

**RÉPUBLIQUE ALGÈRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Abdelhamid ibn Badis  
de Mostaganem**

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



جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

كلية علوم الطبيعة و الحياة

**DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE**

N° \_\_\_\_\_ /AGRO/2023

**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES**

Présenté par :

**M<sup>elle</sup> BENHARIRA Sabrina & M<sup>elle</sup> EL KEBAILI Asma**

En vue de l'obtention du diplôme de

**Master Académique en Agronomie**

Spécialité : AMÉLIORATION DES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

**THÈME**

**Contribution à l'étude de la variation du stock de carbone  
organique du sol sous agrumiculture**

Soutenu publiquement le 19/06/2023

**Devant le JURY :**

<b>Président</b>	<b>M<sup>r</sup> LARID Mohamed</b>	<b>Professeur U.Mostaganem</b>
<b>Examineur</b>	<b>M<sup>r</sup> GHELAMALLAH Amine</b>	<b>M.C.A U.Mostaganem</b>
<b>Encadreuse</b>	<b>M<sup>me</sup> BENOUDAH Salima</b>	<b>M.C.B U.Mostaganem</b>

**Année universitaire: 2022 - 2023**

## Remerciements



*Au début de notre discours, nous remercions **ALLAH** le tout puissant qui nous a donné le courage, la force, la patience et la volonté de faire ce travail.*

*Nous remercions **ALLAH**, c'est grâce à lui que nous sommes arrivées à ce niveau. À l'heure où nous apportons la touche finale de ce mémoire.*

*Notre promotrice **D' BENOUDAH Salima** de nous avoir aidé à réaliser le travail demandé dans ce projet de fin d'étude, nous apprécions ses efforts acharnés pour nous, et qu'elle mérite des remerciements et des appréciations.*

*Nos vifs remerciements au **Professeur LARID Mohamed**, pour avoir accepté de présider le jury et à **D' GHELAMALLAH Amine** pour avoir bien voulu nous faire honneur d'examiner notre mémoire.*

*Nous remercions également tous les ingénieurs des laboratoires de recherches*

*Tous nos remerciements aux ouvriers et aux paysans d'Atelier Agricole Mazagran (Mostaganem) et pour leur gentillesse.*

*nos reconnaissances et gratitude face à tous les enseignants, les responsables et les agents du Département d'Agronomie de l'Université Abd Elhamide Ibn Badis de Mostaganem sans exception.*



*J'espère que Dieu Tout-Puissant vous donne à tous la santé et le bien-être.*

*Merci pour ce que tous ce qui nous avez donné de connaissances et que Dieu vous bénisse*

*En fin nous tenons à exprimer, nos remerciements à tous les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Merci à toutes et à tous.*





## Dédicace

*À celui dont les pieds sont le ciel et la tendresse dans ses bras,  
ma mère, et à celui dont je porte le nom avec fierté,  
mon père **Ahmed**, que **Dieu** le protège,  
à mon frère, mon soutien dans la vie, mes sœurs,  
mon refuge quand je suis triste,  
et ma consolation quand je suis heureux, à mon espoir dans la vie: **kamar, Amir et Sam.***

*À mon cher Aziz qui m'a encouragé à réaliser ce modeste travail.*

*À mes très chères amies **Sabrina, Fatima, Khalida, wiam, Narimen, Khoula et Ikram.***

*Mes sincères remerciements à mes chers **Enseignants et Enseignants***

*chacun par son nom et son prénom à leur tête ma promotrice*

***D' BNOUADAH Salima** d'avoir partagé avec moi sa passion pour  
l'encadrement, j'ai grandement apprécié son soutien, son implication*

*et son expérience tout au long de l'année.*

*À tous ce que je connais*

*Je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine de santé et de bonheur.*

**Asma**





## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à:*

*À mes très chers **parents** qui ont sacrifiés leur vie pour ma réussite.*

*À Mon frère et Mes sœurs.*

*À ma chère **grand-mère**, que **Dieu** prolonge sa vie, à toute la famille et à mes oncles.*

*À mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité surtout mes chères amies **Asma, Fatima, Khalida, Khaoulae, Nariman et Wiam** .*

*À tous mes amis qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.*

*À Toute ma promotion des Sciences Agronomiques et surtout celle de la spécialité :*

*Amélioration de la production végétale 2022/2023.*

*À tous mes amis (es).*

*À tous ceux que je connais.*

**Sabrina**

## **Abstract**

Atmospheric carbon sequestration in terrestrial ecosystems has become a significant challenge in the global framework of reducing greenhouse gas emissions. The main objective of this study is to provide estimates of soil organic carbon stocks (0-30cm) in the agricultural workshop of Mazgran at Mostaganem according to the main land uses represented by three different types of citrus crops: orange cultivation, grapefruit cultivation and lemon cultivation in comparison with soil under spontaneous vegetation from the same study area. This Stored organic carbon values varied significantly ( $p < 0.05$ ) between soil under citrus cultivation and soil under spontaneous vegetation, with the highest value recorded for soil under orange cultivation ( $51.26 \pm 6.26 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), followed by soil under grapefruit cultivation and soil under lemon cultivation, the lowest stock is recorded for soil under spontaneous vegetation ( $40.52 \pm 4.48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), the average stock is  $45.3 \pm 11.45 \text{ Mg C ha}^{-1}$  for all 12 soil samples.

**Keywords:** Organic carbon stocks, agricultural soils, depth, land use, Mostaganem.

## Résumé

La séquestration du carbone atmosphérique dans les écosystèmes terrestres est devenue un enjeu important dans le cadre mondial de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. L'objectif principal de cette étude est d'estimer la variation du stock de carbone organique du sol (SCOS) de l'Atelier Agricole de Mazargan à Mostaganem. Pour ce faire, nous avons quantifié le carbone organique selon les principaux usages des terres représentés par trois types de cultures d'agrumes différentes : culture d'oranger, culture du pamplemousse et la culture de citronnier en comparaison avec une végétation spontanée à partir des sols de la même zone d'étude à une profondeur de 30 cm. Les valeurs de carbone organique stocké variaient significativement ( $p < 0,05$ ) entre le sol sous agrumiculture et le sol sous végétation spontanée, avec la valeur la plus élevée enregistrée pour le sol sous culture d'oranger ( $51,26 \pm 6,26 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), suivie par le sol sous culture de pamplemousse et le sol sous culture de citronnier, le stock le plus faible est enregistré pour le sol sous végétation spontanée ( $40,52 \pm 4,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), le stock moyen est de  $45,3 \pm 11,45 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour l'ensemble des 12 échantillons de sol de la zone d'étude.

**Mots clés :** Stock du carbone organique, sols agricoles, profondeur, usage du sol, Mostaganem.

## ملخص

أصبح عزل الكربون في الغلاف الجوي في النظم الإيكولوجية الأرضية تحديًا كبيرًا في الإطار العالمي للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقديم تقديرات لمخزون الكربون العضوي في التربة (0-30 سم) في الورشة الزراعية بمزگران (مستغانم) وفقًا لاستخدامات الأرض الرئيسية المتمثلة في ثلاثة أنواع مختلفة من الحمضيات: أشجار البرتقال و أشجار البرتقال الهندي و أشجار الليمون، بالمقارنة مع التربة تحت الغطاء النباتي العفوي من نفس منطقة الدراسة. تفاوتت قيم الكربون العضوي المخزن معنويًا ( $p > 0.05$ ) بين التربة المزروعة بالحمضيات والتربة تحت الغطاء النباتي العفوي، حيث سجلت أعلى قيمة للتربة المزروعة بالبرتقال ( $51.26 \pm 6.26$  مغ كربون/هكتار)، تليها التربة المزروعة بالبرتقال الهندي والتربة المزروعة بأشجار الليمون، تم تسجيل أقل مخزون للتربة تحت الغطاء النباتي التلقائي ( $40.52 \pm 4.48$  مغ كربون/هكتار)، متوسط المخزون هو  $45.3 \pm 11.45$  مغ كربون/هكتار لجميع عينات التربة.

**الكلمات المفتاحية:** مخزون الكربون العضوي، التربة الزراعية، العمق، استخدامات الأرض، مستغانم.

# Plan de travail

**Remerciements**

**Dédicaces**

**Résumé**

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des photos**

**Liste des tableaux**

**Introduction**

1

## Synthèse bibliographique

### Chapitre I : Le sol

I.1. Généralités

3

I.2. Définition du sol

4

I.3. Diverses phases du sol

4

I.3.1. Phase liquide du sol

4

I.3.2. Phase gazeuse du sol

5

I.3.3. Phase solide du sol

5

I.4. Description de la phase solide du sol

6

I.4.1. Structure

6

I.4.2. Texture

7

I.5. Évolution de la matière organique dans le sol

8

### Chapitre II: Stockage du carbone organique dans le sol

II.1. Généralités

10

II.2. Les déterminants du stockage de carbone dans les sols

10

II.3. Sols et cycle de carbone

11



II.4. Cycle biogéochimique du carbone organique	11
II.5. Le stockage du carbone dans les sols	12
II.6. Les influences du stockage de carbone dans les sols	13

### **Chapitre III: Les agrumes**

III.1. Origine des agrumes : leur évolution et la naissance des espèces cultivées	16
III.2. La production des agrumes	17
III.2.1. En Algérie	17
III.2.2. À Mostaganem	17
III.3. Composition variétale du verger agrumicole de Mostaganem	17
III.4. Systématique	18
III.5. Exigences des agrumes	18
III.6. Etude de quelques groupes d'agrumes	19
III.7. Problèmes phytosanitaires des agrumes en Algérie	21

### **Etude expérimentale**

#### **Chapitre I: Matériel et méthodes**

I.1. Objectif du travail	22
I.2. La région de prélèvement	22
I.3. Lieu du travail	24
I.4. Matériel et méthodes	24
I.4.1. Matériel	24
I.4.1.1. Verreries, appareils et produits utilisés	24
I.4.2. Méthodes	25
I.4.2.1. Echantillonnage	26
I.4.2.2. Détermination du taux d'humidité	27
I.4.2.3. Densité apparente	27
I.4.2.4. Préparation des échantillons	28
I.4.2.5. Analyse granulométrique	29

I.4.2.6. Les analyses physicochimiques	29
I.4.2.7. Calcul du stock de carbone organique du sol	33
I.4.2.8. Traitement statistique	33
<b>Chapitre II : Résultats et discussion</b>	
II.1. Résultats des analyses physico-chimiques	34
II.1.1. Discussion des résultats de la granulométrie	34
II.1.2. Discussion des résultats de l'humidité	35
II.1.3. Discussion des résultats de la densité apparente	35
II.1.4. Discussion des résultats du calcaire	36
II.1.5. Discussion des résultats de la conductivité électrique	37
II.1.6. Discussion des résultats du pH	38
II.1.7. Discussion des résultats du carbone organique du sol	39
II.2. Variation du SCOS	40
a. Variation du SCOS selon le type de végétation	40
b. Variation du SCOS en relation avec les paramètres physicochimiques	41
c. Variation du SCOS en relation avec la profondeur	41
Conclusion générale	43
Références bibliographiques	44
Annexes	53

## Liste des abréviations

**AFNOR:** Association Française de la Normalisation

**ANIREF :** Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière

**C:** Carbone

**C:** *Citrus*

**CaCl<sub>2</sub> :** Chlorure de calcium

**CaCO<sub>3</sub>:** Carbonate de calcium

**CE:** Conductivité électrique

**CH<sub>4</sub>:** Méthane

**CMCC :** Euro-Mediterranean Centre for Climate Change

**CO:** Carbone Organique

**CO<sub>2</sub>:** Dioxyde de Carbone

**COS:** Carbone Organique du Sol

**Da:** Densité apparente

**DSA:** Direction des Services Agricoles

**EG:** Eléments Grossiers

**FAO:** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

**HAP:** Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

**HCl:** Chlorure Hydrogène

**ISO:** International Organization for Standardization

**ITA :** Institut de Technologie Agricole

**ITAFV:** Institut Technique de l'Arboriculture Fruitière et de la Vigne

**MADR :** Ministère de l'Agriculture et le Développement Rurale

**MgCl<sub>2</sub>:** Chlorure de magnésium

**MO:** Matière Organique

**MOS:** Matière Organique du Sol

## Liste des abréviations

**N** : Nord

**N<sub>2</sub>O**: Oxyde Nitreux

**P**: Profondeur

**pH**: Potentiel Hydrogène

**SCC**: Sol sous une Culture de Citronnier

**SCP**: Sol sous une Culture du Pamplemousse

**SCOS**: Stock de Carbone Organique dans le Sol

**SVS**: Sol sous Végétation Spontanée

**USDA** : Département américains de l'agriculture

## Liste des figures

<b>Figure 01</b>	La complexité externe et interne du sol	3
<b>Figure 02</b>	Schéma d'une coupe de sol	4
<b>Figure 03</b>	Définition des fractions granulométriques du sol en fonction de la taille des éléments	7
<b>Figure 04</b>	Triangle des textures	7
<b>Figure 05</b>	Schéma d'évolution de la matière organique dans le sol	8
<b>Figure 06</b>	Le carbone organique du sol dans le cycle du carbone globale	11
<b>Figure 07</b>	Cycle du carbone du sol	12
<b>Figure 08</b>	Effets des vers de terre sur la dynamique de la matière organique par la consommation de la litière et l'ingestion du sol	14
<b>Figure 09</b>	Origine des formes cultivées d'agrumes	16
<b>Figure 10</b>	Situation géographique de la zone d'étude	22
<b>Figure 11</b>	Protocole expérimental	25
<b>Figure 12</b>	Composition granulométrique des quatre échantillons de sol étudiés.	34
<b>Figure 13</b>	Taux d'humidité des quatre échantillons de sol étudiés	35
<b>Figure 14</b>	Teneurs de la densité apparente des quatre échantillons de sol étudiés	36
<b>Figure 15</b>	Taux du calcaire des quatre échantillons de sol étudiés	37
<b>Figure 16</b>	Taux de la salinité globale des quatre échantillons de sol étudiés	38
<b>Figure 17</b>	Le pH des quatre échantillons de sol étudiés	39
<b>Figure 18</b>	Le CO des quatre échantillons de sol étudiés	40
<b>Figure 19</b>	Le SCO des quatre échantillons de sol étudiés	42

## Liste des photos

<b>Photo 01</b>	Prélèvement du sol	26
<b>Photo 02</b>	Échantillons de sol pesés et séchés à l'étuve	27
<b>Photo 03</b>	Mesure de la densité apparente à l'aide du cylindre	28
<b>Photo 04</b>	Séchage des échantillons de sol	28
<b>Photo 05</b>	Broyage et tamisage des échantillons	29
<b>Photo 6</b>	Analyse granulométrique par la méthode de la pipette	29
<b>Photo 07</b>	Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre	30
<b>Photo 08</b>	Mesure de la conductivité électrique du sol par le conductimètre	31
<b>Photo 09</b>	Dosage du calcaire total	32
<b>Photo 10</b>	Dosage du calcaire actif	32
<b>Photo 11</b>	Dosage du carbone organique par la méthode Anne	33

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01</b>	Classification simplifiée des sols selon la texture	8
<b>Tableau 02</b>	La production d'agrumes et la superficie occupée par l'agrumiculture	17
<b>Tableau 03</b>	La production des agrumes par variété dans la wilaya de Mostaganem	17
<b>Tableau 04</b>	Caractéristiques de quelques groupes d'agrumes	20
<b>Tableau 05</b>	Matériel et produits	24
<b>Tableau 06</b>	Résultat des analyses granulométriques des sols étudiés	34
<b>Tableau 07</b>	Hauteur de prélèvement en fonction du temps de sédimentation	52
<b>Tableau 08</b>	Densité apparente du sol	56
<b>Tableau 09</b>	Le pH du sol	56
<b>Tableau 10</b>	Classes de la qualité des sols selon leur CE	56
<b>Tableau 11</b>	Le calcaire total	57
<b>Tableau 12</b>	La matière organique	57

# **Introduction**



## Introduction

Les activités humaines sont responsables de l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en particulier des gaz carbonés (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), augmentation devenue synonyme du changement climatique (**Le Quéré *et al.*, 2015**).

Le carbone peut être stocké dans le sol principalement sous forme organique grâce à la photosynthèse des plantes supérieures, qui est le mode quasi unique de fixation biologique du CO<sub>2</sub> atmosphérique sous forme de matière organique (**Arrouays *et al.*, 2002**).

La quantité de carbone organique du sol (COS) est estimée à 1 500 milliards de tonnes, soit environ deux fois plus que dans l'atmosphère et trois fois plus que dans la végétation terrestre (**Arrouays *et al.*, 2003**). La matière organique du sol (MOS), composée principalement de carbone, contribue à quatre principaux services écosystémiques : la rétention d'eau, la fertilité des sols, la résistance des sols à l'érosion et la préservation de la biodiversité des sols (**Blanchart et Trap, 2020**), et pourraient jouer un rôle essentiel dans la lutte contre l'augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère et donc dans la prévention du changement climatique.

Ces dernières années, les engagements internationaux pour lutter contre le changement climatique ont pris en compte les modifications du COS (**Tosser *et al.*, 2013**). Selon l'initiative « 4 pour 1000 », 1,2 milliard de tonnes de carbone pourraient être stockées dans les couches arables agricoles par an, soit un taux de stockage annuel d'environ 0,4 %, grâce à des pratiques de gestion adaptées aux conditions locales. Ces pratiques n'influencent pas seulement les apports de carbone mais aussi les sorties de carbone par le biais de mécanismes de stabilisation et de déstabilisation du carbone du sol (**Derrien *et al.*, 2016**). La plupart des sols sont très loin d'être saturés en carbone organique et les estimations montrent que la quantité de carbone qui pourrait encore être séquestrée est très importante (**FAO, 2017**). La dynamique du carbone des sols méditerranéens semi-arides a reçu moins d'attention que les autres régions du monde (**Brahim *et al.*, 2011**). Selon **Lefèvre *et al.* (2017)**, les terres arides contiennent environ un tiers du stock mondial et couvrent 40 % de la surface terrestre.

Cependant, il est très clair que les études sur la dynamique du carbone organique dans les sols agricoles sont encore insuffisantes, notamment en Algérie: **Arabi et Roose (2002)** pour une étude diachronique (1988-2002) des sols d'Ouzéra, à 90 km au sud d'Alger, **Boutkhil *et al.* (2004)** pour une autre enquête diachronique (1993-1998) à Beni-Chougrane, **Morsli *et al.* (2004)** pour une étude comparative du COS sur les monts Béni-Chougrane et Tlemcen, **Daroui *et al.* (2018)** pour une autre étude comparative des SCOS d'Annaba et de Sétif, dans le nord-est algérien, **Bounouara *et al.* (2017)** pour une étude de quatre sols le long d'une toposéquence dans la vallée de Zeramna à El Hadaiek, à 5 km de Skikda dans le nord-est

## Introduction

algérien, **Benouadah et al. (2022)** pour une étude évaluative des SCO des sols sous amendements organiques, à 320 km au sud-ouest d'Alger, **Benslimane et al. (2023)** pour l'estimation du SCO des sols agricoles de la plaine de Sidi Bel Abbes, à 440 km au nord-ouest d'Alger.

Selon **Chevallier et al. (2019)**, la gestion et les pratiques culturales des terres agricoles influencent significativement la dynamique de la matière organique et sa stabilisation. La connaissance du potentiel offert par les sols agricoles selon les usages et les pratiques est cruciale (**Arrouays et al., 2002**).

C'est pourquoi nous contribuons à travers cette étude à mieux comprendre le comportement des sols agricoles sous arboricultures en conditions méditerranéennes semi-arides à savoir l'agrumiculture vis-à-vis le stockage du carbone organique, compte tenu de l'importance de la superficie occupée par la cultures d'agrumes en Algérie, soit 45000 Hectares (11% des surfaces occupée par les arbres fruitières) et qu'elle figure parmi les grands pays méditerranéens producteurs d'agrumes, étant donné qu'elle possède une collection variétale composée de 178 variétés d'agrumes constituant un patrimoine génétique inestimable (**MADR, 2017 ; DSA, 2022**). Une quantité de 1,507 million de quintaux (q) de différentes variétés d'agrumes a été produite dans la wilaya de Mostaganem durant la campagne 2021/2022 avec un rendement de 305 q à l'hectare auprès de la Direction locale des services agricoles (**DSA, 2022**).

L'objectif principal de cette étude est d'estimer la variation du stock de carbone organique du sol (SCOS) de l'Atelier Agricole de Mazagran à Mostaganem. Pour ce faire, nous avons quantifié le carbone organique selon les principaux usages des terres représentés par trois types de cultures d'agrumes différentes : culture d'oranger, culture du pamplemousse et la culture de citronnier à partir des sols de la même zone d'étude à une profondeur de 30 cm.

# **Partie 1**

## **Synthèse bibliographique**

# **Chapitre I**

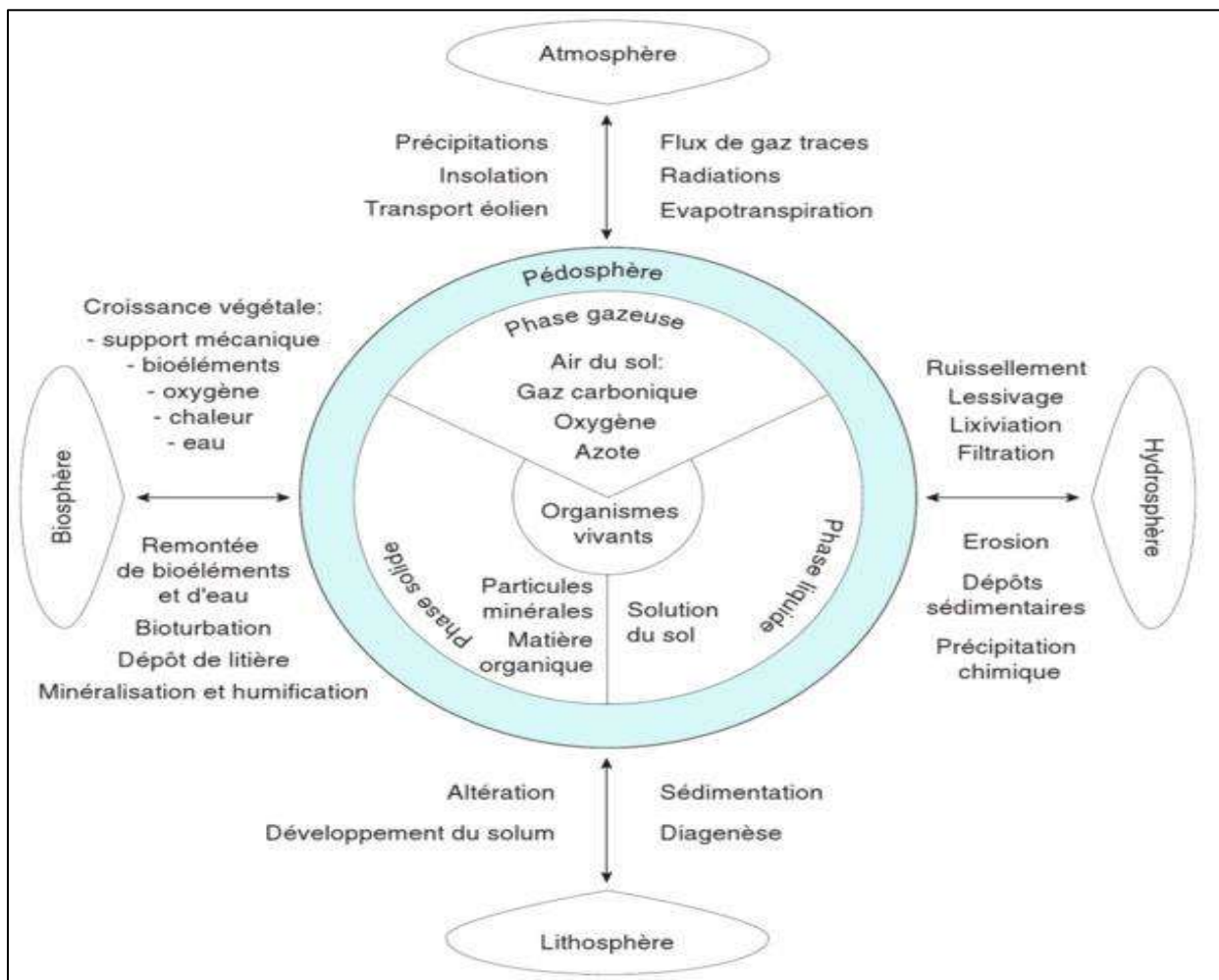
## **Le sol**

## I.1. Généralités

D'après **Sposito (1997)**, les sols sont des systèmes multiphasiques complexes et hétérogènes, composés d'air, d'eau et de solide (sable, limon, argile, matière organique (MO), nutriments, écosystèmes,... etc.). En outre, les sols sont des médias ouverts et dynamiques, échangeant de la matière et de l'énergie avec l'atmosphère, la biosphère et l'hydrosphère (Figure 1).

Selon **Nortcliff (2002)**, les sols doivent accomplir cinq fonctions principales de base :

- Offrir un habitat physique, chimique et biologique pour les organismes vivants;
- Réguler les flux d'eau, le stockage et le recyclage des cycles des nutriments et d'autres éléments;
- Maintenir les activités et les diversités biologiques pour subvenir à la croissance des plantes et la productivité des animaux;
- Filtrer, tamponner, transformer, immobiliser et détoxifier les substances organiques et inorganiques;
- Fournir un support mécanique aux organismes vivants et à leurs structures.

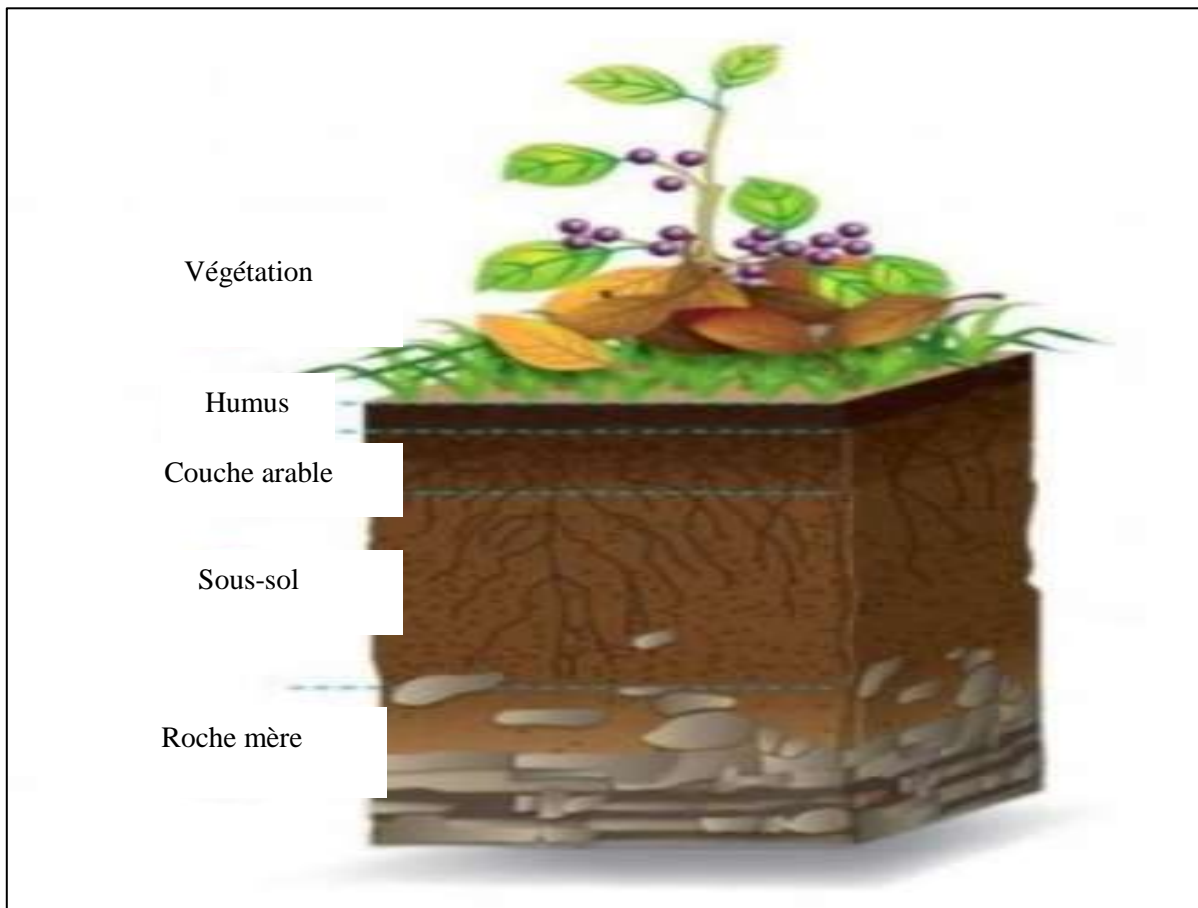


**Figure 1:** La complexité externe et interne du sol (Gobat *et al.*, 2010).

### I.2. Définition du sol

Ce qu'on appelle couramment « sol » est beaucoup mieux désigné par le terme de couverture pédologique (**Baize et Jabiol, 1995**). C'est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, présentant une épaisseur variable de quelques centimètres à plusieurs mètres (**Rahaoui, 2009**). En outre, le sol fait partie de la biosphère, c'est le résultat d'une évolution lente au cours de laquelle le climat, le relief et les organismes ont participé à le façonner en altérant la roche mère et en la faisant interagir avec la matière vivante (**Soltner, 1992**). De ce fait, le sol contient des constituants minéraux auxquels s'ajoutent des constituants organiques vivants ou provenant de leur décomposition partielle (**Briat et Job, 2017**).

De la naissance à la mort, le sol sert de support (Figure 2), milieu naturel et habitat pour les milliards d'organismes animaux et végétaux (**Legros, 2007; Ruellan, 2010**).



**Figure 2:** Schéma d'une coupe de sol (**Legros, 2007**).

### I.3. Diverses phases du sol

#### I.3.1. Phase liquide du sol

D'après **Morel (1996)**, la phase liquide du sol est souvent désignée par le terme « solution du sol », occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol, est constituée d'eau

où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension.

La composition de la solution du sol varie selon:

- Le climat,
- Les apports anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire ...etc.)
- L'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...etc.).

### I.3.2. Phase gazeuse du sol

Selon **Hillel (1982)**, les gaz qui règnent dans l'atmosphère d'un sol bien aéré sont :

- L'azote (78 à 80%) ;
- L'oxygène (18 à 20%) ;
- Le dioxyde de carbone (0,2 à 3%).

D'après **Calvet (2003)**, d'autres molécules gazeuses d'origine anthropique telles que les pesticides ou les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) peuvent également être détectées dans l'atmosphère du sol. Ces gaz peuvent exister dans le sol :

- Soit à l'état libre;
- Soit dissous dans la solution du sol.

### I.3.3. Phase solide du sol

#### I.3.3.1. Eléments grossiers

Ce sont les éléments supérieurs à 2mm et on les classe par dimensions :

- 0,2 cm à 2 cm : graviers ;
- 2 à 5 cm : cailloux ;
- 5 à 20 cm : pierres ;
- > 20 cm : blocs.

Leur expression se fait en pourcentage, qu'on donne sur le terrain en fonction du volume et en laboratoire en fonction de la masse (au laboratoire, on estime le pourcentage après passage de l'échantillon du sol au tamis de 2mm) (**FAO, 2018**).

#### I.3.3.2. Terre fine

Selon **Morel (1996)**, la terre fine est la fraction de terre qu'il reste lorsqu'on retire les éléments grossiers (donc inférieur à 2 mm, au tamis). On peut classer les éléments de la terre fine par dimensions (Figure 3) :

- 2mm à 0,2 mm : sable grossiers ;
- 0,2 mm à 50 µm : sable fins ;

- 50  $\mu\text{m}$  à 20  $\mu\text{m}$  : limons grossiers ;
- 20  $\mu\text{m}$  à 2  $\mu\text{m}$  : limons fins ;
- < 2  $\mu\text{m}$  : argiles.

Elle comprend aussi une fraction organique dont le taux varie selon le type de sol et les conditions de la pédogenèse. Les sols cultivés présentent des taux de matière organique compris dans une gamme allant de moins de 1% à 20% de la masse du sol (Calvet, 2003).

### 1.3.3.3. Fractions constitutives du sol

Le sol est un corps vivant composé de deux fractions : les fractions organiques et minérales (Briat et Job, 2017).

#### a. Fraction minérale

D'après Sposito (2008), il existe trois catégories majoritaires dans le sol :

- Les silicates sont des oxydes de silice qui ont des structures très diverses.
- Les oxydes, oxy-hydroxydes et hydroxydes les plus importants et les très abondants dans les sols.
- Les carbonates les plus abondants sont les carbonates de calcium (Calcite) et les carbonates de magnésium.

#### b. Fraction organique

D'après Pansu et Gautheyrou (2001), en ce qui concerne la matière organique ou phase organique du sol, elle correspond à tout ce qui est constitué de carbone organique, qu'il soit vivant ou non vivant (insectes, plantes, humus, microorganismes...etc.). L'humus est un terme qui regroupe l'ensemble de la matière organique non vivante du sol et qui peut être classé en deux catégories :

- Substances non humiques, correspondent à la fraction de matière organique dont les caractéristiques bio-physico-chimiques sont reconnaissables (exemple : les hydrates de carbone, les protéines, les acides aminés, les lipides,...etc.).
- Substances humiques, issues de la transformation chimique ou biologique (altération, polymérisation,...etc.) de la matière organique du sol.

### I.4. Description de la phase solide du sol

Selon Gobat *et al.* (2010), deux notions fondamentales décrivent la phase solide du sol : texture et structure.



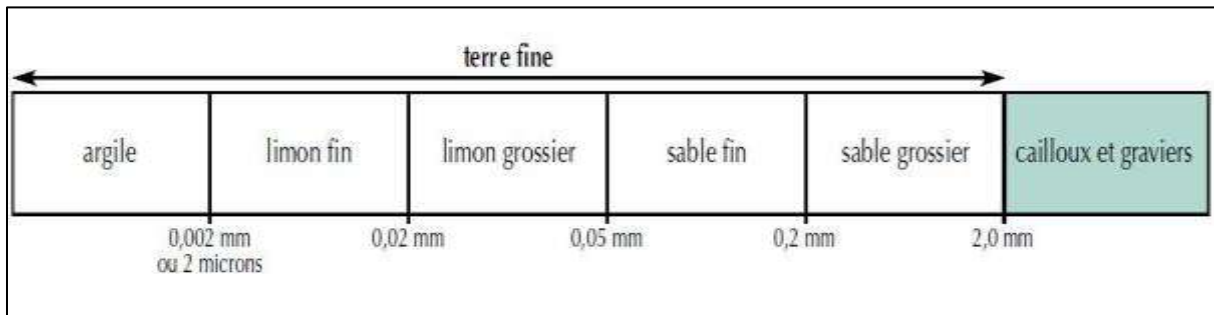
### I.4.1. Structure

La structure correspond au mode d'assemblage de ces éléments entre eux, c'est-à-dire à leur mode d'agrégation sous l'effet de liaisons physiques ou chimiques à différents échelles (Cedra, 1993).

Une bonne structure (structure favorable) permet la pénétration des racines qui se développent dans le sol et un bon déplacement de l'eau et les éléments fertilisants vers les racines (Soltner, 2004).

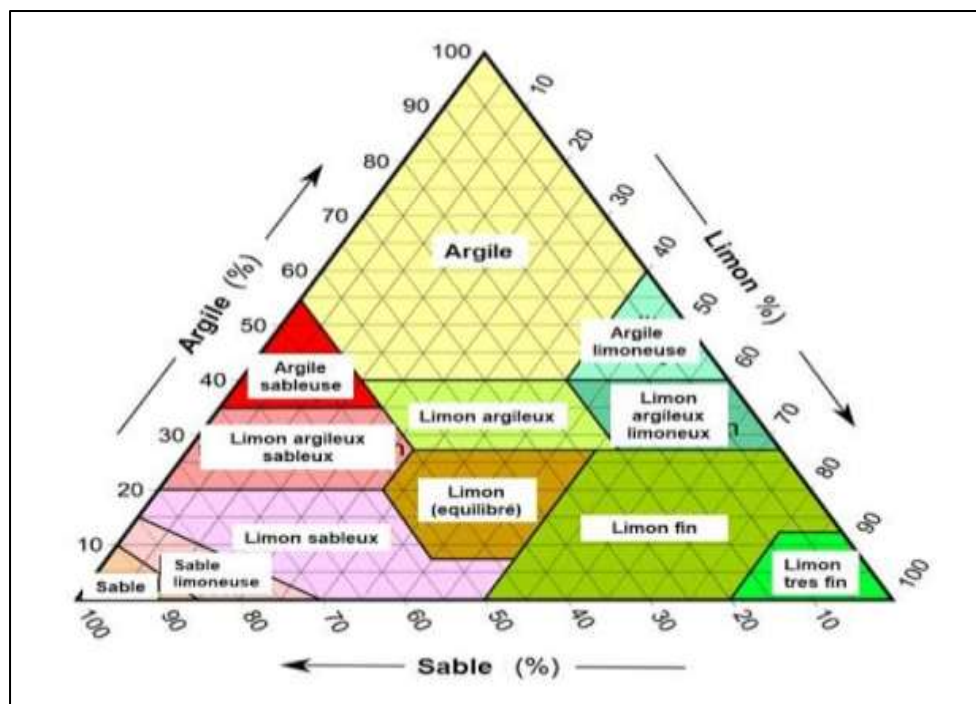
### I.4.2. Texture

Selon Morel (1996), la texture du sol est à la base de toutes les autres propriétés, c'est la propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine (Figure 3).



**Figure 3 :** Définition des fractions granulométriques du sol en fonction de la taille des éléments (Morel, 1996).

La texture ou la granulométrie fait référence à la répartition des sédiments en fonction de leur taille. C'est une propriété fixe du sol qui est de loin la propriété la plus importante (Gobat *et al.*, 2010). Le triangle des textures indique à quel type appartient le sol considéré (Figure 4).



**Figure 4:** Triangle des textures minérales (Gobat *et al.*, 2010).

La texture d'un sol est déterminée par la granulométrie des éléments de sa phase solide. Dans un sol, le seuil de 2mm sert à séparer les cailloux et les graviers, d'un diamètre supérieur, de la terre fine, d'un diamètre inférieur. Cette terre fine comporte trois classes texturales (argile, limon et sable), selon leurs proportions, on parle de sols sableux, sols limoneux ou argileux (Tableau 1).

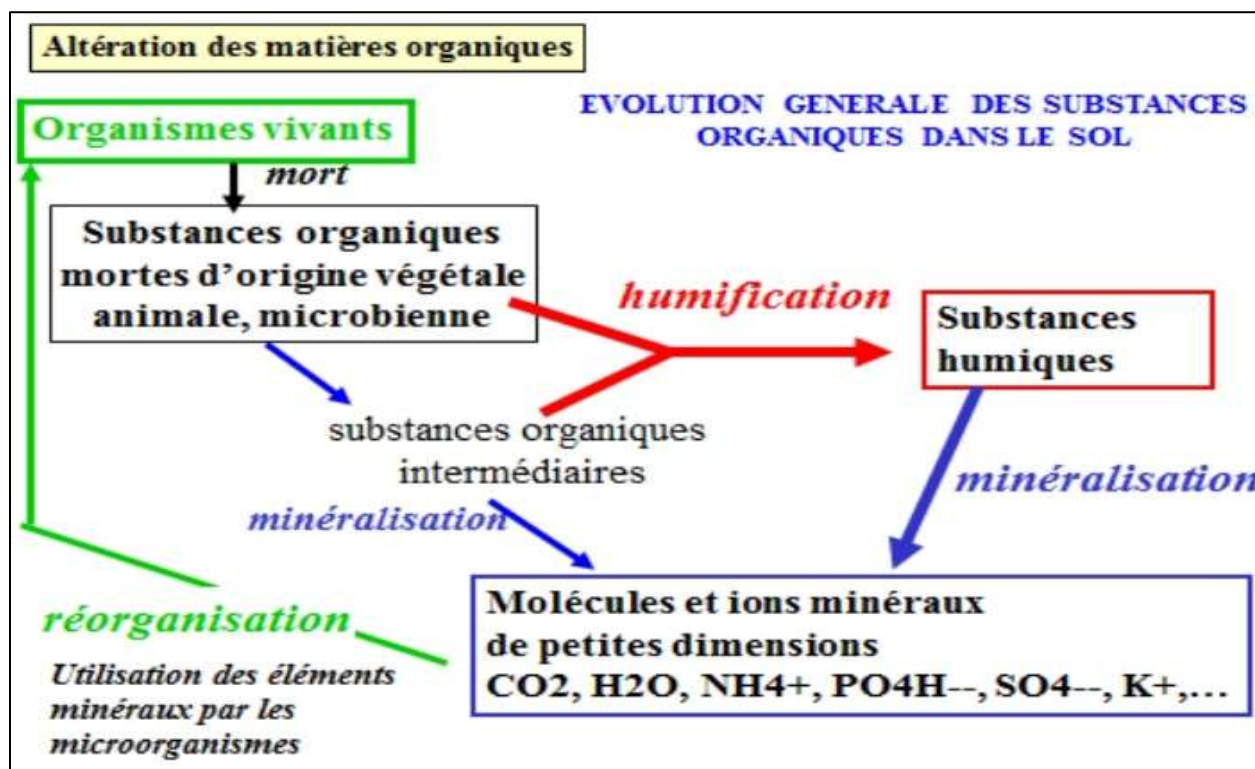
**Tableau 1 :** Classification simplifiée des sols selon la texture (Morel, 1996).

Type de sol	Argile	Limon	Sable
<b>Sols argileux</b>	≥ 30%	25 - 40%	30 - 45%
<b>Sols limoneux</b>	30 - 40%	≥ 50%	10 - 20%
<b>Sols sableux</b>	1 - 5%	10 - 15%	> 70%
<b>Sols calcaires</b>	≥ 5%		
<b>Sols humifères</b>	15 - 20% de matière organique		

### I.5. Évolution de la matière organique dans le sol

La matière organique subit au cours de son évolution différentes transformations dans le sol comme illustré par la Figure 5 ci-après. En général, la teneur en matière organique des sols représente 0,5 à 10% de la masse du sol et varie selon le type et la profondeur (Musadji,

2013).



**Figure 5:** Schéma d'évolution de la matière organique dans le sol (Musadji, 2013).

Les constituants organiques du sol proviennent de la décomposition de la matière organique végétale, animale et bactérienne. Ces substances sont en constante évolution dans le sol et sont transformées par divers processus géochimiques à travers le temps. Comme elle joue un rôle majeur sur les propriétés du sol, il est important que la matière organique soit constamment renouvelée (Musadji, 2013).

D'ailleurs, la matière organique est un important indicateur de fertilité et de qualité des sols, c'est pourquoi ce paramètre est souvent le premier à mesurer lors de l'étude d'un sol et de son écosystème (Pansu et Gautheyrou, 2001).

La matière organique augmente la capacité d'échange cationique des sols en plus de constituer un réservoir de nutriments assimilables pour la végétation. Lorsqu'elle se décompose, la matière organique fournit les divers nutriments sous forme d'ions, les rendant ainsi disponibles pour la végétation. Enfin, la matière organique animale et végétale constitue la principale source d'énergie et de carbone pour les organismes du sol. L'activité biochimique du sol serait impossible sans ces apports (Musadji, 2013). En outre, la matière organique et l'activité biologique qui en découle ont une influence majeure sur les propriétés physiques et chimiques des sols (Pansu et Gautheyrou, 2001).

# **Chapitre II**

## **Stockage du carbone organique dans le sol**

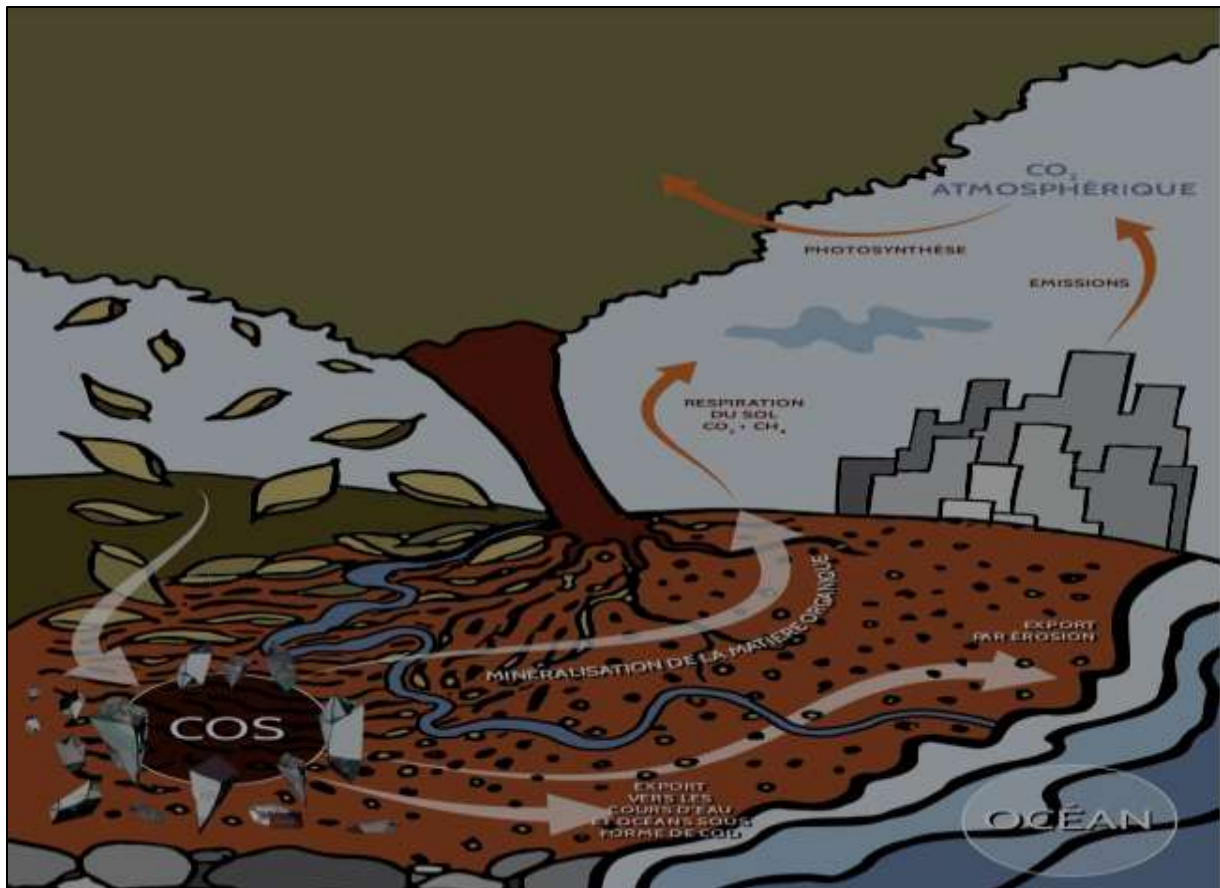
### II.1. Généralités

Le changement climatique est aujourd'hui la crise environnementale la plus importante et les sols y jouent un rôle prépondérant par leur capacité d'échange d'éléments nutritifs et de régulation via le cycle du carbone (C). Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est, de loin, le plus grand contributeur d'origine anthropique à l'effet de serre et au changement climatique. De plus, environ les deux tiers du carbone organique terrestre se trouvent dans le compartiment du sol (**Le Quéré *et al.*, 2016**). Les stocks de carbone du sol ou de matière organique résultent d'un équilibre entre les apports (la plupart du temps les résidus végétaux) et les pertes (surtout par décomposition microbienne et transfert par érosion), qui sont provoqués par divers processus d'origine naturelle ou anthropique (**Amundson, 2001**). La modification d'usage du sol entraîne des changements des stocks de carbone. Les processus de diminutions du carbone dans les sols sont beaucoup plus rapides que les processus d'accumulation. Une diminution, même faible, des teneurs en carbone ou en matière organique (MO) dans la couche arable d'un sol peut avoir des effets négatifs considérables sur ses propriétés comme la capacité de rétention en eau ou la teneur en éléments nutritifs et leur stockage (**Sombroek *et al.*, 1993**). Aussi, la gestion des sols est un facteur particulièrement important dans le cadre des politiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique et de sécurité alimentaire (**FAO, 2015**).

### II.2. Les déterminants du stockage de carbone dans les sols

D'après **Derrien *et al.* (2016)**, la dynamique du carbone (C) connaît un intérêt grandissant tant pour les études de fertilité des sols que pour celles sur le cycle global du carbone. En effet, la matière organique composée majoritairement de carbone est un facteur déterminant de nombreuses propriétés édaphiques et constitue un des compartiments importants à prendre en considération pour la quantification des flux globaux de gaz à effet de serre (N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>), en particulier le carbone du sol.

Ainsi, dans certaines zones tropicales et intertropicales, la mise en culture de terres peut conduire généralement à une baisse importante des stocks de C par suite de la minéralisation de la MOS et de phénomènes d'érosion. De plus, cette minéralisation de la MOS participe à l'effet de serre par des émissions élevées de CO<sub>2</sub> du sol vers l'atmosphère. La restauration du stock de C des sols est donc de plus en plus une nécessité, tant pour des questions de durabilité des systèmes de culture que pour des problèmes environnementaux. C'est pourquoi pour une pratique donnée, les déterminants du stockage de C dans le sol peuvent être peut être influencer par (Figure 6) : les propriétés du sol, les pratiques agricoles, les conditions climatiques, ainsi que par l'utilisation des terres agricoles (**Benouadah *et al.*, 2022**).



**Figure 6:** Le carbone organique du sol dans le cycle du carbone global (Lefèvre *et al.*, 2017).

### II.3. Sols et cycle de carbone

Les sols sains constituent le plus grand réservoir de carbone sur la terre. Quand ils sont gérés de façon durable, les sols peuvent jouer un rôle important en faveur de l'atténuation du changement climatique, en stockant le carbone (séquestration) et en diminuant les émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En revanche, si les sols sont mal gérés ou cultivés au moyen de pratiques agricoles non durables, le carbone du sol peut être libéré dans l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone et contribuer ainsi au changement climatique. Au cours des derniers siècles, de nombreuses prairies et forêts ont été constamment converties en terres cultivées et en pâturages, provoquant des pertes historiques en carbone du sol dans le monde entier (FAO, 2015).

### II.4. Cycle biogéochimique du carbone organique

Le carbone sur terre se répartit en quatre grands réservoirs : la lithosphère, l'atmosphère, l'hydrosphère et la biosphère (Jacques, 2008).

Le cycle de COS correspond à l'entrée de carbone organique dans le sol, à sa transformation et à sa dissipation. De nombreux processus sont en jeu : i) la déposition (i.e. addition de COS à la fraction organique du sol), ii) l'altération (i.e. la conversion du COS d'une structure

chimique en une autre structure différente, résultante d'attaques enzymatiques ou de réactions chimiques), iii) l'assimilation (i.e. incorporation du COS dans les tissus des organismes décomposeurs) et enfin iv) la minéralisation qui correspond à la conversion du COS en CO<sub>2</sub>, via la respiration des organismes du sol (**Baldock et Skjemstad, 2000**). La somme de ces processus aboutit à la notion de décomposition du COS (**Baldock et Skjemstad, 2000**). La Figure 7 retrace ce cycle tel qu'il a été validé en milieu naturel et agricole.

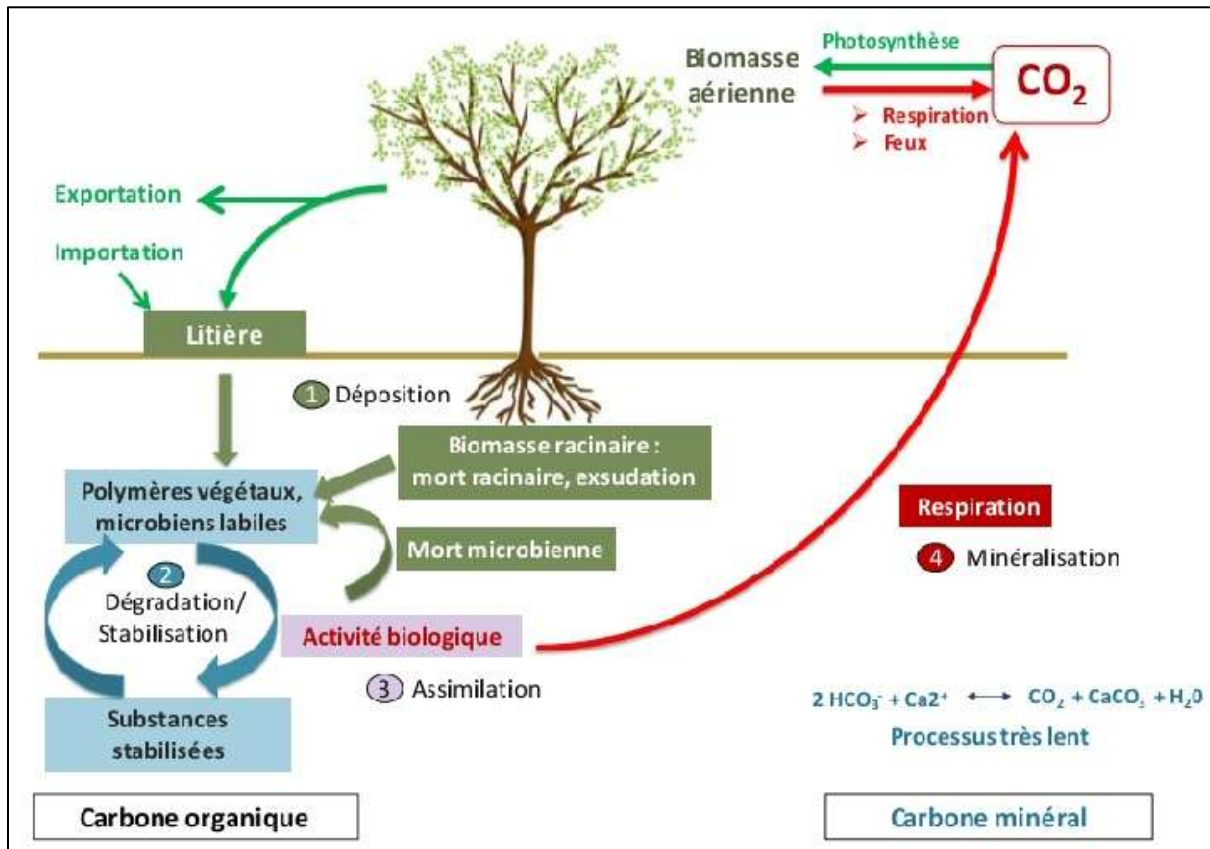


Figure 7: Cycle du carbone du sol (Chenu *et al.*, 2014 ; Lehmann et Kleber, 2015).

### II.5. Le stockage du carbone dans les sols

Le sol est un réservoir de carbone inorganique de 700 à 750 Gt, provenant principalement des carbonates lithogéniques (**Sparks, 2003**). A cela s'ajoute le carbone organique de l'ordre de 2 4000 Gt, sur 2m de profondeur. C'est trois fois la réserve de carbone atmosphérique et plus de quatre fois la réserve biotique. Le sol est donc le plus gros réservoir de carbone organique sur terre (**Derrien *et al.*, 2016**). Les animaux et les végétaux sont les vecteurs qui permettent le transfert du carbone atmosphérique vers le sol. Mais c'est par la photosynthèse que le carbone entre dans les écosystèmes (**Jacques, 2008**).

### II.6. Les influences du stockage de carbone dans les sols

La stabilisation/déstabilisation du carbone organique dans les sols peuvent être influencer par des mécanismes biotiques et abiotiques ainsi par des conditions pédoclimatiques (**Derrien et al., 2016**).

#### II.6.1. Mécanismes biotiques

##### II.6.1.1. Végétation (importances des systèmes racinaires)

Selon **Derrien et al. (2016)**, les effets des plantes sur les MO du sol sont de deux ordres : D'une part, les plantes contribuent aux mécanismes de stabilisation des MO des sols en produisant de composés difficiles à dégrader, et en favorisant la formation d'agrégats stables. Les plantes contribuent également au maintien des MO dans les sols en limitant les phénomènes érosifs à travers les systèmes racinaires et l'influence des racines sur les MO du sol. D'autre part, les plantes représentent la principale source de carbone organique au sol en tant qu'organismes autotrophes à travers les exsudats racinaires, leurs productions de litières (aériennes et racinaires) et via les associations symbiotiques mycorhiziennes et fixatrices d'azote.

##### II.6.1.2. Faune du sol (cas de la macrofaune)

Le sol abrite une énorme diversité d'organismes en termes de fonctions et de tailles, de la mégafaune à la macrofaune, mésofaune, microfaune, jusqu'aux microorganismes. Ces organismes ont un rôle important sur la dynamique des MO du sol (Figure 8) (**Chevallier et al., 2001**).

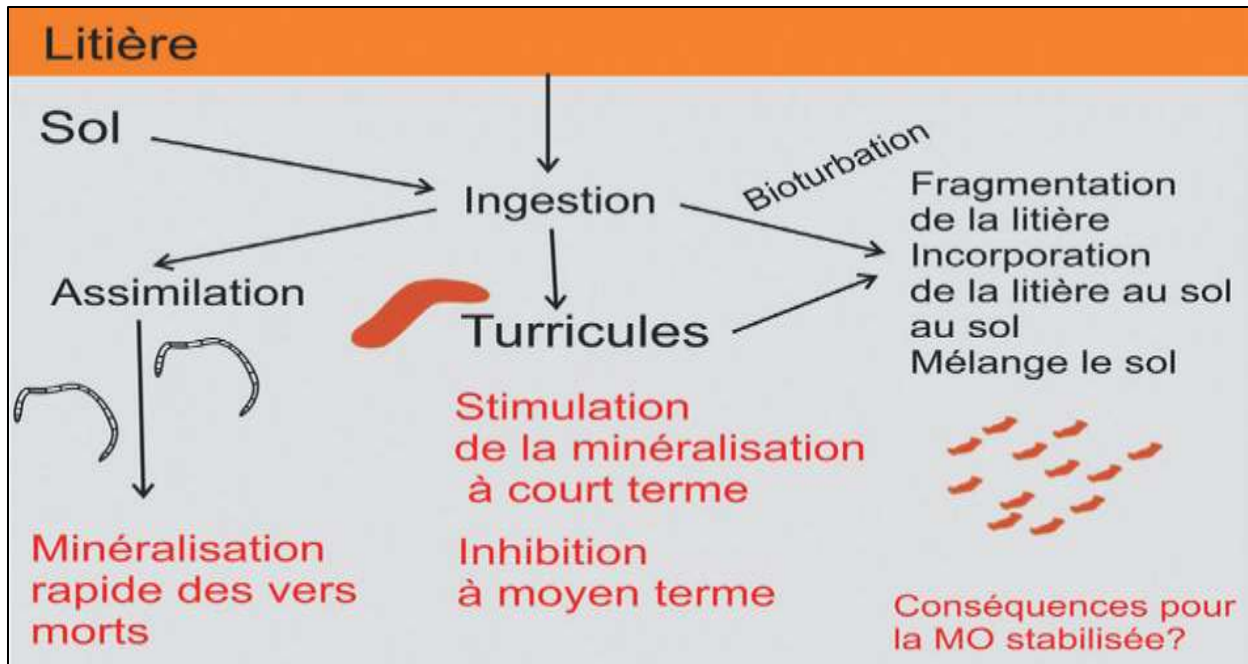
#### a- La stabilisation du carbone

La macrofaune contribue également à la stabilisation du carbone en formant des structures biogéniques (exemple : des galeries), dont la forme, les caractéristiques et le type de ces structures varient en fonction des espèces, de la saison et de l'usage du sol (**Mora et al., 2005**). Par la formation d'interactions organo-minérales, le carbone au sein des structures biogéniques peut être stabilisé en fonction de la composition chimique des MO ingérées (**Vidal et al., 2016**), dont la répartition du carbone dans ces structures varie en fonction de la profondeur du sol et entre les différents habitats de l'espèce (**Jiménez et al., 2008**).

#### b- La minéralisation du carbone

La mise en contact entre des microbes et des MO est favorisée par le passage du sol dans le tube digestif de la macrofaune. De plus, la digestion en fonction des organismes altère la structure chimique des MO par digestion sélective de composés peptidiques, ce qui modifie leur stabilité (**Shan et al., 2010**). D'une manière générale l'ensemble de la faune du sol contribue aussi à la décomposition de la litière et des débris végétaux (**Bonkowski, 2004**).





**Figure 8** : Effets des vers de terre sur la dynamique de la matière organique par la consommation de la litière et l'ingestion du sol (Derrien *et al.*, 2016).

### II.6.1.3. Microorganismes du sol

Les microorganismes jouent un rôle très important dans la fourniture de services écosystémiques par le sol, en raison de leur activité. Les microorganismes décomposeurs du sol déterminent à la fois le stockage des MO dans le sol, indispensable au maintien de la structure et de la fertilité des sols, le recyclage des nutriments (azote, phosphore, soufre, potassium, etc.), essentiel à la croissance des plantes et à la dynamique des écosystèmes (van der Heijden, 2008). A long terme, les microorganismes représente la principale source des composés organiques stabilisés (par rapport aux végétaux), comme l'indiquent les biomarqueurs moléculaires des protéines et des lipides (Miltner *et al.*, 2012), des sucres et acides aminés (Derrien *et al.*, 2016).

### II.6.2. Mécanismes abiotiques

#### II.6.2.1. Localisation dans la structure physique du sol

La dynamique des MO est influencée par la structure physique du sol. D'une part les changements climatiques, de régime hydrique en particulier, affectent les conditions de l'environnement à l'échelle des habitats microbiens, et d'autre part l'usage des sols comme les pratiques culturales et forestières affectent fortement la structure des sols. La structure physique des sols peut être impactée par les processus biotiques, en particulier liés à l'activité de la macrofaune. Les mécanismes abiotiques de stabilisation du carbone sont donc très liés aux mécanismes biotiques (Plante et McGill, 2002).

### II.6.2.1. Mécanismes de stabilisation du carbone par interactions organo-minérales

Les minéraux protègent la MO du sol contre l'activité minéralisatrice des micro-organismes (**Derrien et al., 2016**). Les minéraux les plus petits "argiles", protègent les MO le plus efficacement, en l'adsorbant (**Jones et al., 2009**) ou en la piégeant au sein d'agrégats infra-micrométriques, soustrayant physiquement cette MO à l'action des micro-organismes du sol (**Chenu et Plante, 2006**).

### II.6.3. Conditions pédoclimatiques

#### II.6.3.1. Température

La littérature met en évidence l'effet de la température de l'air sur la dynamique de COS. **Burke et al. (1989)** ont montré que l'augmentation de la température stimule l'activité biologique des sols et accélère ainsi la dégradation de la MOS. L'effet de la température est plus prononcé sur la fraction labile que sur la fraction stable (**Quideau et al., 2001 ; Song et al., 2012**). Cependant selon **Song et al. (2012)**, les températures extrêmes peuvent également entraîner une diminution de la biomasse microbienne et du COS dissout, en lien avec une diminution des apports par les végétaux (**Davet, 1996**). Les alternances des saisons ont un effet sur la concentration en carbone organique du sol (**Hevia et al., 2003**).

#### II.6.3.2. Pluviométrie

Selon **Burke et al. (1989)**, la teneur en COS dépend des précipitations moyennes annuelles : elle augmente avec les précipitations jusqu'à atteindre une valeur optimale pour des précipitations annuelles égales à 800 mm, et se stabilise au-delà. La valeur seuil atteinte pour les précipitations supérieures ou égales à 800 mm correspond à un équilibre entre la vitesse de décomposition du C et la vitesse d'entrée des résidus végétaux dans le sol. Selon **Song et al. (2012)**, l'augmentation de l'humidité peut stimuler l'activité microbienne, mais dans un contexte où l'humidité est déjà forte, son augmentation risque d'altérer la disponibilité en O<sub>2</sub> et d'inhiber l'activité microbienne (**Balesdent et al., 2000**).

#### II.6.3.3. pH

La composition microbienne du sol et l'activité des microorganismes responsable du maintien de MO dans le sol sont fortement influencées par le pH du sol sachant que chaque espèce microbienne est active entre les limites de pH qui lui sont propres, avec une valeur optimale (**Dari, 2013**): les champignons sont généralement prédominants dans les sols acides; capable de prospérer sur une large gamme de pH, en moyenne entre 3,5 et 8,5 tandis que les bactéries prédominent dans les sols neutres ou légèrement alcalins, de sorte que les actinomycètes préfèrent un pH de 6 à 7,5, ce qui signifie l'écologie microbienne des germes (**Bouchenafa et al., 2014**).

# **Chapitre III**

## **Les agrumes**

### III.1. Origine des agrumes : leur évolution et la naissance des espèces cultivées

Parmi les six genres botaniques de la famille des *Rutacées* représentant les agrumes, les plus connus sont originaires du Sud-Est asiatique : *Citrus*, *Fortunella* et *Poncirus*. Les agrumes des genres *Poncirus* et *Fortunella* sont originaires de zones septentrionales de l'est de la Chine, tandis que ceux du genre *Citrus* ont une origine méridionale entre l'Inde et l'Indonésie.

La diversité du genre *Citrus* se concentre sur quatre entités taxonomiques à l'origine de la grande majorité des espèces cultivées (Figure 9): *Citrus maxima* (les pamplemoussiers), *C. reticulata* (les mandariniers), *C. medica* (les cédratiers) et les papedas, regroupant plusieurs espèces. Les trois premières, qualifiées d'espèces ancestrales, ont évolué séparément dans trois zones géographiques distinctes (respectivement l'archipel Malaisien, le sud de la Chine et le nord-est de l'Inde). C'est lors de cette phase d'évolution séparée que les trois espèces ont acquis des caractéristiques spécifiques comme la taille et la couleur du fruit, la reproduction asexuée, la résistance à des contraintes environnementales et même la taille du génome (tout en maintenant un nombre identique de 18 chromosomes). Plus tardivement dans l'évolution, des croisements sexués se sont produits dans les zones mixtes de peuplement et des formes hybrides interspécifiques, élevées au rang d'espèce, sont apparues: l'oranger (*C. sinensis*) et le bigaradier (*C. aurantium*), produits de croisements entre pamplemoussiers et mandariniers, le citronnier (*C. limon*), hybride de cédratier et de bigaradier et le limettier (*C. aurantifolia*) produit d'un croisement entre un papeda (*C. micrantha*) et un cédratier (Nicolas, 2013).

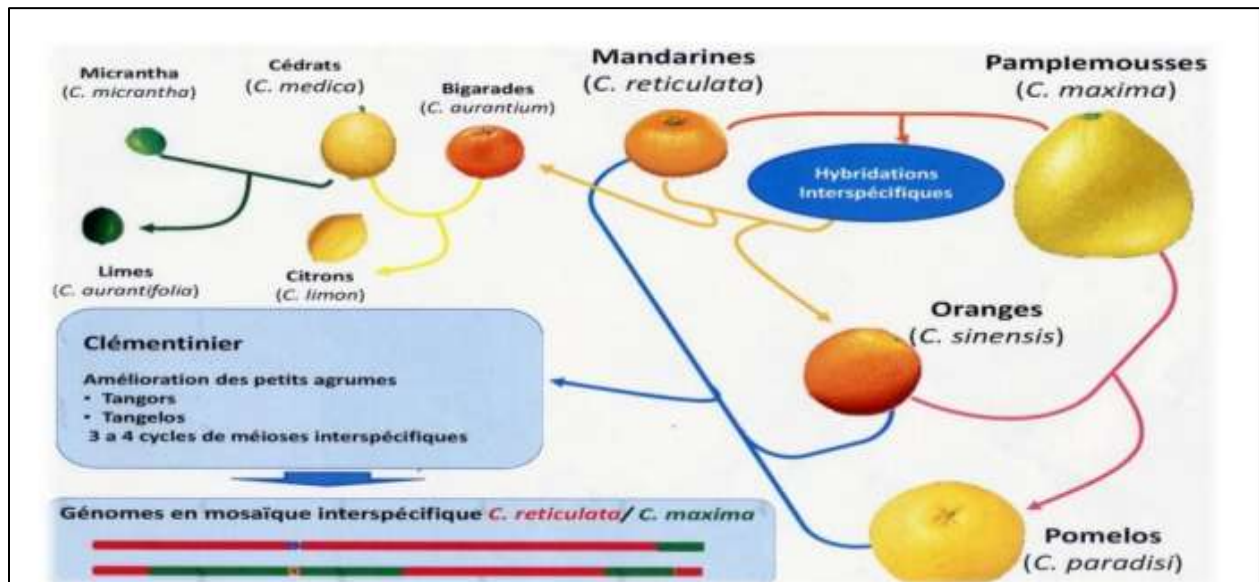


Figure 9: Origine des formes cultivées d'agrumes (Nicolas, 2013).

### III.2. La production des agrumes

#### III.2.1. En Algérie

L'Algérie disposait d'une superficie de 55.000 ha en agrumes (Tableau 2). Le centre du pays compte 56% de cette superficie d'agrumes, 30% se trouvent à l'est du pays, et 14% à l'Ouest. Les principales wilayas agrumicoles sont: Blida (15809 ha), Chlef (5777 ha), Alger (5065ha), Relizane (4417 ha), Mascara (4232 ha), Mostaganem (4079 ha) et Tipasa (3725ha) (DSA, 2022).

#### III.2.2. À Mostaganem

Une quantité de 1,507 million de quintaux (q) de différentes variétés d'agrumes a été produite dans la wilaya de Mostaganem (Tableau 2) durant la campagne (2021/2022) avec un rendement de 305 q/ha, soit 81 q/ha plus que le rendement national auprès de la Direction locale des services agricoles (DSA, 2022).

**Tableau 2:** La production d'agrumes et la superficie occupée par l'agrumiculture (DSA, 2022).

	Superficie (ha)	Production (q)	Rendement (q/ha)
<b>Mostaganem</b>	4727	1,507 millions	305
<b>Algérie</b>	55000	13,417 millions	224

### III.3. Composition variétale du verger agrumicole de Mostaganem

Différentes variétés de Citrus sont plantées sur 4727 hectares dans la région de Mostaganem. Le Tableau 3 représente la production des agrumes par variété dans la wilaya de Mostaganem.

**Tableau 3:** Superficie et production des agrumes par variété dans la wilaya de Mostaganem (2021/2022) (DSA, 2023).

	Orangers Thomson	Autres oranger	Mandariniers	Clémentiniers	Citronniers	Total agrumes
<b>Superficie Complantée (ha)</b>	1727,50	2700,50	16,50	727,00	257,00	5428,50
<b>Superficie en rapport (ha)</b>	1377,50	2504,50	16,50	692,50	243,50	4834,50
<b>Production (q)</b>	435870,00	786962,00	4650,00	214270,00	65648,00	1507400,00

### III.4. Systématique

Selon (**Praloran, 1971**), la position systématique des agrumes est connue comme suit :

Règne :	<i>Végétal</i>
Embranchement :	<i>Spermaphytes</i>
Sous- embranchement :	<i>Angiospermes</i>
Classe :	<i>Eudicotylédones</i>
Ordre :	<i>Rutales</i>
Sous classe :	<i>Rosidées</i>
Famille :	<i>Rutacées</i>
Sous famille :	<i>Aurantoideae</i>
Tribu :	<i>Citreae</i>
Sous-tribu :	<i>Citrinae</i>
Genres principaux :	<i>Citrus – Fortunella – Poncirus</i>

C'est au dernier genre qu'appartiennent les principales espèces cultivées (**Praloran, 1971**).

- *Citrus sinensis* OSBACK (Oranger)
- *Citrus reticulata* BLANCO (Mandarinier)
- *Citrus clementina* CLEMENT (Clémentinier)
- *Citrus limon* BRUN (Citronnier)
- *Citrus grandis* OSBACK (Pomplemoussier)
- *Citrus medica* LINN (Cédratier)
- *Citrus aurantium* LINN (Bigaradier)

### III.5. Exigences des agrumes

#### III.5.1. Exigences climatiques

##### III.5.1.1. La température

Les agrumes sont considérés comme des arbres à climat chaud, néanmoins, les températures minimales et maximales constituent un facteur limitant. Le zéro végétatif des agrumes est de 8°C. La température optimale de croissance serait de 25 à 26°C au-delà, l'activité décroît pour s'arrêter aux environs de 38 à 40°C (**Loussert, 1989**).

### III.5.1.2. La pluviométrie

Les agrumes sont des arbres à feuilles persistantes à fort besoins en eau qui varient entre 900 et 1200 mm par an, notamment durant le stade grossissement coïncidant avec la période estivale (Loussert, 1989).

### III.5.1.3. L'humidité de l'air

Si l'humidité de l'air est insuffisante, la transpiration du végétal est élevée et ses besoins en eau augmentent. Cette faible humidité de l'air peut être amplifiée par des vents chauds desséchants pouvant provoquer des brûlures sur le feuillage et les fruits (Loussert, 1989).

### III.5.1.4. Le vent

Le vent est un aléa climatique redoutable pour les agrumes. Par son action mécanique, il peut provoquer des dégâts importants tels que la chute des fruits et l'altération de leurs écorces ; les pertes de production sont par conséquent élevées, d'où la nécessité de renforcer le dispositif de protection par l'installation de « brise-vents » (Loussert, 1989).

### III.5.1.5. Les gelées

Les agrumes craignent les gelées printanières et les gelées tardives d'hiver coïncidant avec les stades critiques (floraison, maturité des fruits de certaines variétés de clémentiniers et mandariniers), A des températures inférieures à -1 et -2°C, des dégâts se manifestent sur les fruits tandis qu'à des températures inférieures à -3 et -4°C des dégâts sur les parties aériennes apparaissent et en dessous de -8°C l'arbre dépérit (Loussert, 1989).

### III.5.2. Les exigences pédologiques

Les agrumes possèdent un système racinaire important et exigeant des sols profonds. La large gamme de porte-greffes disponibles permet, avec un choix judicieux, d'implanter les agrumes dans des sols très variables en termes de pH, de texture et d'équilibre chimique. Les sols dont le pH est compris entre 6 et 7 conviennent en général mieux (Loussert, 1989).

### III.6. Etude de quelques groupes d'agrumes

Le Tableau 4 résume la définition, les variétés, la composition chimique et les intérêts nutritionnels et thérapeutiques de quelques groupes d'agrumes à savoir : l'orange, le citron et le pamplemousse.

**Tableau 4:** Caractéristiques de quelques groupes d'agrumes.

<b>Groupes d'agrumes</b>	<b>Orange</b>	<b>Citron</b>	<b>Pamplemousse</b>
<b>Définition</b>	Orange se dit « tchina » dans les pays de Maghreb, aussi appelé hesperidium, il possède une peau dure L'orange ( <i>Citrus sinencis</i> ) est le fruit d'oranger, est une baie cortiquée, charnus, de forme sensiblement sphérique ou ovoïde, légèrement aplatie à la base de la tige et à l'opposé. Elle est fragile, quand elle est trop mure, elles se conservent parfaitement de 1 à 5 mois à des températures comprises entre 2 à 5 °C et une humidité de 80 à 90% ( <b>Richard, 2004</b> ).	Les citrons ( <i>Citrus limonia</i> ) font partie de la vaste famille des <i>Rutaceae</i> originaire du bassin méditerranée. Le fruit de citronner est une baie cortiquée. Selon les espèces, la fleur se transforme en fruit mur, de forme ronde, allongée ou ovale (8 à 12 cm de long sur 5 à 6 cm de diamètre), présentant un téton à une extrémité et quelquefois à chaque extrémité. Il reste longtemps sur l'arbre sans que le goût s'altère ( <b>Berrighi, 2007</b> ).	le pamplemousse provient d'un croisement ancien entre le citron et le vrai <i>citrus grandis</i> d'Asie. C'est la Compagnie néerlandaise des Indes Occidentales qui embarqua "l'original" à bord de ses navires en direction de ses comptoirs dans les Antilles à la fin du XVIIe siècle. À cette époque, le fruit né de ce croisement était absolument immangeable. C'était une curiosité botanique dont on présumait par contre de grandes propriétés médicinales ( <b>Loussert, 1989</b> ).
<b>Variétés</b>	L'orange est l'espèce de citrus la plus importante avec trois groupes de variétés ( <b>Loussert, 1989</b> ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'oranges navel ;</li> <li>• Les oranges blondes ;</li> <li>• Les oranges sanguines.</li> </ul>	Parmi les variétés de citron les plus courantes sur le marché ( <b>Berrighi, 2007</b> ) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Primofiori ;</li> <li>• Internado ;</li> <li>• Verna ;</li> <li>• Eureka.</li> </ul>	L'orange est l'espèce de citrus avec quatre groupes de variétés ( <b>Loussert, 1989</b> ): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pamplemousse blanc ;</li> <li>• Pamplemousse rosé ;</li> <li>• Pamplemousse sanguin ;</li> <li>• Pamplemousse pomelo.</li> </ul>
<b>Composition chimique</b>	Elle est riche en eau (plus de 85%). Cette eau de constitution contient, sous forme dissoute, la plupart des éléments nutritifs. Elle contient 23 éléments nutritifs essentiels, y compris les glucides (40% de saccharose), de la vitamine C, vitamines PP, B1, B2, B3, B9, E, provitamine A. Riche en calcium, fer, phosphore et également des protéines, de l'acide citrique, et les polyphénols ( <b>Richard, 2004</b> ).	Source de composés naturels, tels que 90% d'eau, fortement acide (pH<3), dont l'acidité est due essentiellement à l'acide citrique accompagné de faibles quantités d'acides malique, caféique et férulique. Il contient de la vitamine C et B, des flavonoïdes (naringosides, hesperidosides) et des polyphénols, des fibres (cellulose, hémicelluloses et pectines), il est riche en	Riche en eau, il contient de la vitamine : A, B6, C et E, du bêta-carotène, de la pectine et une substance amère : la naringine qui, une fois désamérisée, donne un édulcorant à fort pouvoir sucrant. Extraction d'une huile utilisée dans l'alimentation animale à partir des pépins ( <b>Loussert, 1989</b> ).



		calcium, magnésium et potassium ( <b>Berrighi, 2007</b> ).	
<b>Intérêts nutritionnels et thérapeutiques</b>	La saveur amère et aromatiques de la pulpe d'oranges amères ouvre l'appétit et facilite la digestion. La pulpe d'orange fraîche est utilisée pour traiter les maladies de la peau (l'acné) et pour les soins du visage. Par ailleurs, elle aide à fixer le calcium sur les os et évite l'apparition de maladies telles que le scorbut et le Barlow ( <b>Richard, 2004</b> ).	Diminution de l'oxydation, stimulation de la circulation, lutte contre l'anémie et traitement contre les troubles d'estomac, de l'insomnie et de l'asthme, renforcer les défenses immunitaires et traiter les maladies dégénératives telles que l'hypertension, le cholestérol, le diabète, l'obésité et quelques cancers, prévenir contre le rhumatisme et la thrombose, les huiles essentiel de citron est employée comme parfum ( <b>Berrighi, 2007</b> ).	Anti-oxydantes et anti-inflammatoires car il est riche en antioxydants, amélioration des problèmes cardiovasculaires en cas de surpoids, réduire le taux de triglycérides dans le sang ainsi que les plaques d'athéromes, il facilite la gestion de la glycémie ( <b>Loussert, 1989</b> ).

### III.7. Problèmes phytosanitaires des agrumes en Algérie

Les agrumes souffrent de différentes maladies et ravageurs qui peuvent affecter considérablement la récolte en détruisant les fruits et/ou les arbres (**Ghelamallah, 2005**).

**III.7.1. Les ravageurs :** le puceron vert des agrumes « *Aphis spiraecola* » et la mineuse des feuilles des agrumes « *Phyllocnistis citrella* » (**Ghelamallah, 2005**).

#### III.7.2. Les maladies d'origine cryptogamique

- **La Pourriture sèche racinaire :** c'est une maladie qui est causée par *Fusarium spp.*, dont les symptômes sont, une mort brutale des arbres (**ITAFV, 2012**).
- **Gommose à Phytophthora :** le champignon responsable est localisé à la base des charpentières, il provoque un craquellement de l'écorce avec exsudation de gomme et entraîne un flétrissement annonçant la mort de l'arbre au moyen et à long terme (**ITAFV, 2012**).
- **Pourridié (pourriture des racines) :** à la suite d'une blessure ou sur certaines variétés sensibles, le mycélium de différents champignons peut envahir les racines, provoquant l'arrêt de la circulation de la sève et par suite la mort de l'arbre (**ITAFV, 2012**).
- **La fumagine :** cette maladie est généralement la conséquence d'une forte attaque de cochenille et de puceron, ou d'aleurode. En effet, ces insectes rejettent sur les feuilles et les rameaux, un miellat sur lequel le champignon responsable de la fumagine (*Capnodium citri*) trouve un milieu favorable à son développement (**ITAFV, 2012**).

## **Partie 2**

# **Etude expérimentale**

# **Chapitre I**

## **Matériel et méthodes**

### I.1. Objectif du travail

Cette étude a pour objectif d'évaluer le stock en carbone organique des échantillons de sols pris de la même parcelle à partir de trois types de cultures d'agrumes différentes en comparaison à un témoin (SVS : Sol sous Végétation Spontanée) :

- SCO : Sol sous une Culture d'Oranger ;
- SCC : Sol sous une Culture de Citronnier ;
- SCP : Sol sous une Culture du Pamplemousse.

### I.2. La région de prélèvement

#### I.2.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été effectuée à l'Atelier Agricole de la commune de Mazagran (Figure 10), situé à 4 km au sud de la Wilaya de Mostaganem entre les points cordonnés Lambert  $35^{\circ}53' 37''$  N,  $0^{\circ}4' 52''$  et  $35^{\circ} 53' 04''$  N avec une altitude de 125 à 151 m, il est délimité par la commune de Mazagran à l'Ouest, Hassi Mamèche au Sud et Douar Djedid à l'Est. La superficie de la ferme est de 62,74 ha dont la superficie cultivée en agrumes depuis 1950 représente 2,80 ha, soit 4,6% de la superficie totale occupée par l'agrumiculture avec 360 arbres de Citronniers, 135 arbres d'Orangers et 10 arbres de Pamplemousses (DSA, 2023).



**Figure 10:** Situation géographique de la zone d'étude (Atelier Agricole Mazagran, Mostaganem, 2023).

### I.2.2. Situation et caractéristiques

#### I.2.2.1. Situation géographique

La wilaya de Mostaganem est située au nord de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de 2269 Km<sup>2</sup> et est distante de 365 Km de la capitale Alger et de 80 Km la ville d'Oran, donc elle se présente comme une zone de contact entre le Nord et l'Ouest (ANIREF, 2018).

La wilaya de Mostaganem est limitée (ANIREF, 2018):

- Par la mer Méditerranée au nord ;
- Par la wilaya de Chlef à l'est;
- Par la wilaya de Relizane au sud-est;
- Par la wilaya d'Oran à l'ouest;
- Par la wilaya de Mascara au sud-ouest.

#### I.2.2.2. Caractéristiques naturelles et conditions climatiques

##### a. Le relief

D'après ANIREF (2018), Les limites de la wilaya de Mostaganem sont inscrites entièrement dans le littoral oranais dont elle comprend les principales caractéristiques. En effet, elle chevauche sur plusieurs unités physiques plus ou moins homogènes :

- Une zone montagneuse située à l'Est qui correspond aux monts du Dahra ;
- Une zone de plateau, celui de Mostaganem ;
- Deux unités de plaines : la première, à l'Est, au contact du Dahra de part et d'autre de la vallée du Chélif. La seconde, à l'Ouest, au pied du plateau à cheval sur les marais

##### b. Le climat

Le climat de la wilaya de Mostaganem est un climat méditerranéen semi-aride à hiver tempéré. La pluviométrie varie entre 350 et 500 mm/année et la température moyenne annuelle de 18,3°C (ANIREF, 2018).

##### c. Le sol

Selon des études géologiques spécialisées, les sols de la wilaya sont, en général, léger, meubles et fertiles. La perméabilité est faible et on note une battance importante d'où une mauvaise stabilité structurale (DSA, 2023). On distingue une mosaïque de textures à savoir :

- Sols limono -argileux.
- Sols argilo-limoneux.
- Sols calci -magnésique
- Sols fer-sialitiques.
- Sols limono-sableux.

- Sols sablo-limoneux.

### I.3. Lieu du travail

L'expérimentation a été effectuée au sein des laboratoires de pédologie et de biochimie au niveau de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, université Abdelhamid ibn Badis de Mostaganem.

Le dosage du carbone organique du sol a été réalisé au laboratoire de pédologie de l'université ibn Khaldoun (Wilaya de Tiaret).

### I.4. Matériel et méthodes

#### I.4.1. Matériel

##### I.4.1.1. Verreries, appareils et produits utilisés

Tout le matériel utilisé est réuni dans le **Tableau 5**.

**Tableau 5:** Matériel et produits.

<b>Matériel et produits</b>	
<b>Appareillage</b>	Agitateur magnétique - Etuves (60°C – 105°C) - Balance de précision - Plaque chauffante- pH mètre – Conductimètre - Calcimètre de Bernard- Bain de sable – Four à moufle.
<b>Verrerie</b>	Béchers - Entonnoirs - Epprouvettes graduées Erlenmeyer - Pipettes graduées - Verres à mesure - Seringue en verre – Creusets - Fiole jaugée - Burette graduée – Bouteilles en verre.
<b>Produits</b>	Eau distillée - Carbonate de calcium – Acide sulfurique Bichromate de Potassium - Sel de Mohr - Eau oxygénée - Oxalate d'ammonium Acide chlorhydrique – Permanganate de potassium- Eau oxygénée.
<b>Autre matériel</b>	Tarière – Sachets - Etiquetage - Pilon et mortier - Tamis (2mm) - Picette - Cylindres - spatules.

### I.4.2. Méthodes

Le protocole expérimental est représenté dans la Figure 11 comme suite :

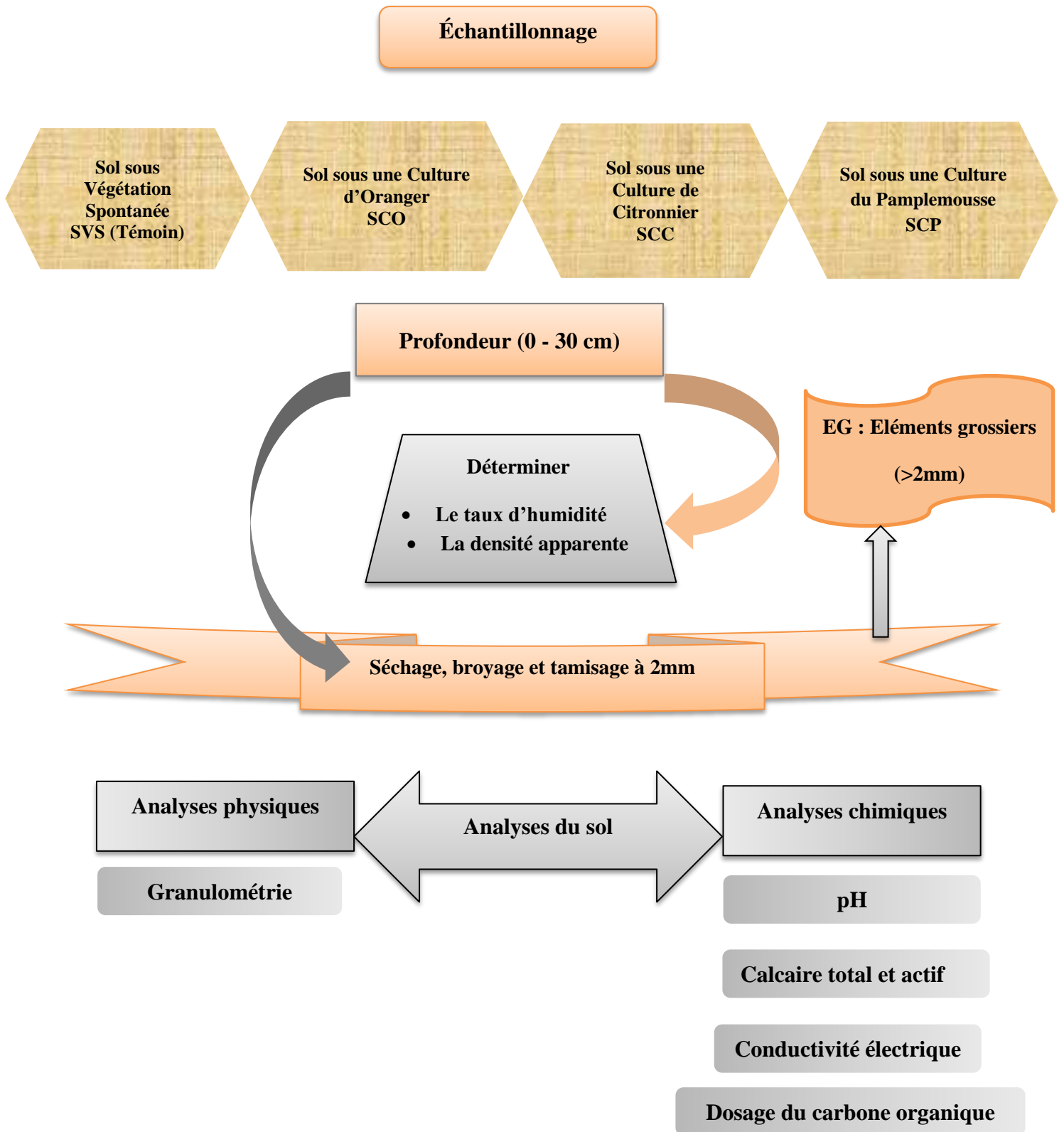


Figure 11: Protocole expérimental (Benouadah *et al.*, 2022).

### I.4.2.1. Echantillonnage

Nous devons examiner le terrain du point de vue de son uniformité avant de commencer l'échantillonnage (ex. l'uniformité de son niveau, genre de sol, de végétation, amendements appliqués, etc...). Il faut les prélever dans les mêmes conditions physiques (température humidité) et toujours le même jour (**Dari, 2013**). L'échantillon doit représenter le mieux possible le sol de la parcelle. Cela n'est pas facile mais nécessaire pour que les résultats soient corrects (**Es-Skalli, 2015**). On a réalisé le prélèvement dans la couche superficielle du sol (0 - 30 cm) où la densité microbienne et la concentration de la MO du sol sont les plus élevées (**Bernoux et Chevallier, 2013**), grâce à une tarière pédologique (Photo 1) sur quatre points de la parcelle avec trois répétitions, au tour des arbres pour SCO, SCC, SCP et en forme aléatoire pour le SVS (témoin). Pour chaque point, les échantillons prélevés ont été bien mélangés par la suite dans un seau afin d'obtenir un échantillon représentatif. Chaque échantillon a été clairement identifié par une référence inscrite sur une étiquette accrochée sur le sac lui-même.



**Photo 1** : Prélèvement du sol (**Photo originale, 2023**).



### I.4.2.2. Détermination du taux d'humidité

Selon **Mathieu *et al.* (2003)**, l'humidité (Photo 2) représente la phase liquide du sol. Elle est le facteur prioritaire du rendement. La première amélioration à apporter est donc l'irrigation ou le drainage, ou quelquefois les deux. L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol.

- **Principe**

C'est la perte de poids après séchage à 105°C exprimée en pourcentage (**Dari, 2013**). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 2:** Échantillons de sol pesés et séchés à l'étuve (**Photo originale, 2023**).

### I.4.2.3. Densité apparente

- **Principe**

La détermination de la densité apparente (Photo 3) elle-même revient à mesurer le volume apparent occupé par poids connu de matériau sec (**Grosbollet, 2008**), par l'utilisation de la méthode du cylindre calibré (252,2 cm<sup>3</sup>) (**Blake et Hartge, 1986**). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 3:** Mesure de la densité apparente à l'aide du cylindre (**Photo originale, 2023**).

### I.4.2.4. Préparation des échantillons

#### a. Séchage

On met l'échantillon de terre dans un bac et on le laisse sécher à la température ambiante de la salle pendant 7 jours (Photo 4).



**Photo 4:** Séchage des échantillons de sol (**Photo originale, 2023**).

#### b. Broyage et tamisage

Les échantillons ont été broyés à l'aide d'un pilon et un mortier, ils ont ensuite été passés dans un tamis de 2mm de diamètre (Photo 5). On a conservé les échantillons de terre fine dans des sachets pour pouvoir servir aux différentes analyses du sol.



**Photo 5:** Broyage et tamisage des échantillons (Photo originale, 2023).

### I.4.2.5. Analyse granulométrique

- **Principe**

L'analyse granulométrique (AFNOR X 31-107) détermine la répartition des particules minérales de la terre fine (fraction inférieure à 2mm) entre les argiles, les limons fins et grossiers et les sables fins et grossiers (Gee et Or, 2002) (Photo 6). Dans le cas des sols calcaires, il est important de savoir si cette analyse a été réalisée avec ou sans décarbonatation préalable (Schvartz *et al.*, 2005). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 6:** Analyse granulométrique par la méthode de la pipette (Photo originale, 2023).

### I.4.2.6. Les analyses physicochimiques

Selon Schvartz *et al.* (2005) ; Dicova (1997), elles ont pour but d'évaluer, pour l'horizon travaillé de la parcelle, d'une part les conditions physicochimiques, d'autre part les quantités

d'éléments minéraux ou éventuellement polluants, disponibles pour les cultures dans les conditions d'une exploitation agricole.

### a. Mesure du pH

- **Principe**

L'appréciation du pH (Photo 7) au laboratoire (NF ISO 10390) est obtenue en mesurant le pH d'une suspension de sol dans l'eau déminéralisée ( $pH_{eau}$ ), dans un rapport pondéral terre/solution égal à 2/5 (Schvartz *et al.*, 2005). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 7:** Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre (Photo originale, 2023).

### b. Mesure de la conductivité électrique

La phase liquide du sol est une solution contenant divers ions qui confèrent au sol une certaine conductivité électrique. Elle dépend également des minéraux et des constituants organiques qui ont plutôt des propriétés isolantes. D'une façon générale, la conductivité électrique d'un matériau terreux dépend de sa composition, de sa structure, et de sa teneur en eau (Calvet, 2003).

- **Principe**

La détermination de la salinité d'un sol (Photo 8) est fondée sur le principe de l'extraction d'un électrolyte dont on mesure la concentration en éléments dissous. Au laboratoire, l'électrolyte est extrait sous vide à partir d'un échantillon de sol préalablement séché à l'air, tamisé à 2 mm et porté à une teneur en eau donnée, celle-ci variant selon le mode de préparation de l'extrait. Une des techniques d'extraction couramment utilisée est l'extrait dilué : le rapport entre la quantité de sol et la quantité d'eau peut varier selon les laboratoires, mais il est en général de 1/5 : la masse d'eau ajoutée est égale à 5 fois la masse de sol (10g), soit un volume d'eau d'environ 50ml (Montoroi, 1997). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 8 :** Mesure de la conductivité électrique du sol par le conductimètre  
(Photo originale, 2023).

### c. Détermination du calcaire total et actif

- **Principe**

Selon **Schvartz *et al.* (2005)**, le **calcaire total** du sol (**AF ISO 10693**) est déterminé par attaque d'une quantité connue de terre par l'acide chlorhydrique. La réaction provoquée libère rapidement du dioxyde de carbone provenant de la dissociation des carbonates de calcium et/ou magnésium présents.



La teneur de calcaire total du sol (Photo 9) est alors calculée à partir du volume de  $\text{CO}_2$  dégagé. Suivant sa nature et son origine, le calcaire est reparti dans les différentes fractions granulométriques. Celui qui est présent dans la fraction inférieure à  $20 \mu\text{m}$ , susceptible de se solubiliser facilement et d'être à l'origine d'une teneur en  $\text{Ca}^{+2}$  élevée dans la solution du sol, correspond au **calcaire actif** (Photo 10). Celui-ci est mesuré globalement au moyen de l'oxalate d'ammonium par la méthode Drouineau-Galet selon la norme **AFNOR X 31-106 (Drouineau, 1942)**. (Voir les deux protocoles dans l'Annexe I).



Photo 9 : Dosage du calcaire total (Photo originale, 2023).



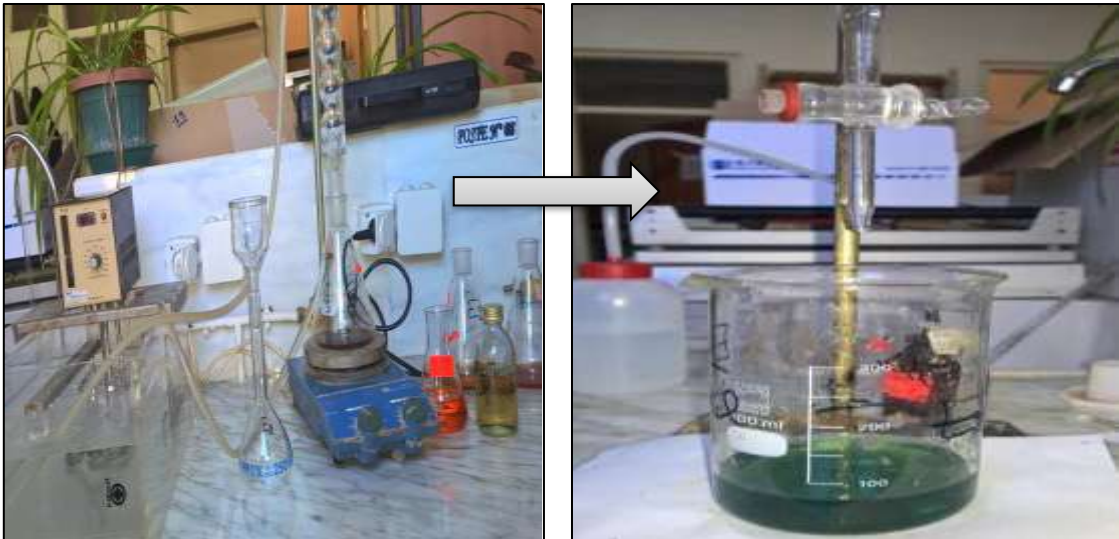
Photo 10 : Dosage du calcaire actif (Photo originale, 2023).

#### d. Dosage du carbone organique

- Principe

D'après **Schwartz *et al.* (2005)**, la teneur en carbone organique est déterminée par la méthode Anne ou Walkley-Black (oxydation par le dichromate de potassium en milieu sulfurique, à chaud ou à froid (**NF ISO 14235**) (Photo 11).

La quantité de matière organique est ensuite estimée en multipliant la quantité de carbone total par 1,72 ou 2 selon les sols. (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 11** : Dosage du carbone organique par la méthode Anne  
(Photo originale, 2023).

#### **I.4.2.7. Calcul du stock de carbone organique du sol**

D'après (FAO, 2018), le stock du carbone organique du sol (COS) est calculé selon la formule suivante :  $\text{stock du COS (Mg C ha}^{-1}\text{)} = 0.1 \times \text{CO} \times \text{Da} \times \text{p} \times (1-\text{EG})$

Avec :

**CO** : Carbone Organique (g/kg).

**Da** : Densité apparente ( $\text{g/cm}^3$ ).

**p** : profondeur (cm).

**EG** : Eléments Grossiers (g/g).

#### **I.4.2.8. Traitement statistique**

Le traitement des résultats a été effectué par une analyse statistique (test de corrélation par R Software) afin de connaître la relation entre le stock du carbone organique et les paramètres physicochimiques (R Core Team, 2020).

## Chapitre I : Matériel et méthodes

### I.1. Objectif du travail

Cette étude a pour objectif d'évaluer le stock en carbone organique des échantillons de sols pris de la même parcelle à partir de trois types de cultures d'agrumes différentes en comparaison à un témoin (SVS : Sol sous Végétation Spontanée) :

- SCO : Sol sous une Culture d'Oranger ;
- SCC : Sol sous une Culture de Citronnier ;
- SCP : Sol sous une Culture du Pamplemousse.

### I.2. La région de prélèvement

#### I.2.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été effectuée à l'Atelier Agricole de la commune de Mazagran (Figure 10), situé à 4 km au sud de la Wilaya de Mostaganem entre les points cordonnées Lambert  $35^{\circ}53' 37''$  N,  $0^{\circ}4' 52''$  et  $35^{\circ} 53' 04''$  N avec une altitude de 125 à 151 m, il est délimité par la commune de Mazagran à l'Ouest, Hassi Mamèche au Sud et Douar Djedid à l'Est. La superficie de la ferme est de 62,74 ha dont la superficie cultivée en agrumes représente 2,80 ha, soit 4,6% de la superficie totale occupée par l'agrumiculture avec 360 arbres de Citronniers, 135 arbres d'Orangers et 10 arbres de Pamplemousses (DSA, 2023).



**Figure 10:** Situation géographique de la zone d'étude (Atelier Agricole Mazagran, Mostaganem).



## Chapitre I : Matériel et méthodes

### I.2.2. Situation et caractéristiques

#### I.2.2.1. Situation géographique

La wilaya de Mostaganem est située au nord de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de 2269 Km<sup>2</sup> et est distante de 365 Km de la capitale Alger et de 80 Km la ville d'Oran, donc elle se présente comme une zone de contact entre le Nord et l'Ouest (ANIREF, 2018).

La wilaya de Mostaganem est limitée (ANIREF, 2018):

- Par la mer Méditerranée au nord ;
- Par la wilaya de Chlef à l'est;
- Par la wilaya de Relizane au sud-est;
- Par la wilaya d'Oran à l'ouest;
- Par la wilaya de Mascara au sud-ouest.

#### I.2.2.2. Caractéristiques naturelles et conditions climatiques

##### a. Le relief

D'après ANIREF (2018), Les limites de la wilaya de Mostaganem sont inscrites entièrement dans le littoral oranais dont elle comprend les principales caractéristiques. En effet, elle chevauche sur plusieurs unités physiques plus ou moins homogènes :

- Une zone montagneuse située à l'Est qui correspond aux monts du Dahra ;
- Une zone de plateau, celui de Mostaganem ;
- Deux unités de plaines : la première, à l'Est, au contact du Dahra de part et d'autre de la vallée du Chélif. La seconde, à l'Ouest, au pied du plateau à cheval sur les marais

##### b. Le climat

Le climat de la wilaya de Mostaganem est un climat méditerranéen semi-aride à hiver tempéré. La pluviométrie varie entre 350 et 500 mm/année et la température moyenne annuelle de 18,3°C (ANIREF, 2018).

##### c. Le sol

Selon des études géologiques spécialisées, les sols de la wilaya sont, en général, léger, meubles et fertiles. La perméabilité est faible et on note une battance importante d'où une mauvaise stabilité structurale (DSA, 2023). On distingue une mosaïque de textures à savoir :

- Sols limono -argileux.
- Sols argilo-limoneux.
- Sols calci -magnésique
- Sols fer-sialitiques.
- Sols limono-sableux.

## Chapitre I : Matériel et méthodes

- Sols sablo-limoneux.

### I.3. Lieu du travail

L'expérimentation a été effectuée au sein des laboratoires de pédologie et de biochimie au niveau de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, université Abdelhamid ibn Badis de Mostaganem.

Le dosage du carbone organique du sol a été réalisé au laboratoire de pédologie de l'université ibn Khaldoun (Wilaya de Tiaret).

### I.4. Matériel et méthodes

#### I.4.1. Matériel

##### I.4.1.1. Verreries, appareils et produits utilisés

Tout le matériel utilisé est réuni dans le **Tableau 5**.

**Tableau 5:** Matériel et produits.

<b>Matériel et produits</b>	
<b>Appareillage</b>	Agitateur magnétique - Etuves (60°C – 105°C) - Balance de précision - Plaque chauffante- pH mètre – Conductimètre - Calcimètre de Bernard- Bain de sable – Four à moufle.
<b>Verrerie</b>	Béchers - Entonnoirs - Epprouvettes graduées Erlenmeyer - Pipettes graduées - Verres à mesure - Seringue en verre – Creusets - Fiole jaugée - Burette graduée – Bouteilles en verre.
<b>Produits</b>	Eau distillée - Carbonate de calcium – Acide sulfurique Bichromate de Potassium - Sel de Mohr - Eau oxygénée - Oxalate d'ammonium Acide chlorhydrique – Permanganate de potassium- Eau oxygénée.
<b>Autre matériel</b>	Tarière – Sachets - Etiquetage - Pilon et mortier - Tamis (2mm) - Picette - Cylindres - spatules.

# Chapitre I : Matériel et méthodes

## I.4.2. Méthodes

Le protocole expérimental est représenté dans la Figure 11 comme suite :

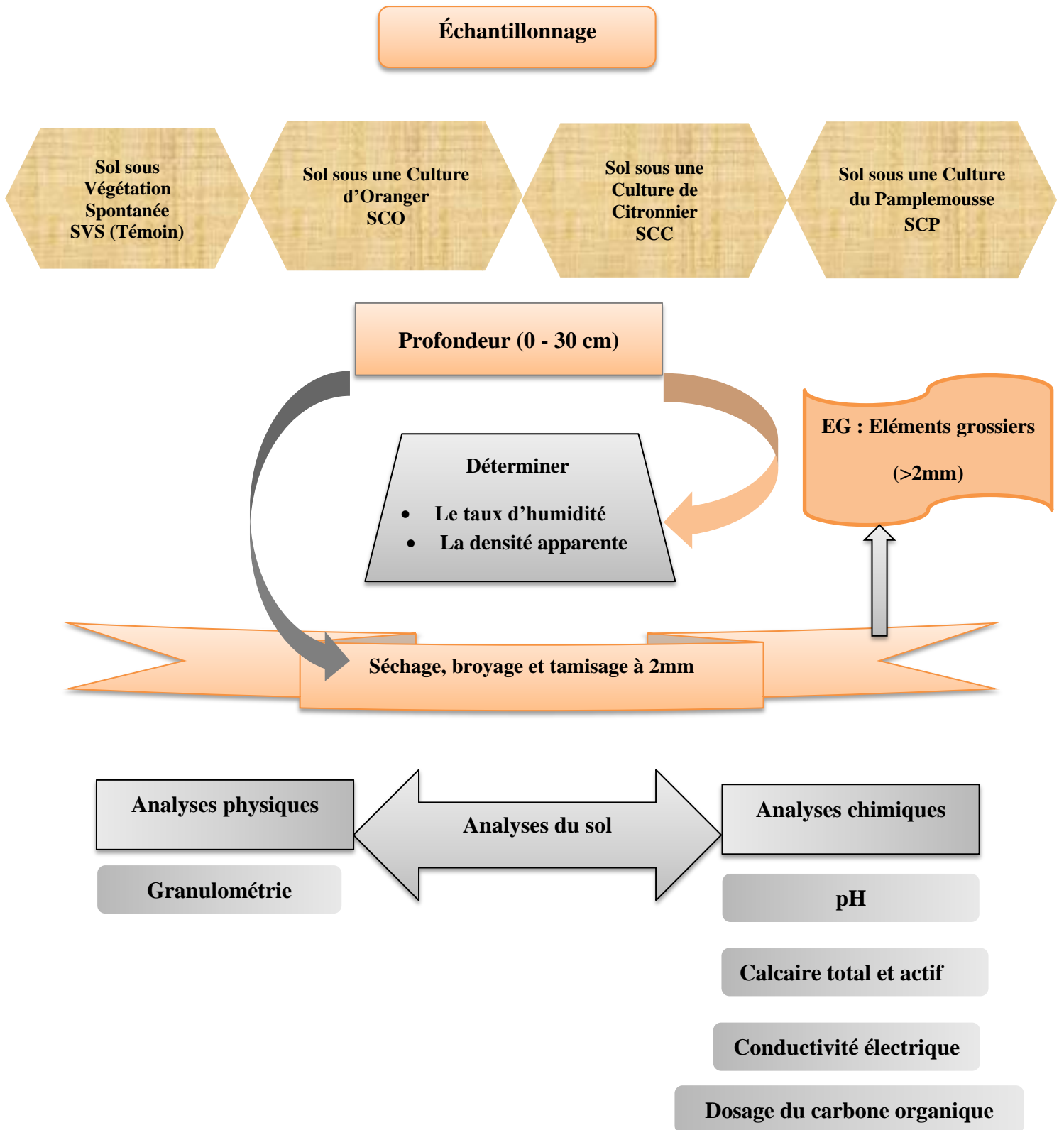


Figure 11: Protocole expérimental.

## Chapitre I : Matériel et méthodes

### I.4.2.1. Echantillonnage

Nous devons examiner le terrain du point de vue de son uniformité avant de commencer l'échantillonnage (ex. l'uniformité de son niveau, genre de sol, de végétation, amendements appliqués, etc...). Il faut les prélever dans les mêmes conditions physiques (température humidité) et toujours le même jour (**Dari, 2013**). L'échantillon doit représenter le mieux possible le sol de la parcelle. Cela n'est pas facile mais nécessaire pour que les résultats soient corrects (**Es-Skalli, 2015**). On a réalisé le prélèvement dans la couche superficielle du sol (0 - 30 cm) où la densité microbienne et la concentration de la MO du sol sont les plus élevées (**Bernoux et Chevallier, 2013**), grâce à une tarière pédologique (Photo 1) sur quatre points de la parcelle avec trois répétitions, au tour des arbres pour SCO, SCC, SCP et en forme aléatoire pour le SVS (témoin). Pour chaque point, les échantillons prélevés ont été bien mélangés par la suite dans un seau afin d'obtenir un échantillon représentatif. Chaque échantillon a été clairement identifié par une référence inscrite sur une étiquette accrochée sur le sac lui-même.



Photo 1 : Prélèvement du sol (**Cliché Benharira et El Kbaili, 2023**).

## Chapitre I : Matériel et méthodes

### I.4.2.2. Détermination du taux d'humidité

Selon **Mathieu *et al.* (2003)**, l'humidité (Photo 2) représente la phase liquide du sol. Elle est le facteur prioritaire du rendement. La première amélioration à apporter est donc l'irrigation ou le drainage, ou quelquefois les deux. L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol.

- **Principe**

C'est la perte de poids après séchage à 105°C exprimée en pourcentage (**Dari, 2013**). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 2:** Échantillons de sol pesés et séchés à l'étuve (**Cliché Benharira et El Kbaili, 2023**).

### I.4.2.3. Densité apparente

- **Principe**

La détermination de la densité apparente (Photo 3) elle-même revient à mesurer le volume apparent occupé par poids connu de matériau sec (**Grosbollet, 2008**), par l'utilisation de la méthode du cylindre calibré (252,2 cm<sup>3</sup>) (**Blake et Hartge, 1986**). (Voir le protocole dans l'Annexe I).

## Chapitre I : Matériel et méthodes



**Photo 3:** Mesure de la densité apparente à l'aide du cylindre  
(Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

### I.4.2.4. Préparation des échantillons

#### a. Séchage

On met l'échantillon de terre dans un bac et on le laisse sécher à la température ambiante de la salle pendant 7 jours (Photo 4).



**Photo 4:** Séchage des échantillons de sol (Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

#### b. Broyage et tamisage

Les échantillons ont été broyés à l'aide d'un pilon et un mortier, ils ont ensuite été passés dans un tamis de 2mm de diamètre (Photo 5). On a conservé les échantillons de terre fine dans des sachets pour pouvoir servir aux différentes analyses du sol.

## Chapitre I : Matériel et méthodes



**Photo 5:** Broyage et tamisage des échantillons (Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

### I.4.2.5. Analyse granulométrique

- **Principe**

L'analyse granulométrique (AFNOR X 31-107) détermine la répartition des particules minérales de la terre fine (fraction inférieure à 2mm) entre les argiles, les limons fins et grossiers et les sables fins et grossiers (Gee et Or, 2002) (Photo 6). Dans le cas des sols calcaires, il est important de savoir si cette analyse a été réalisée avec ou sans décarbonatation préalable (Schvartz *et al.*, 2005). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 6:** Analyse granulométrique par la méthode de la pipette (Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

### I.4.2.6. Les analyses physicochimiques

Selon Schvartz *et al.* (2005) ; Dicova (1997), elles ont pour but d'évaluer, pour l'horizon travaillé de la parcelle, d'une part les conditions physicochimiques, d'autre part les quantités

## Chapitre I : Matériel et méthodes

d'éléments minéraux ou éventuellement polluants, disponibles pour les cultures dans les conditions d'une exploitation agricole.

### a. Mesure du pH

- **Principe**

L'appréciation du pH (Photo 7) au laboratoire (NF ISO 10390) est obtenue en mesurant le pH d'une suspension de sol dans l'eau déminéralisée ( $pH_{eau}$ ), dans un rapport pondéral terre/solution égal à 2/5 (Schvartz *et al.*, 2005). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



**Photo 7:** Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre (Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

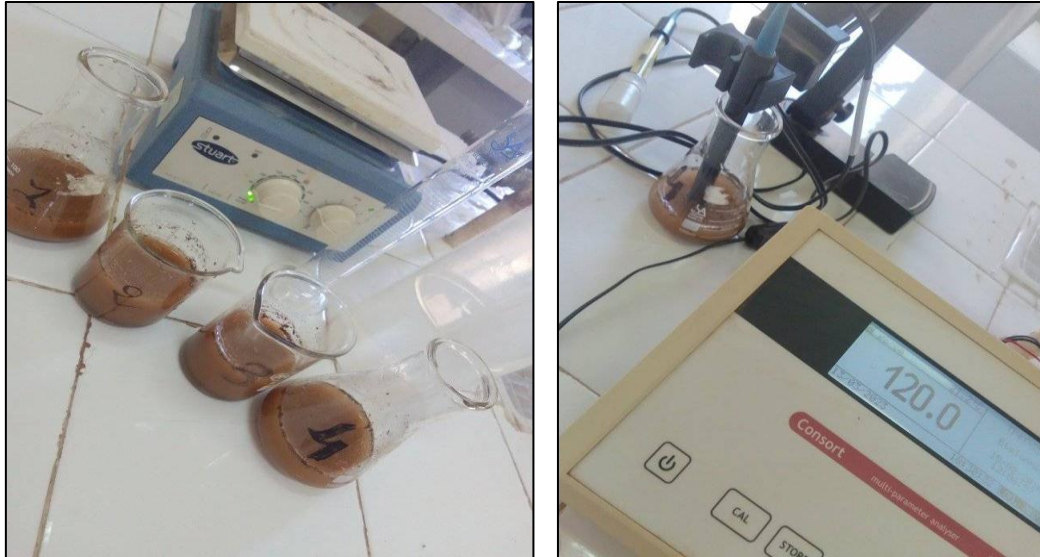
### b. Mesure de la conductivité électrique

La phase liquide du sol est une solution contenant divers ions qui confèrent au sol une certaine conductivité électrique. Elle dépend également des minéraux et des constituants organiques qui ont plutôt des propriétés isolantes. D'une façon générale, la conductivité électrique d'un matériau terreux dépend de sa composition, de sa structure, et de sa teneur en eau (Calvet, 2003).

- **Principe**

La détermination de la salinité d'un sol (Photo 8) est fondée sur le principe de l'extraction d'un électrolyte dont on mesure la concentration en éléments dissous. Au laboratoire, l'électrolyte est extrait sous vide à partir d'un échantillon de sol préalablement séché à l'air, tamisé à 2 mm et porté à une teneur en eau donnée, celle-ci variant selon le mode de préparation de l'extrait. Une des techniques d'extraction couramment utilisée est l'extrait dilué : le rapport entre la quantité de sol et la quantité d'eau peut varier selon les laboratoires, mais il est en général de 1/5 : la masse d'eau ajoutée est égale à 5 fois la masse de sol (10g), soit un volume d'eau d'environ 50ml (Montoroi, 1997). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



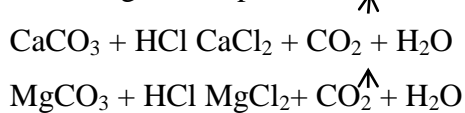


**Photo 8 :** Mesure de la conductivité électrique du sol par le conductimètre  
(Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

### c. Détermination du calcaire total et actif

- **Principe**

Selon **Schvartz *et al.* (2005)**, le **calcaire total** du sol (**AF ISO 10693**) est déterminé par attaque d'une quantité connue de terre par l'acide chlorhydrique. La réaction provoquée libère rapidement du dioxyde de carbone provenant de la dissociation des carbonates de calcium et/ou magnésium présents.



La teneur de calcaire total du sol (Photo 9) est alors calculée à partir du volume de  $\text{CO}_2$  dégagé. Suivant sa nature et son origine, le calcaire est reparti dans les différentes fractions granulométriques. Celui qui est présent dans la fraction inférieure à  $20 \mu\text{m}$ , susceptible de se solubiliser facilement et d'être à l'origine d'une teneur en  $\text{Ca}^{+2}$  élevée dans la solution du sol, correspond au **calcaire actif** (Photo 10). Celui-ci est mesuré globalement au moyen de l'oxalate d'ammonium par la méthode Drouineau-Galet selon la norme **AFNOR X 31-106 (Drouineau, 1942)**. (Voir les deux protocoles dans l'Annexe I).

## Chapitre I : Matériel et méthodes



**Photo 9 :** Dosage du calcaire total (Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).



**Photo 10 :** Dosage du calcaire actif (Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

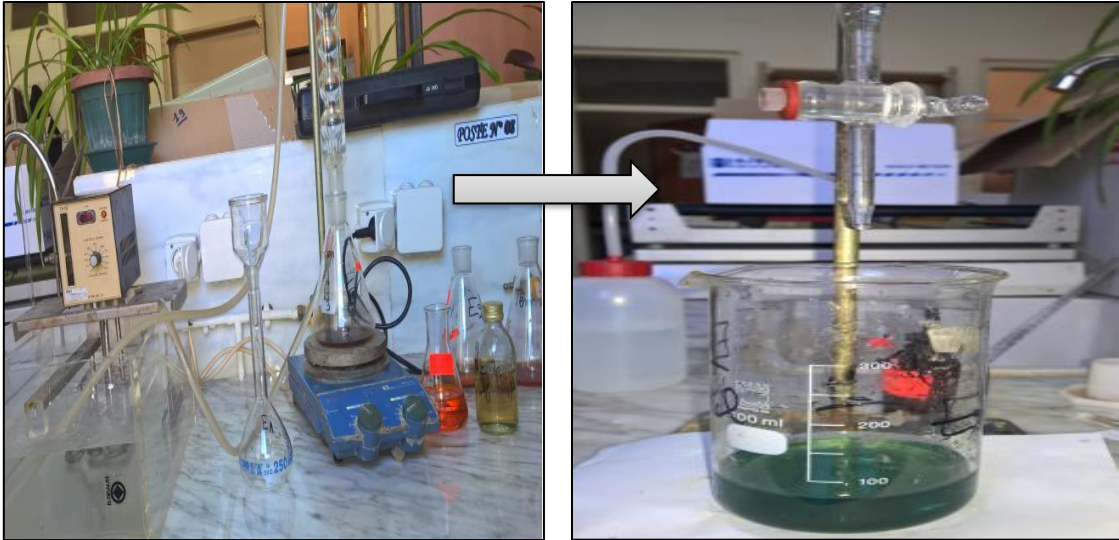
### d. Dosage du carbone organique

- **Principe**

D'après **Schwartz *et al.* (2005)**, la teneur en carbone organique est déterminée par la méthode Anne ou Walkley-Black (oxydation par le dichromate de potassium en milieu sulfurique, à chaud ou à froid (**NF ISO 14235**)) (Photo 11).

La quantité de matière organique est ensuite estimée en multipliant la quantité de carbone total par 1,72 ou 2 selon les sols. (Voir le protocole dans l'Annexe I).

## Chapitre I : Matériel et méthodes



**Photo 11** : Dosage du carbone organique par la méthode Anne  
(Cliché Benharira et El Kbaili, 2023).

### I.4.2.8. Calcul du stock de carbone organique du sol

D'après (FAO, 2018), le stock du carbone organique du sol (COS) est calculé selon la formule suivante : **stock du COS (Mg C ha<sup>-1</sup>) = 0.1 × CO × Da × p × (1-EG)**

Avec :

**CO** : Carbone Organique (g/kg).

**Da** : Densité apparente (g/cm<sup>3</sup>).

**p** : profondeur (cm).

**EG** : Eléments Grossiers (g/g).

### I.4.2.9. Traitement statistique

Le traitement des résultats a été effectué par une analyse statistique (test de corrélation par R Software) afin de connaître la relation entre le stock du carbone organique et le paramètres physicochimiques (R Core Team, 2020).

# **Chapitre II**

## **Résultats et discussion**

**II.1. Résultats des analyses physico-chimiques**

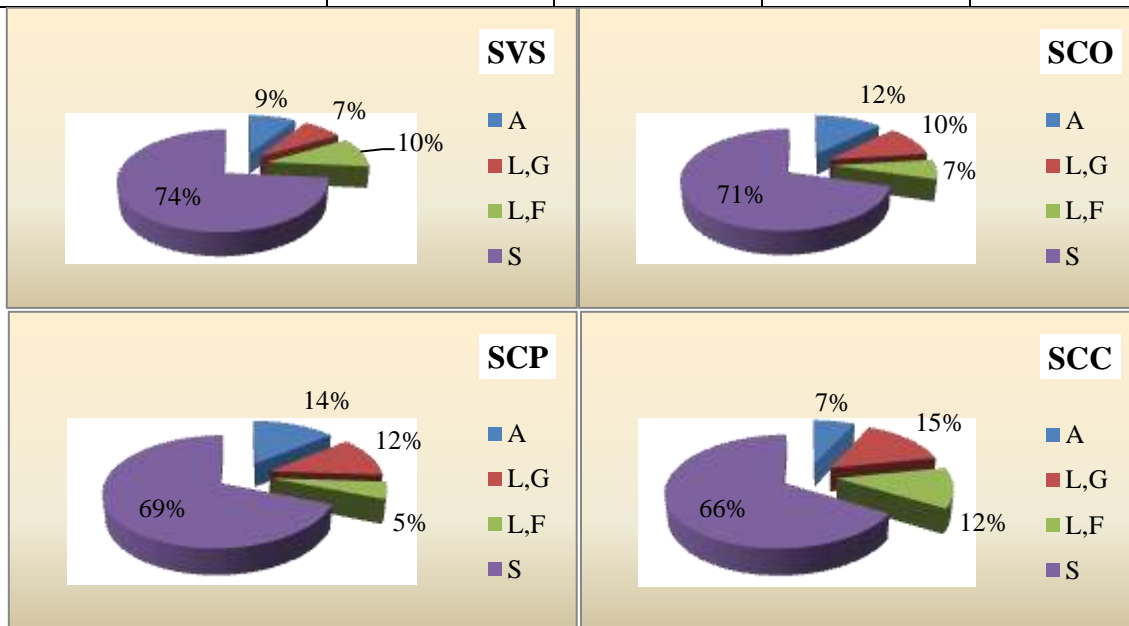
**II.1.1. Discussion des résultats de la granulométrie**

D'après les résultats illustrés dans le Tableau 6 et la Figure 12, on constate que les quatre sols étudiés ont des proportions très élevés en sables (66% - 74%), mais la différence s'observe dans les fractions de limons et d'argiles, puisque le SCP a le taux le plus élevé en argile (14%) par rapport aux trois autres, tandis que les SVS, SCO et SCP ont presque les mêmes pourcentages en limons (17%) et moins élevés que celui du SCC (27%).

D'après le triangle des textures (Figure 4), les quatre sols étudiés ont la même classe texturale: limono-sableuse mais avec des proportions précises pour chaque fraction. De plus, ils ont tous des proportions égales en limons fin + argiles (environ 19%), donc le sol de la zone d'étude a une texture équilibrée.

**Tableau 6:** Résultat des analyses granulométriques des sols étudiés.

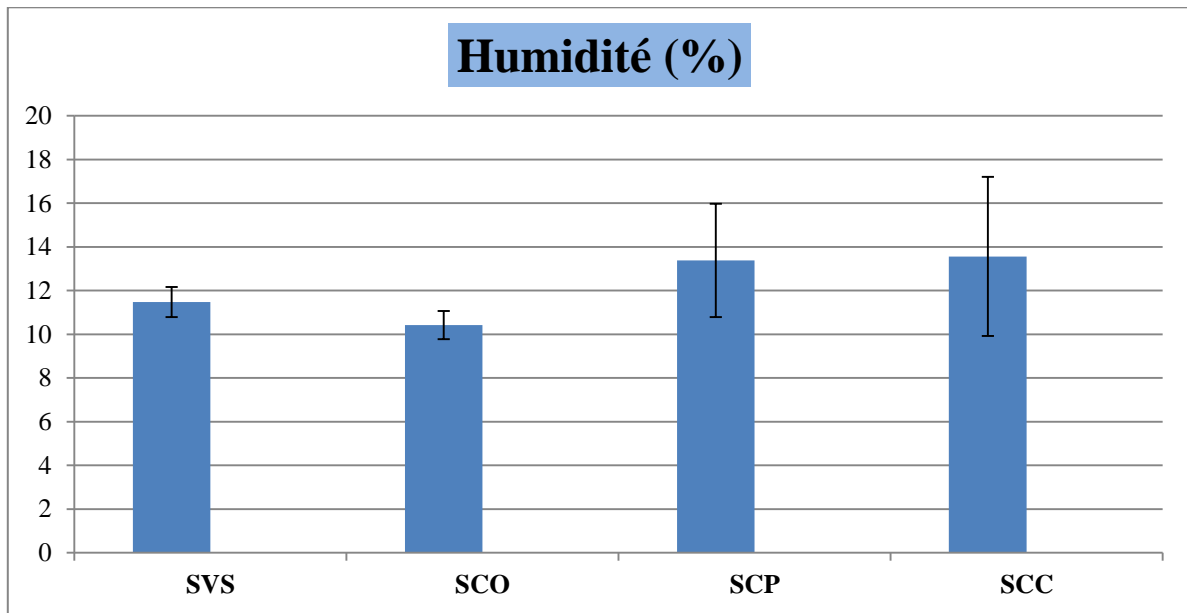
Échantillons / Particules (%)	SVS (témoin)	SCO	SCP	SCC
Sables (S)	74	71	69	66
Limons fins (L,F)	10	7	5	12
Limons grossiers (L,G)	7	10	12	15
Argiles (A)	9	12	14	7
Classe texturale	Limono-sableuse	Limono-sableuse	Limono-sableuse	Limono-sableuse



**Figure 12:** Composition granulométrique des quatre échantillons de sol étudiés.

### II.1.2. Discussion des résultats de l'humidité

D'après les résultats obtenus dans la Figure 13, on constate que le SCP ( $13,38 \pm 2,59$  %) et le SCC ( $13,56 \pm 3,64$  %) ont des taux d'humidité légèrement supérieurs aux deux autres sols ( $11,47 \pm 0,69$  % pour le SVS et  $10,42 \pm 0,64$  % pour le SCO). Selon **Brabant (1991)**, en général, la capacité de rétention en eau d'un volume de sol augmente avec la quantité d'argile et de limon qu'il contient, ce qui est cohérent avec nos résultats.

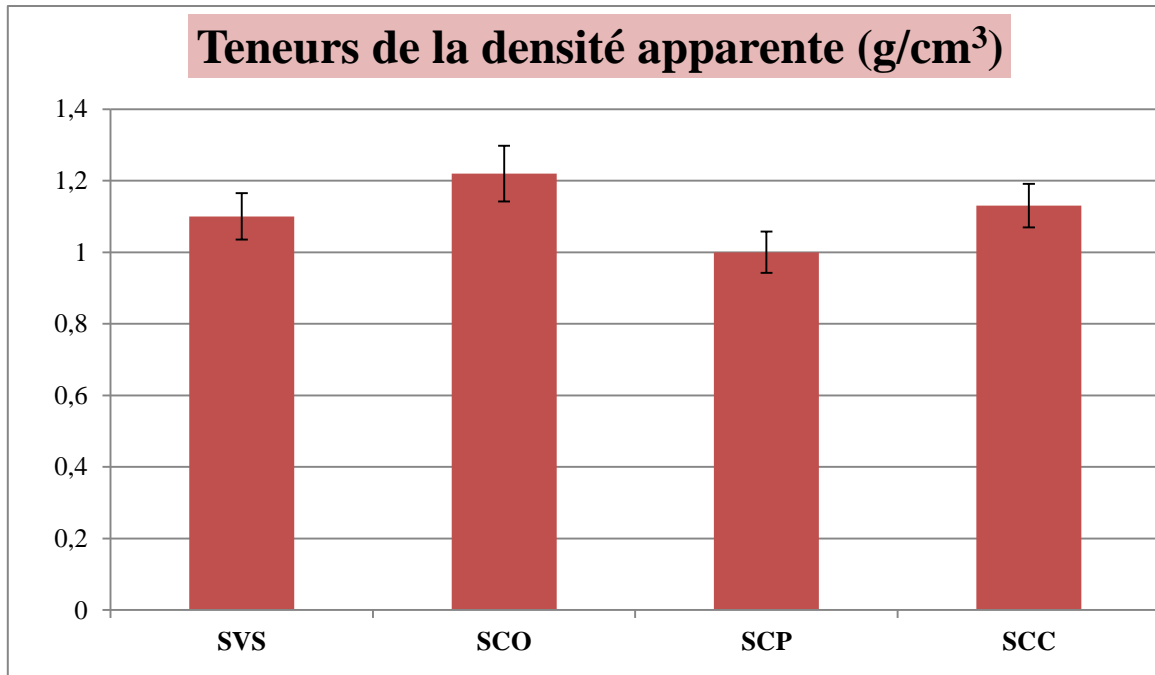


**Figure 13:** Taux d'humidité des quatre échantillons de sol étudiés.

### II.1.3. Discussion des résultats de la densité apparente

La densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du sol et indirectement, la porosité totale (**Alongo et Kombele, 2009**). Elle est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol (**Chauvel, 1977**).

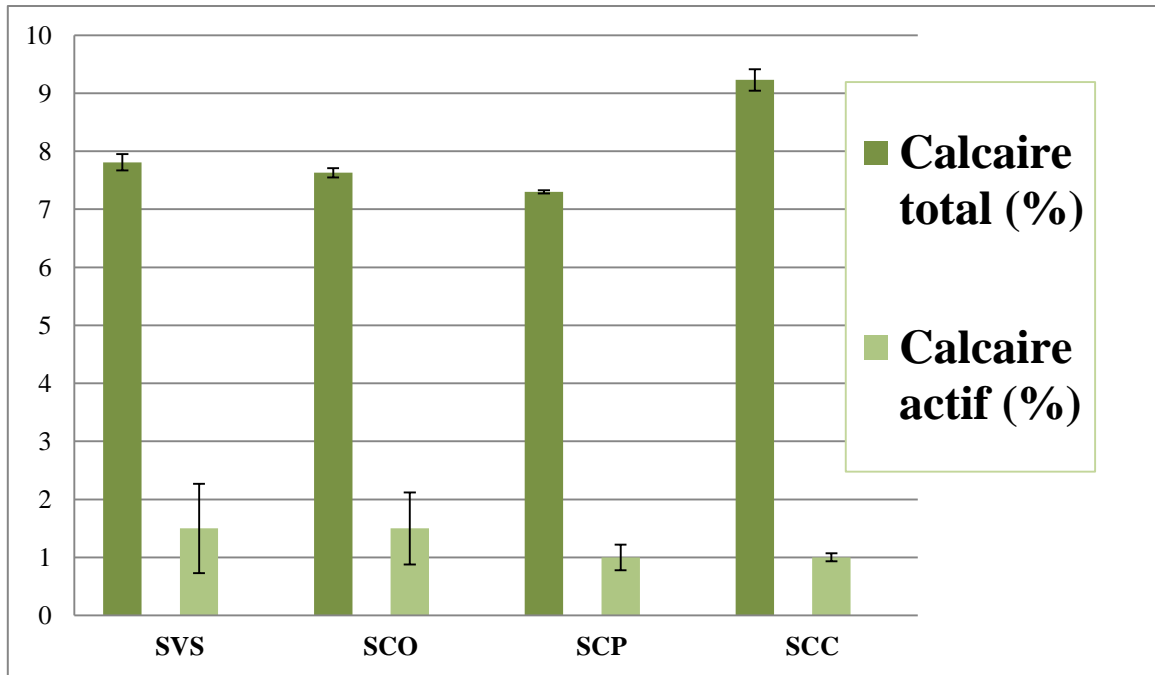
En se référant au Tableau 8 (Annexe II) et d'après la Figure 14, on constate que les quatre types de sol ont des densités apparentes idéales pour la croissance des plantes puisqu'ils ont des densités apparentes inférieures à  $1,60 \text{ g/cm}^3$  de l'ordre de  $1,1 \pm 0,065 \text{ g/cm}^3$ ,  $1,22 \pm 0,078 \text{ g/cm}^3$ ,  $1 \pm 0,058 \text{ g/cm}^3$  et  $1,13 \pm 0,061 \text{ g/cm}^3$  respectivement pour SVS, SCO, SCP et SCC. De plus, ils ont une structure favorable au développement racinaire puisqu'ils ont des densités apparentes inférieures à  $1,80 \text{ g/cm}^3$  (Tableau 8, Annexe II). Selon **Mermound (2010)**, une valeur élevée de densité apparente signifie que les vides sont réduits et que les particules sont fortement compactées, cela veut dire que nos sols étudiés sont légers.



**Figure 14:** Teneurs de la densité apparente des quatre échantillons de sol étudiés.

#### II.1.4. Discussion des résultats du calcaire

On remarque clairement d'après la Figure 15 et le Tableau 11 (Annexe II) que nos sols sont légèrement pourvus en  $\text{CaCO}_3$  total ( $7,81 \pm 0,140$  %,  $7,63 \pm 0,08$  %,  $7,3 \pm 0,025$  % et  $9,23 \pm 0,185$  %) et actif ( $1,5 \pm 0,77$  %,  $1,5 \pm 0,62$  %,  $1 \pm 0,22$  % et  $1 \pm 0,07$  %) respectivement pour SVS, SCO, SCP et SCC, donc ce sont des sols faiblement calcaires dans leurs intégralités. Le fait d'avoir trouvé du calcaire dans nos sols est probablement dû à la présence d'une dalle calcaire en profondeur, car selon **Schwartz *et al.* (2005)**, les sols formés sur des roches calcaires sont riches, voire très riches en calcium. D'après **Pousset (2002)**, On considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50% tel que le chlorose ferrique, c'est le cas en horticulture, en arboriculture ou en viticulture, donc, on peut déduire que nos sols sont dans la norme, et il ne risque pas d'avoir de problèmes liés au calcaire actif.



**Figure 15:** Taux du calcaire (total et actif) des quatre échantillons de sol étudiés.

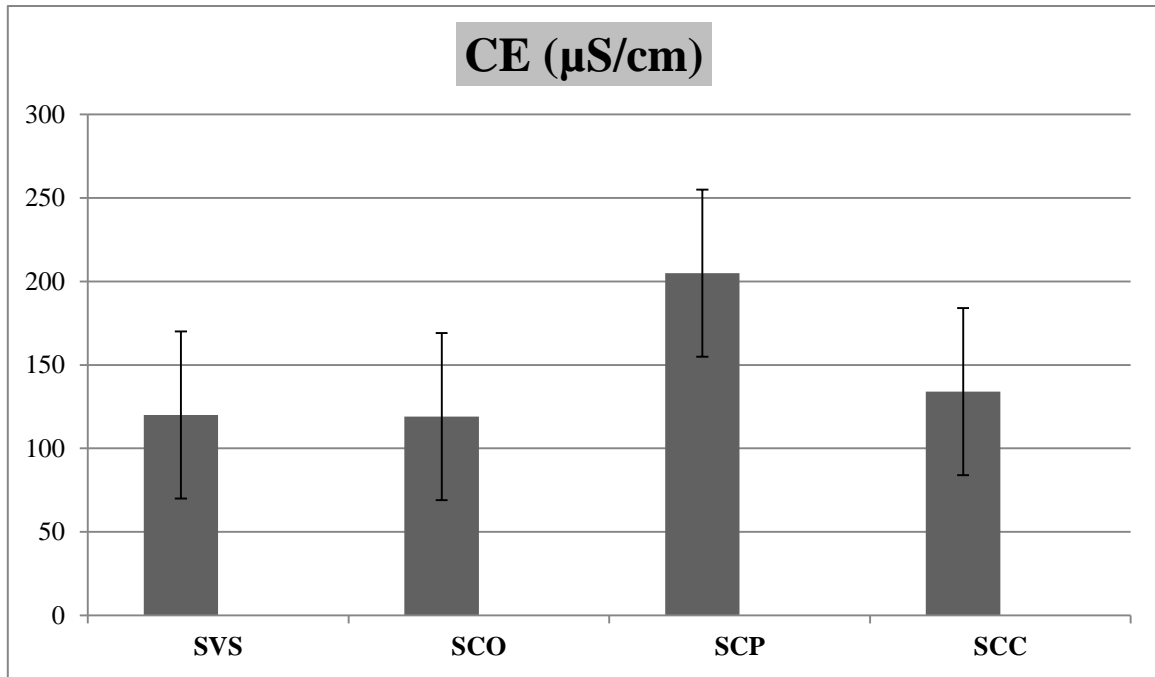
#### II.1.5. Discussion des résultats de la conductivité électrique

D'après la Figure 16, on constate que la conductivité électrique des quatre sols est comprise entre  $119 \pm 1,619 \mu\text{S}/\text{cm}$  et  $205 \pm 2,971 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

La concentration saline de la solution nutritive joue un rôle prépondérant dans l'alimentation hydrique de la plante. Elle détermine la pression osmotique de la solution. Celle-ci doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire, pour que l'eau puisse diffuser de la solution vers la plante. La conséquence la plus immédiate d'une concentration saline excessive est une lésion des racines suivie du flétrissement de la plante (**Blanc, 1987**).

Selon le Tableau 10 (Annexe II), un sol avec une  $CE \leq 500 \mu\text{S}/\text{cm}$ , est un sol non salé, et l'effet de cette dernière sur le rendement est négligeable, ce qui est tout à fait cohérent avec les résultats que nous avons obtenu.

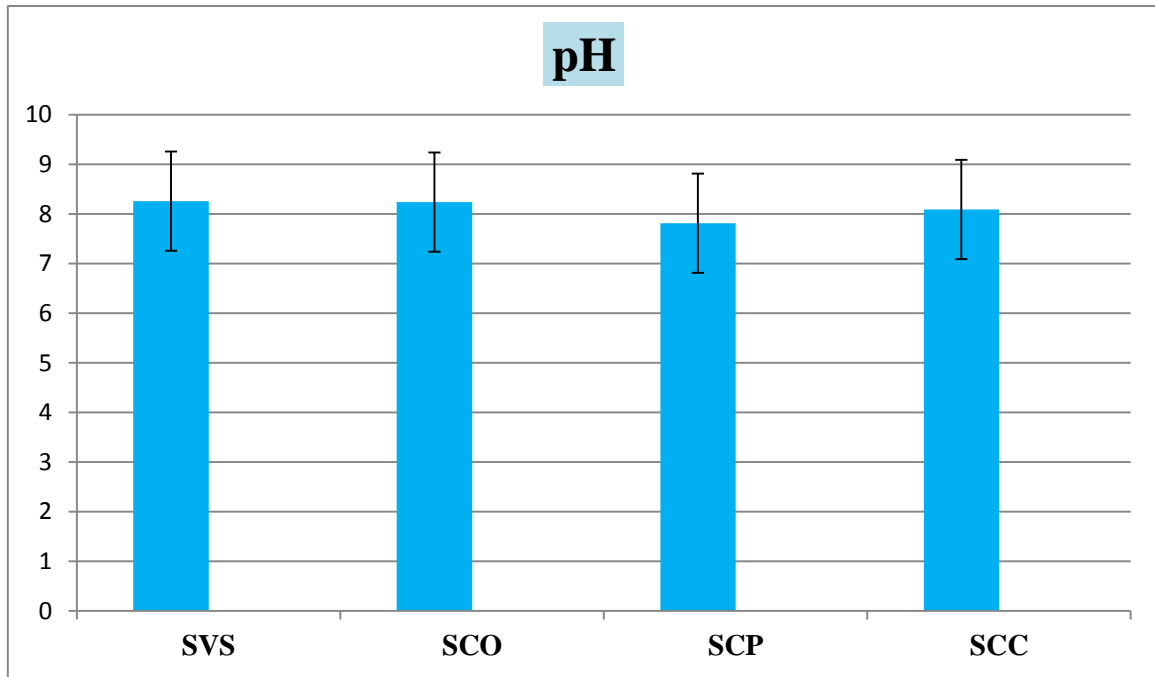




**Figure 16:** Taux de la salinité globale des quatre échantillons de sol étudiés.

#### II.1.6. Discussion des résultats du pH

En se basant sur la Figure 17 et en se référant au Tableau 9 (Annexe II), on constate que les quatre échantillons de sols sont basiques, avec de légères variations : entre  $7,81 \pm 0,064$  et  $8,09 \pm 0,006$  pour les SCP et SCC respectivement, et maximales (entre  $8,26 \pm 0,017$  et  $8,24 \pm 0,029$ ) pour les SVS et SCO respectivement. Le pH, voisin de 8, est imposé par la présence des carbonates de calcium et de magnésium et ne peut être modifié par les pratiques agricoles. En absence de carbonates, le pH du sol est neutre ou acide (Stengel et Gelin, 1998), mais apparemment nos sols sont basiques et légèrement calcaires, donc cela peut être dû à la qualité d'eau d'irrigation qui peut être riche en sodium. Le pH est l'un des forts prédictors de la composition des communautés bactériennes et de la diversité (Faugier, 2010).



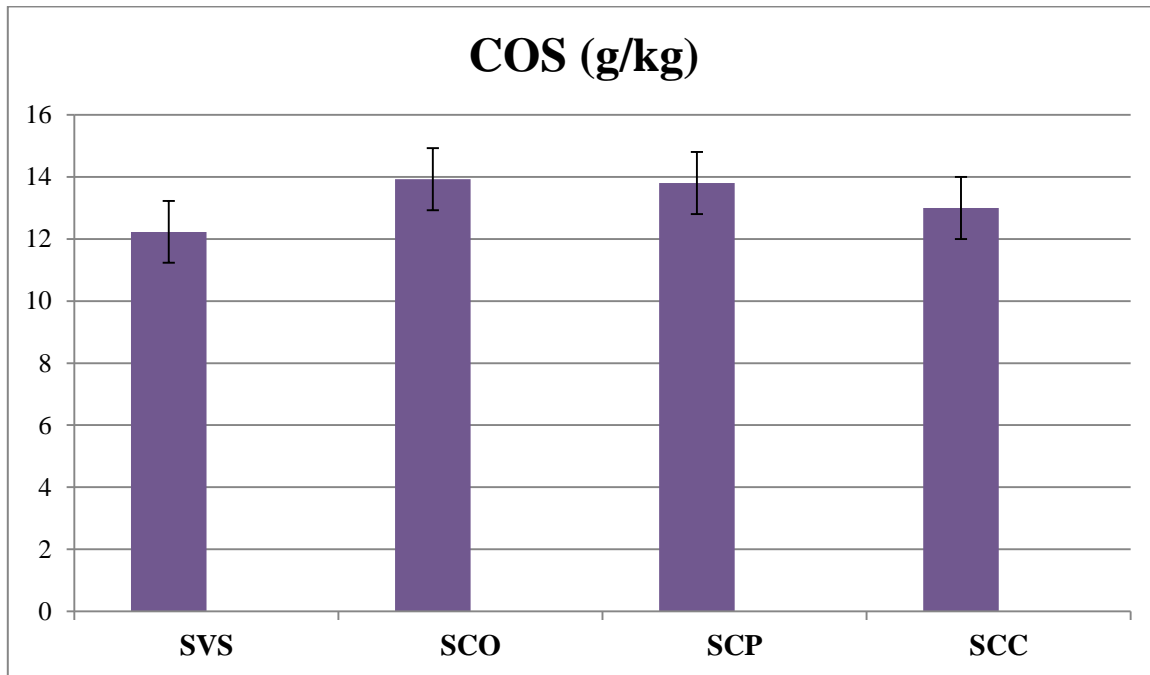
**Figure 17:** Le pH des quatre échantillons de sol étudiés.

### II.1.7. Discussion des résultats du carbone organique du sol

La matière organique du sol, en particulier le carbone organique du sol, favorise une grande variété d'habitats pour les micro-organismes dans le sol (**Bernoux et Chevallier, 2013**); qui, par ses activités, produit de l'humus sans lequel un sol devient mort, impropre à la croissance des plantes (**Doucet, 2006**), ou se dégrade puis se transforme en une forme minérale assimilable par les plantes (**Dridi et Toumi, 1999**). Cependant, le carbone organique du sol est un indicateur rentable et informatif de la qualité du sol et de la durabilité de l'agriculture car il favorise les propriétés physiques, biologiques et chimiques du sol (**Ananyeva, 2019**).

Selon la Figure 18, on constate que nos quatre sols ont des valeurs supérieures à 2% et inférieures à 4% de matière organique. Comme l'indique le Tableau 12, ce sont donc des sols moyens en MO. Néanmoins, si on vient à comparer ces valeurs, on constate que le SCO, le SCP et le SCC ont un stock de CO plus élevé que celui du SVS, avec respectivement des valeurs comprises entre  $13 \pm 0,7$  g/kg,  $13,8 \pm 1,21$  g/kg et  $13,93 \pm 0,81$  g/kg. Le SVS vient en dernier avec une valeur de  $12,23 \pm 1,21$  g/kg. La présence de la culture dans le sol à un effet stimulateur pour la biomasse microbienne du fait que l'exsudation où la production racinaire fournit des composés facilement utilisables qui sont à l'origine de la stimulation de la densité microbienne, qui selon **Lynch (1982)** sont constitués par un matériel labile facilement biodégradable. Cependant, il a été constaté que la présence de racines vivantes dans les sols sous agrumicultures, conduisant à l'exsudation et à la rhizodéposition des racines, est à l'origine de la stimulation microbienne et de son activité, qui se manifeste par une

augmentation de la biodégradation et de la minéralisation (Oulbachir, 2010 ; Benouadah *et al.*, 2020).



**Figure 18:** Le CO des quatre échantillons de sol étudiés.

### II.2. Variation du SCOS

Aucune étude antérieure sur la séquestration du carbone organique du sol sous agrumicultures n'a été trouvée.

D'après Benouadah *et al.* (2022), le SCOS est influencée par l'usage des terres agricoles, les pratiques culturales, la profondeur du sol et les paramètres physico-chimiques du sol.

#### a. Variation du SCOS selon le type de végétation

Selon Jaouadi *et al.* (2019), le type de végétation influence la teneur en matière organique des sols agricoles. La Figure 19 met en évidence l'effet de la présence de la culture sur le SCOS, le stock moyen est de  $45,3 \pm 11,45 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour l'ensemble des 12 échantillons de sol de la zone d'étude, caractérisés par la texture limono-sableuse, prélevés à 30 cm de profondeur avec  $40,52 \pm 4,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ,  $51,26 \pm 6,26 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ,  $46,66 \pm 4,69 \text{ Mg C ha}^{-1}$  et  $42,76 \pm 2,23 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour SVS, SCO, SCP et SCC respectivement.

Le SOCS varie significativement ( $p < 0,05$ ) entre les différents sols sous agrumicultures et le SVS, avec la valeur la plus élevée enregistrée pour le sol sous culture d'oranger ( $51,26 \pm 6,26 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), suivie par le sol sous culture de pamplemousse et le sol sous culture de citronnier, le stock le plus faible est enregistré pour le sol sous végétation spontanée ( $40,52 \pm 4,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), donc les racines des plantes contribuant de façon primordiale à la formation de la matière organique du sol (Poirier *et al.*, 2018), selon Guo *et al.* (2005), cette variation

pourrait également provenir de la différence des apports végétaux qui diffèrent en quantité et en qualité entre les espèces (De Deyn *et al.*, 2008 ; Poirier *et al.*, 2018), ainsi que de la composition des tissus végétaux aériens et souterrains entre les espèces (Kögel-Knabner, 2002).

Les agrumes sont de petits arbres ou arbustes qui se composent de racines très solides (Richard, 2004). Le sol à vocation agrumicole doit être un sol profond, peu perméable avec une capacité de rétention en eau élevée pour assurer aux arbres une bonne nutrition minérale et hydrique (Loussert, 1989; Praloran, 1971). Cette variation du SOCS du sol sous agrumicultures peut s'expliquer par la différence de profondeur des racines selon les espèces occupant le terrain, de plus, cette variation est liée à l'activité et à la longueur des racines plutôt qu'à la masse racinaire. Les résultats de Jackson *et al.* (1996) renforcent cette hypothèse en constatant que les arbustes avaient l'enracinement le plus profond, suivis des arbres et que les plantes herbacées avaient l'enracinement le moins profond. Cependant, les mécanismes de la décomposition de la matière organique et le système racinaire de chaque groupe d'agrumes nécessiteront des études plus approfondies (Rumpelet Kögel-Knabner, 2011).

### **b. Variation du SCOS en relation avec les paramètres physicochimiques**

Le résultat de l'analyse de corrélation révèle que le stock de COS a : des corrélations positives avec (i) la densité apparente, avec (ii) le carbone organique du sol, avec (iii) l'argile et avec (iv) les carbonates de calcium (actif).

La matière organique améliore la structure du sol car l'humus qui en résulte prévient le tassement en une masse solide et favorise la granulation des particules, rendant les sols plus légers, plus poreux et mieux aérés (Doucet, 2006 ; Deksissa *et al.*, 2008) et favorise le stockage du carbone organique dans le sol (Derrien *et al.*, 2016).

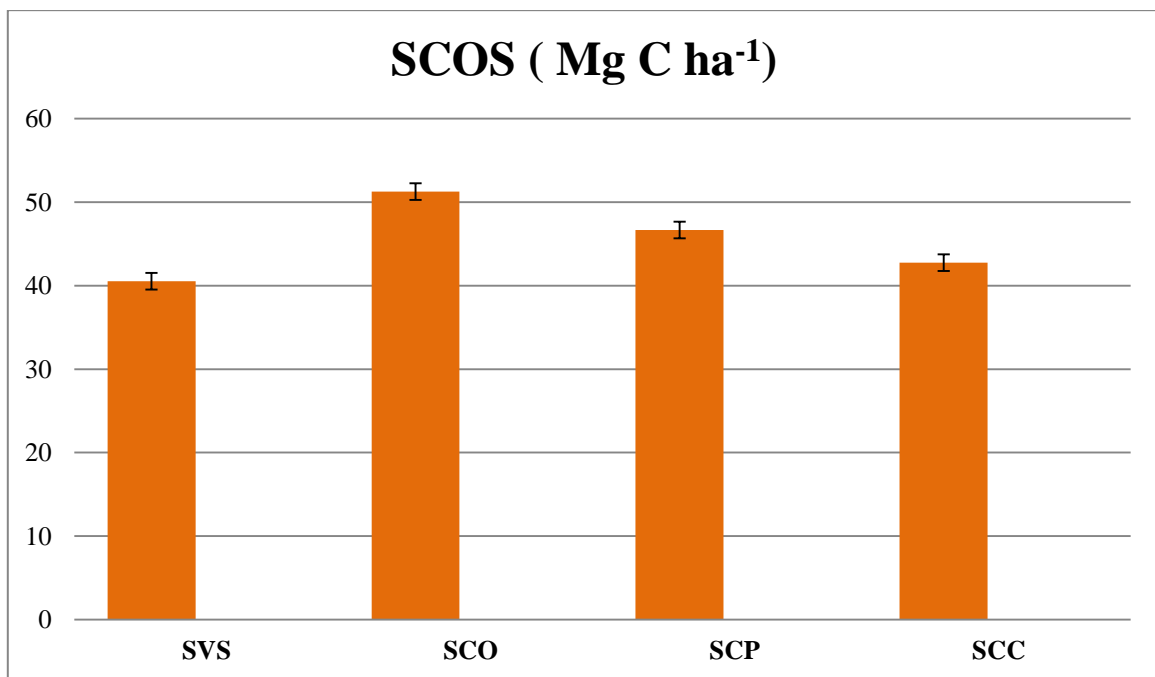
La corrélation positive entre l'argile et le SOCS pourrait s'expliquer par les caractéristiques de l'argile, qui agit comme un facteur d'agrégation, liant les particules entre elles et influençant la décomposition et le renouvellement du CO (Schvartz *et al.*, 2005).

Rowley *et al.* (2018), qui ont discuté de la corrélation positive entre les carbonates de calcium (total et actif) et le SCOS. Contrairement aux résultats de plusieurs auteurs notamment Yang *et al.* (2016) ; O'Brien *et al.* (2015) et Li *et al.* (2017) qui ont trouvé une corrélation négative pour les sols sous prairies.

### **c. Variation du SCOS en relation avec la profondeur**

Le stock (0- 30 cm) le plus élevée enregistrée pour le SCO ( $51,26 \pm 6,26 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ), cette valeur n'est pas éloignée de celle trouvée pour les sols espagnols sous les mêmes conditions

climatiques avec  $50,8 \pm 33,7 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Rodríguez-Murillo, 2001) et pour les terres arables françaises avec  $51,6 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (Arrouays *et al.*, 2001 ; Pellerin *et al.*, 2019). De plus, cette valeur est supérieure à la valeur enregistrée par : (i) Brahim *et al.* (2010) pour tous les sols tunisiens avec une moyenne de  $26,12 \text{ Mg C ha}^{-1}$ , (ii) à celles trouvées par Sabir *et al.* (2020) pour les sols sous arboricultures au Maroc avec une moyenne de  $38 \text{ Mg C ha}^{-1}$  et (iii) à celles enregistrées par Benslimane *et al.* (2023) pour les sols de la plaine de Sidi Bel Abbès ( $44,10 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour l'oléiculture,  $32,46 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour la céréaliculture et  $36,18 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour la viticulture), et toujours en dessus de la valeur moyenne globale pour les surfaces arbustives  $46,57 \text{ Mg C ha}^{-1}$  mais en dessous de la valeur moyenne globale pour les surfaces arborées avec  $66,84 \text{ Mg C ha}^{-1}$  (FAO et CMCC, 2017).



**Figure 19:** Le SCO des quatre échantillons de sol étudiés.

# **Conclusion**

## Conclusion générale

La présente étude s'est basée sur l'estimation de la séquestration du carbone dans les sols agricoles sous arboricultures en conditions méditerranéennes semi-arides à savoir l'agrumiculture de l'Atelier Agricole de Mazargan à Mostaganem à une profondeur de 30 cm. Les résultats ont montré que le SOCS varie significativement ( $p < 0,05$ ) entre le sol sous agrumiculture et le sol sous végétation spontanée, avec une moyenne de  $45,3 \pm 11,45 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour l'ensemble des 12 échantillons prélevés avec  $51,26 \pm 6,26 \text{ Mg C ha}^{-1}$ ,  $46,66 \pm 4,69 \text{ Mg C ha}^{-1}$  et  $42,76 \pm 2,23 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour SCO, SCP et SCC respectivement contre  $40,52 \pm 4,48 \text{ Mg C ha}^{-1}$  pour le SVS.

La végétation conditionne principalement les apports de matière organique au sol dans le temps et dans l'espace notamment l'arboriculture afin d'améliorer la fertilité des sols, de renforcer la résistance des sols à l'érosion et de préserver la biodiversité des sols à travers le système racinaire, l'exsudation racinaire et la rhizodéposition.

Les données générées par cette étude seront utiles et contribueront à la conception de stratégies de gestion des terres pour mieux conserver le capital organique existant et augmenter la séquestration du carbone dans les sols agricoles des zones arides et semi-arides.

Il est recommandé de faire une étude comparative avec plusieurs types d'arboricultures à savoir : l'agrumiculture, la viticulture, l'oléiculture..., afin de mettre en évidence les mécanismes de la formation de la matière organique en relation avec la longueur des racines vivantes et selon plusieurs niveaux de profondeurs du sol tels que : (0-15cm, 15-30cm, 30-45cm, 45-100cm).

# **Références bibliographiques**



## Références bibliographiques

- ❖ **Alongo, S. et Kombele, F. (2009).** Evolution de la densité apparente et du rapport C/N du sol sous les variétés exotiques et locale de manioc dans les conditions naturelles de Kisangani (Rd Congo). *Annales de l'Institut Facultaires des sciences agronomiques de Yangambi*, 1: 197-214.
- ❖ **Amundson, R. (2001).** The soil carbon cycle. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 29: 535-562.
- ❖ **Ananyeva, N., Ivashchenko, K., Vasenev, V., Sushko, S., Seleznyova, S. and Kudayarov, V. (2019).** Microbial C-availability and organic matter decomposition in urban soils of megapolis depend on functional zoning. *Soil and Environment*, 38(1): 31-41.
- ❖ **ANIREF. (2018).** Monographie de la Wilaya de Mostaganem. 31P.
- ❖ **Arabi, M. et Roose, E. (2004).** Influences du système de production et du sol sur l'érosion en nappe, le ruissellement, le stock et les pertes de carbone par érosion en zone de montagne méditerranéenne (Médéa, Algérie). *Bulletin du Réseau Erosion*, (22) : 166-175.
- ❖ **Arrouays D, Balesdent J, Germon JC, Jayet PA, Soussana JF. et Stengel P. (2002).** Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Expertise scientifique collective. Rapport INRA. Paris : Institut national de la recherche agronomique (INRA). 332 P.
- ❖ **Arrouays, D., Feller, C., Jolivet, C., Saby, N., Andreux, F., Bernoux, M. et Cerri, C. (2003).** Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. *Etude et gestion des sols*, 10(4) : 347-355.
- ❖ **Baldock, J.A. and Skjemstad, J.O. (2000).** Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Org. Geochem*, 31 : 697–710.
- ❖ **Baize, D. (2000).** Guide des analyses en pédologie. 2<sup>ème</sup> Ed. INRA. Paris. 257P.
- ❖ **Baize, D. et Jabiol, B. (1995).** Guide pour la description des sols. Ed. INRA. Paris. 375 P.
- ❖ **Balesdent, J., Chenu, C. and Balabane, M. (2000).** Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil Tillage Res*, 53: 215–230.
- ❖ **Benouadah, S., Oulbachir, K., Benaichata, L., Miara, M.D. and Snorek, J. (2020).** Evolution of the microbial population of a cultivated soil with organic matter input

## Références bibliographiques

- under semi-arid conditions (Tiaret, Algeria). *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3): 28-35.
- ❖ **Benouadah, S., Faraoun, F. and Oulbachir, K. (2022).** Incidence of manure amendment on soil organic stock under semi-arid environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(11): 10892-10902.
  - ❖ **Benslimane, Z., Faraoun, F. and Latreche, A. (2023).** Land use and impact on soil organic carbon stock in semi-arid region of Algeria. *Al-Qadsiyah Journal for Agriculture Sciences (QJAS)*, 1(13): 36-49.
  - ❖ **Bernoux, M. et Chevallier, T. (2013).** Le carbone dans les zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du CSFD. *Agropolis International*, 10 : 1- 44.
  - ❖ **Berrighi, I. (2007).** Etude de la dynamique des populations de la mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* Stainton (*Lepidoptera ; Gracillariidae*) dans la commune de Mazagan (Mostaganem).
  - ❖ **Blake, G.R. and Hartge, K. (1986).** Bulk density. *Methods Soil Analysis*, 5: 363–375.
  - ❖ **Blanc, D. (1987).** Les cultures hors sol. 2<sup>ème</sup> Ed INRA. Paris. 413P.
  - ❖ **Blanchart, E. et Trap, J. (2020).** Intensifier les fonctions écologiques du sol pour fournir durablement des services écosystémiques en agriculture. *Étude et Gestion des Sols*, 27 : 121-134.
  - ❖ **Bouchenafa, N., Oulbachir, K. and Kouadria, M. (2014).** Effects of tillage on the physical and biological behavior of soil under lentil culture (*Lens exculenta*) in the region of Tiaret, Algeria. *European Scientific Journal*, 10: 9-17.
  - ❖ **Bounouara, Z., Chevallier, T., Balesdent, J., Toucet, J., Sbih, M., Bernoux, M., ... and Bensaid, R. (2017).** Variation in soil carbon stocks with depth along a toposequence in a sub-humid climate in North Africa (Skikda, Algeria). *Journal of Arid Environments*, 141 : 25-33.
  - ❖ **Boutkhal, M., Amer, H., et Eric, R. (2004).** Effet des systèmes de gestion sur le ruissellement, l'érosion et le stock du carbone dans les monts de Beni-Chougrane-Algérie. *Bulletin du Réseau Erosion*, (23) : 416-430.
  - ❖ **Brabant, P. (1991).** Le sol des forêts claires du Cameroun : exemple d'étude d'un site représentatif en vue de la cartographie des sols et de l'évaluation des terres. Tome 1. Ed ORSTOM. Paris. 533P.

## Références bibliographiques

- ❖ **Bonkowski, M. (2004).** Protozoa and plant growth: the microbial loop in soil revisited. *New Phytologist*, 162: 617-631.
- ❖ **Brahim, N., Blavet, D., Gallali, T., and Bernoux, M. (2011).** Application of structural equation modeling for assessing relationships between organic carbon and soil properties in semiarid Mediterranean region. *International Journal of Environmental Science et Technology*, 8(2) : 305-320.
- ❖ **Briat, J.F. et Job D. (201).** Les sols et la vie souterraine. *in* Des enjeux majeurs en agroécologie. *Ed. QUAE*. 243P.
- ❖ **Burke, I.C., Yonker, C.M., Parton, W.J., Cole, C.V., Schimel, D.S., Flach, K. (1989).** Texture, Climate, and Cultivation Effects on Soil Organic Matter Content in U.S. Grassland Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 792-800.
- ❖ **Calvet, R. (2003).** Le sol, Propriétés et fonctions : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome1. *Voll. Ed. France agricole*. Paris. 457P.
- ❖ **Cedra, C. (1993).** Les matériels de travail du sol, semis et plantation. *1<sup>ère</sup> Ed. Tec & Doc. Lavoisier*. Collection Formagri. Vol3. Paris. 384P.
- ❖ **Chauvel, A. (1977).** Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées : Office de la recherche scientifique et technique outremer.
- ❖ **Chenu, C., Klumpp, K., Bispo, A., Angers, D., Colnenne, C. and Metay, A. (2014).** Stocker du carbone dans les sols agricoles: évaluation de leviers d'action pour la France. *Innov. Agron*, 37 : 23–37.
- ❖ **Chenu, C. and Plante, A.F. (2006).** Clay-sized organo-mineral complexes in a cultivation chronosequence: revisiting the concept of the primary organo-mineral complex. *European Journal of Soil Science*, 57: 596-607.
- ❖ **Chevallier T., Blanchart E., Girardin C., Mariotti A., Albrecht A. and Feller C. (2001).** The role of biological activity (roots, earthworms) in medium-term C dynamics in vertisol under a *Digitaria decumbens* (Gramineae) pasture. *Applied Soil Ecology*, 16:11-21.
- ❖ **Chevallier, T., Fujisaki, K., Roupsard, O., Gui-dat, F., Kinoshita, R., Filho, V., Lehner, P. and Albrecht, A. (2019).** Short-range-order minerals as powerful factors explaining deep soil organic carbon stock distribution: the case of a coffee agroforestry plantation on Andosols in Costa Rica. *Soil*, 5: 315–332.

## Références bibliographiques

- ❖ **Dari., R. (2013).** Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides, exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire d'ingénieur, Université Kasdi Merbah Ouargla. 53P.
- ❖ **Daroui, A., Weisskopf, P., Oberholzer, H-R. and Benslama, M. (2018).** Evaluation of total Carbon and total Nitrogen content in two Algeria regions under the effect of three tillage systems. *Int. J. Biosci*, 12(1) : 410-416.
- ❖ **Davet, P. (1996).** Microbial life of the soil and crop production. INRA (Ed). Paris. 202 P.
- ❖ **De Deyn, G. B., Cornelissen, J. H. and Bardgett, R. D. (2008).** Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology letters*, 11(5) : 516-531.
- ❖ **Deksissa, T., Short, I. and Allen, J. (2008).** Effect of soil amendment with compost on growth and water use efficiency of Amaranth. *In: Proceedings of the UCOWR/NIWR Annual Conference, International Water Research Challenges for the 21<sup>st</sup> Century and Water Resources Education, July 22-24, 2008, Durham, NC, USA.*
- ❖ **Derrien, D., Dignac, M. F., Basile-Doelsch, I., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., ... et Barré, P. (2016).** Stocker du C dans les sols. Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs, 193-224.
- ❖ **Dicova, C. (1997).** Les matériels de fertilisation et traitement des cultures. *Ed. Tec & Doc.* Lavoisier. 276P.
- ❖ **Doucet, R. (2006).** Le climat et les sols agricoles. *Ed Berget A.C.* Canada. 173P.
- ❖ **Dridi, B. et Toumi, C. (1999).** Influence des amendements organiques et d'apports de boues sur les propriétés d'un sol cultivé (Influence of organic amendments and sludge inputs on the properties of a cultivated soil). *Etude et Gestion des sols*, 6(1) : 7-14.
- ❖ **Drouineau, G. (1942).** Dosage rapide du calcaire actif du sol: nouvelles données sur la séparation et les 477 natures des fractions calcaires. *Ann. Agron*, 12 : 441-450.
- ❖ **Durand, J.H. (1983).** Les sols irrigables, Etude pédologique. Presses Universitaire de France. Editions Agence de Coopération Culturelle et Technique. Paris. 339P.
- ❖ **Es-Skalli, A. (2015).** Analyse physico-chimique des sols agricoles. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de licence sciences et techniques, option Géo-ressources et environnement. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. 43P.
- ❖ **FAO. (2015).** State of food and agriculture. Social protection and agriculture: Breaking the cycle of rural poverty. Rome, Italy.

## Références bibliographiques

- ❖ **FAO. (2017).** Carbone Organique du Sol: une richesse invisible. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.
- ❖ **FAO and CMCC. (2017).** Global Soil Organic Carbon Database (at 30 arcsec). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Euro-Mediterranean Center on Climate Change Foundation.
- ❖ **FAO. (2018).** Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems – Guidelines for assessment (Draft for public review). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, Italy. 64P.
- ❖ **Faugier, A. (2010).** Diversité bactérienne des sols : accès aux populations à effectifs minoritaires « the rare biosphère ». Thèse de Doctorat. Ecole doctorale électronique, électrotechnique, automatique de Lyon. 173P.
- ❖ **Gee, G. and Or, D. (2002).** Particle size analysis. In 'Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods'. 499 Soil Science Society of America Book Series, 5: 255-293.
- ❖ **Ghelamallah., A. (2005).** Etude bioécologique du complexe parasitaire inféodé à phylonistis citrella stainton dans la région de Mostaganem. Mémoire d'Ingénieur, Université de Mostaganem. 65P.
- ❖ **Gobat, J.M., Aragno, M. et Matthey, W. (2010).** Le sol vivant. 3<sup>ème</sup> Ed. *Presse polytechnique et Universitaire romands Lausanne*. Italie. 817P.
- ❖ **Grosbellet, C. (2008).** Evolution and effects on soil structure of organic matter brought in large quantities. *INRA, Sagah Angers*. Paris. 203P.
- ❖ **Guo, L. B., Halliday, M. J., Siakimotu, S. J. M. and Gifford, R. M. (2005).** Fine root production and litter input: its effects on soil carbon. *Plant and Soil*, 272(1): 1-10.
- ❖ **Hevia, G.G., Buschiazzo, D.E., Hepper, E.N., Urioste, A.M. and Antón, E.L. (2003).** Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116, 265–277.
- ❖ **ITA (Institut de technologie agricole), 1977.** Laboratoire du sol : Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> année. Mostaganem. 78P.
- ❖ **ITAFV. (2012).** La culture des agrumes. Institut technique de l'arboriculture fruitière et de la vigne.
- ❖ **Jackson, R. B., Canadell, J., Ehleringer, J. R., Mooney, H. A., Sala, O. E. and Schulze, E. D. (1996).** A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108(3): 389-411.
- ❖ **Jacques, G-S-B. (2008).** Les puits de carbone. *Ed. Tec & Doc. Lavoisier*. 176P.

## Références bibliographiques

- ❖ **Jaouadi, J., Aichi, H., Ben Hassine, H., Hatira, A. and Balesdent, J. (2019).** Carbon Turnover in a Sorghum-cultivated Semi-arid Mediterranean Soil Profile. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(19): 2457-2468.
- ❖ **Jiménez J.J., Decaëns T. et Lavelle P. (2008).** C and N concentrations in biogenic structures of a soil-feeding termite and a fungus-growing ant in the Colombian savannas. *Applied Soil Ecology*, 40: 120-128.
- ❖ **Jones D.L., Nguyen C. and Finlay R.D. (2009).** Carbon flow in the rhizosphere : carbon trading at the soil-root interface. *Plant and Soil*, 321: 5-33.
- ❖ **Kögel-Knabner, I. (2002).** The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil biology and biochemistry*, 34(2): 139-162.
- ❖ **Lefèvre, C., Rekik, F., Alcantara, V. et Wiese, L. (2017).** Carbone organique du sol: Une richesse invisible. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie.
- ❖ **Legros, J.P. (2007).** Les Grands Sols Du Monde. *Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes*. Lausanne, 574 P.
- ❖ **Lehmann, J. and Kleber, M. (2015).** The contentious nature of soil organic matter. *Nature* 528, 60–68. Linn, D.M., Doran, J.W., 1984. Effect of Water-Filled Pore Space on Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Production in Tilled and Nontilled Soils<sup>1</sup>. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48: 1260-1267.
- ❖ **Le Quéré, C., Peters, G. P., Andres, R. J., Andrew, R. M., Boden, T. A., Ciais, P., ... and Zaehle, S. (2014).** Global carbon budget 2013. *Earth System Science Data* : 6(1), 235-263.
- ❖ **Li., D, Wen., L, Yang., L, Luo., P, Xiao., K, Chen., H, Zhang., W, He., X, Chen., H, et Wang., K. (2017).** Dynamics of soil organic carbon and nitrogen following agricultural abandonment in a karst region. *J Geophys Res Biogeosci*, 122: 230–242.
- ❖ **Loussert, M. (1989).** Les agrumes. *Ed. scien*, Université Liban. 280P.
- ❖ **Lynch, J. (1982).** Interaction between bacteria and plants in the root environment. *Ed Bactéria and plants* .Academic press. London. 123P.
- ❖ **Mathieu, C., Pieltain, F. and Jeanroy, E. (2003).** Analyse chimique du sol: *Méthodes choisies*, Ed. Tec & Doc. Paris. 233P.
- ❖ **Mathieu, C., Pieltain, F. and Jeanroy, E. (2003).** Analyse physique du sol : *Méthodes choisies*, Ed. Tec & Doc. Paris. 256P.

## Références bibliographiques

- ❖ **Mermound, A. (2010).** Cours de physique du sol. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Ouagadougou & Lausanne. 234P.
- ❖ **Miltner A., Bombach P., Schmidt-Brucken B. and Kastner M. (2012).** SOM genesis : microbial biomass as a significant source. *Biogeochemistry*, 111 : 41-55.
- ❖ **Montoroi, J-P. (1997).** Etude et gestion des sols. Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol : application à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal). *Ed AFES*. Montpellier. 298P.
- ❖ **Mora P., Miambi E., Jimenez J.J., Decaens T. and Rouland C. (2005).** Functional complement of biogenic structures produced by earthworms, termites and ants in the neotropical savannas. *Soil Biology & Biochemistry*, 37: 1043-1048.
- ❖ **Morel, R. (1996).** Les sols cultivés. 2<sup>ème</sup> Ed. *Tec &Doc. Lavoisier*. Paris. 389P.
- ❖ **Morsli, B., Mazour, M., Mededjel, N., Halitim, A. et Roose, E. (2004).** Effet des systèmes de gestion sur l'érosion et le stock du carbone dans les monts du Tell occidental d'Algérie.
- ❖ **Musadji, N-Y. (2013).** Structure et dynamique du carbone mobile dans le sol. Thèse de Doctorat, Université de POITIERS UFR des sciences fondamentales et appliquées Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers. France. 263P.
- ❖ **Nicolas, J. (2013).** Phase exploratoire à la mise en place d'un schéma d'approvisionnement de plants d'agrumes sains et authentiques en Guyane. Mémoire d'Ingénieur. Cirad, Montpellier- France. 108P.
- ❖ **Nortcliff, S. (2002).** Standardisation Of Soil Quality Attributs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2: ) 161-168 .
- ❖ **O'Brien., S-L, Jastrow., J-D, Grimley., D-A, Gonzalez-Meler., M-A. (2015).** Edaphic controls on soil organic carbon stocks in restored grasslands. *Geoderma*, 251–252:117–123.
- ❖ **Oulbachir, K. (2010).** Écologie microbienne des sols sous différents compartiments granulométriques et différents stades bioclimatiques. Thèse de Doctorat. Algérie: Université d'Oran. 152P.
- ❖ **Parloran, J-C. (1971).** Les agrumes. Paris, **Maison neuve et la Rousse. 565P.**
- ❖ **Poirier, V., Roumet, C., et Munson, A. D. (2018).** The root of the matter: linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 120: 246-259.
- ❖ **Pousset, J. (2002).** Engrais verts et fertilité des sols. 2<sup>ème</sup> Ed. *Agridécisions*. Paris. 305P.

## Références bibliographiques

- ❖ **Quideau, S.A., Chadwick, O.A., Benesi, A., Graham, R.C., Anderson, M.A. (2001).** A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. *Geoderma*, 104; 41–60.
- ❖ **Pansu, M. And Gautheyrou, J. (2001).** L'analyse Du sol minéralogique, organique et minérale. *Ed Springer*. 134P.
- ❖ **Pellerin, S., Bamière, L., Launay, C., Martin, R., ....et Réchauchère, O. (2019).** Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Synthèse du rapport d'étude, INRA (France). 114 P.
- ❖ **Plante, A.F. et McGill, W.B. (2002).** Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil & Tillage Research*, 66: 79-92.
- ❖ **R Core Team, R. (2020).** A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 55.
- ❖ **Rahaoui, F. (2009).** Etude de la mobilité de certains ETM dans un sol en domaine routier, approche expérimentale et théorique. Mémoire d'Ingénieur, Université de Tlemcen. 203 P.
- ❖ **Richard., D. (2004).** Orange et Citron. *Ed. Devecchi S.A. Montmartre*. Paris. 201P.
- ❖ **Rodríguez-Murillo, J. C. (2001).** Organic carbon content under different types of land use and soil in peninsular Spain. *Biology and Fertility of Soils*, 33(1): 53-61.
- ❖ **Rowley, M. C., Grand, S. and Verrecchia, É-P. (2018).** Calcium-mediated stabilisation of soil organic carbon. *Biogeochemistry*, 137(1): 27-49.
- ❖ **Ruellan, A. (2010).** Des sols et des hommes. *in un lien menacé*. Préface Bruno Latour. *Ed, ERD*. 203P.
- ❖ **Rumpel, C. and Kögel-Knabner, I. (2011).** Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and soil*, 338(1): 143-158.
- ❖ **Sabir, M., Sagno, R., Tchintchin, Q., Zaher, H. et Benjelloun, H. (2020).** Évaluation des stocks de carbone organique dans les sols au Maroc. *in Carbone des sols en Afrique*. *Ed IRD*. Maroc. 90P.
- ❖ **Schvartz C., Muller J-C. and Decroux J. (2005).** Agriculture et fertilisation. *in Guide de la fertilisation raisonnée*. France Agricole. Comifer, ISBN : 2-85557-120-0, 473P.
- ❖ **Shan J., Brune A. and Ji, R. (2010).** Selective digestion of the proteinaceous component of humic substances by the geophagous earthworms *Metaphire guillelmi* and *Amyntas corrugatus*. *Soil Biology & Biochemistry*, 42: 1455-1462.



## Références bibliographiques

- ❖ **Soltner, D. (1992).** Les bases de la production végétale. Tom 1 : Le Sol. *Collection Sciences et Techniques Agricoles, 19<sup>ème</sup> Edition, Sainte Gemmes Sur Loire.* 105 P.
- ❖ **Soltner, D. (2004).** Distribution liquide et voie métabolique chez quatre Bactéries Gram négative Hydrocarbonoclaste : Variation En Fonction De Sources De Carbone. Thèse de Doctorat, Université Paris. 200P.
- ❖ **Sombroek, W., Nachtergaele, F-O. and Hebel, A. (1993).** Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22 (7): 417-426.
- ❖ **Song, B., Niu, S., Zhang, Z., Yang, H., Li, L. and Wan, S. (2012).** Light and Heavy Fractions of Soil Organic Matter in Response to Climate Warming and Increased Precipitation in a Temperate Steppe. *PLoS ONE* 7, e33217.
- ❖ **Sparks, D. (2003).** Environmental Soil Chemistry. *Second Ed.* New-York: Academic Press.
- ❖ **Sposito, G. (1997).** The Chemical Composition Of Soils. *The Chemistry of Soils.* Oxford University Press. New-York. 27 P.
- ❖ **Stengel, P. et Gelin S. (1998).** Sol : Interface fragile. *Ed INRA.* Paris. 213P.
- ❖ **Tosser, V., Eglin, T., Bardy, M., Bessonnet, A. et Martin, M. (2013).** Évaluation des stocks de carbone organique des sols cultivés de France Application de la méthodologie Tier 1 du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) aux sites du Réseau de Mesure de la Qualité des Sols (RMQS). *Étude et Gestion des Sols*, 21: 7 - 23.
- ❖ **van der Heijden M.G., Bardgett R.D. and van Straalen, N.M. (2008).** The unseen majority : soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11: 296-310.
- ❖ **Vidal A., Quenea K., Alexis M. et Derenne S. (2016).** Molecular fate of root and shoot litter on incorporation and decomposition in earthworm casts. *Organic Geochemistry*, 101: 1-10.
- ❖ **USDA. (2008).** Soil quality indicators.
- ❖ **Yang, S, Cammeraat, E, Jansen, B, Cerli, C. and Kalbitz, K. (2016).** Organic carbon stabilization of soils formed on acidic and Calcaric bedrocks in Neotropical alpine grassland, Peru. EGU General Assembly 2016, held 17-22 April, 2016 in Vienna, Austria.

# **Annexes**

## Annexes

### Annexe I : Modes opératoires

#### I.1. Analyses physiques

##### I.1.1. Détermination du taux d'humidité

Cette analyse ne nécessite pas le broyage et le tamisage des échantillons. L'analyse du taux d'humidité des échantillons doit se faire le même jour que leur prélèvement, ceci est un renseignement important pour la connaissance de l'état hydrique du sol. Le protocole est simple et se fait comme suite :

- Peser à l'aide d'une balance de précision, une capsule en verre vide.
- Faire le tarage du poids de la capsule et peser 20g d'échantillon de sol ( $P_1$ ).
- Mettre à l'étuve à 105°C, pendant 24 heures.
- Peser la capsule contenant l'échantillon séché ( $P_2$ ), après l'avoir laissée refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur.

- **Calculs**

$$H (\%) = (P_1 - P_2) / P_2 \times 100$$

**H** : Taux d'humidité en %.

**P<sub>1</sub>** : Poids humide (g).

**P<sub>2</sub>** : Poids sec (g).

##### I.1.2. Détermination de la densité apparente

La détermination de la densité apparente est basée sur l'utilisation de la méthode du cylindre calibré (252,2 cm<sup>3</sup>). Le protocole se fait comme suite :

- Enfoncez le cylindre à volume connu dans le sol.
- Sécher le contenu du cylindre à l'étuve pendant 24 heures à 105°C.
- Peser l'échantillon séché (P), après l'avoir laissée refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur.

- **Calculs**

$$Da (g/cm^3) = P/252,2$$

**Da** : Densité apparente en g/cm<sup>3</sup>.

**P** : Poids sec (g).

**252,2** : volume du cylindre en cm<sup>3</sup>.

##### I.1.3. Analyse granulométrique

- Dans un bécher de 500 ml, peser 15g de terre fine.
- Ajouter 50 ml d'eau oxygénée (20%), et laisser reposer pendant 1 heure.
- Séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C.

## Annexes

- Ajouter 15ml de xématophosphate se sodium (50g/l).
- Agitation mécanique pendant 2 heures.
- Verser la suspension dans une éprouvette graduée de 1000ml.
- Compléter la solution versée dans l'éprouvette avec de l'eau distillée jusqu'au trait de 750 ml.
- On agite l'éprouvette et on laisse reposer pendant 48 secondes, ensuite on prend un prélèvement à 10 cm grâce à la pipette de Robinson (**P1**).
- On agite l'éprouvette et on laisse reposer pendant 4 minutes et 48 secondes, ensuite on prend un prélèvement à 10 cm grâce à la pipette de Robinson (**P2**).
- On agite l'éprouvette et on laisse reposer pendant 6 heures, ensuite on prend un prélèvement à une hauteur X qui sera désignée selon le tableau des temps de sédimentation (**Tableau 7**) grâce à la pipette de Robinson (**P3**).
- Les prélèvements sont mis dans des creusets à poids connus, puis ils sont séchés à l'étuve à 105°C/24heures.
- Après avoir ressorti tous les échantillons de l'étuve, on les laisse refroidir dans un dessiccateur, et on les pèse.
- Faire les calculs et déterminer la texture du sol grâce au triangle des textures (**Figure 4**).
- **Calculs**
- (**P1**) : Argiles + Limons fins + Limons grossiers
- (**P2**) : Argiles + Limons fins
- (**P3**) : Argiles
- % Argiles =  $(P3) \times 750/10 \times 100/15$
- % Limons fins =  $[P2] - (P3) \times 750/10 \times 100/15$
- % Limons grossiers =  $[(P1) - (P2)] \times 750/10 \times 100/15$
- % Sables =  $100 - (\%Argiles + \%Limons\ fins + \%Limons\ grossiers)$

**Tableau 7:** Hauteur de prélèvement en fonction du temps de sédimentation (Gee et Or, 2002)

Température (°C)	Particules de 0,002 mm de diamètre			Particules de 0,02 mm de diamètre	
	Temps de chute pour 10 cm en heures-minutes	Profondeur de décantation ou de prélèvement en cm après			Temps de pour 10 cm en minutes et secondes
		8H	7H	6H	
10	10.23	7.7	6.7	5.8	6.14
11	10.06	7.9	6.9	5.9	6.03
12	9.49	8.1	7.1	6.1	5.54
13	9.34	8.4	7.3	6.3	5.44
14	9.19	8.6	7.5	6.4	5.35
15	9.05	8.8	7.7	6.6	5.27
16	8.51	9.0	7.9	6.8	5.19
17	8.37	9.3	8.1	7.0	5.10
18	8.24	9.5	8.3	7.2	5.03
19	8.12	9.8	8.6	7.3	4.55
20	8.00	10.0	8.8	7.5	4.48
21	7.48	10.3	9.0	7.7	4.41
22	7.37	10.5	9.2	7.9	4.34
23	7.26	10.8	9.4	8.1	4.25
24	7.16	11.0	9.7	8.3	4.22
25	7.06	11.3	9.9	8.5	4.15
26	6.56	11.5	10.1	8.7	4.10
27	6.47	11.8	10.3	8.9	4.04
28	6.38	12.1	10.6	9.1	3.59
29	6.29	12.3	10.8	9.3	3.24
30	6.21	12.6	11.0	9.5	3.15

## **Annexes**

### **I.2. Analyses physicochimiques**

#### **I.2.1. Mesure du pH eau**

- Peser 20 g de terre fine dans un bécher de 250 ml
- Ajouter 50 ml d'eau distillée au sol.
- Agiter pendant 5 min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le pH mètre et faire l'étalonnage.
- Mettre l'électrode du pH mètre au contact du surnageant de la solution.
- Lire la valeur obtenue.

#### **I.2.3. Mesure de la conductivité électrique**

- Peser 10 g de sol dans un bécher de 100 ml.
- Ajouter 50 ml d'eau distillée.
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le conductimètre et rincer l'électrode par l'eau distillée et essuyer par du papier joseph.
- Mettre l'électrode dans le surnageant de la solution, et lire la valeur affichée.

#### **I.2.4. Mesure du calcaire total**

- Peser 1g de terre fine dans un erlen de 250ml.
- Tenir l'appendice latéral à l'aide d'une pince métallique, et la remplir par l'HCl à 37% au 3/4.
- Sécher les parois de l'eren avec du papier joseph pour éviter le contact HCl-terre.
- Ouvrir l'ampoule du calcimètre et ajuster le niveau du calcimètre à zéro.
- Relier l'eren au calcimètre, en prenant soin de bien fermer l'ouverture.
- Lire le volume du CO<sub>2</sub> dégagé (V0).
- Répandre l'acide sur la terre, et lire le niveau du volume de CO<sub>2</sub> dégagé sur le calcimètre (V1).
- Pour le témoin, on remplace la terre par 0,3g de CaCO<sub>3</sub> et on lit le volume V0 lorsqu'on relie l'eren avec le calcimètre, et le V1 après le contact du HCl avec le CaCO<sub>3</sub>.

## Annexes

- **Calculs**

$$\text{CaCO}_3 \% = \frac{V_s \times m\text{CaCO}_3}{V_t \times m_{\text{sol}}} \times 100$$

- $m_{\text{sol}} = 1\text{g}$
- $m\text{CaCO}_3 = 0.3\text{g}$
- $V_s = V_1 \text{ sol} - V_0 \text{ sol}$
- $V_t = V_1 \text{ témoin} - V_0 \text{ témoin}$
- $V_0 = \text{Volume initial}$
- $V_1 = \text{Volume lu}$

### **I.2.5. Dosage du calcaire actif**

Le dosage du calcaire actif ne s'effectue que pour les échantillons ayant 5% ou plus de calcaire total.

- Peser 10 g de terre fine.
- Introduire dans un flacon de 300 ou 500 ml.
- Ajouter 250 ml d'oxalate d'ammonium N/5 (à 0,2 N).
- Agiter durant 2 heures à l'agitateur mécanique (rotatif).
- Filtrer à l'aide d'un entonnoir en verre et du papier filtre la solution dans un bûcher de 300 ou 400 ml, en écartant les premiers millilitres du filtrat.
- Prélever avec une pipette 10 ml de liquide clair et les verser dans un bûcher de 250 ml.
- Ajouter 10 ml d' $\text{H}_2\text{SO}_4$  au 1/10 (à 0,1 N).
- Chauffer cette solution sur une résistance électrique(ou bec Bunzen) sans dépasser  $60^\circ\text{C}$  (mesurer avec un thermomètre la température).
- Placer le bûcher sur un agitateur magnétique surmonté d'une burette graduée au 1/20 de ml et contenant du permanganate de potassium.
- Titrer par le permanganate de potassium jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante.
- Soit **n** le nombre de ml de  $\text{KMnO}_4$  versé ou obtenus (**n** volume en  $\text{cm}^3$ ).

### **Essai témoin**

- Titrer de la même façon, 10 ml de la solution d'oxalate d'ammonium utilisée.
- Soit **N** le nombre de ml de  $\text{KMnO}_4$  versé pour le témoin (**N** volume en  $\text{cm}^3$ ).

### **Calculs**

$$\text{CaCO}_3 \text{ actif \%} = 1,25.(N - n)$$

## Annexes

### I.2.6. Dosage du carbone organique

- Dans un erlen à col rodé, peser 1g de terre fine.
- Ajouter 10 ml de solution de bichromate de potassium (8g par 100ml d'eau distillée).
- Ajouter 15 ml d'acide sulfurique.
- Relier l'ouverture de l'erlen au réfrigérant, en s'assurant de bien la fermer.
- Allumer l'appareil.
- Chauffer grâce à un agitateur chauffant.
- Lorsque la solution commence à bouillir, on compte 5 minutes, ensuite on éteint l'appareil et l'agitateur chauffant et on laisse l'erlen refroidir.
- Détacher l'erlen du réfrigérant.
- Mettre la solution dans une fiole jaugée de 250ml, et compléter avec l'eau distillée jusqu'au trait de 250ml.
- Agiter la fiole 10 fois.
- Laisser reposer 30min.
- Avec une pipette graduée, prélever 50 ml du surnageant, et mettre dans un bécher de 250 ml.
- Ajouter 1,5 ml d'acide phosphorique  $H_3PO_4$ , et 3 gouttes de l'indicateur de couleur diphenylamine baryum sulfonates (0,5g dans 100 ml acide sulfurique +20 ml eau distillée et garder dans un flacon brun).
- Titrer par la solution de sel de mohr (78,4278g dans 20 ml acide sulfurique  $H_2SO_4$  et compléter à 1 litre par l'eau distillée), la solution brune au départ, deviendra bleu foncée, puis il y'aura rapidement un virage de couleur au vert foncé.
- Lire le nombre de ml de la solution de sel de mohr utilisé.
- Pour le témoin, on suit les mêmes étapes, sans ajouter l'échantillon de terre fine.
- **Calculs**

Le calcul se fait par l'équation suivante :

$$C\% = (V' - V) \times 0,3$$

$V'$ : quantité en ml de la solution de sel mohr utilisée pour le témoin.

$V$  : quantité en ml de la solution de sel mohr utilisée pour les échantillons de terre.

$$MO\% = C\% \times 1,72$$



## Annexes

### Annexe II: Echelles d'interprétation des résultats

**Tableau 8:** Densité apparente du sol.

Texture	Densité apparente idéale pour la croissance des plantes (g/cm <sup>3</sup> )	Densité apparente qui limite le développement racinaire (g/cm <sup>3</sup> )
Sableuse	<1,60	>1,80
limoneuse	<1,40	>1,65
Argileuse	<1,10	>1,47

(USDA, 2008)

**Tableau 9:** Le pH du sol.

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

(Baize, 2000)

**Tableau 10:** Classes de la qualité des sols selon leur CE.

Classe	CE (µS/cm) à 25°C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
<b>Classe I</b>	0 à 500	non salé	Négligeable
<b>Classe II</b>	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
<b>Classe III</b>	1000 à 2000	salé	Diminution du rendement de la plupart des cultures
<b>Classe IV</b>	2000 à 4000	très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
<b>Classe V</b>	Plus de 4000	extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

(Durand, 1983)

## Annexes

**Tableau 11:** Le calcaire total.

<b>CaCO<sub>3</sub> total (%)</b>	<b>Sol</b>
< 5	Légèrement pourvu en CaCO <sub>3</sub>
5 à 10	Peu calcaire
10 à 25	Moyennement calcaire
25 à 50	Notablement calcaire
> 50	Fortement calcaire

(ITA, 1977)

**Tableau 12:** Le carbone organique ( $MO\% = CO\% \cdot 1,72$ ) /  $CO\% = CO(g/kg) / 10$ .

<b>Taux de la matière organique (%)</b>	<b>Taux du carbone organique (%)</b>	<b>Sol</b>
< 1	< 0,58 (< 5,8 g/kg)	Très pauvre
1 à 2	0,58 à 1,16 (5,8 à 11,6 g/kg)	Pauvre
2 à 4	1,16 à 2,32 (11,6 à 23,2 g/kg)	Moyenne
> 4	> 2,32 (>23,2 g/kg)	Riche

(ITA, 1977)