

لجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة بخميس مليانة

Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terr

Département de : Biologie



*Mémoire de fin d'étude*

En vue de l'obtention du diplôme de **Master**

**Domaine** : science de la Nature et de la vie

**Filière** : Ecologie et environnement

**Spécialité** : Bioclimatologie

*Estimation de stock de carbone organique des sols du bassin  
versant de Harraza.*

Date de soutenance : /10 /2020

Présenté par :

Bachir Cherif Hanane

Hadj Moussa Chaimaa

Devant Le Jury:

Mr. RATA Mohammed	MAA UDBKM
Mr. DOUAOUI Abdelkader	PROF C.U.TIPAZA
Mr. YAHIAOUI Ibrahim	MCB UDBKM
Mme.BENOUDALallahom	MAA UDBKM

President  
Promoteur  
Co-promoteur  
examineur

*Année universitaire : 2019/2020*

## Remerciements

Avant tous, je remercie "ALLAH" de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaire à l'élaboration de ce modeste travail.

Nous tenons particulièrement à notre professeur DOUAOUI Abdelkader professeur au centre universitaire de Tipaza pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa patience, l'encouragement, orientation et les conseils précieux.

Nous tenons à sincèrement monsieur YAHIAOUI Ibrahim, notre promoteur qui a extrêmement aidé dans nos recherches, son soutien et son encouragement, nous ont été très précieux .

Nous tenons ainsi à remercier les membres de jury Mr RATTA Mohammed et Mme BENOUDA pour avoir accepté d'affecter un temps à ce modeste travail.

## *Dédicaces*

*Avant tous, je remercie "ALLAH" de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaire à l'élaboration de ce modeste travail.*

*Je dédie ce modeste travail à*

*A mes chers parents "YAHIA" "SAIDA" pour leur soutien, leur patience, leur encouragement durant mon parcours scolaire.*

*A mes sœurs et mes frères chacun par son nom, ainsi à toute ma famille.*

*A mon cher et collègue au travail **CHAIMAA**.*

*A mes amies et mes camarades.*

*A tous mes collègues de ma promotion*

*Bioclimatologie (2019/2020).*

*Sans oublier tous les professeurs que ce soit*

*Du primaire, du moyen, du secondaire et*

*du l'enseignement supérieur.*

**HANANE**



## ***Dédicaces***

*Tout d'abord ; je remercie "ALLAH"*

*Le tout puissant qui m'a donné la force ; le courage ;  
la santé ; et la volonté durant tout le temps pour bien finir  
ce travail.*

***Je dédie ce modeste travaille a***

*A mes chers parents SAAD et HASSIBA ; pour tous  
leurs sacrifices ; leurs amour ; leurs tendresse ; leurs  
soutien et leurs prières tout au long de mes études.*

*A mes chères sœurs AYA et DOUAA et A mon frère*

***ABD EL HAMID*** pour leur encouragement et leur  
soutien moral

*A toute ma grande famille*

*A mon cher et collègue au travail HANANE*

*A mes amies et mes camarades.*

*A tous mes collègues de ma promotion Bioclimatologie  
(2019/2020).*

*Sans oublier tous les professeurs que*

*Ce soit du primaire, du moyen  
, du secondaire et du l'enseignement supérieur.*

**CHAIMAA**

## *Résumé*

Le bassin hydrographique de Oued HARRAZA est situé dans une zone semi-aride d'une superficie de 1423 kilomètres carrés, et c'est l'objet de notre étude qui concerne l'estimation de la quantité de carbone organique dans le sol au moyen de la technologie de télédétection pour le SIG 2019/2020.

la première partie consiste à analyser des échantillons de sol prélevés sur notre site d'étude pour Déterminer la quantité de carbone dans le sol de Oued HARRAZA au printemps et en été Les résultats obtenus de notre étude de la partie expérimentale à partir des données acquises sont déduits.

La comparaison entre les indices de végétation ; les indices de sol et d'eaux et leur relation avec le taux de carbone dans le sol durant la saison de printemps et d'été

**Mots clés :** bassin versant de l'oued HARRAZA, SIG-télédétection.

## *Liste des abréviations*

## Liste des abréviations :

**%** : pourcentage

**°C** : Degré Celsius.

**ANRH** : agence nationale des ressources hydraulique.

**ENVI**: Environnement for visualising image.

**C** : carbone

**Ca** : calcium

**CCNUCC** : Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques

**CH<sub>4</sub>** : méthane

**Cm** : *centimètre*

**CO<sub>2</sub>** : dioxyde de carbone

**COD** : carbone organique dissous

**COS**: carbone organique du sol

**FAO** : organisation des nations unis pour l'alimentation et l'agriculture..

**An** : ans

**G** : *gramme*

**GES** : gaz à effet de serre

**GIEC** : Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat

**Kg** : *kilogramme*

**Mg**: magnésium

**MOS** : la matière organique du sol

**NPP**: la production primaire nette

**ODD**: Objectifs pour le Développement Durable

**Pg**: Pentagrammes

**PgC** : Pentagrammes de Carbone

**Ppn** : Production primaire nette

# Liste des figures

## Liste de figures

page

Figure N° 1 : Cycle du carbone dans le sol, (Georges, 2011) .....	11
Figure N° 2 : Modèle de la dynamique du carbone dans le sol (d'après Balesdent <i>et al</i> 2000)..	12
Figure N°03: présentation du bassin d'étude (Mohammedi et Mayou.2015).....	17
Figure N° 04 : situation de barrage HARRAZA.source (Google Earth 2020).....	18
Figure N°0 5 : Variation des précipitations mensuelles.....	19
Figure N° 06: représentation graphique de la température moyenne mensuelle (2005-2014).....	20
Figure N° 07 : Variation de vitesse de vent mensuelle.....	21
Figure N° 08 : représentation graphique de l'évaporation moyenne mensuelle (2005-2014).....	22
Figure N° 09 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen 2005-2014.....	23
Figure N°10: carte des réseaux hydrographiques de bassin versant de HARRAZA (Harkat.2018).....	25
Figure N°11 : Carte digitalisé de l'occupation du sol (Source : DSA :2013).....	26
Figure N° 12 : Matériel utilisé pour relèvement des échantillons du sol (Bachir Cherif Hanane 2020) .....	29
FigureN°13 : Prélèvement de l'échantillon dans le bassin versons de Harreza(cliché hadj Moussa chaimaa 2020).....	30
Figure N°14: Séchage des échantillons a l'air libre (Cliché de Djihane et Hanane 04 mars 2020).....	30
FigureN°15 : Différence saisonnière de l'indice de surface folière entre le printemps et l'été 2020.....	44
FigureN° 16 : Différence saisonnière du stock de carbone du sol entre le printemps et l'été 2020.....	45
Figure N°17 :.Détection des changements du rapport SOC/ LAI entre le printemps et l'été 2020.....	46

# Liste des tableaux

## Liste des tableaux

Tableau 01: précipitation moyenne mensuelle en (mm) période (2005-2014) (ANRH) ...	19
Tableau02: Moyennes mensuelles des températures de la station de barrage harraza (2005/2014).....	20
Tableau03:vitesse de vent moyenne mensuelle en (Km/h) période (2005-2014) ANRH.....	21
Tableau 04: Moyennes mensuelles de l'évaporation de la station de barrage HARRAZA(2005/2014).....	21
Tableau05 : Récapitulatif des mesures des analyses aux laboratoires.....	31
Tableau06 : Échelle de salinité du sol .....	32
Tableau 07 : La gamme de pH des sols.....	32
Tableau 08 : Échelle d'interprétation de la MO.....	33
Tableau 09 : Les indices numériques liés à l'occupation du sol .....	35
Tableau 10a. Statistiques des estimations en printemps 2020.....	38
Tableau 10b. Statistiques des estimations en été 2020.....	39
Tableau 11. Matrice de corrélation entre le SOC estimé et les indices de végétation et de sol en printemps (a) et en été (b).....	39
Tableau 12. Corrélation entre le carbone estimé et les indices de végétation en printemps (a) et en été (b) 2020.....	40
Tableau 13. Corrélation entre le carbone estimé et les indices de sol et de l'eau en printemps (a) et en été (b) 2020.....	40
Tableau 14. Corrélation entre le carbone estimé et l'indice LAI en printemps (a) et en été (b).....	41
Tableau15. Statistiques des paramètres de MNT extraites à la base des points géolocalisés en printemps et en été.....	41
Tableau16. Corrélation entre le carbone estimé et les données de l'altitude en printemps (a) et en été (b) 2020.....	42
Tableau17. Corrélation entre le carbone estimé et les données de la pente en printemps (a) et en été (b) 2020.....	42
Tableau18. Corrélation entre le carbone estimé et les données de l'altitude en printemps (a) et en été (b) 2020.....	43

# *Table des matières*

## *Sommaire*

Remerciement	
Dédicaces	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des métiers	
Introduction	

### **Chapitre I : Synthèse bibliographique**

Introduction.....	4
I.1. Généralités sur le carbone.....	4
I.2. Définition.....	5
I.2. 1. Carbone organique du sol.....	5
I.2.2. <i>COS un élément de la MOS</i> .....	6
I.2.3. COS : une part spéciale du carbone globale.....	7
I.3. Effets du changement climatique.....	10
I.4. Le cycle du carbone organique .....	11
I.5. Dynamique du carbone organique dans les sols .....	12
I.6. Les principaux facteurs influençant le temps de résidence du carbone organique dans les sols.....	13
I.7. Mesure des stocks de Carbone dans le sol .....	14
I.8. L'estimation du carbone par la télédétection .....	15

### **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

II.1 Situation géographique de la wilaya d'Ain Defla.....	16
II.2 Situation du bassin d'étude.....	16
II.3 Présentation de Barrage de Harraza.....	17
II.4. le cadre climatique.....	19
II.4.1. Pluviométrie.....	19
II.4.2. Température.....	19
II.4.3. Le vent.....	20

II.4.4 .Evaporation .....	21
II.5. Analyses climatiques.....	22
II.5.1.Diagramme Ombrothermique.....	22
II.5.2.Indice d'aridité de De Martonne.....	23
II.6.le cadre hydrographique.....	24
II.6.1Relief.....	24
II.6.2 Le couvert végétal.....	24
II.7. Cadre géologique.....	24
I.8.Ressources en eaux.....	25

### **Chapitre III : Matériels et méthodes**

III.1 Matériels utilisé.....	27
III.2. Les données utilisées .....	27
III.2.1. Données de terrain.....	27
III.2.2 Technique d'échantillonnage.....	28
III.2.3Préparations des échantillons.....	28
III.2.4. Séchage broyage et tamisage des échantillons.....	29
III.3.Analyses envisagées.....	29
III.3.1.Analyse physico-chimique envisagées (non réalisées).....	31
III.3.1.1. Analyses physiques.....	31
III.3.1.2. Analyses chimiques.....	32
III.4.1. Détermination de la tenure en carbone organique du sol.....	33
III.4.2. Détermination du stock de carbone organique du sol.....	33
III.5. Estimation du COS par la télédétection.....	34
III.5.1. Les indices numériques de l'occupation des sols.....	34
III.5.2. L'indice de la surface folière et la fraction du carbone estimée (Fc).....	35
III.6. Le modèle numérique de terrain.....	35
III.3.7. Logiciels utilisés.....	36
III.8. Analyse de Corrélation.....	37
III.9. Dynamique saisonnière et détection des changements.....	37

### **Chapitre IV : résultats et discussion**

IV.1. Estimation du SOC en printemps.....	38
IV.2. Estimation du SOC en été.....	38
IV.3.1. Confrontation carbone estimé aux indices de végétation.....	39

IV.3.2. Confrontation carbone estimé aux indices de sol.....	40
IV.3.3. Confrontation carbone estimé à l'indice de la surface folière LAI.....	40
IV.3.3. Confrontation carbone estimé aux paramètres MNT.....	41
IV.3.3.1. Confrontation SOC et l'altitude.....	41
IV.3.3.2. Confrontation SOC et la pente.....	42
IV.3.3.3. Confrontation SOC et l'exposition.....	42
IV.4. Détection de changements Printemps – été.....	42
IV.4.1. Indice de la Surface Folière LAI (printemps – été).....	43
IV.4.2. Stock du Carbone Organique SOC (printemps – été).....	43
IV.4.3. Dynamique Saisonnière SOC – LAI.....	44
Conclusion générale.....	47

# *Introduction générale*

## Introduction générale

Avec le changement climatique, la dégradation des terres et la perte de biodiversité, les sols sont devenus l'une des ressources les plus vulnérables du monde. Les sols sont un réservoir majeur de carbone. Ils contiennent plus de carbone que l'atmosphère et la végétation terrestre réunis. Cependant, le carbone organique du sol (COS) est dynamique et les actions anthropogéniques sur le sol peuvent en faire un puits ou une source nette de gaz à effet de serre (GES). Bien que d'énormes progrès scientifiques aient été réalisés dans la compréhension et l'explication des dynamiques du COS, la protection et la surveillance des stocks de COS au niveau national et international continuent d'affronter de nombreux défis qui compromettent la mise en œuvre de politiques sur le terrain, qui soient adaptées à chaque région. (Lefèvre Clara ; 2017)

Une fois intégré au sol sous forme de matériel organique provenant de la faune et de la flore du sol, le carbone persiste dans le sol pendant des dizaines, des centaines voire même des milliers d'années. Finalement, le COS peut être perdu sous la forme de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ou de méthane (CH<sub>4</sub>) émis dans l'atmosphère, érodé, ou sous la forme de carbone organique dissous (COD), lessivé vers les rivières ou les océans. Les dynamiques de ces processus soulignent l'importance de quantifier les flux globaux de carbone pour assurer les avantages maximum que peuvent produire le COS pour le bien-être des populations, la production alimentaire, ainsi que pour la régulation de l'eau et du climat.

Le COS est le principal composant de la matière organique du sol (MOS). En tant qu'indicateur de la santé du sol, le COS est important pour ses contributions à la production alimentaire, la réduction et l'adaptation au changement climatique et la réalisation des Objectifs pour le Développement Durable (ODD). Un fort taux de MOS fournit les nutriments aux plantes et améliore la disponibilité de l'eau. Tous deux améliorent la fertilité du sol et conduisent à l'amélioration de la production alimentaire. De plus, le COS améliore la stabilité structurelle du sol en promouvant la formation d'agrégats qui, en association avec la porosité, assurent une aération suffisante et l'infiltration de l'eau qui permettent la croissance des plantes. Avec une quantité suffisante de COS, la capacité de filtration des sols permet une meilleure fourniture en eau potable. Cependant, les sols peuvent devenir une source substantielle de GES vers l'atmosphère lorsque la décomposition du COS est accélérée. Bien que l'impact global du changement climatique sur les stocks de COS soit hautement variable en fonction de la région ou du type de sol, l'augmentation des températures ainsi que la fréquence accrue des événements extrêmes est susceptible de mener à de plus importantes pertes de COS.

Globalement, les stocks de COS sont estimés à environ 1 500 PgC pour le premier mètre de sol, même si leur distribution est spatialement et temporellement variable. Les aires d'importance de COS, respectivement celles où le taux de COS est élevé (comme les tourbières ou sols noirs) ou les larges surfaces à faible taux de COS (comme les terres arides) constituent des zones majeures de préoccupation.

Avec le changement climatique et une mauvaise gestion, ces régions sont susceptibles de devenir des sources nettes d'émissions de GES. Cependant, si elles sont gérées de manière durable, elles ont le potentiel de séquestrer de grandes quantités de carbone dans leurs sols, contribuant ainsi à l'adaptation et l'atténuation du changement climatique. (Rekik Fatma ;2017)

## Introduction générale

Dans le cadre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), des accords internationaux tels que le Protocole de Kyoto et l'Accord de Paris ont posé les règles pour définir des limites quant aux émissions de GES. Une composante de ces efforts, doit consister dans l'établissement d'inventaires précis des émissions dues aux changements de stocks de COS qui devraient être rapportés.

Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) fournit des lignes directrices pour la mesure, le compte-rendu et la vérification des stocks nationaux de COS, tout en suivant le cadre Mesure, Rapport et Vérification (MRV). Ce dernier assure que les inventaires contiennent les critères d'intégralité, de transparence, de cohérence, d'exactitude et de comparabilité. Pour assurer une plus grande spécificité et exactitude, des méthodes améliorées sont nécessaires pour mesurer, prendre en compte, surveiller et rapporter sur ce réservoir spécifique de carbone.( **Alcantara Viridiana ;2017**)

Le changement climatique menace au plus haut niveau la sécurité alimentaire de par son fort impact sur l'agriculture. Il présente des effets négatifs sur les cultures, l'élevage et la production piscicole en entraînant des réductions de rendement, des migrations biologiques et la perte de services écosystémiques qui, à terme, mènent à la réduction des revenus agricoles et à l'augmentation des prix des denrées alimentaires. La séquestration du COS permet cependant d'atténuer ces problèmes tout en offrant une partie de la solution au réchauffement climatique. Par conséquent, un nombre de pratiques permettant de conserver le COS doivent être mises en place de manière à atteindre le potentiel maximum de production alimentaire, ainsi que d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Cependant, un nombre d'obstacles à l'adoption de ces pratiques existent. Ils peuvent être financiers, techniques/logistiques, institutionnels, de connaissances, de ressources, ou socio-culturels, aussi bien que des interactions entre ces derniers. Lorsque ces barrières sont combinées à des facteurs abiotiques qui restreignent l'accumulation du COS, elles empêchent l'adoption de pratiques favorables

L'atténuation et à l'adaptation au changement climatique. Malgré quelques solutions permettant de dépasser les obstacles humains, le taux d'adoption global de gestion durable des sols reste relativement bas.

Cette publication vise à fournir une vue d'ensemble des principaux faits scientifiques et informations concernant les connaissances actuelles et les lacunes de connaissances sur le COS, pour les preneurs de décision et praticiens. Elle éclaire sur la manière dont une meilleure information et de bonnes pratiques peuvent être mises en place pour soutenir la lutte contre la faim, l'adaptation et l'atténuation du changement climatique et atteindre un développement global durable (**Wiese Liesl ;2017**)

# **Chapitre I**

## **Synthèse bibliographique**

### **Introduction :**

L'accroissement de stockage de carbone sous forme de matière organique des sols pourrait jouer un rôle important dans la lutte contre l'augmentation des gaz à effets de serre dans l'atmosphère et donc dans la prévention du changement climatique. La quantité de carbone organique contenue dans les sols est évaluée à environ 1500 milliards de tonnes, soit environ deux fois plus que dans l'atmosphère, et trois fois plus que dans la végétation terrestre. Ce carbone se minéralise et retourne à l'atmosphère avec des durées de vie (ou de stockage) très variables, qui dépendent de nombreux facteurs, dont les occupations des sols et les pratiques agricoles. Il est donc important de connaître le potentiel offert par ce « puits » selon les pratiques et les usages.

Une augmentation du stock de carbone organique des sols, même très limitée en valeur relative, obtenue par une réduction de la vitesse de minéralisation, peut mettre en jeu des quantités de carbone très importantes par rapport aux flux nets annuels d'échange avec l'atmosphère. Dans le cadre du protocole de Kyoto, il est de plus nécessaire de savoir dans quelle mesure et avec quelle marge d'erreur ce puits pourra être comptabilisé et revendiqué au titre des négociations.

De ce fait, de nombreux travaux visent à quantifier le plus précisément possible les stocks de carbone organique présents dans les sols, à des échelles allant de la planète entière jusqu'à la placette de suivi. De la précision obtenue par ces estimations, dépend étroitement la possibilité de détecter des changements relatifs souvent très inférieurs aux stocks. Dans cet article, nous examinons différentes estimations des stocks à des échelles allant du globe à la placette expérimentale. Nous en tirons des conséquences méthodologiques sur les mesures réalisées, sur leur interprétation, et sur les changements qu'il sera possible de détecter selon la densité d'échantillonnage.

dans le temps des valeurs de densité apparente du sol (par exemple sous l'effet de tassements), ou par des redistributions liées au travail du sol. Ces constatations amènent les conséquences suivantes:

✓ Les mesures fondées sur de faibles profondeurs (par exemple, les premiers décimètres) de prélèvement sous-estiment largement les stocks totaux,

✓ Les répétitions temporelles de mesures à profondeur constante peuvent être affectées d'un biais lié à la variation des densités apparentes ou à une redistribution du C dans des couches plus profondes que celles mesurées.

Pour s'abstraire de ces conséquences, nous recommandons de réaliser les mesures sur des profondeurs suffisantes, en prenant au moins toujours en compte pour les sols cultivés l'ensemble des couches travaillées et l'horizon sous-jacent (**Jolivet *et al.*, 2002a**) et (ii) de raisonner les comparaisons à masse minérale de sol équivalente. Ce dernier raisonnement peut être obtenu soit a) en réalisant les prélèvements dans des strates successives de faibles épaisseurs dont on calcule la masse minérale de sol, ce qui permet de raisonner ensuite le choix des profondeurs à comparer (**Arrouays et Péliissier, 1994b**), soit b) en utilisant après le prélèvement des calculs destinés à corriger les estimations sur la base d'une masse minérale comparable (**Ellert et Bettany, 1995**).

Nombre d'études publiées dans la littérature ne remplissent pas ces conditions, et sont par conséquent parfois fortement biaisées, ou du moins difficilement interprétables.

Ceci tient en partie au fait que beaucoup d'essais de longue durée n'ont pas été conçus à l'origine pour estimer le stock total de carbone, cette problématique étant relativement nouvelle. Ainsi, lorsque l'on désire analyser les résultats de la littérature,

### **I.1. Généralités sur le carbone :**

Le carbone organique du sol, principale constituant des matières organique, et une préoccupation d'intérêt majeur en raison des enjeux agronomique ( fertilité physique, chimique et biologique des sols ) et environnementaux ( qualité de l'eau, stockage de carbone etc. ) qui lui sont liés .

La perte de la matière organique, donc du carbone organique, se traduit par la dégradation de la structure de sol par une grande vulnérabilité à l'érosion et par une réduction de la fertilité des sols (**Smith et al. 1995**).

### **I.2. Définition :**

#### **I.2.1. Carbone organique du sol :**

Le carbone organique est le principale constituant des matières organiques il représente environ (50%) celle-ci , suivi de l'oxygène(40%) ,de l'hydrogène( 5% ) ,de l'azote (4%) et de soufre (1% ) dans les analyses de terre ,la quantité de matière organique du sol est connue à partir d'une mesure de teneur en carbone organique . Elle correspond une concentration de carbone organique dans le sol, souvent exprimée en g /kg, et représente un indicateur de qualité du sol.

Cette teneur permet de déduire :

- ✓ le pourcentage de matière organique, en la multipliant par 1,72
- ✓ Le stock de carbone organique, indicateur de quantité en la multipliant par la masse de terre fine (fonction de la terre en éléments grossiers, de l'épaisseur de sol et de densité apparente) la teneur est couramment mesurée dans l'horizon labouré (couche superficielle du sol d'environ 30cm d'épaisseur).le stock et donc calculé sur le même horizon

### **I.2.2.COS : un élément de la MOS :**

La matière organique du sol (MOS) décrit les constituants organiques du sol à différents états de décomposition, comme les tissus provenant de végétaux ou d'animaux morts, d'une taille de moins de 2 mm, et organismes du sol. La MOS joue un rôle critique dans la stabilisation de la structure du sol, la rétention et la libération de nutriments pour les végétaux et le maintien de la capacité de rétention des sols. Elle est ainsi un indicateur clé de la productivité agricole, mais aussi de la résilience environnementale. Le renouvellement de la MOS influence le fonctionnement des écosystèmes et le réchauffement climatique section.

La décomposition de la MOS libère des nutriments minéraux. Ces derniers deviennent disponibles et permettent ainsi la croissance des végétaux (**Van der Wal et de Boer, 2017**). Une meilleure croissance des végétaux et une plus grande productivité contribuent ainsi à assurer la sécurité alimentaire.

Différents réservoirs de MOS peuvent être identifiés en fonction du temps nécessaire à sa pleine décomposition et au temps de permanence de ses produits dans le sol (temps de renouvellement)

- ✓ **Le réservoir actif** - renouvellement en quelques mois ou quelques années;
- ✓ **Le réservoir passif** - renouvellement pouvant atteindre le millier d'années.

Une longue période pour le renouvellement des composés du sol ne peut pas seulement s'expliquer par la présence de conditions d'anaérobie, comme dans les tourbières. Elle peut aussi être due à l'incorporation d'éléments de la MOS au sein d'agrégats reliant la matière organique aux surfaces minérales protectrices, à la déconnection spatiale entre la MOS et les décomposeurs et les propriétés biochimiques intrinsèques de la MOS. Les micro agrégats sont considérés comme responsables de la stabilisation des réservoirs passifs (agents stabilisateurs permanents), alors que les macro agrégats et les mottes de terre entourant les petits agrégats sont considérés comme des agents stabilisateurs transitoires (**Tisdall et Oades, 1982; Dexter, 1988**). La stabilisation physique et chimique de la MOS empêche, à différents degrés, la décomposition

microbienne (du fait d'une mobilité restreinte et de l'accès des microbes à la matière organique), ainsi que la diffusion de l'eau, des enzymes et du dioxygène. La stabilisation nécessite une grande diversité d'enzymes microbiennes pour dégrader les macromolécules insolubles que peut comporter la MOS (Van der Wal et de Boer, 2017).

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

✓ **Le réservoir rapide** (aussi réservoir labile ou actif) – Après addition de carbone organique frais dans le sol, la biomasse initiale est décomposée au bout de 1 à 2 ans.

✓ **Le réservoir intermédiaire** - Comprend le carbone organique partiellement stabilisé sur des surfaces minérales et/ou protégé au sein d'agrégats après transformation par les microbes. Le temps de renouvellement est de l'ordre de 10 à 100 ans.

✓ **Le réservoir lent** (réservoir stable ou réfractaire) – COS hautement stabilisé. Le renouvellement très lent (de 100 à plus de 1 000 ans).

Un réservoir lent additionnel de COS qui est présent dans de nombreux écosystèmes est le COS pyrogénique, formé à partir de biomasse partiellement carbonisée (pyrolysée par exemple) durant des feux sauvages (Schmidt et Noack, 2000). Une portion de ce matériel (souvent désigné comme carbone pyrogénique ou carbone noir) a une structure chimique aromatique hautement condensée qui résiste à la dégradation microbienne et donc persiste dans le sol sur de longues périodes (Lehmann *et al.*, 2015)

### **I.2.3. COS : une part spéciale du carbone globale :**

Le grand cycle du carbone, dans lequel entre le carbone organique du sol (COS), prend en compte le cycle du carbone dans le sol, mais aussi dans la végétation, l'océan et l'atmosphère. On estime le contenu de COS à environ 1 500 PgC entre 0 et 1 mètre de profondeur. Cela représente plus de carbone que ce qui est actuellement contenu dans l'atmosphère (environ 800 PgC) et dans la végétation terrestre (500 PgC) réunis.

Cette quantité phénoménale de COS n'est pas statique, mais évolue en permanence au travers de cycles entre les différentes réserves de carbone, sous des formes moléculaires diverses (Kane, 2015).

Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>) sont les principaux gaz atmosphériques contenant du carbone. Dans le sol, les organismes autotrophes (principalement les plantes), ainsi que les microbes photo- et chémi-autotrophes synthétisent du CO<sub>2</sub> provenant de l'atmosphère et produisent ainsi du matériel organique. Le matériel organique mort (principalement sous forme de résidus de plantes ou exsudats) est incorporé au sol par le biais de la faune du sol. Au travers de la transformation du matériel organique par les microorganismes hétérotrophes, du carbone supplémentaire est intégré au sol. Ce processus de transformation du matériel organique résulte en une mixture biogéochimique complexe de composés de la litière des végétaux et de produits de la décomposition microbienne à différents degrés de décomposition (Von Lützow *et al.*, 2006; Paul, 2014). Ces produits peuvent être associés aux minéraux du sol ou bloqués au sein d'agrégats, permettant ainsi la persistance du COS dans le sol pendant des dizaines, des centaines, voire des milliers d'années (Schmidt *et al.*, 2011). Lorsque la matière organique du sol (MOS) est décomposée (ou minéralisée) par les microorganismes, du CO<sub>2</sub> est émis en retour dans l'atmosphère. Les exsudats racinaires tels que l'acide oxalique, qui libère des composés organiques à partir d'associations minérales protectrices peuvent aussi entraîner des pertes de carbone. Finalement, une partie du carbone du sol est aussi exportée vers les rivières et océans sous la forme de carbone organique dissous (COD) ou dans le matériel d'érosion.

En principe, la quantité de COS stockée dans un sol donné dépend d'un équilibre entre la quantité de C qui entre dans le sol et celle qui en sort, comme résultat de la minéralisation microbienne et, dans de moindres proportions, celle qui est lessivée sous forme de COD. A l'échelle locale, du paysage ou de la région, l'érosion ou des dépôts sur le sol peuvent aussi entraîner un gain ou une perte de C, amenant une redistribution du C dans le sol. La quantité de COS stocké est donc principalement contrôlée par la gestion de la quantité et du type de résidus organiques qui entrent dans le sol (c'est-à-dire les apports de C organique dans le système sol) et par la minimisation des pertes de C du sol (FAO et ITPS, 2015).

La température du sol et son contenu en eau sont deux facteurs (principalement déterminés par les conditions climatiques) contrôlant la décomposition de la MOS. Ils influencent grandement le stock de C du sol au travers de leur effet sur l'activité microbienne. La composition de la communauté microbienne (ex: le rapport bactéries/ champignons) peut aussi

impacter la décomposition de certains composés. La récalcitrance chimique présumée de molécules complexes qui accumulent le COS, comme la lignine ou les lipides, ne contribuent pas substantiellement à la persistance de la MOS dans le sol . La persistance de la MOS est plutôt liée à la stabilisation du COS dans la matrice du sol au travers de ses interactions et associations avec les minéraux du sol (**Schmidt *et al.*, 2011**).

Il est nécessaire de quantifier les flux de carbone globaux pour clarifier, entre autres, si les écosystèmes terrestres fixent plus de CO<sub>2</sub> atmosphérique par photosynthèse qu'ils n'en dégagent vers l'atmosphère par respiration. D'une part, le budget de carbone global est déterminé par la concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique et l'assimilation de CO<sub>2</sub> par les océans et les terres et d'autre part, par les émissions dérivées des émissions d'énergie fossile, de l'utilisation et du changement d'utilisation du territoire. L'estimation la plus récente des niveaux de C a indiqué qu'entre 2006 et 2015, les flux allant des terres vers l'atmosphère étaient deux fois supérieurs à la somme des réserves présentes dans les océans et les terres, avec 90 pour cent de ces émissions issues de carburants fossiles et de l'industrie (**Le Quéré *et al.*, 2016**). Entre 1750 et 2011, un tiers des émissions de gaz à effet de serre (GES) anthropogéniques avaient pour origine les changements d'utilisation du territoire (**GIEC, 2014**). Depuis la dernière période glaciaire, les niveaux de CO<sub>2</sub> atmosphériques ont augmenté d'environ 180 à 280 ppm, ajoutant environ 220 ppm Pg al'atmosphère sur une période de 10 000 ans, soit une augmentation d'environ 4.4 PgC/an (**Baldocchiet *et al.*, 2016**).

Les récentes recherches sur la dynamique du carbone du sol et son influence sur le cycle du carbone global ont permis l'amélioration des connaissances liées 1) à l'importance de l'accessibilité du COS, qui à petite échelle permet le renouvellement du C par les microbes à une profondeur de plus de 20 cm (**Trumbore et Czimczik, 2008; Schimel et Schaeffer, 2012; Vogel *et al.*, 2014**), 2) aux relations entre les communautés microbiennes, la dynamique et les propriétés inhérentes au sol dans le cycle du carbone et les autres cycles biogéochimiques à l'influence de la diversité des végétaux dans l'augmentation de l'activité microbienne et le stockage de C dans le sol (**Lange *et al.*, 2015**).

### **I.3.Effets du changement climatique :**

L'accroissement de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre détermine un changement climatique, mais également à une série d'effets complexes et contrastés). Tous les résultats expérimentaux démontrent qu'une augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère

induit une augmentation de la biomasse ou de la production primaire nette (NPP) par un effet fertilisant du CO<sub>2</sub> qui joue un rôle important dans la photosynthèse et la croissance de la plante. Le gain dans la fixation de CO<sub>2</sub> peut être important dans le cas d'un doublement de la concentration de CO<sub>2</sub>. L'augmentation de la production de CO<sub>2</sub> entraîne également une diminution de la transpiration des stomates ce qui produit une meilleure efficacité de l'eau particulièrement pour les plantes en C<sub>4</sub>. Donc, en ce qui concerne l'eau, l'effet net de CO<sub>2</sub> sur la réduction de la transpiration de la plante est favorable. Evidemment, pour obtenir un gain de récolte d'autres besoins de la plante nécessitent d'être satisfaits en particulier l'eau disponible et les éléments nutritifs.

En ce qui concerne le carbone, il y aura une augmentation de la séquestration de carbone par la biomasse au dessus du sol et une augmentation corrélative dans les apports du sol provenant des résidus de végétaux et de la croissance et le dépérissement des jeunes racines. Les composés organiques des racines ont un rapport C/N plus élevé et sont plus stables (**anonyme 1**).

Toujours en ce qui concerne la séquestration du carbone, un autre facteur, la température, qui peut augmenter sur une grande partie du globe, va jouer un rôle important. Ainsi ce réchauffement peut provoquer un taux plus élevé de minéralisation par les microbes et un taux plus élevé de la respiration des racines (**anonyme 1**)

#### I.4. Le cycle du carbone organique :

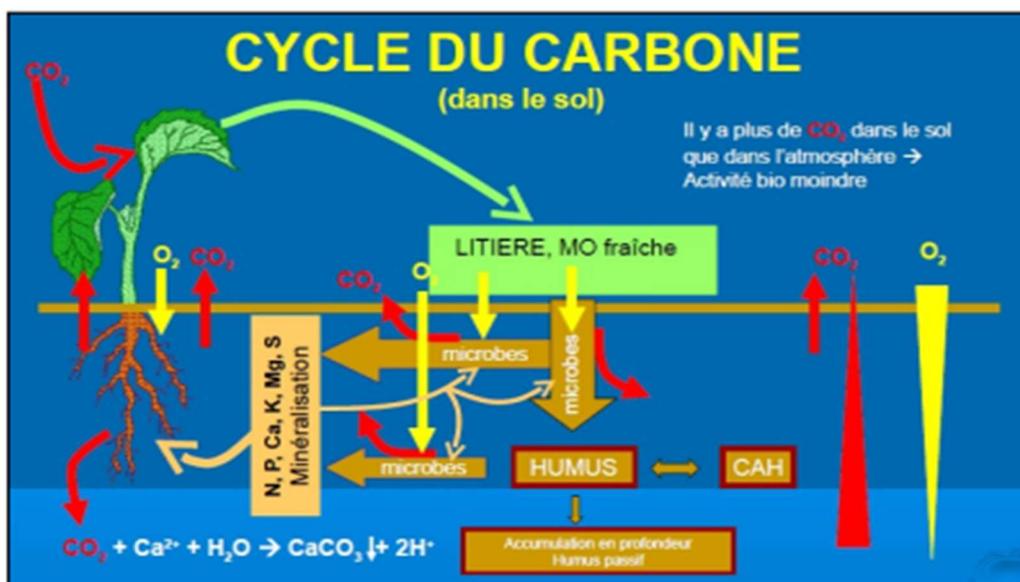


Figure 01. Cycle du carbone dans le sol, (Georges, 2011)

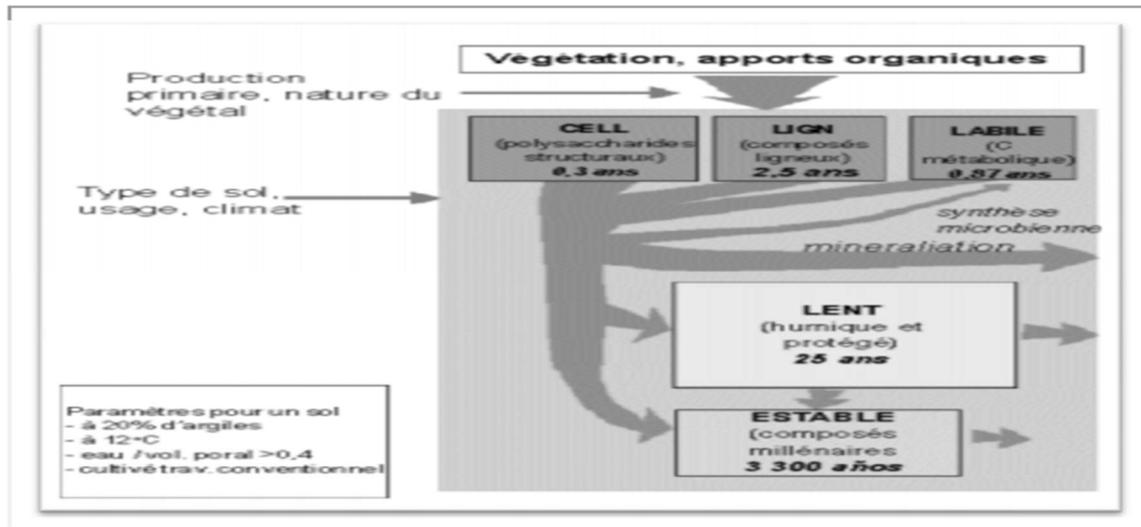
Le carbone est le principal élément de la matière organique du sol et sa présence est un facteur déterminant de la qualité du sol. La perte de la matière organique, donc du carbone organique, se traduit par la dégradation de la structure du sol, par une grande vulnérabilité à l'érosion et par une réduction de fertilité (**Smith et al. 1995**).

Le cycle complexe du carbone (figure 1) mène à un équilibre naturel entre les sources et les puits de C terrestre, autant sous forme minérale et organique que gazeuse. Les formes gazeuses se retrouvent dans l'atmosphère et dans la partie superficielle des sols et des océans et ont un rythme d'échange très rapide de moins de cinq ans. Le C atmosphérique peut également être absorbé par la biomasse terrestre et ainsi être séquestré dans les tissus des plantes. Celles-ci seront par la suite en partie consommées par des organismes hétérotrophes et le C sera ensuite rejeté sous forme gazeuse dans l'atmosphère ou minéralisé dans les sols (**Alexandrov, 2008**).

La vie sur terre influence profondément la composition de l'atmosphère en libérant du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et du méthane (CH<sub>4</sub>). Les processus de respiration et de fermentation fabriquent la plus grande partie de ces émanations. La photosynthèse et la respiration sont les deux réactions chimiques de base du recyclage du carbone (**anonyme**

### **I.5. Dynamique du carbone organique dans les sols :**

Le stock de carbone organique présent dans les sols naturels présente un équilibre dynamique entre les apports de débris végétaux et la perte due à leur décomposition (minéralisation). Dans les conditions normales d'aérobie des sols, la majorité du carbone apporté est labile et seulement une petite fraction (1 pour cent) de ce qui entre dans le sol (55 Pg/an) s'accumule dans la fraction stable qu'est la fraction humique (0,4 Pg/an).



**Figure 02.** Modèle de la dynamique du carbone dans le sol (Balesdent *et al.*, 2000)

La matière organique du sol (MOS) a une composition très complexe et hétérogène et elle est le plus souvent mélangée ou associée aux constituants minéraux du sol. Une grande variété de méthodes ont été développées pour identifier parmi les différents constituants de la matière organique des sols des pools cinétiques, c'est-à-dire des pools ou des compartiments qui peuvent être définis par un temps de résidence déterminé du carbone. La séparation traditionnelle de la matière organique en fraction humique et fulvique, ne sépare pas des fractions qui ont des cycles différents (Balesdent, 1996). Des méthodes de séparation

La matière organique du sol (MOS) a une composition très complexe et hétérogène et elle est le plus souvent mélangée ou associée aux constituants minéraux du sol. Une grande variété de méthodes ont été développées pour identifier parmi les différents constituants de la matière organique des sols des pools cinétiques, c'est-à-dire des pools ou des compartiments qui peuvent être définis par un temps de résidence déterminé du carbone. La séparation traditionnelle de la matière organique en fraction humique et fulvique, ne sépare pas des fractions qui ont des cycles différents (Balesdent, 1996). Des méthodes de séparation physique telles que le fractionnement en fonction de la dimension des particules, le fractionnement densimétrique ou le fractionnement selon la dimension des agrégats permet de séparer des fractions qui ont un sens cinétique. Parmi ces fractions, la matière organique particulaire a été identifiée comme une fraction très sensible à l'usage des terres (Cambardella, 1998; Gregorich *et al.*, 1996). Des méthodes directes existent également pour déterminer la biomasse microbienne qui représente 1 à 5 pour cent de la matière organique totale et est un réservoir d'éléments nutritifs (N, P). C'est une fraction labile qui change avec la saison, mais a aussi une réponse rapide aux changements d'utilisation des terres.

Les différents compartiments de C existant dans le sol ont différents temps de résidence qui peuvent aller d'un an à plusieurs années en fonction de la composition biochimique (la lignine est, par exemple plus stable que la cellulose) à des dizaines ou même des milliers d'années pour la fraction stable. Il y a aussi quelques relations avec la composition mais majoritairement avec le type de protection ou le type de liaison. Très souvent, en considérant le carbone stable, une distinction est faite entre la protection ou la séquestration physique ou chimique; physique signifie une encapsulation de fragments de matière organique par les particules d'argile ou les macro- ou micro-agrégats du sol (**Puget et al., 1995; Balesdent et al., 2000**); chimique signifie des liaisons spécifiques de la matière organique avec d'autres constituants du sol (colloïdes ou argiles), mais le plus souvent cela concerne des composés organiques très stables. Toutefois, le terme général de séquestration qui est utilisé dans le Protocole de Kyoto, ne fait aucune différence et est équivalent au terme de stockage, quelle que soit la forme de carbone.

#### **I.6. Les principaux facteurs influençant le temps de résidence du carbone organique dans les sols :**

L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports organiques au sol et la vitesse de minéralisation (**anonyme 3**)

Les principales variables pédologiques, climatiques et anthropiques affectant le temps de résidence (turnover) du carbone dans le sol sont :

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

D'autres facteurs auraient tendance à augmenter ce temps de résidence :

- ✓ La fréquence des anaérobioses qui induit un rendement microbien moindre.
- ✓ La fréquence de dessiccation du sol, la teneur en carbonates de Ca et Mg contribuent à l'insolubilisation et l'adsorption des MO du sol.
- ✓ La proportion de Ca et Mg échangeables et la teneur en calcaire actif assurent une protection physique des MO du sol.

- ✓ Les carences en azote et phosphore disponibles limitent l'activité des microorganismes.

### **I.7. Mesure des stocks de Carbone dans le sol :**

Lors de l'évaluation des stocks de carbone dans le sol, on ne tient pas compte de la matière organique au-dessus de la surface du sol. Pour les sols cultivés, cela signifie que les résidus des plantes ou des cultures sont considérés comme une phase transitoire ; Les racines sont considérées comme une biomasse de carbone et dans les prairies par exemple, ce compartiment a une importance majeure.

La méthode la plus communément appliquée consiste à déterminer le carbone organique total à différentes profondeurs ou globalement pour un ou plusieurs horizons, et de transformer les données, en tenant compte de la densité apparente du sol. Les statistiques sont calculées sur différents échantillons afin de déterminer les réserves de carbone. Le résultat peut être exprimé en total de kg/m<sup>2</sup>, t/ha ou Gt (Pg) dans des zones et à des profondeurs spécifiées.

Il existe trois références importantes concernant l'évaluation des stocks de carbone des sols au niveau mondial, **Sombroek et al. (1993)** ont utilisé la carte FAO/Unesco des sols du monde au 1/5000000 et environ 400 profils de sols regroupés selon des unités FAO avec détermination des fourchettes et des moyennes de teneurs en carbone et de densité pour chaque unité de sol.

Ils ont été capables d'estimer aussi les stocks de carbone organique par type de sol et le stock au niveau mondial.

### **I.8 .l'estimation du carbone par la télédétection :**

L'analyse bibliographique dans le domaine de la spectroscopie des sols a comporté trois étapes: (a) la collecte, (b) le filtrage des travaux pertinents et (c) l'examen et l'analyse détaillés des travaux relatifs à l'état de l'art. Dans un premier temps, une recherche par mots-clés d'articles de revues évaluées par des pairs a été effectuée à partir de la base de données scientifique Scopus®. Comme mots clés de recherche principaux, nous avons utilisé la requête suivante: «Télédétection» OU «Airborne» OU «Satellite» OU «UAS» AND [«Soil Organic Carbon» OU «Soil Organic Matter»]. Les résultats étaient limités par année, type de document (article) et langue (anglais). Aux fins de la revue, nous nous sommes concentrés sur les articles de la dernière décennie, c'est-à-dire 2008-2018, tandis que des études notables de 2019 ont également été ajoutées. L'analyse Scopus® a donné 382 articles. En limitant la recherche d'articles à ceux qui ont été cités au moins trois fois, le nombre initial d'articles a été réduit à 340. Une exception a été appliquée à cette règle pour les publications publiées au cours des trois dernières années (2017-2019), et donc même zéro citation était acceptable pour les articles spécifiques. Il convient de noter qu'une limite de ce travail est l'exclusion des articles et des rapports avec moins de trois

citations qui peuvent augmenter le risque d'exclure des articles et des résultats importants. Les articles de recherche étaient limités à 37 après un processus de pré-lecture, c'est-à-dire une sélection manuelle basée sur le titre, le résumé, le résumé graphique (si présenté), les faits saillants et l'évaluation des mots-clés. Dans un deuxième temps, sur la base de l'évaluation en texte intégral, les articles les plus pertinents ont été localisés et évalués en profondeur aux fins de la revue. Certains articles ont été exclus en raison d'une justification insuffisante des résultats. Étant donné que Scopus peut ne pas récupérer un pourcentage significatif des travaux connexes **Schillaci, C.; Saia, S.; Acutis, M** , les revues et enquêtes précédentes **Gehl, R.J.; Rice, C.W.; Davis, M.; Alves, B.; Karlen, D.; Kline, K.; Galdos, M.; Abulebdeh, D Viscarra Rossel, R.A.; Walvoort, D.J.J.; McBratney, A.B.; Janik, L.J. N Ladoni, M.; Bahrami, H.A.; Alavipanah, S.K.; Norouzi, A.A. Stenberg, B.; Rossel, R.A.V.; Mouazen, A.M.; Wetterlind, J. Croft, H.; Kuhn, N.J.;Pádua, L.; Vanko, J.; Hruška, J.; Adão, T.; Sousa, J.J.; Gholizadeh, A.; Boru °vka, L.; Saberioon, M.; England, J.R.; Viscarra Rossel, R.A.; Armando, R.** ont été examinées plus en détail pour les travaux connexes et les références de la sélection les articles ont également été évalués, ce qui a donné 28 articles au total.

**Chapitre *II***  
**Présentation de la zone**  
**D'étude**

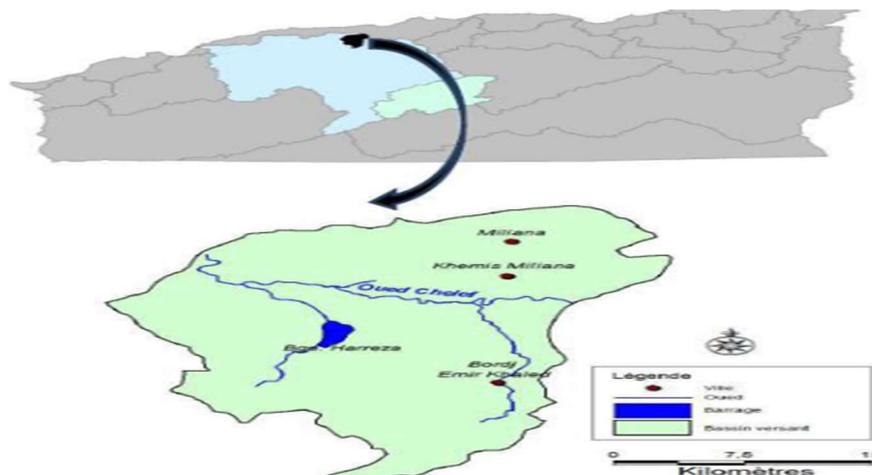
### II.1 Situation géographique de la wilaya d'Ain Defla

Elle est située à 150 km au Sud- Ouest d'Alger. Elle est limitée au Nord par la wilaya de Tipaza, à l'Est par celles de Médéa et Blida, à l'Ouest par celle de Chleff, au Sud par la wilaya de Tissemsilt. Elle compte 14 Daïras et 36 communes.

### II.2 Situation du bassin d'étude

Le bassin versant de l'oued Harreza fait partie du bassin de l'oued Cheliff. Il se situe 120 Km à l'Ouest d'Alger, La région d'étude se situe dans la région Ouest de l'Algérie, elle appartient au haut Cheliff plus précisément dans le bassin d'Oued Harreza codé 01-17, il couvre une superficie de l'ordre de 1423 km<sup>2</sup>.

L'oued Harreza parcourt une distance de 40,5 Km suivant une orientation Nord-Ouest. Au Sud du bassin, le relief atteint une altitude de 765 mètres, tandis que le point le plus bas est à l'exutoire avec une altitude de 313 mètres. Le bassin versant est drainé par l'oued Harreza et ses affluents. Du côté Est, l'oued Dar Emial prend sa source dans le relief de Beni Zougzoug et vient se jeter dans l'oued Harreza. L'oued Slimane se joint à l'oued principal en drainant la partie Ouest du bassin versant. Le bassin versant de Harreza est situé dans la zone géologique comprise entre le massif schisteux de Boumaad et les premiers contreforts de l'Ouarsenis. Cette zone comprend les massifs montagneux des Zaccar, la partie orientale du Doui, la plaine de Cheliff et les collines occidentales des Beni-Menacer. Les reliefs, d'une altitude supérieure à 1.500 mètres, sont formés de calcaire, de schistes métamorphisés et de roches éruptives profondément entaillées par les ravins abrupts. Ils sont couverts de chênes verts et de quelques boisements et pins localisés. Les marnes offrent de plus larges collines qui constituent, avec la plaine du Cheliff, les régions cultivées. Dans la vallée, on trouve des limons argileux ainsi que des marnes et de l'argile (Mohammedi et Mayou.2015).



**Figure03.**Présentation du bassin d'étude (Mohammedi et Mayou.2015)

### II.3 Présentation de Barrage de Harreza

Le barrage est implanté sur l'oued Harreza à environ 14 Km de la ville d'Ain Defla. Il est destiné à satisfaire partiellement les besoins en eau d'irrigation de la Haute plaine de la rive gauche du Cheliff, par stockage des eaux de l'oued Harreza et les eaux pompées à partir de l'oued Deurdeur par la station de Khemis II (ONID).

Les caractéristiques du barrage de Herraiza sont présentées comme suit :

- ✓ Superficie du bassin versant : 1 423 Km<sup>2</sup>
- ✓ Apport moyen interannuel du bassin versant : 30,8 Hm<sup>3</sup>
- ✓ La capacité initiale du barrage : 70 Hm
- ✓ La capacité estimée (2003) du barrage : 69,20 Hm<sup>3</sup>
- ✓ Volume régularisé : 23,00 Hm<sup>3</sup>/an
- ✓ Apport réel au barrage : 3,52 Hm<sup>3</sup>/an (période 1997 - 2003)
- ✓ Taux d'envasement : 1%

Destination : il est destiné à renforcer l'irrigation du périmètre du Haut Cheliff avec un volume affecté annuellement de l'ordre de 23 Hm<sup>3</sup>.



**Figure 04.** Localisation de barrage HARREZA. (Source : Kelkouli et Hamdoud, 2019)

**II.4. Le Climat**

Le bassin versant de Harrezaest caractérisé par un climat semi-aride au climattempéré. L'examen de la carte des précipitations du bassin Cheliff-Harreza mis en évidence deux zones distinctes : l'une dans le Nord comprend la vallée du Cheliff où la pluviométrie moyenne est comprise entre400 mm dans les basses plainesDans la suite de l'année hydrologique (septembre-août) les précipitations sont reçues dans les mois d'octobre à mai et sont insignifiantes en juillet et août, juin et septembre étant des mois de transition.

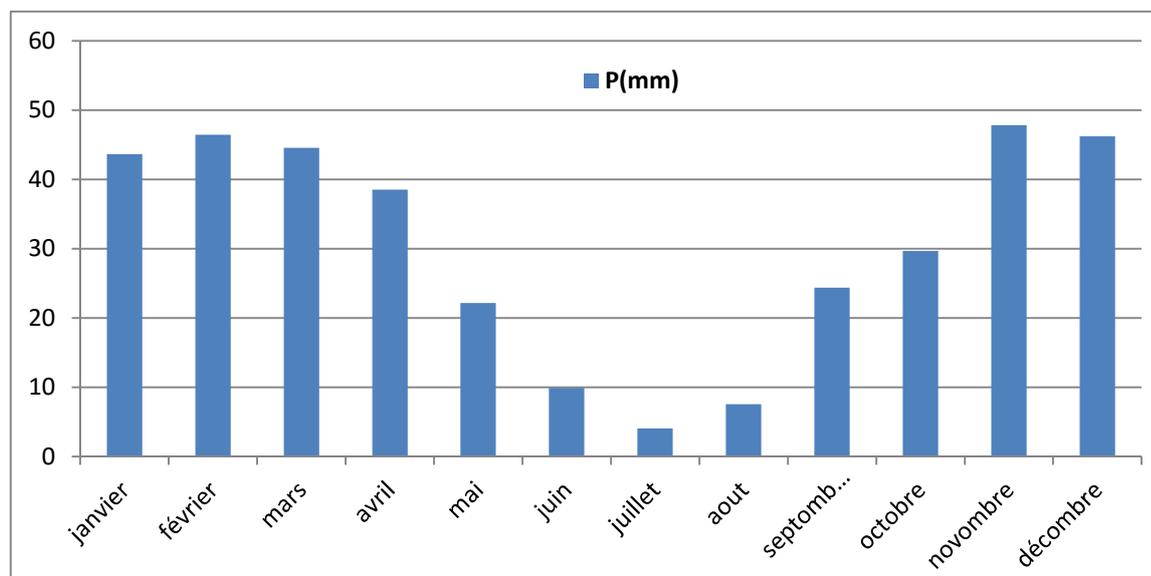
**II.4.1. Pluviométrie**

La pluviométrie est parmi les principales composantes du climat qui contribue à la désertification des zones arides. En fait, l'aridité est une conséquence d'un déficit de précipitation par apport à l'évapotranspiration durant une période plus ou moins longue de L'année (Arrignon, 1987).

**Tableau01.**Précipitation moyenne mensuelle en (mm) période (2005-2014)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P(mm)	43,65	46,47	44,56	38,53	22,17	9,88	4,04	7,55	24,35	29,57	47,82	46,24

(Source : ANRH, 2016)



**Figure 05.**Variation des précipitations mensuelles (1987 – 2014)

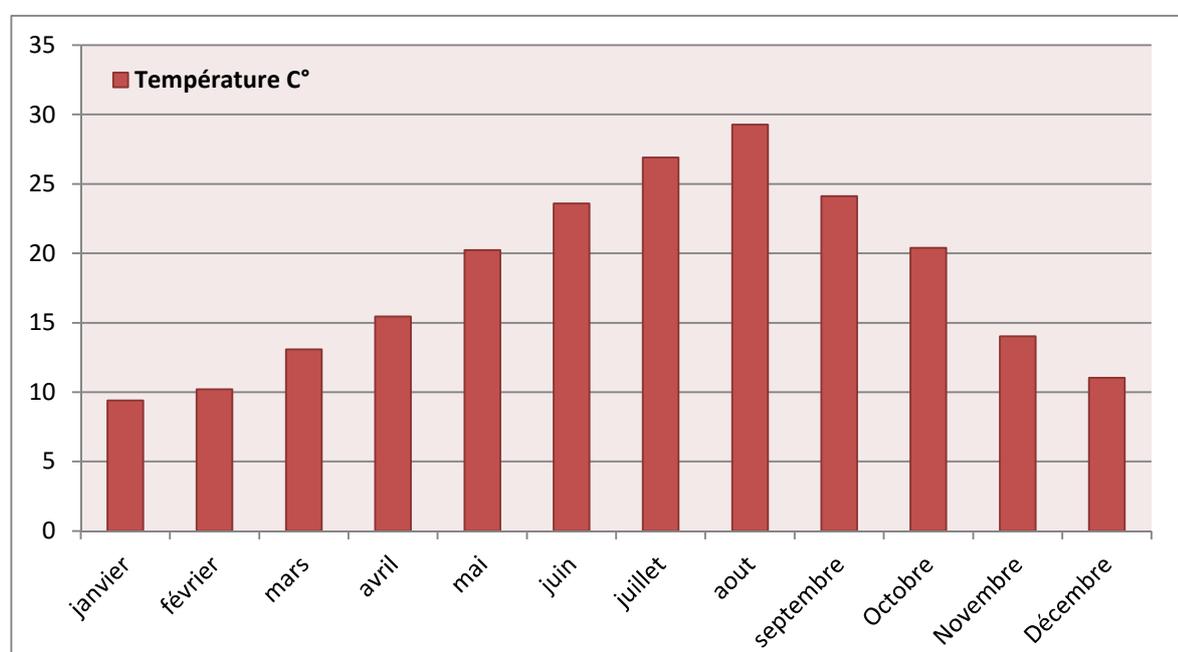
**II.4.2. Température**

La température, deuxième facteur constitutif de climat qui influe sur le développement des végétations. Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont influence sur la végétation sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (Greco, 1966). Le tableau 1 exprime les moyennes de températures de la station météorologique de Barrage de HARREZA sur la période de 1987 à 2014.

**Tableau 02.** Moyennes mensuelles des températures de la station de barrage HARREZA (1987 - 2014)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tc°	9,4	10,21	13,07	15,44	20,24	23,59	26,91	29,18	24,13	20,40	14,03	11,04

(Source : ANRH, 2016)



**Figure 06.** La température moyenne mensuelle (1987-2014)

### II.4.3. Le vent

Le vent est un paramètre climatique qui agit sur le transport des fines particules de sable. En plus il est considéré comme un facteur provoquant de l'évaporation de l'eau.

Les vents qui viennent du Nord, bien chargés en air humide venant de la méditerranée, sont empêchés de passer vers la partie intérieure du bassin par la barrière constituée de l'Atlas qui s'allonge d'Ouest en Est.

**Tableau N° 03 :** vitesse de vent moyenne mensuelle en (Km/h) période (2005-2014)

ANRH

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
V(km /h)	3,58	3,82	3,28	3,19	3,65	3,23	3,38	3,19	3,31	3,22	3,44	3,5

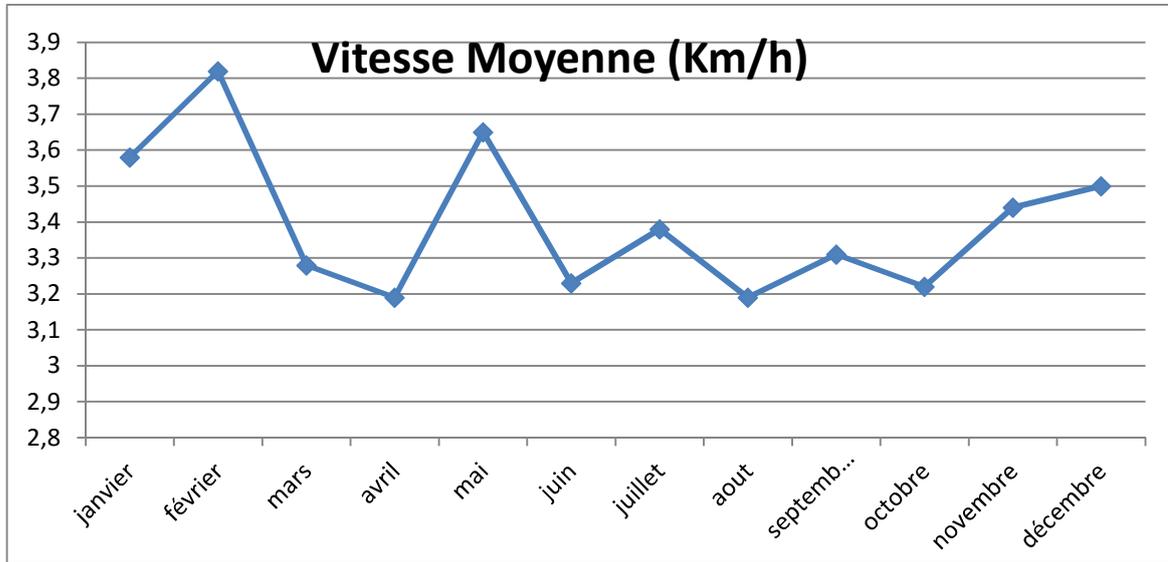


Figure 07. Variation de vitesse de vent mensuelle

**II.4.4. Evaporation**

L'évapotranspiration est un facteur important dans le bilan hydrologique. C'est un paramètre essentiel pour l'évaluation des besoins en eau des cultures, et par conséquent pour la demande en eau à prendre en compte dans la planification.

**Tableau 04.** Moyennes mensuelles de l'évaporation de la station de barrage HARREZA(1987/2014)

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Eva	31,68	41,37	44,71	66,59	75,63	152,85	200,12	177,98	135,77	81,37	53,25	41,88

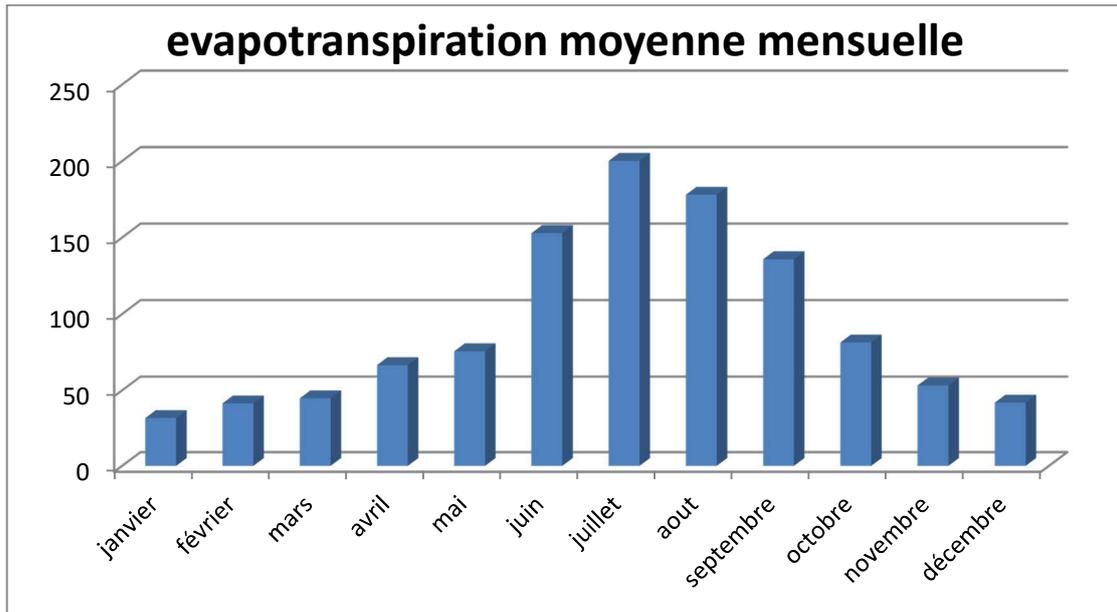


Figure 08. L'évaporation moyenne mensuelle (1987 - 2014)

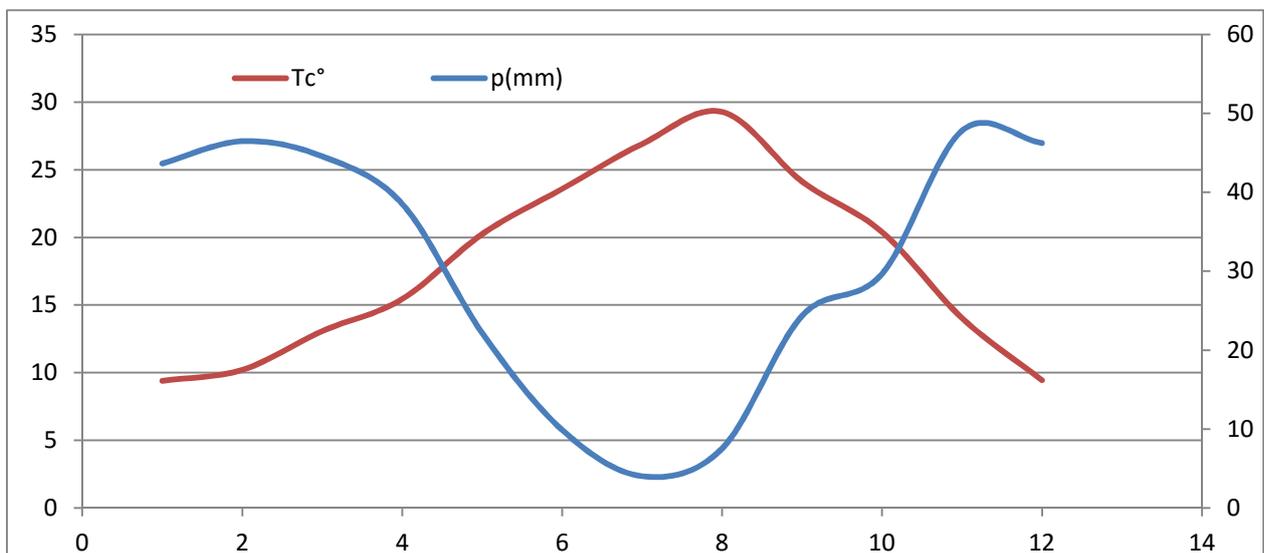
## II.5. Analyses climatiques

### II.5.1. Diagramme Ombrothermique

Le Diagramme Ombrothermique de Gaussen (1953) ou le diagramme pluviométrique de Gaussen est une représentation graphique de variation de précipitation et de température en fonction du temps (mois) qui nous permet de déterminer la période sèches et humides d'une région (figure 8). Bagnouls et Gaussen (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation  $P \leq 2T$ , avec :

**P** : moyenne mensuelle des précipitations en (mm)

**T** : moyenne mensuelle des températures en (°C) avec  $T = (M+m)/2$



**Figure 09.** Diagramme Ombrothermique de Gaussen 1987 – 2014.

D'après les résultats de Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnols de la Station d'ANRH entre 2005 et 2014, on remarque une longue période de Sécheresse. Elle s'étale sur six mois allant du mois de mai au mois d'octobre.

### **II.5.2. Indice d'aridité de De Martonne**

DE Martonne (1926) a défini un indice d'aridité utile pour évaluer l'intensité de la sécheresse exprime par la relation suivante :  $I = P / (T+10)$  P : Précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : Température moyenne annuelle en (°C). Il est d'autant plus grand que le climat est humide.

Pour notre étude

on a :

La précipitation moyenne annuelle en (mm) : 414.96 mm

La température moyenne annuelle en (°C) : 18.05°C

Expression de résultat :  $I = P / (T+10) = 414.96 / (18.05+10) = 14.97$

## **II.6. Le cadre hydrographique**

### **II.6.1. Le Relief**

Les limites du bassin du Cheliff-Harreza sont très nettes sur la partie tellienne où elles suivent rigoureusement les lignes de crête ; elles sont souvent très floues en ce qui concerne la ligne de partage des eaux le séparant du bassin du Sahara, au Sud, car la limite endoréisme/exoréisme est localement imprécise. De ce fait, le calcul de la superficie de la RHCZ diffère souvent d'un opérateur à un autre.

### **II.6.2 Le couvert végétal**

La couverture végétale est assez importante, elle est estimée à 45 % de l'ensemble du bassin. La végétation se trouve au Nord et au Sud de la plaine

La plaine de haut Chélif est à vocation essentiellement agricole, les arbres fruitiers en rive droite de l'oued Chélif et céréaliculture en rive gauche. Une irrigation intensive est nécessaire pendant 6 mois de l'année (Mars à Août).

On note que le bassin manque d'un couvert végétal forestier dense, seuls subsistent les forêts au sud du bassin, mais souvent dégradées, Cette absence d'une couverture végétale arbustive dense, favorise le phénomène de l'érosion et provoque des dégâts tels que, les pertes des terres cultivables et l'envasement des ouvrages hydrauliques existants au niveau de ce bassin.

### **II.7. Cadre géologique**

Le Haut Cheliff, situé au Nord de l'Ouarsenis, est allongé grossièrement d'Est en Ouest sur plus de 60 Km de long et une moyenne de 25 Km de large (Benmeridja, 2004).

Notre zone d'étude située dans le Haut Cheliff (plaine de Khemis-Miliana) correspond à une dépression subsidant constituée essentiellement par des alluvions primaires et jurassiques de Zaccar et du Doui oriental.

Le sous-sol géologique de la région étudiée est divisé en :

- ✓ Calcaires jurassiques
- ✓ Les aquifères du miocène
- ✓ Les aquifères du Pliocène
- ✓ Les aquifères alluvionnaires du Quaternaire

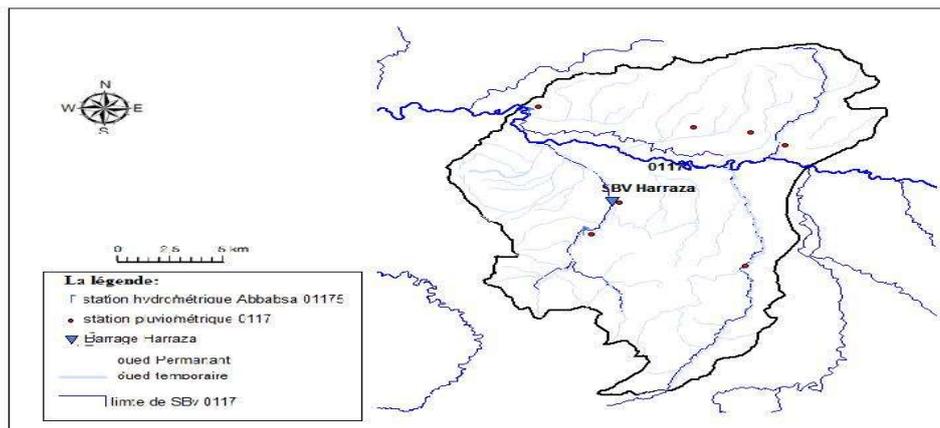
### **I.8. Ressources en eaux**

Les ressources en eaux superficielles sont constituées principalement des eaux de surface du bassin versant d'oued Harreza. Les principales ressources qui convergent vers ce bassin versant sont :

**Oued Harreza** est également un oued du sud (Ouarsenis). Il est caractérisé par un débit élevé du fait de l'importance de sa surface d'impluvium. Dans sa partie aval, il s'écoule dans la plaine où il présente un inféro flux en relation avec la nappe alluviale et rejoint, plus en aval, l'oued Cheliff. (Nefidsa. K ; 2013).

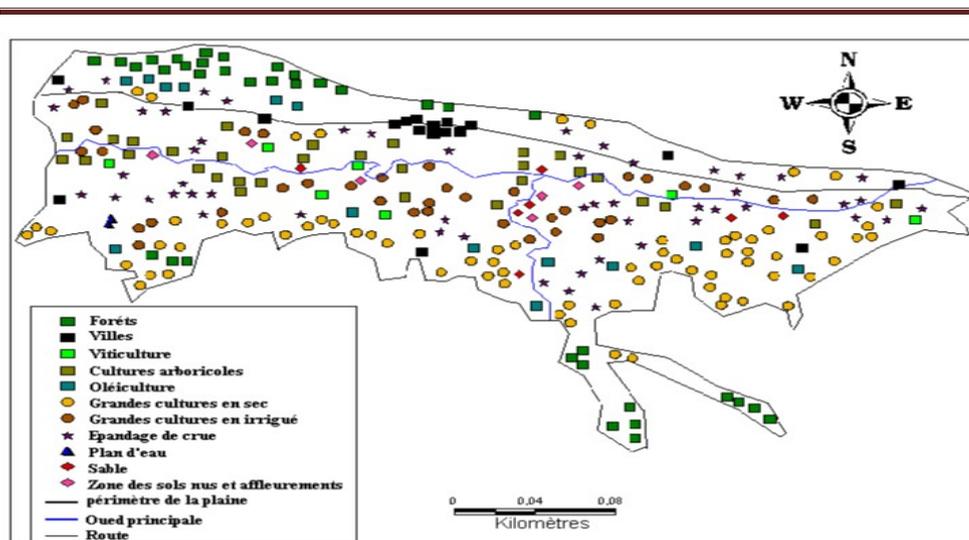
**Oued Deurdeur**: qui prend sa source dans les amonts d'Ouarsenis au sud du secteur d'étude. Il traverse la plaine sur plusieurs Km avant de confluer avec l'oued Cheliff.

**Barrage de HARREZA**: le barrage est implanté sur l'oued Harreza à environ 14 Km de la ville d'Ain Defla. Il est destiné à satisfaire partiellement les besoins en eau d'irrigation de la Haute plaine de la rive gauche du Cheliff, par stockage des eaux de l'oued Harreza et des eaux pompées à partir de l'oued Deurdeur par la station de Khemis II (ONID).



**Figure 10.** Carte des réseaux hydrographiques de bassin versant de HARREZA (Harkat, 2018)

La région du Haut Cheliff en général, est à vocation agricole. La prédominance de l'arboriculture fruitière couvre environ 47% de la superficie cultivée totale sur les plaines et les terrains à faible pente. Les cultures céréalières et maraîchères (principalement pomme de terre), arboriculture fruitière et oléiculture, cultures industrielles occupent en plaine, et dans les zones de montagnes, occupent par les cultures en sec (céréales et fourrages) et l'élevage ovin et caprin. Le pourcentage plus élevée de la superficie forestière de la plaine du Haut Chélif occupent par des arbres pin d'Alep, Chêne lièges et de chêne verts (Ratta et Krelouf, 2012).



**Figure 11.** Carte digitalisé de l'occupation du sol (Source : DSA :2013)

# **Chapitre III**

## **Matériel et méthodes**

L'objectif de notre étude est l'estimation de stock du carbone organique de sol et la comparaisent entre les indices de végétation ;les indices de sol et d'eaux et leur relation avec le taux de carbone dans le sol durant la saison de printemps et d'été.

### III.1 Matériels utilisé

- **GPS** : permet de donner en quelques instants votre position en longitude et latitude (minimum de 3 signaux captés), et éventuellement votre altitude (minimum de 4 signaux captés) quel que soit l'endroit où vous vous trouvez à la surface du globe.
- **Google Earth** : est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires. Anciennement produit par Keyhole inc., alors d'accès payant, ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises. Ainsi un habitant d'une métropole peut localiser son restaurant préféré, obtenir une vue en 3D des immeubles de la métropole, alors que la résolution des photos d'une bonne partie de la Terre est très faible. La couverture, d'après Google, devrait s'améliorer rapidement. La modélisation en 3 dimensions des constructions, initialement réalisée à l'aide du logiciel Sketch Up, est maintenant créée automatiquement à l'aide d'algorithmes utilisant pour une part les prises de vues Street View et des données d'altitude.

### III.2. Les données utilisées

Pour atteindre les objectifs de ce travail, on a utilisé 2 types des données :

-  Les données de terrain.
-  Les données satellitaires

#### III.2.1. Données de terrain

La démarche méthodologique s'est basée sur les axes de travail fixé au début et qui se révèlent principale objectif identifier l'estimation de stocke de carbone dans barrage Harreza ; une campagne d'échantillonnage. En total, 33 échantillons de sol ont prélevés (le premier prélèvement effectué durant le 27 février 2020, ces derniers ont été prélevés sur le site de barrage de HARREZA durant le 4 mars 2020.

#### III.2.2 Technique d'échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés à partir des points de barrage Harreza à l'aide d'une tarière manuelle par tranche de 10 cm jusqu'à 30cm de profondeur du sol pour évaluer le

stock de carbone organique dans le sol. Les échantillons de sols prélevés étaient stockés dans des sachets en plastique bien fermés, nommés par des codes.

Tous ces échantillons ont été conditionnés / séchés à l'air libre au laboratoire de pédologie.



**Photo** : Sacs de conservation



**Photo** : Tarière

**Figure N° 12** : Matériel utilisé pour relèvement des échantillons du sol (Bachir Cherif Hanane 2020).

### III.2.3 Préparations des échantillons

#### ✚ 1<sup>er</sup> campagne : 27 Février 2020

On a prélevé quatre (15) échantillons du sol sur une profondeur de 10cm et 30cm.

#### ✚ 2<sup>ème</sup> campagne : 04 mars 2020

On a prélevé quatre (18) échantillons du sol sur une profondeur de 10cm et 30cm.



**Figure N°13 :** Prélèvement de l'échantillon dans le bassin versants de Harreza (cliché hadj moussa chaimaa 2020).

#### III.2.4. Séchage broyage et tamisage des échantillons

Avant de procéder à toutes les analyses, les échantillons sont soumis au séchage, broyage et tamisage à 2mm de diamètre, ensuite la terre fine est conservée jusqu'au moment des analyses.

- Le séchage des échantillons a été fait dans un endroit sec (l'air libre) pendant quelque jour



**Figure N°14:** Séchage des échantillons à l'air libre (Cliché de Djihane et Hanane 04 mars 2020).

#### III.3. Analyses envisagées

✚ Le tableau suivant montre les différentes mesures et analyses effectuées.

**Tableau05.** Récapitulatif des mesures des analyses aux laboratoires

	Paramètres mesurés	Méthode
Physique	Conductivité électrique (CE)	Conductimètre (Multi paramètre) (Extrait de pate saturée)
	Potentiel hydrique (PH)	PH –mètre (Multi paramètre) (Extrait de pate saturée)
	Granulométrie	Pipete de robinson Tamisage
Chimique	Matière organique (MO)	Méthode colorimétrique
	Calcaire totale	Méthode de Drouineau
	Calcaire actif	Méthode de Drouineau
	Phosphore Assimilable	Méthode colorimétrique (Méthode d'extraction TRUOG)
	Métaux lourd	ICP-MS

Source : (Yahiatene, 2006)

### III.3.1. Analyse physico-chimique envisagées (non réalisées)

#### III.3.1.1. Analyses physiques

##### a) Mesure de la conductivité électrique (CE)

La Conductivité électrique de la pâte saturée (CEe) est une méthode qui a servi de standard pour mesurer la charge en sels solubles dans le sol. Elle est mesurée selon la méthode préconisée par le laboratoire de Riverside; (Richards, 1954).

🚦 La mesure faite par l'appareil de conductimètre.

**Tableau06.** Échelle de salinité du sol

CE ms/cm à 25°C	Degrés de salinité
$CE \leq 0.6$	Non salé
$0,6 < CE \leq 1,2$	Peu salé
$1,2 < CE \leq 2,4$	salé
$2,4 < CE \leq 6$	Très salé
$CE > 6$	Sols extrêmement salés

(Labadlia et Benzerhouda, 2017)

##### b) Mesure de pH

Le pH de la solution qui entoure les particules de terre à l'état naturel est sujet à des variations en fonction des changements dans les rapports terre/solution motivés par le climat, la culture et d'autres facteurs (Nomane, 2011).

✚ La mesure faite par l'appareil de PH-mètre.

**Tableau 07** : La gamme de pH des sols

PH	Désignation des sols
PH < 4,4	Extrêmement acides
4,5 - 5,5	Très acides
5,5 – 6,5	Moyennement acides
6,5 – 7,5	Neutres
7,5 – 8,5	Légèrement à moyennement alcalin
8,5 – 9	Alcalins
PH > 9	Très alcalins

(Gauchers et Soltser. ,1981)

### c) Granulométrie

L'analyse granulométrique est une définition de la texture du sol à partir de la répartition pondérale des particules classées par dimension. Parmi les constituants du sol, il y a lieu de distinguer deux fractions : les éléments grossiers (pierres, graviers, fragments organiques) et la terre fine (sable de 2 à 0,05 mm, le limon de 0,05 à 0,02 mm et l'argile inférieure à 0,002 mm). Dans certains cas il est intéressant d'apprécier la proportion des éléments grossiers que contient le sol, compte tenu du rôle qu'ils jouent (réserve en eau, dilution du stock des éléments assimilables, réduction de la cohésion et du tassement) (Gagnard et al. 1988).

#### III.3.1.2. Analyses chimiques

##### a) Dosage du carbone organique

Après décarbonatation à L'HCL 0.5N et séchage à 50°C /24H l'échantillon est calciné à 1200°C avec flux d'oxygène. Le CO<sub>2</sub> et CO dégagés sont proportionnels au carbone total de l'échantillon. (Méthode Iso 10694 : 1995F) (Le conseil canadien des ministres de l'environnement, 2001)

##### b) Matière organique (MO)

La matière organique du sol est un indicateur important de la dégradation de la qualité des sols de par sa contribution dans la stabilité du sol, l'augmentation de la capacité de rétention en eau du sol, la fixation des éléments minéraux, et le substrat pour les microorganismes du sol. Le contenu en matière organique des sols est influencé globalement par les facteurs climatiques, la

végétation, la texture du sol, les conditions topographiques, influençant le microclimat et le drainage et les pratiques culturales (Drouet, 2010).

**Tableau 08** : Échelle d'interprétation de la MO

Classe du sol	MO (%)
Très pauvre	<0, 7
Pauvre	0,7-1, 5
Moyennement pauvre	1,5-3
Riche	3-6
Très riche	>6

(Beggar et Bouchahmi 2017)

Pour déterminer la teneur en matière organique (MO), la formule suivante a été utilisée :

Pert au feu (%de pois sec)

$$PAF = \frac{(A-B)*100}{A} = MO$$

Avec :

**A** : masse d'échantillon a 150°C, en gammes sans le creuset.

**B** : masse des cendres, en gammes sans le creuset.

#### III.4.1. Détermination de la teneur en carbone organique du sol

La teneur en carbone organique du sol (COS) a été obtenue par la formule suivante :

La teneur en carbone organique du sol  $COS = MO / 1.724 = MO * 0.58$  (Allen 1974)

#### III.4.2. Détermination du stock de carbone organique du sol

Le stock de carbone du sol s'obtient par la formule suivante (t/ha)=

$$\text{Stock de carbone du sol (t/ha)} = \frac{Da \% COS S X p}{100}$$

Avec :

**Da** : densité apparente en tonnes /m<sup>3</sup>.

**%COS** : teneur en carbone organique du sol.

**S** : surface en m<sup>2</sup>.

**P** : profondeur.

#### III.5. Estimation du COS par la télédétection

La cartographie et le suivi des stocks de carbone dans les sols par l'application de la télédétection est de plus en plus utilisée ces dernières années à cause de la disponibilité de l'information contenue dans l'imagerie satellitaire à l'échelle de pixel. Le potentiel des

satellites pour mesurer les stocks de carbone du sol fournissent différentes approches qui ont été développées et utilisées pour estimer le stock d carbone du sol.

**III.5.1. Les indices numériques de l’occupation des sols**

L’analyse spatiale se fait essentiellement par une expression mathématique numérique qui se base sur la combinaison des bandes de l’image. Des indices de sol, de l’eau et de végétation sont calculés pour détecter le comportement spatial des unités de surface et les confronter statistiquement aux données de terrain. Trois indices pour la végétation, trois pour le sol et un de l’eau sont les principaux indices utilisés dans notre étude (Tab.15).

**Tableau 09 :** Les indices numériques liés à l’occupation du sol

Indice	Expression	Formule
Végétation	NDVI (Rouse et al, 1974)	$(PIR-R)/(PIR+R).....(1)$
	RVI (Pearson et Miller, 1972)	$PIR/R .....(2)$
	MSAVI (Pearson et Miller, 1972)	$[(1+L) (PIR-R)] / (PIR+R+L)].....(3) \text{ avec } L = 0,5 \text{ pour diminuer l'effet du sol}$
Sol	IBc (Manière et al, 1993)	$V^2+ R^2 + PIR^2 .....(4)$
	IR (Pouget et al, 1989)	$R^2/PIR^2 .....(5)$
	IC (Pouget et al, 1989)	$(R-V)/ (R+V).....(6)$
Eau	NDMI (ESRI, 2011)	$(PIR-MIR_1)/ (PIR+MIR_1).....(7)$

**III.5.2. L’indice de la surface folière et la fraction du carbone estimée (Fc)**

Le LAI est calculé par l’équation ou la fraction de NDVI maximale couverte par les plantes est soustraite de la valeur moyenne divisée sur la différence max moins min :

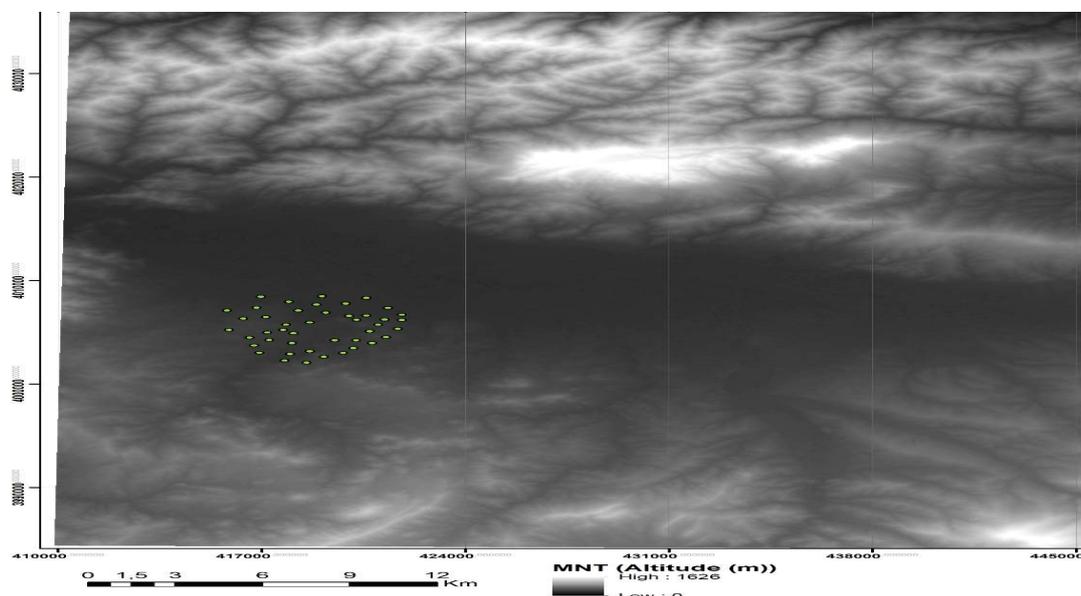
- $$LAI = \frac{(NDVI_{MAX} - NDVI_{MOY})}{(NDVI_{MAX} + NDVI_{MIN})} ..... (8)$$

Ensuite, la fraction estimée du stock de carbone près de la surface est donnée suivant l’équation :

- $$F_C = \frac{1}{\log(LAI) + 2} .....(9)$$

**III.6. Le modèle numérique de terrain**

On a utilisé un modèle numérique de terrain téléchargé du même site de la NASA, de type ASTER GDEM (fig.12) avec une résolution spatiale de 30 mètres et géoréférencement UTM WGS-84, Zone 31 Nord. Il couvre la partie est de la vallée de Cheliff y compris le Haut Chélif dans lequel on montre la répartition des points de terrain collectés.



**Figure 12 :** le modèle numérique de terrain utilisé et la distribution des échantillons collectés du bassin de Harreza.

### III.3.7. Logiciels utilisés

#### Arc Gis

Arc Gis est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG).

Développé par la société américaine Esri (Environmental Systems Research Institute), il regroupe des logiciels clients (ArcView, Arc Editor, Arc Info et Arc Explorer) et des logiciels serveurs (ArcSDE et ArcIMS) (A.Midekor et J.Wellens, 2007). Il permettent l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement des données géographiques, de plus il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée (F.Guerreiro, 2012).

#### Surfer 8

Surfer 8 est un logiciel écrit pour Windows, 98, me, 2000 et XP. Surfer transforme les données XYZ pour créer des cartes de contour, des cartes de surface 3D, des cartes en relief 3D, des cartes en relief ombrées des couleurs arc-en-ciel, des cartes "image", des cartes post, classes post, cartes vectorielles et cartes de base. Il peut calculer des sections transversales, des surfaces et des volumes.

**III.8. Analyse de Corrélation**

Des confrontations de corrélation ont été conduites entre les Valeurs de SOC estimé et les données issues de la télédétection et le MNT :

- ✓ Entre le SOC et les différents indices de sol, eau et de végétation des deux saisons ;
- ✓ Entre les indices, la pente et l'exposition sur les deux saisons
- ✓ Entre le SOC est l'indice LAI

**III.9. Dynamique saisonnière et détection des changements**

L'analyse de détection du changement comprend de nombreuses méthodes dont le but est d'identifier, de décrire et de quantifier, les différences dans l'estimation du carbone à travers les deux saisons étudiées.

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussion**

Nous avons estimé le carbone organique du sol (SOC) en utilisant des données satellitaires durant deux saisons consécutives (printemps et été de l'année 2020) dans le bassin de Harreza situé dans la plaine du Haut-Cheliff. Cette étude a utilisé les données de réflectance dans le visible, le proche infrarouge et le moyen infrarouge du satellite Sentinel-2. Les valeurs estimées seront par la suite confronté à des indices de végétation notamment le NDVI, RVI et MSAVI, ainsi des indices de sol par le biais de l'indice de brillance (Ibc), de couleur (IC), de rougeur (IR) et de l'humidité relative (NDMI)

**IV.1. Estimation du SOC en printemps**

L'estimation du SOC à l'aide de l'image Sentinel-2 du printemps (Mars 2020) montre une présence modérée à moyenne du carbone organique dans le sol durant cette saison (tableau....), ceci est dû à l'activité chlorophyllienne qui se caractérisent par les plantes durant cette période de l'année ou la majorité de la végétation est en phase de développement physiologique et mènent une dynamique fonctionnelle qui nécessitent l'utilisation du réserve disponible en carbone dans le sol à fin d'assurer un cycle de vie optimale sans carences (Kumar et al, 2017).....

**Tableau 10a. Statistiques des estimations en printemps 2020**

Variable	Points	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-Type
<b>L AI</b>	51	0.000	30.048	<b>2.773</b>	4.173
<b>NDVI</b>	51	0.081	0.913	<b>0.423</b>	0.233
<b>RVI</b>	51	6.175	66.360	<b>25.316</b>	15.440
<b>MSAVI</b>	51	0.649	1.454	<b>1.060</b>	0.219
<b>IC</b>	51	-0.312	0.286	<b>0.070</b>	0.139
<b>IR</b>	51	0.275	3.250	<b>1.509</b>	0.666
<b>NDMI</b>	51	-0.227	0.587	<b>0.023</b>	0.206
<b>Ibc</b>	51	-2.570	-0.078	<b>-0.585</b>	0.507
<b>SOC</b>					
<b>(t/ha)</b>	51	0.000	1.000	<b>0.589</b>	0.280

**IV.2. Estimation du SOC en été**

L'estimation du SOC à l'aide de l'image Sentinel-2 de l'été (Juillet 2020) montre une forte présence du carbone organique dans le sol durant cette saison (tableau....), ceci est dû au pratiques d'agriculture qui se caractérisent durant cette période de l'année par les activités

de jachère et de labours qui aboutissent à une remontée en forte teneur du carbone organique auprès de la surface du sol, ce qui facilite sa détection par le capteur satellitaire (Kumar et al, 2017).

**Tableau 10b. Statistiques des estimations en été 2020**

Variable	Points	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-Type
LAI	51	0.043	8.897	<b>3.819</b>	1.561
NDVI	51	0.090	0.654	<b>0.199</b>	0.107
RVI	51	7.457	48.296	<b>13.726</b>	7.319
MSAVI	51	0.664	1.291	<b>0.822</b>	0.126
IC	51	-0.055	0.344	<b>0.186</b>	0.075
IR	51	0.802	4.197	<b>2.226</b>	0.661
NDMI	51	0.339	0.279	<b>-0.138</b>	0.103
Ibc	51	-1.947	0.159	<b>-0.473</b>	0.281
SOC (t/ha)	51	0.021	0.988	<b>0.800</b>	0.183

### IV.3. Confrontation SOC estimé aux indices d'occupation du sol printemps/été

La corrélation de la teneur en carbone organique aux différents indices de végétation et de sol montre une faible corrélation avec les indices de végétation durant les deux saisons à l'exception du LAI où elle augmente de 0.52 en printemps à 0.86 en été. La corrélation avec les indices de sol est assez importante sauf qu'elle diminue durant la saison estivale et devient moyenne.

**Tableau 11. Matrice de corrélation entre le SOC estimé et les indices de végétation et de sol en printemps (a) et en été (b)**

**Tableau 11. Matrice de corrélation entre le SOC estimé et les indices de végétation et de sol en printemps (a) et en été (b)**

<i>(a)</i> <i>Printemps</i>	LAI	NDVI	RVI	MSAVI	IC	IR	IBC	NDMI
--------------------------------	-----	------	-----	-------	----	----	-----	------

<i>SOC (t/ha)</i>	<b>0.521</b>	-0.0347	-0.021	-0.028	<b>0.902</b>	<b>0.838</b>	<b>0.829</b>	<b>-0.933</b>
-------------------	--------------	---------	--------	--------	--------------	--------------	--------------	---------------

<i>(b) été</i>	LAI	NDVI	RVI	MSAVI	IC	IR	IBc	NDMI
<i>SOC (t/ha)</i>	<b>0.862</b>	-0.011	0.044	-0.052	<b>0.526</b>	<b>0.462</b>	<b>0.778</b>	<b>-0.686</b>

**IV.3.1. Confrontation carbone estimé aux indices de végétation**

Quant à la confrontation de valeurs estimées du carbone organique, aucune corrélation significative ne se manifeste durant les deux saisons. Ceci indique l'absence d'une relation directe entre les indices numérique de la végétation et le carbone estimé.

**Tableau 12. Corrélation entre le carbone estimé et les indices de végétation en printemps (a) et en été (b) 2020**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
<b>51</b>	47	4,000	-0,013	0,000	0,000

**IV.3.2. Confrontation carbone estimé aux indices de sol**

Différemment aux indices de végétation, les indices de sol montre une corrélation moyenne en printemps à bonne en été. Cette bonne corrélation est le résultat de la détection favorisée du carbone durant la saison estivale et la présence de fortes teneurs en carbone dans la couche superficielle du sol, ainsi que l'activité de labour contribue à l'augmentation de la teneur en carbone auprès de la surface du sol.

**Tableau 13. Corrélation entre le carbone estimé et les indices de sol et de l'eau en printemps (a) et en été (b) 2020**

**a) Printemps**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
<b>51</b>	46	5	<b>0.641</b>	<i>0.013</i>	<i>0.114</i>

**b) Eté**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
<b>51</b>	46	5	<b>0.872</b>	0.011	0.105

**IV.3.3. Confrontation carbone estimé à l'indice de la surface foliaire LAI**

Selon Kumar et al, 2017, l'expression mathématique des indices de végétation comme le NDVI, RVI et même le MSAVI et empiriquement non correspondantes aux données estimées du SOC. Toutefois, l'indice de la surface foliaire LAI est calculé à partir du NDVI pour mettre en évidence l'activité chlorophyllienne qui permet de ressortir lien directe avec le carbone. Ceci est bien présenté dans le tableau n°19 ou la corrélation entre le carbone estimé et l'indice LAI est très forte durant les deux saisons avec des erreurs d'estimation proches du zéro.

**Tableau 14. Corrélation entre le carbone estimé et l'indice LAI en printemps (a) et en été (b)**

**a) Printemps**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
51	45	6	0.920	0.007	0.084

**b) Eté**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
51	44	7	<b>0.923</b>	0.003	0.053

**IV.3.3. Confrontation carbone estimé aux paramètres MNT**

A l'aide du modèle numérique de terrain de la plaine du Haut-Chélif, nous avons confronté le paramètre extrait du MNT notamment, l'altitude (m), la pente (%) et l'exposition (°) avec les données du SOC estimés à l'aide des cinquante points collectés du terrain. Les statistiques liées à l'extraction des trois paramètres topographiques sont exprimés dans le tableau n°20

**Tableau 15. Statistiques des paramètres de MNT extraites à la base des points géolocalisés en printemps et en été**

<i>Variable</i>	<i>Observations</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-Type</i>
<i>Z(m)</i>	51	263.000	356.000	304.510	24.498
<i>P (%)</i>	51	1.909	27.335	7.747	4.575
<i>E (°)</i>	51	0.000	180.000	61.608	68.151
<i>SOCspr (t/ha)</i>	51	0.000	1.000	0.589	0.280
<i>SOCete(t/ha)</i>	51	0.021	0.988	0.800	0.183

**IV.3.3.1. Confrontation SOC et l'altitude**

La confrontation entre l'altitude et le stock du carbone ne révèle pas une corrélation significative mais elle est plus ou moins élevée en été par rapport au printemps

**Tableau16.** Corrélation entre le carbone estimé et les données de l'altitude en printemps (a) et en été (b) 2020

**a) Printemps**

Points	Somme de poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
51	47	4	<b>0.0943</b>	0.2351	0.2887

**b) Eté**

Points	Somme de poids	Différence	R <sup>2</sup>	MCE	RMSE
51	46	5	<b>0.1663</b>	7.1836	10.1790

**IV.3.3.2. Confrontation SOC et la pente**

Suivant la même allure que l'altitude, la pente est faiblement corrélée au stock du carbone, ceci se manifeste – contrairement à l'altitude – en printemps plus qu'en été.

**Tableau17.** Corrélation entre le carbone estimé et les données de la pente en printemps (a) et en été (b) 2020

**a) Printemps**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
51	47	4	<b>0.2433</b>	9.650	11.783

**b) Eté**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
51	45	6	<b>0.1289</b>	13.442	14.596

**IV.3.3.3. Confrontation SOC et l'exposition**

Comparablement aux deux premiers paramètres, l'exposition de la pente ne montre aucun lien avec le carbone estimé soit en printemps ou en été. Ce paramètre est le moins corrélée des trois étudiée.

**Tableau18. Corrélation entre le carbone estimé et les données de l'altitude en printemps (a) et en été (b) 2020**

**a) Printemps**

Points	somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
51	47	4	<i>0.0064</i>	17.098	24.223

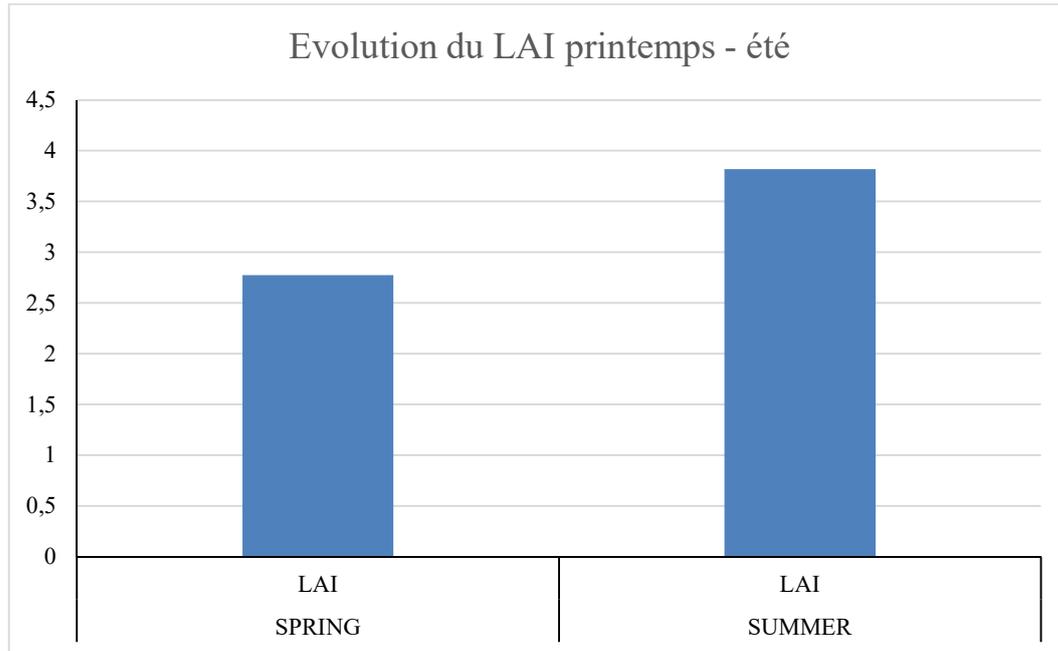
**b) Eté**

Points	Somme des poids	Différence	R <sup>2</sup>	MSE	RMSE
51	47	4	<i>0.00912</i>	11.473	13.087

**IV.4. Détection de changements Printemps – été**

**IV.4.1. Indice de la Surface Folière LAI (printemps – été)**

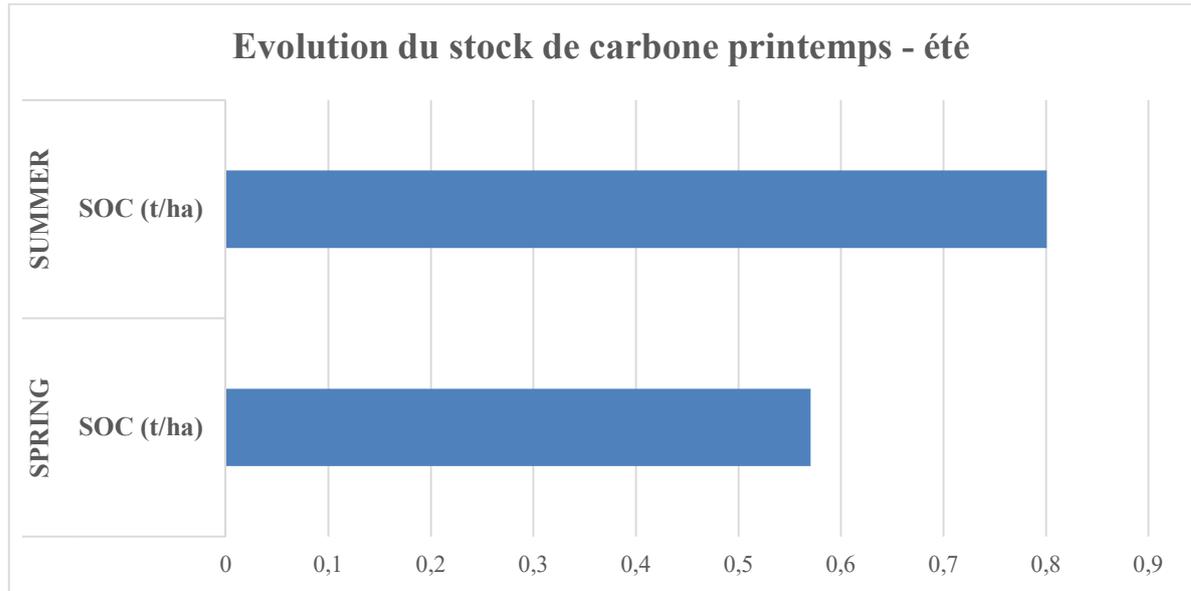
La figure n° 13, montre une augmentation du indice LAI du printemps vers l'été avec un pourcentage qui touche les 35%, ce qui indique une activité chlorophyllienne assez importante durant la transition saisonnière et indique en même temps le recours de la végétation à l'utilisation des éléments nutritifs nécessaires pour le cycle végétatif, parmi ces élément les carbone organique venant du sol et le premier demandée par la plante quant à sa contribution au processus physiologique et phytodynamique de la végétation via l'alternance saisonnière. Aussi, la contribution de l'agriculteur par les pratiques qui visent à enrichir la présence de cet élément pour un cycle optimale de la plante.



**Figure15 :** Différence saisonnière de l'indice de surface foliaire entre le printemps et l'été 2020

#### **IV.4.2. Stock du Carbone Organique SOC (printemps – été)**

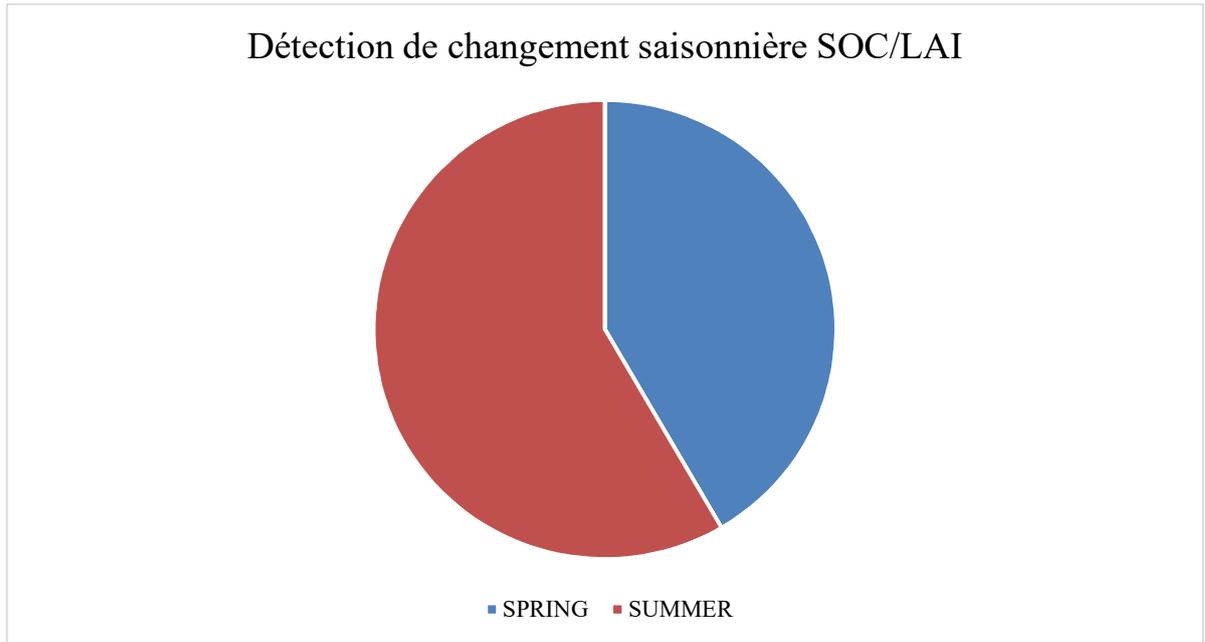
Grâce à cette activité chlorophyllienne progressive, la teneur en stock d carbone demeure importante en allant du printemps vers l'été (fig.14), tenant compte des pratiques de labour et de travail de sol qui mènent à enrichir les horizons de la surface du sol par le carbone organique. Ceci permet sa détection et son utilisation facilement par la plante, par conséquent, une dynamique saisonnière importante du carbone à la surface du sol. Tenant compte de l'aspect agricole de la zone d'étude et les pratique des cultures hors saisons, le carbone reste disponible auprès de la surface du sol en teneurs suffisante pour la croissance et le développement des plantes.



**Figure 16 :** Différence saisonnière du stock de carbone du sol entre le printemps et l'été 2020

#### IV.4.3. Dynamique Saisonnière SOC – LAI

Le rapport SOC/LAI permet de ressortir la relation Sol-Plante-Carbone (Kumar et al, 2017) qui est utilisé comme indicateur sur la contribution de la réserve de carbone dans la dynamique de la plante. Dans la littérature, l'estimation du carbone de sol est souvent basée sur l'occupation du sol et la morphologie du terrain qui sont les paramètres les plus proches dans l'identification et la détermination de la réserve du carbone dans le sol. De point de vue dynamique saisonnière la dynamique du SOC estimé contribuer en été avec plus 60% dans le cycle végétatif qu'en printemps. Ceci est expliqué par les cultures hors saisons qui deviennent de plus en plus instaurés au niveau de la zone d'étude et implique une utilisation extensive de la réserve du carbone de sol.



**Figure 17.**Détection des changements du rapport SOC/ LAI entre le printemps et l'été 2020

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Les objectifs principaux de cette étude étaient de pouvoir d'estimer le stock de carbone organique de sol et la comparaison entre les indices de végétation de sol et d'eau et leur relation avec l'augmentation de taux de COS durant deux de saisons (printemps et été de l'année 2020) dans le bassin de harraza situe dans le plaine de haut –Cheliff.

Notre analyse spatiale se fait essentiellement par une expression mathématique numérique qui se base sur la combinaison des bandes de l'image. Des indices de sol, de l'eau et de végétation sont calculés pour détecter le comportement spatial des unités de surface et les confronter statistiquement aux données de terrain. Trois indices pour la végétation, trois pour le sol et un de l'eau sont les principaux indices utilisés dans notre étude.

Cette étude a utilisé les données de réflectance dans le visible, le proche infrarouge et le moyen infrarouge du satellite Sentinel-2. Les valeurs estimées seront par la suite confronté à des indices de végétation notamment le NDVI, RVI et MSAVI, ainsi des indices de sol par le biais de l'indice de brillance (Ibc), de couleur (IC), de rougeur (IR) et de l'humidité relative (NDMI).

D'après les analyses statistiques et l'estimation de taux de cos et la comparaison entre les indices de végétation et les indices de sol nous obtenons les résultats suivants :

- les indices de végétation n'indiquent pas le taux de COS .
- les indices de sol (IC ;Ibc ,INDMI) indiquent le taux de COS
- l'indice de LAI (55% de détection de COS )

# *Les Références :*

## ***LES REFERONCE :***

**Anonyme 1 :** la séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion de terres, Rapport sur les ressources en sols du monde 96

**Anonyme 2 :** La biodiversité en Poitou-Charentes : Juin 2012, site [www.le-cycle-du-carbone-Biodiversit\\_-en-Poitou-Charentes.htm](http://www.le-cycle-du-carbone-Biodiversit_-en-Poitou-Charentes.htm)

**Anonyme 3 :** Chambre Régionale d'Agriculture Languedoc Roussillon, les produits organique utilisables en agriculture,

**Arrignon, 1987 :** Aménagement écologiques et piscicoles des eaux douces, 4<sup>ème</sup> édition Gauthier Villars, 631 p

**Arrouays et Pélissier, 1994 :** Modeling carbone storage profiles in temperate forest humic loamy soils of France. *Soil Sci.* 157, 185-192.

**Baldocchi, D, Ryu, Y. & Keenan, T.** 2016. Terrestrial Carbon Cycle Variability [version 1; referees: 2 approved]. *F1000Research*, Issue 5.

**Balesdent, J. 1996.** Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols de France. Etude et Gestion des sols 3 (4), in : la séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion de terres

**Cambardella, C. 1998.** Experimental verification of simulated soil organic matter pools.

**Ellert et Bettany, 1995:** Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Can. J. Soil Sci.* 75 529-538.k

**FAO et ITPS 2015:** *Status of the World's Soil Resources*, Rome: s.n.

**GIEC, 2014 :** *Changement climatique 2014: synthèse, rapport des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du Groupement Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. Genève: GIEC

**Harkat..2018:** thèse de Magistère "les risques érosifs et vulnérabilité environnementale des eaux de surface du bassin versant de Cheliff",2010,Université de Khemis miliana,P180

**Jolive et al 2002 :** Réseau de mesure de la qualité des sols. Cahier des charges destiné à la mise en place et au suivi des sites du réseau 16x16 km. Inra Infosol Orléans 37 p

**Jolivet et al., 2002aet (ii) :** *Manuel du Réseau de Mesures de la Qualité des Sols*, France: Unité Info Sol, INRA Orléans.

**Keiluweit et al 2015 :** Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. *Nature Climate Change*, 5: 588–595

- Lange et al., 2015** : Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6: 6707
- Le Quéré et al., 2016** : Global Carbon Budget 2016. *Earth System Science Data*, 8: 605-649.
- Lehmann et al., 2015**: 2015. The contentious nature of soil organic matter. *Nature*, 528(7580): 60-68.
- Mohammedi et Mayou.2015** : Evolution du transport solide et la qualité des eaux Cas du bassin versant de l'oued Harraza dans la wilaya de AIN DEFLA, université de Khemis Miliana, mémoire master. P76
- Puget, Balesdent, J. 1995**. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *Européen Journal of Soil Science* 46
- Schmidt et al., 2011** : Rethinking adaptation for a 4°C world. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1934): 196-216.
- Schmidt et Noack, 2000**: Black carbon in soils and sediments: Analyses, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 14(3): 777-793.  
site [www.Languedocroussillon.Chambagri.fr](http://www.Languedocroussillon.Chambagri.fr)
- Smith et al. 1995** : In Etude biologique de la matière organique du sol, iguelouzenesamir,
- Smith et al. 1995**. In Etude biologique de la matière organique du sol, iguelouzenesamir, UMMTO, 2005
- Sombroek et al. 1993**: Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* 22: 417-426.
- Tisdall et oades 1982 ; Dexter 1988**: Organic matter and water stable aggregates. *J. SoilSci*33. in : la séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion de terres
- Vander Wal et de Boer, 2017**: Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 105: 45-48.
- Von Lützow et al., 2006; Paul, 2014** : Stabilization of organic matter in temperate soils: Mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review. *European Journal of Soil Science*, 57: 426-445.
- Davis, M.; Alves, B.; Karlen, D.; Kline, K.; Galdos, M.; Abulebdeh, D.** Review of Soil Organic Carbon Measurement Protocols: A US and Brazil Comparison and Recommendation. *Sustainability* 2017, 10, 53. [CrossRef]

**Viscarra Rossel, R.A.; Walvoort, D.J.J.; McBratney, A.B.; Janik, L.J.; Skjemstad, J.O.** Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma* **2006**, *131*, 59–75. [[CrossRef](#)]

**Ladoni, M.; Bahrami, H.A.; Alavipanah, S.K.; Norouzi, A.A.** Estimating soil organic carbon from soil reflectance: A review. *Precis. Agric.* **2010**, *11*, 82–99. [[CrossRef](#)]

**Stenberg, B.; Rossel, R.A.V.; Mouazen, A.M.; Wetterlind, J.** Visible and Near Infrared Spectroscopy in Soil Science. *Adv. Agron.* **2010**, *107*, 163–215.

**Croft, H.; Kuhn, N.J.; Anderson, K.** On the use of remote sensing techniques for monitoring spatio-temporal soil organic carbon dynamics in agricultural systems. *Catena* **2012**, *94*, 64–74. [[CrossRef](#)]

**Pádua, L.; Vanko, J.; Hruška, J.; Adão, T.; Sousa, J.J.; Peres, E.; Morais, R.** UAS, sensors, and data processing in agroforestry: A review towards practical applications. *Int. J. Remote Sens.* **2017**, *38*, 2349–2391. [[CrossRef](#)]

**Gholizadeh, A.; Boru vka, L.; Saberioon, M.; Vašát, R.** Visible, Near-Infrared, and Mid-Infrared Spectroscopy Applications for Soil Assessment with Emphasis on Soil Organic Matter Content and Quality: State-of-the-Art

**England, J.R.; Viscarra Rossel, R.A.; Armando, R.; Rossel, V.** Proximal sensing for soil carbon accounting. *SOIL* **2018**, *45194*, 101–122. [[CrossRef](#)]

## *Abstract*

The Oued HARRAZA watershed located in a semi-arid zone has an area of about 1423 Km<sup>2</sup>, was the subject of our study that concerns estimating the amount of organic carbon in the soil by means of remote sensing technology for GIS 2019/2020.

The first part consists of analyzing soil samples taken from our study site for the sake of determine the amount of carbon in the soil of Oued HARRAZA in the spring and summer seasons

The results obtained from our study from the experimental part using the data acquired are deduced.

The comparison between th,ne vegetation indexes, the soil and water indexes and their relation with the carbon rate in the soil last the season from spring to summer.

**Key words:** HARRAZA Oued watershed, GIS-remote sensing

## المخلص:

الحوض الهيدروغرافي لواد حرازة يقع في منطقة شبه قاحلة تبلغ مساحته 744 كيلومتر مربع وهو موضوع دراستنا التي تخص تقدير كمية الكربون العضوي في التربة بواسطة تقنية الاستشعار عن بعد لنظم المعلومات الجغرافية 2020/2019 حيث يتكون الجزء الأول من تحليل عينات التربة الماخودة من موقع دراستنا من اجل تحديد كمية الكربون المتواجدة في التربة لواد حرازة في فصلي الربيع والصيف .

يتم استنتاج النتائج التي تم الحصول عليها من دراستنا للجزء التجريبي من البيانات التي تم الحصول عليها.

المقارنة بين مؤشرات الغطاء النباتي ومؤشرات التربة والمياه وعلاقتها بمحتوى الكربون في التربة في فصلي الربيع والصيف .

**الكلمات المفتاحية :** الحوض الهيدروغرافي استشعار عن بعد لنظم المعلومات الجغراف