) et paille de blé sur la cinétique de minéralisation du carbone organique dans un sol agricole.

Cette expérience a été conduite selon la méthode respirométrique ou la température à été ajusté à 28°C, 5% est la dose adoptés de MO enfouis dans le sol.

A ce sujet les résultats obtenus permettent de dégagé les conclusions suivantes :

En ce qui concerne les deux traitements (sol amendé par le fumier et sol amendé par la paille) la cinétique de minéralisation de carbone est plus importante dans le sol amendé par la paille par rapport au sol ayant reçu du fumier ;

Cette effet, de la paille et du fumier sur les quantités de carbone dégagés apparait clairement en fin d'incubation ou nous avons enregistré les valeurs cumulés de 2,79mg pour le système paille et 1,38mg ; il ressort de ces résultats que l'effet de paille à contribué de façon remarquable à augmenter le stock de carbone dans le sol agricole.

Au plan analytique les différences de production du carbone minérale dans les sols à pour origine la nature chimique et biochimique des substrats carbonés incorporés

Cette recherche basée sur des incubations de laboratoire devrait être testée en condition de plein champ. En plus la valorisation agronomique, des résidus de cultures et du fumier de ferme méritent d'être approfondie car leur utilisation pourrait être une solution dans la gestion de la fertilité du sol pour une agriculture durable, et une technique de substitution et de remédiation des sols biologiquement dégradés. Dans le futur, il serait intéressant d'évaluer l'impact de ses bio ressources sur les rendements des cultures et leurs effets sur les sols en combinaison avec les engrais minéraux.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- **Abid Charef A., 1992.** Effet de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sales. Thèse Inge. 122p.
- **Baldock G A ., et Nelson P N., 1999.** Soil organic matter. p. B-25-B-84. In M.E.Sumner. Ed Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- **Balesdent G., 1996.** Un point sur l'évolution des réserves organique des sols en France. INRA. Unité de science du sol.78026 Versailles cedex. Etude de gestion des sols : 3-4.
- **Barnola J M., Anklin M., Porcheron J., Raynaud D., Schwander J., et Stauffer B., 1994.** CO2 evolution during the last millenium as recorded by Antarctic and Greenland ice. Tellus, 47B, 264-272.
- **Bauzou., 1969.** Effet – litière, influence in situ des litières forestières sur quelques caractéristiques biologiques des sols, Ecole. Plant, n°4. Pp. 99- 122.
- **Bensid Z., 2015.** Dynamique De La Matière Organique Des Sols Des Monts Forestiers Du Bélézma. Thèse. Doc.130p
- **Bensid Z., 1996.** Etude expérimentale de la dynamique des litières dans deux stations Forestières des hautes altitudes Aurassiennes (Monts de Chelia) :- Incidences de la nature Du couvert forestier sur les microflore telluriques -Turnover des retombées biologiques (Minéralisation, réorganisation et humification). Thèse de Magi. INES de Batna.180p
- **Benskhria S., 2000.** Dynamique de la matière organique dans les sols salés. Mém. Ing. Univ. Batna.
- **Berner R A., 2003.** The long- term carbone cycle, fossil fuels and atmospheric composition : nature, 426 : 323-326.
- **Berruyer O., 2013.** 1330 climats (4) : cycle de carbone.
- **Bonneau M., et Souchier B., 1979.** Méthodes d'analyse des sols. In Pédologie, 2. Constituants et propriétés du sol, Masson Paris. pp. 124-160.
- **Bouajila A., et Gallali T., 2008.** Soil organic carbon fractions and aggregate stability in carbonated and no carbonated soils in Tunisia. *Journal of Agronomy*, 7(2), 127-137.
- **Bouajila K., Ben Jeddi F., Taamallah H., Jedidi N., Sanaa M., 2014.** Effets de la composition chimique et biochimique des résidus de cultures sur leur décomposition dans un sol limono-argileux de semi aride (chimical and biochemical composition's effect of crop residues on their décomposition in semi-aride) G.Metr. Enviro.Sci.5 (1). Pp159-166.

- **Bouajila K., Ben Jeddi F., Taamallah H., Jeddidi N., Et Sanaa M., 2015.** Role de la composition chimique et biochimique des résidus des cultures et de fumier de ferme dans la décomposition des sols dégradés sous climat aride tunisien. Vol 5 n°2. Pp 50-70.
- **Boucetta L., 2008.** Influence des amendements organiques (boues résiduaires, fumier et fientes des volailles) sur la minéralisation du carbone dans le Mont sud d'Arris .Mém.Batna. p62.
- **Boulaine J., 1978.** Cours de pédologie. Paris, Grignon. 135p.
- **Brunet F., 2004.** Variations de la signature isotopique $\delta^{13}C$ du carbone inorganique dissous dans les rivières et les fleuves. Thèse .Doc. État, Univ.Toulouse III.
- **Calleja., 1971.** Etude des activités biologiques de sols de la série chêne vert Rev. Ecole. Sol.6(2),pp 199-218.
- **Calvet R., 2003.** Le sol propriétés et fonctions. Tome 2. Phénomènes physiques et chimiques applications agronomique et environnementales. ED, France agricole. P399
- **Calvet R., Chenu C., et Houot S., 2011.** Les matières organiques des sols. ED. France Agricole. 347p
- **Chamayou H., 1984.** Notions fondamentales de science du sol. E.N.S.A. de Montpellier. Pp.64-103.
- **Charreau C., 1974.** La matière organique et les propriétés biochimiques des sols dans la zone tropicale sèche de l'Afrique Occidentale, 35p.
- **Charreau C., 1975.** Matière organique et propriétés biochimiques du sol dans la zone tropicale sèche de l'Afrique de l'Ouest. Bulletin des sols (FAO). non. 27.
- **Cole J J., Prairie Y T., Caraco N F., McDowell W H., Tranvik L J., Striegl R G., Duarte C M., Kortelainen P., Downing J A., Middelburg J. and Melack J., 2007.** Plumbing the global carbon cycle: integrating inland waters into the terrestrial carbon budget. Ecosystems. DOI: 10.1007/s10021-006-9013-8.
- **Communautés européennes. , 2009.** Reproduction autorisée, moyennant mention de la source.
- **Cortez., 1977.** Etude respirométrique de la biodégradation de deux lipopolysaccharides bactériens dans un sol rouge méditerranéen, Ecole. Biol., sol, 14(4). Pp. 509-517.
- **Deihlier G., 1975.** Influence de climat sur les processus pédologiques de l'humification et de la déshumidification. Agriculteur, deuxième ED., J.B.Bailère. pp 136-166.

- **Dommergues Y., 1971.** Interrelations sans caractères symbiotique entre la végétation et la microflore du sol: effet litière. Paison, Paul La Vie dans le Sols, ED. Gauthier- Villars. Paris. Pp. 423-471.
- **Dommergues Y., et Mangenot F., 1970.** Ecologie microbienne du sol, Ed. Masson et Cie. Pp. 1-703.
- **Dossier Inra, 2009 :** Le Sol, ED. Quae, janvier 2009.
- **Dridi I., 2001.** Contribution à l'étude de l'influence du taux de la matière organique (fumier de ferme) et des calcaires sur l'évolution de pH dans le sol. Thèse Inge. 68p.
- **Duchaufour P., 1980.** Écologie de l'humification et pédogénèse des sols forestiers. Actualités d'écologie forestière: sol, flore, faune/ouvrage collectif présentée par P. Paison; avec la participation de F. Mangenot... et al.
- **Duchaufour., 1977.** Constitution du sol ED. Masson T1. 372p.
- **Dupouey J L., Siguand G., Bateau V., Thimonier A., Dhole J F., Nepveu G., Bergé L., Augusto L., Belkacem S., Nys C., 1999.** Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. C.R. Acad. Agric. Fr 85 (6. 293–310).
- **Duprarque A., Rigalle P., 2011.** Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011. Agrotransfert. 23p.
- **Etheridge D M., Steele L P., Langenfields R L., Francey R J., Barnola J M., et Morgan V I., 1996.** Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. J. Geophys. Res., 101(D2), 4115-4128.
- **Gheyi H., et Halitim, A., 1976.** Contribution de l'argile et de la matière organique dans la capacité d'échange cationique de quelques sols du Nord de l'Algérie in Annales de l'I.N.R.A. d'Alger, vol, n°2. pp .27-320.
- **GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). Climate Change. 2007.** Impacts, Adaptation and Vulnerability. In M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson (éd.), contribution du Groupe de travail II au Quatrième rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.
- **Girard M C., et al, 2005.** Sols et Environnement. 2ème édition. ED. Dunod. 2005.
- **Gregorich E G., Beare M H., Stoklas U., et St-Georges P., 2003.** Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. Geoderma, 113(3), 237-252.
- **Grosbellet C., 2008.** Evolution et effets sur la structuration du sol de la matière organique apportée en grande quantité. (Doctoral dissertation, Université d'Angers). P 50.

- **Hendrickson ., 1990.** How does foresty influence atmospheric carbon? *Forestry chronicle* 66, 469-470.
- **IPCC, Climat Change., 1995.** The Science of Climat Change. Intergouvernemental Panel on Climat Change. Working Group I. WMO-UNEP, University Press, Cambridge, 1996.
- **Jemai I., Guirat S B ., Aissa N B., Jedidi N., Gallali T., 2011.** effet de l'amendement par fumier de ferme et par composte d'ordures ménagères sur la restauration d'un sol argileaux de plaine sous climat semi aride tunisien. *Etude et gestion des sols*, Vol 18,4,pp 271-285.
- **Julie T., 2004.** Variabilité spatiale et temporelle des flux de carbone organique et des formes d'azote dissous dans le bassin versant de l'Herminie. Mémoire Université de Montréal.132p.
- **Junqua G., 2002.** Caractérisation rapide de la matière organique de sols et de sédiments par spectrophotométrie UV-Visible.: Essai de typologie et estimation des paramètres C, N, P (Doctoral dissertation, Pau).p33.
- **Keeling C D., Piper S C., et Heimann M., 1989.** A three-dimensional model of atmospheric CO₂ transport based on observed winds: 4. Mean annual gradients and interannual variations. *Geophysical Monograph* 55, 305-363.
- **Koutika L S., Bartoli F., Andreux F., Cerri C C., Burtin G., Choné Th., et Philippy R., 1997.** Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pastures of increasing âge in the eastern Amazon Basin. *Geoderma* 76: 87-112.
- **Kump L R., Kasting J F., et Crane R G., 1999.** The earth system. Prentice Hall.
- **Laurence P., 2000.** variation de la teneur en CO₂ de l'atmosphère au cours des 4 derniers cycles glaciaire-interglaciaire, à partir de l'analyse de la carotte de vostok (antarctique). Implication sur l'évolution du cycle du carbone. Thèse.Doc.Univ joseph Fourier-Grenoble I.
- **Lemaitre A., Chaussod R., Tavant Y., and Bruckert S., 1995.** An attempt to detrmine a pool of labile organic matter associated with soil microbial biomass. *Eur.J. Soil Biol.* 31: 121-125.
- **Lemee., L., 2004.** Caractérisation structurale de la matière organique complexe des sols et des sédiments-Dynamique et réactivité (Doctoral dissertation, Université de Poitiers).P18.

- **Mathieu C., Pieltain F., et Jeanroy E., 2003.** Analyse chimique des sols: Méthodes choisies. Tec & doc. P39.
- **Meridja O., 2008.** Etude de l'influence des matières organiques (paille, engrais vert) et d'un engrais (urée sur la dynamique de l'azote (minéralisation, pool organique) dans un sol brun calcaire de la région de Batna – incidence sur le comportement d'une graminée fourragère 'Lolium Multiflorum' (biomasse minéralomasse). Magister 136p.
- **Messaoudi Y., 2005.** influence des différentes sources de matière organique (fientes de volailles et fumier de bovin) sur quelques propriétés physiques et chimiques d'un sol calcaire dans la région de Batna. mémoire, 55p.
- **Meybeck M., 1984.** Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Doc. Etat, Univ.Paris VI.
- **Morel R., 1984.** La dynamique de la matière organique du sol technique agricole **1340**
- **Parton W J., Woomeer P.L., and Martin A., 1994.** Modelling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. Pages 171-188 in P.L. Woomeer and M.J. Swift, editors. The biological management of tropical soil fertility. TSBF /John Wiley & sons, New York, USA. 741.
- **Pedro G., 2007.** Cycle biogéochimiques et écosystèmes continentaux. ED, académie des sciences. 427p.
- **Poirier V., 2007.** Séquestration du carbone dans un sol agricole du Québec : influence du travail du sol et de la fertilisation des cultures ; à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en sols et environnement pour l'obtention du grade de maître es sciences (M. Se.).
- **Pouget G., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes sud-Algéroise. Thèse Doct. 138p.
- **Rabiatou A D., 1999.** Cycle géochimique du carbone, de l'azote et du phosphore dans un écosystème inondé cas de la mare de batamani (delta intérieur du Niger).mémoire université de mali. 99p.
- **Ramade F., 2003.** Elément d'écologie écologie fondamentale.3^{ème} édition. P406-407
- **Raven P H., berg L R., Hassenzahl D M., 2009.**environnement. ED. de Boeck p91-92.
- **Robert M., 2002.** La Séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapport. Institut national de recherche agronomique Paris, France.FAO. p04.

- **Schlesinger W H., et Melack JM., 1981.** Transport of organic carbon in the world's rivers. *Tellus* 33, 172-187.
- **Sebillotte M., 1989.** Fertilité et systèmes de production. Editions Quae. 375p.
- **Site web :** <http://fertilisation-edu.fr/cycles-bio-geo-chimiques/le-cycle-du-carbone-c.html>.
- **Site Web :** <https://sites.google.com/site/tpelecycleducARBONE/conclusion>
- **site Web 2003.** <http://cap.mcgrill.ca/publication/cap.foot>).
- **Sleutel S., De Neve S., et Hofmann G., 2003.** Estimates of carbon stock changes in Belgian cropland. *Soil Use Manage.*, 19, 166-171.
- **Soltner D., 1986.** les bases de la production végétale T1, le sol 22^{ème} édition, 472p.
- **Sundquist E T., 1993.** The global carbon budget. *Science* 259: 934-941.
- **Toutain F., Diagne A., Et Tacon F., 1987.** Effets d'apports d'éléments minéraux sur le fonctionnement d'un écosystème forestier de l'Est de la France. *Rev Ecol. Biol. Sol* n° 24(3). Pp. 283-300.
- **Van-Camp L., et al ., 2004.** Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. III: Organic matter. EUR 21319 EN/3. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 311-496.
- **Villain, 1989.** La maîtrise technique de la production ED la voisiez. P94-97.
- **Voests J P., Agrianto G., et Vertraele W., 1975.** Etudes écologiques et enzymatiques des sols dans une forêt de feuillues, *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 12(3). Pp. 543-550.

Annexe

Annexe

Quantité de CO₂ dégagé (mg/25g) du sol

Sol +paille

temps (jours)	CO ₂ dégagé (mg/25g du sol) sol+paille
0j	0,13
3j	0,42
7j	0,44
10j	0,83
14j	0,45
21j	0,552

sol +fumier

temps (jours)	CO ₂ dégagé (mg/25g du sol) sol+fumier
0	0,1
3	0,15
7	0,21
10	0,29
14	0,28
21	0,35

Quantité de CO₂ dégagé cumulé (mg/25g du sol)

Sol+paille

temps (jours)	CO ₂ dégagé (mg/25g du sol) sol+paille
0	0,13
3	0,55
7	0,99
10	1,82
14	2,27
21	2,79

sol+fumier

temps (jours)	CO ₂ dégagé (mg/25g du sol) sol+fumier
0	0,1
3	0,25
7	0,46
10	0,75
14	1,03
21	1,38