

RÉPUBLIQUE ALGÈRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Université Abdelhamid ibn Badis
de Mostaganem**

جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم

كلية علوم الطبيعة و الحياة

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



DÉPARTEMENT D'AGRONOMIE

N° _____ /AGRO/2024

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par :

M^{elle} BESSEGHIR Soumia & M^{elle} BOUZIANE Hadjer

En vue de l'obtention du diplôme de

Master Académique en Agronomie

Spécialité : PRODUCTION VÉGÉTALE

THÈME

**Impact de l'arboriculture sur le statut organique du sol sous
conditions semi-arides**

Soutenu publiquement le 27/06/2024

Devant le JURY :

Président	M^f LARID Mohamed	Professeur	Univ. Mostaganem
Examineur	M^f BENGUENDOUZ Abdenour	M.C.B	Univ. Mostaganem
Encadreuse	M^{me} BENOUADAH Salima	M.C.B	Univ. Mostaganem

Année universitaire: 2023 - 2024



Remerciements



Au terme de ce travail, nous souhaitons exprimer notre reconnaissance à plusieurs égards:

Tout d'abord, nous remercions Dieu pour nous avoir donné la force et le courage nécessaires pour poursuivre nos études jusqu'à ce stade, ainsi que nos parents pour leur soutien constant tout au long de notre parcours.

Un sincère remerciement à notre encadreuse, Docteur BENOUADAH Salima, dont l'assistance et le soutien ont été d'une importance cruciale pour notre réussite. Ses conseils avisés, son investissement en temps et sa patience infinie ont été des facteurs déterminants dans la réalisation de ce travail. Nous lui sommes reconnaissantes pour sa confiance en nous et pour avoir cru en notre capacité à atteindre nos objectifs.

Nous remercions également le Professeur LARID Mohamed d'avoir accepté de présider le jury, ainsi que le Docteur BENGUENDOZ Abdenour pour son examen attentif de notre travail, témoignant ainsi de leur engagement envers notre réussite académique.

Nos remerciements s'étendent également aux ouvriers et aux paysans de l'Atelier Agricole de Mazagran, ainsi qu'aux ingénieurs des laboratoires de recherche, en particulier Rachida et Soumia, pour leur précieuse assistance et leur amabilité.

Enfin, nous tenons à renouveler nos remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, y compris les enseignants et le personnel du département d'Agronomie de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, qui ont contribué dans notre formation.



Dédicace



Je dédie ce travail à la mémoire de mon père. Que Dieu ait pitié de son âme. C'était un être aimé et précieux qui a quitté la vie mais n'a jamais quitté nos cœurs.

À ma mère, qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études,

À mes sœurs, qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors
de la réalisation de ce travail,

À ma famille et mes proches,

À ma chère binôme, Hadjer,

À Madame Benouadah Salima, notre encadrante, qui nous a guidé et
soutenu tout au long de ce parcours. Nous vous sommes reconnaissantes
pour votre dévouement et votre expertise,

Et à tous ceux qui consulteront ce modeste travail.

Soumia



Dédicace



A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

À mes chères sœurs et mon chère frère,

À toute ma famille,

À ma chère Soumia,

À tous mes amis,

À notre encadrante madame Benouadah Salima, pour ses précieux conseils qui nous a accompagné tout au long de notre travail.

Hadjer

Résumé

Le stockage du carbone organique dans le sol (SCOS) est un élément important dans les efforts internationaux de lutte contre le changement climatique, car il contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Le sol agit comme un réservoir naturel de carbone. L'objectif principal de cette étude était d'étudier l'effet de l'arboriculture en particulier l'agrumiculture et l'oléiculture sur les stocks de carbone organique du sol dans des conditions semi-arides dans l'Atelier Agricole de Mazagran à Mostaganem. Pour ce faire, nous avons mesuré la quantité de carbone en utilisant le sol de la même zone d'étude selon plusieurs niveaux de profondeurs du sol tels que : (0-15cm, 15-30cm, 30-50cm, 50-100cm). Le SCOS varie significativement ($p < 0,05$) entre les différents modes d'occupation des sols, la valeur la plus élevée sous oliviers ($32,63 \text{ Mg C ha}^{-1}$) est enregistrée au niveau de la strate allant de 50 à 100 cm et la valeur la plus élevée sous agrumes ($24,29 \text{ Mg C ha}^{-1}$) est enregistrée au niveau de la strate superficielle allant de 0 à 15 cm. Le stock le plus faible est enregistré au niveau du sol sous agrumiculture dans la 3^{ème} strate allant de 30 à 50 cm, avec $6,33 \text{ Mg C ha}^{-1}$. La variation de la répartition du CO selon l'occupation du sol et selon la profondeur pourrait s'expliquer d'une part par la différence des apports végétaux qui diffèrent en quantité et en qualité entre les espèces, et d'autre part par la différence de répartition et de profondeur des racines qui contrôlent le stockage et la stabilisation du CO, donc l'utilisation des terres influence le stock de COS en surface et en profondeur.

Mots clés : Stock du carbone organique, Profondeur, Agrumiculture, Oléiculture, Mostaganem.

Abstract

Soil organic carbon (SOC) sequestration contributes in a promising way to the mitigation of climate change by reducing greenhouse gas emissions because the soil acts as a natural carbon reservoir. The main objective of this study was to investigate the effect of arboriculture, particularly citrus and olive growing, on soil organic carbon stocks under semi-arid conditions of the agricultural workshop of Mazagran at Mostaganem. To do this, we measured the quantity of carbon using the soil of the same study area according to several soil depth levels such as: (0-15cm, 15-30cm, 30-50cm, 50-100cm). The SOC varies significantly ($p < 0.05$) between the different land use modes, the highest value under olive cultivation ($32.63 \text{ Mg C ha}^{-1}$) is recorded at the level of the stratum going from 50 to 100 cm and the highest value under citrus cultivation ($24.29 \text{ Mg C ha}^{-1}$) is recorded at the surface stratum ranging from 0 to 15 cm. The lowest stock is recorded at ground level under citrus cultivation in the 3rd stratum ranging from 30 to 50 cm, with $6.33 \text{ Mg C ha}^{-1}$. The variation in the distribution of OC according to land use and depth could be explained on the one hand by the difference in plant inputs which differ in quantity and quality between species, and on the other hand by the difference distribution and depth of roots which control the storage and stabilisation of OC, therefore land use influences the stock of SOC at the surface and at depth.

Keywords: Organic carbon stock, Depth, Citrus cultivation, Olive cultivation, Mostaganem.

ملخص

يساهم عزل الكربون العضوي في التربة بطريقة واعدة في التخفيف من تغير المناخ عن طريق تقليل انبعاثات غازات الدفيئة لأن التربة تعمل كمستودع طبيعي للكربون. كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو دراسة تأثير التشجير، وخاصة زراعة الحمضيات و الزيتون على مخزون الكربون العضوي في التربة في ظل الظروف شبه الجافة بالورشة الفلاحية بمزگران بمستغانم. وللقيام بذلك قمنا بقياس كمية الكربون العضوي باستخدام تربة من نفس منطقة الدراسة وفق عدة أعماق التربة مثل (0-15 سم، 15-30 سم، 30-50 سم، 50-100 سم). حيث تم تسجيل أعلى في زراعة الزيتون 32.63 ميغا كربون /الهكتار على مستوى الطبقة العميقة التي تتراوح من 50 إلى 100 سم و أعلى قيمة في الحمضيات 24,29 ميغا كربون /الهكتار على مستوى الطبقة السطحية التي تتراوح من 0 إلى 15 سم. أما القيمة الأدنى لمخزون الكربون سجلت في زراعة الحمضيات على مستوى الطبقة الثالثة حيث تتراوح من 30 إلى 50 سم، بقيمة 6.33 ميغا كربون /هكتار. و يمكن تفسير التباين في توزيع الكربون العضوي حسب استخدام الأرض و عمقها من ناحية باختلاف المدخلات النباتية التي تختلف في الكمية و النوعية بين الأصناف النباتية، ومن ناحية أخرى باختلاف توزيع و عمق الجذور التي تتحكم في تخزين و تثبيت الكربون العضوي و بالتالي يؤثر على مخزون الكربون العضوي في التربة على السطح و في العمق .

الكلمات المفتاحية: مخزون الكربون العضوي، العمق، زراعة الحمضيات، زراعة الزيتون، مستغانم .

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Introduction générale 1

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Statut organique du sol 3

I.1. Statut organique du sol 3

I.2. Définition de la matière organique du sol 3

a. Matières organiques labiles (Une dynamique rapide) 3

b. Matières organiques intermédiaires (Un déclin progressif) 3

c. Matières organiques stables (Une persistance remarquable) 4

I.3. Fonctions 4

a. Influence sur les propriétés chimiques du sol 4

b. Influence sur les propriétés biologiques du sol 5

c. Influence sur les propriétés physiques du sol 5

I.4. La dynamique de la matière organique du sol 5

I.5. Aspects de l'évolution de la matière organique dans le sol 6

I.5.1. Décomposition 6

I.5.2. Processus d'humification et de la déshumification 6

I.5.2.1. Humification (ou formation d'humus) 6

I.5.2.2. La déshumification 6

I.5.3. Processus de minéralisation et de réorganisation 7

I.5.3.1. Minéralisation 7

I.5.3.2. Réorganisation 7

I.6. Facteurs influençant le statut organique du sol 7

I.7. Gestion durable de la matière organique du sol 8

Chapitre II: Stockage du carbone organique dans le sol 9

II.1. Généralités 9

II.2. Le cycle du carbone 9

II.3. Les mécanismes de stockage de carbone dans les sols	10
II.3.1. Décomposition de la matière organique	10
II.3.2. Formation de complexes organo-minéraux	11
II.3.3. Protection physique	11
II.3.4. Mobilisation par les racines des plantes	11
II.3.5. Pyrogenèse	11
II.4. Origine et composition du carbone	12
II.5. Variabilité des teneurs en carbone dans le sol	12
II.6. Rôle des sols dans le bilan de carbone global	14
II.7. Les facteurs agissant sur le stockage du carbone dans le sol	14
II.7.1. La représentation du sol	14
II.7.2. Activité des micro-organismes du sol	14
II.7.3. Disponibilité en azote et son interaction avec le carbone	15
II.7. 4. Augmentation non maîtrisée de la production agricole	15
II.7. 5. Potentiel maximum de stockage du carbone dans les sols	16
Chapitre III : Arboriculture fruitière	17
III.1. Définitions	17
III.1.1 Arbre, arbustes et fruit	17
III.1.2. Arbre fruitier	17
III.2. L'origine des espèces fruitières	17
III.3. Production fruitière	17
III.3.1. En Algérie	17
III.3.2. À Mostaganem	17
III.4 Les différents arbres fruitiers existants dans la wilaya de Mostaganem	18
III.5. Etude de quelque type d'arbres fruitiers	18
III.5.1. Agrumiculture	18
III.5.1.1. Définition	18
III.5.1.2. Systématique des agrumes	19
III.5.1.3. La composition variétale	19
III.5.1.4. La composition chimique des agrumes	19
III.5.1.5. Intérêts nutritionnels et thérapeutiques des agrumes	20
III.5.1.6. Exigences de l'agrumiculture	20
III.5.1.6.1. Exigences climatiques	20

a. La température	20
b. La pluviométrie	21
c. Le vent	21
d. Le gel	21
III.5.1.6.2. Les exigences pédologiques	21
III.5.2. Oléiculture	21
III.5.2.1. Présentation de l'espèce d'olivier	21
III.5.2.2. Systématique de l'olivier	22
III.5.2.3. Variétés de l'olivier cultivées en Algérie	22
III.5.2.4. Composition de l'olive	23
III.5.2.5. Effets nutritionnels et thérapeutiques	23
III.5.2.6. Exigences de l'oléiculture	24
III.5.2.6.1. Exigences climatiques	24
a. La température	24
b. La pluviométrie	24
c. L'hygrométrie	24
III.5.2.6.2. Exigences pédologiques	24

Étude expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes	25
I.1. Objectif du travail	25
I.2. La région de prélèvement	25
I.2.1. Situation géographique	25
I.2.2. Caractéristiques naturelles et conditions climatiques	25
a. Le relief	25
b. Le climat	26
c. Le sol	26
I.3. Lieu du travail	27
I.4. Matériel et méthodes	27
I.4.1. Matériel	27
I.4.1.1. Verreries, appareils et produits utilisés	27
I.4.2. Méthodes	28
I.4.2.1. Échantillonnage	29
I.4.2.2. Densité apparente	29

I.4.2.3. Préparation des échantillons	30
a. Séchage	30
b. Broyage et tamisage	30
I.4.2.4. Les analyses physicochimiques	31
A. Analyse granulométrique	31
B. Mesure du pH	32
C. Mesure de la conductivité électrique	33
D. Détermination du calcaire total et actif	34
E. Dosage du carbone organique	36
I.4.2.5. Calcul du stock de carbone organique du sol	37
Chapitre II : Résultats et Discussion	38
II.1. Résultats des analyses physico-chimiques	38
II.1.1. Discussion des résultats de la granulométrie	38
II.1.2. Discussion des résultats de la densité apparente	38
II.1.3. Discussion des résultats du calcaire	40
II.1.4. Discussion des résultats de la conductivité électrique	41
II.1.5. Discussion des résultats du pH	42
II.1.6. Discussion des résultats de la matière organique	43
II.1.7. Discussion des résultats de l'azote total (N)	44
II.1.8. Discussion des résultats du rapport C/N	45
II.1.9. Discussion des résultats du SCOS	46
1. Variation du SCO selon l'occupation du sol	46
a. Variation du SCOS en agrumiculture	46
b. Variation du SCOS en oléiculture	47
2. Variation du stock cumulé du CO	48
a. Variation du stock cumulé pour le 30 cm	48
b. Variation du stock cumulé pour le 50 cm	49
c. Variation du stock cumulé pour le 100 cm	49
3. Variation du SOCS avec la profondeur	50
a. Variation du SOCS pour la strate 0-15cm	50
b. Variation du SOCS pour la strate de 15 à 30cm	50
c. Variation du SOCS pour la strate de 30 à 50cm	51
d. Variation du SOCS pour la strate de 50 à 100cm	51

Conclusion générale	53
Références bibliographiques	54
Annexes	67

Liste des figures

Figure 1	Les compartiments de la matière organique du sol en fonction de son temps de renouvellement : compartiments labile, intermédiaire et stable	4
Figure 2	Les fonctions remplies par les matières organiques du sol	5
Figure 3	Décomposition de la matière organique fraîche	7
Figure 4	Répartition mondiale du carbone organique du sol jusqu'à un mètre de profondeur	9
Figure 5	Le cycle de carbone	10
Figure 6	Distribution courante des âges du carbone	11
Figure 7	Les différents processus qui contrôlent le stockage de carbone dans les sols	12
Figure 8	Matières organiques du sol nature et proportions indicatives, en masse	12
Figure 9	Répartition verticale du stock de carbone organique du sol	13
Figure 10	Bilan de carbone global pour les années 2004-2013	14
Figure 11	Effets du changement d'utilisation des terres et gestion du carbone du sol	16
Figure 12	Répartition des superficies agrumicoles par groupe de variétés	19
Figure 13	Situation géographique de la zone d'étude (IT Mazagran, Mostaganem)	26
Figure 14	Protocole expérimental	28
Figure 15	Teneurs de la densité apparente des sols étudiés	40
Figure 16	Taux du calcaire total des sols étudiés	41
Figure 17	Taux de la salinité globale des sols étudiés	41
Figure 18	Taux de la salinité globale des sols étudiés	42
Figure 19	Le pH des sols étudiés	43
Figure 20	Teneur en matière organique des sols étudiés	44
Figure 21	l'azote total des sols étudiés	45
Figure 22	Le rapport C/N des sols étudiés	46
Figure 23	Stock du carbone organique des sols étudiés selon leurs occupations	48
Figure 24	Variation du stock cumulé du CO des sols étudiés	50
Figure 25	Répartition verticale du stock de carbone organique des sols étudiés	52

Liste des photos

Photo 1	Prélèvement des échantillons de sol	29
Photo 2	Mesure de la densité apparente à l'aide du cylindre	30
Photo 3	Séchage des échantillons de sol	30
Photo 4	Broyage et tamisage des échantillons	31
Photo 5	Analyse granulométrique par la méthode de la pipette	32
Photo 6	Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre	33
Photo 7	Mesure de la conductivité électrique du sol par le conductimètre	34
Photo 8	Dosage du calcaire total	35
Photo 9	Dosage du calcaire actif	35
Photo 10	Dosage du carbone organique par la méthode Anne	36

Liste des tableaux

Tableau 1	Superficie, production et rendement des arbres fruitiers par plantation dans la wilaya de Mostaganem (2022/2023)	18
Tableau 2	Composition chimique moyenne dans 100g de citron	20
Tableau 3	La composition de l'olive	23
Tableau 4	Matériel et produits	27
Tableau 5	Composition granulométrique des sols étudiés	39
Tableau 6	Hauteur de prélèvement en fonction du temps de sédimentation	69
Tableau 7	Densité apparente du sol	74
Tableau 8	Le calcaire total	74
Tableau 9	Classes de la qualité des sols selon leur CE	74
Tableau 10	Le pH du sol	75
Tableau 11	Le carbone organique	75
Tableau 12	L'azote total	75
Tableau 13	Classement des sols en fonction de leur rapport C/N	75

Introduction générale

Le carbone se trouve dans l'atmosphère principalement sous forme de dioxyde de carbone (CO₂), tandis qu'il peut également être présent dans le sol sous forme organique et inorganique. Au cours de la période allant de 1850 à 2012, on estime que la concentration de CO₂ dans l'atmosphère a augmenté de 111 parties par million (ppm), selon les données de l'organisation météorologique mondiale (**WMO, 2012 ; Andres *et al.*, 2012**). Les principales sources de l'augmentation de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère proviennent des activités humaines, notamment la consommation de combustibles fossiles, le déboisement pour l'expansion des terres agricoles et la combustion de la biomasse forestière. Ces activités anthropiques contribuent à environ 32 milliards de tonnes métriques d'émissions de CO₂ chaque année, avec la déforestation représentant 20% de ces émissions à l'échelle mondiale. Ces émissions sont estimées à constituer environ un tiers des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) (**GIEC, 2007**). En outre, entre 0,7 et 2,1 G t C yr⁻¹ de carbone par an ont été perdus en raison du changement d'utilisation des terres et des processus associés (**World Bank, 2012**). Les sols représentent les plus grands réservoirs de carbone dans les agroécosystèmes et ont un important potentiel de stockage du carbone sur de longues périodes. De nombreuses méthodes de recherche ont été développées pour quantifier le carbone organique des sols (SOC) à l'échelle mondiale. Les estimations les plus récentes indiquent que les sols contiennent entre 1500 et 2500 gigatonnes (Gt) de carbone, soit 2 à 2,5 fois plus que l'atmosphère (560 Gt) et quatre fois plus que le pool biotique, et ce jusqu'à une profondeur de 1 mètre (**Smith, 2004 ; Lal, 2004**). À l'échelle mondiale, les sols des écosystèmes agricoles jouent un rôle essentiel en séquestrant environ 2,1 milliards de tonnes de carbone par an (**Lal, 2010**). La région méditerranéenne est fortement touchée par le changement climatique, elle connaît des changements de températures, une intensification de l'été et des périodes de sécheresse ainsi que des taux de précipitations faibles et irréguliers (**Gao et Giorgi, 2007 ; Mariotti *et al.*, 2015 ; Moriondo *et al.*, 2006 ; Nicault *et al.*, 2008**). De nos jours, les sols suscitent de plus en plus d'intérêt, car ils sont au cœur de grands défis mondiaux tels que la sécurité alimentaire, l'approvisionnement en eau, le changement climatique ou la préservation de la biodiversité (**Baize, 2018**). Selon **Some *et al.* (2015) ; Koull et Halilat (2016)**, l'évolution des sols et leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques, en particulier en ce qui concerne leur fonction de production agricole, est étroitement liée à leur statut organique, c'est-à-dire à la quantité et à la qualité de leurs matières organiques. Effectivement, il est désormais clair que la matière organique des sols (MOS) joue un rôle crucial tant sur le plan agronomique que sur le plan environnemental, en

particulier dans les sols très altérés des agroécosystèmes tropicaux (**Hien, 2004**). Elle offre la possibilité de stocker et de fournir des nutriments aux plantes, de stabiliser les agrégats, de réguler les polluants, de réduire les GES et de servir de source d'énergie pour les organismes (**Hien et al., 2006 ; Bernoux et Chevallier, 2013 ; FAO, 2017**). L'origine de ces matières organiques réside dans la captation naturelle du dioxyde de carbone par les végétaux supérieurs, ainsi que par des algues des sols, des lichens et des bactéries photosynthétiques grâce à la photosynthèse. De plus, la photosynthèse permet aux plantes d'utiliser l'énergie solaire pour absorber le CO₂ présent dans l'air et produire de la matière végétale. Quand les plantes décèdent, leurs tissus sont successivement transformés dans les sols par des phénomènes physiques, chimiques et biologiques. ces transformations conduisent à des composés plus ou moins stables ou labiles, qui renferment en moyenne environ 58 % de carbone organique (**Arrouays et al., 2008**).

D'après **Chevallier et al., (2019)**, la manière dont les terres agricoles sont gérées et utilisées ont un impact important sur la dynamique de la matière organique et sa stabilité. Il est essentiel de comprendre le potentiel des sols agricoles en fonction des usages et des pratiques (**Arrouays et al., 2002**).

Les recherches historiques sur la dynamique du carbone dans le sol se sont majoritairement concentrées sur la couche 0-30 cm, considérée comme la plus importante par les agronomes. Il est important de noter qu'environ la moitié du carbone des sols se trouve en dessous de 30 cm de profondeur, et ce pour la plupart des sols du monde, y compris en France métropolitaine. Cette proportion varie cependant en fonction de l'occupation des sols (**Smith et Powlson, 2018**).

Cette étude vise à mieux comprendre le comportement des sols agricoles sous arboriculture fruitière, en particulier les vergers d'agrumes et d'oliviers, en conditions méditerranéennes semi-arides, par rapport au stockage du carbone organique. Cet objectif est d'autant plus important que l'agrumiculture et l'oléiculture occupent des superficies considérables en Algérie. En effet, les agrumes sont cultivés sur environ 45 000 hectares, tandis que l'olivier est présent sur 440 000 hectares (**DSA, 2022**).

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les fluctuations des stocks de carbone organique du sol dans l'exploitation agricole de Mazagran à Mostaganem. Pour ce faire, nous avons mesuré la quantité de carbone organique en tenant compte des pratiques agricoles dominantes, à savoir l'agrumiculture et l'oléiculture, dans la même zone d'étude, jusqu'à une profondeur allant de 0 à 100 cm.

Partie 1

Synthèse bibliographique

Chapitre I

Le statut organique du sol

I.1. Statut organique du sol

D'après Lefèvre (2016), Le sol est un écosystème vivant qui a la fonction de dégrader puis recycler toutes les matières organiques mortes d'origine animal ou végétal. Le statut organique du sol comporte deux aspects :

- Un aspect quantitatif par le rôle de la matière organique mesurée par sa teneur dans l'horizon de surface, La taille de la matière organique du sol est due à l'équilibre des entrées (chute de litière, exsudats racinaires, racines et animaux morts, fixation photosynthétique par micro-algues et cyanobactéries...) et des sorties (minéralisation par les microorganismes, perte de matières organiques par lixiviation ou lessivage...).
- Un aspect qualitatif par l'activité des racines et les fonctions exercées par les êtres vivants dans le sol.

I.2. Définition de la matière organique du sol

Les matières organiques du sol forment une hétérogénéité complexe, composée de divers éléments tels que les racines des plantes, la faune, les microorganismes et les produits de leur décomposition. Ces matières organiques peuvent inclure des débris végétaux en décomposition, des matières organiques de taille fine connues sous le nom de "colloïdales" et des matières organiques solubles (Chenu, 2003). Elles renferment une grande variété d'éléments chimiques, dont les principaux sont le carbone, l'oxygène, l'hydrogène, l'azote, le phosphore et le soufre. Le carbone représente 50 à 60 % de la totalité, l'oxygène 30 à 35 % et l'azote environ 5 % (Vilain, 1997 ; Baize, 2004).

Selon Schmidt *et al.* (2011); Derrien *et al.* (2016), on distingue généralement trois compartiments de matière organique dans les sols (Figure 1) selon sa vitesse de dégradation :

a. Matières organiques labiles (Une dynamique rapide)

Les matières organiques labiles (MOL) représentent la fraction la plus active de la MO, se renouvelant sur des échelles de temps courts allant de la journée à l'année. Elles sont constituées de molécules simples et facilement dégradables, telles que les sucres, les acides aminés et les acides gras. Ces molécules servent de source d'énergie et de nutriments pour les micro-organismes du sol, contribuant ainsi à la fertilité du sol et à la stimulation de l'activité biologique (Schmidt *et al.*, 2011).

b. Matières organiques intermédiaires (Un déclin progressif)

Les matières organiques intermédiaires (MOI) occupent une position intermédiaire en termes de vitesse de dégradation. Elles se décomposent plus lentement que les MOL, généralement en quelques années voire décennies. Ces MOI comprennent des molécules plus complexes, telles que la cellulose et les hémicelluloses, qui nécessitent des enzymes spécifiques pour être

dégradées par les micro-organismes du sol. La dégradation des MOI joue un rôle important dans la formation de l'humus, un composant essentiel de la structure du sol (Schmidt *et al.*, 2011).

c. Matières organiques stables (Une persistance remarquable)

Les matières organiques stables (MOS) constituent la fraction la plus résistante de la MO, se dégradant sur des temps allant de plusieurs décennies à plusieurs siècles. Elles sont composées de molécules complexes et fortement liées aux minéraux du sol, ce qui les rend difficiles à décomposer par les micro-organismes. La MOS joue un rôle crucial dans la séquestration du carbone atmosphérique dans le sol, contribuant ainsi à l'atténuation du changement climatique (Derrien *et al.*, 2016).

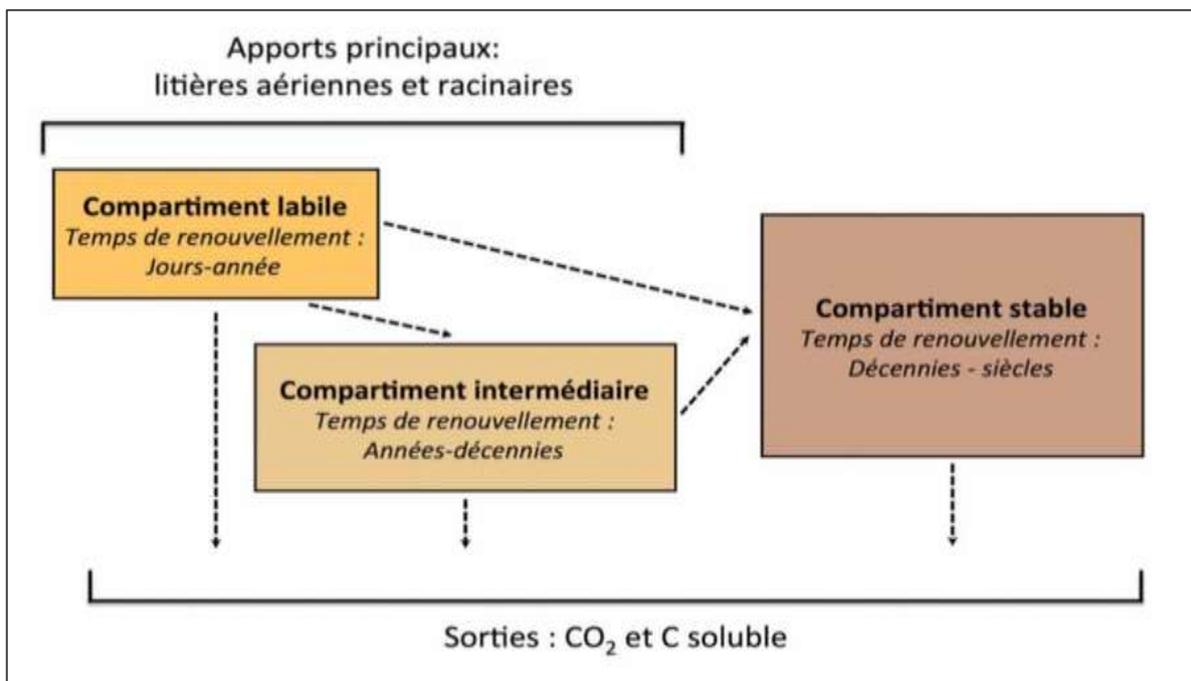


Figure 1 : Les compartiments de la matière organique du sol en fonction de son temps de renouvellement : compartiments labile, intermédiaire et stable (Derrien *et al.*, 2016).

I.3. Fonctions

D'après Doucet (2006), la matière organique remplit une multitude de fonctions (Figure 2) qui sont toutes aussi indispensables les unes des autres. Sans elle, aucune production n'est possible. Ces fonctions sont assurées grâce à leurs propriétés physiques, biologiques et chimiques :

a. Influence sur les propriétés chimiques du sol

La matière organique du sol MOS remplit différentes tâches et offre des services écosystémiques. En association avec les argiles, elle forme le "complexe argilo-humique" qui, grâce à ses charges négatives en surface, retient certains cations présents dans la solution du

sol tels que le calcium, le potassium, le magnésium, le sodium, etc. Cette caractéristique, appelée capacité d'échange cationique (CEC), contribue au stockage et à la libération ultérieure d'éléments nutritifs essentiels pour les plantes. De plus, la CEC aide à prévenir les pertes d'éléments nutritifs par lessivage (Doucet, 2006).

b. Influence sur les propriétés biologiques du sol

La matière organique du sol (MOS) est la source d'énergie et d'éléments nutritifs primordiale pour les organismes du sol, tels que les microorganismes. Ces derniers minéralisent la MOS et libèrent des ions et des molécules sous une forme soluble et assimilable pour d'autres organismes, comme les plantes. De cette façon, la MOS permet le maintien de l'activité biologique du sol et la productivité des écosystèmes (Doucet, 2006).

c. Influence sur les propriétés physiques du sol

La MOS améliore les propriétés physiques du sol en favorisant l'agrégation des particules du sol, ce qui améliore la perméabilité, l'aération et la stabilité structurale du sol. Par conséquent, la MOS joue un rôle important dans la lutte contre la battance due aux pluies et contre le tassement dû au travail du sol par les engins agricoles (Doucet, 2006).



Figure 2 : Les fonctions remplies par les matières organiques du sol (Chenu et Balabane, 2001).

I.4. La dynamique de la matière organique du sol

La dynamique de la matière organique du sol est un processus complexe qui implique plusieurs flux. Les principales sources de cette matière organique sont les litières végétales et les amendements organiques apportés par l'homme à la surface du sol, favorisant une activité

biologique intense. Les sorties de cette matière organique se manifestent principalement par le biais de la minéralisation et des pertes causées par l'écoulement et la lixiviation. Ces matières organiques fraîches subissent des transformations sous l'influence des microorganismes et de la microfaune, surtout lorsque les conditions environnementales et la composition chimique sont favorables (**Oulbachir, 1997; Calvet *et al.*, 2011; Bernoux et Chevallier, 2013**).

Au stade initial de cette évolution, les produits peuvent être séparés de la phase organo-minérale du sol par flottation ou tamisage, constituant ainsi ce qu'on appelle la matière organique libre. Sous l'action continue de la biomasse microbienne du sol, les débris végétaux subissent des transformations de plus en plus poussées, formant des substances humiques qui se fixent et se lient fortement au sol pour former le complexe argilo-humique, désigné comme matière organique liée (**Akroum, 1985**).

I.5. Aspects de l'évolution de la matière organique dans le sol

Selon **Soltner (1979)**, les étapes de l'évolution de la matière organique (Figure 3) peuvent être décrites comme suit :

I.5.1. Décomposition : une simplification des constituants des matières organiques fraîches, caractérisée par une phase de prolifération microbienne suivie d'une phase de décroissance microbienne.

I.5.2. Processus d'humification et de la déshumification

I.5.2.1. Humification (ou formation d'humus)

L'humification résulte d'un ensemble complexe de réactions physiques et biochimiques affectant à la fois la matière organique fraîche et celle déjà transformée, menant à la création d'humus (**Calvet *et al.*, 2011**). Ce processus englobe toutes les transformations aboutissant à la formation de molécules organiques complexes, généralement insolubles, telles que les acides humiques et fulviques (**Duchaufour, 2001 ; Calvet, 2003**).

I.5.2.2. La déshumification

La déshumification, à l'inverse, représente le processus par lequel l'humus stable est progressivement minéralisé et utilisé pour la synthèse de nouveaux composants cellulaires (**Dommergues et Mangenot, 1970**). Cette dégradation secondaire des produits humiques génère des acides fulviques liés et libres, susceptibles de migrer et de se condenser en acides humiques ou en humine précipitée, notamment dans les horizons profonds (**Antoine et Beatri, 1983**).

I.5.3. Processus de minéralisation et de réorganisation

I.5.3.1. Minéralisation

La minéralisation de la matière organique constitue un processus de dégradation fournissant des éléments nutritifs essentiels aux plantes. Ses effets principaux incluent la réduction de la teneur en matière organique dans le sol et la libération d'éléments minéraux sous forme gazeuse (CO_2 , N_2O ...) ou dissoute (nutriments azotés et phosphatés) assimilables par les plantes (**Abiven, 2004**). On distingue généralement :

- La minéralisation primaire (M1), liée à la matière organique libre.
- La minéralisation secondaire (M2), associée à la matière organique humifiée, qui se déroule plus lentement et dépend étroitement des processus d'humification, pouvant varier en fonction du type d'humus (**Duchaufour, 1983 ; CRA, 2011**).

I.5.3.2. Réorganisation

Il s'agit d'un processus qui est inverse de celui qui précède la minéralisation et qui suit la biosynthèse des microorganismes vivants. Une partie des minéraux libérés est donc réintégrée dans les composés humiques (**Duchaufour, 1983**).

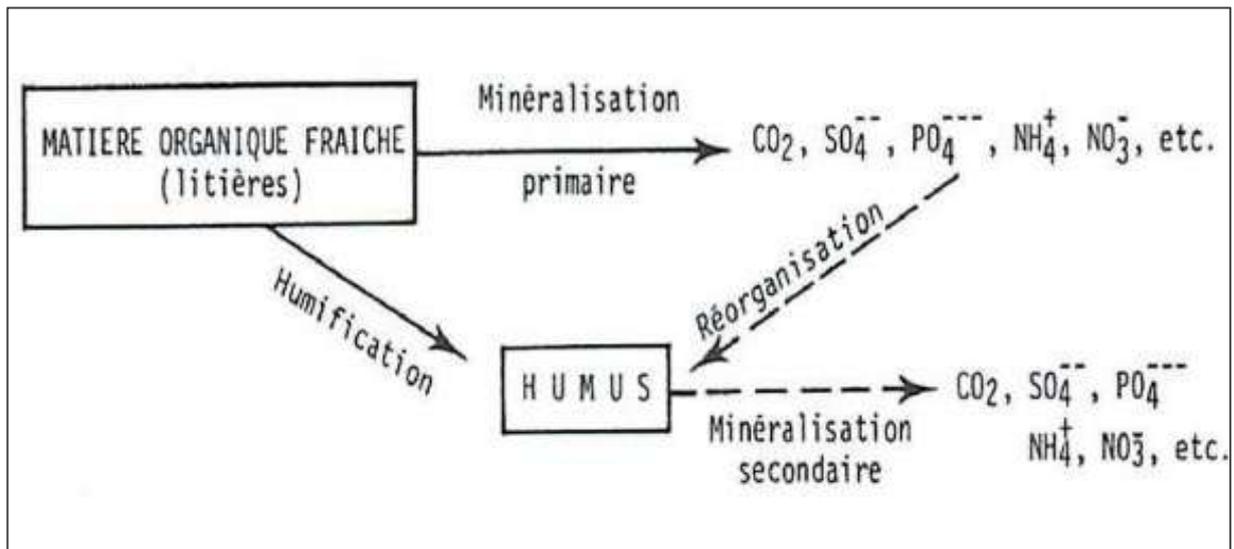


Figure 3 : Décomposition de la matière organique fraîche : minéralisation et humification (**Duchaufour, 2001**).

I.6. Facteurs influençant le statut organique du sol

D'après **Bernoux et Chevallier (2013)**, il existe différents facteurs qui impactent le niveau de MOS, qu'ils soient naturels (climat, types de végétation...) ou anthropiques (utilisation et gestion du sol...).

La restitution de la biomasse au sol, les apports exogènes et les taux de minéralisation et d'humification de la matière organique sont à la fois influencés par la nature des sols et par certains paramètres physicochimiques (température, humidité, pH, etc.) :

- Il existe de nombreuses entrées (exogènes ou non), qui varient selon les saisons (sèches et humides) et en fonction du type d'agro-écosystème.
- La durée de séjour de la MOS dans le sol varie en fonction de sa composition biochimique et de son interaction avec les particules minérales du sol, notamment les argiles.
- Lorsqu'ils sont propices, le niveau d'humidité et la température du sol ont un impact sur les processus biologiques qui contribuent à la décomposition et à la minéralisation de la MOS.
- Le contenu en MOS est également influencé par les techniques culturelles qui influencent ces paramètres, comme les amendements organiques.

I.7. Gestion durable de la matière organique du sol

Ensemble de pratiques visant à augmenter ou maintenir la quantité de matière organique dans les sols agricoles en gérant les flux de composés organiques entrants (apport de biomasse au champ) et sortants (dégradation) (**Felix, 2015**).

Selon (**Calvet *et al.*, 2015**) , l'apport de biomasse au champ peut se faire en restituant les composés organiques produits sur la parcelle tels que les résidus de récolte, en introduisant des cultures intermédiaires dans les rotations et en apportant des déjections animales par le pâturage. Ces apports peuvent également provenir de l'extérieur de la parcelle, comme les fumiers, les composts et d'autres amendements carbonés. La dégradation de cette biomasse est influencée par les pratiques agricoles, en particulier le travail du sol. Les pratiques telles que le labour favorisent un contact direct entre la matière organique et le sol, accélérant ainsi leur dégradation et leur répartition uniforme dans le profil du sol. En revanche, des techniques simplifiées sans retournement, comme le semis-direct sous couvert végétal, encouragent une dégradation lente des composés carbonés et leur accumulation en surface. À court terme, la gestion de la matière organique du sol favorise la nutrition minérale des plantes par la minéralisation de la biomasse. À long terme, la matière organique contribue à améliorer la structure du sol, sa porosité pour les transferts d'eau et la fertilité chimique du sol. Ainsi, la gestion de la matière organique des sols agricoles pour accroître leur stock est une pratique agro-écologique essentielle de l'agriculture de conservation.

Chapitre II

Stockage du carbone organique dans le sol

II.1. Généralités

L'augmentation des teneurs en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en particulier carbonés (CO_2 , CH_4) est causée par les activités humaines, augmentation devenue synonyme de changement climatique, et qui représente actuellement la principale crise environnementale (**Derrien *et al.*, 2016**). Les sols jouent un rôle crucial dans la régulation du cycle de carbone. Le dioxyde de carbone (CO_2) est le principal contributeur d'origine humaine à l'effet de serre et au changement climatique, et environ deux tiers du carbone organique terrestre (Figure 4) sont stockés dans le sol (**Le Quéré *et al.*, 2016**). Les stocks de carbone du sol résultent d'un équilibre entre les apports (souvent des résidus végétaux) et les pertes (principalement par décomposition microbienne et érosion), influencés par divers processus naturels ou humains (**Schlesinger et Palmer Winkler, 2000 ; Amundson, 2001**). Les changements dans l'utilisation des sols entraînent des variations dans les stocks de carbone, les processus de diminution étant plus rapides que ceux d'accumulation même une légère diminution du carbone ou de la matière organique dans la couche arable peut avoir des effets néfastes importants sur les propriétés du sol, tels que la rétention d'eau ou la disponibilité des éléments nutritifs et leur stockage (**Sombroek *et al.*, 1993**). Par conséquent, la gestion des sols revêt une importance cruciale dans les politiques visant à atténuer et à s'adapter au changement climatique, ainsi qu'à garantir la sécurité alimentaire (**FAO, 2015**).

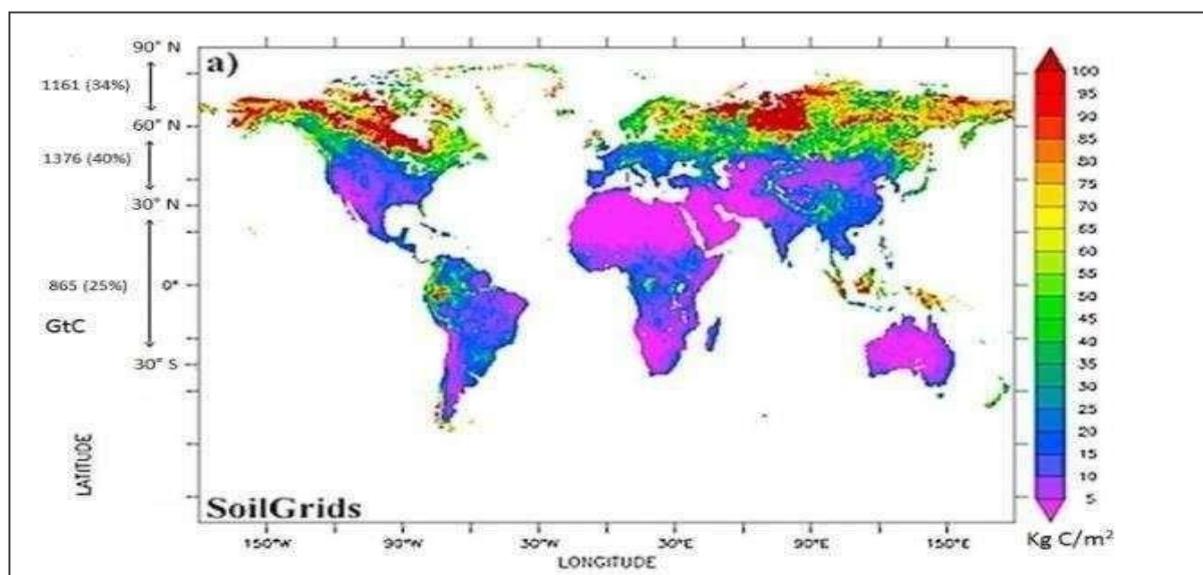


Figure 4 : Répartition mondiale du carbone organique du sol jusqu'à un mètre de profondeur (**Tifafi *et al.*, 2018**).

II.2. Le cycle du carbone

Le cycle du carbone organique (Figure 5) est un processus essentiel dans les écosystèmes, impliquant l'échange continu de carbone entre les composants biotiques et abiotiques de

l'environnement. Au cœur de ce cycle se trouve la photosynthèse, où les organismes photosynthétiques, tels que les plantes, convertissent le dioxyde de carbone atmosphérique en matière organique, principalement sous forme de glucose, en utilisant la lumière solaire comme source d'énergie. Ce processus alimente la croissance des plantes tout en libérant de l'oxygène dans l'atmosphère (Ciais *et al.*, 2014).

Parallèlement, la respiration est un élément crucial du cycle, où les organismes vivants décomposent la matière organique pour produire de l'énergie, libérant ainsi du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. De plus, la décomposition joue un rôle essentiel, impliquant l'action des microorganismes qui dégradent la matière organique morte en éléments plus simples, contribuant ainsi au recyclage des éléments nutritifs dans les sols (Davidson et Janssens, 2006).

Une partie du carbone organique produit par la photosynthèse est stockée dans les sols sous forme de matière organique stable, comme l'humus. Ce processus de séquestration du carbone dans les sols est important pour la fertilité du sol et le stockage à long terme du carbone (Lehmann et Kleber, 2015). De plus, les organismes du sol, tels que les vers de terre et les microorganismes, contribuent à la mobilisation du carbone organique dans les sols, en le déplaçant à travers les horizons du sol et en contribuant à sa transformation (Six *et al.*, 2004).

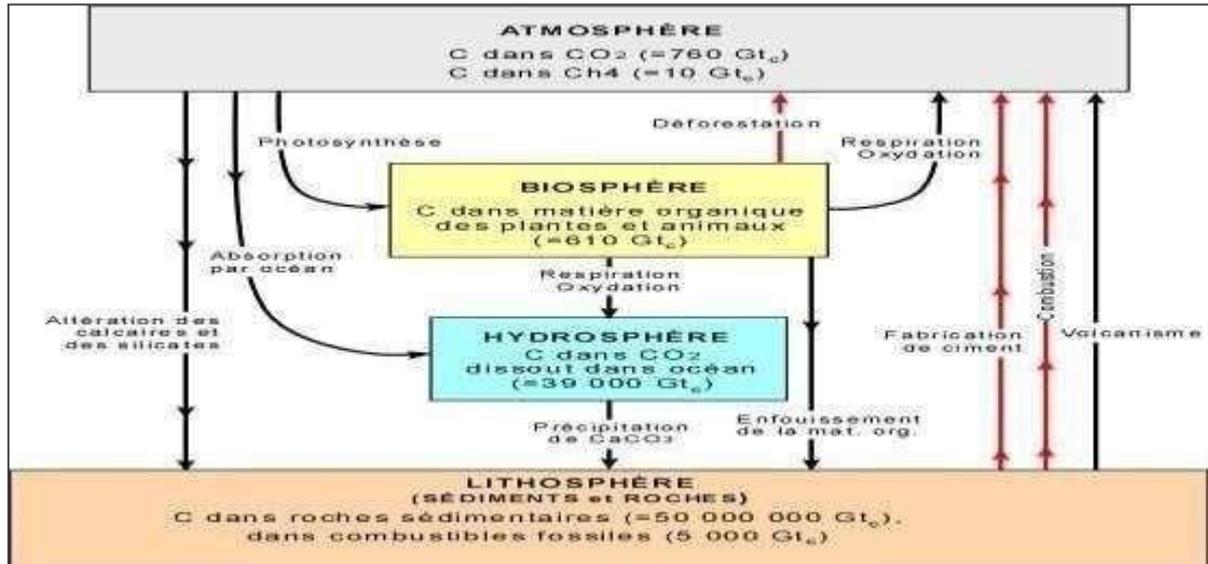


Figure 5 : Le cycle de carbone (kump *et al.*, 1999).

II.3. Les mécanismes de stockage de carbone dans les sols

II.3.1. Décomposition de la matière organique

Les microorganismes du sol décomposent la matière organique (Figure 6), comme les débris végétaux et les racines mortes, et la transforment en composés plus stables tels que l'humus, qui est ensuite stocké dans le sol (Smith et Powelson, 2018).

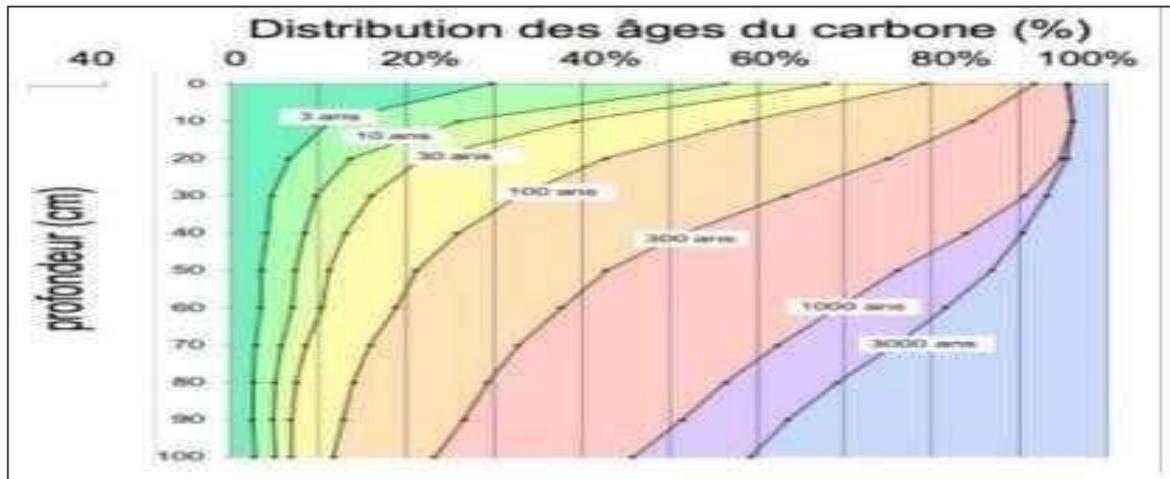


Figure 6 : Distribution courante des âges du carbone (Balesdent *et al.*, 2017).

II.3.2. Formation de complexes organo-minéraux

Les composés organiques peuvent se lier aux surfaces des minéraux du sol pour former des complexes organo-minéraux stables, ce qui protège le carbone organique de la dégradation biologique et chimique (Lehmann et Kleber, 2015).

II.3.3. Protection physique

a) Certains types de sols, tels que les sols argileux ou les sols riches en matière organique, offrent une protection physique au carbone stocké, en le protégeant des processus d'érosion et de lessivage (Jones et Smith, 2019).

d) Incorporation dans les agrégats du sol : Le carbone organique peut être incorporé dans les agrégats du sol, ce qui le protège de la décomposition et le maintient stable dans le sol pendant de longues périodes (Rumpel et Kögel-Knabner, 2011).

II.3.4. Mobilisation par les racines des plantes

Les racines des plantes peuvent mobiliser le carbone organique du sol et le transporter vers les profondeurs, où il peut être stocké sous forme de matière organique stable (Lal, 2004).

II.3.5. Pyrogenèse

Les incendies peuvent transformer une partie de la matière organique du sol en charbon, qui est une forme de carbone très stable et résistante à la décomposition microbienne (Cotrufo *et al.*, 2015).

Ces mécanismes travaillent ensemble pour stocker le carbone dans le sol (Figure 7) et contribuer ainsi à atténuer les niveaux de dioxyde de carbone atmosphérique, jouant ainsi un rôle crucial dans la régulation du climat (Derrien *et al.*, 2016).

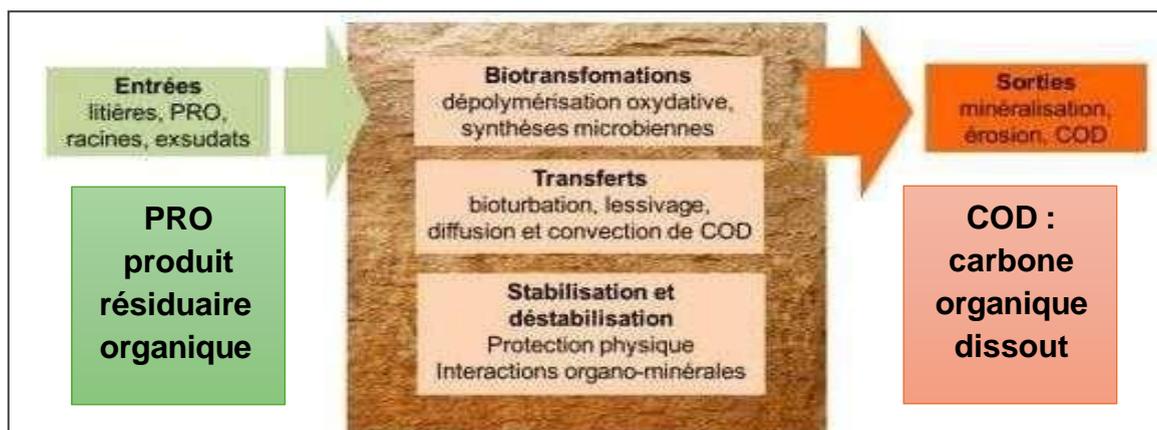


Figure 7: Les différents processus qui contrôlent le stockage de carbone dans les sols (INRA France, 2019).

II.4. Origine et composition du carbone

Les matières organiques (MO) du sol sont composées à 95% de MO mortes et à 5% d'organismes vivants (Figure 8). Ces proportions peuvent varier considérablement d'un sol à l'autre et d'un horizon à l'autre. Les matières organiques proviennent directement ou indirectement de la production photosynthétique des végétaux supérieurs sont composées d'environ 50% de carbone. On utilise souvent les termes « carbone organique » et « matières organiques » de manière interchangeable, car le carbone organique est le principal constituant des matières organiques (Dupont, 2010).

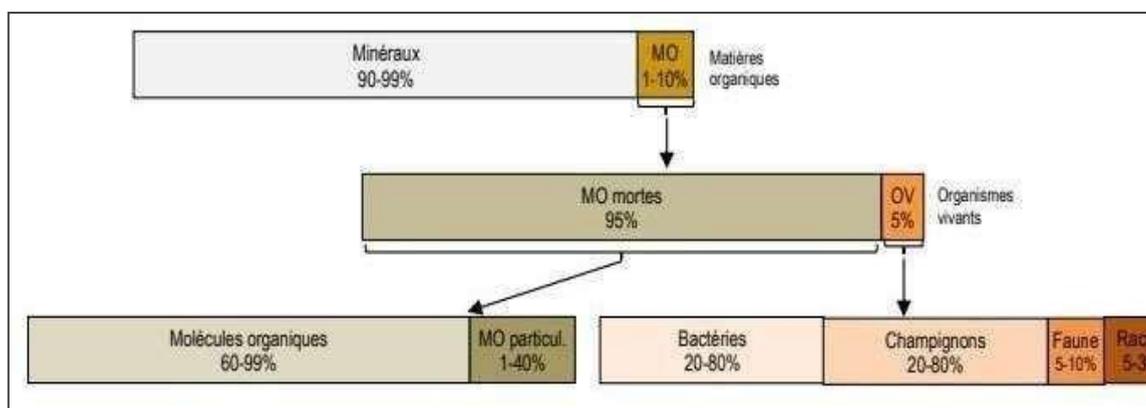


Figure 8 : Matières organiques du sol nature et proportions indicatives, en masse (Calvet *et al.*, 2011).

II.5. Variabilité des teneurs en carbone dans le sol

Selon Batjes (1996), les niveaux de carbone organique varient considérablement en fonction des différents types de sol. L'évolution du carbone organique dans le sol (COS) constitue un indicateur précieux de la santé du sol. Selon Mc Conkey *et al.* (2001), il est également utilisé

pour évaluer la quantité de dioxyde de carbone captée dans l'atmosphère et stockée dans les sols agricoles. Au niveau mondial, le carbone présent dans le sol représente une réserve qui peut avoir un impact sur le niveau de carbone dans l'atmosphère.

Le COS est présent entre 0,08 et 1,07 % dans les sols bruns calcaires argileux, mais cette proportion varie en fonction de la texture, de la minéralogie, de la biomasse (aérienne ou souterraine). Selon les recherches menées par **Morsli *et al.* (2004)**, il est démontré que la teneur en carbone est d'environ 1% sur les sols en pente, tandis que dans les replats et les bas-fonds où on peut parfois trouver des sols enfouis, elle est plus élevée et peut dépasser les 3%. Le taux de CO est associé aux caractéristiques physiques du sol, comme la stabilité structurale et la densité apparente (ρ_a) de l'horizon de surface.

Différentes études comparatives de longue durée menées aux États-Unis (**Lockeretz *et al.*, 1989; Wander *et al.*, 1998; Peterson *et al.*, 2002**), en Allemagne (**El Titi et Landes, 1990; Tebruegge, 2000**), au Royaume-Uni (**Smith *et al.*, 1998; Tilman, 1998**), en Scandinavie (**Ketterer et Andren, 1999**), en Suisse (**Fibl, 2000**), et en Nouvelle Zélande (**Reganold *et al.*, 1987**) démontrent que les systèmes organiques et durables contribuent à améliorer la qualité des sols en augmentant les niveaux d'organiques et de carbone dans les sols, ainsi qu'en augmentant l'activité microbologique.

Les résultats ont confirmé que les sols bruns calcaires présentent des teneurs en carbone organique faibles dans les 10 premiers cm, qui ne dépassent généralement pas les 2%. L'érosion, le surpâturage, la minéralisation rapide et l'exploitation minière des sols sont responsables de ces faibles taux, tandis que les apports organiques sont faibles ou quasiment absents pour compenser les pertes en C. La figure 9 montre la répartition verticale du stock de carbone organique du sol (en % du stock total 0-100 cm) (**Balesdent *et al.*, 2017**).

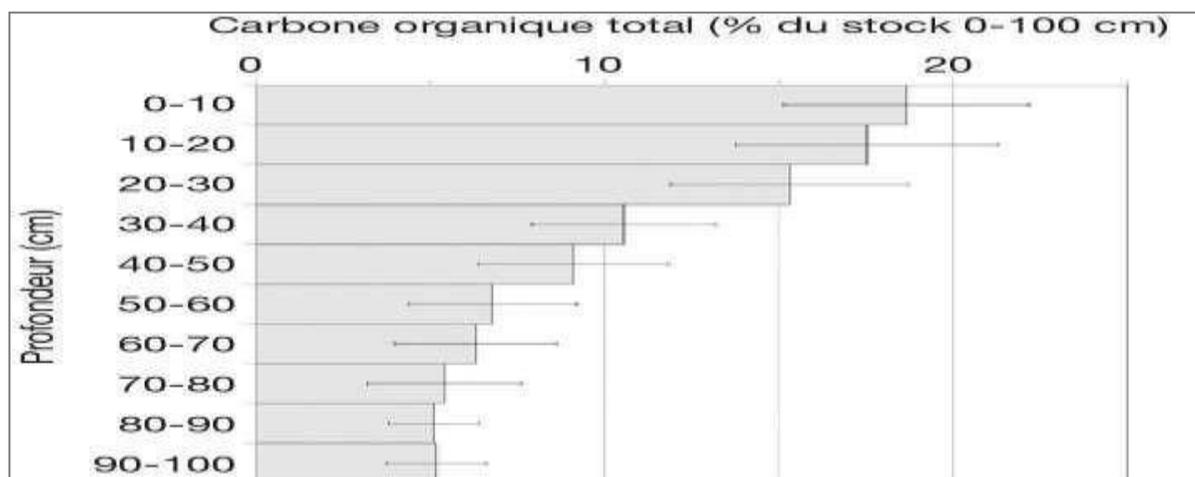


Figure 9 : Répartition verticale du stock de carbone organique du sol (en % du stock total 0-100 cm) (**Balesdent *et al.*, 2017**).

II.6. Rôle des sols dans le bilan de carbone global

Environ 1560 milliards de tonnes de carbone organique sont stockés dans le sol à une profondeur de 1 m, tandis qu'environ 2300 Gt C sont stockés à une profondeur de 30cm (Jobbagy et Jackson 2000; Houghton, 2007), cela représente environ 2 ou 3 fois le contenu de carbone dans l'atmosphère (environ 800 Gt C) et environ 4-5 fois le contenu de carbone dans la végétation (environ 600 Gt C). Selon l'étude d'Arrouays *et al.* (2001) ; Martin *et al.*, (2011), les réserves de carbone du sol en France sont estimées à 3,1 à 3,3 Gt C sur les 30 premiers centimètres.

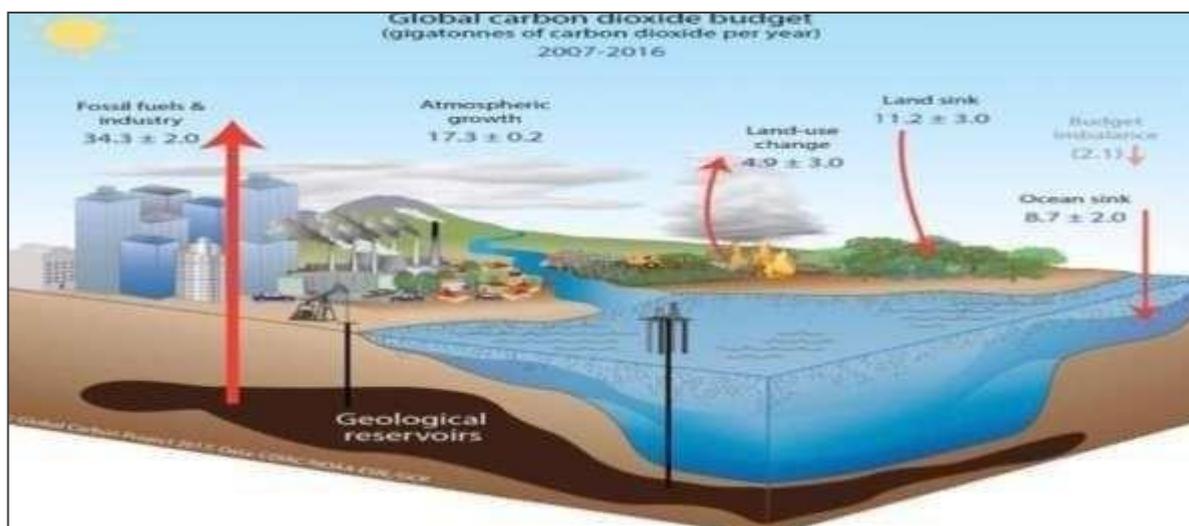


Figure 10: Bilan de carbone global pour les années 2004-2013 (Le Quéré *et al.*, 2014).

Selon (Le Quéré *et al.*, 2014), l'utilisation de carbone fossile entraîne des émissions de gaz à effet de serre (GES) de 8,9 Gt C par an. Au niveau mondial, les émissions de gaz à effet de serre représentent donc environ 4 % du stock de carbone organique. Donc, une fluctuation minimale des réserves de carbone du sol peut avoir une influence significative sur les émissions de gaz à effet de serre et la réduction du changement climatique. À l'heure actuelle, les écosystèmes terrestres (sols + végétation) représentent environ 30% des émissions de gaz à effet de serre anthropiques (Figure 10).

II.7. Les facteurs agissant sur le stockage du carbone dans le sol

III.7.1. La représentation du sol

La représentation en mille-feuille de la matière organique du sol, a permis d'avoir une vision plus détaillée de la structure et de la répartition des molécules dans le sol. Cette nouvelle approche a notamment montré que les lipides ne sont pas seulement fixés aux surfaces

minérales, mais sont présents dans différentes couches du sol, remettant en question les idées reçues sur la distribution de la matière organique. Cette représentation plus fine a ainsi contribué à une meilleure compréhension de la complexité de la structure du sol et de la dynamique de la matière organique. (**Lehmann et Kleber, 2015**).

II.7. 2 Activité des micro-organismes du sol

En présence d'oxygène, l'activité des micro-organismes du sol (microbes et champignons) a également un impact sur l'émission de CO₂ par respiration (phénomène inverse à la photosynthèse, émettant du gaz carbonique, comme chez l'homme) et, en l'absence d'oxygène, sur celle de CH₄ (méthane) (**Smith, 2016**). Ils ne favorisent pas le stockage du carbone si les molécules de chaînes carbonées qu'ils produisent, qui peuvent être stockées de manière plus durable dans le sol, sont élaborées avec une consommation d'énergie excessive, ce qui entraîne l'émission de CO₂ (ou de CH₄).

II.7. 3. Disponibilité en azote et son interaction avec le carbone

Plusieurs équipes de chercheurs ont rassemblé jusqu'à une soixantaine d'études sur l'effet de l'apport d'azote sur les réserves de carbone (**Derrien et al., 2016 ; Dignac et al., 2017**). On a constaté que la présence d'azote (N) encourage la croissance des plantes et accroît la capacité de stockage du carbone (C). Il peut représenter jusqu'à 1,1 Gt de C par an.

Afin d'éviter une utilisation accrue de fertilisants azotés, qui sont sources de nitrates et de protoxyde d'azote (N₂O), un gaz à effet de serre, il est possible d'utiliser les légumineuses, des plantes riches en composés azotés, qui captent l'azote de l'atmosphère et qui augmentent également le stock de C organique dans les sols (**Derrien et al., 2016**).

III.7. 4. Augmentation non maîtrisée de la production agricole

D'ici 2050, avec une population mondiale de 9,7 milliards d'habitants, la FAO estime qu'il faudra produire 1 milliard de tonnes de céréales et 0,2 milliard de tonnes de viande supplémentaires, ce qui pourrait entraîner une expansion agricole importante - jusqu'à 8,36 millions de kilomètres carrés (**Poulton et al., 2018**).

Cette augmentation de la production alimentaire pourrait entraîner une pression accrue sur les sols, avec le risque de les dégrader et d'accélérer l'érosion, peut-être de manière irréversible.

Pour éviter cette situation, il est nécessaire de régionaliser les échanges agricoles et d'améliorer la gestion des sols en augmentant la matière organique carbonée stable (Poulton *et al.*, 2018).

II.7. 5. Potentiel maximum de stockage du carbone dans les sols

Il reste encore complexe de déterminer si l'on stocke du carbone de manière durable. Selon (Batjes, 2012), il est également incertain de la capacité d'augmentation du stockage des sols déjà proches de la saturation, tels que ceux des forêts.

En effet, les observations sur le terrain indiquent que le taux de stockage diminue rapidement au fil du temps (Figure 11) pour le taux et la durée de fonctionnement du puits de carbone).

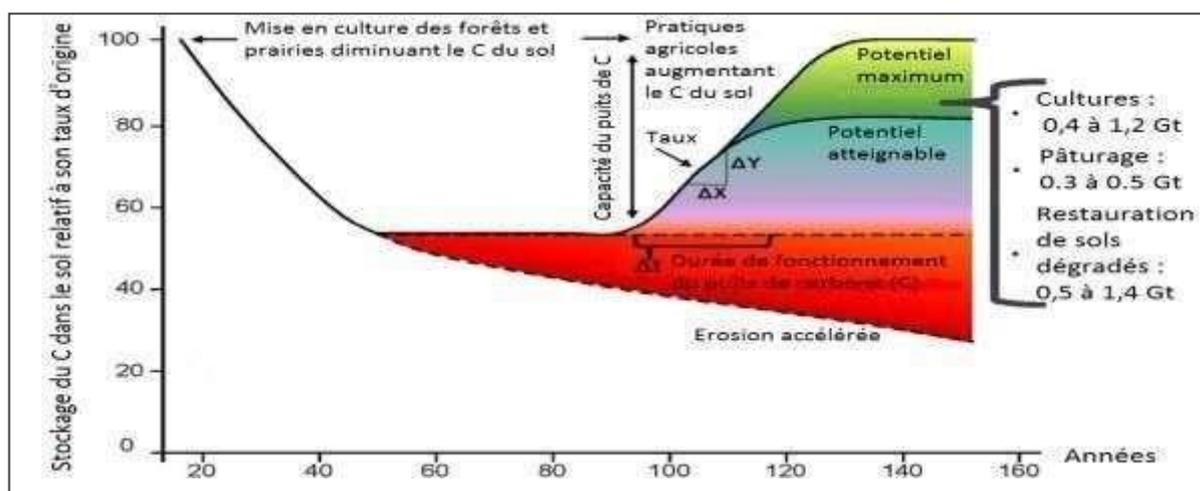


Figure 11 : Effets du changement d'utilisation des terres et gestion du carbone du sol

(Lal, 2016).

Chapitre III

Arboriculture fruitière

III.1. Définitions

III.1.1. Arbre, arbustes et fruit

Selon la **FAO (2002)**, l'arbre est une espèce qui, dans des conditions favorables à sa croissance, peut atteindre au moins 5 mètres de hauteur. Cependant, en forêt, l'arbre est très ligneux et peut atteindre plus de 10 mètres de haut. Tandis qu'en zones herbacées, l'arbre est entièrement ligneux et mesure au moins 10 mètres de haut (**Belsi, 2010**).

Un arbuste est une espèce ligneuse qui peut atteindre une hauteur d'au moins 5 mètres dans des conditions favorables à sa croissance (**Belsi, 2010**).

Selon les botanistes, un fruit est une structure composée d'un ovaire mur provenant d'une fleur contenant une ou plusieurs graines. Cependant, seuls les fruits ayant un intérêt alimentaire et économique pour l'homme sont considérés comme importants (**Katanga, 2007**).

III.1.2. Arbre fruitier

Arbre fruitier est un arbre cultivé spécialement pour ses fruits (**Chevalier, 1922**).

III.2. L'origine des espèces fruitières

La majorité des variétés de fruits cultivées en Algérie sont originaires du Caucase, une région à climat tempéré proche du Méditerranéen. Il est essentiel de connaître l'origine de l'arbre afin de faciliter le choix du milieu de culture (**Larue, 1976**).

III.3. Production fruitière

III.3.1. En Algérie

La filière des agrumes en Algérie connaît un essor remarquable au cours de la saison agricole 2023-2024, avec une production qui dépasse les attentes, atteignant plus de 18 millions de quintaux, soit plus de 1,8 million de tonnes. Cette nouvelle a été annoncée par le président du Conseil Interprofessionnel de la Filière des agrumes (CNIF/agrumes) (**Nadji, 2024**).

III.3.2. À Mostaganem

L'arboriculture fruitière est répandue dans les zones de Bouguirat et Mesra, situées dans le plateau de Mostaganem, Aïn Nouissy et Hassiane, dans les plaines de l'Ouest et dans les communes de la Dahra dans la zone Est de la wilaya. Au cours de la campagne (2022/2023), une production de 2278879 qx de fruits dans la wilaya de Mostaganem, avec un rendement de 439,5 quintaux à l'hectare (**DSA, 2024**).

III.4. Les différents arbres fruitiers existants dans la wilaya de Mostaganem

Différentes cultures fruitières sont plantées sur 29950 ha dans la région de Mostaganem. Le (Tableau 1) représente la superficie, la production ainsi que le rendement par plantation (DSA, 2024).

Tableau 1 : Superficie, production et rendement des arbres fruitiers par plantation dans la wilaya de Mostaganem (2022/2023) (DSA, 2024).

Plantations	Superficie			Production (qx)	Rendement (qx/ha)
	Complantée (ha)	En rapport (ha)	(%)		
Agrumes	5115	4570	23.2	1333682	291.80
Oliviers	8814	8462	37	212252	24.60
Figuiers	2277	1143	5.8	49971	26.00
Espèces à noyaux et/ou à pépins	7487	7036	34	682974	97.1

III.5. Etude de quelque type d'arbres fruitiers

III.5.1. Agrumiculture

III.5.1.1. Définition

Le terme « agrumes » trouve son origine dans le latin « agrus », qui faisait référence autrefois aux plantes produisant des fruits à la saveur aigre, comme l'ail ou les oignons. Au fil du temps, il a évolué pour désigner un groupe de plantes de la famille des Rutacées, en particulier celles du genre *Citrus* (Colombo, 2004).

Parmi les six genres botaniques représentant les agrumes au sein de la famille des *Rutacées*, les plus renommés ont leurs racines dans le Sud-Est asiatique : *Citrus*, *Fortunella* et *Poncirus*. Les agrumes des genres *Poncirus* et *Fortunella* ont émergé des régions septentrionales de l'Est de la Chine, tandis que ceux du genre *Citrus* ont une origine méridionale entre l'Inde et l'Indonésie (Colombo, 2004).

Cultivés, consommés et appréciés mondialement, les agrumes sont quasiment incontournables en raison de leur teneur élevée en acide ascorbique, la vitamine C. Leur importance économique est considérable, tant dans la production de fruits (environ 80 millions de tonnes par an) que dans d'autres domaines tels que l'industrie des parfums. Sans oublier leurs caractéristiques ornementales : leur stature majestueuse, leurs feuilles persistantes d'un vert éclatant et le parfum délicat de leurs fleurs (Colombo, 2004).

III.5.1.2. Systématique des agrumes

La catégorisation des agrumes dans le règne végétal est décrite de la manière suivante (Loussert, 1989) :

Règne : *Végétal* **Embranchement:** *Spermatophytes* **Classe :** *Dicotylédones*

Ordre : *Geraniales*

Famille : *Rutacées*

Genres : *Fortunella : Poncirus : Citrus*

III.5.1.3. La composition variétale

En Algérie, tous les groupes Citrus sont présents dans le verger agrumicole, avec une prédominance des oranges qui représentent 73% de la surface totale des agrumes (Figure 12), suivis du groupe des clémentiniers qui représente 16% de la surface agrumicole, puis du groupe des citronniers qui représente 6,9% et des mandariniers qui représentent 4%. Ce groupe, dont le fruit n'est pas résistant aux intempéries et aux conditions de transport, n'est plus très planté, et en dernier lieu, le groupe des pomelos avec 0,1 % de la surface totale (les superficies plantées diminuent chaque année) (M.A.D.R, 2013).

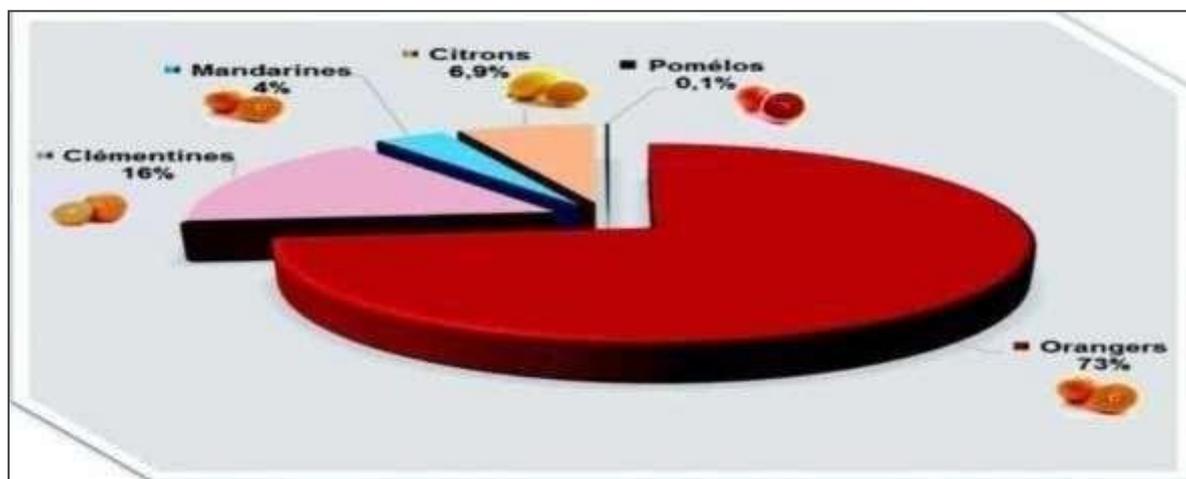


Figure 12 : Répartition des superficies agrumicoles par groupe de variétés (M.A.D.R, 2013).

III.5.1.4. La composition chimique des agrumes

D'après Ciquel (2013), les agrumes, comme les oranges, les citrons et les pamplemousses, sont riches en vitamine C, acide citrique, fibres et divers autres composés phytochimiques. Voici la composition chimique moyenne dans 100 g de citron (Tableau 2) :

Tableau 2 : Composition chimique moyenne dans 100 g de citron (Ciquial, 2013).

Constituant	Teneur moyenne	Constituant	Teneur moyenne
Eau (g)	89.2	Bêta-Carotène (µg)	3
Protéines (g)	0.8	Vitamine E (mg)	0.8
Glucides (g)	2.45	Vitamine c (mg)	53
Lipides (g)	0.3	Vitamine B1 (mg)	0.05
Sucres (g)	2.2	Vitamine B2 (mg)	0.02
Fibres (g)	2	Vitamine B3 (mg)	0.2
Sodium (mg)	<3	Vitamine B5 (mg)	0.19
Magnésium (mg)	8.93	Vitamine B6 (mg)	0.08
Potassium (mg)	149	Vitamine B9 (µg)	11
Calcium (mg)	18	Phosphore (mg)	15.5

III.5.1.5. Intérêts nutritionnels et thérapeutiques des agrumes

Les agrumes fournissent des éléments essentiels qui peuvent aider à réduire les risques de décès liés à certaines maladies, notamment le cancer. Parmi eux, l'orange se distingue en offrant une richesse de bienfaits pour la santé, y compris la protection contre les maladies cardiovasculaires (Gil-Izquierdo, 2002) :

- Riche en antioxydants et en vitamine C,
- Une aide en cas d'hypercholestérolémie familiale,
- Intéressante contre les cancers,
- Un anti-inflammatoire naturel,
- Une amie des os,

On peut manger des oranges sans risquer de se décalcifier, au contraire, elles sont parmi les fruits qui fournissent le calcium le plus efficacement à l'organisme. En effet, les agrumes contiennent une quantité relativement importante de calcium, environ 40 mg pour 100 g, comparé à 5 à 15 mg dans la plupart des autres fruits. De plus, le rapport calcium/phosphore dans l'orange est de 2,5, une valeur optimale pour une bonne utilisation du calcium. Enfin, la présence d'acides organiques, notamment l'acide citrique, favorise également l'assimilation du calcium (Gil-Izquierdo, 2002).

III.5.1.6. Exigences de l'agrumiculture

III.5.1.6.1. Exigences climatiques

a. La température

Bien que les agrumes soient généralement associés aux climats chauds, ils sont sensibles aux températures minimales et maximales. Leur seuil de tolérance au froid est d'environ 8°C. La

croissance optimale se situe entre 25 et 26°C, mais au-delà de cette valeur, leur activité diminue progressivement pour cesser aux alentours de 38 à 40°C (Loussert, 1989).

b. La pluviométrie

Lorsque l'humidité de l'air est basse, les plantes transpirent davantage et ont donc besoin de plus d'eau. Cette faible humidité peut être exacerbée par des vents chauds et secs, ce qui peut entraîner des brûlures sur les feuilles et les fruits (Loussert, 1989).

c. Le vent

Le vent est une menace pour le climat des agrumes. Par son action mécanique, il peut causer des dommages importants tels que la chute des fruits et l'altération de leurs écorces ; les pertes de production sont par conséquent élevées, ce qui justifie la nécessité de renforcer le dispositif de protection par l'installation de « brise-vents » (Loussert, 1989).

d. Le gel

Les agrumes sont préoccupés par les gelées printanières et les gelées tardives d'hiver, qui se produisent pendant les phases cruciales (floraison, maturité des fruits de certaines variétés de clémentiniers et de mandariniers). À des températures inférieures à 1°C, les dégâts sur les fruits se manifestent, tandis qu'à des températures inférieures à -3 et -4°C, les dégâts se manifestent sur toutes les parties aériennes (Loussert, 1989).

III.5.1.6.2. Les exigences pédologiques

Les agrumes nécessitent des sols profonds en raison de leur système racinaire important. Avec un choix judicieux, les porte-greffes disponibles permettent d'implanter les agrumes dans des sols très variables en termes de pH, de texture et d'équilibre chimique. Les sols avec un pH compris entre 6 et 7 conviennent généralement (Loussert, 1989).

III.5.2. Oléiculture

III.5.2.1. Présentation de l'espèce d'olivier

L'Olivier est un arbre vigoureux qui peut atteindre une hauteur de 10 à 15 mètres sans être taillé. De longues branches à nombreux rameaux arrondis à feuilles oblongues et lancéolées. Fleurit de mai à juillet et produit des fruits volumineux, de différentes formes. Grâce à sa culture très longue, il devient plus adapté et fertile, mais en revanche, il devient sensible au froid ou à la chaleur. On cultive l'Olivier pour son fruit, qu'il soit consommé frais ou sous forme d'huile après pressage. Le genre *Olea* est un genre d'angiospermes dicotylédones arbustives, dont seul l'Olivier possède des fruits comestibles (Pagnol, 1975).

L'olivier est une plante toujours verte varié en fonction des conditions climatiques, de l'exposition, de la fertilité du sol et des variétés. Cependant, si on le laisse végéter seul, il

adopte généralement une forme pyramidale, pouvant atteindre 12 à 15 mètres de hauteur. Son tronc reste généralement élancé de bas en haut (**Brikci, 1993**).

III.5.2.2. Systématique de l'olivier

L'olivier est un genre de plantes de la famille des *Oléacées*, le genre *Olea*, qui comprend 30 espèces telles que le *troène*, le *lilas*, le *frêne* et le *forsythia*. L'*oléastre* a toujours été perçu comme l'ancêtre de l'olivier cultivé (**Breton et al., 2006**).

Selon **Breton (2006)**, la classification botanique de l'olivier est la suivante :

Embranchement : *Magnoliophyta*

Sous embranchement : *Magnoliophytina*

Classe : *Magnoliopsida* **Sous-classe** : *Asteridae* **Ordre** : *Scrophulariales* **Famille** : *Oleaceae*

Genre : *Olea*

Espèces : *Olea europaea L.*

L'espèce *Olea europaea L.* se subdivise en fonction de la forme des feuilles et des fruits en deux sous-espèces:

✓ *Olea europaea sylvestris* : L'olivier sauvage ou oléastre poussant spontanément dans la garrigue.

✓ *Olea europaea sativa* : L'olivier cultivé qui possède de nombreuses espèces.

III.5.2.3. Variétés de l'olivier cultivées en Algérie

Les variétés de l'olivier (*Olea europaea*), une espèce typique du paysage méditerranéen, présentent une grande diversité phénotypique (**Barone et al., 1994; Cantini et al., 1999**). Les origines de ces espèces restent incertaines. Selon **Ouazzani et al. (1993)**, la diversification de l'olivier cultivé est due à l'inter-fertilité entre les formes cultivées et ou sauvages. Des centaines de variétés sont actuellement connues dans chaque pays oléicole méditerranéen, où de très anciennes variétés sont encore cultivées (**Idrissi et Ouazzani, 2003**).

La culture présente un intérêt d'autant plus grand que l'Algérie possède un potentiel génétique considérable dans ce domaine. En Algérie, il y a différentes espèces d'oliviers qui constituent la principale source de subsistance des populations rurales. **L'ITAF (2006)** a établi une liste des variétés locales algériennes : Sigoise, Cornicabra, Chemlal, Azeradj, Limli Blanquette de Guelma, Hamra, Longue de Miliana, Souidi, Takesrit, Aberkane. En raison de leur grande plasticité, Chemlal et Sigoise sont les variétés les plus prolifiques.

Selon (Villa, 2003), les différentes variétés d'olives sont classées en trois catégories selon la destination finale du fruit:

Tableau 3: La composition de l'olive (Jaouane, 2002).

Composition	Olive verte	Olive noire
Eau	75,40 %	0,00 %
Protides	0,76 %	3,10 %
Lipides	14,48 %	58,85 %
Substances extractibles	8,04 %	32,67 %
Celluloses	0,90 %	32,67 %
Cendres	0,42%	1,70%
	100 %	100 %

• Les olives à huiles

Il est essentiel que leur production soit régulière et assurer une rentabilité optimale en ce qui concerne la quantité et la qualité d'huile.

• Les olives de tables

Ces caractéristiques nécessitent une taille assez importante du fruit et un contenu élevé en pulpe et en noyau, mais faible en huile.

• Les olives mixtes

Les olives mixtes ont des caractéristiques différentes entre les deux groupes en fonction du moment de la récolte et de leur adaptation à la zone de culture, le fruit est destiné soit à la table (une fois qu'il atteint la taille appropriée) soit à l'extraction de l'huile.

III.5.2.4. Composition de l'olive

D'après Roehly (2000) ; Conde *et al.* (2008), l'huile d'olive contient une grande quantité d'eau, de protéines, de polysaccharides, de minéraux et de composés minéraux (Tableau 3) qui sont responsables d'une part de ses qualités gustatives et nutritionnelles et d'autre part de sa stabilité oxydative. Le choix du cultivar, les conditions agronomiques et le degré de maturité des olives ont un impact sur cette composition (Zarrouk *et al.*, 1996 ; Gomez-Rico *et al.*, 2008).

III.5.2.5. Effets nutritionnels et thérapeutiques

La composition de l'huile d'olive est principalement composée de triglycérides (98-99 %), avec une faible proportion d'autres composés. Les principaux acides gras sont les acides gras monoinsaturés (AGMI), avec l'acide oléique en tant qu'acide gras principal. L'intérêt de ce dernier dans la médecine préventive est indéniable, car il favorise l'augmentation du taux de HDL, réduit et empêche l'oxydation des LDL, ce qui réduit le risque d'athérosclérose et de

maladies cardiovasculaires (**Ramírez-Expósito *et al.*, 2021**), il contribue à éviter les principaux facteurs de risque de MCV tels que l'hypertension, le vieillissement vasculaire, la glycémie, l'inflammation et le déséquilibre redox, la dysfonction endothéliale et l'athérosclérose (**Suvarna et Sharma 2021**).

Les composés phénoliques de l'huile d'olive (notamment l'huile d'olive extra vierge : HOEV) ont été prouvées comme des molécules bioactives ayant des propriétés anticancéreuses, anti-inflammatoires, anti-âge et neuroprotectrices (**Fabiani *et al.*, 2021**).

III.5.2.6. Exigences de l'oléiculture

III.5.2.6.1. Exigences climatiques

L'olivier se développe dans les régions où le climat méditerranéen est caractérisé par des hivers pluvieux et des étés chauds. Le printemps est court et sec, tandis que l'automne est long (**Charlet, 1965**).

a. La température

En hiver, l'olivier peut supporter des températures allant de -8 à -10°C. Cependant, les dommages peuvent être considérables pour les températures basses (0 à -1°C) pendant la période de floraison. Lorsque les températures augmentent, La croissance des plantes s'arrête à des températures supérieures à 40°C, ce qui peut entraîner la combustion de l'appareil foliacé et la détérioration des fruits, en particulier lorsque l'irrigation est insuffisante (**Sebei, 2007**).

b. La pluviométrie

La quantité de pluie nécessaire pour cultiver des oliviers varie d'un pays à l'autre. En Algérie, les oliviers sont plantés dans des régions où le taux de précipitations est inférieur à 400 mm par an. La pluviométrie n'est pas un indicateur de réussite agricole, les fortes précipitations ont entraîné la dérive du sol et ne sont pas bénéfiques pour la plante.

c. L'hygrométrie

L'olivier craint les taux élevés d'humidité de l'air, ce qui empêche sa culture dans la zone proche de la mer. Le développement de certains parasites est favorisé par une humidité excessive et constante (**Loussert et Brousse, 1978**).

III.5.2.6.2. Exigences pédologiques

L'olivier est considéré comme une espèce peu exigeante en termes de qualité. Il est possible de s'adapter à une variété de sols fournis, qu'ils soient peu ou mal drainés (**James *et al.*, 1985**).

Selon **Vernet et Mousset (1964)**, l'olivier ne peut être utilisé que dans les conditions de sable profond, où le système racinaire peut se développer de manière horizontale.

Partie 2

Étude 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 des arbres fruitiers en fonctions de leurs occupations. Pour ce faire, nous avons quantifié le carbone organique (i) selon les principales utilisations des terres représentées par l'olivier et l'oranger et (ii) selon quatre profondeurs différentes ; de 0 à 15cm, de 15 à 30cm, de 30 à 50cm et de 50 à 100cm.

I.2. La région de prélèvement

L'étude a été effectuée à l'Atelier Agricole de la commune de Mazagran (Figure 13), situé à 4 km au sud de la Wilaya de Mostaganem entre les points coordonnées Lambert 35°53' 37'' N, 0°4' 52'' et 35° 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 135 arbres d'Orangers, 360 arbres de Citronniers et 10 arbres de Pamplemousses et la superficie de l'oléiculture représente 6 ha, soit 10% de la superficie totale avec environ 1000 arbres (DSA, 2024).

I.2.1. Situation géographique

La wilaya de Mostaganem est située au nord de l'Algérie. Elle s'étend sur une superficie de 2269 Km² 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. 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 de la Macta.



Figure 13 : Situation géographique de la zone d'étude (Atelier Agricole de Mazagan, Mostaganem) (Google Earth, 2024)

b. Le climat

Le climat de la wilaya de Mostaganem est un climat méditerranéen 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, 2024). 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 et l'estimation de l'azote total ont été effectués au sein du laboratoire de l'INSID d'el-Matmar, wilaya de Relizane.

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 4.

Tableau 4 : Matériel et produits.

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

I.4.2. Méthodes

Le protocole expérimental est représenté dans la Figure 14 comme suite :

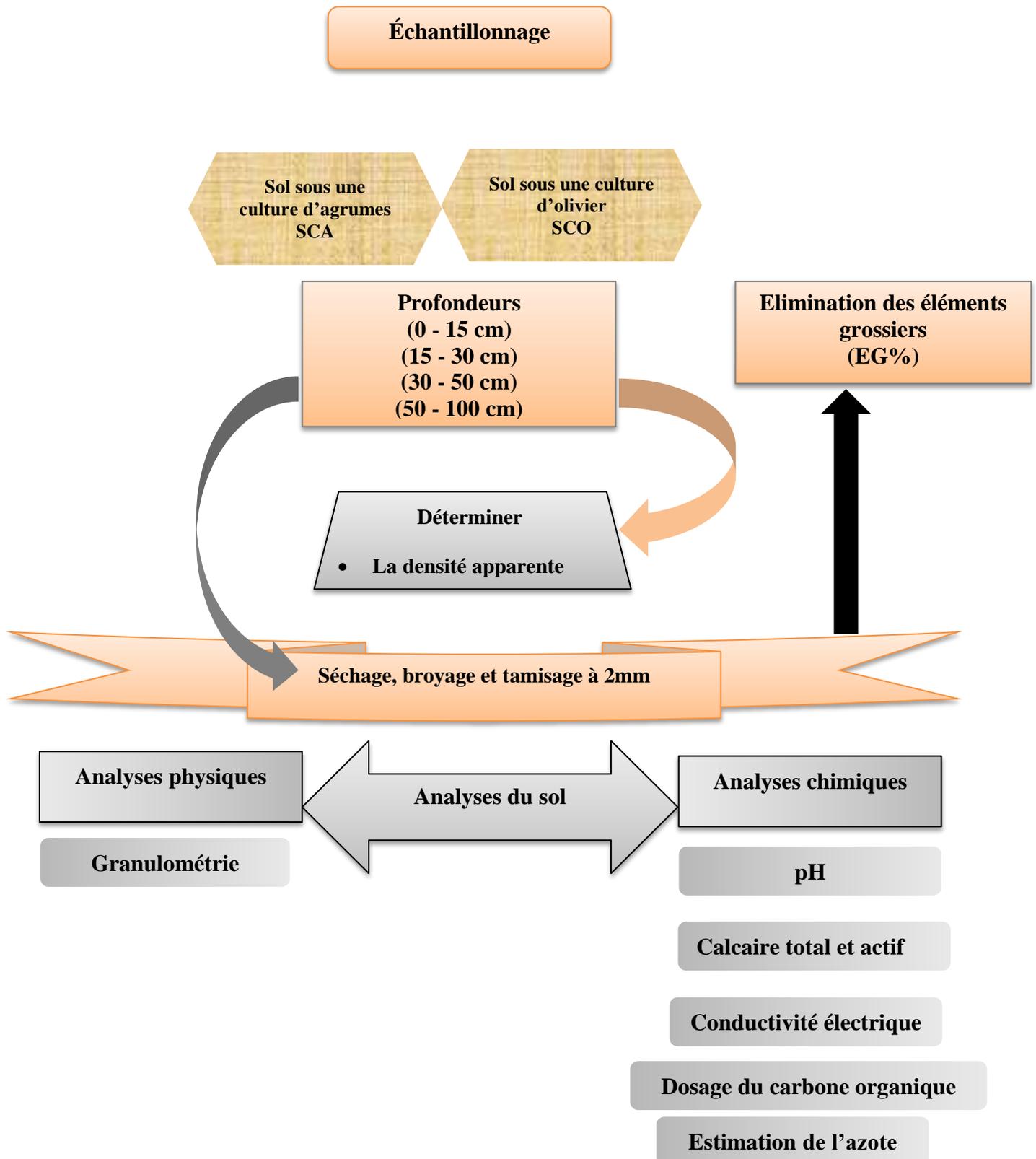


Figure 14: Protocole expérimental (Benouadah *et al.*, 2022).

I.4.2.1. Echantillonnage

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**).

Pour les deux arbres, le prélèvement a été effectué grâce à une tarière pédologique (et un cylindre à volume connu pour l'évaluation de la densité apparente) à quatre niveaux de profondeurs successives (0cm-15cm), (15cm-30cm), (30cm-50cm) et (50cm-100cm). Chaque échantillon a été clairement identifié par une référence inscrite sur une étiquette accrochée sur le sac lui-même (Photo 1).



**Photo 1 : Prélèvement des échantillons de sol
(Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).**

I.4.2.2. Densité apparente

- **Principe**

La détermination de la densité apparente (Photo 2) 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 (205.04 cm^3) (Blake et Hartge, 1986). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



Photo 2: Mesure de la densité apparente à l'aide d'un cylindre calibré (Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).

I.4.2.3. 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 3).



Photo 3: Séchage des échantillons de sol (Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).

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 4). On a conservé les échantillons de terre fine dans des sachets pour pouvoir servir aux différentes analyses du sol.



Photo 4: Broyage et tamisage des échantillons de sol
(Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).

I.4.2.4. Les analyses physicochimiques

Selon *Schwartz 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. 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 5). Dans le cas des sols calcaires, il est important de savoir si cette analyse a été réalisée avec ou sans décarbonatation préalable (*Schwartz et al., 2005*). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



Photo 5: Analyse granulométrique par la méthode de la pipette de Robinson
(Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).

B. Mesure du pH

- Principe

L'appréciation du pH (Photo 6) 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 6: Mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre
(Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).

C. 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 7) 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).

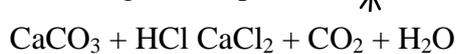


Photo 7 : Mesure de la conductivité électrique du sol par le conductimètre
(Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).

D. Détermination du calcaire total et actif

- **Principe**

Selon **Schwartz *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 8) est alors calculée à partir du volume de 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 Ca^{+2} élevée dans la solution du sol, correspond au **calcaire actif** (Photo 9). 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 le protocole dans l'Annexe I).



Photo 8 : Dosage du calcaire total (Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).



Photo 9 : Dosage du calcaire actif (Cliché Besseghier et Bouziane, 2024).

E. Dosage du carbone organique

• **Principe**

D'après **Schwartz *et al.* (2005)**, la teneur en carbone organique (CO) est déterminée par la méthode Anne (oxydation par le dichromate de potassium en milieu sulfurique, à chaud ou à froid (**NF ISO 14235**)) (**Photo 10**).

La quantité de matière organique est ensuite estimée en multipliant la formule suivante ($MO = CO \cdot 1.72$).

L'azote totale (N) est obtenu en appliquant la formule ($N = MO \cdot 0.05$). (Voir le protocole dans l'Annexe I).



Photo 10 : Dosage du carbone organique par la méthode Anne (**INSID, 2024**).

I.4.2.5. 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⁻¹) = 0.1 × CO × Da × p × (1-EG)**

Avec :

CO : Carbone Organique (g kg⁻¹).

Da : Densité apparente (g cm⁻³).

p : profondeur (cm).

EG : Eléments Grossiers (g g⁻¹).

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 5, on constate que pour la majorité des strates des sols étudiés ont des proportions très élevées en sables (60% - 93%), mais la différence s'observe dans les fractions de limons et d'argiles, puisque la 4^{ème} strate du SCO a le taux le plus élevé en limons (38%) par rapport aux autres strates (5% pour la 1^{ère} strate, 11% pour la 2^{ème} strate et 3% pour la 3^{ème} strate) du SCO et (11% pour la 1^{ère} strate, 7% pour la 2^{ème} strate, 12% pour la 3^{ème} strate et 18% pour la 4^{ème} strate) du SCA, tandis que les taux d'argiles sont très faibles et se situent entre 1% et 5% pour l'ensemble des strates des sols des deux espèces. D'après le triangle des textures (Figure 24, Annexe I), les strates des sols étudiés ont des classes texturales différentes:

Sableuse : pour (la 1^{ère} et la 3^{ème}) strate du SCO et la 2^{ème} strate du SCA.

Sablo-limoneuse : pour la 2^{ème} strate du SCO et (la 1^{ère}, la 3^{ème} et la 4^{ème}) strate du SCA.

Limono-sableuse : pour la 4^{ème} strate du SCO et qui représente la texture la plus équilibrée (**USDA, 2008**).

D'après la classe texturale, la 4^{ème} strate du SCO est une strate d'accumulation, la raison pour laquelle la texture s'améliore et devient équilibrée, tandis que les autres strates font partie de la classe sableuse et limono-sableuse et donc pourvus d'une grande perméabilité et induisent un lessivage des éléments fins (**USDA, 2008**).

II.1.2. 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 7 (Annexe II) et d'après la Figure 15, on constate que les sols ont des densités apparentes idéales pour la croissance des plantes puisqu'ils ont des densités apparentes inférieures à 1,60 g/cm³ avec des valeurs qui se situent entre 1,059 g/cm³ et 1,269 g/cm³ pour le SCO, et entre 1,055 g/cm³ et 1,297 g/cm³ pour le SCA. De plus, ils ont une structure favorable au développement racinaire puisqu'ils ont des densités apparentes inférieures à 1,80 g/cm³ (Tableau 7, 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 les sols étudiés sont légers (une bonne porosité).

Chapitre II : Résultats et discussion

Tableau 5: Composition granulométrique des sols étudiés.

Strates	Granulométrie	
	SCA	SCO
(0-15cm)	<p>4% 5% 6%</p> <p>85%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S 	<p>5% 4% 1%</p> <p>90%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S
	Classe texturale : sablo-limoneuse	Classe texturale : sableuse
(15cm-30cm)	<p>2% 4% 3%</p> <p>91%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S 	<p>5% 4% 7%</p> <p>84%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S
	Classe texturale : sableuse	Classe texturale : sablo-limoneuse
(30cm-50cm)	<p>4% 1% 11%</p> <p>84%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S 	<p>4% 1% 2%</p> <p>93%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S
	Classe texturale : sablo-limoneuse	Classe texturale : sableuse
(50cm-100cm)	<p>1% 9% 9%</p> <p>81%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S 	<p>2% 5%</p> <p>60%</p> <p>33%</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ A ■ L,G ■ L,F ■ S
	Classe texturale : sablo-limoneuse	Classe texturale : limono-sableuse

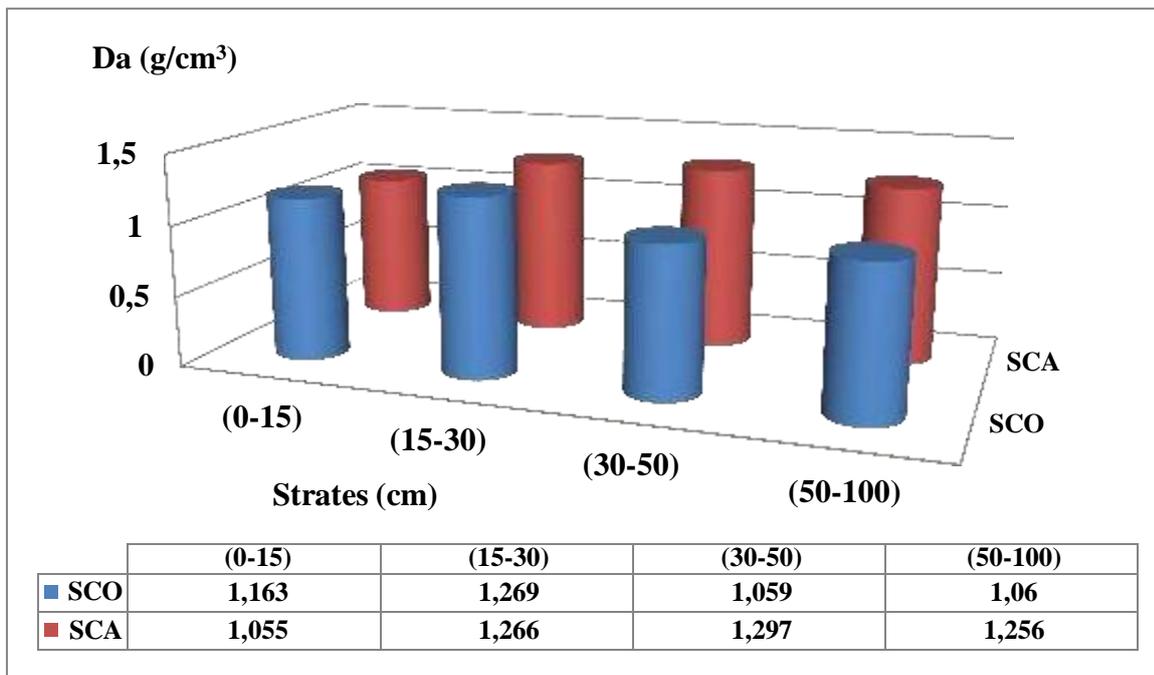


Figure 15: Teneurs de la densité apparente des sols étudiés.

II.1.3. Discussion des résultats du calcaire

On remarque clairement d'après les Figures (16 et 17) et le Tableau 8 (Annexe II) que nos sols sont légèrement pourvus en CaCO_3 total 8,15 %, 5,31 %, 6,07% et 5,36 %, respectivement pour la 1^{ère} strate, la 2^{ème} strate, la 3^{ème} strate et la 4^{ème} strate du SCO, et 7,42%, 8,86%, 6,71% et 5,36% %, respectivement pour la 1^{ère} strate, la 2^{ème} strate, la 3^{ème} strate et la 4^{ème} strate du SCA) et actif (1,5% pour le SCO et 2% pour le SCA), 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.

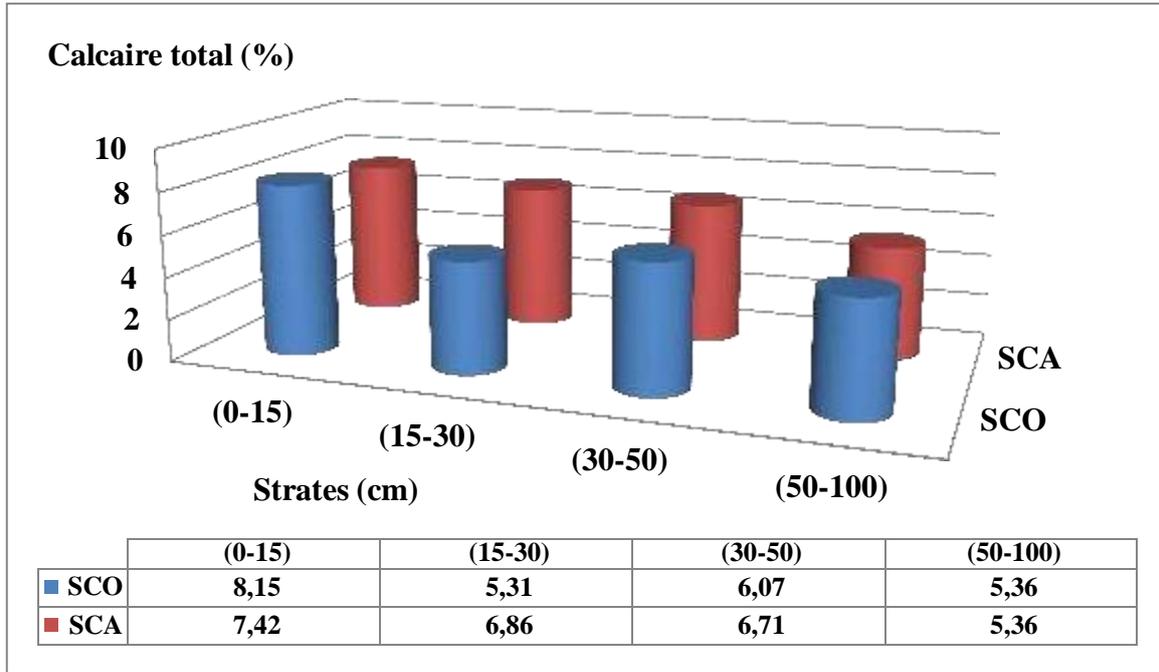


Figure 16: Taux du calcaire total des sols étudiés.

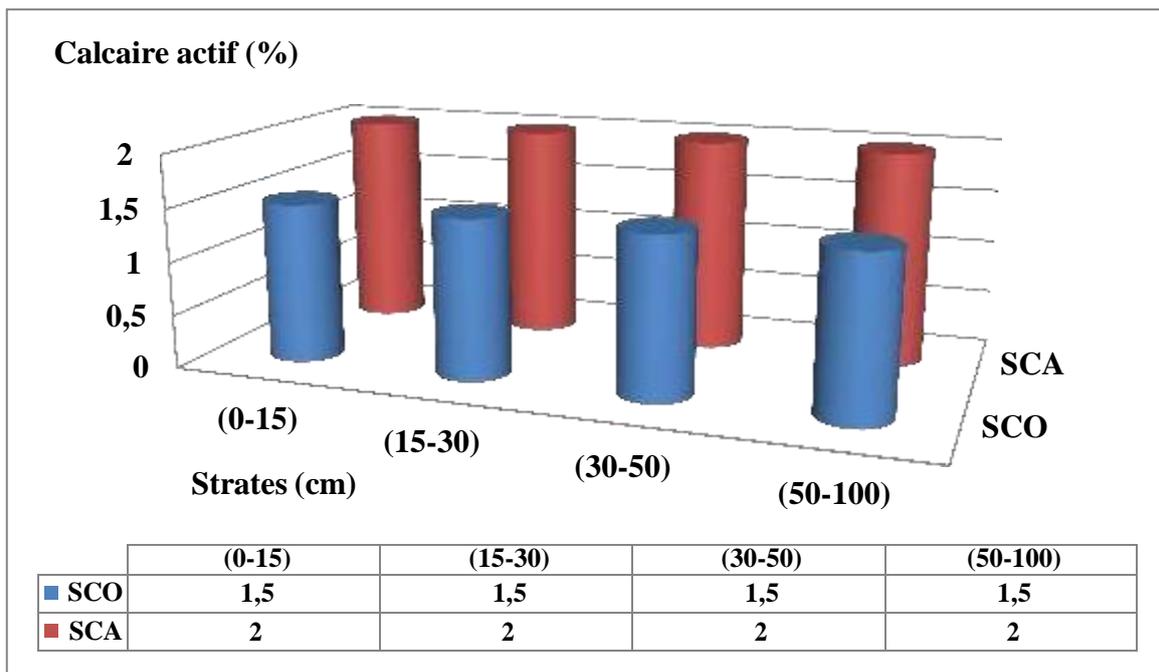


Figure 17: Taux du calcaire actif des sols étudiés.

II.1.4. Discussion des résultats de la conductivité électrique

D'après la Figure 18, on constate que la conductivité électrique des sols des deux espèces est comprise entre 120,66 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 269,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

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 9 (Annexe II), un sol avec une CE ≤ 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.

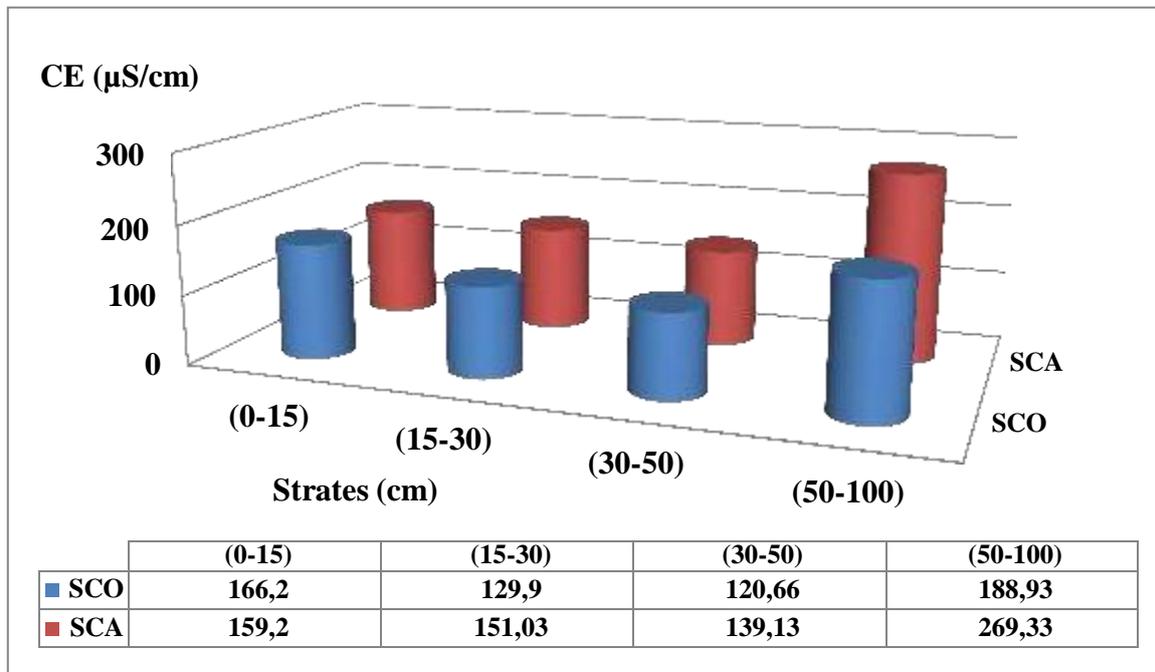


Figure 18: Taux de la salinité globale des sols étudiés.

II.1.5. Discussion des résultats du pH

En se basant sur la Figure 19 et en se référant au Tableau 10 (Annexe II), on constate que : le SCO de la 4^{ème} strate a un pH faiblement acide (6,49) et le SCA de la 1^{ère} strate a un pH neutre (7,42), tandis que le pH des sols des autres strates sont basiques, avec de légères variations (entre 7,59 et 7,67). 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 la basicité de ces sols peut être dû à la qualité d'eau d'irrigation qui peut être riche en sodium. Le pH est l'un des forts prédicateurs de la composition des communautés bactériennes et de la diversité (**Faugier, 2010**).

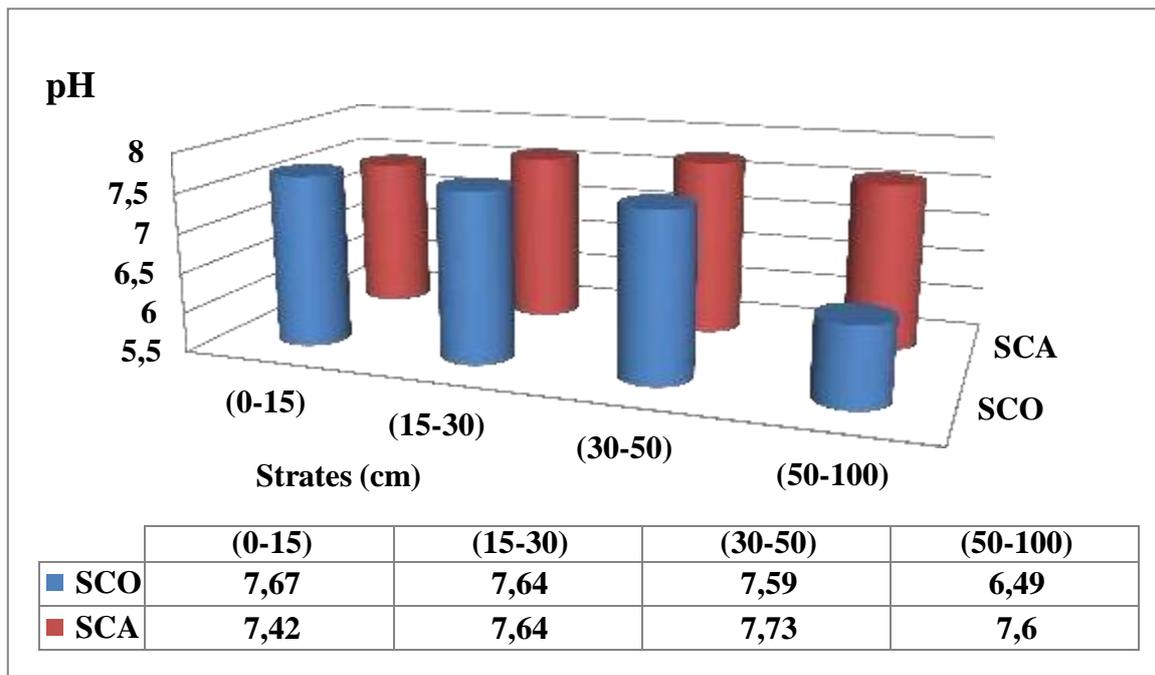


Figure 19: Le pH des sols étudiés.

II.1.6. Discussion des résultats de la matière organique

La matière organique du sol (MOS), en particulier le carbone organique du sol (COS) 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).

Le COS et par conséquent, la MO n'est pas répartie de manière uniforme dans le sol. Sa concentration diminue fortement avec la profondeur. Les concentrations les plus élevées se trouvent dans les horizons organiques de surface où la population microbienne est intense (Derrien *et al.*, 2016).

On constate dans la figure 21 que le SCO de la 2^{ème} strate et le SCA de la 1^{ère} strate ont le taux le plus élevé en MO (2,64%), et Tandis que pour les autres strates, le SCO a un taux de MO compris entre 1,06% 1,09% et le SCA a un taux de MO compris entre 0,42% et 0,43%.

Comme l'indique le Tableau 11 (Annexe II), on constate que :

Le SCO de la 2^{ème} strate et le SCA de la 1^{ère} strate sont des sols moyens en MO.

Le SCO des autres strates (1^{ère}, 3^{ème} et 4^{ème}) et 2^{ème} strate de SCA est un sol pauvre en MO.

Le SCA des autres strates (3^{ème} et 4^{ème}) est un sol très pauvre en MO.

Les sols dont la teneur en matière organique est supérieure à 5 % sont rares en arboriculture, si la teneur en matière organique est insuffisante, il faut envisager de l'influencer par des pratiques culturales afin de maintenir une activité saine dans le sol (Kuster *et al.*, 2017).

D'après Minasny *et al.* (2017), le type de végétation influence la teneur en matière organique des sols agricoles.

Il faut noter aussi que différents travaux de recherche ont montré que plus la teneur en argile du sol est faible, plus le taux de matière organique diminue (CRA, 2012), ce qui est tout à fait cohérent avec les résultats de notre étude.

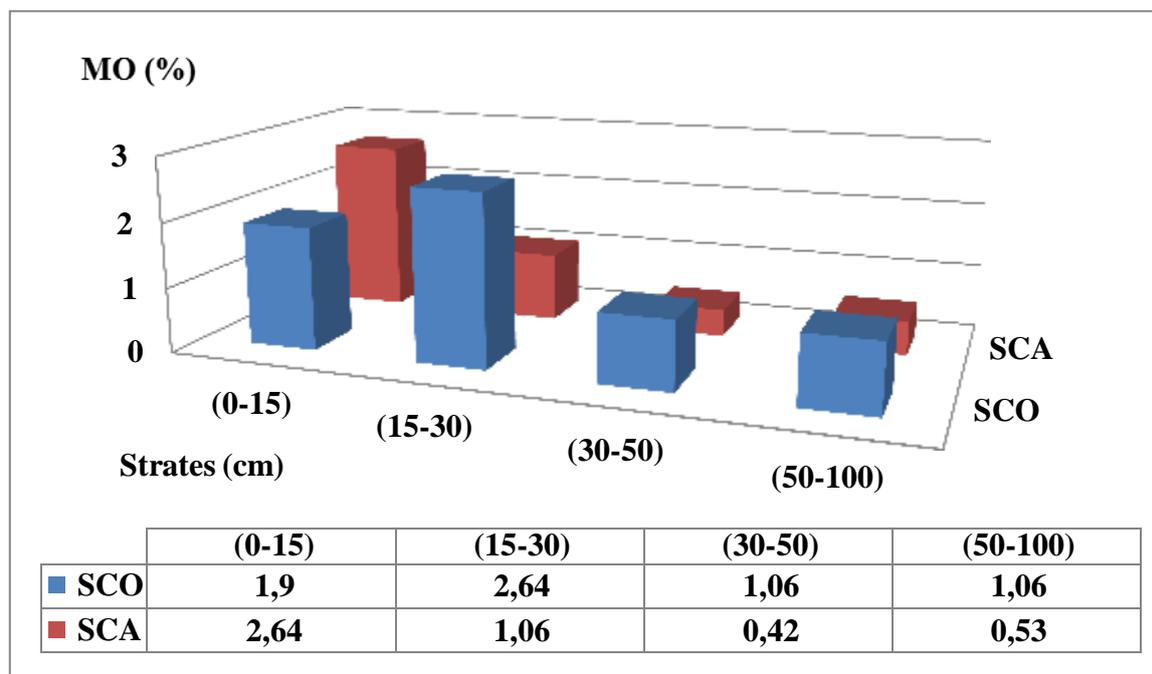


Figure 20: Teneur en matière organique des sols étudiés.

II.1.7. Discussion des résultats de l'azote total (N)

D'après Kuster *et al.* (2017), N est l'élément nutritif le plus important en arboriculture en tant que constituant des composés organiques (acides aminés, acides nucléiques et protéines) et de la chlorophylle. Une carence ou un excès de N perturbe l'équilibre physiologique des arbres et entraîne un rapport défavorable entre la croissance végétative et le développement végétatif, ou des défauts qualitatifs chez les fruits.

On observe dans la figure 21 que le SCO de la 2^{ème} strate et le SCA de la 1^{ère} strate ont le même taux d'azote (0,127%). Tandis que pour les autres strates, le SCO a un taux d'azote compris entre 0,053% et 0,095% et le SCA a un taux d'azote compris entre 0,021% et 0,053%. Selon le Tableau 12 (Annexe II), on constate que nos deux sols sont très pauvres en azote.

Le moment idéal d'un apport de N dépend de la teneur en argile d'un sol (mobilité du N dans le sol): l'apport de N se fait dès le début de mars dans les sols argileux et peu avant la floraison (fin mars/début avril) dans les sols pauvres en argile (Kuster *et al.*, 2017).

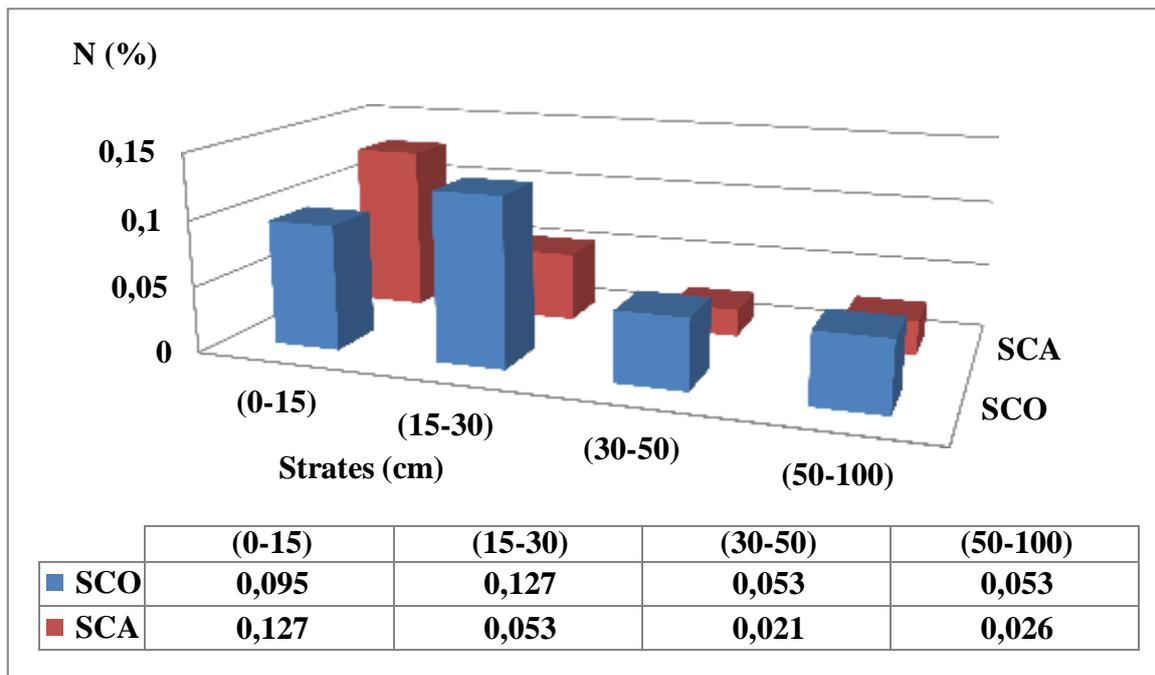


Figure 21: l'azote total des sols étudiés.

II.1.8. Discussion des résultats du rapport C/N

On peut interpréter les résultats du rapport C/N (Figure 22) par le Tableau 13 (Annexe II) comme suit :

- Les sols des deux espèces présentent une bonne minéralisation de la MO.

On remarque dans la figure 22 que le SCO de la 2^{ème} strate et le SCA de la 1^{ère} strate ont la même valeur du rapport C/N (12,09) qui est légèrement élevée. Tandis que pour les autres strates, le SCO a une valeur de C/N comprise entre 11,62% et 11,63% et le SCA a une valeur de C/N comprise entre 11,62% et 11,84%.

Le rapport C/N est souvent utilisé pour prédire la stabilité d'une matière organique simple dans le sol. Une matière à faible C/N (4 à 12) va être rapidement minéralisée en fournissant beaucoup d'azote minéral. Donc le sol a une activité biologique importante ramenant à une décomposition rapide de la matière organique (CRA, 2011).

La dégradation d'une matière à fort C/N (15 à 20) va à l'inverse provoquer l'immobilisation de l'azote du sol par les microorganismes (Van De Kerchove *et al.*, 2006).

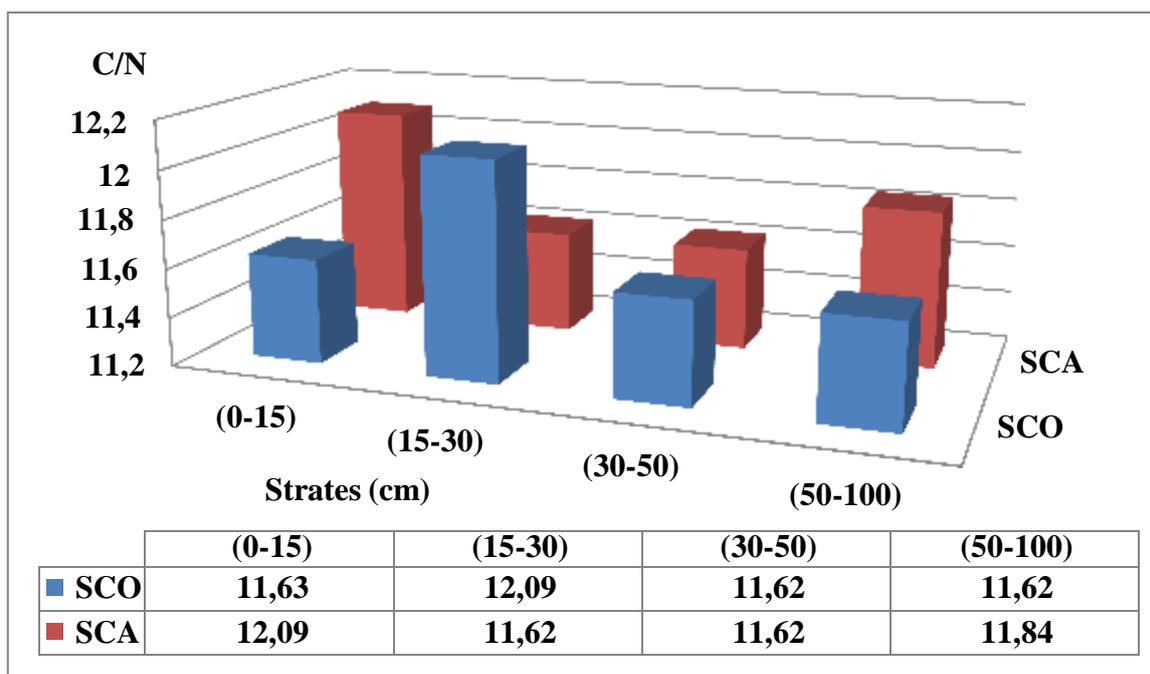


Figure 22: Le rapport C/N des sols étudiés.

II.1.9. Discussion des résultats du SCOS

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.

1. Variation du SCO selon l'occupation du sol

La figure 23 met en évidence l'effet de l'utilisation des terres sur le SCOS, le stock moyen est de 15,41 Mg C ha⁻¹ pour le SCA et 23,54 Mg C ha⁻¹ pour le SCO.

Il y a un manque de synergie dans la répartition des valeurs SCOS ; Le SCOS varie significativement ($p < 0,05$) entre les différents modes d'occupation des sols, la valeur la plus élevée enregistrée sous oliviers (32,63 Mg C ha⁻¹) au niveau de la strate allant de 50 à 100 cm. Le stock le plus faible est enregistré au niveau du sol sous culture d'agrumes dans la 3^{ème} strate de 30 à 50 cm, avec 6,33 Mg C ha⁻¹.

a. Variation du SCOS en agrumiculture

Le stock le plus élevé est de 24,29 Mg C ha⁻¹ enregistré pour la strate superficielle de 15-30 cm, tandis que la valeur la plus faible (6,33 Mg C ha⁻¹) est notée pour la strate de 30-50 cm. La 1^{ère} strate est la mieux représentée avec 39,40 % du carbone organique stocké.

Une corrélation négative a été trouvée entre la densité apparente et le SCOS (Figure 15), pourrait s'expliquer par la teneur de la matière organique la plus ou moins élevée de cette strate par rapport aux autres strates et qui se caractérise par une bonne structure, qui favorise un bon développement du système racinaire.

b. Variation du SCOS en oléiculture

Le stock le plus élevé est de 32,63 Mg C ha⁻¹ enregistré dans la 4^{ème} strate de 50-100 cm. La valeur la plus basse est de 13,05 Mg C ha⁻¹ enregistrée dans la 3^{ème} strate de 30 à 50 cm. La couche 50-100 cm est la mieux représentée pour les deux types de cultures, représentant 34,65 % du carbone organique stocké.

Le résultat de l'analyse de corrélation révèle que le stock de COS a : une corrélation positive avec (i) le limon (pb 0,01) et une corrélation négative avec (ii) le pH.

La corrélation positive entre le limon (Tableau 5) et le SOCS (Figure 23) pourrait s'expliquer par les caractéristiques du limon, qui agit comme un facteur de rétention d'eau et d'accumulation des éléments nutritifs en bloquant les particules fines.

L'idéal étant une terre légèrement acide (6,5) qui convient à la plupart des plantations. Les micro-organismes affectionnent ce type de terre (**Kuster et al., 2017**).

L'activité biologique du sol et l'assimilation de la plupart des éléments nutritifs dépendent du pH (**Kuster et al., 2017**). C'est pourquoi il faut éviter toute modification abrupte du pH, en particulier par un chaulage excessif. Le pH idéal en arboriculture se situe entre 6,0 et 7,5. Il est possible de l'augmenter par un chaulage. Il est par contre difficile de le diminuer, par exemple en utilisant des engrais acidifiants, en raison du fort pouvoir tampon du carbonate de calcium (**Kuster et al., 2017**).

Il n'y a aucune similarité dans la distribution du SCOS entre les couches du sol des deux espèces. Cette variation de la répartition verticale des SOCS selon l'occupation du sol peut s'expliquer par la différence de profondeur des racines selon les espèces occupant le sol, les racines des plantes contribuant de manière primordiale à la formation de la matière organique du sol (**Poirier et al., 2018**), selon **Guo et al. (2005)**, la variation du SCOS serait liée à l'activité et à la longueur des racines plutôt qu'à la masse racinaire. De plus, les racines vivantes fournissent à leur environnement des substances énergétiques en quantités non négligeables, il est apparu dans un travail mené, que ces substances énergétiques sont facilement assimilables, stimulant la microflore rhizosphérique (**Benouadah et al., 2020**).

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 résultats de (**Jackson et al., 1996**) renforcent cette hypothèse puisqu'ils ont découvert que les arbustes avaient les racines les plus profondes, suivis par les arbres et que les plantes herbacées avaient les racines les moins profondes.

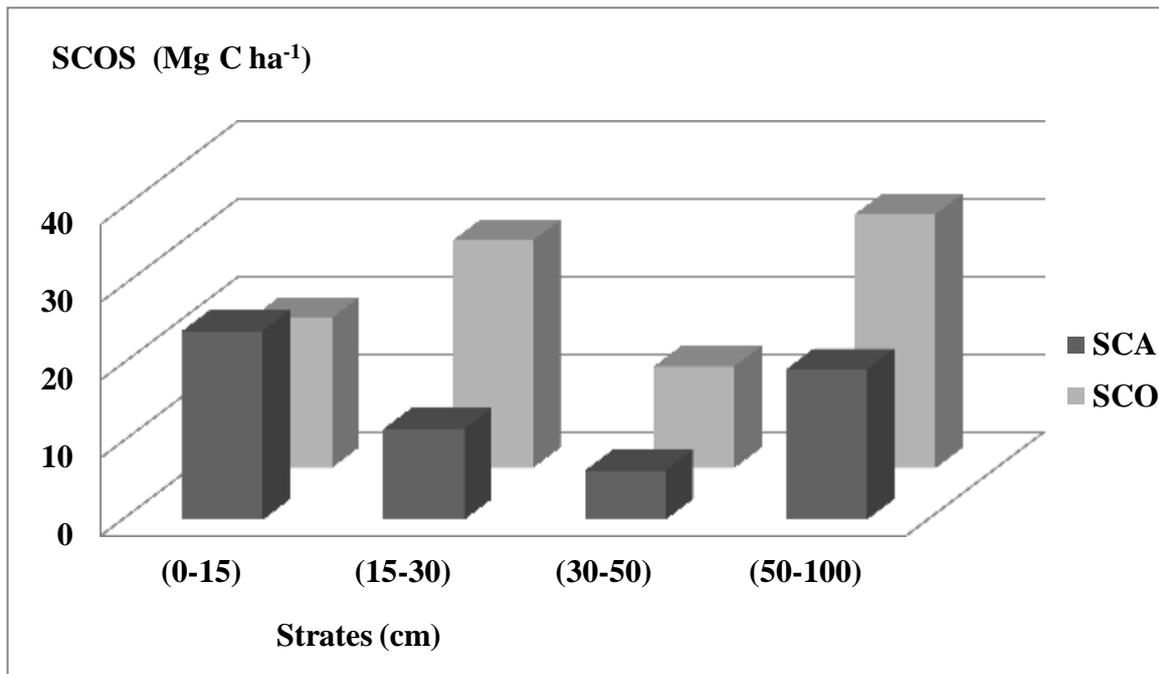


Figure 23 : Stock du carbone organique des sols étudiés selon leurs occupations.

2. Variation du stock cumulé du CO

Une différence significative dans le SCOS pour les différents modes d'utilisation des terres a été observée (Figure 24). **Akpa et al. (2016)** ont enregistré une différence significative entre les différents types d'utilisation des terres (forêts, garrigues, savanes, prairies et terres cultivées) allant de 47 Mg C ha⁻¹ à 118 Mg C ha⁻¹ pour les sols du Nigeria, contrairement aux observations de **Minasny et al. (2017)** qui ont fait le même constat pour les sols tanzaniens à 30 cm avec les classes d'utilisation des terres (bois, arbustes, prairies et terres cultivées).

a. Variation du stock cumulé pour le 30 cm

Le SOCS moyen enregistré est de 48,50 Mg C ha⁻¹ et de 35,98 Mg C ha⁻¹ pour le SCO et SCA respectivement. **Brahim et al. (2014)** ont trouvé une valeur intermédiaire de 41,6 Mg C ha⁻¹ en Tunisie à la même profondeur.

Pour le sol sous olivier, la valeur enregistrée, est supérieure à celle enregistrée pour les sols de la péninsule espagnole (**Rodríguez-Murillo et al., 2001**), caractérisés par la même occupation et profondeur avec 39,9 Mg C ha⁻¹ et seulement 30 Mg C ha⁻¹ pour les sols français (**Arrouays et al., 2001**). La valeur la plus faible (35,98 Mg C ha⁻¹) concernait l'agrumiculture. Cette valeur est encore supérieure à celle enregistrée pour les sols des régions arides d'Australie avec seulement 10 Mg C ha⁻¹ (**Luo et al., 2010**) et inférieure à celle enregistrée par **Benouadah et al. (2022)** avec 46,15 Mg C ha⁻¹ dans la même région d'étude pour un sol sous irrigation. Pour les deux espèces étudiées, les agrumes représentent l'utilisation des terres la moins stockeuse. Cela pourrait s'expliquer principalement par le mode de conduite des

cultures. Ces valeurs sont inférieures à celles enregistrées pour les sols espagnols à la même profondeur avec 50,8 Mg C ha⁻¹ (Rodríguez-Murillo *et al.*, 2001), et pour les terres arables françaises avec 51 Mg C ha⁻¹ (Arrouays *et al.*, 2001), et supérieures à la valeur enregistrée par Brahim *et al.* (2010) à la même profondeur pour tous les sols tunisiens avec une moyenne de 26,12 Mg C ha⁻¹, mais reste inférieure à la valeur moyenne mondiale pour les zones arborées avec 66,84 Mg C ha⁻¹. Nos résultats contredisent ceux de (Arrouays *et al.*, 2001) qui révèlent que les vignes et les vergers stockeraient moins de CO avec 30 Mg C ha⁻¹ et 50 Mg C ha⁻¹ pour les terres arables.

b. Variation du stock cumulé pour le 50 cm

Le SOCS enregistré est de 61,55 Mg C ha⁻¹ pour le SCO et 42,31 Mg C ha⁻¹ pour le SCA. Ces valeurs sont intermédiaires à celles enregistrées pour les sols du sud de l'Espagne pour le même type de sol et une profondeur de 50 cm, avec 46,2 Mg C ha⁻¹ pour la végétation herbacée et supérieures à celles enregistrées (35,9 Mg C ha⁻¹) pour les terres arables (Munoz-Rojas *et al.*, 2012). L'oléiculture permet le meilleur stockage de CO.

c. Variation du stock cumulé pour le 100 cm

D'après la figure 24, on constate que le stock de carbone organique total (0-100 cm) est de 94,18 Mg C ha⁻¹ et de 61,65 Mg C ha⁻¹ pour le SCO et SCA respectivement. Boulmane *et al.* (2013) ont trouvé une valeur intermédiaire pour les sols du Moyen Atlas marocain (70 Mg C ha⁻¹). Sur la couche 0-100 cm, le stock de COS sous arboriculture est de 129, 2 ± 2,90 Mg C ha⁻¹ (Bounouara *et al.*, 2017).

Les pourcentages d'COS dans la strate profonde allant de 50 à 100 cm du stock total de sol soulignent l'importance du paramètre profondeur dans le stockage puisque 33% du CO stocké dans les sols étudiés réside dans cette couche, cette observation a été confirmée par Jaouadi *et al.* (2019) pour les couches profondes du sol sous un climat méditerranéen semi-aride, selon ces auteurs, l'enracinement des cultures contribuerait fortement à ces valeurs élevées de SCOS dans le sous-sol. Outre la température élevée et la non-disponibilité de nutriments pour les micro-organismes dans les couches du sous-sol limitant la dégradation du CO stocké (Rumpel et Kögel-Knabner, 2011), d'autres auteurs ont expliqué cette teneur élevée par la migration des SCOS vers les couches profondes par lessivage (Jobbagy et Jackson, 2001).

Balesdent *et al.* (2017) ont expliqué cette répartition verticale du carbone par deux phénomènes indépendants : (i) le transport progressif de carbone vers la profondeur par bioturbation, lixiviation ou lessivage, (ii) la biodégradation *in situ* du C nouveau, plus lente en profondeur qu'en surface.

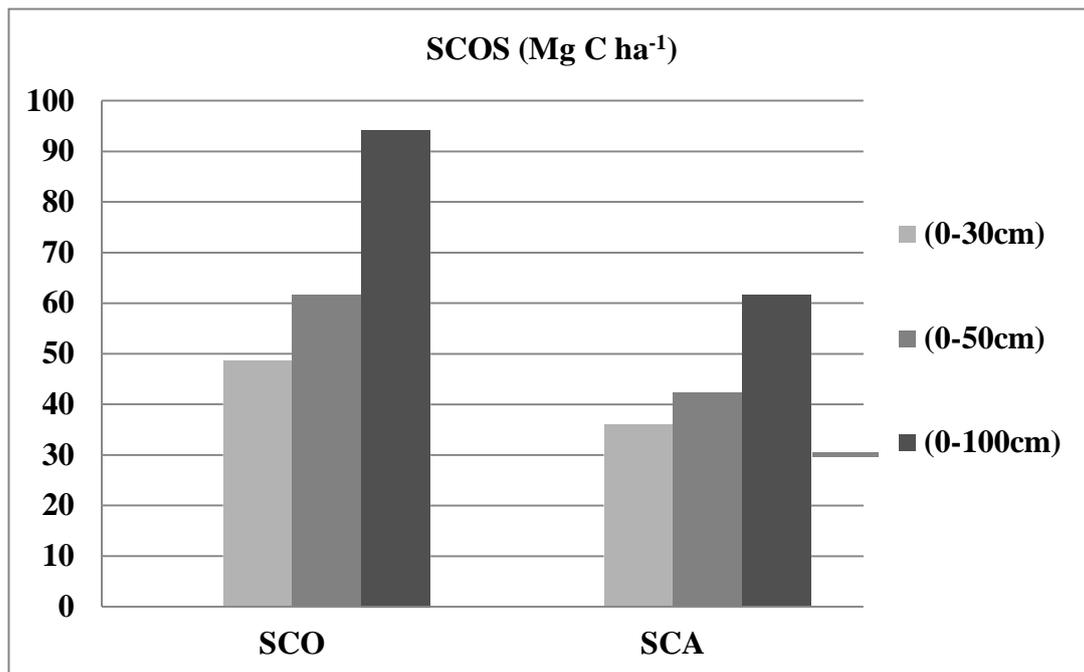


Figure 24 : Variation du stock cumulé du CO des sols étudiés.

3. Variation du SOCS avec la profondeur

Le SCOS varie significativement ($p < 0,05$) entre les différentes strates de sol étudiées (Figure 25). En effet, **Schrumpf et al. (2008)** rapportent que la distribution du SOCS est susceptible de varier en fonction de la profondeur et selon les types de la culture.

A. Variation du SOCS pour la strate 0-15cm

Cette strate contient en moyenne 20,47% et 39,63% d'OC stocké selon l'occupation du sol pour le SCO et le SCA. Le stock le plus élevé est de 24,29 Mg C ha⁻¹, enregistré en agrumiculture.

B. Variation du SOCS pour la strate de 15 à 30cm

Selon l'occupation du sol, le stock le plus élevé a été enregistré sous les oliviers (29,22 Mg C ha⁻¹), représentant 31,02 Mg C ha⁻¹ du CO stocké dans cette strate selon l'utilisation des terres. Sous agrumiculture, la valeur enregistrée est de 11,69 Mg C ha⁻¹, ce dernier représentant 18,96% du CO stocké. Des résultats presque similaires ont été trouvés par **Benslimane et al. (2023)** dans la région de Sidi Bel Abbès pour un sol sous oliviers à la même profondeur (27,63 Mg C ha⁻¹).

C. Variation du SOCS pour la strate de 30 à 50cm

Selon l'utilisation du sol, cette strate contient 10,27 % et 13,86 % du CO stocké pour le SCA et le SCO respectivement, donc elle représente les stocks les plus faibles 6,33 Mg C ha⁻¹ pour l'agrumiculture et 13,05 Mg C ha⁻¹ pour l'oléiculture.

D. Variation du SOCS pour la strate de 50 à 100cm

Le stock le plus élevé (32,63 Mg C ha⁻¹) a été enregistré en oléiculture, représentant 34,65% du CO stocké pour cette couche selon l'occupation du sol. Le taux enregistré en culture d'agrumes est de 19,34 Mg C ha⁻¹, correspondant à 31,37 % de CO stocké.

La variation de la répartition du CO selon la profondeur pourrait s'expliquer par la différence de répartition et de profondeur des racines qui contrôlent le stockage et la stabilisation du CO (**Poirier et al., 2018**), également par les apports racinaires à différentes profondeurs du profil du sol (**Schrumpf et al., 2008**), et même par la lixiviation du CO provenant des couches profondes (**Jobbagy et al., 2001**).

Pour l'oléiculture, le stock le plus élevé est enregistrée dans la couche profonde (50-100cm), suivi par la couche intermédiaire (15-30cm), soit 34,65% et 31,02%. Cela pourrait être dû au fait que le profil de surface est le plus exposé aux perturbations naturelles (érosion) et anthropiques (labour) (**Post et al., 2000 ; Penman et al., 2003**), ce qui faciliterait la décomposition de la matière organique et sa libération sous forme d'émission de dioxyde de carbone (**Mohanty et al., 2017**). Contrairement aux couches souterraines, qui sont conditionnées par des processus spécifiques régulant le stockage du carbone organique (**Lützow et al., 2006**). Cependant, les mécanismes retardant la décomposition de la matière organique dans les couches souterraines nécessitent des recherches plus approfondies (**Rumpel et Kögel-Knabner, 2011**). D'après **Balesdent et al. (2017)**, l'accumulation de carbone dans les horizons les plus profonds soit plus dépendante du type pédologique que de la culture elle-même. En effet, les travaux de **Mathieu et al. (2015)** ont montré au niveau de la planète que le degré de stabilisation (l'âge) du carbone profond est plus dépendant du type de sol que du climat ou de l'usage des terres, La variation peut être aussi expliquée par d'autres facteurs que la distribution des restitutions de carbone ou les enracinements.

Pour l'agrumiculture, le stock le plus élevé est enregistrée dans la couche superficielle (0-15cm) suivi par la couche profonde (50-100cm), soit 39,40% et 37,37%. Cela pourrait s'expliquer par le système racinaire superficiel des agrumes, qui se localise dans le 1^{er} mètre de profondeur mais qui peut s'étendre jusqu'aux 6 m latéralement et qui ne pénètrent dans le sol qu'à 60 cm de profondeur (**Guyot, 1948**), ce qui explique la forte sensibilité des agrumes à la sécheresse, à l'exception du genre *poncirus* qui a un système pivotant et profond.

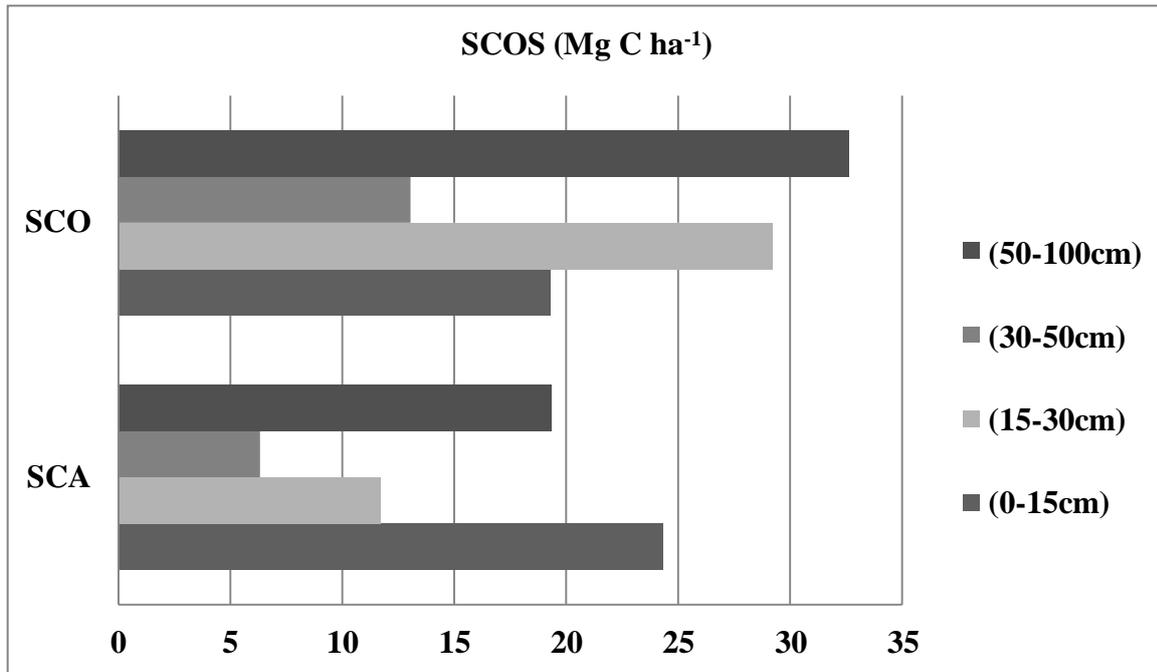


Figure 25 : Répartition verticale du stock de carbone organique des sols étudiés.

Conclusion générale

Conclusion générale

La séquestration du carbone dans les sols agricoles sous arboricultures, en particulier dans des conditions semi-arides méditerranéennes, est fortement influencée par divers facteurs, notamment l'occupation des terres, les pratiques culturales, la profondeur du sol et les paramètres physico-chimiques du sol. Les variations observées dans le stock de carbone organique du sol (SCOS) entre les différents types d'utilisation des terres démontrent l'importance de ces facteurs dans la gestion et la préservation de la fertilité des sols.

Dans le cadre de cette étude, l'agrumiculture et l'oléiculture ont présenté des profils de séquestration du carbone différents, notamment en ce qui concerne les systèmes racinaires. L'agrumiculture, caractérisée par des arbres à système racinaire relativement peu profond et étendu, a montré une capacité significative à stocker le carbone organique dans les couches superficielles du sol, avec le stock de carbone le plus élevé (24,29 Mg C ha⁻¹) enregistré dans la couche de 0 à 15 cm. En revanche, l'oléiculture, avec des arbres à système racinaire plus profond et concentré, a démontré une capacité plus élevée à stocker le carbone dans les couches profondes du sol, avec le stock de carbone le plus élevé (32,63 Mg C ha⁻¹) enregistré dans la couche de 50 à 100 cm.

Ces différences dans le système racinaire influent sur la manière dont les deux cultures contribuent à la formation de la matière organique du sol et à la séquestration du carbone. Les apports organiques et la décomposition des racines diffèrent également entre l'agrumiculture et l'oléiculture, ce qui peut expliquer les variations observées dans le stockage du carbone entre les deux systèmes, donc l'utilisation des terres influence le stock de COS en surface et en profondeur.

De plus, les résultats mettent en évidence l'importance des paramètres physico-chimiques du sol, tels que le pH et la texture, dans la séquestration du carbone. Une corrélation positive a été observée entre le stock de carbone organique du sol et le limon, tandis qu'une corrélation négative a été constatée avec le pH. Ces paramètres jouent un rôle crucial dans la régulation de l'activité biologique du sol et dans l'assimilation des éléments nutritifs, ce qui souligne l'importance de maintenir des conditions optimales pour favoriser la séquestration du carbone.

Cette étude souligne l'importance de prendre en compte ces facteurs, y compris les différences dans les systèmes racinaires et les profondeurs de stockage du carbone, dans la gestion des terres agricoles afin de favoriser la séquestration du carbone et de contribuer à l'atténuation des changements climatiques.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ❖ **Abiven, S. (2004).** Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol (Doctoral dissertation, Agrocampus-Ecole nationale supérieure d'agronomie de Rennes).
- ❖ **Akpa, S-I., Odeh, I-O., Bishop, T-F., Hartemink, A-E., et Amapu, I-Y. (2016).** Total soil organic carbon and carbon sequestration potential in Nigeria. *Geoderma*, 271: 202-215.
- ❖ **Akroum, C. (1985).** Localisation et caractérisation de la matière organique des sols.
- ❖ **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.
- ❖ **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. et Kudeyarov, 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.
- ❖ **Andres, R-J, Boden, T., Le Quéré, C., Conway, T., Houghton, R-A., House, J-I., ... et Zeng, N. (2012).** Le budget carbone mondial 1959-2011. *Discussions sur les données scientifiques du système terrestre*, 5(2) : 1107-1157.
- ❖ **Antoine, M. et Beatri, M. (1983).** Etude expérimentale de la décomposition de l'humification en milieu percolatif. Ed. AFES, Paris. 50 p Etude expérimentale de la décomposition de l'humification en milieu percolatif. Ed. AFES, Paris. 50 p.
- ❖ **ANIREF. (2018).** Monographie de la Wilaya de Mostaganem. 31 p.
- ❖ **Arrouays D.,(2008).** Changement climatique et évolution du stockage de carbone dans les sols : Enjeux et incertitudes. *Environnement*, 15 : 1-3.
- ❖ **Arrouays, D., Balesdent, J., Germon, J-C., Jayet, P-A., Soussana, J-F. 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., Deslais, W. et Badeau, V. (2001).** The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil Use Manag*, 17(1): 7-11.
- ❖ **Baize, D. (2004),** Petit lexique de pédologie, Ed. INRA., Paris, 271p.

Références bibliographiques

- ❖ **Baize, D. (2018).** Guide des analyses en pédologie. Guide des analyses en pédologie, 1-328.
- ❖ **Balesdent, J., Basile-Doelsch, I., Chadoeuf, J., Cornu, S., Fekiacova, Z., Fontaine, S., Guenet, B. et Hatté, C. (2017).** Renouvellement du carbone profond des sols cultivés : une estimation par compilation de données isotopiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 21 : 1-10.
- ❖ **Balesdent, J., Basile-Doelsch, I., Chadoeuf, J., Cornu, S., Derrien, D., Fekiacova, Z. Hatte, C. (2018).** Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. *Nature*, 559 (7715): 599-602.
- ❖ **Barone, E., Di Marco, L., Motisi, A. et Caruso T. (1994):** The Sicilian olive germplasm and its characterization by using statistic al methods. In. Lavee S. & Klein I. (eds.) – II International Symposium on Olive Growing, Acta Horticulturae 356, Jerusalem. 66- 69 p.
- ❖ **Batjes, N-H. (1996).** Carbone et azote totaux dans les sols du monde. *Journal européen des sciences du sol*, 47 : 151-163.
- ❖ **Batjes, N-H. (2012).** Soil carbon sequestration potential in Europe. *European Journal of Soil Science*, 63(3), 323-333.
- ❖ **Belsi, H. (2010).** Notes de cours d'introduction à la dendrologie G3 Foresterie, FACAGRO/UNIKIN, inédit.
- ❖ **Benouadah, S., Oulbachir, K., Benaichata, L., Miara, M-D. et Snorek, J. (2020).** Evolution of the microbial population of a cultivated soil with organic matter input under semi-arid con-ditions (Tiaret, Algeria). *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3): 28-35.
- ❖ **Benouadah, S., Faraoun, F. et Oulbachir, K. (2022).** Incidence of manure amendment on soil organic stock under semi-arid environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 31(11): 10892-10902.
- ❖ **Benrachou, A. (2013) :** Étude des caractéristiques physicochimiques et de la composition biochimique d'huiles d'olive issues de trois cultivars de l'Est algérien. (Université Badji Mokhtar Annaba).
- ❖ **Benslimane, Z., Faraoun, F. et 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.

Références bibliographiques

- ❖ **Bernoux, M. et Chevallier, T. (2013).** Le carbone dans les zones sèches. Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du CSFD. N°10. Agropolis International, 40p.
- ❖ **Blake, G.R. et Hartge, K. (1986).** Bulk density. *Methods Soil Analysis*, 5: 363–375.
- ❖ **Blanc, D. (1987).** Les cultures hors sol. 2ème Ed INRA. Paris. 413P.
- ❖ **Bounouara, Z., Chevallier, T., Balesdent, J., Toucet, J., Sbih, M., Bernoux, M., ... et 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.
- ❖ **Boulmane, M., Santa-Regina, I., Khia, A., Hayat, Oubrahim. H. (2013).** Éstimation du stock de carbone organique dans l'écosystème des iliaies du Moyen Atlas marocain. *Nature & Technologie*, 11 : 06-16.
- ❖ **Brahim, N., Bernoux, M., Blavet, D. et Gallali, T. (2010).** Tunisian soil organic carbon stocks. *International Journal of Soil Science*, 5(1): 34-40.
- ❖ **Brahim, N., Blavet, D., Gallali, T. et 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.
- ❖ **Brahim, N., Ibrahim, H. et Hatira, A. (2014).** Tunisian soil organic carbon stock–spatial and vertical variation. *Procedia Engineering*, 69: 1549-1555.
- ❖ **Breton, C., Medail, F., Pinatel, C. et Bérville, A. (2006).** De l'olivier à l'oléastre : origine et domestication de l'*Olea europea L.* dans le bassin méditerranéen. Cahiers Agriculture vol. 15, n°4.
- ❖ **Brikci, N. (1993).** Efficacité d'un traitement insecticide optimise sur le ravageur de l'olive.
- ❖ **Calvet, R. (2003).** Le sol, Propriétés et fonctions : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome1. Vol1. Ed France Agricole. Paris. 457p.
- ❖ **Calvet, R., Chenu, C. et Houot, S. (2011).** Les matières organiques des sols: rôles agronomiques et environnementaux. Paris: Editions France Agricole, 347 p.
- ❖ **Calvet, R., Chenu, C., Houot S. et (2015).** Les matières organiques des sols : Rôles agronomiques et environnementaux. 2ème édition, Edition France Agricole, 347p.

Références bibliographiques

- ❖ **Cantini, C., Cimato, A. et Sani, G. (1999).** Évaluation morphologique du matériel génétique de l'olivier présent dans la région Toscane. *Euphytica* : 109(3), 173-181.
- ❖ **Charlet, M. (1965).** Observation sur le comportement au froid de certaines variétés de greffe d'oliviers en France. *Inf. oléic. Inst.*, N 31. 13 p.
- ❖ **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. (2003),** Comment caractériser les matières organiques du sol?, Actes des 6èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de terre, G Thevenet L Faedy Eds., 107-117p.
- ❖ **Chenu, C. et Balabane, M. (2001).** Une approche des matières organiques par leurs fonctions. *Perspective agricole*, 244: 42-45.
- ❖ **Chevalier, A. (1922).** Les Myrica's asiatiques à fruits comestibles. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 2(15) : 633-636.
- ❖ **Chevallier, T., Fujisaki, K., Roupsard, O., Gui-dat, F., Kinoshita, R., Filho, V., Lehner, P. et 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.
- ❖ **Ciais, P. (2014).** « Carbon and Other Biogeochemical Cycles. » In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press.
- ❖ **Ciqual, A. (2013).** Table de composition nutritionnelle des aliments. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES).
- ❖ **Colombo, A. (2004).** La culture des agrumes. Vecchi S.A, Paris. 133p.
- ❖ **Conde, C., Delrotb, S. et Gerosa, H. (2008).** Physiological, biochemical and molecular changes occurring during olive development and ripening. *Journal of Plant Physiology*, 165:1556-1562.
- ❖ **Cotrufo, M-F., Soong, J-L., Horton, A-J., Campbell, E-E., Haddix, M-L., Wall, D-H. et Parton, W-J. (2015).** Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. *Nature Geoscience*, 8(10) : 776-779.
- ❖ **CRA (Chambre régionale de l'agriculture), (2011).** Guide des produits organiques utilisables en Languedoc-Rousillon. Tome1. 122p.
- ❖ **CRA (Chambre régionale de l'agriculture),(2012).** Les sols vivants bio : Adapter les

Références bibliographiques

- apports organiques du sol. Fiche Matières organiques N°03. Provence Alpes Côte d'Azur. 08p.
- ❖ **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.
 - ❖ **Davidson, E-A. et Janssens, I-A. (2006).** « Temperature Sensitivity of Soil Carbon Decomposition and Feedbacks to Climate Change ». *Nature*, 440(7081) : 165–173.
 - ❖ **Derrien, D., Dignac, M-F., Basile-Doelsch, I., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., Chevallier, T., Freschet, G-T., Garnier, P., Guenet, B., Hedde, M., Klumpp, K., Lashermes, G., Maron, P-A., Nunan, N., Roumet, C. et Barré, P. (2016).** Stocker du C dans les sols : Quels mécanismes, quelles pratiques agricoles, quels indicateurs ? *Étude et Gestion des Sols*, 23 : 193 – 223.
 - ❖ **Dicova, C. (1997).** Les matériels de fertilisation et traitement des cultures. Ed. Tec & Doc. Lavoisier. 276p.
 - ❖ **Dignac, M-F., Derrien, D., Barré, P., Barot, S., Cécillon, L., Chenu, C., ... et Basile-Doelsch, I. (2017).** Increasing soil carbon storage: mechanisms, effects of agricultural practices and proxies. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37 : 1-27.
 - ❖ **Dommergues, Y. et Mangenot, F. (1970).** Ecologie microbienne du sol. Paris: Masson. 796p.
 - ❖ **Doucet, R. (2006).** Le climat et les sols agricoles. Ed Berget A.C. Canada. 172-173 p.
 - ❖ **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.
 - ❖ **DSASI-MADR, 2014; 2016.** :Statistique agricole et des systèmes d'information.
 - ❖ **Duchaufour, P. (1983).** Pédogénèse et classification. Ed Masson. Paris. 88-224p
 - ❖ **Duchaufour, P. (2001).** Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement.
 - ❖ **Dupont, N. (2010).** Valorisation du biogaz de fermentation: combustion catalytique (Doctoral dissertation, Université Claude Bernard-Lyon I).
 - ❖ **El Titi A. et Landes H., (1990).** Integrated farming system of Lautenbach: A practical contribution towards sustainable agriculture in Europe. *Sustainable Agricultural Systems: Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa*, 32: 265–286.
 - ❖ **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

Références bibliographiques

- Géo-ressources et environnement. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. 43p.
- ❖ **Fabiani, R., Vella, N. et Rosignoli, P. (2021).** Epigenetic Modifications Induced by Olive Oil and Its Phenolic Compounds. *A Systematic Review: Molecules*, 26(2), 273-283.
 - ❖ **FAO, (2002).** Apport des arbres fruits à la sécurité alimentaire en milieu urbain tropical, Programme FAO.
 - ❖ **FAO, (2015).** The Global Forest Resources Assessment, How are the world's forests changing ? Rome, The Food and Agriculture Organization of the United Nations.
 - ❖ **FAO, (2017).** Carbone organique du sol : une richesse invisible. FAO, Rome, Italie, 90p.
 - ❖ **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.
 - ❖ **Felix I. (2015).** Le Dossier : Matière organique : une ressource à valoriser. Perspectives agricoles, 423p.
 - ❖ **Fibl, (2000).** L'agriculture biologique améliore la fertilité des sols et la biodiversité. Résultats d'un essai sur le terrain de 21 ans. Fibl Dossier 1 (août.). Institut de recherche en agriculture biologique (Fibl), Zurich.
 - ❖ **Gao, X. et Giorgi, F. (2007).** Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot. *Geophysical Research Letters*, 34(11): 233-241.
 - ❖ **Gee, G. et Or, D. (2002).** Particle size analysis. In 'Methods of soil analysis, Part 4. Physical methods'. *Soil Science Society of America Book Series*, 5: 255-293.
 - ❖ **GIEC, (2007).** Changements climatiques 2007 : Synthèse du Rapport de contribution du Groupe de travail I du GIEC au Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Contribution du Groupe de travail I du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat au Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. 10p.

Références bibliographiques

- ❖ **Gil-Izquierdo, A. (2002).** Rapiddetermination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of agricultural and food chemistry*, 13: 70-80.
- ❖ **Gómez-Rico, A., Fregapane, G. et Salvador, M-D, (2008).** Effet du cultivar et de la maturation sur les composants mineurs des olives espagnoles et de leurs huiles d'olive vierges correspondantes. *Food Research International*, 41(4), 433-440.
- ❖ **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. et Gifford, R-M. (2005).** Fine root production and litter input: its effects on soil carbon. *Plant and Soil*, 272(1): 1-10.
- ❖ **Guyot, H. (1948).** Système racinaire de divers porte-greffes d'agrumes. *Fruits*, 3(7), 261-264.
- ❖ ❖ **Hien, E. (2004).** Dynamique du carbone dans un Acrisol ferrugineux du Centre Ouest Burkina Faso : Influence des pratiques culturales sur le stock et la qualité de la matière organique. Thèse de Doctorat en Sciences du Sol. 138p.
- ❖ **Hien, E., Ganry, F., Hien, V. et Oliver, R. (2006).** Dynamique du carbone dans un sol de savane du Sud-Ouest Burkina sous l'effet de la mise en culture et des pratiques culturales, 219p.
- ❖ **Houghton, R. (2007).** Équilibrer le budget carbone mondial. *Revue annuelle des sciences de la Terre et des planètes*, 35: 313-347.
- ❖ **Idrissi, A. et Ouazani ,N. (2003).** Apport des descripteurs morphologiques à l'inventaire et à l'identification des variétés d'olivier (*Olea europaeae L.*). *Plant genetic resources newsletter*, (136) : 1-10.
- ❖ **INRA (France), (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, 114 p.
- ❖ **Jackson, R-B., Canadell, J., Ehleringer, J-R., Mooney, H-A., Sala, O-E. et Schulze, E-D. (1996).** A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108(3): 389-411.
- ❖ **James, D. E., Jenkins, A. B.,et Kraegen, E. W. (1985).** Heterogeneity of insulin action in individual muscles in vivo: euglycemic clamp studies in rats. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 248(5) : E567-E574.

Références bibliographiques

- ❖ **Jaouane, A-K. (2002).** L'huile d'olive biologique : une prévention efficace contre les maladies, au quotidien. Conseillère en hygiène et Diététique Naturopathe diplômée, Académie de Nice – France, Séminaire international sur l'olivier 368p.
- ❖ **Jobbagy, E-G et Jackson, R-B, (2000).** The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *EcolAppl*, 10:423–436.
- ❖ **Jobbagy, E-G. et Jackson, R.B. (2001).** The Distribution of Soil Nutrients with Depth: Global Patterns and the Imprint of Plants. *Biogeochemistry*, 53: 51-77.
- ❖ **Jones, L. et Smith, K. (2019).** « Influences of Environmental Factors on Soil Carbon Sequestration ». *Journal of Environmental Quality*, 48(3) : 576–589.
- ❖ **Kaetterer T. et Andréon O. (1999).** Expériences agricoles à long terme sur le terrain en Europe du Nord : analyse de l'influence de la gestion sur les stocks de sols à l'aide du modèle ICBM. Agricole. *Ecosys.et Environ*, 72 : 165-179.
- ❖ **Katanga, J. (2007).** Botanique générale, notes de cours G1 FACAGRO/ UNIKIN, inédit.
- ❖ **Koull, N. et Halilat, M-T. (2016).** Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie), *Étude et Gestion des Sols*, 23 : 9-19.
- ❖ **Kump, L-R., Kasting, J-F. et Crane, R-G. (1999).** The earth system. Prentice Hall.
- ❖ **Kuster, T., Eicher, O., Leumann, L., Müller, U., Poulet., J. et Rutishauser, R. (2017).** Fertilisation en arboriculture. *Recherche Agronomique Suisse (publication spéciale)*, 8 (6) : 13-20.
- ❖ **Lal, R. (2004).** Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627.
- ❖ **Lal, R. (2010).** Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *BioScience*, 60: 708–721.
- ❖ **Lal, R. (2016).** Soil health and carbon management. *Food and Energy Security*, 5(4): 212-222.
- ❖ **Larue, M. (1976).** La culture de l'abricotier outre-mer. *Fruits*, 31(3): 157-170.
- ❖ **Lehmann, J. et Kleber, M. (2015).** Stabilization of Soil Organic Matter: Association with Minerals or Chemical Recalcitrance? *Biogeochemistry*, 4(2): 34–48.
- ❖ **Le Quéré, C., Wang, Y-P., Wanninkhof, R., Wiltshire, A., Zeng, N. (2014).** Global carbon budget 2014. *Earth SystSci Data Discuss*, 7:521–610.

Références bibliographiques

- ❖ **Le Quéré, C., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Sitch, S., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., ... et Zaehle, S. (2016).** Global carbon budget 2016. *Earth System Science Data*, 8(2): 605-649.
- ❖ **Lefèvre, G. (2016).** Le sol, un écosystème vivant. In *Écosystèmes terrestres : fonctionnement, structure, évolution et gestion durable*, 152 p.
- ❖ **L'Itaf (2006) :** Catalogue des variétés algériennes de l'olivier, Alger, 100 p.
- ❖ **Lockeretz, W., Shearer, G. et Kohl, D-H. (1989).** Organic farming in the Corn Belt. *Science*, 211 : 540-547.
- ❖ **Loussert, R. (1989).** Les agrumes. Volume 1 Arboriculture. Paris. France. Technique et Documentation Lavoisier. 113 p.
- ❖ **Loussert, R. et Brousse, C. (1978).** L'olivier, Techniques culturales et productions Méditerranéennes, Edit, C.P, Maisonneuve et Larousse, Paris, 437p.
- ❖ **Luo, Z., Wang, E. et Sun, O. J. (2010).** Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: a review and synthesis. *Geoderma*, 155(3-4): 211-223.
- ❖ **M.A.D.R. (2013).** L'agriculture dans l'économie nationale, Ed. Ministère de l'agriculture, 48 p.
- ❖ **Mariotti, A., Pan, Y., Zeng, N. et Alessandri, A. (2015).** Long-term climate change in the Mediterranean region in the midst of decadal variability. *Climate Dynamics*: 44, 1437-1456.
- ❖ **Martin, M-P., Wattenbach, M., Smith, P., Meersmans, J., Jolivet, C., Boulonne, L. et Arrouays, D., (2011).** Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences*, 8: 1053-1065.
- ❖ **Mathieu, J., Hatté C., Parent, E. et Balesdent, J. (2015).** Deep soil carbon dynamics are driven more by soil type than by climate: a worldwide meta-analysis of radiocarbon profiles. *Global Change Biology*, 21: 4278-4292.
- ❖ **Mc Conkey B, Hutehinson J, Smith W, Grant B et Desjardins R (2001).** Méthodologie supplémentaire. Agriculture et agroalimentaire. Canada.
- ❖ **Mermound, A. (2010).** Cours de physique du sol. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Ouagadougou & Lausanne. 234 p.
- ❖ **Minasny, B., Malone, B-P., McBratney, A-B., Angers, D-A., Arrouays, D., Chambers, A., ... et Field, D-J. (2017).** Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292: 59-86.

Références bibliographiques

- ❖ **Mohanty, A., Sahu, C., Nayak, H. et Sahu, S. (2017).** Soil carbon sequestration potential of Different land use and land cover systems in Eastern plateau and hills agroclimatic zone of India. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26: 8263-8269.
- ❖ **Montoroi, J-P. (1997).** 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. 298 p.
- ❖ **Moriondo, M., Good, P., Durao, R., Bindi, M., Giannakopoulos, C. et Corte-Real, J. (2006).** Impact potentiel du changement climatique sur le risque d'incendie dans la zone méditerranéenne. *Recherche climatique*, 31 (1) : 85-95.
- ❖ **Morsli, B., Mazour, M., Medejel, N., Hamoudi, A. et Roose, E. (2004).** Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, 15: 96-104.
- ❖ **Munoz-Rojas, M., Jordán, A., Zavala, L-M., Rosa, D-D-L., Abd-Elmabod, S-K. et Anaya-Romero, M. (2012).** Organic carbon stocks in Mediterranean soil types under different land uses (Southern Spain). *Solid-Earth*, 3(2) : 375-386.
- ❖ **Nadji, M. (2024).** La filière agrume se porte bien en 2023-2024, avec une production estimée à 1,8 million de tonnes.
- ❖ **Nicault, A., Alleaume, S., Brewer, S., Carrer, M., Nola, P. et Guiot, J. (2008).** Mediterranean drought fluctuation during the last 500 years based on tree-ring data. *Climate dynamics*, 31 : 227-245.
- ❖ **Oulbachir , K. (1997).** Contribution à l'étude microbiologique d'un sol rouge, sous différents systèmes de culture en condition semi-aride, en ALGERIE (Doctoral dissertation, Tiaret).
- ❖ **Pagnol, J. (1975).** L'olivier. Edition Aubanel. 70 p.
- ❖ **Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. et Tanabe, K. (2003).** Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Japan: Institute for Global Environmental Strategies IGES.
- ❖ **Peterson, C. M., Trofymow, J. A., Niu, J., Fyfe, C. A. (2002).** Harvesting and climate effects on organic matter characteristics in British Columbia coastal forests. *Journal of environmental quality*, 31(2), 402-413.
- ❖ **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.

Références bibliographiques

- ❖ **Post, W-M. et Kwon, K-C. (2000).** Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology*, 6(3): 317-327.
- ❖ **Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R. et Powlson, D. (2018).** Limites majeures à l'obtention d'une augmentation de « 4 pour 1 000 » des stocks de carbone organique du sol dans les régions tempérées : données probantes issues d'expériences à long terme menées à Rothamsted Research, Royaume-Uni. *Biologie du changement global*, 24 (6) : 2563-2584.
- ❖ **Pousset, J. (2002).** Engrais verts et fertilité des sols. 2^{ème} Ed. Agridécisions. Paris.
- ❖ **Ramírez-Expósito, M-J., Carrera-González, M-P., et Martínez-Martos, J-M. (2021).** The effects of olive oil and other dietary fats on redox status on breast cancer. In *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention* 357 p.
- ❖ **Reganold, G-P, Elliott L-F., Unger, Y-L. (1987).** Long-term effects of organic and conventional farming on soil erosion. *Nature*, 330: 370-372.
- ❖ **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.
- ❖ **Roehly, Y. (2000).** La fabrication de l'huile d'olive. Une étude bibliographique. Ed : Ecole Supérieure d'Agronomie Tropicale de Montpellier.
- ❖ **Rumpel, C. et Kögel-Knabner, I. (2011).** Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and soil*, 338: 143-158.
- ❖ **Schlesinger, P. et Palmer Winkler J. (2000).** Soils and the global carbon cycle. Cambridge University Press, Cambridge.
- ❖ **Schmidt, M-W-I., Torn, M-S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberg, G., Janssens, I-A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, M., Nannipieri, P., Rasse, D-P., Weiner, S. et Trumbore, S-E. (2011).** Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478: 49-56.
- ❖ **Schrumpf, M., Schumacher, J., Schöning, I. et Schulze, E-D. (2008).** Monitoring carbon stock changes in European soils: process understanding and sampling strategies. In *The continental-scale greenhouse gas balance of Europe* 189 p.
- ❖ **Schwartz, C., Muller, J-C. et Decroux, J. (2005).** Agriculture et fertilisation. in *Guide de la fertilisation raisonnée*. France Agricole. Comifer, ISBN : 2-85557-120-0, 473 p.
- ❖ **Sebai A, (2007).** Physiologie de l'olivier et ses besoins. ITAF, Juillet 2007.

Références bibliographiques

- ❖ **Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. et Denef, K. (2004).** A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and tillage research*, 79(1) : 7-31.
- ❖ **Smith, P., Powlson, D-S., Glendenning, A-J., Smith, J-U. (1998).** Estimations préliminaires du potentiel d'atténuation du carbone dans les sols européens grâce à l'agriculture sans labour. *Biologie du changement global*, 4 : 679-685.
- ❖ **Smith, P., (2004).** Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *European Journal of Agronomy*, 20: 229–236.
- ❖ **Smith, J. P. (2016).** Soil carbon sequestration and biogeochemical cycling. *Global Change Biology*, 22(9): 3128-3136.
- ❖ **Smith, J. et Powlson, D. S. (2018).** Microbial Mechanisms of Carbon Sequestration in Soil: An Ecological Perspective. *Pedosphere*, 28(4): 595–613.
- ❖ **Soltner, D. (1975).** Les bases de la production végétale: le sol. Collection Sciences et techniques agricoles.
- ❖ **Sombroek, W., Nachtergaele, F. O. et Hebel, A. (1993).** Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio*, 22 (7) : 417-426.
- ❖ **Some, D., Hien, E., Assigbetse, K., Drevon, J-J. et Masse, D. (2015).** Dynamique des compartiments du carbone et de l'azote dans le sol cultivé en niébé et sorgho dans le système zaï en zone Nord soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 9(2) : 954-969.
- ❖ **Stengel, P. et Gelin S. (1998).** Sol : Interface fragile. Ed INRA. Paris. 213 p.
- ❖ **Suvarna, V. et Sharma, D. (2021).** Overview of olive oil in vascular dysfunction. In *Olives and Olive Oil in Health and Disease Prevention* 174 p.
- ❖ **Tebruegge, F. (2000).** Visions sans labour – protection du sol, de l'eau et du climat. Institut de génie agricole, Université Justus-Liebig, Giessen, Allemagne.
- ❖ **Tifafi, M., Guenet, B. et Hatté, C. (2018).** Large differences in global and regional total soil carbon stock estimates based on Soil Grids, HWSD and NCSCD: Intercomparison and evaluation based onfield data from USA, England, Wales and France. *Global Biogeochemical Cycles*, 32: (1): 42-56.
- ❖ **Tilman, D. (1998).** Le verdissement de la révolution verte. *Nature*, 396: 211-212.
- ❖ **USDA (United States Department of Agriculture), (2008).** Soil quality indicators.
- ❖ **Van der Heijden, M-G., Bardgett, R-D. et Van Straalen, N-M. (2008).** The unseen

Références bibliographiques

- majority : soil microbes as drivers of plant diversity and productivity in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11: 296-310.
- ❖ **Van De Kerchove, V., Chabalier, P-F., Saint, Macary, H. (2006).** Guide de la fertilisation organique à la Réunion. Editions CIRAD. La Réunion. 302 p.
 - ❖ **Vernet et Mousset. (2010).** L'olivier. Le site officiel de l'Ing. Med. 25 p.
 - ❖ **Vilain, M. (1997).** La production végétale, volume 1, les composantes de la production. Agriculture d'aujourd'hui.
 - ❖ **Villa P, (2003) :** La culture de l'olivier. DE. Vitthi, 95p.
 - ❖ **Wander, M. M., Bidart, M. G. et Aref, S. (1998).** Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62(6): 1704-1711.
 - ❖ **WMO, (2012).** World Meteorological Organization Greenhouse Gas Bulletin. Geneva.4 p.
 - ❖ **World Bank, (2012).** Carbon sequestration in agricultural soils. Washington, DC. World Bank, 17 p.
 - ❖ **Zarrouk, M., Marzouk, B., Ben Miled., D. et Chérif, A. (1996).** Accumulation de la Matière grasse de l'olive et l'effet du sel sur sa composition. *Olivae*, 61: 41-45.

Annexes

Annexe I : Modes opératoires

I.1. Analyses physiques

I.1.1. Détermination de la densité apparente

La détermination de la densité apparente est basée sur l'utilisation de la méthode du cylindre calibré (252,2 cm³). 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.
- **Calcul**

$$Da \text{ (g/cm}^3\text{)} = P/205,04$$

Da : Densité apparente en g/cm³.

P : Poids sec (g).

205,04 : Volume du cylindre en cm³.

I.1.2. 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.
- 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 6) 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/24 heures.

Annexes

- 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 24).
- **Calcul**
- (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 = $100 - (\% \text{Argiles} + \% \text{Limons fins} + \% \text{Limons grossiers})$

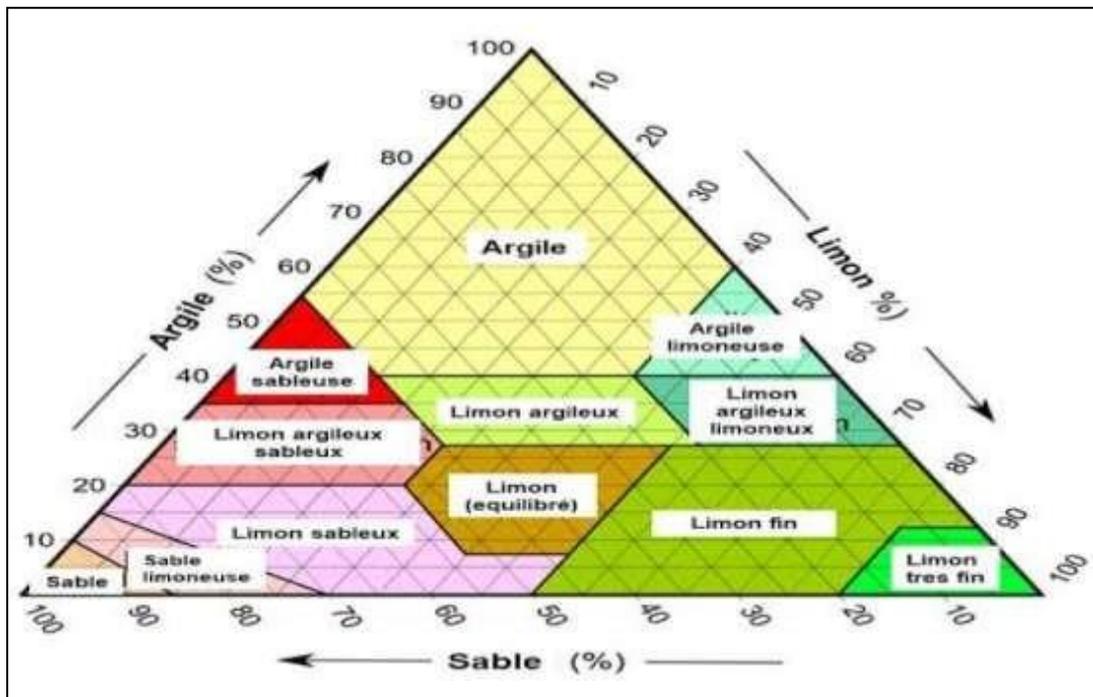


Figure 24: Triangle des textures minérales (Gobat *et al.*, 2010).

Annexes

Tableau 6: 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

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 CO₂ dégagé (V0).
- Répandre l'acide sur la terre, et lire le niveau du volume de CO₂ dégagé sur le calcimètre (V1).
- Pour le témoin, on remplace la terre par 0,3g de CaCO₃ et on lit le volume V0 lorsqu'on relie l'eren avec le calcimètre, et le V1 après le contact du HCl avec le CaCO₃.

Annexes

- **Calcul**

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

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

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' H_2SO_4 au 1/10 (à 0,1 N).
- Chauffer cette solution sur une résistance électrique(ou bec Bunzen) sans dépasser 60°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 KMnO_4 versé ou obtenus (n volume en 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 KMnO_4 versé pour le témoin (N volume en cm^3).

Calcul

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

Annexes

I.2.6. Le dosage du carbone organique et l'estimation de l'azote total

Le carbone organique est dosé par la méthode Anne. L'échantillon est oxydé par l'acide sulfurique concentré en présence du bichromate de potassium. La quantité de $K_2Cr_2O_7$ en excès est dosée en retour par une solution titrée de sel de Mohr (sulfate ferreux) en présence d'indicateur redox (feroïne).

Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant le taux du carbone organique obtenu par 1,72.

Le dosage du carbone organique s'effectue selon les étapes suivantes :

- Prendre 0,5 g de terre fine dans un ballon de 250 ml.
- Ajouter 10 ml de Dichromate de potassium à 08%.
- Ajouter à l'aide d'une éprouvette 15 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4).
- Chauffer le tout dans un bain de sable et poursuivre l'ébullition durant cinq (05) minutes (après la chute de la première goutte).
- Laisser refroidir,
- Transvaser dans une fiole de 100 ml et ajuster à 100 ml avec de l'eau distillée de rinçage jusqu'au trait de jauge.
- Prélever à l'aide d'une pipette 20 ml de cette solution (Pipeter 20 ml du surnageant clair), les mettre dans un bécher de 400 ml en ajoutant 200 ml d'eau distillée + 1.5g de NAF +03 à 04 gouttes de Diphénylamine et agiter le tout.
- Titrer avec la solution de SEL DE MOHR à 0.2 N (Normalité).

La couleur passe du brun au violet puis au vert

Calculs :

- soit V_1 : le volume de solution de sel de Mohr versé dans le bêcher.
- Soit V_T : le volume de solution de sel de Mohr versée dans le témoin.

$$C \text{ (Carbone organique) \%} = (V_t - V_1) \times 0,615$$

$$MO \text{ (Matière organique) \%} = C \% \times 1,72$$

L'azote total (N total) est obtenu en appliquant la formule empirique suivant:

$$N \text{ total (\%)} = MO * 0.05$$

Annexes

Préparation des solutions utilisées

1) Bichromate de potassium $K_2 Cr_2O_7$ (1) N.

- Mettre 49.04 g de bichromate de potassium séché à 105°C dans un litre d'eau distillée.

2) Solution de Sel de Mohr (0.25) N..... $(NH_4)_2 Fe (SO_4)_2$.

- Dissoudre 98.1g de Sel de Mohr dans 500 ml d'eau distillée et compléter à 1000 ml.

* N.B:

-78.1g de sulfate de Fer et NH_4 + 20 ml H_2SO_4 et dissoudre le tous dans 1000 ml d'eau distillée.

3) Diphénylamine.

- 01 g de diphénylamine + 40 ml d'eau distillée + 60 ml H_2SO_4 concentré.

4) Acide sulfurique Concentré $H_2 SO_4$.

Annexes

Annexe II: Echelles d'interprétation des résultats

Tableau 7: Densité apparente du sol.

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

(USDA, 2008)

Tableau 8: Le calcaire total.

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

(ITA, 1977)

Tableau 9: Classes de la qualité des sols selon leur CE.

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

(Durand, 1983)

Annexes

Tableau 10: 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 11: Le carbone organique ($MO\% = CO\% \cdot 1,72$) / $CO\% = CO(g/kg)/10$.

Taux de la matière organique (%)	Taux du carbone organique (%)	Sol
< 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)

Tableau 12 : L'azote total.

N total (%)	Sol
$\leq 0,5$	Sol très pauvre
$0,5 < N \text{ total} \leq 1,0$	Sol pauvre
$1,0 < N \text{ total} \leq 1,5$	Sol moyen
$> 1,5$	Sol bien pourvu

(Henin, 1969 *in* Bedjadj, 2011)

Tableau 13: Classement des sols en fonction de leur rapport C/N.

C/N		Minéralisation de la MO
6	Très faible	Sol à décomposition rapide de la matière organique
8	Faible	
9	Normal	Bonne décomposition de la matière organique
10		
11		
12	Légèrement élevé	Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique
14	Elevé	
> 14	Très élevé	

(CRA, 2011)