



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Larbi Tébessi-Tébessa

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Etres Vivants

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : Science de la nature et de la vie (SNV)

Filière : Ecologie et environnement

Option : Ecologie

Thème :

**Estimation du stock de carbone séquestré dans les
sols des parcours steppiques d'une zone semi-
aride à différents faciès**

Présenté par:

REDJEB Meriem

TICHATI Sana

Devant le jury :

Dr. Sonia BOUDJABI	M.C.A	Université de Tébessa	Président
Dr. Souad NEFFAR	M.C.A	Université de Tébessa	Promoteur
Dr. Haroun CHENCHOUNI	M.C.B	Université de Tébessa	Promoteur
Karima GHDABNIA	M.A.A	Université de Tébessa	Examineur

Date de soutenance :

23/06/2019

Année 2018/2019

Note : /20

Dédicace

*Tout d'abord je ne peux oublier de remercier le **Bon Dieu** de m'avoir
donné le courage pour accomplir ce travail.*

À celle qui me rend heureuse.

À celle qui me traite toujours comme un bébé.

À celle qui m'aime sans raison et sans doute

À ma chère mère.

À celui qui souffre pour moi.

À celui qui travaille jours et nuits, et m'enseigne le sens de la vie.

À mon cher père.

*Ma fierté, mon rayon de soleil, mon éclat de joie ! La courageuse qui ne
se lasse de prier pour moi nuit et jour. À mon unique sœur "**Hakima**"*

*À mes très chers frères "**Bouziá, Mouataz, Khalífa**" et spécialement
mon très cher grand frère, qui est mon 2^{ème} père, "**Tayeb**" et sa femme,
"**Nawel**". Saches que tu as été de tous les instants, de la course au 1^{er}
rang, même malgré ces milliers de kilomètres, tu réponds toujours
présent. Merci de m'avoir initié et si bien guidé ! Je reprends
aujourd'hui le flambeau familial, j'espère que tu seras fier de moi.*

*À mon intime amie et sœur : **Sabíha**.*

*À ma camarade de classe **Sana** et sa famille, pour toute leur
bienveillance.*

*Enfin, sans oublier, la classe de 2^{ème} **Master ECOLOGIE** : promotion 2019.*

R. Meriem



Dédicace

*À la mémoire de ma mère **Babou halima***

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu 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.

*À **Mon père**, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*À mes **chères sœurs** et ma **belle mère** ; pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,*

*À mon **cher frère**, et à toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infaillible. Merci d'être toujours là pour moi*

*À mon très **cher mari** pour son soutien moral et ses encouragements. Sans oublier ma coéquipière **Meriem** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet et sa sœur **Hakima** pour l'aide compétente qu'elle nous a apportée, pour sa patience et son encouragement, et à toute sa famille.*

À mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

T. Sana



Remerciement

Un travail est loin d'être une aventure en solitaire, comme en témoigne l'ampleur de ces remerciements. C'est au contraire, par bien des aspects, un travail d'équipe, humainement et professionnellement enrichissant. C'est le moment de remercier très chaleureusement toutes les personnes qui ont contribué à son élaboration d'une manière ou d'une autre.

*Nous remercions en premier lieu **Dieu** de nous avoir donné le courage et la volonté pour réaliser ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent particulièrement à notre promoteur **Dr. NEFFAR Souad**, pour l'encadrement, pour tous ses conseils, commentaires et orientation.*

*Nous remercions aussi chaleureusement l'ensemble des **membres de jury** de ce mémoire d'avoir accepté de juger ce travail, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité scientifique de ce travail.*

*Merci aussi à l'ensemble des personnes que nous avons rencontrées sur terrain, qui malgré leur travail nous ont consacré un peu de leur temps, **les laborantins** en particuliers **Amel** pour sa gentillesse et sa permanente disponibilité.*

*Les remerciements s'adressent également à l'ensemble des **enseignants** qui ont contribué à notre formations au cours de nos années universitaires surtout **M^e DJALLEB**, sans oublier tout les personnels du département de Biologie.*

Enfin nous exprimons toute notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont encouragées, matériellement ou moralement, pour finaliser ce travail et nous sommes désolées de ne pas mentionner leurs noms car elles sont nombreuses.

Meriem et Sana



Résumé

En vue d'estimer le stock de carbone dans le sol des parcours steppiques semi-arides dégradés, la présente étude a été réalisée dans différentes parcelles aux différents faciès dans les régions de Tébessa et Oum el Bouagui (Nord-est Algérien) : une friche, une plantation de figuier de Barbarie, une parcelle à Atriplex et une parcelle à alfa. Cinq profils sont réalisés dans chaque parcelle et plusieurs paramètres sont déterminés : pH, le taux de calcaire total, la densité apparente et le taux de carbone organique. L'analyse du sol a révélé une teneur en carbone variable et statistiquement significatives entre les différentes parcelles avec respectivement 10tC/ha, 22t/ha, 30t/ha et 32tC/ha pour respectivement les parcelles à Atriplex, à alfa, à figuier de barbarie et la friche. Bien que ce stock soit faible, le sol des parcours steppiques peut être considéré comme un réservoir de carbone.

Mots clés : Stock de carbone organique, parcours steppiques, sol, semi-aride.

Abstract

In order to estimate the carbon stock in the soil of degraded semi-arid steppe rangelands, the present study was carried out in different plots with different facies in the regions of Tebessa and Oum el Bouagui (North-East Algeria: a wasteland, a prickly pear plantation, an Atriplex plantation and a plot of alfa. Five profiles are chosen in each plot and several parameters are determined: pH, the total calcareous, the bulk density and the organic carbon content. The soil analysis revealed a statistically significant difference of carbon content between the different plots with respectively 10tC / ha, 22t / ha, 30t / ha and 32tC / ha respectively for Atriplex, alfa grass, prickly pear and the wasteland plots. Although this stock is low, the soil of the rangeland can be considered as a carbon sink.

Key words: Organic carbon stock, steppe rangelands, soil, semi-arid.

المخلص

من أجل تقدير مخزون الكربون في تربة السهوب الرعوية المتدهورة ، أجريت الدراسة الحالية في قطع أراضي مختلفة بمنطقتي تبسة وأم البواقي (شمال شرق الجزائر): أرض مهجورة، أرض مغروسة بالتين الشوكي، أخرى بالقطف و أخرى مغروسة بالحلفاء. تم حفر خمس مقاطع في كل قطعة أرض و دراسة بعض الخصائص الفيزيوكيميائية: الرقم الهيدروجيني (درجة الحموضة)، نسبة الكلس الكلي ، الكثافة الظاهرية ونسبة الكربون العضوي . بينت تحاليل التربة وجود اختلاف معنوي احصائيا في محتوى الكربون ما بين قطع الأراضي المدروسة على التوالي 10 طن / هكتار، 22 طن هكتار، 30طن / هكتار، 32 طن / هكتار، في القطف، في الحلفاء ، في التين الشوكي و في الأرض القاحلة .على الرغم من أن هذا المخزون قليل إلا أن تربة السهوب يمكن اعتبارها خزاناً للكربون.

الكلمات المفتاحية: مخزون الكربون العضوي ، السهوب الرعوية ، التربة ، شبه جاف.

Sommaire

<i>Résumés</i>	<i>i</i>
<i>Sommaire</i>	<i>iii</i>
<i>Listes des figures et des tableaux</i>	<i>v</i>

Introduction générale	1
------------------------------------	----------

Chapitre 1 : Matériels et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude	9
2. Sélection des parcelles expérimentales	11
3. Prélèvement et analyse des échantillons de sol	11
4. Analyses au laboratoire	12
4.1. pH	12
4.2. Taux de calcaire total	12
4.3. Densité apparente	12
4.4. Texture du sol par la méthode de saturation	12
4.5. Taux de carbone organique (C)	12
4.6. Stock du carbone par profil	12
5. Analyse statistique	12

Chapitre 2 : Résultats et discussion

1. Caractéristiques physico-chimiques du sol des parcelles étudiées	15
2. Estimation du stock de carbone (tonnes/ha) dans les différentes parcelles	15
Conclusion générale	19
Références bibliographiques	21
Annexe.....	28

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Les fonctions remplies par les matières organiques du sol	02
Figure 2	Stock de carbone/ha dans les différents biomes	04
Figure 3	Localisation géographique de la zone d'étude	09
Figure 4A	Diagramme ombrothermique de la région de Tébessa (1972-2018)	10
Figure 4B	Diagramme ombrothermique de la zone d'Oum El Bouagui (1982-2012)	11
Figure 5	Présentation des parcelles expérimentales (A : Parcelle à figuier de Barbarie, B : Parcelle à alfa et armoise, C : Parcelle à Atriplex, D : une friche.	13
Figure 6	Teneur en carbone stocké dans les parcelles étudiées (FB : parcelle à figuier de Barbarie, AT : parcelle à Atriplex, S : parcelle à alfa)	16

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
Tableau 1	Les principaux réservoirs de carbone (GT)	03
Tableau 2	Stock de carbone (Gt) dans différents types d'écosystèmes	04
Tableau 3	Quelques caractéristiques physico-chimiques des parcelles étudiées (FB : parcelle à figuier de Barbarie ; AT : parcelle à Atriplex, S : parcelle à alfa)	15
Tableau 4	Analyse de la variance relative au stock de carbone dans les parcelles étudiées	16

Introduction générale

Introduction générale

La matière organique du sol (MOS) désigne une large gamme de composés allant des organismes vivants à la matière organique morte avec des degrés de dégradation, de composition et de complexité variables. Sa taille résulte d'un équilibre entre les entrées (chute de litière, exsudats racinaires, racines et animaux morts, fixation photosynthétique par des micro-algues et des cyanobactéries...) et les sorties (minéralisation par les microorganismes, pertes par lixiviation ou lessivage...) de matières organiques (Lefèvre, 2015).

Ses nombreux rôles se résument comme suit :

*Elle représente l'indicateur principal de la qualité des sols, à la fois pour des fonctions agricoles (c'est-à-dire la production et l'économie) et pour les fonctions environnementales (parmi elles, la séquestration du carbone et la qualité de l'air).

*Elle 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.

*Sa présence avec l'activité biologique qui en découle ont une influence majeure sur les propriétés physiques et chimiques des sols (Robert, 1996 in Robert, 2002), telles que l'agrégation et la stabilité de la structure du sol, la dynamique de l'eau et la résistance à l'érosion hydrique et éolienne et la biodisponibilité des principaux éléments nutritifs (Robert, 2002) (Fig.1). À la fin, le sol est le second puits de carbone sur Terre représentant un minimum 1500 Pg C, après les océans qui stockent 40 000 Pg de carbone. Cependant le sol reste le premier réservoir de carbone organique de la biosphère continentale (Crème, 2016).

Signalons qu'un puits de carbone est défini par Locatelli et Loisel (2002) comme un réservoir de carbone (un océan ou un écosystème par exemple) qui, pendant une période donnée, absorbe globalement plus de carbone qu'il n'en rejette. Par ce processus, les écosystèmes terrestres constituent un puits freinant l'augmentation de la concentration en CO₂ de l'atmosphère. Une partie des rejets de CO₂ due aux activités humaines est ainsi absorbée par les écosystèmes terrestres mais aussi par les océans (Bernoux *et al.*, 2013). Une partie du C atmosphérique est dissout sous forme de HCO₃ dans les eaux de surface des océans, entraînant le C vers les eaux profondes. Dans les profondeurs, une partie du C est déposée sous forme de CaCO₃, ce qui constitue un puits notoire de cet élément (Tremblay, 2015).

Introduction générale

Par exemple, à l'échelle mondiale, la biosphère terrestre constitue actuellement un puits de carbone qui absorbe chaque année environ 2,3 milliards de tonnes de carbone. Cette valeur est estimée par différence entre les émissions de carbone fossile (6,3 Gt/an) et l'accumulation dans l'atmosphère (3,3 Gt/an) et dans les océans (2,3 Gt/an), ce qui représente un puits net de 0,7 Gt/an (Watson *et al.*, 2000 in Locatelli et Loisel, 2002). En tenant compte des émissions liées à la déforestation tropicale (estimée à 1,6 Gt/an), on estime que la biosphère continentale absorbe par ailleurs environ 2,3 Gt/an (Locatelli et Loisel, 2002). Cette absorption se fait en partie par la reforestation des zones tempérées, environ 0,7 Gt/an (Dixon *et al.*, 1994).

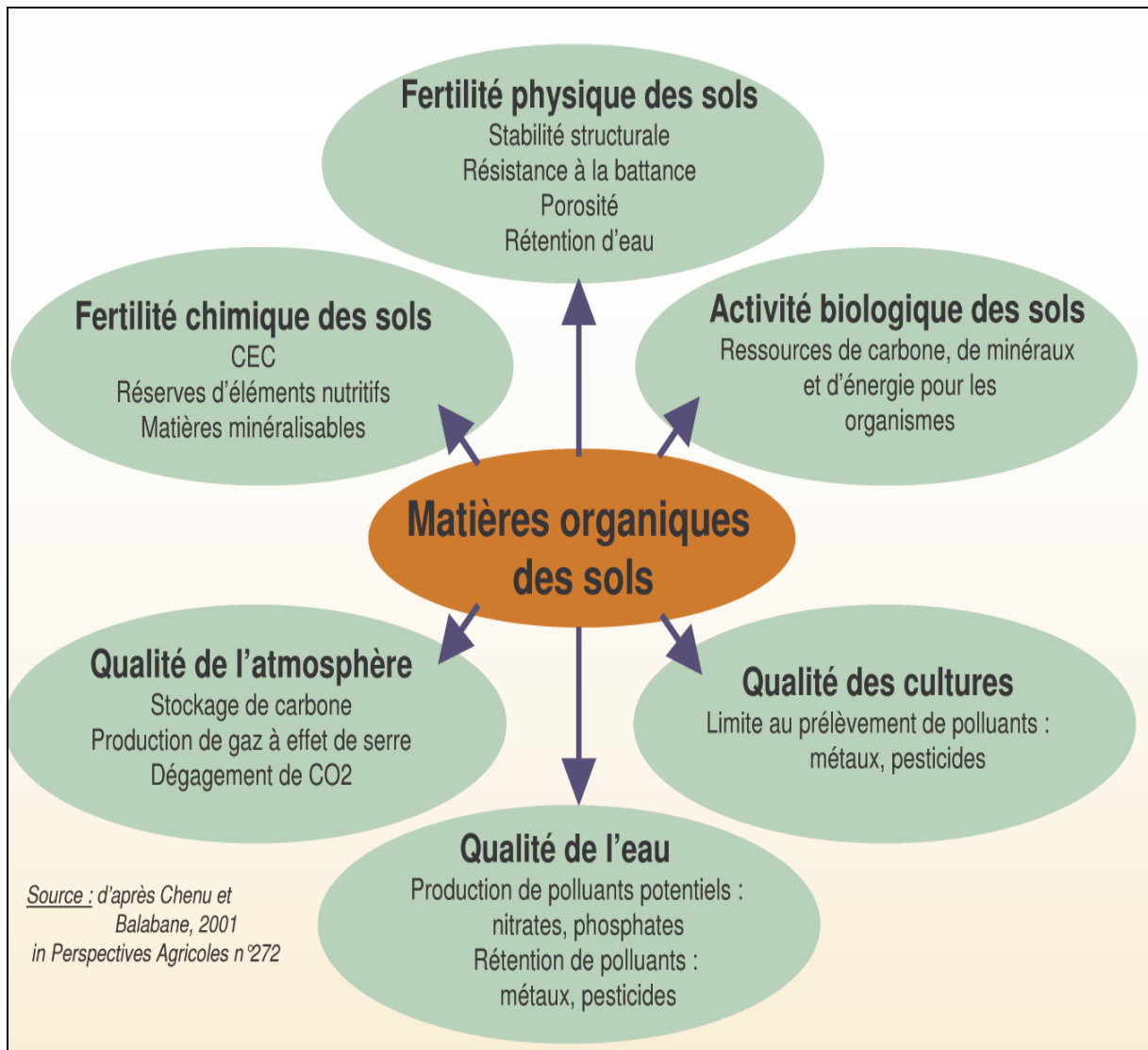


Figure 1. Les fonctions remplies par les matières organiques du sol (Lefèvre, 2015).

Selon le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental de l'évolution du climat (GIEC, 2001), les principaux puits de carbone sont: les océans stockent 93% du carbone de la planète, soit environ 39 200 Gt C, les 7% restants se répartissant entre la biomasse épigée, les sols et l'atmosphère. La végétation et les animaux terrestres constituent un stock de 610 Gt C. Les sols, avec 1500 Gt contiennent deux fois plus de carbone que l'atmosphère qui, avec 750 Gt C, représente moins de 2% du carbone de la planète. Les forêts stockent plus que la moitié du carbone organique des terres émergées (1120 Gt C) et le carbone emmagasiné dans les sols des forêts représente 35% du total du carbone présent dans les réservoirs du sol (Robert, 2002) (Tableau 1).

Tableau 1. Les principaux réservoirs de carbone (GT) (Li, 2010).

Atmosphère, Biosphère, Hydrosphère		
Inorganique	CO ₂ atmosphérique	$0,66 \times 10^3$
	Océan (Carbone dissous, DIC)	38×10^3
	Carbonate des sols	$1,1 \times 10^3$
Organique	Matière organique des sols	$1,6 \times 10^3$
	Tissus des plantes terrestres	$0,95 \times 10^3$
	Océan (carbone dissous, DOC)	$0,60 \times 10^3$
	Sédiments superficiels	$1,0 \times 10^3$
Roches sédimentaires		
Inorganique	Carbonates	60×10^6
Organique	Matière organiques sédimentaires (dont kérogène, charbon, pétrole, gaz)	15×10^6

Selon le type d'écosystème, les stocks de carbone sont signalés dans le tableau 2 et la figure 2.

Tableau 2. Stock de carbone (Gt) dans différents types d'écosystèmes (Ajtay *et al.*, 1979 in Friedlingstein, 1995, modifié).

Type d'écosystème	Stock de carbone (Gt)
Forêt tropicale sempervirente	82
Forêt tropicale, saisonnière	41
Forêt tempérée	72
Forêt boréale	135
Savane	236
Steppe	295
Toundra	121
Semi-désert	168
Désert extrême	23
Culture	128
Marais, tourbes,...	225
Autres	10

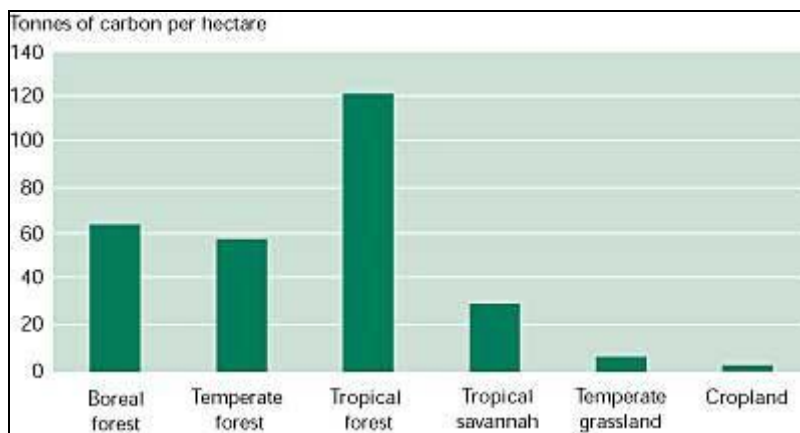


Figure 2. Stock de carbone / ha dans les différents biomes (Boucher *et al.*, 2008).

Il est à signaler que le sol agit en puits de carbone en le séquestrant. Par définition, la séquestration du C est l'absorption du CO₂ atmosphérique par les plantes et son stockage ou la fixation dans le sol sous forme de matière organique (Lal, 2004) pendant une durée et sur un espace donné (Razafimbelo, 2005; Poirier, 2007). La séquestration de cet élément peut être faite en fixant plus de carbone dans les plantes par la photosynthèse, en augmentant la productivité de la biomasse végétale (biomasse par unité de surface), en réduisant la

décomposition de la matière organique du sol, et en augmentant les superficies de terres couvertes par des systèmes séquestrant (Bernoux *et al.*, 2004).

Le stock de carbone connaît une grande variabilité spatiale sous l'effet de plusieurs facteurs naturels, comme le climat local, les conditions spécifiques du site, la roche mère, la végétation sur le site, etc. (Mouwelbe *et al.*, 2017) et anthropiques comme les pratiques culturales (Bernoux, 2006).

Le climat, par exemple, influence par la combinaison des actions de la température et de la pluviométrie sur la production primaire nette. En effet, une pluviométrie plus élevée entraîne une production végétale plus importante, et par conséquent une quantité de C restituée au sol plus importante (Girard *et al.*, 2005 in Razafimbelo *et al.*, 2010), la température agit plutôt sur le temps de résidence du C dans le sol (Razafimbelo *et al.*, 2010). Selon Poirier (2007), les températures plus froides à certaines périodes de l'année restreignent l'activité microbienne, réduisant ainsi la vitesse de minéralisation de la matière organique. Le sol respire moins activement et les quantités de CO₂ dégagées sont moins importantes qu'en climat plus chaud.

Il en est de même pour la texture du sol. C'est un important déterminant du niveau de C organique dans le sol. Sa teneur augmente avec les teneurs en éléments fins (argile + limons fins (Barthes *et al.*, 2007 in Razafimbelo *et al.*, 2010). En effet, les argiles et limons fins ont le pouvoir de se lier avec les polymères humiques du sol. D'après Razafimbelo *et al.* (2010), un sol sableux présente un stock de C plus faible qu'un sol argileux.

D'après Poirier (2007), en raison de leurs surfaces spécifiques différentes, les minéraux argileux ont des capacités variées à adsorber les substances humiques (Arrouays *et al.*, 2002 in 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). En contrepartie, la présence de particules fines (argiles pédologiques et limons) agit positivement sur la protection de la matière organique par le biais des mécanismes d'agrégation et d'adsorptions (Hassink, 1996 in Poirier, 2007).

Le stock de carbone peut dépendre également d'autres facteurs comme la restitution de la biomasse au sol, de l'apport de matières exogènes (fumier, boues de stations d'épuration, compost, etc.) et du taux de minéralisation et d'humification de la matière organique (Dumoulin et Rolin, 2017). Ces deux paramètres étant fonction, entre autres, de la qualité du substrat organique et de l'environnement physico-chimique du sol (pH, température,

humidité, etc.). Par exemple, des événements pluvieux ponctuellement importants survenant après de longues périodes sèches sont suivis de pics d'émission de CO₂ en provenance du sol (Dumoulin et Rolin, 2017).

Il a été rapporté dans le même ordre d'idées que les pratiques agricoles ont une incidence majeure sur le contenu et le devenir des substances organiques présentes dans les sols (Dumoulin et Rolin, 2017). À titre d'exemple, le labour accélère la minéralisation de la MO en désagrégeant les particules de sol, réduisant ainsi la protection des composés organiques labiles et rapidement assimilables vis-à-vis des attaques enzymatiques, d'où l'augmentation de la porosité du sol, favorisant la diffusion des gaz et l'accès à l'eau pour les micro-organismes décomposeurs (La Scala *et al.*, 2008 in Dumoulin et Rolin, 2017).

À côté du labour, la conversion des parcelles naturelles en cultures engendre un déstockage deux à trois fois plus important durant les 20 premières années. Cette perte de carbone est associée à des modifications physicochimiques du milieu (aération du sol et accélération de la minéralisation) conduisant à une libération accrue de CO₂ dans l'atmosphère (Institut de l'élevage, 2010 in Dumoulin et Rolin, 2017).

De nombreux autres facteurs influencent la dynamique du cycle du C et la séquestration du C dans le sol, notamment le pH, la teneur en cations et en éléments nutritifs, la faune et la flore du sol (Arrouays *et al.*, 2002 in Poirier, 2007), la nature des engrais organiques épandus (Wright et Hons, 2005 in Poirier, 2007) et la composition biochimique des résidus végétaux (Poirier, 2007).

En tous les cas, les sols dont la teneur en MO est de 2%, sont considérés comme une valeur seuil en-dessous de laquelle les agrégats deviennent instables, augmentant ainsi les risques de dégradation (Kemper et Koch, 1966 in Van Wesemael et Brahy, 2013).

On déduit de ce qui précède que maintenir ou augmenter la quantité de MO du sol peut donc avoir un effet significatif sur les concentrations de CO₂ atmosphérique, en limitant une partie des émissions de gaz à effet de serre.

Le principal questionnement dans ce mémoire est : les sols dans les parcours steppiques dégradés aux différents faciès (en friche, réhabilité ou naturel) peuvent-ils séquestrer le carbone et réduire conséquemment le dégagement du CO₂ ?

Introduction générale

À l'échelle locale, nos connaissances sur le taux de séquestration du carbone dans les différents types d'écosystèmes sont très minces, et d'après nos investigations, aucun travail sur cet aspect n'a été entrepris jusqu'à ce jour dans les écosystèmes steppiques Algériens. Et comme le taux du carbone séquestré varie selon le mode d'occupation du sol, ce travail se veut un premier essai d'estimer la carbomasse dans différentes parcelles sous un climat semi-aride (Tebessa et Meskiana), à savoir, une parcelle à alfa (*Stipa tenacissima* L.), une parcelle à figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* L.), une parcelle à Atriplex (*Atriplex* sp) et une friche.

Ce mémoire se subdivise en une introduction générale donnant un aperçu sur le carbone et sa séquestration dans les écosystèmes, un chapitre « Matériels et Méthodes » décrivant la zone d'étude et la méthodologie adoptée, un chapitre « Résultats et Discussion », suivi d'une « Conclusion ». À la fin, la liste des références bibliographiques exploitées et les annexes.

Chapitre 01 :
Matériels et méthodes

1. Présentation de la zone d'étude

Le présent travail a eu lieu dans les communes de Tébessa (Wilaya de Tébessa) et Meskiana (Wilaya d'Oum el Bouagui) situées toutes les deux au nord-est Algérien (Fig.3). La wilaya de Tébessa s'étend sur une superficie de 14 227 Km² et est limitée au nord par la wilaya de Suk Ahras, au nord-Ouest par la wilaya d'Oum el Bouagui et Khenchela, à l'est par les frontières tunisiennes et au sud par la wilaya d'El-Oued.

La wilaya d'Oum El Bouaghi est limitée au nord par la wilaya de Guelma, au nord-ouest par la wilaya de Constantine, à l'ouest par la wilaya de Mila, au sud-ouest par la wilaya de Batna, au sud par la wilaya de Khenchela, à l'est par la wilaya de Tébessa et au nord-est par la wilaya de Souk Ahras.

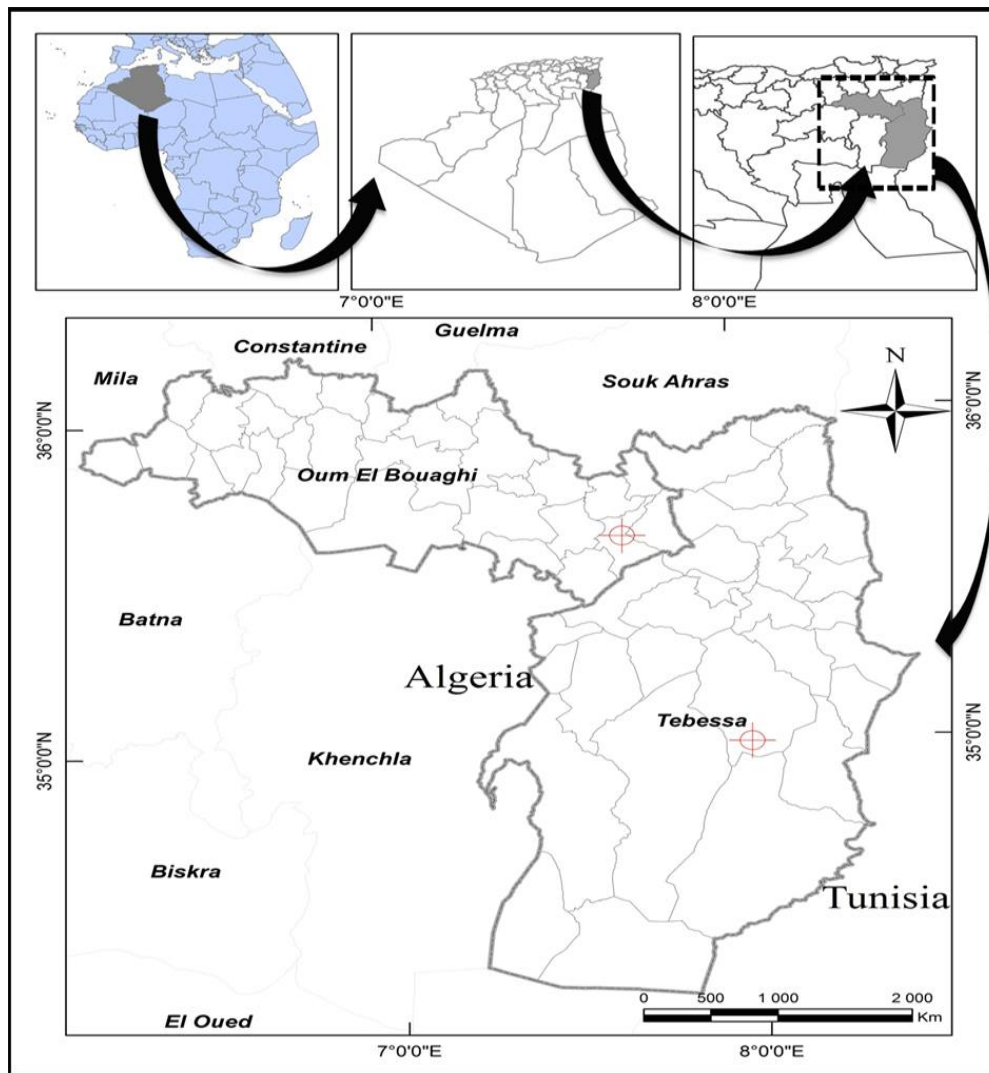


Figure 3. Localisation géographique de la zone d'étude.

Sur le plan climatique, d'après les données climatologiques de Tébessa sur une période de 46 ans (1972- 2018) (Annexe 1), analysées par Smati et Bakhouche (2018), la zone d'étude est soumise à un climat semi-aride avec des températures moyennes annuelles de 15,84°C et des précipitations moyennes annuelles de 371 mm. L'indice de De Martonne est de 14,43 traduisant un climat semi-aride. Le diagramme ombrothermique révèle une période humide qui s'étend du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril et une autre sèche, se situant entre les mois de Mai et Octobre (Fig.4A).

Les données de la station d'Oum El-Bouaghi sur une période de 30 ans (1982-2012) (Mosbah, 2014) classe cette zone dans le climat semi-aride avec un indice de De Martonne de 14,4. La température moyenne annuelle est de 15,6°C. La pluviométrie moyenne annuelle est de 368,7 mm. Les précipitations sont très variables. La période sèche déterminée par le diagramme ombrothermique s'étale du mois de Mai au mois d'Octobre (Fig.4B).

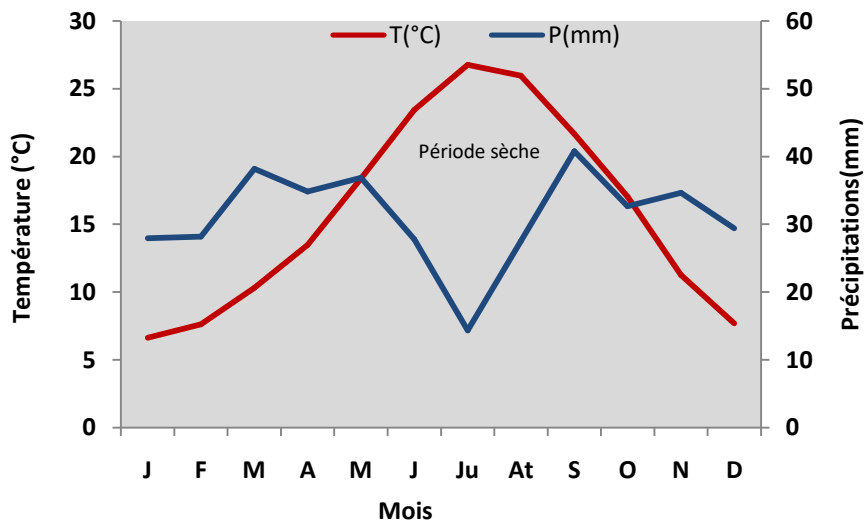


Figure 4A. Diagramme ombrothermique de la région de Tébessa (1972-2018).

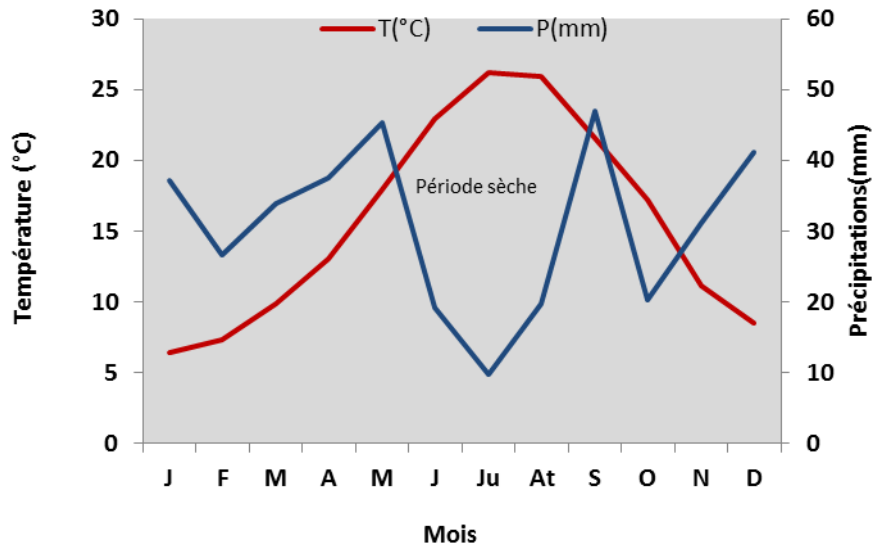


Figure 4B. Diagramme ombrothermique de la zone d'Oum El Bouagui (1982-2012)

2. Sélection des parcelles expérimentales

Les quatre parcelles qui ont fait l'objet de cette étude sont présentées sur la figure 5.

- Parcelle à *Opuntia ficus-indica* : d'une superficie de 1,30 hectare (latitude de $35^{\circ} 26' 55,87''$ N et une longitude de $8^{\circ} 00' 06,59''$ E, altitude 783 m).
- Parcelle à *Stipa tenacissima* et *Artemisia herba-alba* : d'une superficie de 5 hectares (latitude de $35^{\circ} 40' 36,17''$ N et une longitude de $7^{\circ} 37' 59,90''$ E, altitude 894 m).
- Parcelle à *Atriplex* d'une superficie de 10 hectares (latitude de $35^{\circ} 26' 03,65''$ N et une longitude de $8^{\circ} 03' 01,47''$ E, altitude 795 m).
- une parcelle en friche, non plantée prise comme témoin d'une superficie de 2 hectares (latitude de $35^{\circ} 26' 57,34''$ N et une longitude de $7^{\circ} 59' 41,16''$ E, altitude 811 m).

3. Prélèvement et analyse des échantillons de sol

Comme les sols des parcours steppiques sont squelettiques (Djebaili, 1978), les prélèvements des échantillons de sols n'ont pas dépassé les 15 cm. Dans chaque parcelle sus-citée, 5 profils répartis à peu près sur un hectare sont effectués (quatre au sommet et un au

milieu de la parcelle). Séparément et à l'aide d'un piochon, chaque échantillon est mis dans un sachet étiqueté pour être analysé ultérieurement au laboratoire.

4. Analyses au laboratoire

Les échantillons prélevés sont séchés à l'air libre après avoir éliminé les racines et les particules minérales grossières (> 2mm) puis tamisés avec un tamis de 2 mm pour obtenir la terre fine. À l'exception de la densité apparente dont le prélèvement par le cylindre se fait sur place, l'analyse des autres paramètres a été faite sur la terre fine (Annexe 2). Les paramètres choisis sont :

- ✓ Le pH du sol est effectuée dans une suspension sol/eau de 1/ 5.
- ✓ Le calcaire total est basé sur la réaction acide-base avec l'HCl dilué au 1/3 (Dermech *et al.*, 1982).
- ✓ La densité apparente est la masse d'une unité de volume du sol séché à 105°C. Ce volume comprend aussi bien les solides que les pores. Elle a été mesurée par la méthode des cylindres en utilisant les échantillons non perturbés et frais connaissant le poids sec constant des échantillons à 105°C et le volume des cylindres des prélèvements utilisés (Blake et Hartage, 1986). La méthode de détermination consiste à prélever un volume connu de terre.
- ✓ La texture est déterminée par la méthode de saturation (ITA, 1975)
- ✓ Le taux de carbone organique est déterminé par la méthode de Walkley et Black (1934).
- ✓ Le stock du carbone par profil (Cerri *et al.*, 2007a).

5. Analyse statistique

La comparaison du stock de carbone entre les différentes parcelles a été testée par une analyse de la variance (ANOVA) au niveau $\alpha = 0,05$ afin de voir l'effet du facteur étudié, qui est le mode d'occupation du sol sur le stock de carbone. L'ANOVAs significative est suivie par une comparaison multiple des moyennes à l'aide du test HSD de Tukey.



Figure 5. Présentation des parcelles expérimentales (A : Parcelle à figuier de Barbarie, B : Parcelle à alfa et armoise, C : Parcelle à Atriplex, D : une friche. À gauche, Google Earth (2019), à droite clichés Redjeb et Tichati (2019).

Chapitre 02 :
Résultats et discussion

Le but principal de ce travail était uniquement d'estimer le stock de carbone dans les parcelles à différents faciès, à savoir, une végétation steppique autochtone (alfa), espèces végétales destinées à la réhabilitation des parcours steppiques dégradés (*Atriplex* et figuier de Barbarie) (Neffar *et al.*, 2013) et une parcelle en friche, puisque les données sur l'estimation de cet élément sont non seulement globales (à l'échelle des biomes), mais aussi manquantes, à l'échelle locale. C'est le cas des parcours steppiques semi-arides Algériens.

1. Caractéristiques physico-chimiques du sol des parcelles étudiées

D'après le tableau ci-dessous, le sol des parcelles étudiées se caractérisent par un pH compris entre 6,76 et 7,14, traduisant une ambiance physico-chimique neutre (Baize et Jabiol, 1995). Le taux de calcaire est moyen entre 16% et 21% (Mathieu et Pieltain, 2003), associé à un matériel parental calcaire (Halitim, 1988). La plus faible densité apparente ($0,88\text{g/cm}^3$) est enregistrée sous le figuier de Barbarie alors que la plus forte est sous l'alfa ($1,24\text{g/cm}^3$). Selon Harmand et Njiti (1998), le poids spécifique apparent du sol varie en sens inverse de la matière organique. Autrement dit, il existe une corrélation négative entre la densité apparente et la teneur en carbone du sol, confirmant que la porosité du sol augmente avec l'incorporation de matière organique du sol. Ce qui semble indiquer que le sol est plus compact sous l'alfa et plus meuble sous le figuier de Barbarie. La texture limono-argileuse (ITA, 1975) prédomine (Tab.3).

Tableau 3. Quelques caractéristiques physico-chimiques des parcelles étudiées (FB : parcelle à figuier de Barbarie ; AT : parcelle à *Atriplex*, S : parcelle à alfa)

Paramètre	FB	AT	S	Friche
pH (1/5)	6,85±0,18	7,11±0,06	6,76±0,06	7,14±0,13
Calcaire total(%)	20,66±3,94	16,83±1,14	20,55±9,84	21,40±2,10
Densité apparente (g/cm^3)	0,88±0,11	1,11±0,09	1,24±0,07	1,16±0,14
Texture	Limono-argileux	Limono-argileux	Limono-sableux	Limono-argileux

2. Estimation du stock de carbone (tonnes/ha) dans les différentes parcelles

Les teneurs en carbone organique total stockées dans les profils de sol sur les parcelles d'étude sont représentées dans la figure 6.

À une profondeur de 15cm, les valeurs du stock de carbone varient entre 10 et 32 t/ha. La plus faible valeur est enregistrée dans la parcelle à Atriplex avec une moyenne de 10,32 t/ha, augmente à 22,04 t/ha dans la parcelle à alfa, puis à 30,49 t/ha dans la parcelle à figuier de Barbarie et atteint une moyenne de 32,96 t/ha dans la parcelle en friche. L'analyse de la variance (Tab. 4) indique une différence significative entre les parcelles au niveau $P= 0,010$. La comparaison des moyennes à l'aide du test de Tukey signale une différence significative exclusivement entre le figuier de Barbarie et l'Atriplex ($P= 0,024$) et entre l'Atriplex et la friche ($P= 0,011$).

Sur la base du résultat obtenu, le schéma suivant se dessine : Atriplex < Alfa < Figuier de Barbarie < Friche.

Pour une première observation, en dépit de la même texture dominante limono-argileuse, même ambiance physicochimique calcaire et neutre et même climat semi-aride, le résultat dégagé de ce travail indique une variabilité dans le stock total de carbone dans les différentes parcelles étudiées.

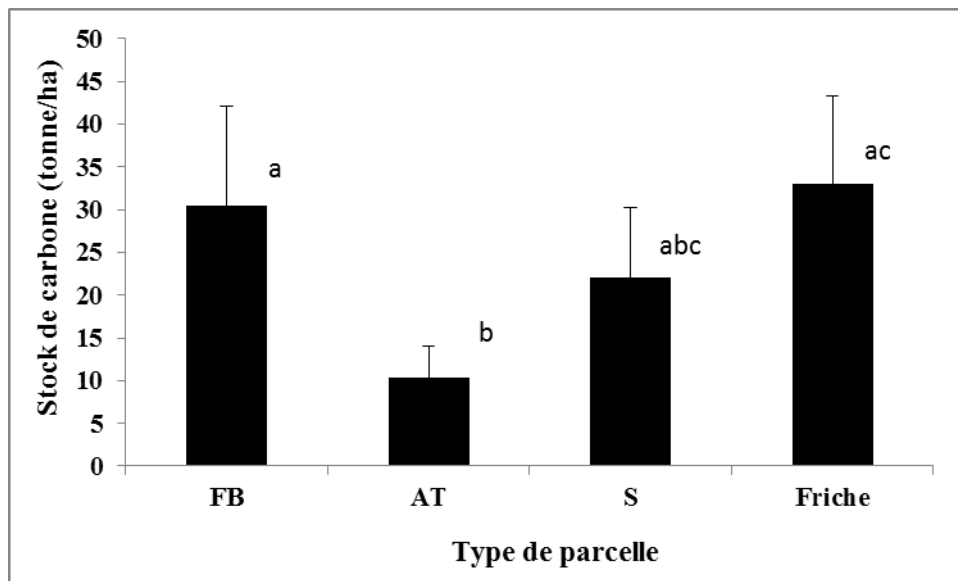


Figure 6. Teneur en carbone stocké dans les parcelles étudiées (FB : parcelle à figuier de Barbarie, AT : parcelle à Atriplex, S : parcelle à alfa). (La même lettre indiquée sur le graphe indique l'absence de différence significative au niveau $P= 0,05$).

Tableau 4. Analyse de la variance relative au stock de carbone dans les parcelles étudiées

Source de variation	SC	DDL	MC	F	P
Plante	1372,44	3	457,48	5,37	0,010
Erreur	1276,11	15	85,07		

Et comme le but fixé au départ de ce mémoire était uniquement d'avoir une idée, ne serait ce que générale sur la quantité de carbone stocké dans les sols steppiques dégradés, on ne pourrait prétendre attribuer toute variation, au type du végétal, d'autant plus que le nombre de répétitions reste faible pour étudier un tel processus complexe, qui selon Arrouays et Deslay (2001), Robert (2002) et Van Engelen *et al.* (2005) est associé à l'évolution de la matière organique dépendant à son tour d'une multitude de facteurs, tels que la végétation (apport de résidus, composition de la plante), les facteurs climatiques (température/conditions d'humidité), les propriétés des sols (texture, teneur en argile, minéralogie, acidité), la densité, la biomasse du peuplement végétal et la profondeur du profil (Batjes, 1999 ; Robert et Saugier, 2003; Boulmane *et al.*, 2010), mais elle peut être fortement modifiée, dégradée ou améliorée par les changements d'utilisation du sol et sa gestion (Robert, 2002).

Dans le présent cas, indépendamment du végétal qui recouvre la parcelle, les teneurs estimées sont entre 10 et 32t/ha sur une profondeur de 15 cm.

Bien que d'après Robert et Saugier (2003) et Boulmane *et al.* (2010), les quantités totales de carbone dans les sols des zones arides (xérosol et yermosol) sont faibles, autour de 50 et 70 t/ha, comparés aux sols des Tropiques, de l'ordre de 150 à 300 t/ha et aux sols boréales avec 250t/ha, les valeurs indiquées dans la littérature sont hétérogènes d'un auteur à un autre.

Robert (2002) et Van Engelen *et al.* (2005) avancent des valeurs respectives de 12 et 20 t/ha dans les xérosols sur une profondeur de 1m. Dans les oasis désertiques tunisiennes, Brahim *et al.* (2018) ont enregistré un taux de carbone de 9t/ ha sur une profondeur de 20cm, attribuée à l'ajout du fumier et parfois du compost par l'agriculteur.

Les analyses d'une série de sols faites par Grinand *et al.* (2009) ont révélé les résultats suivants: les andosols et les sols hydromorphes ont les teneurs les plus élevées, respectivement de 90, 8 ± 31, 6 et 75, 9 ± 36, 9 tonnes de C/ ha, à cause de la stabilisation de la matière organique humifiée (Albrecht *et al.*, 1992) et la conservation de la matière

organique dans les conditions d'anaérobiose. En opposition, les sols minéraux bruts contiennent $18,8 \pm 12,9$ tonnes C/ ha et les sols ferrugineux, fersiallitiques et peu évolués d'érosion ont des valeurs moyennes similaires, proche de 33 tonnes/ha, alors que les sols ferrallitiques stockent une teneur moyenne de $61,8 \pm 31,8$ tonnes /ha.

Conséquemment, au même titre que les aridisols aménagés tunisiens qui peuvent être considérés comme un puit de carbone avec 9t/ha (Brahim *et al.*, 2018), il en serait de même pour les parcelles étudiées, qui exceptionnellement dans la friche ont enregistré la plus forte valeur de 32tC/ ha, suivie de 30t/ ha dans la plantation de figuier de Barbarie, 22t/ha dans la parcelle à alfa et enfin 10t/ ha dans la parcelle à Atriplex.

Sur la base de ce qui précède, vu la complexité du processus de sequestration de carbone dans le sol en particulier dans les milieux steppiques semi-arides dégradés ainsi que le nombre réduit de parcelles étudiées, il nous est difficile d'expliquer les variations du stock de carbone dans cette étude surtout celles qui sont aménagées dans le but de lutte contre la desertification et qui ont révélé des valeurs proches de celle de la friche (Cas du figuier de Barbarie: 30 t/ha) ou inférieure à celle-ci, cas de la parcelle à Atriplex (10t/ha). Ces 2 dernières espèces ont été utilisées afin d'améliorer la qualité des sols (Mulas et Mulas, 2004), puisque le stock de carbone dépend de la production végétale qui amène au sol de la matière organique fraîche sous forme de litière aérienne et racinaire, et de la vitesse de décomposition de cette matière organique qui augmente avec la température, l'humidité et la teneur en oxygène du sol (Robert et Saugier, 2003). Par conséquent, ces 2 espèces n'ont pas répondu à l'objectif fixé.

Conclusion générale

Le sol est une ressource non renouvelable dont la qualité doit donc être préservée, que ce soit pour ses fonctions environnementales (pouvoir épurateur pour les eaux de surface, érosion physique et chimique, amélioration de la qualité de l'air) ou écologiques (préservation de la biodiversité végétale et animale, qualité du paysage).

En guise de conclusion pour ce premier essai sur le phénomène de séquestration de carbone :

- En dépit des faibles quantités de carbone stockées, les sols steppiques aux différents faciès peuvent séquestrer cet élément au même titre que les sols des autres écosystèmes et peuvent être considérés comme des puits de carbone. Par conséquent, ils peuvent devenir une source importante de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, si la désertification progresse et la mauvaise gestion des terres persiste, car ces dernières ont pour conséquence l'élévation de la température du sol, accélérant la dégradation de sa matière organique et la libération du CO₂ en tant que gaz à effet de serre.
- Les variations observées dans les différentes parcelles exigent une étude plus approfondie en multipliant le nombre de parcelles et de profils.

En perspective, il serait judicieux que ce travail soit refait en effectuant les analyses sur de nombreuses parcelles, en prenant, dans une première étape des parcours naturels sans aucune intervention de l'homme, avant de passer aux parcours anthropisés.

*Références
bibliographiques*

-A-

- **Albrecht, A., Rangun, L., & Barret, P. (1992).** Effets de la matière organique sur la stabilité structurale et la détachabilité d'un vertisol et d'un ferrisol (Martinique). Cah. Orstom. Ser. Pedofil, 27, 121-133.
- **Arrouays, D. & Deslay, W. (2001).** The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. Soil Use and Management 17, 7-11.
- **Arrouays, D., Feller, C., Jolivet, C., Saby, N., Andreux, F., Bernoux, M., & Cerri, C. (2003).** Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. Etude et gestion des sols, 10, 347-355.

-B-

- **Baize, D. & Jabiol, B. (1995).** Guide pour la description des sols : techniques et pratiques. Paris, INRA, 375 p.
- **Baize, D. (2000).** Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} édition revue et augmentée. INRA Paris, 257p.
- **Batjes, N. H. (1999).** Management options for reducing CO₂-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil (pp. 410-200). Wageningen: International Soil Reference and Information Centre.
- **Bernoux, M., Feller, C., Eschenbrenner, V., Cerri, C. C., & Cerri, C. E. P. (2004).** Séquestration du carbone dans le sol. Bulletin du Réseau Erosion, (22), 29-42.
- **Bernoux, M., & Cerri, C. C. (2006).** La séquestration du carbone. IRD, 62-65.
- **Bernoux, M. & Chevallier, T. (2013).** Le carbone dans les sols des zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du CSFD. N°10. CSFD/Agropolis International, Montpellier, France. 40 p.
- **Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986).** Bulk density 1. Methods of soil analysis: part 1—physical and mineralogical methods, (methods of soilan1), 363-375.
- **Boucher, J. F., Gaboury, S., Lord, D., & Villeneuve, C. (2008).** Potentiel et enjeux à propos de la création de puits de carbone en forêt boréale. Numéro spécial dans Liaison Énergie-Francophonie sur le thème «Biodiversité, énergie et changements climatiques. Enjeux et perspectives, 2-37.

- **Boulmane, M., Makhloufi, M., Bouillet, J. P., Saint-André, L., Satrani, B., Halim, M., & Elantray-Tazi, S. (2010).** Estimation du stock de carbone organique dans la chênaie verte du Moyen Atlas marocain. *Acta botanica gallica*, 157(3), 451-467.
- **Brahim, N., Ibrahim, H., Gallali, T. & Bol, R. (2018).** Spatial variability of organic carbon stock in the desert soil of Zarcine oasis-Kebili. 3rd International Conference on Integrated Environmental Management for Sustainable Development. WWW.iciem-conference.com.

-C-

- **Cerri, C. E., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., Bernoux, M., ... & Cerri, C. C. (2007).** Simulating SOC changes in 11 land use change chronosequences from the Brazilian Amazon with RothC and Century models. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122(1), 46-57.
- **Crème, A. (2016).** Impacts de la gestion des prairies sur le stockage du carbone et la nature biogéochimique des matières organiques du sol. Dissertation de Doctorat, Université de Poitiers, France. 128p.

-D-

- **Dermech, Kh., Karouani, M., & El Belkhi, M. (1982).** L'essentiel en pédologie. Direction des publications universitaires, Haleb, Syrie.
- **Dixon, R. K., Solomon, A. M., Brown, S., Houghton, R. A., Trexler, M. C., & Wisniewski, J. (1994).** Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263(5144), 185-190.
- **Djebaili, S. (1978).** Recherches phytosociologiques et phytoécologique sur la végétation des hautes plaines steppiques et de l'Atlas saharien algérien. Thèse Doct, Montpellier, 229p.
- **Dumoulin, A. & Rolin, A. (2017).** Gestion de la MO et des flux de carbone en grandes cultures et prairies. 1^{ère} Master en sciences de l'ingénieur industriel en agronomie Options : agronomie et développement international. France, 27p.

-F-

- **Friedlingstein, P. (1995).** Modelisation du cycle du carbone biospherique et etude du couplage biosphere-atmosphere. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles. 278p.

-G-

- **GIEC, (2001).** Changements climatiques 2001. Rapport de synthèse : résumé à l'intention des décideurs, 37 p.
- **Grinand, C., Rajaonarivo, A., Bernoux, M., Pajot, V., Brossard, M., Razafimbelo, T., & Le Martret, H. (2009).** Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar. *Etude et Gestion des Sols*, 16(1), 23-33.

-H-

- **Halitim, A. (1988).** Sols des régions arides. Office des Publications Universitaires, Alger, 384p.
- **Harmand, J. M. & Njiti, C. F. (1998).** Effets de jachères agroforesteries sur les propriétés d'un sol ferrugineux et sur la production céréalière. *Agriculture et développement*, (18), 21-29.

-I-

- **ITA. (1975).** Methodes d'analyses chimiques et physiques du sol. Laboratoire du sol. Mostaganem.

-K-

- **Koutika, L. S., Bartoli, F., Andreux, F., Cerri, C. C., Burtin, G., Choné, T., & Philippy, R. (1997).** Organic matter dynamics and aggregation in soils under rain forest and pastures of increasing age in the eastern Amazon Basin. *Geoderma*, 76(1-2), 87-112.

-L-

- **Lal, R. (2004).** Soil carbon séquestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123: 1-22.
- **Lefèvre, R. (2015).** Matière organique stable du sol: dynamique et mécanismes de (dé) stabilisation. Dissertation de Doctorat, Paris 6. 139p.

Références bibliographiques

- **Li, L. (2010).** Séquestration biologique du carbone par les cyanobactéries. Dissertation de Doctorat. Université Claude Bernard-Lyon I, 208p.
- **Locatelli, B. & Loisel, C. (2002).** Changement climatique: la vérité est-elle au fond du puits? Une analyse des controverses sur les puits de carbone. *Natures Sciences Sociétés*, 10(4), 7-19.
- **Lungu, M., Panaitescu, L., & Nita, S. (2011).** Aridity, climatic risk phenomenon in Dobrudja. *Present Environment and sustainable development* , 5, 179-190.

-M-

- **Mathieu, C. & Pieltain, F. (2003).** Analyse chimique de sol : méthodes choisies. Tec & Doc, Paris, 388 p.
- **Mosbah, A. (2014).** Etude écologique de la végétation des bordures d'un oued en région semi aride : cas de l'oued Dahimine. Thèse de doctorat, Université Constantine I. 104p.
- **Mouwembe, M. A. B., Ifo, S. A., Malonga, S. B., & Koubouana, F. (2017).** Variabilité spatiale des stocks de carbone organique du sol des savanes dans les réserves de Lésio-Louna et de Léfini, plateaux Tékés, République du Congo. *Afrique Science* 13(3), 297-307.
- **Mulas, M. & Mulas, G. (2004).** Potentialités d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la lutte contre la désertification. Short and Medium, Term Priority Environmental Action Programme (SMAP), 91p.

-N-

- **Neffar, S., Chenchouni, H., Beddiar, A., & Redjel, N. (2013).** Rehabilitation of Degraded Rangeland in Drylands by Prickly Pear (*Opuntia ficus-indica* L.) Plantations: Effect on Soil and Spontaneous Vegetation. *Ecologia Balkanica*, 5(2), 23-30.

-P-

- **Poirier, V. (2007).** Séquestration du carbone dans un sol agricole du Québec: influence du travail du sol et de la fertilisation des cultures. Mémoire de maîtrise, Université Laval Québec. 154p.

-R-

- **Razafimbelo, T. (2005).** Stockage et protection du carbone dans un sol ferrallitique sous systèmes en semis direct avec couverture végétale des hautes terres malgaches . Dissertation de Doctorat. Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier-AGRO M.145p.
- **Razafimbelo, T., Albrecht, A., Feller, C., Ravelojaona, H., Moussa, N., Razanamparany, C., & Rabeharisoa, L. (2010).** Stockage de carbone dans les sols sous systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal (SCV) dans différents contextes pédoclimatiques à Madagascar. *Etude et gestion des sols*, 17(2), 143-158.
- **Robert, M. (2002).** La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapport FAO, Rome, 72 pages.
- **Robert, M., Antoine, J., Nachtergaele, F., Benites, J., Brinkman, R., Dudal, R., & Koohafkan, P. (2002).** La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres-Rapport sur les ressources en sols du monde (96)-FAO. URL <http://www.FAO.org/docrep/005/y2779f/y2779f00.htm#toc>.
- **Robert, M. & Saugier, B. (2003).** Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(6-7), 577-595.

-S-

- **Smati, A. & Bakhouch, F. (2018),** Les îlots de fertilité autour du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus-indica* L. Miller) améliorent-ils les taux de matière organique et d'humidité dans le sol environnant? Mémoire de master en Ecologie et Environnement, Université de Tébessa. Algérie. 28 pages.

-T-

- **Tremblay, G. (2014).** Séquestration du carbone atmosphérique dans la biomasse racinaire de plantations de saules. Mémoire de maîtrise en géographie, Université de Montréal. Canada. 91p.

-V-

- **Van Engelen, V. W. P., Batjes, N. H., Dijkshoorn, J. A., & Huting, J. R. M. (2005).** Harmonized Global Soil Resources database (Final Report). 2005/06. ISRIC-World Soil Information, Wageningen, 17p.
- **Van Wesemael, B. & Brahy, V. (2013).** La matière organique dans les sols. http://etat.environnement.wallonie.be/uploads/rapports/parties/chapitres/fiches/SOLS_02.pdf.

-W-

- **Walkley, A. & Black, A. (1934).** An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposal modification of the chromic acid titration method. *Science*, Volume 37, p. 29-38.

Annexes

Annexe 1. Données climatiques

1-Annexe 1.1. Données climatique de Tébessa (1972-2018)

Tableau 1: moyennes mensuelles des températures de Tébessa (1972-2018)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
1972	5,6	7,4	10	9,8	14,3	21,4	24,1	23,2	19,8	13,7	10,7	5,7	13,81
1973	4,4	4,8	5,6	10,5	19,9	23,1	26,9	23,6	21,7	17,1	9,3	6,3	14,43
1974	6,2	6,4	9,8	10,8	15,6	23,5	23,9	24,1	20,8	13,3	9,1	5,9	14,12
1975	5,9	6	8,5	11,9	16,4	21,3	25,4	23,2	22,7	14,2	9,2	7,4	14,34
1976	5,2	6,6	7,4	11,8	16	20	23,6	23,8	19,9	15,4	7,8	8,2	13,81
1977	8	9,8	11,8	12,9	17,5	21,8	27,8	24,6	19,8	16,6	11	7,9	15,79
1978	5,1	9,8	9,2	12,7	17	23	25,5	24,6	20,4	12,6	7,9	9,8	14,80
1979	9,8	8,6	10,5	10,2	16,7	22	26,1	25,2	18,8	17,6	8,4	7,4	15,11
1980	5,8	7,3	9	10,3	14,9	22,4	24,9	25,7	21,7	14,2	11	4,5	14,31
1981	3,9	6,3	12,4	15,2	19	23,3	24,5	24,1	20,7	17,3	9,2	9,7	15,47
1982	7,7	7,4	9,2	11,8	17	24,2	28	25,9	21,5	15,9	10,8	5,7	15,43
1983	4,7	6,7	9,3	15,3	18,9	22,5	27,1	26	21,6	15	12,2	7,2	15,54
1984	6,1	6	8,5	13	17	23,1	26,1	25,1	20,6	14,5	12	6,4	14,87
1985	5,4	10,4	8,3	14,2	16,9	25,1	27,7	25,6	20,4	15,7	13	8	15,89
1986	6,3	8,1	9,4	13,7	19,9	22	25	26,8	21	16,6	10,2	6,4	15,45
1987	6,3	7,7	8,8	14,3	16,7	24,3	26,7	27,9	23,6	19,3	10,7	10,5	16,40
1988	8,2	7,4	9,9	14,8	20,5	22,5	28	26,7	20,6	18,2	11,6	5,8	16,18
1989	5,4	7,2	11,5	13,7	18,2	20,9	25,6	26,1	22,2	15,5	13,4	10,7	15,87
1990	6,1	10,4	10,4	12,7	17,2	25,1	24,9	22,5	24,1	20	11,5	5,5	15,87
1991	5,5	6,8	11,6	10,4	14,2	21,9	26,3	25,6	21,8	16,7	10,6	5,5	14,74
1992	4,7	6,7	9,4	11,8	16,3	20,9	23,9	25,7	21,9	18	12,1	7,8	14,93
1993	5,2	5,6	8,7	13,9	19,2	24,8	26,8	27	22,3	19,1	11,1	7,7	15,95
1994	7,5	8,91	11,9	11,8	21,9	24,2	27	28,6	23,6	16,7	13,2	8,1	16,95
1995	5,7	10,3	9,2	12,7	20,1	22,9	27,1	24,6	21,1	16,3	11,3	9,8	15,93
1996	9,1	6,3	10,1	12,4	18,2	20,8	25,9	26,6	20,3	15	12,4	10,2	15,61
1997	8,7	9,3	9,3	12	20,4	26,6	27,5	25,2	20,5	17	11,8	8,5	16,40
1998	7,2	8,2	9,8	15,1	17,7	24,6	27,8	25,7	23,2	15	10,2	6,3	15,90
1999	7,1	5,8	10,2	14,9	22,1	25,8	26,2	28,9	23,6	19,2	11,1	7,1	16,83
2000	4,1	7,8	11,7	16,1	21	22,4	27,5	26,8	22,1	15,9	12,8	9,4	16,47
2001	8	7,5	15,6	14	19,6	25	28,4	27,1	22,3	21,1	11,8	6,8	17,27
2002	6,3	9	12,5	15	19,4	25,1	26,6	24,9	21,2	17,8	12,2	8,8	16,57

2003	6,9	6,1	10	14,1	18,9	25,2	29,2	27,4	21,5	19,6	12,3	7	16,52
2004	6,9	9,6	11,2	12,8	15,9	22,4	26,2	27	20,8	20,5	10,2	8,1	15,97
2005	4,5	4,9	11,2	14,2	21,1	23,7	28,5	25,9	21,6	17,8	12,1	6,5	16,00
2006	4,9	7,2	11,8	16,6	21,3	24,8	26,5	25,9	21,4	19	12,1	7,9	16,62
2007	8,8	9,2	9,7	13,5	18,5	25,3	26,5	26,7	22	17,6	10,5	6,9	16,27
2008	7	8,3	10,9	15,5	19,3	23,4	28,7	27,2	22,2	16,9	10,1	6,3	16,32
2009	11	6,4	9,7	11,5	19	24,2	28,7	26,8	21	15,7	12,4	10,7	16,43
2010	8,3	10,1	13,1	15,9	17,4	24	27,2	27,1	21,7	16,8	11,9	8,8	16,86
2011	7,6	6,4	9,5	14,8	17,4	22,4	27,5	27	23,5	15,7	12,3	7,9	16,00
2012	5,9	4,1	10,5	14,4	19,3	27,1	28,8	28,8	22,4	19,3	14,2	8,8	16,97
2013	7,2	6,7	12,9	15,7	18,8	23,1	27	25,4	22,6	21,3	10,9	7,2	16,57
2014	7,8	8,9	8,7	15,2	19	23,6	27,4	28,3	24,6	19,1	14	7,9	17,04
2015	6,4	5,9	9,8	15,1	20,15	22,7	27,05	26,2	22,05	18,15	11,65	8,25	16,11
2016	8,85	10,3	10,8	17,4	19,45	23,9	26,6	25,25	21,45	19,6	12,3	9	17,08
2017	5,4	9,75	12,15	13,45	20,85	25,35	32,35	28,1	22	15,7	10,7	6,8	16,88
2018	8,6	7,45	12,55	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Moy	6,62	7,61	10,30	13,48	18,39	23,43	26,76	25,97	21,67	17,03	11,24	7,68	15,84

Tableau 2: moyennes mensuelles des précipitations (mm) Tébessa (1972-2018)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Cumul
1972	71,9	25,1	34,9	95	26,4	47,7	11,1	8,4	36,9	99,3	11,2	34,9	502,8
1973	46	42,7	171,1	31,3	44,7	65,5	5,3	36,4	16,3	12,9	6	94,4	572,6
1974	14	28,3	29,3	50,2	10,4	24,8	4,5	12,1	27,1	37,9	18,5	14,2	271,3
1975	23,4	67,8	33,6	21,6	66,6	0	25,4	23,7	26,1	11	74,3	6,2	379,7
1976	22,4	38,2	49,1	32,4	25,8	59	27,3	39,3	25,1	23,1	134,5	10,3	486,5
1977	14,7	66	45,1	40,4	38,2	9,1	15	19,4	11,2	3,3	46,7	3,9	313
1978	3,9	54,7	102,5	23	23,9	3,9	0	50,1	5,4	26	20,4	3,6	317,4
1979	10,3	44,6	40,3	89,4	22,7	27,7	0	11,7	116,1	18,5	21,3	1,7	404,3
1980	33,7	29,8	76,8	28,1	41	4,3	2	3,4	65,8	3,7	24,1	47,5	360,2
1981	13,4	18,8	24,1	11,7	35,8	72,4	3,6	4,1	37,3	23	1,9	15,3	261,4
1982	21,8	45,6	12,4	56,2	80,1	8,5	3,7	15,5	12	58,5	50,3	24,7	389,3
1983	2,8	7,3	18,1	5,7	30,4	42,7	0,7	31,5	3,9	31,7	17,9	12,2	204,9
1984	18,9	92,4	24	24,1	4,3	6,8	0,2	15,4	27,2	26,2	19,1	51	309,6
1985	25,7	11,3	54,5	26,4	65,2	27,2	2,4	6	50,8	23,1	3,5	13,5	309,6

1986	31,1	14,3	83,1	2,5	35,8	15,2	51	13,1	24,4	28,7	44,7	20,7	364,6
1987	10,2	27,4	62,6	13,2	25,1	4,2	33,7	5	15,5	18,7	33,8	9,2	258,6
1988	23,7	4,2	35,8	31,6	55,6	62,1	8,3	6,5	21,4	20,6	35,1	35,4	340,3
1989	18,3	17,4	14	16,3	8,4	57,3	8,7	99,3	44,6	12	10,8	8,7	315,8
1990	83	0,2	34,8	43,1	66,9	17,1	15,2	136,6	53,3	22,4	99,8	64,9	637,3
1991	30,3	12,8	54	43	67,8	14,4	6,4	65,6	74,7	34,4	44,3	14,2	461,9
1992	34	29,9	24,3	43,6	82	23,2	13,4	4,5	51,2	28,4	61,6	48,4	444,5
1993	9,3	27,9	21,4	2,6	31,1	12,8	20,1	1,8	22,7	3,8	16,8	28,7	199
1994	31	23,9	19,4	23,3	41	2,4	4,5	11	7,2	66,8	0,6	6,8	237,9
1995	24,7	3	32,3	22,1	7,4	37,9	1,7	44,1	149,7	39,7	26,6	18,2	407,4
1996	24,9	72,9	56,3	49,8	30,2	38,9	13,2	30	12,4	4,1	1,2	15	348,9
1997	31,6	7,1	18,9	46,8	16,1	10,3	20,2	23,7	64	72,5	45,2	21,5	377,9
1998	22,3	10,2	28,7	29,2	16,7	31	0	15,2	78,6	36,2	55,1	14,5	337,7
1999	56,4	11,7	45,6	15,4	30,9	16,9	18,9	33,7	22,1	81,5	64,6	34,5	432,2
2000	3,7	4,1	10	14,7	86,5	76,4	21,6	18,8	51	18,3	17	13,7	335,8
2001	27,1	15,8	15,1	2,7	49,3	2,4	7,6	1,4	55	1,7	23,3	7,1	208,5
2002	17	11,8	5,2	29	40,6	13,3	58	84,7	36,5	38	76,4	30,3	440,8
2003	100,4	38,9	18	97,8	29,2	9,5	2,8	12,1	7,2	45,5	17,5	168,4	547,3
2004	20,6	3,2	72,6	29,4	39,4	91,6	16,4	44	19	26	117	66,9	546,1
2005	29,2	34	24	20,4	1,2	31,5	1,4	46,6	33,3	94,1	31,6	77,3	424,6
2006	34,9	14,4	5,5	43,6	37,6	26,9	8,4	26	6,4	12	3,7	63,2	282,6
2007	5,2	11	61	59,1	16,8	98,2	30,2	54,4	49,7	15,4	9,3	28,7	439
2008	6,1	7	36,4	28	67,4	12,9	4,3	18,7	84,9	52	12,8	47,1	377,6
2009	76,9	11,6	26,7	111,9	65,9	0	23	12,7	96,7	2	2	7	436,4
2010	38,7	3,1	13,1	79,3	35	25,9	20,2	2,4	77	17	55,1	5,5	372,3
2011	26,5	66,7	60,6	43,4	47,2	28,4	54,2	10,2	3	86,1	34	8,9	469,2
2012	46,4	57,2	39,4	24,1	27,8	2,1	3,5	35,5	41	51,9	13,2	2,6	344,7
2013	20,1	8,6	25	33,4	9	0,7	14,8	26,5	46,8	38,7	40	38,4	302
2014	38,7	48,4	27,9	2,3	19,9	29	22,5	8,7	49,3	7,1	43,2	39,5	336,5
2015	30,4	66,7	42,7	1,3	20,7	66	38,4	72,4	45,8	30,3	55,9	0	470,6
2016	13,4	4,3	32,3	18,1	37,7	2,7	0,8	13,6	30	49,3	18,7	65,8	286,7
2017	23,4	8,7	10,5	46,7	32,8	17,6	14,3	10	41,2	49	32,8	8,6	295,6
2018	0,7	73,2	20,3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Moy	27,94	28,17	38,16	34,85	36,84	27,79	14,32	27,52	40,80	32,66	34,64	29,42	373,11

2-Annexe 1.2. Données climatique d'Oum El Bouaghi

Tableau 3: Températures et précipitations moyennes mensuelles de la région d'Oum El Bouaghi sur une période de 30 ans (1982-2012)

<i>Mois</i>	<i>Jan</i>	<i>Fév</i>	<i>Mar</i>	<i>Avr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jui</i>	<i>Jui</i>	<i>Aou</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Déc</i>	<i>Moy</i>
<i>T_{moy}</i> (°C)	6,4	7,3	9,9	13,0	17,9	22,9	26,2	25,9	21,6	1,2	11,1	8,5	15,6
<i>P (mm)</i>	37,2	26,7	33,8	37,5	45,3	19,2	9,7	19,8	46,9	20,2	31,2	41,2	368,7

P (mm) : moyenne des précipitations

T (°C): moyenne des températures

Tableau 4. Classification climatique de Martonne 1926 (Lungu *et al.*, 2011)

<i>Type de climat</i>	<i>Valeurs</i>
Très aride : désertique (aride)	0-5
Aride : steppique, semi aride (semi désertique)	5-15
Semi-aride	15-20
Modérément humide (moins subhumide)	20-30
Humide	30-60
Très humide	> 60

Annexe 2 : Les méthodes d'analyse du sol

1. pH

La mesure de pH du sol s'est effectuée dans un mélange sol \solution de 1\5 ; après un temps d'équilibrage d'une heure le pH à été mesuré.

Un pH –mètre équipé d'une électrode a été utiliser pour réaliser les analyses de pH.

Mode opératoire

- Prendre 10 g de terre fine.
- Ajouter jusqu'à 50 ml d'eau distillée, bien agiter.
- Laisser reposer pendant 30mn.
- Lire dans le surnageant.

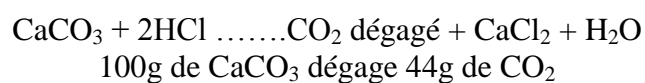
Référentiel pédologique (Baize et Jabiol, 1995).

pH	Classe
<3,3	Hyper acide
3,5-4,2	Très acide
4,2-5	Acide
5 -6,5	Faiblement acide
6,5-7,5	Neutre
7,5-8,7	Basique
>8,7	Très basique

2. Dosage du calcaire total (Dermech *et al.*, 1982).

Principe

On décompose le calcaire =carbonates de Ca⁺ (CaCO₃) de poids moléculaire 100 par un acide fort (acide chlorhydrique). On mesure le volume du CO₂ (PM : 44g) obtenu et on calcule le poids du sol avant et après la réaction



Mode opératoire

- Prendre 10ml d'HCl dilué dans un bécher de 50 ml
- Peser le Becher avec l'acide =P₁
- Prendre 10 g de terre fine, verser la terre petit à petit dans le bécher contenant l'HCl : P₁
- Agiter le bécher et laisser reposer quelques mn puis réagîtes une ½ H.
- Peser le bécher avec son contenu, agiter, laisser reposer quelques minutes, puis repeser .Noter le poids après la stabilisation =P₂.

Calcul

Poids du CO₂ dégagé =Poids du bécher +acide + sol (avant la réaction) –Poids du bécher + acide + sol (après réaction)

$$\begin{aligned} \% \text{ CaCO}_3 &= \text{Poids du CO}_2 \text{ dégagé} \times 2,274 \times 100 / \text{Poids du sol} \\ &= \text{Poids du CO}_2 \times 227,4 / \text{Poids du sol} \end{aligned}$$

Classification selon (GEPPA in Baize , 2000)

- < 1% horizon non calcaire
- 1 à 5 horizons peu calcaires
- 5 à 25% modérément calcaire
- 25-50% fortement calcaire
- 50 à 80% très fortement calcaire
- 80% excessivement calcaire

3. Texture par la méthode de saturation

Cette méthode consiste à mesurer le pourcentage d'eau retenu par un échantillon de sol et le comparer à une échelle (Y) qui détermine la texture lui correspondant. Sachant que plus une texture est fine, plus elle retient davantage l'eau (ITA, 1975).

Mode opératoire :

- peser 10 g de sol.
- imbiber d'eau goutte à goutte en mélangeant jusqu'à l'obtention d'une pâte qui devient luisante et glissante lorsqu'on incline le récipient, et lorsqu'on fait passer la spatule, elle ne colle pas à la surface.
- on laisse reposer 1 heure de temps : si l'eau s'accumule à la surface, ajouter de la terre et reprendre à 0, mais l'échantillon se rétracte et devient sec, ajouter de l'eau.

Calcul

$$X_1 = P_2 - P_3 = \text{Poids de l'humidité} \quad X_1 \rightarrow X_2 \text{ g de sol sec}$$

$$X_2 = P_3 - P_1 = \text{Poids du sol sec} \quad Y \rightarrow 100 \text{ g de sol sec}$$

- P_1 = Poids de la capsule vide
- P_2 = Poids de la pâte mouillée (+ capsule)
- P_3 = poids de la capsule à la sortie de l'étuve = Poids de la capsule + terre sèche

Classification

- $Y < 12\%$ → Sol sableux
- $12 < Y < 24\%$ → Sol sablo- limoneux
- $24 < Y < 37,5\%$ → Sol limono- sableux
- $37,5 < Y < 45\%$ → Sol limono- argileux
- $45 < Y < 75\%$ → Sol argilo- limoneux
- $Y > 75\%$ → Sol argileux

4. Dosage du carbone par la méthode de Walkly et Black (1934)

Principe

On oxyde le carbone organique d'un échantillon avec le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) en excès (en milieu acide). L'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sels de Mohr (le sulfate ferreux). Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré (le diphénylamine) qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est réduit.

Mode opératoire

- Introduire 1 g de sol tamisé dans une erlen, y ajouter 10 ml de bichromate de potassium (8%), ajouter 15ml acide sulfurique.
- Agiter 1 minute et laisser reposer 30mn
- Transvaser dans une fiole et ajouter à 100 ml les eaux de rinçage de l'eren.
- Prélever 20ml dans un bécher et diluer à 100ml avec l'eau distillée.
- Ajouter 1 g de Naf et 3 à 4 gouttes de diphénylamine.
- Titrer le sol avec le sel de Mohr (sulfate de fer et d'ammonium) à 0,2 N.
- la solution de couleur brun-noireatre virera au vert (x ml de sel de mohr).

Témoin (Y) : suivre les mêmes étapes sans le sol.

Calcul

$$C(\%) = \frac{(Y-X) * 0,6mg C * 100}{200 \text{ ou } 100mg \text{ de sol selon le cas}}$$

Remarque

Comme l'oxydation du carbone est à froid et donc incomplète, elle est en moyenne de 76%
(100/76= 1,31)

On multiplie le résultat par 1,31.

Considérant que la matière organique (M. O.) = C × 1,724

Classification des sols selon le taux de matière organique (ITA, 1975)

Taux de matière organique(%)	Terre
<1	Très pauvre
1-2	Pauvre
2-4	Moyenne
>4	Riche

5. La densité apparente par la méthode du cylindre

La densité apparente a été mesurée sur le terrain par l'insertion de cylindres métalliques dans le sol. Le volume de sol récolté dans le cylindre était ensuite pesé à sec (chauffé à 80 ° C, pendant 24h). La masse du sol était divisée par le volume du sol pour obtenir la densité apparente du sol (g.cm^{-3}).

6. Le stock du carbone par profil

Pour évaluer le stock de carbone organique des sols selon la superficie, trois paramètres doivent être estimés afin de déterminer la quantité de l'élément C dans l'horizon i (Cerri *et al.*, 2007a) :

Stock du carbone (t/ha) = Epaisseur de la couche x $d_a(i)$ x C_i (%) où Stock du carbone : contenu en C organique dans l'horizon i de sol (t.ha^{-1}).

E(i) : épaisseur de l'horizon i (cm).

da (i) : densité apparente dans l'horizon i (g.cm^{-3}).

C(i) : concentration de C organique dans la terre fine pour l'horizon i (%).

La quantité totale de carbone organique Q dans le sol jusqu'à la profondeur sélectionnée est la somme des quantités dans chaque horizon : $Q = \sum q(i)$.