

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Agronomiques

**Spécialité :** **Protect. de la ressource Sol Eaux Environnement**

Présenté par : **Melle** DEHANE Yamina

**Melle** HATTAB Nadia

Thème

**Contribution à l'étude de la séquestration de carbone organique  
dans la région de Ouargla**

Soutenu publiquement

Le : Septembre 2020

Devant le Jury :

M. KARABI	Mokhtar	M.C.A.	Président	UKM Ouargla
M. DJILI	Brahim	M.C.B.	Examineur	UKM Ouargla
M. BERKAL	Ismail	M.C.A.	Encadreur	UKM Ouargla
Mme BENSAYAH	Maria Nour El H	Doctorant(e)	Co-Encadreur	UKM Ouargla

**Année Universitaire: 2019 / 2020**

## *Dédicace*

tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que : Je dédie ce mémoire de fin d'étude:  
A Mon très cher Père **DJEMAL** : aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail et le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation le long de ces années.

A Ma tendre Mère: Tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que

Ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

A mon encadreur : **Mr BERKAL Ismaïel**

A mes chers frères : **Mouhamed et Ayoub**

A mes sœurs : **Marwa, Aya**

A mes très chère amis : **Marwa et Fana**

A ma chère binôme et sœur : **Nadia**

A tous les membres de ma promotion.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous ceux qui me sens chers et que j'ai omis de citer

## *Dédicace*

A Mes chers parents (*Yasmine & Omar*)

Sans vous, je ne serais pas ce que je suis et que toute ma réussite dans  
la vie et dans mes études dépendait de ce que vous m'avez donné  
Acceptez ce travail comme un témoignage de ma profonde Sympathie.

Que Dieu vous accorde la santé et la vie.

A Ma chère sœur et Ma très chère tante

*Meriem et Sousou*

A mes chers frères

*Rabah, Said et Messaoud .*

Que Dieu puisse me permettre de vous récompenser.

A tous la famille *Hattab et Djema, Iddir.*

A mon encadreur *Mr BERKAL Ismaiel*

A ma chère binôme et sœur : **Amina**

A tous mes amis parmi lesquels j'ai plaisir à citer : *Marwa, Fana.*

A tous ceux qui m'aiment.

A tous ceux que j'aime.

Je dédie ce travail

## ***Remerciements***

*Avant tout, on remercie ALLAH tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage, la volonté et la patience pour terminer ce modeste travail.*

*On tient à exprimer notre profonde gratitude à notre promoteur M. BERKAL I., pour ses précieuses orientations et ses conseils.*

*On remercie aussi très sincèrement les membres de jury, le président M. KARABI M. et l'examineur M. DJILI B., d'avoir bien voulu accepté d'évaluer notre travail.*

*On veut témoigner nos reconnaissances et exprimer toute notre gratitude à nos enseignants qui ont participé à notre formation.*

*On tient à remercier nos amis pour nous avoir donné le courage, le soutien moral pour mener à bien ce modeste travail.*

*Enfin, on adresse un grand merci à la famille et à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous ceux qui nous ont apporté leur aide.*

## **LISTE ABREVIATIONS**

AFNOR : L'association Française De Normalisation

C : Carbone

CCNUCC : Convention-Cadre Des Nations Unies Sur Les Changements Climatiques

COP21 : Conférence Internationale Sur Le Climat « Conférence Of Parties »

COS : carbone organique dans les sols

C-Tot : Carbone Total

FAO : Food and Agriculture Organization

GES : Gaz à effet de serre

Gt : Gigatonne

GTC : Gigatonnes de carbone

INPV : Institut National de la Protection des Végétaux

ISO: International Organization for Standardization

ITDAS : L'institut technique de développement de l'agronomie saharienne

ITPS : Groupe technique intergouvernemental sur les sols

MEA : Millenium Ecosystem Assessment

MO : Matières organique

MOS : Matière organique de sol

N-Tot : Azotes Total

ONG: Organisation non gouvernementale

ORNL : Oak Ridge National Lab.

PPM : Partie Par Million

RGPH : Le recensement général de la population et de l'habitat

SCOS : Stocks de carbone organique dans les sols

SSSA: Soil Science Society of America

TBI : Tea Bag Index

USDA: United States Department of Agriculture,

USDOE: United States Department of Energy

WRB : World Reference Base for Soil Resources

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1. Prévision de la variation de la température à l'échelle planétaire avec le model� de circulation général canadien (MCGC).....	5	
Figure 2. Contributions relative des émissions canadiennes de gaz à effet de serre de 2001 au réchauffement planétaire à venir. ....	6	
Figure 3. Service écosystémique rendus par les sol et les composantes du bien être humain associées, en fonctions de propriétés du sol (Dominati <i>al.</i> , 2010) .....	12	
Figure 4. Matière organique du sol : nature et proportions indicative d'après <i>calvet et al.</i> , (2010) . ....	13	
Figure 5. Décompositions de la matière organique fraîche : minéralisation et humification .....	14	
Figure 6. Rôle du carbone organique du sol dans la multifonctionnalité des sol (traduit de Manyowa et <i>al.</i> , 2014 ). ....	15	
Figure 7. Taille moyenne des puits de carbone (GTC) et flux associés 5GT C.an <sup>-1</sup> entre 2005 et 2014 (d'après Houghton, 2007; Macías et Camps Arbestain, 2010 ; Ciais et <i>al.</i> , 2014; Le Quéré et <i>al.</i> , 2015) .....	17	
Figure 8. Répartition du palmier dattier en Algérie (C.R.S.T.R.A ,2014). ....	23	
Figure 9. Descriptions morphologique du palmier dattier (Munier ,1973). ....	24	
Figure 10. Palme du dattier (Munier, 1973). ....	25	
Figure 11. Des palmes en lutte contre la désertification et en clôture des parcelles oasiennes .....	29	
Figure 12. Carte topographique de la cuvette de Ouargla (I.G.N.1960) .....	31	
Figure 13. Diagramme de Gaussen de Ouargla (2008-2018).....	33	
Figure 14. Coupe géomorphologique schématique de la Vallée de l'oued M'ya d'après le li�vre (1969) (in Nezli 2004).....	35	
Figure 15. Situation géographique de l'exploitation de l'université.....	38	
Figure 16. Délimitations du site expérimental (image Google Earth,2020) .....	40	
Figure 17. Les palmes sèches du palmier	Figure 18. Balance (pèse foin).....	41
Figure 19. Broyeur mécanique .....		41
Figure 20. Palmes broyées: (a) de D�glat Nour ; (b) de ghars .....		41
Figure 21. Les trois types thé (a) le rouge; (b) vert ;(c) jaune .....		43
Figure 22. Processus de pesée des sachets. ....		43
Figure 23. Identifications des sachets.....		44

Figure 24. Schéma simplifié de l'enfouissement des sachets. ....	46
Figure 25. Effet de (a) la température, (b) l'humidité de sol et la qualité de la litière sur la décomposition. ....	52
Figure 26. Vitesse de décompositions initiale k et facteur et de stabilisations S pour différents site montrant le potentiel discriminatoire du Tea Bag Index(TBI) entre et au sein des écosystèmes. ....	53
Figure 27. Masse restante (g) des échantillons du thé vert et de thé rooibos dans les zones inondables (FZ) et zone non inondables (NFZ) et par zone (COA et MAS) ....	54
Figure 28. Masse relative restant de thé (rooibos et vert) mesurée en incubation en laboratoire sur sol forestier tempéré à 15 ° C et 25° C. ....	55

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1. Liste de référence des besoins annuels en macroélément, en kilo par arbre, selon la quantité de dattes produite par arbre ; d'après Toutain (1979) in Peyron(2000). .....	27
Tableau 2. Calendrier cultural annuel du palmier dattier (I.T.D.A.S, 2007).....	28
Tableau 3. Données climatologiques de Ouargla de la décennie 2008-2018 .....	32
Tableau 4. Propriétés moyennes de neuf profils de sol. ....	39



# **TABLE DES MATIERES**

Remerciement

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction** ..... 1

## **Chapitre 1. Etude bibliographique**

1.1. Changement climatique et la séquestration du carbone comme solution.....	4
1.1.1 Introduction.....	4
1.1.2 Les causes du changement climatique .....	4
1.2 Le protocole de Kyoto .....	6
1.2.1 Atténuation des émissions.....	6
1.3 L'initiative «4 pour 1000».....	7
1.3.1 Pourquoi 4 pour 1000?.....	8
1.3.2 Les objectifs de l'initiative «4 pour 1000» .....	8
1.4 La séquestration du carbone organique du sol.....	8
1.4.1 Définitions et concepts.....	8
1.5 Les services écosystémiques rendus par les sols .....	10
1.6 Concept de l'agrosystème.....	13
1.7 Matières organiques du sol .....	13
1.7.1 La décomposition de matière organique du sol .....	13
1.7.2 Fonctions de la matière organique du sol.....	13
1.7.3La matière organique dans les régions arides .....	15
1.8 Le carbone de la planète Terre .....	15
1.8.1 Le Carbone Organique du Sol.....	15
1.8.2 Les facteurs de contrôle des temps de résidence du carbone dans les sols.....	16
1.8.3 Le carbone organique des sols et son influence dans le bilan de gaz à effet de serre .....	17
1.8.4 Flux de carbone entre les différents réservoirs, à l'échelle globale .....	17
1.9 La différence entre les termes de « matière organique du sol » et de « carbone organique du sol».....	18
1.10 L'effet du travail du sol et le semi-directe sur la séquestration du carbone .....	18
1.11 Les principes fondamentaux de l'agriculture de conservation .....	18

1.11.1 Les avantages de l'agriculture de conservation et du semis direct .....	19
1.12 Conséquences et impacts principaux de la séquestration du carbone .....	20
1.13 Généralité sur le palmier dattier .....	22
1.13.1 Introduction.....	22
1.13.2 La phoeniciculture en Algérie.....	22
1.14 Morphologie .....	23
1.14.1 Système racinaire .....	23
1.14.2 Système végétatif aérien .....	24
1.15 Exigences écologiques du palmier dattier .....	26
1.16 La fertilisation du palmier dattier .....	27
1.17 Toilettage du palmier.....	27
1.18 Utilisations générales.....	29
1.18.1 Les palmes .....	29
1.19 Exploitation des sous-produits oasiens par compostage.....	29

## **Chapitre 2. Présentation de la région d'étude**

2.1 Présentation de la cuvette de Ouargla.....	31
2.1.1 Situation géographique .....	31
2.2 Climat .....	31
2.2.1 Températures.....	32
2.2.2 Précipitations.....	32
2.2.3 Vents .....	32
2.2.4 Humidité relative de l'air.....	32
2.2.5 Evaporation .....	33
2.2.6 L'insolation.....	33
2.3 Classification bioclimatique .....	33
2.4 Géologie de la région.....	33
2.5 Hydrogéologie de la région .....	34
2.5.1 La nappe phréatique .....	34
2.5.2 Les nappes du Complexe Terminal.....	34
2.5.3 Le Continental Intercalaire .....	34
2.6 Géomorphologie .....	34
2.6.1 Les plateaux .....	35
2.6.2 Les glacis .....	35

2.6.3 Les chotts et sebkhas.....	35
2.7 Pédologie .....	36

### **Chapitre 3. Protocole Expérimental**

3. Présentation du site expérimental .....	38
3.1 Choix de la palmeraie .....	38
3.2 Historique de la palmeraie .....	38
3.3 Exploitation à l'état actuel.....	39
3.4 Les avantages de la zone d'étude .....	39
3.5 Caractérisation des eaux des forages et de la nappe phréatique .....	40
3.6 Matériel et méthode .....	40
3.6.1 Méthode d'étude .....	40
3.6.2 La méthode de Tea Bag Index (TBI) .....	42
3.7 Les sachets de thé .....	42
3.8 Protocole TBI .....	43
3.9 La mise sous terre .....	45
3.10 Méthode d'analyse.....	47
3.10.1 Analyses au laboratoire.....	47
3.10.2 Analyses physico-chimiques du sol .....	47
3.11 Calcul du rapport C/N.....	48
3.12 Les sacs de produits de broyage des palmes sèches .....	48
3.12.1 Teneur en eau .....	48
3.13 Analyse de sous-produit de palmier dattier .....	48
3.13.1 Matière organique et le carbone organique.....	48
3.13.2 Matière minérale (MM) .....	49
3.14 Relation entre le carbone du sol et la densité apparente.....	49
3.15.1 pH de sol.....	47
3.15.2 Mesure de la conductivité électrique .....	47
3.15.3 Dosages des cations .....	47
3.15.4 Dosages des anions .....	50

### **Chapitre 4. Résultats et discussion**

4.1 Résultats.....	52
4.2 Quelques résultats des autres études similaires .....	52
4.3 Interprétation comparative.....	52

4.3.1 Paramètres de TBI.....	52
4.3.2 L'effet de l'humidité et la température du sol.....	53
4.3.3 La qualité de la litière.....	55
Conclusion .....	57
Références bibliographiques .....	58

# **INTRODUCTION**

# Introduction

## Introduction

La croissance économique et démographique a entraîné une augmentation des émissions anthropiques de gaz à effet de serre, qui sont aujourd'hui plus élevées que jamais. Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de méthane (CH<sub>4</sub>) et d'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O) sont sans précédent. Cette augmentation représente la cause principale du réchauffement climatique observé depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle (**Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et al., 2015**).

Dans ce contexte, les sols semblent être une solution pour atténuer le changement climatique, car ils représentent le plus grand réservoir terrestre de carbone organique et sont en forte interaction avec l'atmosphère (**Jacobson et al., 2000 ; Scharlemann et al., 2014**). En effet, ils peuvent indirectement participer à la régulation du climat, étant donné qu'ils se comportent comme un puits et/ou une source de CO<sub>2</sub> atmosphérique (**Dignac et al., 2017**). À cet égard, le maintien du carbone organique dans les sols (COS) et sa séquestration est un enjeu majeur parce qu'il représente un service écosystémique dans la réduction de l'impact des émissions de GES sur le réchauffement. La récente initiative « 4 pour 1000 » a été lancée par le gouvernement français lors de la COP21 qui s'est tenue à Paris, en 2015. Son but est de soutenir les Etats et acteurs non gouvernementaux dans leurs efforts vers une meilleure gestion des sols, dans l'optique d'une augmentation durable de leurs stocks de carbone organique (SCOS) (**Paustian et al., 2016 ; Minasny et al., 2017**).

La séquestration du carbone dans le sol est le processus correspondant à un stockage de carbone. On peut dire qu'il y a le processus de la séquestration lorsque les entrées de C sont supérieures aux sorties de C. Cette dernière implique un retrait de CO<sub>2</sub> atmosphérique par les plantes et un stockage du C fixé par photosynthèse dans la MO du sol. Parmi les pratiques qui permettent de séquestrer le C dans le sol, il y a l'agroforesterie, les plantes de couverture, la fertilisation organique et la réduction du travail du sol. Ils font partie de ce qu'on appelle actuellement Agriculture Climato-Intelligente. Du point de vue agronomique, la séquestration du carbone offre des bénéfices parmi lequel l'amélioration progressive de la fertilité du sol et, à moyen et long termes de la production agricole, et une réduction du réchauffement climatique. En outre, l'agriculteur pourrait avoir des bénéfices indirects en préservant de la qualité des sols et en réduisant des coûts d'exploitations (diminution de la consommation de carburant en réduisant le travail du sol) (**Sierra, 2019**).

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L*) est considéré comme plante fruitier des régions désertiques du globe connues pour leur climat chaud et sec. En raison de ses utilités

## Introduction

alimentaires, écologiques, sociales et économiques, le palmier dattier est l'arbre fruitier le plus apprécié par les populations des oasis (**Tirichine, 2010**). Elle est la composante principale de l'agro-système oasien. Le nombre de palmiers dattiers dans le monde est estimé à plus de 130 millions d'arbres (**Acourene, 2000**). L'Algérie est l'un des principaux pays phoenicicoles ; le nombre de palmiers complantés algérien est d'environ 18 millions de palmiers cultivés sur une superficie de 164695 ha (**DSA de Ouargla, 2015**).

Néanmoins, ces grandes surfaces de vergers phoenicicoles produisent énormément de déchets, qui peuvent être responsable des problèmes phytosanitaires des oasis. Ils doivent être éliminés pour réduire leur impact sur l'environnement (**Babahammi, 2014**).

**Chehma et Longo, (2001)** estiment les quantités annuelles des sous-produits à 135000 tonnes de folioles de palmes sèches, 67500 tonnes pour les rebuts de dattes et 5000 tonnes pour les pédicelles de dattes.

Dans l'agriculture moderne où l'intensification agricole est accrue, les sols manifestent une dégradation à cause de la diminution de leur taux de matière organique. Ce problème est d'autant plus grave que les résidus de cultures ne sont pas restitués aux sols, particulièrement durant les années de sécheresse où ces résidus sont exportés des parcelles, pour l'alimentation du bétail (**Elherradi et al., 2003**).

Dans les dernières années, plusieurs actions de fabrication des nutriments organiques à partir des produits de toiletteage du palmier sont préconisées. Cette opération est une valorisation des sous-produits de palmier dattier.

L'objectif de notre travail est d'étudier la décomposition de la matière organique avec l'utilisation des Tea Bag Index (TBI). Cette technique fournira des informations précises sur la capacité des sols des régions sahariennes d'Algérie à transformer les résidus organiques en nutriment pour les plantes.

Le document est présenté selon le plan suivant :

- ✓ Un premier chapitre théorique comprend l'étude bibliographique sur la séquestration du carbone et son impact sur l'agriculture et l'environnement.
- ✓ un deuxième chapitre sur la région d'étude et du site expérimental et d'échantillonnage.
- ✓ Un troisième chapitre quant à lui est une présentation du protocole expérimental et les méthodes d'étude et d'analyse.
- ✓ Un quatrième chapitre de ce document sera consacré aux résultats et discussions des recherches bibliographiques, et on terminera par une conclusion.

# **Chapitre 1. Etude bibliographique**



## 1.1. Changement climatique et la séquestration du carbone comme solution

### 1.1.1 Introduction

La menace posée par le réchauffement climatique et l'augmentation des niveaux de gaz à effet de serre dans l'atmosphère pose la question du rôle des sols en termes de source ou de puits de carbone. Les sols constituent un important réservoir de carbone, environ 1500 Gt, ce qui équivaut à presque trois fois la quantité stockée dans la biomasse terrestre, et deux fois celle de l'atmosphère. Tout changement dans l'utilisation des terres, même dans des systèmes agricoles équilibrés ou un changement de voie technique peut entraîner des changements dans le stockage du carbone dans le sol (**Bernoux et al., 2004**).

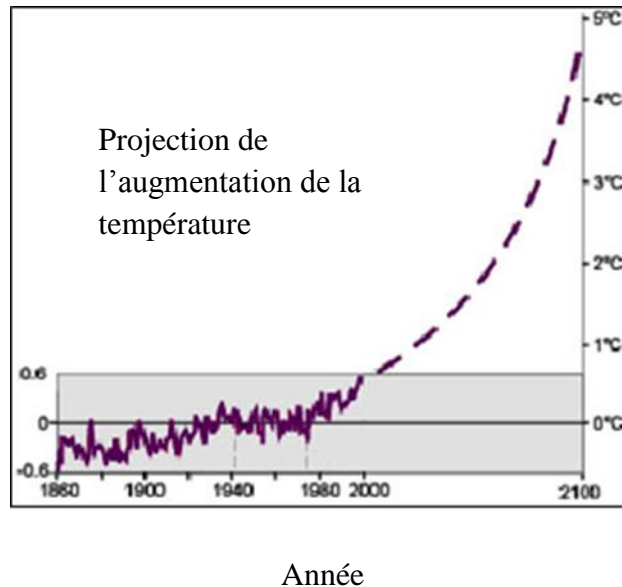
Par conséquent, la séquestration du carbone dans le sol sous des angles, économique, environnemental et agricole est la meilleure solution, pour réduire les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Nous devons donc savoir comment contribue l'agriculture dans la réduction du réchauffement climatique et comprendre et définir ce que l'on entend par "séquestration du carbone". En fait, ce dernier n'est souvent utilisé que pour traduire les stocks de carbone excédentaires dans le sol.

### 1.1.2 Les causes du changement climatique

Une partie du rayonnement solaire qui atteint la Terre est réfléchi vers l'atmosphère sous forme de radiation infrarouge. Cette perte énergétique est contrée par un phénomène appelé l'effet de serre. Divers gaz présents dans l'atmosphère ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) permettent en effet d'intercepter et de conserver cette chaleur émise par la planète. Ce phénomène naturel est nécessaire à la régulation de la température à la surface du globe. Sans ce processus, on estime que la température moyenne de la Terre diminuerait de 33 degrés Celsius, passant de 15 à  $-18^\circ\text{C}$  (**Ministère de l'environnement du Canada, 2005**). Cependant, l'équilibre naturel peut être perturbé par des activités anthropiques. C'est ce que les scientifiques ont remarqué depuis l'accentuation de l'industrialisation au cours des années 1900. En effet, les niveaux de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère sont passés de 280 ppm dans la période préindustrielle à 367 ppm en 2000, soit une augmentation de 31 %. Cet accroissement

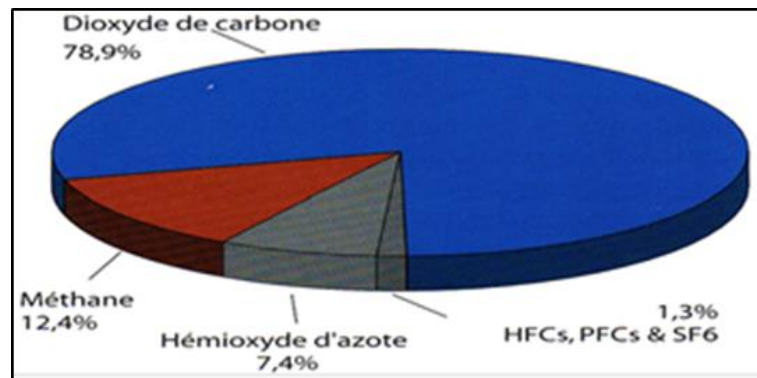
des émissions de gaz à effet de serre (GES) par les activités de l'homme a eu comme effet d'augmenter très rapidement la température moyenne mondiale depuis 1860 (Fig. 01) et d'amorcer ainsi des changements climatiques (Boer et al ,2000).



**Figure 1. Prévion de la variation de la température à l'échelle planétaire avec le modèle de circulation général canadien (MCGC).**

*Source : Ministère des ressources naturelles du Canada, 2004*

Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) est relâché dans l'atmosphère lors de l'utilisation de combustibles fossiles, de la décomposition de la matière organique par les microorganismes (respiration) et de la déforestation. Les sources agricoles d'azote comme les engrais et les fumiers sont la principale cause d'émission d'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Le méthane ( $\text{CH}_4$ ), pour sa part, provient en grande partie des ruminants et des surfaces inondées comme les rizières (Ministère de l'environnement du Canada, 2005). Cependant, les émissions de  $\text{CO}_2$  sont beaucoup plus importantes en proportion que celles des autres gaz (Fig. 02).



**Figure 2. Contributions relative des émissions canadiennes de gaz à effet de serre de 2001 au réchauffement planétaire à venir.**

*Source : Ministère de l'environnement du Canada, 2005.*

## 1.2 Le protocole de Kyoto

Le protocole de Kyoto est un traité international ayant pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Acté en 1997, il est le prolongement de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), adoptée en 1992 au sommet de la Terre à Rio de Janeiro (Brésil). L'objectif initial du protocole de Kyoto était de parvenir durant la période d'engagement 2008-2012 à la réduction des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique d'au moins 5% dans les pays engagés par rapport aux niveaux de 1990. Une seconde période d'engagement a été fixée lors du sommet de Doha en décembre 2012. Elle s'étend du 1er janvier 2013 au 31 décembre 2020.

### 1.2.1 Atténuation des émissions

L'article 3.1 de la convention engage l'ensemble des Etats parties à réduire les émissions de gaz à effet de serre, suivant le principe de la responsabilité commune, mais différenciée. De façon plus précise, le Protocole de Kyoto enjoint les Etats développés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre sous leurs niveaux de 1990, selon un échéancier et en fonction de cibles précises qu'ils doivent eux-mêmes se fixer. Le protocole leur demande également de mettre en œuvre un plan national menant à l'atteinte ces cibles. De plus, ils sont tenus d'approfondir leurs engagements dans le cadre d'une nouvelle ronde de réduction, au-delà de la première période d'engagement (2008-2012) du protocole.

Les 38 États développés visés à l'annexe I de la convention se sont ainsi imposés des cibles de réduction d'émissions de gaz à effet de serre lors de l'adoption du protocole de Kyoto, en décembre 1997. Ces cibles se retrouvent à l'annexe B du protocole. Le Canada s'est ainsi fixé une cible de réduction de 6 %, en moyenne, entre 2008 et 2012, sous les niveaux de 1990.

Collectivement, les engagements de réduction de ces États équivalent à une réduction de quelque 5,2 %, en moyenne, pour la même période. Les articles 3.1, 3.2 et 3.7 du protocole portent respectivement sur le respect des engagements, l'obligation de faire état de progrès démontrable ainsi que sur la méthode de calcul des émissions (**Chaloux et Séguin, 2011**).

### 1.3 L'initiative «4 pour 1000»

L'initiative «4 pour 1000» «des sols pour la sécurité alimentaire et le climat» est lancée par l'accord de Paris sur le climat, publié par la Conférence des Nations Unies sur le climat (COP21, 2015) sous l'égide du ministère français de l'Agriculture.

Elle comprend un plan d'action et un programme de recherche dont l'ambition globale est de faire de l'agriculture l'une des solutions à la crise climatique, des nombreux signataires (États, organisations internationales, établissements de recherche, ONG, universités, organisations professionnelles, fondations) ont rejoint l'initiative 4 pour mille dès son lancement. L'étape suivante a été franchie lors de la COP 22 de Marrakech (novembre 2016), avec des engagements concrets des partenaires, le lancement d'opérations de recherche et de développement et la constitution d'un comité scientifique et technique international dont le rôle sera de donner un avis argumenté sur les recherches mises en œuvre. L'objectif de cette initiative internationale est de fournir un cadre scientifique, organisationnel et politique pour que des acteurs divers puissent se saisir de l'importante question de la gestion durable des sols de la planète (**Torquebiau, 2017**).

D'après **Corbeels (2019)** l'hypothèse 4 ‰ est ambitieuse, réalisable et présente l'intérêt d'associer le développement économique et la réduction des gaz à effet de serre (**Lal, 2016**). Son but est d'augmenter le stock de carbone organique du sol (COS) de 0,4 pour cent par an, indiquant que cela compenserait les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (**Lal, 2016; Chabbi et al., 2017; Dignac et al., 2017; Minasny et al., 2017**). Les sols stockent deux à trois fois plus de carbone que l'atmosphère, et la quantité de carbone organique stockée dans le sol est estimée à 2 400 gigatonnes à une profondeur de 2 mètres (**Batjes, 1996**). Ainsi, une légère augmentation ou diminution des stocks de COS a un effet important sur la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (**Schlesinger, 1977**).

L'initiative s'engage à maintenir l'augmentation de la température moyenne mondiale bien en dessous de 2 ° C au-dessus des niveaux préindustriels et se fixe un objectif plus ambitieux de limiter le réchauffement à 1,5 ° C (**Meinshausen et al., 2009; Field et Mach, 2017**).

### 1.3.1 Pourquoi 4 pour 1000?

Chaque année, 30% du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est récupéré par la photosynthèse des plantes. Ensuite, après la mort des plantes, les organismes du sol, tels que les bactéries, les champignons ou les vers de terre, le transforment en matière organique. Cette matière organique des sols riches en carbone est essentielle car elle retient l'eau, l'azote et le phosphore, indispensables à la croissance des plantes. Dans les 30 à 40 premiers cm de sol, 1,2 milliards de tonnes de carbone par an, pourraient être stockées dans les sols agricoles (cultures et prairies) soit un taux annuel de stockage d'environ 4 pour 1000 par rapport à l'horizon de surface du sol (GIEC, 2014).

### 1.3.2 Les objectifs de l'initiative «4 pour 1000»

Par cette contribution, les chercheurs veulent envoyer un signal fort sur le potentiel du secteur agricole à participer à l'objectif de long terme par les actions suivantes :

- Engager les acteurs nationaux et internationaux dans une transition vers une agriculture productive, hautement résiliente, fondée sur une gestion adaptée des terres et des sols, créatrice d'emplois et de revenus et ainsi porteuse de développement durable.
- Contribuer à l'objectif de lutte contre le changement climatique et la sécurité alimentaire.
- Inciter les acteurs à appliquer les pratiques permettant de maintenir ou d'améliorer la teneur en carbone pour un maximum de sols agricoles ou de préserver les sols riches en carbone.
- Chaque partenaire s'engagera sur un objectif, un ou des types d'actions (de la gestion du stock de carbone des sols à d'autres mesures d'accompagnement).

## 1.4 La séquestration du carbone organique du sol

### 1.4.1 Définitions et concepts

Une liste de définitions disponibles dans la littérature, est donnée ci-dessous.

- Définition du Département de l'Energie USA (USDOE) : “La Séquestration du Carbone dans les écosystèmes continentaux est soit le prélèvement net du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère soit l'empêchement d'émissions nettes de CO<sub>2</sub> des écosystèmes terrestres vers l'atmosphère.” (US Département des Énergies, 1999).
- Définition du Département de l'Agriculture (USDA): “ Qu'est-ce que la Séquestration du Carbone? Les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone peuvent être diminuées, par une réduction des émissions, ou par un prélèvement du dioxyde de carbone de l'atmosphère et son stockage dans des écosystèmes océaniques, aquatiques d'eaux douces ou continentaux.” (Bernoux et al., 2004) ;

- Définition du Laboratoire National de Oak Ridge (ORNL): “Du point de vue des écosystèmes continentaux, la Séquestration du Carbone est le prélèvement du dioxyde de carbone de l’atmosphère par un renforcement naturel des processus d’absorption et le stockage du carbone à long terme dans la végétation et les sols. La séquestration du carbone 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» (**Jacobs, 1999**).
- Position de la Société Américaine de Science du Sol (SSSA): “ La Séquestration du Carbone se réfère au stockage de carbone sous une forme solide et stable. La quantité de carbone séquestré sur un site donné reflète le bilan à long terme due aux mécanismes de prélèvement et de largage du carbone” (**SSSA, 2001**).

Donc on peut conclure que la séquestration du carbone organique du sol est un mécanisme par lequel le carbone atmosphérique est fixé et stocké dans le sol grâce aux plantes ou aux résidus organiques.

La séquestration du carbone organique du sol comporte trois étapes:

- prélèvement de CO<sub>2</sub> dans l’atmosphère via la photosynthèse des végétaux.
- transfert de carbone du CO<sub>2</sub> en biomasse végétale.
- transfert du carbone de la biomasse végétale vers le sol dans lequel il est stocké sous forme de carbone organique du sol dans le réservoir le plus instable. (**Lefevre et al., 2017**).

Le carbone nouvellement ajouté peut être stabilisé dans le sol au moyen d’un certain nombre de mécanismes (**Six et al, 2002; Six et al., 2006; Jastrow et al., 2007; Kane, 2015**). Physiquement, le carbone peut être stabilisé par isolation à l’intérieur des micros et macro agrégats du sol d’où il est inaccessible aux organismes du sol. Chimiquement, le carbone peut être fortement fixé aux argiles par liaisons chimiques, ce qui empêche la consommation de carbone par les organismes. Biochimiquement, le carbone peut être ré-synthétisé en des structures moléculaires complexes qui peuvent freiner la décomposition. Ces trois mécanismes dépendent d’un certain nombre de facteurs biotiques, abiotiques et associés à la gestion, qui déterminent l’efficacité de la stabilisation du carbone du sol (**Six et al., 2006; Kane, 2015**).

Dans la majorité de cas, le cycle du carbone et la séquestration du carbone sont plus actifs dans les horizons supérieurs du sol, alors que le carbone stable à un taux de

renouvellement plus long, ce qui signifie qu'une plus grande proportion de carbone organique du sol se trouve dans les horizons de sol plus profonds (**Trumbore, 2009; Rumpel et al., 2012**). En effet, **Beare et al., (2014)** ont estimé que les plus grandes profondeurs de sol avaient une plus grande capacité à stocker du carbone supplémentaire que les horizons supérieurs car il y existe une plus grande différence entre le contenu en carbone organique du sol et la valeur de saturation du carbone organique du sol.

**Lorenz et Lal (2005)** ont estimé que le sous-sol avait le potentiel de stocker 760 à 1520 Gt de carbone supplémentaire. Il faut également signaler que l'adjonction de nouvelles sources de carbone dans les sous-sols doit être effectuée avec précaution car elle risque d'augmenter la minéralisation du carbone organique du sol existant. Néanmoins, augmenter les stocks de carbone organique du sol dans les sous-sols est toujours reconnu comme un moyen prometteur pour assurer une séquestration de carbone considérable dans les sols (**Rumpel et al., 2012**).

### 1.5 Les services écosystémiques rendus par les sols

Le concept de « service écosystémique » vise à mieux faire reconnaître la contribution des écosystèmes au bien-être et à l'activité économique des hommes. Il peut donc contribuer à alimenter ce besoin de reconnaissance qui semble nécessaire pour envisager la protection des sols. Initié dès les années soixante-dix (**Westmann, 1977**), il s'est diffusé largement à partir d'un article fondateur publié en 1987 par deux chercheurs ( **Constanza et Daly, 1987**), qui cherchaient à évaluer la valeur économique des services rendus par la nature. Mais c'est surtout son intégration dans le Millenium Ecosystem Assessment (MEA), commandité par les Nations unies en 2005, qui a rapidement généralisé son emploi : notamment comme fondement de nombreux programmes de recherche actuels sur les sols. Ces services écosystémiques sont regroupés en quatre grandes catégories :

1. les services d'approvisionnement regroupent l'ensemble des productions issues des sols.
2. les services de régulation dérivent à la fois des caractéristiques propres des sols et de leur position particulière à l'interface des autres grands compartiments de la planète Terre (biosphère, lithosphère, hydrosphère). Le sol joue un rôle essentiel de régulation, en quantité et en qualité, des transferts d'eau entre l'atmosphère, les nappes souterraines et les cours d'eau et il assure une fonction de réserve en eau pour les plantes et les organismes du sol.

3. les services culturels et les services d'auto-entretien. Selon la terminologie du Millenium Ecosystem Assessment (MEA) commandité par les Nations unies en 2005 – regroupent l'ensemble des fonctions nécessaires pour la production des autres services: sont ainsi considérés le cycle de l'eau, le cycle des nutriments, la production primaire et la formation des sols (**Walter et al., 2015**) .



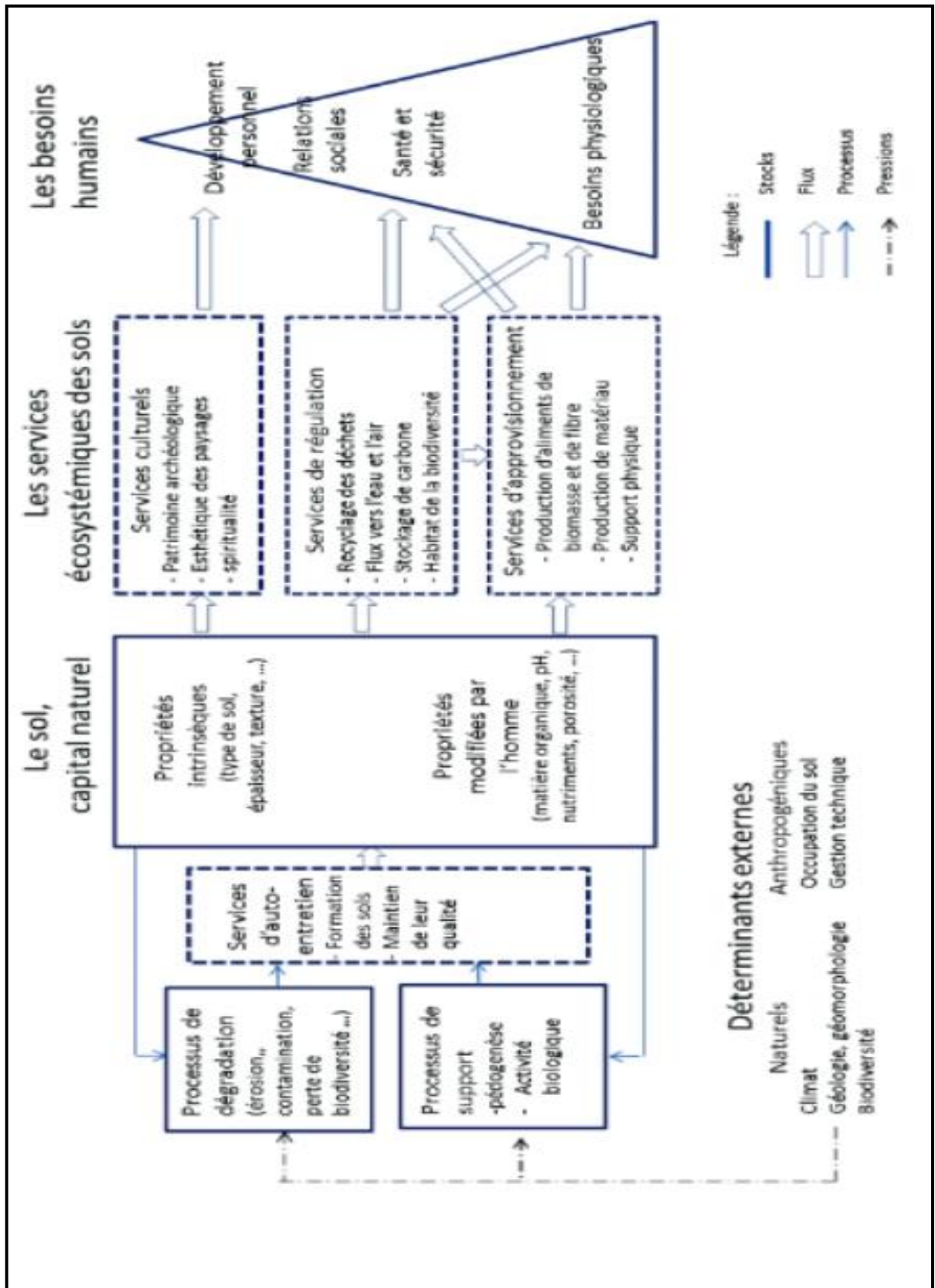


Figure 3. Service écosystémique rendus par les sol et les composantes du bien être humain associées, en fonctions de propriétés du sol (Dominati *al.*, 2010)

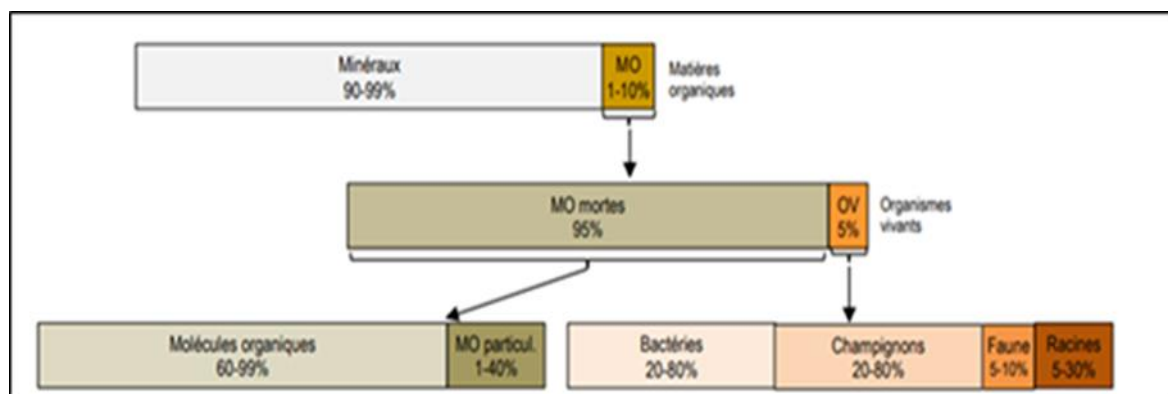
## 1.6 Concept de l'agrosystème

L'agrosystème (écosystème agricole ou terre cultivée) est un système artificiel, créé par l'homme depuis l'invention de l'agriculture, en vue de la satisfaction de ses besoins en produits alimentaires et autres produits de la terre (Nahal, 2006). L'Agriculture oasisienne repose sur la culture de dattier (*Phoenix dactylifera L.*) à laquelle sont associées d'autre culture : maraîchères, arboricoles ou fourragères (Ben Abdellah, 1990).

L'agrosystème palmeraie se caractérise par sa capacité d'atténuer évaporations, la turbulence des vents et la luminosité (Faci et al., 2017).

## 1.7 Matières organiques du sol

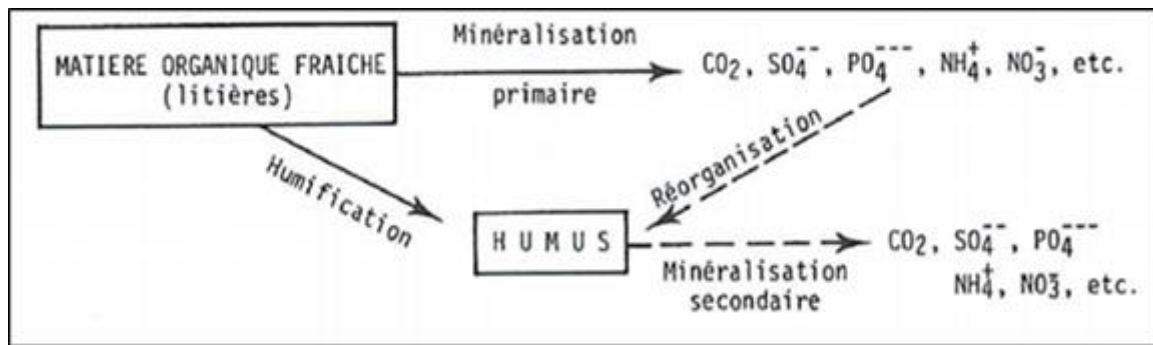
D'après Calvet, (2003), la matière organique du sol (MO) représente tous les composés organiques vivants particuliers et moléculaires, d'origine animale, végétale ou microbienne, présents dans le sol. Dans les sols cultivés, les quantités de matière organique et de carbone organique sont corrélées. Il est admis que la teneur en MO est égale à 1,72 fois celle en carbone organique (Duchaufour, 1984).



**Figure 4. Matière organique du sol : nature et proportions indicative d'après calvet et al., (2010).**

### 1.7.1 La décomposition de matière organique du sol

Une partie de la matière organique fraîche est rapidement minéralisée tandis qu'une autre part est progressivement humifiée (Fig. 05) et reste dans le sol (Falloon et al., 1998). Il existe une hétérogénéité de temps de résidence pour la MOS. En effet si certains composés sont minéralisés en quelques heures, il a déjà été démontré qu'une fraction de la MOS, dite réfractaire, stable ou encore inerte, peut avoir un temps de résidence séculaire voire millénaire ( Trumbore, 1997; Jenkinson et Coleman, 2008).



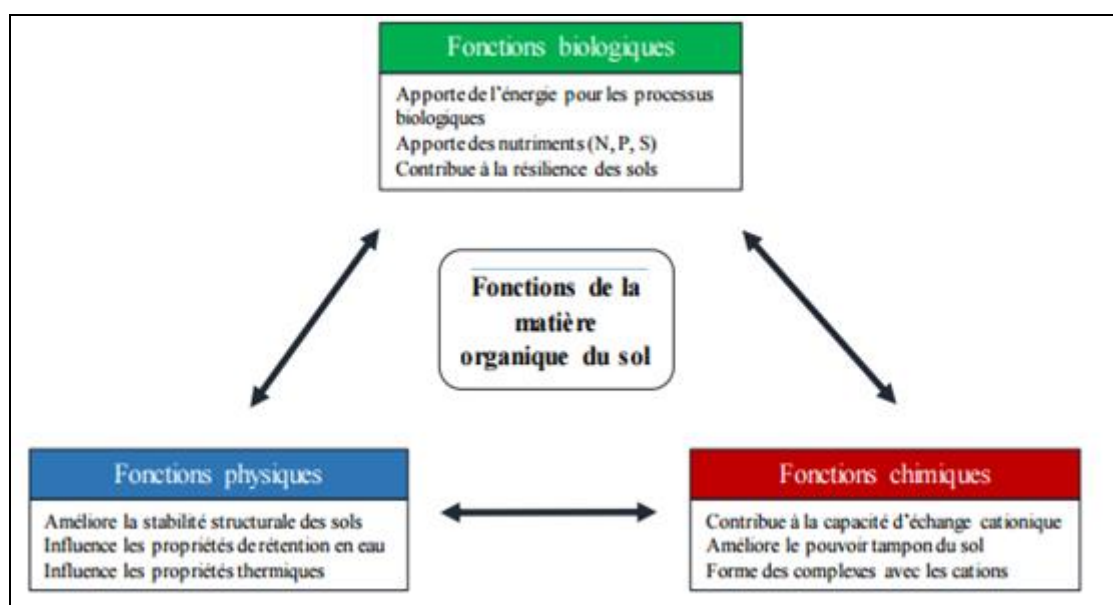
**Figure 5. Décompositions de la matière organique fraîche : minéralisation et humification**

Source : (Duchaufour P., 2001)

**1.7.2. Fonctions de la matière organique du sol**

La matière organique est le composant le plus important du sol (Fig. 06) (Lal, 2014), car elle joue un rôle majeur dans:

- Fertilité physique, favorisant l'agrégation, l'aération, la porosité, la rétention d'eau, la croissance des racines et les échanges gazeux.
- Fertilité chimique : elle a la capacité de tamponner, de réguler le pH, et elle maintient les cations remplaçables et forme une réserve de nutriments.
- Fertilité biologique: elle favorise l'activité microbienne ainsi que l'activité et la diversité des espèces animales et végétales du sol. Ainsi, la diminution de la teneur en MOS affecte la fertilité du sol.
- La MOS comprend en moyenne 58% du COS (Stevenson, 1994).



**Figure 6. Rôle du carbone organique du sol dans la multifonctionnalité des sol** (traduit de Manyowa et *al.*, 2014 ).

### 1.7.3 La matière organique dans les régions arides

Le type de sol constitue un paramètre essentiel qui régit l'humification. En effet, la texture du sol influe sur le taux de matière organique du sol. Si les autres facteurs sont constants; un sol sableux, à titre d'exemple contient moins d'humus qu'un sol argileux (**Pouget, 1980**). Par conséquent, les sols des régions arides sont pauvres en matière organique, pour plusieurs raisons, notamment:

- Les conditions climatiques (hautes températures, faible humidité....) défavorisent l'accumulation de la matière organique. Elle est rapidement décomposée sous l'action des paramètres physiques et chimiques. Ce qui exclut dans la majorité des cas toute intervention microbienne dans le processus de décomposition de la matière organique (**Birch, 1988**).
- L'évolution de la matière organique est influencée par la composition chimique des sols dans les zones arides.
- La faible productivité des agroécosystèmes qu'ils supportent.

### 1.8 Le carbone de la planète Terre

Le carbone est présent sur toute la planète, au sein de 4 grands réservoirs : la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère (**Jacques et Saugier, 2008 ; Cnrs, 2016**). Il peut être organique, c'est-à-dire un élément constitutif de la MOS, mais il peut aussi exister sous forme minérale « carbone inorganique ». C'est l'océan qui représente le plus grand réservoir de carbone, avec 38 000 Gt de C. Presque tout ce carbone existe sous forme inorganique, dissous, largement comme bicarbonates ou ions carbonates, contre environ 100 Gt de C organique. Le réservoir géologique contient quant à lui entre 5 000 et 10 000 Gt de carbone organique, sous forme de charbon, gaz et pétrole (**Lal, 2003 ; Houghton, 2007**). Le sol est le troisième réservoir de carbone, avec une estimation de 1 790 Gt de carbone organique dans le sol ; 950 Gt de carbone inorganique dans le premier mètre de sol et 840 Gt dans les 2 mètres suivants (**Jobbagy et Jackson, 2000 ; Lal, 2004**).

#### 1.8.1 Le Carbone Organique du Sol

La matière organique du sol comporte environ 55 à 60 pour cent de carbone en masse. Dans de nombreux sols, ce carbone comprend la majeure partie ou le stock entier de carbone (désigné comme COS) sauf lorsque des formes inorganiques de C du sol surviennent (**FAO et ITPS, 2015**). Similaire à la MOS, le COS est divisé en plusieurs réservoirs en fonction de sa stabilité physique et chimique (**FAO et ITPS, 2015; O'rourke et al., 2015**) :

- Le réservoir rapide (aussi réservoir labile ou actif) : après addition de carbone organique frais dans le sol, la biomasse initiale est décomposée au bout de 1 à 2 ans.
- Le réservoir intermédiaire : comprend le carbone organique partiellement stabilisé sur des surfaces minérales et/ou protégé au sein d'agrégats après transformation par les microbes. Le temps de renouvellement est de l'ordre de 10 à 100 ans.
- Le réservoir lent (réservoir stable ou réfractaire) : COS hautement stabilisé. Le renouvellement très lent (de 100 à plus de 1 000 ans).

Le concept de réservoir de COS est basé sur la prédisposition du COS à être dégradé par l'activité microbienne. Ce concept traduit les formes des MOS en jeu dans la dynamique de COS et dans sa réponse suite à des changements environnementaux ou face aux différents modes de gestion des sols. La MOS est constituée de matière vivante (biomasse racinaire vivante, macroorganismes, microorganismes) qui peut atteindre jusqu'à 15 % du COS total et de matière organique morte, qui peut représenter jusqu'à 98 % du COS total (**Calvet et al., 2015 ; Shibu et al., 2006**).

### 1.8.2 Les facteurs de contrôle des temps de résidence du carbone dans les sols

Plusieurs facteurs principaux contrôlent le temps de résidence du carbone.

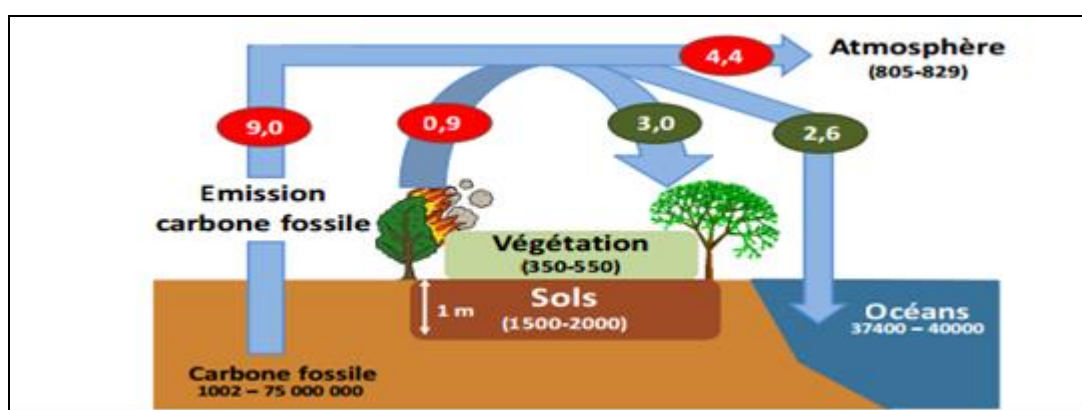
- La nature du C entrant en particulier sa biodégradabilité, a un effet contre-intuitif sur les temps de résidence du carbone. La nature du C affecte le temps moyen de résidence par le jeu des rendements d'utilisation microbienne et l'efficacité d'utilisation du carbone et de l'interaction minérale.
- La température est un facteur majeur, parmi les mieux quantifiés, avec des vitesses de minéralisation multipliées par 2 à 3 pour une augmentation de 10°C, mais un effet dépendant des sols, en particulier de leur granulométrie.
- La teneur en eau du sol augmentant, les vitesses de minéralisation s'accroissent linéairement avec l'humidité jusqu'à un maximum (atteint vers 20 à 50% d'humidité volumique) avec ensuite un plateau puis une décroissance en lien avec le déficit d'oxygène. Les alternances dessiccation-humectation provoquent des accélérations de la minéralisation.
- La pression partielle d'oxygène. En milieu saturé, si le milieu devient anaérobie, les fermentations prennent le pas sur la respiration aérobie, la dégradation des débris lignocellulosiques est ralentie voire stoppée. Les milieux anaérobies sont par ailleurs défavorables aux racines et à l'activité de la faune et des micro-organismes. A l'inverse, on attribue parfois au labour la propriété d'accélérer la biodégradation par "aération" du sol (**Pellerin et al., 2019**).

### 1.8.3 Le carbone organique des sols et son influence dans le bilan de gaz à effet de serre

Selon **Cambou (2018)**, le sol représente le plus grand réservoir continental de COS (**Jacobson et al., 2000**) (Fig. 07). En effet, ce réservoir contient environ 800 Gt C dans les 30 premiers cm de sol, et entre 1500 et 2000 Gt C sur le premier mètre (**Post et al., 1982; Eswaran et al., 1993; Batjes, 1996; Ciais et al., 2014**). Cette dernière valeur est la plus importante par rapport à ce que l'on trouve dans le réservoir atmosphérique (805 gigatonnes de carbone) et à celle de la végétation (550 gigatonnes de carbone) (**Hutton, 2007**).

### 1.8.4 Flux de carbone entre les différents réservoirs, à l'échelle globale

Le stockage de carbone (C) correspond au prélèvement du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère par les plantes et à sa conversion sous forme organique dans les compartiments du sol. La notion de « stockage » ne s'intéresse qu'aux flux de  $\text{CO}_2$ , alors que la « séquestration » du C est un concept plus global, intégrant tous les GES, dont le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ) (**Bernoux et al., 2006**). Le SCOS correspond, à un moment donné, à l'équilibre entre le stockage et le déstockage de COS dans le sol, et ce bilan peut être soit positif soit négatif car il est lié aux modes d'utilisation des terres (**Houghton, 2003**). En effet, une diminution très faible de SCOS dans les 30 premiers centimètres de sol, pourrait annuler la fonction de puits terrestre du sol. Inversement, une augmentation très faible de SCOS dans les premiers centimètres de sol pourrait permettre de compenser l'accroissement annuel de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère (**Bernoux, 2011**). La combustion des énergies fossiles émet  $9,0 \text{ Gt C.an}^{-1}$  dans l'atmosphère, ce qui représente environ 4 ‰ du SCOS, à l'échelle globale ; c'est pourquoi ce chiffre est à l'origine du nom du programme « 4 pour mille » (**Le Quéré et al., 2015 ; Minasny et al., 2017**).



**Figure 7.** Taille moyenne des puits de carbone (GTC) et flux associés  $5 \text{ GT C.an}^{-1}$  entre 2005 et 2014 (d'après Houghton, 2007; Macías et Camps Arbostain, 2010 ; Ciais et al., 2014; Le Quéré et al., 2015)

### **1.9 La différence entre les termes de « matière organique du sol » et de « carbone organique du sol »**

Le Carbone organique du sol (COS) compose environ 50% de matière organique; C'est pourquoi les termes «matière organique du sol» et «carbone organique du sol» sont souvent confondus et utilisés de manière interchangeable dans les textes. En ce qui concerne les questions liées aux stocks biologiques, c'est-à-dire les quantités, par unité de surface (comme les tonnes par hectare), on parle davantage de COS. Pour les sujets intéressés par la qualité ou la fertilité des sols, on parle de MOS, exprimée comme le contenu ou la concentration (en milligrammes de matière organique par gramme de sol). Aujourd'hui, le carbone organique est de plus en plus reconnu et recommandé pour la surveillance de la qualité des sols par le biais de diverses initiatives internationales. Il faut donc faire attention à ce qui est compté: matière organique ou carbone. Il existe un rapport de conversion entre les deux et le rapport (MOS / COS) (**Bernoux et Chevallier, 2013**).

### **1.10 L'effet du travail du sol et le semi-directe sur la séquestration du carbone**

L'agriculture serait responsable de 30% des émissions des gaz à effet de serre dans le monde, dont 25% des émissions de CO<sub>2</sub> et 70% des émissions de NO<sub>2</sub> (**FAO, 2001**). Les systèmes agricoles basés sur le maintien d'un couvert végétal et le non labour du sol stockent plus de carbone, comparé aux quantités que les systèmes utilisant le labour à la charrue. Pendant les premières années de mise en œuvre de l'agriculture de conservation, l'accumulation de la matière organique du sol augmente en raison de la décomposition des racines, et des résidus de cultures qui restent à la surface du sol. La décomposition de la matière organique est lente, et une bonne partie est incorporée dans le profil du sol, conséquemment la libération du carbone dans l'atmosphère est ralentie. Dans le bilan global, le carbone est piégé dans le sol (**Chevrier et Barbier, 2002**). L'agriculture de conservation est dite une «agriculture de carbone ». Elle présente un grand intérêt pour la réduction des émissions des gaz à effets de serre grâce : (i) au stockage du carbone dans la matière organique, (ii) à la réduction de l'érosion, (iii) à la réduction de la consommation des carburants et, à terme, (iv) un recours limité à la fertilisation azotée. Son intérêt pour la prévention des effets désastreux du réchauffement climatique est avéré (**FAO, 2007**).

### **1.11 Les principes fondamentaux de l'agriculture de conservation**

Le système de labour simplifié du sol comprend un gradient continu allant de réduction du nombre de passage d'outils aratoires jusqu'à l'élimination complète de toute action mécanique sur le sol. La perturbation ou la manipulation du sol doit respecter la présence d'un mulch d'au moins 30% de sol couvert et l'élimination de toute action de retournement ou

mixage des horizons. Il s'agit surtout d'utilisation d'outils à dents ou à lames, jusqu'à une situation extrême de zéro-labour ou semis direct (**Mrabet, 2001b**).

Selon **Coufourier (2008)**, on distingue différentes techniques sans labour selon le degré de travail du sol :

*Le décompactage* : Le sol n'est pas retourné mais un travail est réalisé à la même profondeur que le labour, soit sans mélange des horizons (outils à lames obliques ou droites), soit avec mélange des horizons (cultivateurs lourds, on parle alors de pseudo- labour).

*Le déchaumage profond* : Le sol est mélangé sur 10 à 20 cm.

*Le déchaumage superficiel* : Le sol est mélangé sur moins de 10 cm.

*Le semis direct / non-labour* : Le semis direct est une simplification plus poussée du travail du sol, qui consiste à planter une culture sans travail préalable du sol, tout en effectuant une ouverture dans le sol pour déposer la semence à la profondeur souhaitée et ceci afin d'assurer à la graine les conditions les plus favorables, à la germination, à la levée et à la croissance pour obtenir les rendements escomptés. Cette simplification du travail se caractérise par une absence totale d'un outil aratoire (**Mrabet, 2001a**). D'après **Benites et Ashburner (2001)**, le semis direct est un facteur essentiel de l'agriculture de conservation. Cependant, la présence d'un couvert végétal permanent et les cultures présentes dans la rotation doivent être absolument compatibles à cette technique d'implantation.

Le semis direct est plus qu'une technique c'est un système, il est basé sur quatre principes :

- La suppression totale du travail du sol y compris le labour.
- La couverture permanente du sol par des résidus de récolte.
- Le semis avec un semoir spécial à travers cette couverture de résidus.
- Le contrôle des mauvaises herbes par des herbicides.

Sous-systèmes classique les mauvaises herbes sont maîtrisées par des labours, mais aussi avec des herbicides. Toutefois, en semis direct, seul l'option chimique, intégrée à la pratique de la rotation des variétés compétitives, est possible (**Mrabet, 2001b**).

### **1.11.1 Les avantages de l'agriculture de conservation et du semis direct**

#### **➤ Sur la matière organique du sol**

Le travail du sol en modifiant la répartition et parfois la quantité de résidus de cultures retournées au sol, affecte également la qualité des MOS. Ainsi, les systèmes de conservation ont une plus grande part de MOS (**Franzluebbbers et Arshad, 1997**) que les sols labourés en raison notamment de la protection physique des MOS qui protège la MOS de l'activité microbienne dans les systèmes de conservation (**Balesdent et al., 2000 ; Six et al., 2000**).



D'après **Campbell et al., 1996**, les zones semi-arides où la décomposition de la MOS est influencée par les conditions de sécheresse, l'adoption du non labour réduit l'évaporation et par conséquent les pertes en eau, améliore les rendements et favorise l'accumulation de la MOS par l'incorporation des résidus de récolte.

➤ **Sur La teneur en carbone total et azote total**

D'après **Daroui (2018)** les concentrations en carbone et en azote organique dans les systèmes de conservation sont en général supérieures dans les 10 premiers centimètres du sol par rapport à un sol labouré et décroissent fortement dans les horizons sous-jacents (**Needelman et al., 1999 ; Pekrun et al., 2003 ; Al-Kaisi et Yin, 2005 ; Koch et Stockfish, 2006 ; Gál et al., 2007 ; D'haene et al., 2008**). Certains auteurs montrent même que malgré une concentration en carbone total et azote total plus importante en profondeur en labour (15-30 cm), les stocks de C-tot et N-tot sont supérieurs en semis direct du fait de l'augmentation de la densité apparente de cette couche de sol (**Gál et al., 2007**). Cette stratification verticale des stocks de C-tot et N-tot engendrée par les techniques de conservation se fait rapidement après leur adoption et les principaux changements apparaissent au cours des 3 premières années de leur application (**McCarty et al., 1998 ; Ahl et al., 1999**). Néanmoins, l'augmentation des stocks de C-tot et N-tot n'est que transitoire, car le gain obtenu après quelques années d'adoption des techniques de conservation peut être perdu lorsque le sol est labouré de nouveau (**Koch et Stockfish, 2006 ; Conant et al., 2007**). Cette augmentation dépend aussi du type de texture du sol et semble moins importante voire nulle dans les sols sableux (**McCarty et al., 1998 ; Pekrun et al., 2003**).

Par ailleurs, certains auteurs relèvent l'importance de la méthode d'échantillonnage dans l'estimation de ces stocks. En effet, si globalement les techniques de conservation stockent plus de MOS sur 0-30 cm, il apparaît que le stock de MOS est supérieur en dessous de 30 cm dans les sols labourés (**Pekrun et al., 2003 ; Baker et al., 2007 ; Gál et al., 2007**) ce qui contribue à surestimer la capacité des techniques de conservation à augmenter le stockage du Carbone totale dans les sols.

Le rapport C/N de la MOS dans les systèmes de conservation est en général supérieur à celui des systèmes labourés en surface là où les résidus de culture s'accumulent, et peu de différences apparaissent en deçà (**McCarty et al., 1998**).

### **1.12 Conséquences et impacts principaux de la séquestration du carbone**

La séquestration du carbone et l'augmentation de la matière organique du sol auront un impact direct sur plusieurs plans. On distingue:

➤ **Qualité du sol et fertilité**

La matière organique a des fonctions biologiques, physiques et chimiques de base dans le sol. Par conséquent, la teneur en matière organique est l'un des principaux indicateurs de la qualité des sols, tant pour l'agriculture que pour les fonctions environnementales.

➤ **Impacts sur l'environnement**

La séquestration du carbone dans les sols agricoles peut réduire de façon significative les émissions du gaz à effet de serre. Limite le processus de désertification. Elle joue un rôle dans l'augmentation de la matière organique, la stabilité structurale et la rétention d'eau.

La matière organique augmente la qualité du sol et protège aussi l'environnement par la fixation des polluants (tant organiques comme les pesticides, que minéraux, comme les métaux lourds ou l'aluminium) (**Robert et al., 2002**) et ils contribuent à fourniture d'éléments minéraux aux plantes, amélioration de la qualité physique des sols accroissant le potentiel de production, et à la société (réduction de certaines pollutions ou de l'érosion). Ces propriétés et fonctions du C, décrites ici pour les agroécosystèmes, sont valables pour tous les écosystèmes terrestres (**Pellerin et al., 2019**).

➤ **Avantages pour les agriculteurs**

La conservation du sol et la prévention de sa dégradation sont de plus en plus perçues comme des avantages concrets. La matière organique du sol équivaut également à une certaine quantité de nutriments et retiendra l'eau supplémentaire. En termes de labour et de semis direct, les agriculteurs peuvent économiser du temps de travail, de l'énergie et des coûts d'équipement: ce sont les avantages directs qui peuvent être évalués. Les agriculteurs devront dans tous les cas lutter contre les ravageurs, mais avec une meilleure qualité du sol. On, peut s'attendre à ce que les cultures soient généralement plus saines et plus résistantes. Des systèmes agroforestiers bien gérés peuvent être économiquement viables. Certains exemples sont connus comme le café, le cacao, le poivre, les arbres fruitiers ou les palmiers (**Robert et al., 2002**).

## 1.13 Généralité sur le palmier dattier

### 1.13.1 Introduction

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera L*) provient du mot « Phœnix » qui signifie dattier chez les phéniciens et dactylifera dérive du terme grec « dactylos » signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (**Djerbi, 1994**). C'est une espèce dioïque, monocotylédone, appartenant à la famille des Arecaceae qui compte environ 235 genres et 4000 espèces (**Munier, 1973**).

Le palmier est une composante essentielle de l'écosystème oasien (**Toutain, 1979**), grâce à sa remarquable adaptation aux conditions climatiques, la haute valeur nutritive de ses fruits, les multiples utilisations de ses produits (**Bousdira et al., 2003 et Bakkaye, 2006**) et sa morphologie favorisant d'autres cultures sous-jacentes (**El Homaizi et al., 2002**). Comme toutes les espèces du genre Phoenix, il existe des arbres mâles appelés communément dokkars ou pollinisateurs et des arbres femelles Nakhla (**Chaibi, 2002**). C'est une espèce arborescente connue pour son adaptation aux conditions climatiques trop sévères des régions chaudes et sèches (**Bouguederi et al., 1994**). Le palmier dattier commence à produire les fruits à un âge moyen de cinq années, et continue la production de 400-600 kg/arbre/an pour plus de 60 ans (**Imad et al., 1995**).

### 1.13.2 La phoeniculture en Algérie

La culture du palmier dattier occupe toutes les régions situées sous l'Atlas saharien (Fig.8), soit 60000 ha depuis la frontière marocaine à l'Ouest jusqu'à la frontière Est tuniso-lybienne. Du Nord au Sud du pays, elle s'étend depuis la limite Sud de l'Atlas saharien jusqu'à Reggane, Tamanrasset, au Centre et Djanet à l'Est.

Les principales régions productrices sont celles de l'Est, indemnes de Bayoud et qui concentrent toute la production de la variété Déglet-Nour, avec principalement les palmeraies de l'Oued Righ, de Ziban, d'Oued Souf, de la cuvette de Ouargla et du M'zab. A l'Ouest, ce sont les palmeraies de l'Oued Saoura, du Touat, du Gourara et du Tidikelt (**Bouguedoura, 1991**).

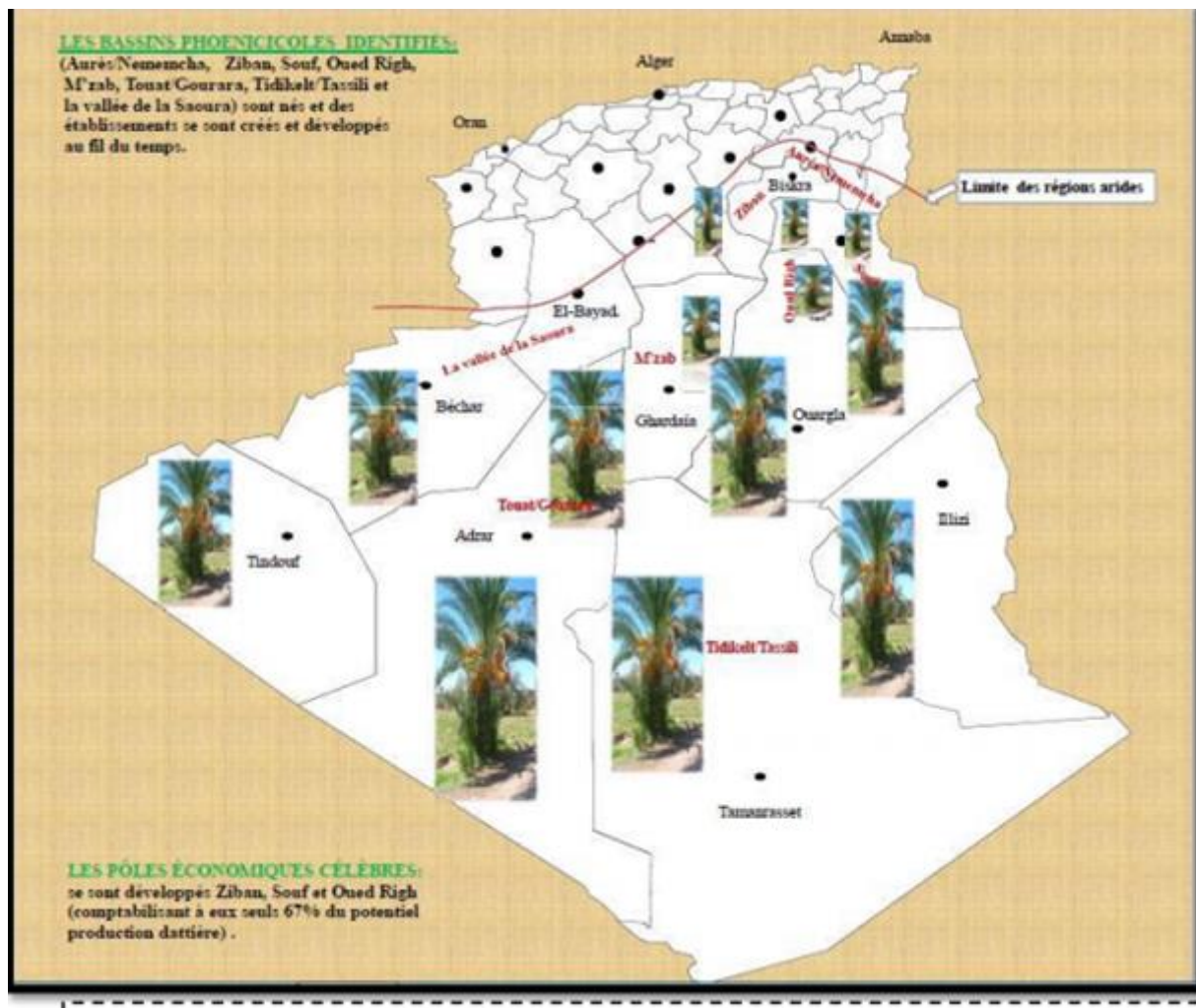


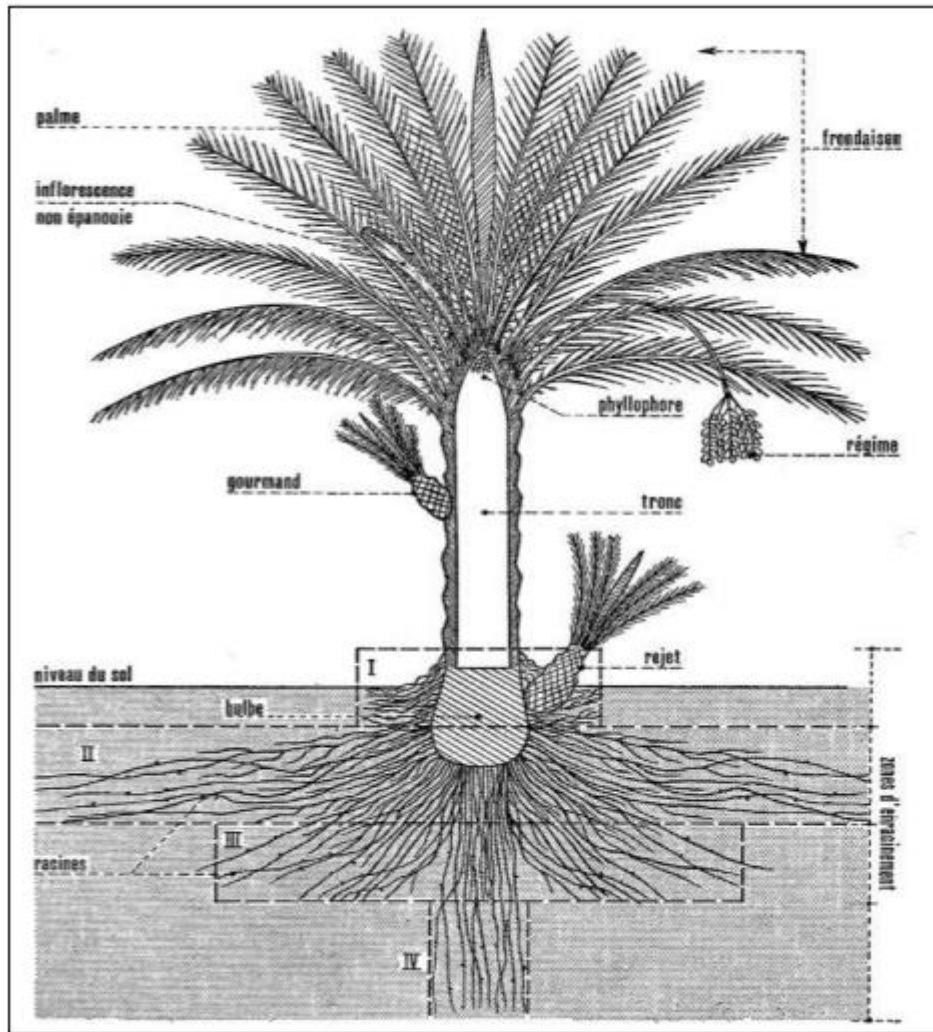
Figure 8. Répartition du palmier dattier en Algérie (C.R.S.T.R.A ,2014).

## 1.14 Morphologie

### 1.14.1 Système racinaire

Selon **Munier (1973)**, le système racinaire ne comporte pas de ramifications. Il présente, en fonction de la profondeur quatre zones (Fig. 09) :

- Racines respiratoire, à moins de 0,25 m de profondeur ; qui peuvent émerger du sol.
- Racines de nutrition, se trouvent à une profondeur pouvant aller de 0,30 à 1,20 m.
- Racines d'absorption qui rejoignent le niveau phréatique.
- Racines d'absorption de profondeur, caractérisées par un géotropisme positif très accentué. Elles peuvent atteindre une profondeur de 20 m.



**Figure 9. Descriptions morphologique du palmier dattier (Munier ,1973).**

(I: racines respiratoires, II: racines de nutrition, III: racine d'absorption, V: racine du faisceau pivotant)

### 1.14.2 Système végétatif aérien

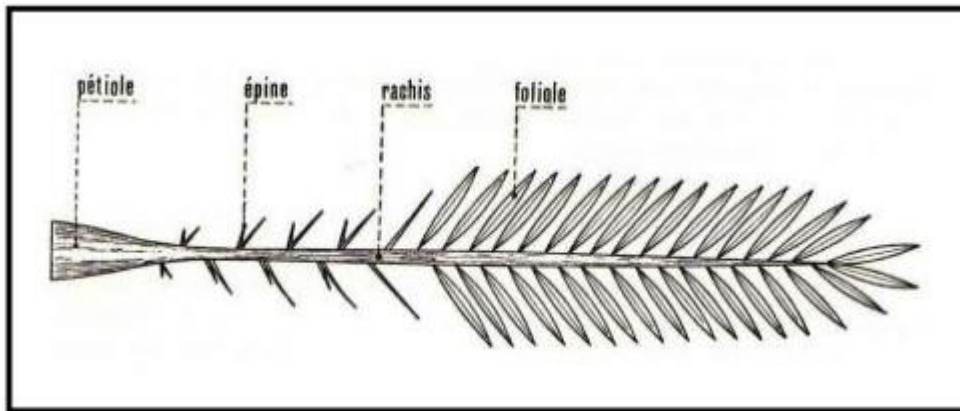
#### 1.14.2.1 Tronc (stipe)

Le palmier dattier est une plante arborescente, à tronc monopodique est généralement cylindrique. Il est toutefois tronconique chez certaines variétés. Il porte les palmes qui sont des feuilles composées et pennées issues du bourgeon terminal. La longueur moyenne du stipe est de 10 mètres (Munier, 1973).

#### 1.14.2.2 Palmes

La palme ou « Djérid » est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis qui s'étend au pétiole. Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues. Le pétiole

(Kornaf) est dur et relativement rigide. Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de palmes à partir de bourgeon et perd entre 10 à 20 feuilles. Une palme vit entre 3 et 7 ans. (Fig. 10) (Munier, 1973).



**Figure 10. Palme du dattier** (Munier, 1973).

### 1.14.2.3 Organes floraux

Le palmier dattier étant dioïque, les fleurs mâles et femelles sont portées par des individus différents, il est nécessaire d'attendre 6 à 8 ans l'induction des premières floraisons pour connaître le sexe des plantes (Aberlenc et bertossi, 2012). La différenciation morphologique entre ces organes est extrêmement précoce ; puisque celle-ci est déjà marquée lorsque l'inflorescence ne mesure que 10 mm de longueur, avant même que n'intervienne la différenciation sexuelle des fleurs (Daher, 2010).

#### 1.14.2.3.1 Fruit ou Datte

La datte est une baie, composée d'un mésocarpe charnu protégé par un fin péricarpe. L'endocarpe se présente sous la forme d'une membrane très fine entourant la graine, appelée communément noyau. La datte provient du développement d'un carpelle après la fécondation de l'ovule, la nouaison se produit et le fruit évolue en changeant de taille, de poids, de couleur et de consistance (Munier, 1973).

Le cycle biologique du palmier permet aux agriculteurs d'une part, d'intervenir aux moments opportuns, pour améliorer la production par les pratiques et les soins culturaux, de mieux gérer leurs vergers phœnicicoles (Sedra, 2003). Selon Belguedj (2002), le palmier dattier en Algérie comporte généralement quatre phases :

- a- Phase juvénile: croissance et développement (5 – 7ans).
- b- Phase jeune : période d'entrée en production (30 ans).
- c- Phase adulte : début de décroissance de production (60ans).

d- Phase de sénescence : chute de la production (80 ans et plus).

Le cycle végétatif du palmier dattier adulte comprend en général deux périodes :

a- Période de repos végétatif : cette phase dure généralement deux mois, décembre et janvier.

Lors de cette période il y a accumulation des réserves de synthèses.

b- Période d'activité végétative qui se décompose en quatre étapes correspondant à la floraison, la fécondation, la nouaison et la maturité des fruits. Ces différentes étapes sont en partie affectées par les composantes du climat, notamment les précipitations et les températures. Le cycle végétatif varie avec le milieu, les conditions culturales, les cultivars et parfois avec l'âge des palmiers (El-Houmaizi, 2002).

### 1.15 Exigences écologiques du palmier dattier

- **Exigences climatiques**

Le palmier dattier est cultivé dans les régions arides et semi-arides, chaudes du globe. Ces régions sont caractérisées par des étés chauds et longs, une pluviométrie faible ou nulle et un degré hygrométrique faible (Djerbi, 1994).

- **Exigences édaphiques**

Le palmier dattier est cultivé sur des sols ingrats, mais aussi sur de bonnes terres, depuis les sables presque purs jusqu'aux sols, à forte teneur en argile (Toutain, 1979).

- **Exigences hydriques**

Malgré que le palmier dattier soit cultivé dans les régions les plus chaudes et les plus sèches du globe, il est toujours localisé aux endroits où les ressources hydriques du sol sont suffisantes pour subvenir à ses besoins au niveau des racines (Bougedoura, 1991).

- **Exigences nutritionnelles**

La production du palmier-dattier ne dépend pas uniquement l'alimentation en eau.

L'azote est l'un des facteurs les plus importants de la croissance et du rendement (Tab. 01) (Gilles, 2000).

**Tableau 1. Liste de référence des besoins annuels en macroélément, en kilo par arbre, selon la quantité de dattes produite par arbre ; d'après Toutain (1979) in peyron (2000).**

Productions (kg)	Azote (N) (g)	Acide phosphorique (P) (g)	Potasse (K) (g)
40	0,6	0,08	0,26
60	1	0,14	0,43
80	1,6	0,23	0,69
90	1,8	0,26	0,78
100	2	0,28	0,87

- **Apport de fumier**

Rien ne remplace la fumure organique et les cultures fixatrices d'azote sous-jacentes, que ce soit au profit de la croissance ou de la production du dattier. Dans la plupart des palmeraies, on utilise le fumier de ferme ou domestique, compost, déjections diverses et culture de légumineuses fixatrices d'azote luzerne, trèfle d'Alexandrie (Gilles, 2000).

L'application se fait en trois fois : juste après la récolte (reprise végétative intense et formations des nouvelles inflorescences) ; à la fécondation (formations des fruits) ; au début de l'été (croissance des fruits) (Gilles, 2000).

### **1.16 La fertilisation du palmier dattier**

La fertilisation du palmier dattier a un grand effet sur l'amélioration de la production, en quantité et en qualité. Elle permet au palmier dattier d'être en bonne santé ; ce qui lui donne une bonne résistance contre les attaques par les maladies et les ravageurs (Ibrahim, 1998).

### **1.17 Toilettage du palmier**

Il consiste à éliminer des palmes sèches, généralement au moment de la pollinisation, avec la taille des bases pétiolaires ; l'arrachage du lif et des restes des spathes, hampes florales, ainsi que des gourmands qui se trouvent sur le stipe. Cette opération permet d'écarter les ravageurs qui causent des dégâts importants sur la production : Boufaroua et Ver de la datte (I.N.P.V, 2011).



Le calendrier annuel des opérations culturales du palmier dattier sont récapitulées ci-après.

**Tableau 2. Calendrier cultural annuel du palmier dattier (I.T.D.A.S, 2007)**

Opérations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Travaux du sol			×									×
Confections des planches												×
curage des drains						×	×					
épandage du fumier	×											×
épandage d'engrais		×			×	×						
pollinisations		×	×	×								
limitations-ciselage						×	×					
fixations des régimes						×	×					
lutte contre boufaroua						×	×					
	100g de sulfate - 200 g de chaux - viticole / p / an											
lutte contre adventices				×	×							
Elagage							×	×				
lutte contre Myélois							×	×	×			
	100g de parathion - 100 g de chaux - viticole/p/ an											
ensachage								×	×			
Récolte								×	×	×	×	×
Toilettage											×	×
Irrigations	Submersion											
	1 fois/ 20j				1 fois / 4 j				1 fois / 20j			

### 1.18 Utilisations générales

Il existe plusieurs utilisations des sous-produits de cet arbre.

#### 1.18.1 Les palmes

Les feuilles du Phoenix-dactylifera sont utilisées comme clôtures, pour faire des toitures, des murs de petite maison.



**Figure 11. Des palmes en lutte contre la désertification et en clôture des parcelles oasiennes**

La base des palmes sèches sont localement utilisées aux cuisines comme bois de chauffe et de chauffage domestique.

#### 1.19 Exploitation des sous-produits oasiens par compostage

L'utilisation du compost (palme, kornafs, liff, ...etc) améliore la fertilisation et enrichi le sol par une amélioration de la nutrition minérale en azote, phosphore, potassium et certains oligoéléments (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, Cl) (Shammas et Wang, 2007), et agit aussi directement sur la structure du sol. Il augmente la capacité de rétention en de l'eau jusqu'à 3-5% et la résistance à la sécheresse des sols sablonneux tout en augmentant la porosité, les échanges gazeux et le drainage des sols argileux (Hoog, 2004).

Les palmes sèches constituent une source importante de matière organique traditionnellement perdue par brûlage ou vente pouvant pallier au déficit accru en fumier dans les oasis (Bchini et al., 2002).

## **Chapitre 2. Présentation de la région d'étude**

## Présentation de la cuvette de Ouargla

### 2.1.1 Situation géographique

La cuvette de Ouargla est située dans la wilaya de Ouargla. Elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Aïn El Beïda et Sidi Khouiled.

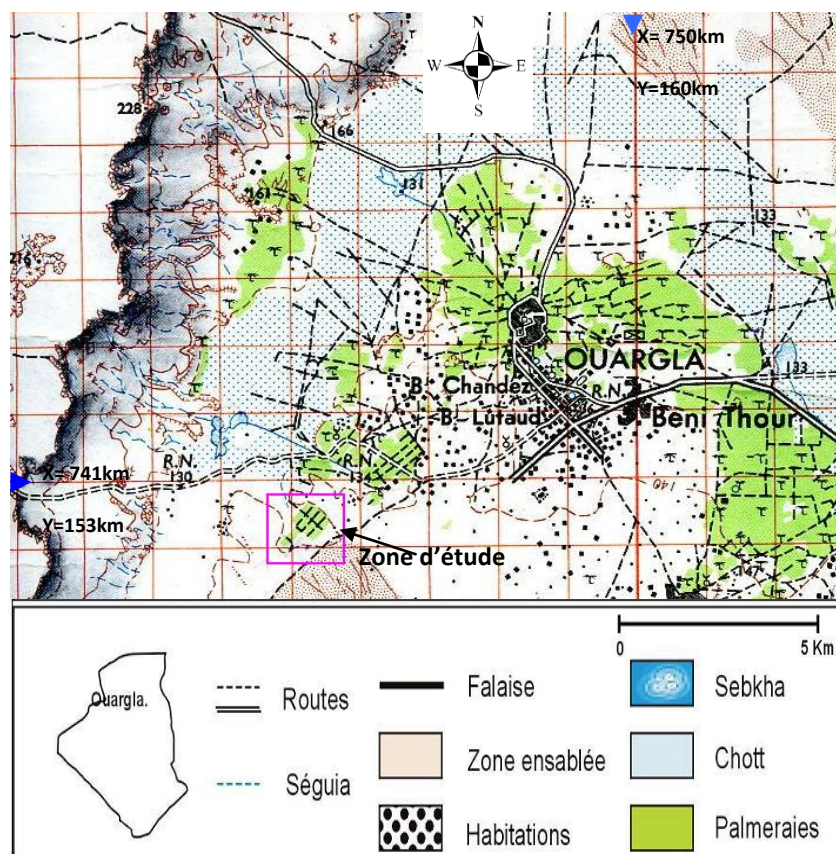


Figure 12. Carte topographique de la cuvette de Ouargla (I.G.N.1960)

Elle présente une superficie totale de l'ordre de 95000 ha qui s'étend entre les coordonnées UTM de Clarke 1880 suivantes:

X = 710000 m ; Y = 3530000 m

X = 730000 m ; Y = 3600000 m

### 2.2 Climat

Le climat de Ouargla est un climat particulièrement contrasté. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air (**Rouvilleis-Brigol, 1975**).

**Tableau 3. Données climatologiques de Ouargla de la décennie 2008-2018**

Mois	Températures (°C)			Humidité		Vitesse du vent (m/s)	Précipitation (mm)	Évapotranspiration en (mm)	insolation (heure)
	T min	T Max	Moyenne	Min %	Max %				
Janvier	5,8	21,4	13,6	37,9	85,8	8,9	8,5	105,4	273,8
Février	7,6	23,3	15,5	30,9	75,9	9,9	3,7	134,4	262,3
Mars	11,8	28,3	20,1	25,2	68,3	10,6	5,2	201,7	293,1
Avril	16,9	34	25,5	20,9	58,3	11,3	1,5	260,5	315,4
Mai	22,1	38,9	30,5	18,1	50	11,6	2,1	335	340,6
Juin	27,2	44,3	35,8	16,5	44,4	11	0,8	395,5	258,5
Juillet	31	48,5	39,8	14,3	37	9,8	0,4	490	348,2
Août	30	46,8	38,4	16,4	43,6	9,8	0,4	420,3	372,3
Septembre	26	42	34	22	57,4	10,1	6,3	298	292,4
Octobre	19	34,8	26,9	27,2	67,6	8,8	6,2	225,1	291,7
Novembre	11,4	27	19,2	33,9	80,9	8	2,8	135,9	274,3
Décembre	6,4	22	14,2	39,7	88,7	7,7	3,8	94	258,2
Moyenne Cumul annuel	17,9	34,2	26,1	25,2	63,2	9,8	3,5 41,7	258	298,4 3580,8

### 2.2.1 Températures

La région de Ouargla est caractérisée par de faibles températures hivernales et des températures estivales élevées. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 26° C, avec un maximum en juillet de 39,8°, et un minimum en janvier de 13,6°C (Tab. 3).

### 2.2.2 Précipitations

Les précipitations sont très rares et irrégulières (irrégularités mensuelles et annuelles), avec un maximum au mois de janvier de 8,5 mm. Le cumul des précipitations moyennes annuelles sur 10 ans (2008-2018) est de 41,7 mm (Tab. 3).

### 2.2.3 Vents

Les vents dans la région de Ouargla soufflent pendant toute l'année avec des vitesses variables, allant de 07,7 m/s en décembre à 11,6 m/s en mai (Tab. 3). Les vents de la région de Ouargla sont souvent derrière une érosion éolienne.

### 2.2.4 Humidité relative de l'air

L'humidité relative est le rapport de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la quantité de vapeur d'eau maximale possible. Plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'eau sous forme vapeur. Donc l'humidité relative d'une masse d'air varie avec la température de l'air. L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 37% en juillet, et

atteignant un maximum de 88,7% au mois de décembre, avec une moyenne maximale annuelle de 63,2% (Tab. 3).

### 2.2.5 Evaporation

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation importante avec une moyenne annuelle de 258mm, un maximum mensuel de 490 mm en juillet et un minimum mensuel de 93,9 mm en décembre (Tab. 3).

### 2.2.6 L'insolation

La radiation solaire est très importante à Ouargla durant toute l'année. La durée moyenne annuelle d'insolation est d'environ 298 heures avec un maximum d'environ 372 heures en août et un minimum de 258 heures en décembre. Cette forte insolation est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne, mais en revanche elle a un effet desséchant (Tab. 3).

## 2.3 Classification bioclimatique

Nous avons utilisé le diagramme ombrothermique de Gaussen pour caractériser le climat de la région de Ouargla.

Le diagramme Ombrothermique de **Gaussen (1953)** consiste à placer en abscisse les mois, en ordonnée les températures (à gauche) et les précipitations (à droite) avec l'échelle  $P \text{ (mm)} = 2T \text{ (}^\circ\text{C)}$ .

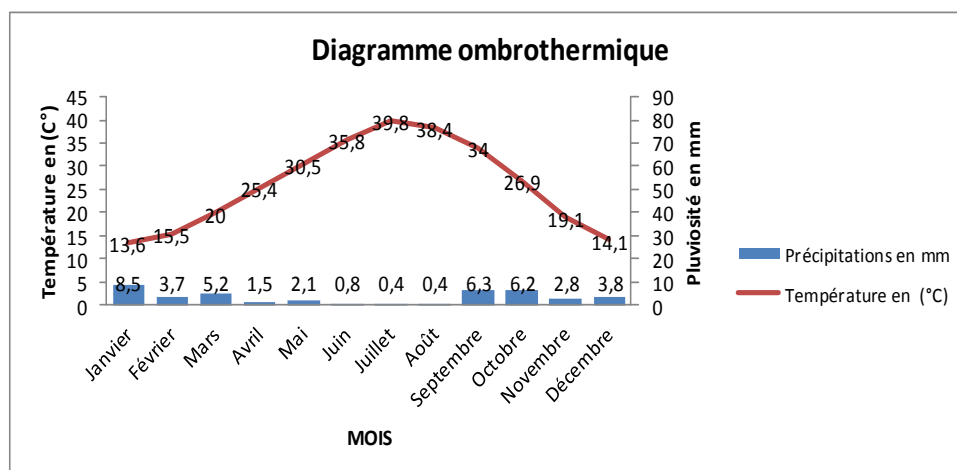


Figure 13. Diagramme de Gaussen de Ouargla (2008-2018)

Le diagramme ombrothermique de Gaussen (Fig. 13) montre que la période sèche à Ouargla s'étale sur toute l'année.

## 2.4 Géologie de la région

La géologie de la région se caractérise par des formations sédimentaires qui se sont accumulées avec le temps dans la cuvette, notamment le Continental Intercalaire qui repose

sur un substratum correspondant à la série imperméable du Cénomaniens argileux. La superposition de la couche résistante, calcaire du Turonien, sur les assises tendres du Cénomaniens donne des formes plus rigoureuses aux extrémités du plateau. Au Tertiaire, la mer se retirant définitivement, a laissé des bras de mer, lagune et lacs.

Le Mio-Pliocène repose, quant à lui, en discordance sur le sénonien. Il est constitué d'une alternance d'argiles et de sables. Le quaternaire se caractérise par des affleurements d'alluvions récents et des dépôts sableux (Khouldi, 2016).

## 2.5 Hydrogéologie de la région

La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines de ces couches, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts sont sans couverture étanche. Elles permettent la formation de nappes phréatiques (Berkal, 2016).

### 2.5.1 La nappe phréatique

La nappe phréatique superficielle est épaisse de 1 à 8 m ou plus. Elle se caractérise par une conductivité électrique très forte qui traduit une minéralisation excessive de ses eaux. Le faciès géochimique dominant est chloruré sodique (Berkal, 2016).

### 2.5.2 Les nappes du Complexe Terminal

Les formations du Complexe Terminal sont très hétérogènes. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 mètres. Les salures sont de l'ordre de 3 à 7 g/l (3 à environ 12 mS.cm<sup>-1</sup>) selon l'UNESCO (1972) alors que Nezli (2009) distingue une conductivité électrique mesurée en 2007 de l'ordre de 5 mS.cm<sup>-1</sup> pour le Mio-Pliocène et 4 mS.cm<sup>-1</sup> pour le Sénonien (Berkal, 2016).

### 2.5.3 Le Continental Intercalaire

Ce système hydrologique souvent appelé « nappe albienne » est constituée de grès fins. A Ouargla, le Continental Intercalaire est exploité entre 1150 m et 1350 m de profondeur. Le débit total exploité (Algérie, Tunisie et Libye) atteint les 950 millions de m<sup>3</sup>/an. La conductivité électrique de ses eaux est de 3,4 mS.cm<sup>-1</sup> (Khouldi, 2016).

## 2.6 Géomorphologie

La cuvette de Ouargla ainsi que l'ensemble du Bas-Sahara est constitué de formations sédimentaires (Hamdi Aissa, 2001).

### 2.6.1 Les plateaux

La région de Ouargla se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'oued M'ya. Cette dernière est mise en évidence par une dissymétrie marquée par la présence d'u

ne falaise gréseuse occidentale (le Baten), particulièrement nette et continue, avec une pente très abrupte, tandis que la limite orientale est imprécise (Nezli, 2004).

A l'Ouest, la vallée est limitée par le plateau de la Hamada Pliocène de 200 à 250m d'altitude, appelé localement « plateau des Gantra ». Il s'abaisse dans le paysage une série de buttes témoins (Hamdi Aissa, 2001).

### 2.6.2 Les glacis

Sur le versant Ouest de Ouargla s'étagent des glacis caractéristiques, du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux de 200 à 140 mètres. Les glacis de 180 et de 160 m très visibles se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce substrat est faible, est souvent recouverte de sables et de graviers (Nezli, 2004).

### 2.6.3 Les chotts et sebkhas

Les formations Quaternaires occupent généralement les points bas des grands bassins sédimentaires et forment des zones appelées en terme arabe "sebkhas" et "chotts". Une sebkha désigne un bas fond fermé et stérilisé par l'accumulation des sels, tandis qu'un chott, est une zone plus étendue entourant une sebkha. Ce sont donc des surfaces d'évaporation et d'exutoire dans lesquelles aboutissent des cours d'eau (Nezli, 2004).

Le niveau le plus bas de la vallée de l'Oued M'ya est un très vaste glacis, il constitue un chott dans lequel s'encaisse l'immense sebkha de Ouargla en forme de croissant qui entoure la ville. (Nezli, 2004).

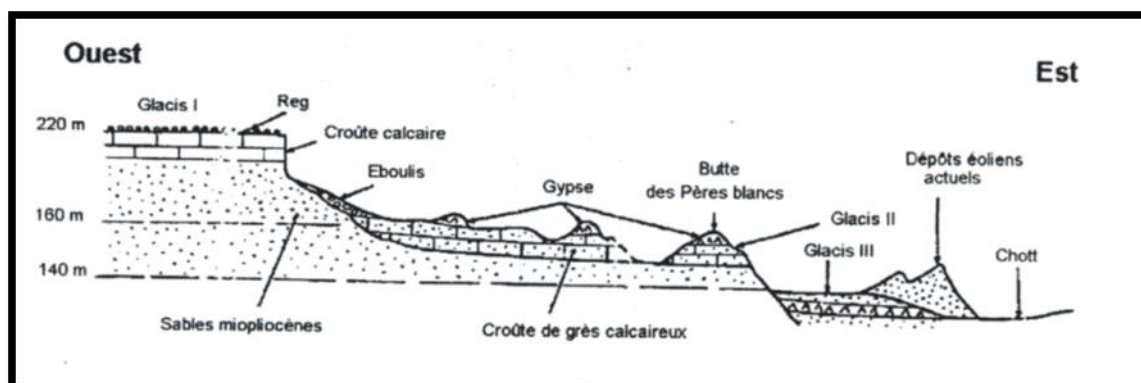


Figure 14. Coupe géomorphologique schématique de la Vallée de l'oued M'ya d'après le lièvre (1969) (in Nezli 2004).



### 2.7 Pédologie

Selon **Daoud et Halitim (1994)**, la région de Ouargla se caractérise par une grande hétérogénéité de sols représentés par les Leptosols (yermic), les Arenosol aridic, les Stagnosols, Gleysols, les Solonchaks et par les Gypsisols.

Dans le Sahara septentrional algérien, on trouve des sols dénudés par des vents violents laissant sur place des concentrations de matériaux grossiers d'ablation (reg) ou hamada. Cet important agent morphogénétique qui est le vent, transporte les particules fines issues de l'altération mécanique des roches (fragmentation et ablation) pour former de vastes couvertures sableuses et des champs de dunes (erg).

La présence d'une nappe salée fluctuante combinée avec une irrigation mal contrôlée aggravée par un climat très évaporant conduit à la formation et à l'extension de sols salins et salin sodiques, avec parfois des encroûtements gypseux.

Dans la cuvette de Ouargla, les sols sablo-limoneux sont généralement plus siliceux en surface en raison de l'entraînement du gypse dissous vers les horizons profonds du sol. La concentration maximum en gypse se rencontre à environs 20 cm de profondeur passant vers le bas à un sol plus siliceux (**Berkal, 2016**).

## **Chapitre 3. Protocole Expérimental**

### 3. Présentation du site expérimental

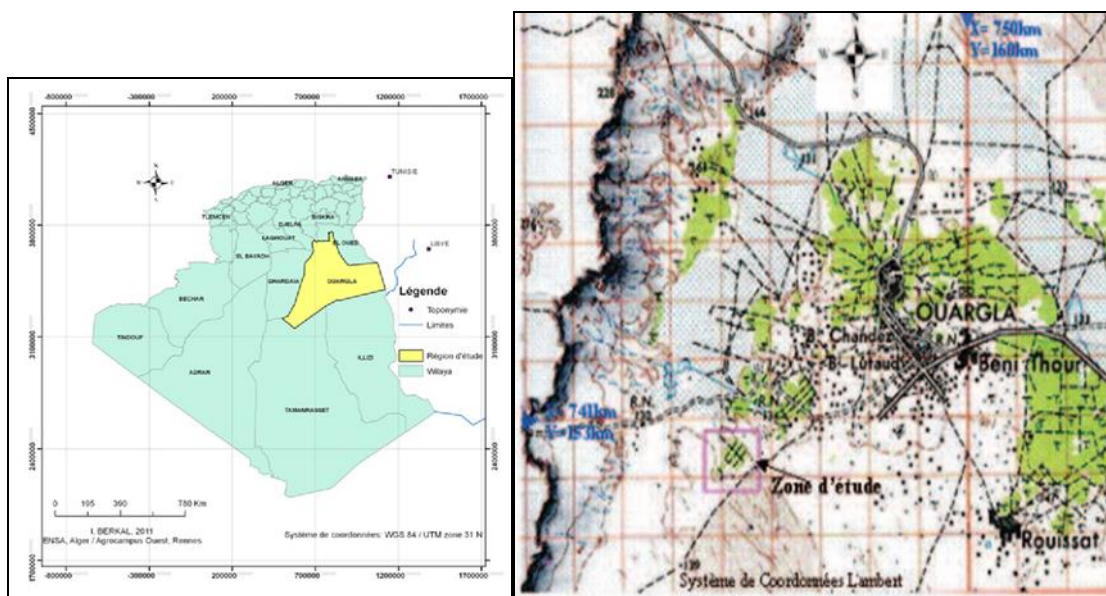
#### 3.1 Choix de la palmeraie

Nous avons choisi l'exploitation de l'université de Ouargla pour la réalisation de cette étude. C'est une palmeraie de la cuvette de Ouargla, qui répond aux objectifs de l'étude à savoir son âge (ancienne), un niveau de nappe fluctuant selon les parcelles et la présence de deux qualités d'eaux d'irrigation : un Mio-Pliocène ( $CE = 5,3 \text{ mS.cm}^{-1}$ ,  $SAR = 6,9$ ) et un Sénonien ( $CE = 3,7 \text{ mS.cm}^{-1}$ ,  $SAR = 12,4$ ). Le drainage de ces parcelles se fait grâce à des drains à ciel ouvert qui sont dans l'ensemble mal entretenus (Berkal *et al.*, 2012).

#### 3.2 Historique de la palmeraie

L'exploitation a été créée en 1959 par le service français pour la mise en valeur sous l'appellation de périmètre de "GARET-CHEMIA". Au début des années 1970, le périmètre est transformé en Groupe de Mise en Valeur (G.M.V). Il était alors constitué de coopératives attribuées en lots de 0,72 ha comportant 88 palmiers chacun. En 1979, l'exploitation a été confiée à l'Institut de Technologie de l'Agronomie Saharienne (ITAS) qui a intégré plus tard l'université Kasdi Merbah de Ouargla.

L'exploitation de l'université est située au sud-ouest d'Ouargla, à six kilomètres environ du centre-ville. Ses coordonnées WGS 84 / U.T.M zone 31 N, sont à une longitude de 819,82 km et 3547,22 km de altitude (Fig. 15) (Berkal, 2016).



**Figure 15. Situation géographique de l'exploitation de l'université**

Source : Berkal, 2016

Les sols de cette palmeraie sont de texture sableuse (Tab. 4). Ils sont classés selon la World Référence Base (WRB) (FAO, 2006) dans le groupe des Solonchaks (Salic, Aridic). Ils sont sujets à des fluctuations saisonnières de la nappe phréatique saline ( $CE = 13 \text{ mS.cm}^{-1}$  en moyenne).

**Tableau 4. Propriétés moyennes de neuf profils de sol.**

profondeur (Cm)	Argile(%)	Limon (%)	Sable (%)	Gyp (%)	CE <sub>1:5</sub> (dS/m)	MO (%)
0---10	1,5	7,9	90,6	17,8	13,6	0,4
10---25	1,5	7,8	90,7	20,9	11,7	0,4
25---50	1,9	7,8	90,3	23,5	9,2	0,5
50---100	2,6	7,9	89,5	25,7	6,7	0,4

MO: matières organiques ; Gyp : Gypse

Source : Berkal et al., 2012

### 3.3 Exploitation à l'état actuel

L'exploitation s'étend actuellement sur une superficie d'environ 11 hectares dont 08 hectares sont aménagés et répartis sur quatre parcelles notées A1, A2, B1, B2-1, C1, C2 et D1 et D2-1 (Fig. 16 ). Chaque parcelle s'étale sur une superficie d'environ 1 hectares cultivée principalement avec du palmier dattier (*Phoenix dactilifera L*) planté en carré de 9 m × 9 m, avec un total de 1095 palmiers. La composition variétale de cette exploitation phoenicicole est constituée de déglet nour, ghars, dégla béida, variétés communes et des dokkars (mâles), ainsi que des djebbars (pieds jeunes) (Berkal, 2016).

### 3.4 Les avantages de la zone d'étude

Le choix de la zone d'étude s'est porté sur cette palmeraie qui présente plusieurs avantages :

- ✓ une homogénéité texturale des sols caractérisée par une prédominance des sables (> 50 %) et une teneur en argile faible (< 10 %) (Tab. 04).
- ✓ la possibilité de pouvoir utiliser les données hydrogéologiques et pédologiques préexistantes sur cette zone d'étude.
- ✓ une possibilité de comparer entre les parcelles selon la profondeur de la nappe phréatique et selon le type d'eau d'irrigation.
- ✓ Surveillance permanente du site d'étude.

### 3.5 Caractérisation des eaux des forages et de la nappe phréatique

Nous analyserons les eaux de la nappe phréatique et celles des deux forages du Mio-Pliocène et un Sénonien pour déterminer leurs compositions chimiques et savoir s'il y aurait une relation avec la vitesse de dégradation de la matière organique.

Les eaux de la nappe phréatique provenaient des piézomètres installés dans la parcelle A2. Ces analyses ont porté sur la conductivité électrique, le pH, le SAR, et le dosage des cations et des anions.

### 3.6 Matériel et méthodes

#### 3.6.1 Méthode d'étude

Dans notre travail à l'exploitation agricole de l'université d'Ouargla, nous avons choisis cinq palmiers dattiers adultes soit deux palmiers ghars et trois palmiers de déglet nour. Ils sont localisés dans les parcelles A1, B1, C1, et C2 (Fig. 16). L'opération consiste à retirer toutes les palmes sèches avec leur base pétiolée (cornaf) de chaque palmier. Nous avons effectué ce travail en deux étapes :

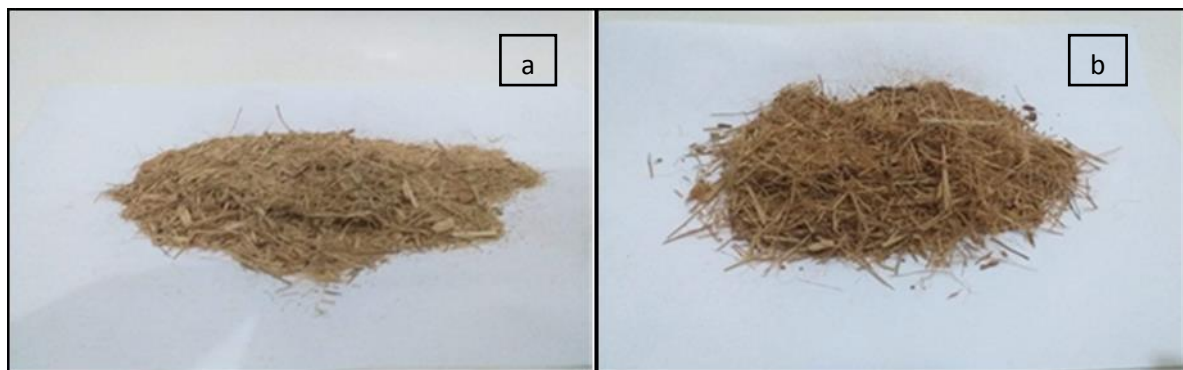


**Figure 16. Délimitation du site expérimental (image Google Earth, 2020) .**

- La première étape (Collecte) se fait en collectant les produits du toilettage du palmier représentés par les palmes sèches et les pétioles, nous avons choisi des palmiers dattiers sains. Nous avons pesé le poids total, pour chaque palmier à l'aide d'une balance manuelle (Fig. 17 et 18).

**Figure 17. Les palmes sèches du palmier****Figure 18. Balance (pèse foin)**

Dans la deuxième étape (Broyage), nous avons broyé les palmes sèches et les pétioles de chaque variété ghars et déglat nour séparément, dans un broyeur mécanique. On répète l'opération de broyage trois fois dans le but de réduire la taille en des petits morceaux (Fig.19). Le produit du broyage est mis dans des petits sacs en tissu de viseline qui est un tissu très fin et rigide. Il permet l'entrée de l'eau dans les sacs mais empêche la sortie du produit à l'extérieur.

**Figure 19. Broyeur mécanique****Figure 20. Palmes broyées: (a) de Déglat Nour ; (b) de ghars**

### 3.6.2 La méthode de Tea Bag Index (TBI)

Dans les recherches scientifiques nouvelles, une méthode a été développée (**Keuskamp et al., 2013 ; Alsafran et al., 2017; Laurent et Boucher, 2020**) pour étudier la décomposition et la stabilisation à une échelle et une résolution qui n'étaient pas possibles auparavant. L'élément clé de la méthode est l'utilisation de sachets de thé disponibles dans le commerce (Fig.21) en tant que kits de test hautement standardisés contenant du thé comme matériau végétal mort représentatif. Cette méthode permet de générer une base de données mondiale avec la participation de volontaires du monde entier.

Les données recueillies peuvent être utilisées pour calculer un indice de sachet de thé (TBI) qui fournit des informations axées sur les processus et les fonctions du sol à l'échelle locale, régionale et mondiale. Le TBI est déterminé par une expérience simplifiée de sacs à litière (**Wieder et Lang, 1982**) qui implique l'enfouissement de sachets de thé vert et de rooibos, suivi d'une mesure de la perte de masse après un certain temps.

Le TBI a deux applications principales. Tout d'abord, (i) C'est un moyen réalisable qui permet d'augmenter la résolution des mesures de décomposition. (ii) Le TBI est une référence utile aux côtés des études de décomposition pour dissocier les aspects de la qualité des litières de l'ensemble complet des conditions environnementales constituant la «matrice de décomposition». L'utilisation du TB comme référence facilite la comparaison des données entre les biomes, les écosystèmes et les types de sols.

Des scientifiques de l'université d'Utrecht (Pays-Bas) ont popularisé cette méthode à partir de 2012 en l'utilisant dans un réseau participatif mondial sur les milieux naturels.

### 3.7 Les sachets de thé

Les sachets de thé sont des sacs à litière uniformes, transportables et bon marché. Ils sont réalisés en forme de tétraèdres disponibles avec des côtés de 5 cm contenant environ 2 g de thé. La matière organique standardisée utilisée (thé vert et thé rooibos) d'un seul fournisseur (Lipton). Ce matériel végétal séché se décompose comme tout autre matériel végétal. Le thé vert est composé à 89% de thé vert et le thé rooibos à 93% rooibos, et les deux thés ont été complétés par un arôme naturel. Tandis que le thé rooibos est plus boisé donc il est plus difficile à décomposer. En comparant la décomposition de ces deux différents types de thé, il devient visible que la décomposition d'une branche et d'une feuille diffère.

Le maillage des sachets est de 0,25 mm, il est permis aux micro-organismes et à la mésofaune de pénétrer dans les sacs, mais a exclu la macrofaune (Setala ; Marshall et Trofymow, 1996).

Pour notre étude nous avons choisi trois types de thé

- ✓ Le premier type de thé est le thé rouge le rooibos (Lipton Herbal infusion Rooibos – Rooibos et hibiscus: EAN 87 22700 18843 8.)
- ✓ deuxième type de thé est le thé vert (Lipton Indonesian tea Sencha tradition: (EAN 87 10908 90359 5 ou EAN 87 22700 05552 5)
- ✓ le troisième type de thé est le thé jaune (de commerce local).
- ✓ Nous utilisons le thé jaune disponible sur le marché algérien dans un but de comparaison.



**Figure 21. Les trois types thé (a) le rouge; (b) vert ; (c) jaune**

### 3.8 Protocole TBI

Nous avons suivi le protocole index des sachets de thé (Kruskamp *et al.*, 2013) :

1. Prenez un sachet de thé vert Lipton (EAN 87 10908 90359 5 ou EAN 87 22700 05552 5), un sachet de thé Rooibos Lipton (EAN 87 22700 18843 8), un sachet thé jaune et le produit de broyage (déchet de palme sèche).
2. Peser chaque sachet de thé avec une balance de précision à trois chiffres (précision 0,001 g), après Peser 4 g de déchet de palme sèche.



**Figure 22. Processus de pesée des sachets.**



3. Marquez clairement le nom/numéro du sachet de thé avec un marqueur noir indélébile sur le côté blanc de l'étiquette. Ecrire gros et lisiblement pour pouvoir aisément identifier le sachet à la fin de la période d'incubation dans le sol.



**Figure 23. Identifications des sachets.**

4. Trouver un site approprié
5. Enterrez les trois types de thé (vert, rooibos et jaune) avec le sachet du produit de broyage dans des trous séparés de 8 cm de profondeur, distant de 15 cm l'un de l'autre. Gardez les étiquettes bien visibles au-dessus du sol.

*Conseils:*

- a) Marquez le site avec un bâton pour pouvoir retrouver les sachets plus facilement. Si vous enterrez les sachets au printemps tenez en compte que les plantes peuvent recouvrir le site en grandissant.
- b) Notez la date d'inhumation, les numéros des sachets enterrés, la position géographique, l'écotype et les conditions expérimentales du site.
- c) Notez dans votre agenda ou téléphone un rappel du jour ou vous devez rechercher les sachets. Les sachets doivent être déterrés après environ 90 jours.

*Le temps d'incubation n'a pas besoin d'être exactement 3 mois et peut être plus court dans des climats tropicaux (par exemple 60 jours). Il est par contre impératif que vous notiez exactement le jour auquel vous avez déterré les sachets ainsi que le temps d'incubation dans le sol.*

6. Récupérez les sachets et enlevez les particules de sol qui adhèrent aux sachets. Séchez les sachets.

*Conseils:*

- a- Utilisez un four pendant 48h à 70°C (pas plus chaud).

*b- Ou placez les sachets au-dessus du radiateur ou dans un endroit ensoleillé et sec pour 3-4 jours.*

*c- N'utilisez pas d'eau pour enlever les particules de sol, laver les sacs peut fausser les résultats en enlevant du matériel organique des sachets.*

7. Ouvrez les sacs, retirez le thé et le produit de broyage des sacs. Faites attention de ne pas perdre de matière.

8. Peser le thé (En utilisant une balance de précision de 0,001 g).

### **3.9 La mise sous terre**

Nous allons tester la méthode de Tea Bag Index avec les sacs de produits de broyage dans les parcelles A1, A2 et B2-2 de l'exploitation de l'université (Fig.16). Le choix des parcelles s'est fait selon les critères suivants: choix des palmiers sains, la profondeur de la nappe phréatique, la qualité de l'eau d'irrigation.

En suivant le protocole décrit précédemment, le Tea Bag Index et les produits de broyage des palmiers sèches seront distribués et placés dans les parcelles de la manière suivante : dans chaque parcelle on a choisi trois palmiers. Sous chaque palmier, on va enterrer les sachets de thé vert, thé rooibos, thé jaune et les sacs des déchets de palme déglat nour et ghars (un sachet de chaque produit) dans des trous de 8 cm de profondeur, dans le souci d'empêcher la perte ou le déplacement des sacs tout en s'assurant qu'ils se trouvent toujours dans la couche active du sol. Tous les sachets doivent être distant de 15 cm l'un de l'autre.

Les étiquettes doivent être bien visibles au-dessus du sol. La durée de l'expérimentation est de 90 jours avant la récupération des sachets.

Nous avons trois répétitions similaires donc quinze sachets par parcelle et 45 sachets dans toutes les parcelles. (Fig. 24.).

Le système d'irrigation adopté dans l'exploitation de l'université (ex. ITAS) est l'irrigation Submersion des planches, en moyenne une fois par semaine en hiver et deux fois par semaine en été.( **Karabi.2016**).

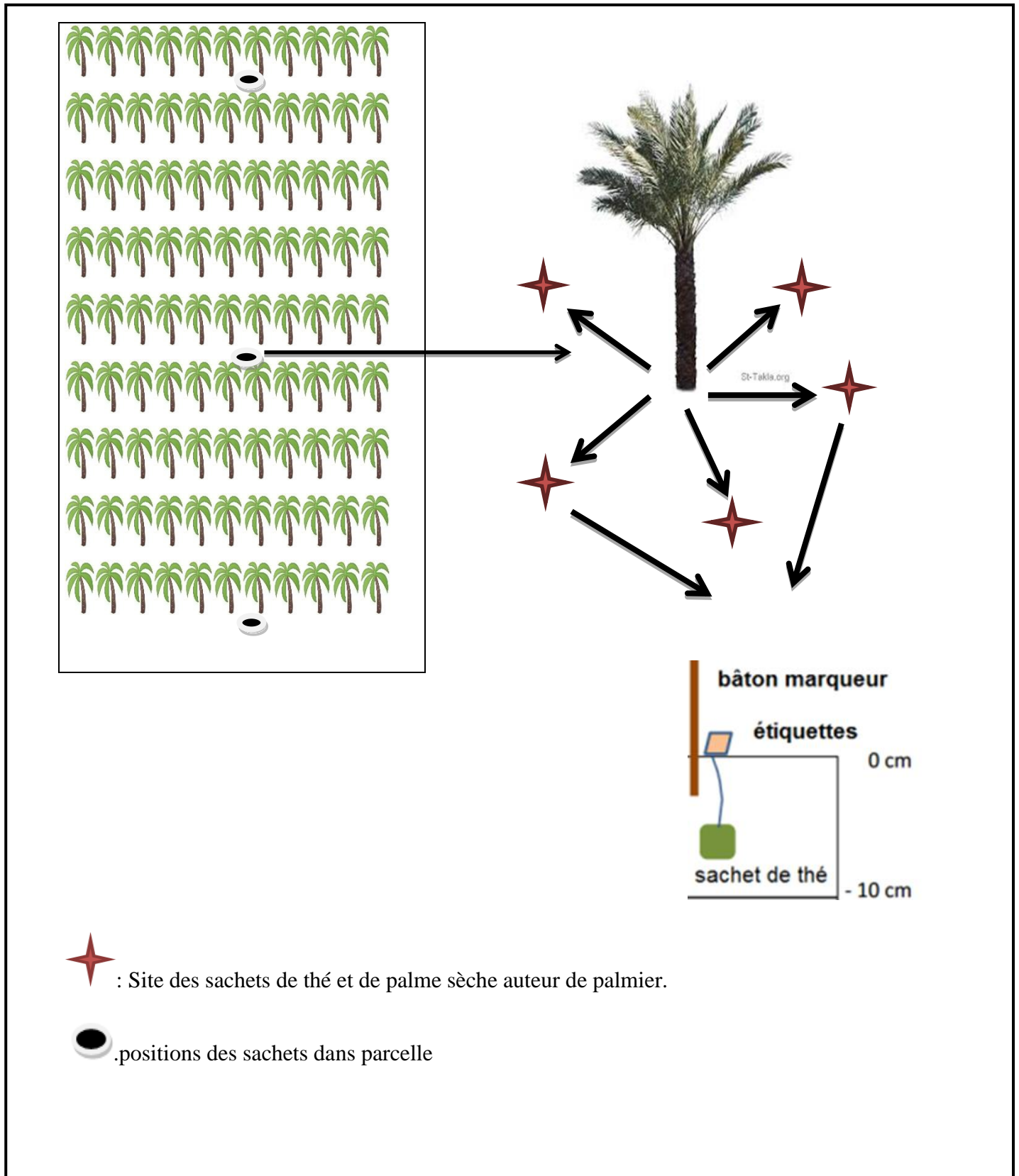


Figure 24. Schéma simplifié de l'enfouissement des sachets.

### **3.10 Méthode d'analyse**

#### **3.10.1 Analyses au laboratoire**

Les analyses des Tea Bag ont commencé en mars 2020 aux laboratoires de recherche sur la phoeniciculture de l'université Kasdi Merbah - Ouargla. Cependant, le travail s'est arrêté suite à la crise sanitaire (Covid-19).

#### **3.10.2 Analyses physico-chimiques du sol**

##### **3.10.2.1 pH de sol**

Elle exprime la concentration des ions H<sup>+</sup> libres dans la solution du sol. Il est mesuré sur un extrait sol/eau de 1/5 en solution de KCl, conformément aux normes ISO 10390 (AFNOR, 1999).

##### **3.10.2.2 Conductivité électrique**

Elle permet l'estimation de la teneur globale en sels solubles dans la solution du sol. Est mesurée avec un conductimètre sur des extraits sol/eau de 1/5. Elle est exprimée en dS/m et le résultat est corrigé à une température de 25 °C (AFNOR, 1999).

##### **3.10.2.3 Teneur en eau**

La détermination de la teneur pondérale du sol est le rapport entre le poids humide du sol et le poids sec (AFNOR, 1999).

##### **3.10.2.4 Masse volumique du sol**

La détermination de cette mesure utilise la méthode du cylindre. Elle correspond au rapport entre la masse sèche du sol et le volume apparent, elle est exprimée en gramme par centimètre cube (g/cm<sup>3</sup>) (AFNOR, 1999).

$$M_v = M_s/V$$

Avec V : volume apparent de sol et M<sub>s</sub> : la masse de sol sec

##### **3.10.2.5 Carbone organique**

La teneur en matière organique totale du sol s'obtient généralement en dosant la teneur en carbone par voie humide. Donc La matière organique est oxydée par un mélange de bichromate de potassium et de l'acide sulfurique. L'excès de bichromate est titré par le sel de Mohr selon la méthode d'Anne (AFNOR, 1999).

Pour obtenir le taux de matière organique, on multiplie le pourcentage de carbone par 1,72.

##### **3.10.2.6 Dosage de l'azote total**

C'est l'ensemble de toutes les formes d'azote minéral, et organique présent dans un échantillon du sol à l'exception de l'azote gazeux.

Il est dosé selon la méthode de Kjeldahl basée sur le principe selon lequel l'échantillon du sol est minéralisé en milieu acide sulfurique en présence de l'oxyde de cuivre (II) et d'un catalyseur (oxyde de titane). Dans les conditions de minéralisation, l'azote organique est retrouvé sous forme ammonium. Les ions ammonium sont transformés en ammoniac par passage en milieu alcalin (AFNOR, 1999).

### 3.11 Calcul du rapport C/N

Une fois le taux de carbone et d'azote sont déterminés, on calcule le rapport C/N. Il traduit l'intensité de l'activité microbologique du sol (Baize, 2000).

### 3.12 Les sacs de produits de broyage des palmes sèches

#### 3.12.1 Teneur en eau

La teneur en eau est calculée par la formule suivante (Audigie et al., 1984) :

$$H\% = (M1 - M2) / P \times 100$$

Soit :

H% : Humidité.

M1: Masse de la capsule + matière fraîche avant séchage en g.

M2: Masse de l'ensemble après séchage en g.

P: Masse de la prise d'essai en g.

La teneur en matière sèche est exprimée en pourcent (%) du poids de l'échantillon brut selon l'expression :

$$\text{Matière sèche \%} = 100 - H \%$$

### 3.13 Analyse de sous-produit de palmier dattier

#### 3.13.1 Matière organique et le carbone organique

Le taux de matière organique est déterminé après calcination de l'échantillon au four pendant 6 heures à 600 °C, l'augmentation de température se fait par paliers thermiques, pour éviter la perte de l'échantillon par projection suite à sa brusque combustion. Le carbone organique total est calculé par la méthode suivante : la calcination (la combustion) de matière organique est totale, ce qui facilite la détermination de sa teneur par simple différence entre le poids avant et après calcination, selon la formule suivante (Jean-Louis Morel, 1986; Babaammi et Remy, 2007) :

$$MO(\%) = [(PS - PC) / PS] \times 100$$

Ps : Poids de l'échantillon sec

Pc : Poids de l'échantillon après calcination

A partir de pourcentage de la matière organique (MO) nous pouvons déterminer le pourcentage de carbone organique (CO):

$$\text{MO (\%)} = \text{CO (\%)} \times 1,72$$

### 3.13.2 Matière minérale (MM)

Le taux de la matière minérale correspond à la différence de poids qui résulte après la combustion et le refroidissement au dessiccateur.

Déterminer par simple calcul de la différence entre la matière sèche (MS) et la matière minérale (MM) (Ibrahim El Akram, 2002).

$$\text{MM \%} = 100 \% - \text{MO}$$

### 3.14 Relation entre le carbone du sol et la densité apparente

Le taux de carbone stocké par hectare est déterminé par la formule suivante selon (Akala et al., 2001 ; Zhang et al., 2012)

$$C_c = 10\,000 \times C (\%) \times \text{BD} \times E$$

Cc: le poids de C par hectare.

C: pourcentage de carbone mesuré.

BD: densité apparente du sol en gramme par centimètre cube.

E: profondeur des échantillons de sol en centimètre (Blake et Hartge, 1986).

### 3.15 Analyses physico-chimiques de l'eau

#### 3.15.1 Mesure de pH

Méthode potentiométrique avec électrode de verre : la différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci.

#### 3.15.2 Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique et mesurée par un Conductimètre (Jean et al., 2009).

#### 3.15.3 Dosage des cations

##### 3.15.3.1 Dosage du sodium (Na<sup>+</sup>) et du potassium (K<sup>+</sup>)

La méthode de dosage des alcalins et alcalino-terreux (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>) est la spectrométrie à flamme. Pour des eaux de plus forte concentration en sodium et en potassium, les échantillons doivent être dilués (Jean et al., 2009).

### 3.15.3.2 Dosage du calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ) et du magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )

Le dosage du calcium et du magnésium dissous se fait par spectrométrie d'absorption atomique. Pour des échantillons de plus forte concentration en calcium et en magnésium, un plus petit volume de l'échantillon doit être prélevé pour l'analyse. Lorsqu'on utilise une flamme air/acétylène et le facteur de dilution 1 à 10, la gamme optimale est de 3 à 50 mg/l pour le calcium et de 0,9 à 5 mg/l pour le magnésium (**Jean et al., 2009**).

### 3.15.4 Dosages des anions

#### 3.15.4.1 Dosage de Chlorure ( $\text{Cl}^-$ )

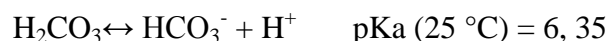
##### Méthode de Mohr

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent (**Jean et al., 2009**).

#### 3.15.4.2 Dosage de Sulfate ( $\text{SO}_4^{-2}$ )

Les ions  $\text{SO}_4^{-2}$  sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravimétriquement.

Carbonate ( $\text{CO}_3^{--}$ ) et bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ )



Le dosage des carbonates totaux peut être réalisé très simplement par la détermination de l'alcalinité et plus précisément du titre alcalimétrique simple (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC) (**Jean et al., 2009**).

## **Chapitre 4. Résultats et discussion**



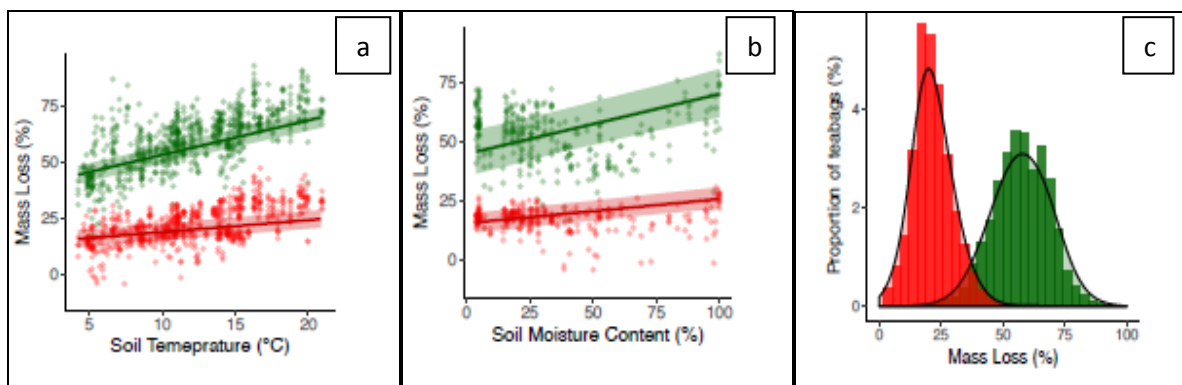
#### 4.1 Résultats

Les résultats des mesures du poids des différents types de sachets de thé et de produit de broyage, obtenus au début de l'expérience au laboratoire de recherche sur la phoeniculture de l'université Kasdi Merbah Ouargla. Ces résultats incluent la pesée de tous les sachets de thé vert, rouge et jaune avant de les ouvrir, et nous avons pesé (MO, sac, fil et étiquette) et (matériel) et Aussi après leur ouverture, nous avons pesé chacun de (sac + ficelle + marque), (poids brut + agrafage) et (poids de base).

Mais pour des raisons de la crise sanitaire (Covid 19), toute l'expérimentation a été interrompue le 15 mars 2020.

#### 4.2 Quelques résultats des autres études similaires

Dans notre étude, nous avons souhaité avoir des résultats similaires aux résultats suivants, qui ont été obtenus à partir de différentes sources d'études et qui ont suivi le même principe et protocole.



**Figure 25. Effet de (a) la température, (b) l'humidité de sol et la qualité de la litière sur la décomposition.**

*Source: Thomas et Myers*

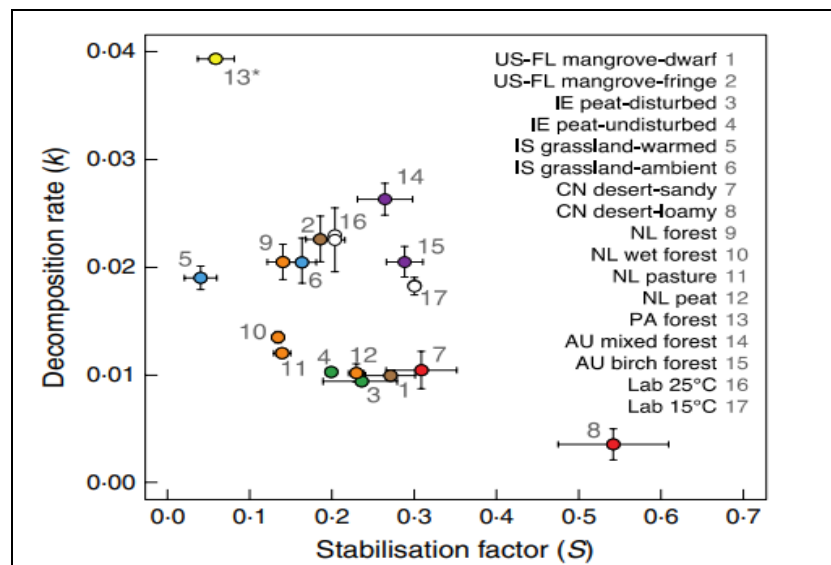
#### 4.3 Interprétation comparative

À travers les graphiques (Fig. 25, 26, 27 et 28) obtenus à partir des différentes études, nous pouvons voir que les expériences suivaient le même protocole que **Keuskamp et al., 2013** et il a été mis en œuvre dans différentes régions, et donc le climat, la nature du sol et la végétation sont également différents, mais nous avons remarqué que la plupart des résultats obtenus sont similaires dans les points suivants :

##### 4.3.1 Paramètres de TBI

Dans les études sur les sacs à litière, la décomposition est mesurée par la perte de poids du matériel végétal dans le temps. Une courbe de décomposition est souvent estimée en ajustant

cette perte de poids à une fonction de décomposition exponentielle avec une constante de vitesse de décomposition  $k$ . Cette approximation suppose que la demi-vie de la litière est constante dans le temps. Le problème avec cette hypothèse est que la décomposition progresse dans le temps, les composés facilement dégradables dans la litière végétale seront rapidement décomposés, tandis que les composés plus récalcitrants seront perdus à des taux relativement inférieurs. En conséquence,  $k$  n'est plus constant car il diminue avec le temps en raison de la proportion croissante de matériel récalcitrant (Fig. 26) (Keuskamp *et al.*, 2013). Pendant la décomposition, des parties des composés labiles se stabilisent et deviennent récalcitrantes (Prescott, 2010). Cette stabilisation dépend des facteurs de l'environnement (Berg et Meentemeyer, 2002) et entraîne un écart de la fraction décomposée réelle (la valeur limite) de la fraction hydrolysable (chimiquement labile). Cet écart peut donc être interprété comme l'effet inhibiteur des conditions environnementales sur la décomposition de la fraction labile et on se réfère comme facteur de stabilisation  $S$  (Keuskamp *et al.*, 2013).



**Figure 26.** Vitesse de décompositions initiale  $k$  et facteur et de stabilisations  $S$  pour différents site montrant le potentiel discriminatoire du Tea Bag Index (TBI) entre et au sein des écosystèmes.

Source : Keuskamp *et al.*, 2013

#### 4.3.2 Effet de l'humidité et la température du sol

Selon Alsafran *et al.*, (2017), au Qatar, la disponibilité de l'eau est susceptible d'être un contrôle important de la décomposition, car le pays à un environnement extrêmement aride avec seulement des épisodes de pluie sporadiques et aucune masse d'eau douce permanente. Cela s'est reflété dans les données, car les sites d'acacias plus secs avaient des valeurs  $k$  plus

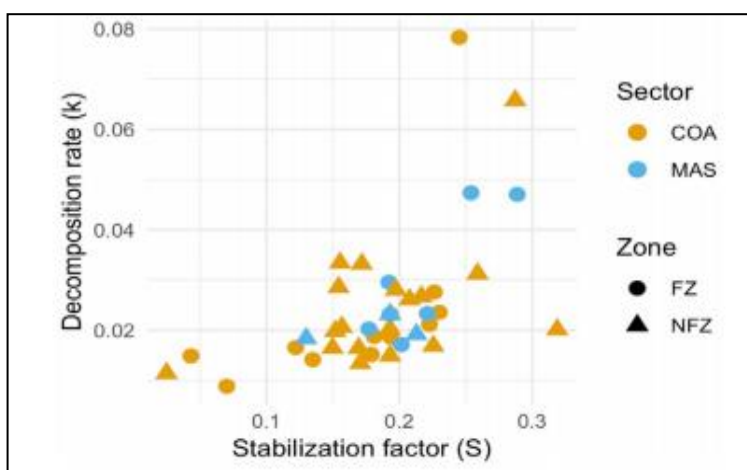
faibles que les sites de mangroves, qui étaient plus humide. Les précipitations locales sporadiques devraient donc augmenter temporairement le taux de décomposition dans ces régions sèches du Qatar.

On peut donc comprendre, que le réchauffement climatique combiné à une réduction des précipitations peut réduire la décomposition des déchets à long terme.

En ce qui concerne **Keuskamp et al., 2013**, l'application sur le terrain du TBI au États-Unis-Floride , Chine, Panama, Pays-Bas , Autriche , l'Irlande et l'Islande a montré une distinction claire entre  $k$  et  $S$  entre les écosystèmes après la période d'incubation. Les valeurs de  $k$  calculées augmentaient avec la température annuelle moyenne et les précipitations selon les projections générales de la décomposition de la litière (**Parton et al., 2007; Zhang et al., 2008**). Les valeurs  $S$  diminuent avec la température annuelle moyenne et les précipitations.

Les résultats de **Laurent et Boucher (2020)** aux bassins fluviaux Coaticook et Massawippi dans le sud du Québec ont confirmé que le climat joue un rôle plus important dans le taux de décomposition de la litière (thés verts et rooibos) (Fig. 27). Donc il y'a une forte relation linéaire entre la décomposition et la température du sol. Cela signifie que le réchauffement augmentera la décomposition et la perte de carbone, mais de manière prévisible. Aussi la décomposition augmente avec la teneur en humidité du sol, même lorsque les sols sont presque saturés.

Ce résultat signifie que la décomposition augmentera le plus dans les zones plus humides, mais pourrait rester faible dans les zones sèches.



COA: Coaticook zone

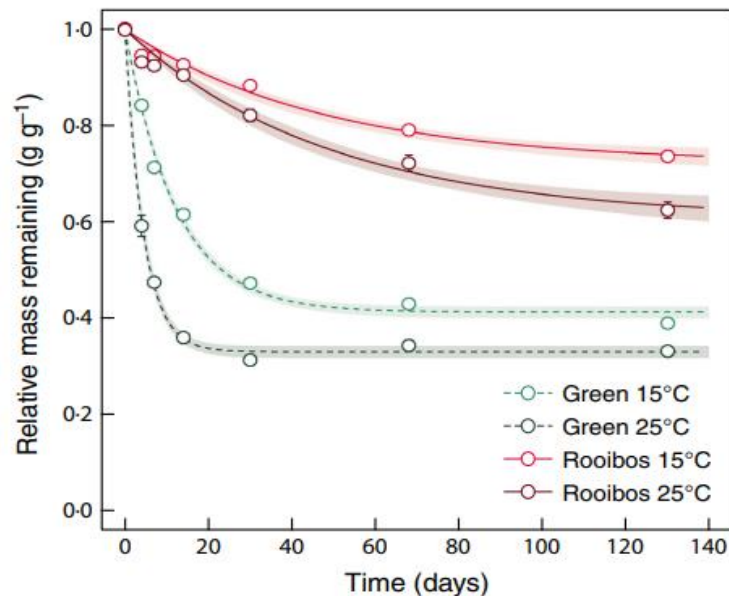
MAS: Massawipi zone

**Figure 27. Masse restante (g) des échantillons du thé vert et de thé rooibos dans les zones inondables (FZ) et zone non inondables (NFZ) et par zone (COA et MAS).**

Source : Laurent D et Boucher L, (2020)

### 4.3.3 La qualité de la litière

Selon **Alsafran et al., (2017)**, la qualité de «litière», le thé rooibos (riche en lignine) avait une masse résiduelle plus élevée après la période d'incubation que le thé vert sur tous les sites. Une décomposition plus rapide du thé vert (teneur en cellulose plus élevée) sur tous les sites confirme l'hypothèse que la qualité de la litière est l'un des principaux contrôles de la décomposition de la litière (**Cornwell et al., 2008; Zhang et al., 2008; Li et al., 2011; Bradford et al., 2016**). Aussi les résultats de **Laurent et Boucher (2020)** et **Keuskamp et al., (2013)** (Fig. 27 et 28), montrent une différence significative dans le taux de décomposition des deux types de thé (vert et rooibos). La décomposition plus rapide des échantillons de thé vert dans tous les sites signifie que la nature de la matière organique (teneur en cellulose) est le principal facteur impliqué dans la vitesse de décomposition (**Bradford et al., 2016; Didion et al., 2016**). C'est-à-dire cette matière organique (thé vert) est plus facilement dégradable par les microorganismes du sol (**Cleveland et al., 2014**).



**Figure 28.** Masse relative restant de thé (rooibos et vert) mesurée en incubation en laboratoire sur sol forestier tempéré à 15 ° C et 25° C.

Source : Keuskamp et al., 2013

# **CONCLUSION**

### Conclusion

Chaque campagne phoenicole, on est confronté à une quantité considérable de sous-produit (Pétiole, palme sèche, spathe, hampe florale). Ces déchets agricoles causent un problème pour l'environnement. Cette situation inquiétante nous a amené à chercher des solutions de rechanges meilleurs et bénéfiques. Notre étude met en lumière la possibilité de contribuer à la séquestration du carbone organique par la valorisation de ces sous-produits dans le domaine agricole. Dans cette optique, nous avons adoptées une méthode expérimentale afin d'exploiter les sous-produits comme un amendement organique pour les terre agricole.

Pour cette étude, nous avons suivi la méthode des Tea Bag car elle constitue un bon estimateur pour caractériser et/ou estimer la vitesse de décomposition de deux types de matière organique tout en comparant des sites différents. C'est un protocole simple à mettre en œuvre.

Les applications de TBI dans les différents sites permettraient:

- de comparer les taux de décomposition entre des expériences sur le terrain dans différents biomes et écosystèmes, conduisant à de nouvelles connaissances sur les effets du climat mondial sur la décomposition.
- Une adaptation à des fins éducatives facile, en engageant des citoyens scientifiques et des écoles. La méthode peut accroître la sensibilisation au sol vivant tout en créant plusieurs points de données en même temps.

C'est une conclusion théorique. Malheureusement en raison de la pandémie (Covid 19), nous n'avons pas pu obtenir de conclusion concrète à nos données.

### Références bibliographiques

- Aberlen, C, Bertossi, F., 2012. La détermination du sexe du palmier dattier. *Dia de newsletters* 3 :1-8.
- Acourene S, 2000. Effets des types de pollen et de ciselage sur le rendement et la qualité de la datte de trois variétés (deglet-nour, ghars et degla-beida) de palmier dattier (*phoenix dactylifera L.*). Thèse de magister, INA, El-Harrach, Alger, 133p
- Afnor, 1999. Qualité des sols-volume 1 et volume 2 - Recueil de normes française afnor, p973.
- Ahl,C., Joergensen, R.G., Kandeler, E., Meyer, B., Et Woehler, V., 1999. Microbial biomass and activity in silt and sand loams after long-term shallow tillage in central germany. *Soil & tillage research* 49.
- Akala, Va, Lal, R., 2001. Soil organic carbon pools and sequestrate rates in reclaimed mine soils in ohio. *J. Environ. Qual.* 30 (6), 2098–2104
- Al-Kaisi, M.M., et Yin, X., 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of environmental quality* 34:437-445.
- Alsafran M H., Sarneel J., et Alatalo, J. M. (2017). Variation in plant litter decomposition rates across extreme dry environments in Qatar. *The Arab World Geographer*, 20(2-3), pp252-261.
- Audigie C.L. ; Figarella J. ; Zonszain F., 1984. Manipulations d'analyse biochimie nouvelle édition. Ed. Ed 274.
- Babaammi, A, 2014. Caractérisation de la biomasse microbienne développée dans un compost issue des déchets du palmier dattier. Mémoire de master.34p.
- Babaammi, A., & Remy, A. (2007). Co-Compostage De Boues De Station D'épuration et De Dechets. Marseille: Universite Paul Cezanne Aix-Marseille Iii.p189.
- Baize D, 2000. Guide des analyses en pédologie. INRA edit. : Paris, 257 p.
- Baker, J.M., Ochsner, T.E., Venterea, R.T. et Griffis, T.J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration--what do we really know? *Agriculture, ecosystems and environment* 118:1-5.
- Bakkaye, S., 2006. Lexique phœnicicole en arabe et en mozabite. *Cwana, hca et rab98/g31.* 14-16, 24-25, 31p.

## Références bibliographiques

- Balesdent, J., Chenu, C. et Balabane, M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and tillage research* 53:215- 230.
- Batjes, N.H., 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *Eur. J. Soil sci.* 47, 151– 163.
- Bchini, H., Hsayoui, S., Et Aloui, S., (2002). Gestion de la matière organique et compostage des palmes sèches dans le milieu oasien. In annales de l'INRAT, vol. 75, pp. 299-312.
- Beare, M. H., Mcneill, S. J., Curtin, D., Parfitt, R. L., Jones, H. S., Dodd, M. B. et Sharp, J., 2014. Estimating the organic carbon stabilisation capacity and saturation deficit of soils: a New Zealand case study. *Biochemistry*, 120: 71-87.
- Ben Abdellah A., 1990. La méditerranéennes. Série a, n° 11, les systèmes agricoles oasiens, 176 p.
- Benites J. R., Ashburner J.E. 2001. FAO's role in promoting conservation agriculture. In: 1st world congress on conservation agriculture, *Madrid*, pp139-153.
- Berg, B. and Meentemeyer, V., 2002. Litter quality in a north European transect versus carbon storage potential. *Plant and Soil*, 242, pp83–92.
- Berkal I., Walter C., Michot D., Djili K., 2012. Seasonal soil salinity monitoring in oasis ecosystems by EM conductivity. Digital soil assessment and Beyond: Proceedings of the 5th global workshop on Digital Soil Mapping 2012, *Sydney, Australia*, by CRC Press – 482 pages.
- Berkal, I., 2016. Dynamique spatiotemporelle de la salinité de sols sableux irrigués en milieu aride. Application à une palmeraie de la cuvette de Ouargla en Algérie. Thèse de doctorat, Science du sol, ENSA, Alger, 187p.
- Bernoux, M., Feller, C., Eschenbrenner, V., Cerri, C. C., et Cerri, C. E. P., 2004. Séquestration du carbone dans le sol. *Bulletin du réseau érosion*, (22), pp29-42.
- Birch H., 1988. The effect of soil drying on humus and nitrogen availability. *Plant and soil*, 10, pp 9-32.
- Blake, G .R, Hartge, K. H., 1986. Bulk density. In: Klute, a (ed), methods of soil analysis .part 1.physical and mineralogy methods. Soil science society of America, INC, Madison,WI, pp 363-376.
- Boer, G.J., Flato, G. et Ramsden, D., 2000. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: *projected climate to the twenty-first century. Climate dynamics*, 16(6): pp427–450.



## Références bibliographiques

- Bouguederi L., Maanani F., Missaoui M., Bounaga N. et Dore J. C., 1994. Analyse typologique d'une population de palmiers dattiers mâles (*phoenix dactylifera* L.) Au moyen de différentes approches multiparamétriques améliorant. *Prod. Agro. Milieu aride*, 6 : pp 263- 277.
- Bouguedoura N., 1991. Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier (*phoenix dactylifera* L). Etude in situ in vitro du développement morphogénétique des appareils végétatifs et reproducteur. Thèse doctorat d'état en biologie végétale, USTHB .Alger, p210.
- Bousdira K., Tirichine A. et Ben Khalifa A., 2003. Le palmier dattier et les savoir faire locaux : une centaine d'usages multiples. Journées d'étude sur l'importance de la biomasse dans le développement durable des régions saharienne. Adrar,26p
- Bradford, M. A.; B. Berg, D. S.; Maynard, W. R. Wieder, and Wood S. A., 2016. Understanding the dominant controls on litter decomposition. *Journal of Ecology* 104(1): pp229–238. doi: 10.1111/1365-2745.12507.
- Buelguedj, M., 2002. les ressources génétiques du palmier dattier : caractéristiques des cultivars de dattier dans les palmeraies du Sud-Est Algérien. *Revue annuelle de l'INRAA* N°1/2002. 28-289.
- Calvet, R., Chenu, C., Houot, S., 2015. Les matières organiques des sols. Éditions France Agricole 347p.
- Calvet, R.; Chenu, C.; Houot, S., 2011. Les matières organiques des sols: rôles agronomiques et environnementaux. Paris: *Editions France Agricole*, 347 p.
- Cambou, A., 2018. Evaluation du stock et de la stabilité du carbone organique dans les sols urbains. Thèse de doctorat, l'université de Bretagne Loire, France, 295p.
- Campbell C.A., Mc Conkey B.G., Zentner R. P., Selles F. et Curtin D., 1996. Long-term effects of tillage and crop rotations on soil organic matter and total n in a clay soil in southwestern saskatchewan. *Can. J. Soil sci.* 76: pp395-401.
- Chabbi, A., Lehmann, J., Ciais, P., Loescher, H.W., Cotrufo, M.F., Don, A., Sancléments, M., Schipper, L., Six, J., Smith, P., Rumpel, C., 2017. Aligning agriculture and climate policy. *Nat. Clim. Chang.* 7, pp307–309.
- Chaibi, N., 2002. Potentialités androgénétiques du palmier dattier *phoenix dactylifera* L et culture in vitro d'anthères. *Biotechnologie agron. Soc. Environ.*, 6 (4), pp 201-207.

## Références bibliographiques

- Chaloux, A., et séguin, H., 2011. Etats fédérés et mise en œuvre des traités climatiques internationaux : le cas du Québec, *r.d.u.s*, n° 41, pp 609-632.
- Chehma A. et Longo H.F., 2001. Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation du bétail. *Revue des énergies renouvelables »UNESCO », numéro spécial ; biomasse : production et valorisation*, pp 59-64.
- Chevrier, A., Barbier, S., 2002. Performances économiques et environnementales des techniques agricoles de conservation des sols création d'un référentiel et premiers résultats. Mémoire de fin d'études. INRA Versailles Grignon, France, P 96.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., 2014. Carbon and other biogeochemical cycles, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, pp 465–570.
- Cleveland, C.C., Reed, S.C., Keller, A.B., Nemergut, D.R., O'Neill, S.P., Ostertag, R., Vitousek, P.M., 2014. Litter quality versus soil microbial community controls over decomposition: a quantitative analysis. *Oecologia* 174, pp283–294.
- CNRS, 2016. Le cycle du carbone. [En ligne] available at: [http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelaterreaulycee/contenu/dyn\\_ext2-1.htm](http://www.cnrs.fr/cnrs-images/sciencesdelaterreaulycee/contenu/dyn_ext2-1.htm) [Accès le 20 juin 2020].
- Conant, R. T., Easter, M., Paustian, K., Swan, A., et Williams, S., 2007. Impacts of periodic tillage on soil c stocks: a synthesis. *Soil and tillage research*, 95(1-2), pp1-10.
- Conclusion et recommandation UNESCO, Algérie, Tunisie, p. 116.
- Constanza R., Daly H.E. 1987. Towards an ecological economics, *Ecological modelling*, 38,162,1-7
- Corbeels, M., Cardinael, R., Naudin, K., Guibert, H., & Torquebiau, E., 2019. The 4 per 1000 goal and soil carbon storage under agroforestry and conservation agriculture systems in Sub-Saharan Africa. *Soil and tillage research*, 188, pp16-26.
- Cornwell, W. K., J. H. C. Cornelissen, K. Amatangelo, E. Dorrepaal, V. T. Eviner, O. Godoy, S. E. Hobbie, B. Hoorens, H. Kurokawa, N. Pérez-Harguindeguy, H. M. Quested, L. S. Santiago, D. A. Wardle, I. J. Wright, R. Aerts, S. D. Allison, P. Van Bodegom, V. Brovkin, A. Chatain, T. V. Callaghan, S. Díaz, E. Garnier, D. E. Gurvich, E. Kazakou, J. A. Klein, J. Read, P. B. Reich, N. A. Soudzilovskaia, M. V. Vaieretti, and M. Westoby. 2008. Plant species traits are the predominant control on

## Références bibliographiques

- litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters* 11(10): pp1065–1071. doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01219.x.
- Coufouier, N., 2008. Un manteau d’hiver régénérant. Réussir céréales grandes culture p214.
  - Daher, A.M., 2010. Détermination du sexe chez le palmier dattier : approches histocytologiques et moléculaires. Thèse de doctorat en biologie cellulaire. Université Montpellier 2.146p
  - Daroui A., 2018. L’influence des pratiques culturales sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols dans deux régions d’Algérie «cas de Annaba et Sétif». Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar–Annaba, 100p.
  - D'haene, K., Vandenbruwane, J., De Neve, S., Gabriels, D., Salomez, J. et Hofman, G., 2008. The effect of reduced tillage on nitrogen dynamics in silt loam soils. *European journal of agronomy* 28. pp 449-460.
  - Didion, M., Repo, A., Liski, J., Forsius, M., Bierbaumer, M., Djukic, I., 2016. Toward harmonizing leaf litter decomposition studies using standard tea bags – A field study and model application. *Forests* 7, 167p.
  - Dignac, M.-F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G.T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P.-A., Nunan, N., Roumet, C., Basile-Doelsch, I., 2017. Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agron. Sustain Dev.* vol. 37, no 2, p14. doi.org/10.1007/s13593-017-0421-2
  - Djerbi M., 1994. Précis de phœniciculteurs. *FAO*, 192 p.
  - Dominati, E., M. Paterson, and A. Mackay. 2010a. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecol. Econ.* 69: pp1858–1868.
  - DSA., 2015. Direction des services agricoles de Ouargla, 2015. Statistiques de la production des dattes dans l’Algérie. Rapport de la direction des services agricoles d’Algérie.
  - Duchaufour, P. (1984). Abrégés de pédologie. Ed. 224p
  - El- Houmaizi M. A., 2002. Modélisation de l’architecture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L) et application à la simulation du bilan radiatif en oasis. Thèse doctorat 3ème cycle, univ. Cadi. Ayyad, faculté des sciences Semlalia, Marrakech 144p.

## Références bibliographiques

- El Houmaizi, M., Saaïdi, M., Oihabi, A. et Cilas, C., 2002. Phenotypic diversity of datepalm cultivars (*Phoenix dactylifera* L.) From Morocco. *Genet. Resource. Crop. Evolved* 49, pp 483–490.
- Elherradi E., Soudi B., et Elkacemi K., 2003. Evaluation de la minéralisation de l'azote de deux sols amendés avec un compost d'odeurs ménagères, Rabat, Maroc, 141p.
- Eswaran, H., Van Den Berg, E., and Reich, P., 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil science society of America journal*, 57(1), pp192-194.
- Faci, M., Babahani, S., et Senoussi, A., 2017. L'agrosystème oasien: entre atouts et inconvénients (cas de l'antique oasis de Ouargla). *Revue des bioressources*, 7(2), pp53-64.
- FAO et ITPS, 2015. Status of the world's soil resources (SWSR) main report. *Food and agriculture organization of the united nations and intergovernmental technical panel on soils, Rome, Italy*, vol. 650.
- FAO, 2001. Conservation agriculture: case studies in Latin America and Africa. *Fao soils bulletin* 78, 69p.
- FAO, 2006. World reference base for soil resources. A framework for international
- FAO, 2007. Agriculture de conservation, 42 p.
- Field, C.B., Mach, K.J., 2017. Rightsizing carbon dioxide removal. *Science* 356: pp706-707.
- Franzluebbers, A.J., et M.A. Arshad. 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture. *Soil science society of America journal* 61:1382-1386.
- Gál, A., Vyn, T.J., Michéli E., Kladvko, E.J. et Mcfee, W.W., 2007. Soil carbon and nitrogen accumulation with long-term no-till versus moldboard plowing overestimated with tilled-zone sampling depths. *Soil and tillage research* 96. pp42-51.
- Gilles. P., 2000. Cultiver le palmier dattier. Ed. CIRAS ,110p.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Pachauri, R.K., Meyer, L.A., 2015. Changements climatiques 2014: rapport de synthèse : contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève (Suisse), 161p

## Références bibliographiques

- Hamdi- aissa, B., 2001. Fonctionnement actuel et passé de sols du nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micro-morphologique, géochimique et minéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat, INRA, Paris-Grignon, 400p.
- Hoog D., 2004. Costs and benefits of bioprocesses in waste management. Dans: resource recovery and reuse in organic solid waste management. P. Lens, b. Hamelers, h. Hootink et w. Bidlingmaier (éditeurs), iwa publishers, Londres, Royaume-Uni, pp 95-121.
- Houghton, R., 2007. Balancing the global carbon budget. *Annual Review of Earth and Biochemistry*, Vol 35, pp313-347.
- Houghton, R.A., 2003. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. *Tellus B* 55, pp378–390.
- Ibrahim A.M.; Khalif M.N., 1998. Palmier dattier : sa culture, son soin et sa production dans le pays arabe. 2ème édition el-maaref, Alexandria, 756 p.
- Ibrahim el Akram, Z., (2002). Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organique et des effets des jus de compost biologique sur les maladies des plantes. Master of Science degree Mediterranean organic agriculture. CIHEAM Mediterranean agronomic institute of Bari, p104.
- Imad, A., Abdul Wahab, K. A. et Robinson, R. K., 1995. Chemical composition of date varieties as influenced by the stage of ripening. *Food chem.*, 54: pp 305-309.
- Institut national de la Protection des Végétaux (INPV), 2011. Calendrier de surveillance et d'intervention phytosanitaire du palmier dattier. DFRV Algérie.
- ITDAS de Ouargla, 2007. Orientations générales sur la conduite de votre palmeraie. Institut technique de développement de l'agriculture saharienne de Ouargla. Edition ITDAS, Ouargla, 25 p.
- Jacobs G. 1999. Earth's Vegetation and Soil: Natural Scrubber for Carbon Emissions? An Interview with ORNL's Gary Jacobs. *Oak Ridge National Laboratory Review* Vol. 32, Num. 3, p.21-23.
- Jacobson, M., Charlson, R.J., Rodhe, H., Orians, G.H., 2000. Earth system science: from biogeochemical cycles to global changes. *Academic press*, 527p.
- Jacques, G. & Saugier, B., 2008. *Les puits de carbone*. 1ère éd. Paris: Lavoisier.196p

## Références bibliographiques

- Jastrow, J. D., Amonette, J. E., and Bailey, v. L., 2007. Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration. *Climatic change*, 80: pp5-23.
- Jean .R., Bernard, L., Nicole, M., et Coll,. 2009. L'analyse de l'eau, 9<sup>e</sup> édition, pp 86-78 ; 110-247 ; 250-346.
- Jenkinson, D.S., Coleman, K., 2008. The turnover of organic carbon in sub-soils. Part 2. Modelling carbon turnover. *European Journal of Soil Science*, 59, pp400-413.
- Jobbagy, E. and Jackson, R., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and it's relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, Volume 10, pp. 423-436.
- Kane, D., 2015. Carbon sequestration potential on agricultural lands: a review of *current science andnavailable practices*, 35p
- Karabi, M., & Baelhadj, H. A. (2017). *Fonctionnement Microbiologique Des Sols Oasiens. Cas De Quelques Sols De La Région De Ouargla* (Doctoral Dissertation), pp251.
- Keuskamp, J.A., Dingemans, B.J.J., Lehtinen, T., Sarneel, J.M., Hefting, M.M., 2013. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution* 4, pp1070- 1075.
- Khouildi,. F., 2016. Aspects quantitatifs et qualitatifs de la nappe du continentale intercalaire (CI) de la région de Ouargla. Mémoire master en géologie. Université Kasdi Merbah Ouargla, 58p.
- Koch G.J. et Stockfisch N., 2006. Loss of soil organic matter upon ploughing under a loess soil after several years of conservation tillage. *Soil and tillage research* 86:pp73-83.
- LAL, R., 2003. Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, Vol 29, pp437-450.
- LAL, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, Vol 304, pp1623-1627.
- Lal, R., 2014. Soil conservation and ecosystem services. *Int. Soil Water Conserv. Res.* 2, pp36–47.
- Lal, R., 2016. Beyond COP 21: Potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. *J. Soil Water Conserv.* 71, pp20a–25a.

## Références bibliographiques

- Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R.M., Peters, G.P., Ciais, P., Friedlingstein, P., Jones, S.D., Sitch, S., Tans, P., Arneeth, A., Boden, T.A., Bopp, L., Bozec, Y., Canadell, J.G., Chini, L.P., Chevallier, F., Cosca, C.E., Harris, I., Hoppema, M., Houghton, R.A., House, J.I., Jain, A.K., Johannessen, T., Kato, E., Keeling, R.F., Kitidis, V., Klein Goldewijk, K., Koven, C., Landa, C.S., Landschützer, P., Lenton, A., Lima, I.D., Marland, G., Mathis, J.T., Metz, N., Nojiri, Y., Olsen, A., Ono, T., Peng, S., Peters, W., Pfeil, B., Poulter, B., Raupach, M.R., Regnier, P., Rödenbeck, C., Saito, S., Salisbury, J.E., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Segschneider, J., Steinhoff, T., Stocker, B.D., Sutton, A.J., Takahashi, T., Tilbrook, B., van der Werf, G.R., Viovy, N., Wang, Y.-P., Wanninkhof, R., Wiltshire, A., Zeng, N., 2015. Global carbon budget 2014. *Earth Syst. Sci. Data* 7, pp47–85.
- Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V., et Wiese, I., 2017. *Carbone organique du sol: une richesse invisible*, Rome, Organisation Des Nations Unies Pour L'alimentation Et L'agriculture. ISBN 978-92-5-209681-8.76p.
- Li, L.-J., D.-H. Zeng, Z.-Y. Yu, Z.-P. Fan, D. Yang, and Y.-X. Liu, 2011. Impact of litter quality and soil nutrient availability on leaf decomposition rate in a semi-arid grassland of Northeast China. *Journal of Arid Environments* 75(9): pp787–792.
- Lorenz, K. et Lal, R., 2005. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. *advances in agronomy*, 88: pp35-66.
- Macías, F., Camps Arbestain, M., 2010. Soil carbon sequestration in a changing global environment. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 15, pp511–529
- McCarty, G.W., Lyssenko, N.N., et Starr J.L., 1998. Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil science society of America journal* 62:1564-1571.
- Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J., Allen, M.R., 2009. Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. *Nature* 458, 1158–1162.
- Meki, M. N., Kiniry, J. R., Behrman, K. D., Pawlowski, M. N., & Crow, S. E. (2014). The role of simulation models in monitoring soil organic carbon storage and greenhouse gas mitigation potential in bioenergy cropping systems. *CO2*

## Références bibliographiques

*Sequestration and Valorization*, eds C. do Rosario Vaz Morgado and VPP Esteves, 251-279.

- Minasny, B., Malone, B.P., Mcbratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z.-S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant, B.P., Martin, M., Mcconkey, B.G., Mulder, V.L., O'rourke, S., Richer-De-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., Stockmann, U., Sulaeman, Y., Tsui, C.-C., Vågen, T.-G., Van Wesemael, B., Winowiecki, L., 2017. Soil carbon 4 per mile. *Geoderma* 292, pp59–86. doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002
- Ministère de l'environnement du Canada. 2005. Une introduction au changement climatique – une perspective Canadienne. Toronto, Canada, 55 p.
- Morel, Jean-Louis, et al. "Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage." *Agronomie* 6.8 (1986): 693-701.
- Morel, Jean-Louis, et al. "Etude de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage." *Agronomie* 6.8 (1986): 693-701
- Mrabet R. 2001a. No-tillage Farming: Renewing Harmony between Soils and Crops in Semiarid Morocco. Third International Conference on Land Degradation (ICLD3) and Meeting of the IUSS Sub commission C – Soil and Water Conservation. Rio de Janeiro, Brazil, September 17- 21. <http://www.cnps.embrapa.br/icld3>.
- Mrabet R., 2001b. Le semis direct: une technologie avancée pour une agriculture durable au Maroc. Bulletin de transfert de technologie en agriculture madref-derd. N° 76, 4p.
- Mrabet, R., Ibno-Namr, K., Bessam, F., & Saber, N., 2001a. Soil chemical quality changes and implications for fertilizer management after 11 years of no-tillage wheat production systems in semiarid Morocco. *Land degradation & development*, 12(6), 505-517.
- Munier P., 1973. Le palmier dattier G.P. Maisonneuve et Larose. Vol(24). 209 p.
- Nahal. I., 2006. La désertification dans le monde, causes – processus – conséquences – lutte. Collection biologie, écologie, agronomie. Edition l'harmattan France, 150p.
- Needelman B.A., Wander M.M., Bollero G.A., Boast C.W., Sims G.K. et Bullock D.G. 1999. Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil science society of America journal* 63:1326.



## Références bibliographiques

- Nezli, I.E., 2004. Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla). Mémoire de magister en géologie. Université Badji Mokhtar - Annaba, 93p.
- Nezli, I.E., 2009. Approche hydrogèochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Hydraulique. Université Mohamed Kheider – Biskra, Algérie, p.117.
- O'Rourke, S. M., Angers, D. A., Holden, N. M. & Mcbratney, A. B, 2015. Soil organic carbon across scales. *Global Change Biology*, 21: 3561–3574.
- Parton,W., Silver,W.L., Burke, I.C., Grassens, L. & Harmon,M.E., 2007. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. *Science*, 315, pp361–364.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P.et Smith, P., 2016. Climate smart soils. *Nature*, 532(7597): 49-57.
- Pekrun, C., Kaul, H.P., Et W. Claupein. 2003. Soil tillage for sustainable nutrient management, , in a. El titi, ed. *Soil tillage in agroecosystems*. Crc press llc, Boca Raton, p. 83-113.
- Pellerin, S., Bamiere, L., Launay, C., Martin, R., Schiavo, M., Angers, D., et Cardinael, R., 2019. Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif de 4 pour 1000 et à quel coût? Synthèse du rapport d'étude. INRA, France, 114 p.
- Poget M., 1980. Les relations sol végétation dans les steppes sud-algéroises. *ORSTOM*, Paris, 555p.
- Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Stangenberger, A.G., 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature* 298, pp156–159
- Prescott, C.E. (2010) Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemistry*, 101, pp133–149.
- RGPH, 1998. SIG du Recensement Générale de la Population et de l'Habitat. 1987-1998. Office National des Statistiques.
- Robert, M., Antoine, J., Nachtergaele, F., Benites, J., Brinkman, R., Dudal, R., et Koohafkan, P., 2002. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres-rapport sur les ressources en sols du monde *FAO(96)*-,59p

## Références bibliographiques

- Rouvillois-Brigol, M., 1975. Le pays de Ouargla (Sahara Algérien). Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Thèse Doc., Département de géographie université de Paris-Sorbonne, Paris, p. 389.
- Rumpel, C., Chabbi, A. et Marschner, B., 2012. Carbon storage and sequestration in subsoil horizons: knowledge, *gaps and potentials*. dans: R. Lal et al. Eds. *Recarbonization of the biosphere. Dordrecht, pays-bas: Springer*, pp. 445-464.
- Saint-Laurent, D., and Arsenault-Boucher, L., 2020. Soil properties and rate of organic matter decomposition in riparian woodlands using the TBI protocol. *Geoderma*, 358, 113976.
- Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R., Kapos, V., 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon manag.* 5, pp81–91.
- Schlesinger, W.H., 1977. Carbon balance in terrestrial detritus. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 8, pp51– 81.
- Sedra M.H., 2003. Le palmier dattier, base de la mise en valeur des oasis du Maroc. Techniques phoenicicoles et création d'oasis. Editions INRA (Rabat, Maroc), 265 p.
- Setälä, H., Marshall, V.G. & Trofymow, J.A., 1996. Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and <sup>15</sup>N uptake by poplar in a pot trial. *Soil Biology and Biochemistry*, 28, 1661–1675.
- Shamma N.K. et Wang, L.K., 2007. Biosolids composting. Dans: handbook of environmental engineering. L.k.wang (éditeur), Humana press, New York, pp. 645-687.
- Shibu, M.E., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Aggarwal, P.K., 2006. Quantitative description of soil organic matter dynamics—A review of approaches with reference to rice-based cropping systems. *Geoderma* 137, 1–18.
- Sierra, J., 2019. Séquestration de carbone, résilience, 4 pour mille et autres concepts appliqués aux sols de Guadeloupe. Unité agrosystèmes tropicaux, INRA Antilles-Guyane domaine Duclos, Guadeloupe, France, 20p.
- Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A. et Paustian, K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for c-saturation of soils. *Plant and soil*, 241: 155-176.
- Six, J., Elliott, E.T., et Paustian, K., 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for c sequestration under no-tillage agriculture. *Soil biology and biochemistry* 32: 2099-2103.

## Références bibliographiques

- Six, J., Frey, S. D., Thiet, R. K. and Batten, K., M. 2006. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agrosystems. *Soil science society of America*, 70(2): 555-569.
- Soil Science Society of America, 2001. Glossary of soil science terms. Soil Science Society of America.
- Stevenson, F.J., 1994. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. John Wiley & Sons. Département de l'agronomie Université d'Illinois ISBN 0-4715974-1.472p.
- Tirichine, H.S., 2010. Etude ethnobotanique, activité antioxydants et analyse photochimique de quelques cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera l.*) du sud-est algérien. Mémoire de magister en biologie. Université Senia, Oran, 106p.
- Torquebiau, E., 2017. Le changement climatique, un défi pour la recherche: l'exemple de l'initiative " 4%".
- Toutain, G., 1979. Eléments d'agronomie saharienne : de la recherche au développement. Ed. Jouve, Paris, 276 p
- Trumbore, S., 2009. Radiocarbon and soil carbon dynamics. *Annual review of earth planetary sciences*, 37: 47-66.
- Trumbore, S.E., 1997. Potential responses of soil organic carbon to global environmental change. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 94(16), pp8284- 8291.
- UNESCO, 1972. Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. In: UNESCO (Ed.)
- US Department of Energy. 1999. In carbon sequestration - Research and Development:. U.S. Department of Energy. December 1999. Report
- Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langlais-Hesse, A., & Schwartz, C., 2015. Les services écosystémiques des sols: du concept à sa valorisation. Cahier Demeter, France. Weber, JL (2007). Implementation of land and ecosystem accounts at the European Environment Agency. *Ecological Economics*, 61, 695-707.
- Weber, JL., 2007. Implementation of land and ecosystem accounts at the European environment agency. *Ecological economics*, 61, 695-707.
- Westman, W.E. 1977. How much are nature's services worth? *Science*. 197:960-964
- Wieder, R.K. & Lang, G.E., 1982. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63, 1636-1642.

## Références bibliographiques

- Zhang, D., Hui, D., Luo, Y. and Zhou, G., 2008. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology*, 1, pp85–93.
- Zhang, L., Zhongkui, X., Ruifeng, Z., and YaJun, W. A. N. G., 2012. The impact of land use change on soil organic carbon and labile organic carbon stocks in the Longzhong region of Loess Plateau. *Journal of Arid Land*, 4(3), 241-250.

## Résumé

De nos jours la terre connaît un changement climatique, sous forme d'effet de serre, qui aboutit aux dégradations de la fertilité des sols, accompagné d'un manque des eaux pluvial et affecte la recharge des nappes d'eau souterraines.

La région de Ouargla est caractérisée par un climat aride et sec avec un sol sableux et pauvre en matière organique, dont l'effet de serre a aggravé la situation.

Dans ce travail est présenté une technique expérimentale pour comprendre la séquestration de carbone organique dans le sol à travers l'utilisation de la méthode «Tea Bag Index » comme substrats standard pour étudier la vitesse de décomposition de la matière organique.

Cette méthode est proposée afin d'être appliquée dans la région de Ouargla, en vue de réduire l'influence de l'effet de serre et de rendre le sol agricole plus fertile.

Pour les résultats, nous avons fait des recherches bibliographiques similaires provenant de différentes sources pour les études qui ont suivi le même principe et le protocole.

**Mots clés :** changement climatique, l'effet de serre, matière organique, séquestrations de carbone.

## ملخص

في الوقت الحاضر ، شهدت الأرض تغيرًا مناخيًا ، على شكل ظاهرة الاحتباس الحراري ، مما أدى إلى تدهور خصوبة التربة ، مصحوب بنقص مياه الأمطار التي تؤثر إعادة تخزين منسوب المياه الجوفية

تتميز منطقة ورقلة بمناخ قاحل وجاف مع تربة رملية فقيرة بالمواد العضوية ، مما أدى إلى تفاقم الوضع بسبب الاحتباس الحراري في هذا العمل تم تقديم تقنية تجريبية لزيادة عزل الكربون العضوي في التربة من خلال استخدام طريقة "مؤشر أكياس الشاي" كركائز قياسية لدراسة معدلات تحلل المادة العضوية.

يقترح تطبيق هذه الطريقة في منطقة ورقلة من أجل الحد من تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري وجعل التربة الزراعية أكثر خصوبة.

للحصول على النتائج، أجرينا عمليات بحث في مصادر مختلفة للدراسات التي اتبعت نفس المبدأ والبروتوكول

**الكلمات المفتاحية:** تغير المناخ ، تأثير الاحتباس الحراري ، المادة العضوية ، عزل الكربون

## Abstract

Currently the earth has experienced climate change in the form of a greenhouse effect, which results the degradation of soil fertility, follow by a miss of rainwater and affects the recharge of groundwater tables.

The Ouargla region is characterized by an arid and dry climate with sandy soil which is poor in organic matter, and the global warming worsens the situation

In this work an experimental technique is presented to increase the uptake of organic carbon in the soil by using the "tea bag index" method as standard substrates for studying decomposition rates of organic matter. This method is proposed to be applied in the Ouargla region, in order to reduce the influence of the greenhouse effect and make the agricultural soil more fertile.

For the results, we performed similar literature searches from different sources for studies that followed the same principle and protocol.

**Keywords:** climate change, greenhouse effect, organic matter, carbon sequestration.