

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université de M'Sila**



## ***MEMOIRE***

Présenté  
A la Faculté des Sciences  
Département des Sciences Agronomiques  
Pour obtenir le Diplôme de

**Master Académique en Sciences Agronomiques**

Option : Science du Sol

### **Thème**

**Contribution à l'étude de l'influence du carbone  
organique sur quelques caractéristiques du sol, en  
milieux arides**

Présenté par :

MAZARI Fatima-Zohra

MEKHALFIA Asma

Devant le Jury :

**Président** BEN CHIKH MAA Université de M'sila

**Promoteur** TELLACHE S MAA Université de M'sila

**Examineur** KHOUDOUR MCB Université de M'sila

Année universitaire : 2017/2018

## **Remerciements**

*Nous remercions tout d'abord ALLAH ﷻ le tout puissant de nous a donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire.*

*Nous remercions notre rapporteur \* **Mr TELLACHE SLLIMANE**\*, pour l'aide et pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.*

*Nous exprimons nos sincères remerciements à :*

*\***Mr BEN CHIKH** l'honneur qu'il nous fait de présider le jury.*

*\***Mr KHADOURE** ; Pour avoir accepté de lire et corriger notre travail.*

*\* Aux responsables, aux enseignants et les ingénieurs des laboratoires de centre de recherche de sonatrach pour leurs compréhensions et leurs aides et surtout Dr khodja Mouhamed et tous les gens de sonatrach , on a pu faire notre travail de recherche.*

*\* Nos familles et Nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

*Nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

**Merci**

## *Dédicace*

*Après avoir remercié Allah et Son Messager, je présente ce travail  
avec gratitude et reconnaissance à tous*

*La mère gracieuse est grande à son âge*

*Et l'esprit du père, que Dieu ait pitié de lui, et que sa demeure soit  
spacieuse.*

*Au cher mari Mohammed et au don du Seigneur ma fille Rinad.*

*A toute ma famille, frères et sœurs.*

*A tous mes amis et compagnons et mes compagnons pendant mes  
études à l'université.*

*A tous ceux qui n'ont ménagé aucun effort pour m'aider*



## *Dédicace*

*Au nom de Dieu, le plus gracieux, le plus miséricordieux, qu'Allah bénisse ses compagnons Muhammad et ses compagnons*

*Je dédie ce travail aux humbles*

*Les saints pères sont sauvés par Dieu.*

*Pour mes parents*

*À mon deuxième père, Khali Ismail et à sa famille, que Dieu les bénisse*

*Pour mes frères et ma sœur*

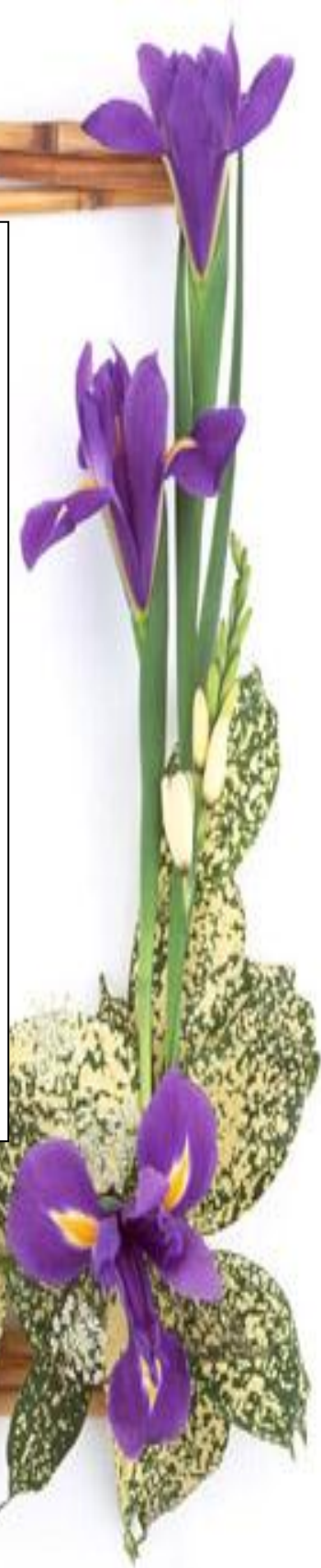
*L'esprit de la miséricorde de mon grand-père Dieu*

*À mes grand-mères, que Dieu prolonge leur vie*

*Dr Khodja Mohammed et ses collègues du centre de recherche et développement de  
Sonatrach*

*À la famille de Mazari et Khodja*

*Pour tous mes amis qui étaient avec Dubaï*



## Table des matières

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>I</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>VI</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>I</b>
<b>1_ GENERALITES :.....</b>	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
<b>2. EVOLUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE : .....</b>	<b>3</b>
2.1. L'humification : .....	Erreur ! Signet non défini.
2.2. La minéralisation : .....	Erreur ! Signet non défini.
<b>3. STABILISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET MATURATION .....</b>	<b>5</b>
3.1. Stabilisation physico-chimique .....	5
3.2. Maturation.....	5
<b>4. ECOLOGIE DE L'HUMUFICATION.....</b>	<b>5</b>
4.1. <i>Les ensembles bioclimatiques</i> .....	6
4.2. <b>Les facteurs de stations et l'action humaine</b> .....	6
4.2.1. Le climat local (exposition et luminosité).....	6
4.2.2. L'action du matériau minéral et de la végétation.....	6
4.2.3. L'économie de l'aire et de l'eau.....	7
<b>5. L'IMPORTANCE DE LA MATIERE ORGANIQUE.....</b>	<b>7</b>
<b>6. LES PRINCIPAUX FACTEURS INFLUENÇANT L'EVOLUTION DU CARBONE ORGANIQUE DANS LES SOLS : .....</b>	<b>8</b>
6.1. La compositionμ de la matière organique .....	10
6.2. L'actions de la faune du sol .....	10

6.3. L'action du pH.....	11
<b>7. EFFET DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LES PROPRIETES DU SOL.....</b>	<b>11</b>
7.1 Actions de la matière organique sur les propriétés physiques du sol.....	11
7.2. Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol .....	12
7.3. Actions de la M.O sur les propriétés biologiques du sol.....	12
<b>8. LE CYCLE DU CARBONE ORGANIQUE .....</b>	<b>13</b>
8.1. Le cycle court du carbone organique .....	13
8.2. Le cycle long du carbone organique.....	16
<b>CHAPITRE II : MILIEU PHYSIQUE.....</b>	<b>I</b>
<b>1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....</b>	<b>28</b>
<b>2. LES CARACTERISTIQUE PHYSIQUE.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1 Géomorphologie :.....</b>	<b>29</b>
2.1.1 Cadre montagneux : .....	29
2.1.2 Les piémonts :.....	29
2.1.3 Les plaines : .....	29
2.1.4 Chott el Hodna : .....	30
<b>2.2 Hydrologie :.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3 Géologie .....</b>	<b>31</b>
2.3.1 Le secondaire.....	31
2.3.2 Le tertiaire .....	31
2.3.3 Le quaternaire : .....	31
<b>2.4 Pédologie :.....</b>	<b>32</b>
2.4.1 Les sols minéraux bruts : .....	32
2.4.2 Les sols peu évoluées : .....	32
2.4.3 Les sols calcimagnésiques :.....	32
2.4.4 Les sols halomorphes :.....	33
2.4.5 Les sols hydro morphes : .....	33
2.4.6 Les sols iso-humiques : .....	33
<b>2.5 Climat :.....</b>	<b>34</b>
2.5.1 La précipitation :.....	34
2.5.2 Température.....	36
2.5.3 Les autres facteurs climatiques :.....	37

<b>CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>I</b>
<b>1. MATERIEL : .....</b>	<b>40</b>
<b>2. METHODE .....</b>	<b>40</b>
<b>2.1 Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse des sols .....</b>	<b>40</b>
2.1.1 Stratégie d'échantillonnage des sols .....	40
2.1.2 Analyses physiques et chimiques des sols .....	40
2.1.3 Analyse statistique .....	42
<b>CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>46</b>
<b>1. RESULTATS GLOBAUX .....</b>	<b>47</b>
<b>2. ANALYSE STATISTIQUE .....</b>	<b>47</b>
<b>2.1. ANALYSE DE LA VARIENCE .....</b>	<b>47</b>
2.1.1. Influence de la Station : teste de Kolmogorov-Smirlov .....	47
2.1.2. Influence de la parcelle : teste kaistal-wallis (anova-mediane) .....	48
<b>2.2. Analyse de corrélation test de Spearmen .....</b>	<b>48</b>
<b>3. INTERPRETATION .....</b>	<b>49</b>
<b>3.1. Carbone organique .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2. Fractions organiques (séparation chimique) .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3. Densité apparente .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4. La capacité d'échange cationique .....</b>	<b>51</b>
<b>3.5. Calcaire totale .....</b>	<b>52</b>
<b>3.6. Réaction du sol : (pH) .....</b>	<b>52</b>
<b>3.7. Conductivité électrique .....</b>	<b>53</b>
<b>3.8. Granulométrie .....</b>	<b>54</b>
<b>4. RELATION CARBONE ORGANIQUE CARACTERISTIQUE DU SOL .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1. Influence négative .....</b>	<b>55</b>
<b>4.2. Influence positive .....</b>	<b>56</b>

<b>5. DISCUSSION.....</b>	<b>56</b>
<b>5.1. Carbone organique total et caractéristique du sol.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERENCES.....</b>	<b>59</b>

## Liste des Figures

Figure 1 : Processus d'évolution de la matière organique .....	4
<b>Figure 2: Les rôles de la matière Organique - Invalid source specified.</b> .....	8
<b>Figure 3 : Devenir du carbone organique incorporé par les végétaux dans un sol cultivé.</b> .....	9
<b>Figure 4: Cycle du carbone organique</b> .....	14
Figure 5: Situation géographique des stations d'étude .....	28
Figure 6: Géomorphologie des stations d'étude .....	30
Figure 7: Géologie de station d'étude .....	32
Figure 8 : Pédologie des stations d'étude .....	33
Figure 9 : Pluviométrie moyenne mensuelle.....	35
Figure 10 : moyennes mensuelles de la vitesse du vent .....	38
Figure 11 : Moyennes mensuelles d'humidité dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014 .....	39
Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gausson de la station de M'sila 1988-2013 ..	39
Figure 13 : Climagramme d'Emberger et représentation de la zone d'étude 1988-2013 .....	42
<b>Figure 14: Carbone organique total moyenne par Station</b> .....	50
Figure 15: Moyennes des fractions organiques par station .....	51
Figure 16: Moyenne des densités apparentes par station .....	51
Figure 17: Moyenne de la capacité d'échange par station .....	52
Figure 18: moyenne du calcaire total par station .....	52
Figure 19: moyenne des valeurs du pH par station .....	53
Figure 20: Moyenne de la conductivité électrique par station .....	53
Figure 21: Moyenne des fractions granulométrique par station.....	54
Figure 22: Texture des Stations sur le diagramme des texture (Soil survey staff, 2003) .....	55

## Liste des tableaux

Tableau 1: Répartitions interannuelle des précipitations (mm).....	34
Tableau 2 :Pluviométrie moyenne mensuelle.....	35
Tableau 3: Répartitions saisonnier des précipitations .....	36
Tableau 4 : Les températures moyen minimales et maximales (°C).....	36
Tableau 5: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.....	37
<b>Tableau 6: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014 .</b> .....	<b>38</b>
Tableau 7 : Valeurs du quotient pluviothermique .....	40
<b>Tableau 8 : Résultats obtenus des variables étudiées</b> .....	<b>47</b>
<b>Tableau 9: Test de Kolmogorov-Smirlov pour deux groupes indépendants</b> .....	<b>48</b>
<b>Tableau 10: test de Kristal-Wallis pour multiple groupes indépendants</b> .....	<b>48</b>
<b>Tableau 11: test de corrélation de Spearman</b> .....	<b>49</b>
<b>Tableau 12: Carbone organique total (COT%) des deux stations</b> .....	<b>49</b>
Tableau 13: Moyennes des fractions organique par station.....	50
Tableau 14 : Moyennes des fractions granulométriques par station.....	54
Tableau 15: Corrélation entre le carbone organique et critères à influence négative.....	55
Tableau 16 : Corrélation entre le carbone organique totale et les paramètres à effet positif.....	56

## Introduction générale

La présence de la matière organique dans les sols a des conséquences multiples sur la pédogenèse et le fonctionnement des sols. La matière organique constitue pour le sol un apport énergétique et un apport d'éléments biogènes nécessaires à l'activité d'un grand nombre d'organismes (fore, microflore et faune du sol). C, N, H, et O entrent dans la constitution de la matière organique des sols ainsi que de nombreux cations tels que K, Na, Ca, Mg et Mn initialement présents dans les matériaux végétaux d'origine ou fixés sur les sites réactionnels d'échange de cette matière organique (Toutain, 2016)

La matière organique des sol est un produit colloïdal réactionnel chargé négativement qui peut fixer des cations. la capacité d'échange des matières organiques dépend de leur nature, elle peut être d'une centaine de milliéquivalents pour 100 grammes en ce qui concerne les matières organiques les moins réactive (matière organique héritée) pour 100 grammes en ce qui concerne les matières plus réactives (matière organique dite organo-argillique). Ces dernières peuvent s'associer avec les minéraux phylliteux (argiles) par l'intermédiaire d'un pont de fer (Fe) et former un ensemble doublement réactif : le complexe argilo-humique. (Toutain, 2016)

Les sols des régions arides, à climat toujours peu pluvieux, sec et très irrégulier présentent un certain nombre de caractères presque constants : évolution lente structure faiblement définie avec, souvent, présence de croutes calcaires, gypseuses ou salines

Cependant ,on constate que ,en diverses parties du monde, les zones arides correspondent à de grandes dépressions et basses plaines aux pieds de chaînes montagneuses elle sont alors constituées par des dépôts de piedmont et cônes de déjection ,et par les terrasses anciennes ,récentes et actuelles ou de pas niveaux ,des rivières qui en descendent (Aubert, 1960) ; et on estime à l'heure actuelle qu'environ 40% des terres émergées de la planète sont arides , soit 5,2 milliards d'hectares sur lesquelles vivent plus de 2 milliards de personnes ,l'Afrique contient 37% de zones arides ,en Algérie , ces dernières représentent près de 95% du territoire national , dont 80% dans le domaine hyper aride (Halitim ,2008)

En Algérie saharienne et présaharienne, la formation et l'évolution des sols sont essentiellement conditionnées par le climat et la salinité , faute d'humidité insuffisante, les processus fondamentaux de la transformation des roches mères comme l'hydrolyse , la dissolution ,l'hydratation ou même l'oxydation sont réduits à leur plus simple expression. L'absence de végétation ou sa rareté font également que ces sols sont

toutes ces raisons sensibles à l'érosion, surtout éoliens. Il convient néanmoins de préciser qu'il n'en a pas toujours été ainsi et qu'il existe au Sahara des paléosols qui se sont constitués à des époques antérieures.

Notre mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier est consacré à la synthèse bibliographique.
- Le deuxième fait l'objectif du cadre physique de notre zone d'étude.
- Le matériel et les méthodes utilisés constituent le troisième chapitre.
- Et enfin le quatrième chapitre résultats et discussion.

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

*CHAPITRE I:  
SYNTHESE  
BIBLIOGRAPHIQUE*





### 1\_Généralités :

Les matières organiques du sol composées de 58% de carbone organique en moyenne, les matières organiques du sol libèrent du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et des composés organique en se décomposant sous l'influence du climat et des conditions ambiantes du sol. L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports de matières organiques végétales au sol et leur le minéralisation. Le sol représente le plus grand réservoir de carbone de la biosphère continentale contenant environ deux fois le stock de carbone atmosphérique et trois le stock de carbone contenu dans la végétation (40 tonnes par hectare (t/ha) en sols cultivés et 65 t/ha sous prairies). une augmentation des stocks de carbone organique des sols cultivés peut jouer un rôle significatif dans la limitation des émissions nettes de gaz à effet de serre vers l'atmosphère en stockant du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans la matière organique de sol. (ROUDAUT, BOYER, & GASPARD, 2011)

### 2. Evolution de la matière organique :

Les matières organiques du sol évoluent sous l'incidence de divers processus physique, chimiques ou biologiques. Le processus physique correspond à la séquestration du carbone, qui est lors inaccessible par les microorganismes.

Les transformations des matières organiques se réalisent essentiellement par les processus de recombinaison (humification) et de dégradation (minéralisation).

#### **L'humification :**

La formation des produits stables « formation de l'humus, ou humification » consiste en des recombinaisons et polymérisations de molécules organiques plus ou moins complexes. La nature biochimique des matières organiques apportées au sol détermine le processus d'humification.

Une des caractéristiques importantes de ce processus est l'incorporation d'azote (N) dans les macromolécules humiques, conduisant à un stockage de l'azote sous forme organique dans le sol.

Tout en partant des mêmes éléments précurseurs, la qualité des humus produits dépendra des conditions physico-chimiques qui règnent dans le sol. Le pH, la teneur en oxygène, la teneur en bases échangeables, en cations seront déterminants.



## la minéralisation :

C'est le passage du monde organique au monde minéral. Ce processus se déroule en plusieurs étapes : la minéralisation primaire qui concerne les matières organiques jeunes et la minéralisation secondaire ou minéralisation des produits stables (communément appelé « minéralisation de l'humus »).

- La minéralisation primaire M1 : est un processus assez rapide. Il aboutit à la libération de substances nutritives par désagrégation et dépolymérisations successives des matières organiques parmi ces substances, on trouve : l'eau, le  $\text{CO}_2$ , l'azote nitrique, les phosphates et sulfates, etc.....cette phase se déroule essentiellement sous l'action de la faune du sol et des microbes (champignons et bactéries). Ces matières minérales peuvent être assimilées par les plantes, adsorbées sur le complexe argilo-humique, perdues par lessivage ou reprise par certains microbes pour la synthèse de l'humine microbienne.
- La minéralisation secondaire M2 : est au contraire un processus très lent, à raison de 2-3 % par années et libère des quantités annuelles d'éléments nutritifs considérables qui sont mis à disposition des plantes.

(duchaufour, 1984)

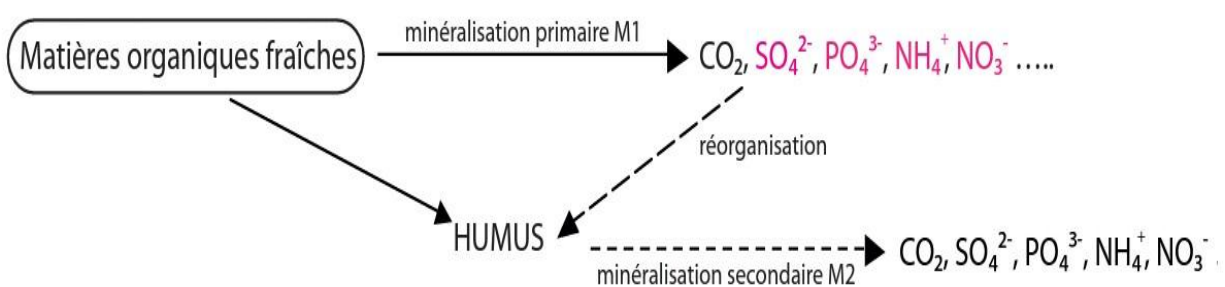


Figure 1 : Processus d'évolution de la matière organique (duchaufour, 1984)



### 3. STABILISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET MATURATION

Le turnover de la matière organique des agrégats est conditionné, même dans les milieux biologiquement actifs (mull), par ces deux processus (minéralisation humification) le premier intervient rapidement ; il est relayé par le second, qui résulte d'une évolution progressive caractéristique de certaines conditions pédoclimatiques (DUCHAUFOR P. , 2006)

#### 3.1. Stabilisation physico-chimique

Elle est sous la dépendance de trois facteurs :

- Un facteur intrinsèque, celui de la nature labile ou (récalcitrante) des composés organiques
- Un facteur de localisation du composé organique, à la périphérie ou au centre des macro- agrégats, ce qui lui assure une protection plus ou moins efficace à l'égard des agressions microbiennes ;
- Un facteur minéral, qui ralentit plus ou moins efficacement la minéralisation de la matière organique; ce blocage est limité en milieux acides (mull mésotrophes et acide) et accentué en milieu alcalin en présence du calcium (mull calcique et carbonaté). (DUCHAUFOR P. , 2006)

#### 3.2. Maturation

C'est une phase évolutive des humus qui dépend surtout des conditions climatiques : presque inexistante dans les zones à climat tempéré humide, elle est au contraire très marquée dans les zones à alternances saisonnières accentuées sur le plan des facteurs eau ; les phases de sécheresse sont déterminantes les acides humiques se transforment progressivement par augmentation de l'aromaticité et perte ; des chaînes aliphatiques et d'une grande partie des groupements fonctionnels. (Xing & chen, 1999).

Il s'agit de la mélanisation climatique, qui caractérise les chernozems et les vertisols, et qui a été décrite par Schlichting (1986). Le turnover est considérablement ralenti, surtout en profondeur où la matière organique devient presque inerte ; le temps moyen de résidence, mesuré au  $^{14}\text{C}$ , à 40 cm de profondeur d'un chernozem peut atteindre 4000 ans. (DUCHAUFOR P. , 2006)

### 4. ECOLOGIE DE L'HUMUFICATION

Le type d'humus d'un sol dépend d'une part de la (matière première) (MATIÈRE ORGANIQUE) dont les propriétés ont déjà été étudiées ; d'autre part, des conditions écologiques externes : climat général, matériau minéral, économie de l'eau.



En fait, ces deux facteurs, végétation et milieu, ne sont pas indépendants l'un de l'autre (sauf si l'homme intervient) : dans les conditions naturelles, le milieu oriente et détermine les associations végétales (Van, 1995)

Si on considère les grands ensembles mondiaux, la «zonation» climatique de la végétation apparaît nettement, les facteurs locaux «de station» s'effacent, la végétation est essentiellement conditionnée par le climat général. Au contraire, les cartes dressées à grande échelle, en vue d'étude de régions d'étendue limitée, font apparaître le rôle déterminant du milieu local qui se modifie rapidement d'un point à un autre, en fonction de la nature du matériau, du relief, de l'économie de l'eau, etc. Les types d'humus sont très variés et caractérisent les différentes «stations», c'est-à-dire les surfaces à milieu homogène (DUCHAUFOR P., 2006)

#### **4.1. Les ensembles bioclimatiques**

Les zones climatiques des plaines continentales couvertes de limons et de moraines, grossièrement orientées est-ouest, ont été souvent prises en exemple. Elles correspondent aux zones de végétation, le climat et la végétation additionnant leur action pour donner naissance à un type d'humus caractéristique de chaque zone. Un transect recoupant les zones permet de définir une séquence de végétation, d'humus et de sol, liée aux variations de climat ; il est remarquable que cette séquence soit presque identique lorsqu'on compare les plaines intérieures Canada-USA et celles de l'est de la Russie. Du nord au sud, on rencontre, un moder (forêt-steppe dense), un mull «châtain» (stepp claire). L'effet litière est déterminant sous forêt, alors que, plus au sud, l'effet rhizosphère et les processus de maturation l'emportent. (DUCHAUFOR P., 2006)

#### **4.2. Les facteurs de stations et l'action humaine**

##### 4.2.1. Le climat local (exposition et luminosité)

Il peut jouer un rôle important dans les régions montagneuses, en influençant localement, soit la température (formation d'un mor sur versant froid), soit la teneur en eau des horizons humifère (formation de Moder ou de mor sur versant sec, à basse altitude). En altitude, un fort ensoleillement favorise la formation d'un mull, même sur roche acide (Bernier & Ponge, 1993)

##### 4.2.2. L'action du matériau minéral et de la végétation

Ces deux facteurs de l'humification combinent étroitement leur action à l'échelle de la station, en réagissant l'un sur l'autre. Par l'intermédiaire du cycle biogéochimique qui permet, avec une efficacité variable, l'accumulation dans les litières de l'ensemble des nutriments (N, P, K, Ca, Mg), ils favorisent tantôt la formation d'un Moder (ou d'un mor) inactif, tantôt, au contraire, d'un mull actif. Les meilleurs exemples sont pris dans les forêts des régions tempérées, de préférence dans



stations qui sont restée à l'arbi de l'action humaine, par exemple, en Amérique du nord (Balesdent.J, 1996)

#### 4.2.3. L'économie de l'aire et de l'eau

La décomposition de la matière organique fraîche exige à la fois une humidité suffisante et une bonne aération : elle est fortement ralentie aussi bien en milieu saturé en eau. Les humus franchement anaérobique (*hydromull*, *hydromoder*, *hydromor*) sont caractérisés par des phases d'aérobiose plus ou moins longues ils sont plus foncés et plus humifères que les types correspondant formés en station drainée et aérée.

(DUCHAUFOR P. , 2006)

## 5. L'IMPORTANCE DE LA MATIERE ORGANIQUE

Le sol contient un faible pourcentage massique de matière organique, généralement compris entre 1 et 5%.

En effet, la matière organique du sol joue de multiples rôles dans les processus écologiques :

- C'est un réservoir d'éléments nutritifs, qui grâce à la minéralisation peuvent être libérés et rendus disponibles pour l'absorption par les plantes ou d'autres organismes du sol.
- La matière organique a une capacité d'échange cationique très élevée : 200 meq/100g contre 30 meq/100g pour une argile de type illite. Ainsi, la teneur en matière organique du sol a une forte influence sur la capacité de ce sol à retenir et restituer les éléments nutritifs, en les protégeant de la lixiviation.
- Les matières organiques contribuent à la structuration du sol ; elle sont des matières colloïdales, qui participent à la formation du complexe argilo-humique grâce à leurs charges surfaciques, ce qui conduit à la formation d'agrégats stables induisant une meilleure macroporosité, favorable au bon enracinement et fonctionnement racinaire des plantes, ainsi qu'à la bonne infiltration et au drainage de l'eau.
- La matière organique a une très forte capacité de rétention d'eau et permet donc d'augmenter la réserve utile du sol.
- La matière organique colore le sol qui devient plus sombre en sa présence. Le sol absorbe alors davantage de rayonnement solaire et il s'échauffe plus. Son bilan énergétique est donc lié à sa teneur en matière organique, entre autres facteurs. (Marsden, 2006)

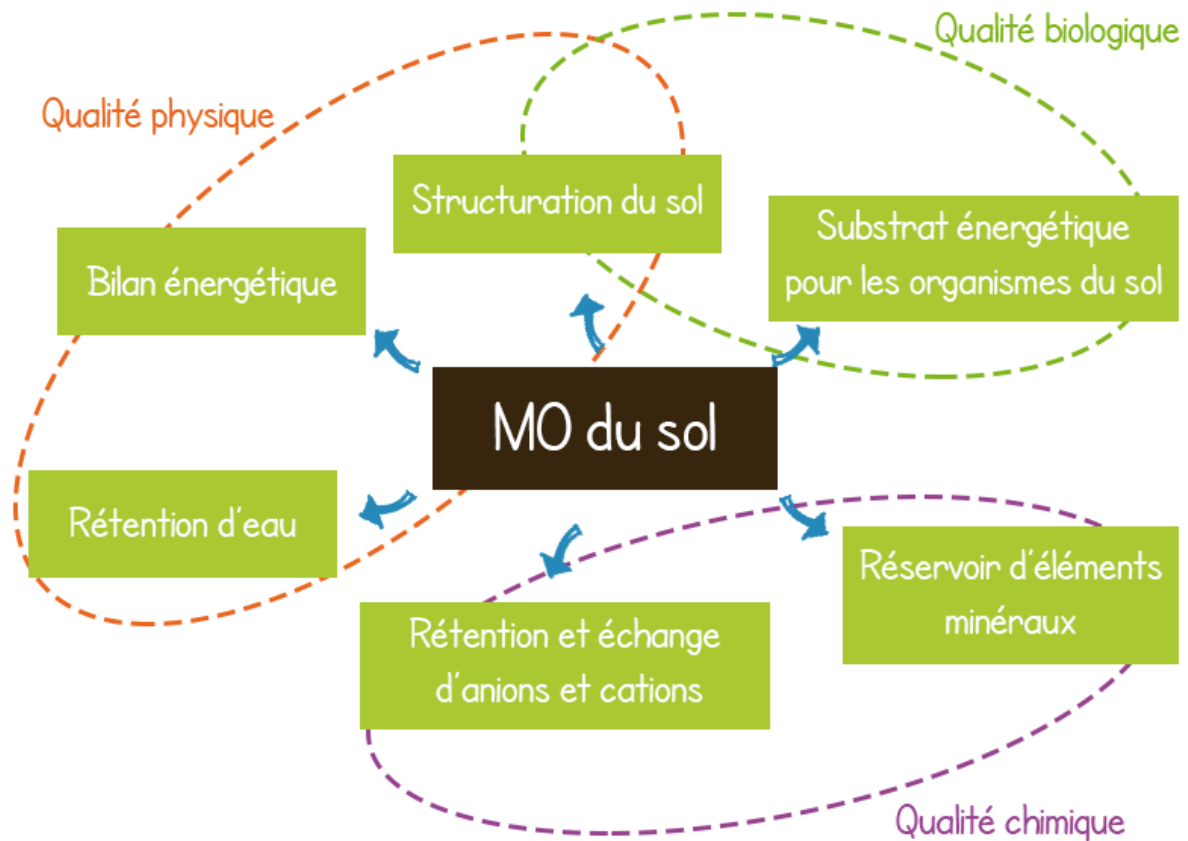


Figure 2: Les rôles de la matière Organique - (Marsden, 2006)

## 6. Les principaux facteurs influençant l'évolution 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.

Les principales variables pédologiques, climatiques et anthropiques affectant le temps de résidence (turn-over) 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 suppression des protections des matières organiques 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 physico-chimique des matières organiques du sol.

(+) la teneur et la nature des argiles augmentent le temps de résidence.

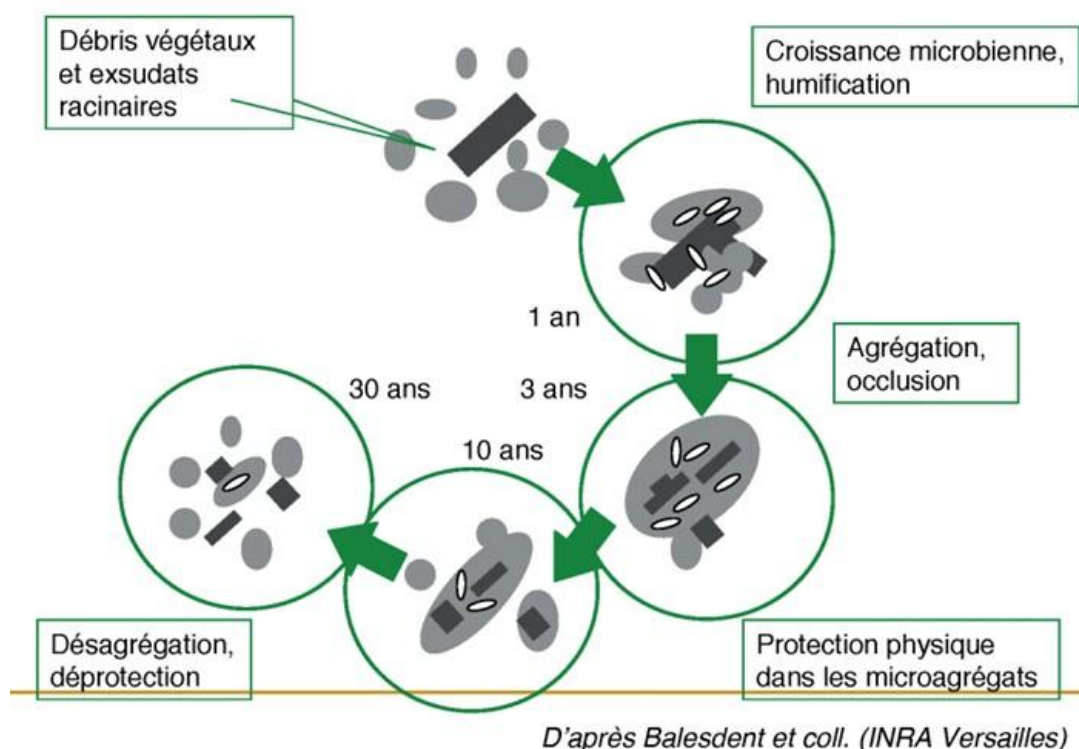
D'autres facteurs auraient tendance à augmenter ce temps de résidence :

(+) 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 matières organiques du sol.

(+) la proportion de Ca et Mg échangeables et la teneur en calcaire actif assurent une protection physique des matières organiques du sol.

(+) les carences en azote et phosphore disponibles limitent l'activité des micro-organismes.



**Figure 3 : Devenir du carbone organique incorporé par les végétaux dans un sol cultivé.**

Le temps moyen de résidence du carbone (C) des premiers centimètres dans les sols cultivés français est d'environ 10 ans. En général, les 20 à 30 premiers centimètres contiennent plus de la moitié du carbone organique du sol et environ 80% des flux de renouvellement y prennent (ROUDAUT, BOYER, & GASPARD, 2011)



### **6.1. La composition de la matière organique**

La composition de la matière organique fraîche, qu'il s'agisse de litière naturelle ou de matière organique incorporée artificiellement dans les sols de culture, joue un rôle déterminant dans la vitesse de sa décomposition, processus préalable à celui de l'humification. On dit que cette matière organique est plus ou moins biodégradable. En matière forestière, on distingue les litières « améliorantes », riches en azote, et les litières « acidifiantes ». (P. DUCHAUFOR, INTRODUCTION A LA SCIENCE DU SOL 2001).

Au sens large, la matière organique du sol comprend la biomasse vivante, et l'ensemble de la matière organique résiduelle. Nous ne nous intéresserons ici qu'à la matière organique résiduel, d'origine végétale ou animale. On y retrouve les grands groupes de composés du monde vivant : glucide lipides protéines. (ekschnitt, et al. 2005)

### **6.2. L'actions de la faune du sol**

La faune du sol participe très largement à la fragmentation des débris végétaux, mais elle peut aussi selon les circonstances, selon les circonstances, en influencer plus ou moins fortement l'humification.

Vivante, la faune accroît l'activité biologique du milieu et peut ainsi accélérer les processus naturels d'humification ou de dés humification des matélétrer végétal. Ceci en fonction de la nature de ces matériaux et du contexte climatiques, pédologique et microbien. Certains animaux et du avoir une influence telle sur l'équilibre naturel qu'ils arrivent à en modifier assez profondément la nature et à en changer le degré d'humification ; l'action des vers des terre s'avère ainsi toute différente de celle des termites.

Morte, la faune agit sur l'humification des matériaux végétaux par les composés chimiques que ses cadavres sont susceptibles d'apporter au milieu. Les cadavres animaux renfermant de la tyrosine et du tryptophane, acides aminés aromatiques, nous sont apparus très efficaces pour, dans les cas du tryptophane, limiter la déshumification naturelle des coques d'arachides. (bachelier 1974)



### 6.3. L'action de pH

La variabilité du pH tient de la nature des roches (les sols sableux et limoneux sont plus acides que les sols calcaires), de la saison (en hiver il est plus élevé). L'activité biologique est aussi source de modification du pH. Pour limiter les variations de pH, le pouvoir tampon du sol est sollicité. C'est à travers le complexe argilo-humique qu'il y a une régulation du pH. Il est porteur de charges négatives et c'est donc un lieu d'échanges avec les cations ( $H^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ...) présents dans la solution du sol. (Bourgeois, et al. 2003)

## 7. EFFET DE LA MATIERE ORGANIQUE SUR LES PROPRIETES DU SOL

Les M.O ont de multiples propriétés qui leur confèrent des fonctions primordiales dans les agro et les écosystèmes et en font une composante de la fertilité. Les fonctions des M.O participent de façon générale à l'aptitude des sols à la production végétale par l'amélioration de ces propriétés physiques, chimiques et biologiques

### 7.1 Actions de la matière organique sur les propriétés physiques du sol

La M.O grossière, à la surface du sol, atténue le choc des gouttes de pluies et permet à l'eau de s'infiltrer lentement dans le sol ; l'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (Donhay.R 1958)

Les M.O assurent la cohésion des autres constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et à la stabilité de la structure. Ceci est dû au grand nombre de liaisons électrostatiques et surtout de liaisons faibles que les M.O peuvent assurer (Balesdent.J, 1996) Dans les terres manquant de colloïdes minéraux et où l'absence de phénomènes de gonflement « limons ou sables » l'élévation du taux d'humus coïncide avec une certaine tendance à l'agrégation (Duthil.J 1973)

La teinte foncée des terres riches en M.O favorise l'absorption de l'énergie solaire. Ceci se traduit par un réchauffement plus rapide des sols nus (Duthil.J 1973)

La capacité du sol pour l'eau est en effet liée à la teneur en M.O en raison de l'hydrophilie extrêmement accusée des colloïdes qui la composent (Duthil.J 1973)

Cette matière retient d'autant mieux l'eau qu'elle est humifiée, elle régularise le bilan de l'eau dans

Le sol son affinité pour l'eau se manifeste par :



- une force de succion élevée.
- des phénomènes de contraction et d'expansions des sols, au cours de leur dessiccation- humectation. La quantité d'eau retenue dans le sol est en fonction de la nature du sol et surtout de la teneur en M.O et son degré d'humification.

### **7.2. Actions de la matière organique sur les propriétés chimiques du sol**

Les M.O contribuent classiquement à la fertilité chimique des sols. Elles sont une réserve d'éléments nutritifs, principalement pour l'azote, le phosphore et le soufre (Balesdent 1996)

Elles sont dans leur ensemble par leur minéralisation, une source d'aliments de certains éléments nutritifs et la facilité de leur utilisation suite à la libération par oxydation de l'humus et de gaz carbonique (Duthil.J 1973)

D'une part, elle s'étale sur la quasi-totalité de la période de végétation, ce qui correspond bien à une alimentation régulière et continue et évite des pertes par lessivage ou par insolubilisation.

D'autre part, elle apparaît « complète » que la destruction microbienne des débris végétaux enfuis libères aussi bien N, P, K, Ca, S que d'autre élément moins connus ou moins évidents Mg, Zn, B, Cu, Fe, Al, Si,.. Etc.

Les colloïdes humiques augmentent la capacité d'échange du sol dont un gramme fixe environ 5 fois plus de cations qu'un gramme d'argile (Soltan.D 2003)

Cette propriété rend la M.O dans certains milieux comme les sols sableux, la principale réserve des bases disponibles ( $K^+$  et  $Ca^{++}$ ) (Balesdent.D, 1996)

### **7.3. Actions de la M.O sur les propriétés biologiques du sol**

Les apports organiques facilement fermentescibles permettent d'améliorer l'activité biologique (Parr.F 1973)

Les M.O représentent un véritable substrat énergétique pour les micro-organismes pour synthétiser leurs propres protéines ainsi que pour former des métabolites (Ribiero, Moureaux et Novicoff 1976)

Les matières organiques sont l'aliment des vers de terre et des arthropodes (insectes, acariens...) (1). Les matières organiques jeunes apportent les sucres et les



matières azotées nécessaires aux micro-organismes (2). Les matières organiques, en améliorant la structure et l'aération du sol, favorisent le développement des bactéries aérobies, indispensables à la minéralisation et aux échanges dans la rhizosphère (3) (SOLTNER 2003)

Par son rôle capital dans la fourniture des éléments majeurs et des oligo-éléments. Les M.O favorisant la croissance et la résistance des plantes aux parasitismes (SOLTNER 2003)

Au contact du substrat minéral, elles ont une grande valeur comme amendement humique, comme « ensemencement microbien » et comme générateur d'enzymes, à ces points de vue, elles sont irremplaçables (Lasnier-Lachaise 1973)

## **8. LE CYCLE DU CARBONE ORGANIQUE**

### **8.1. Le cycle court du carbone organique**

La figure qui suit résume les deux cycles, court et long, du  $C_{org}$ , avec un chiffrage des flux et des réservoirs exprimé en  $Gt_c$ . (Berner 1996) (crane 1999)

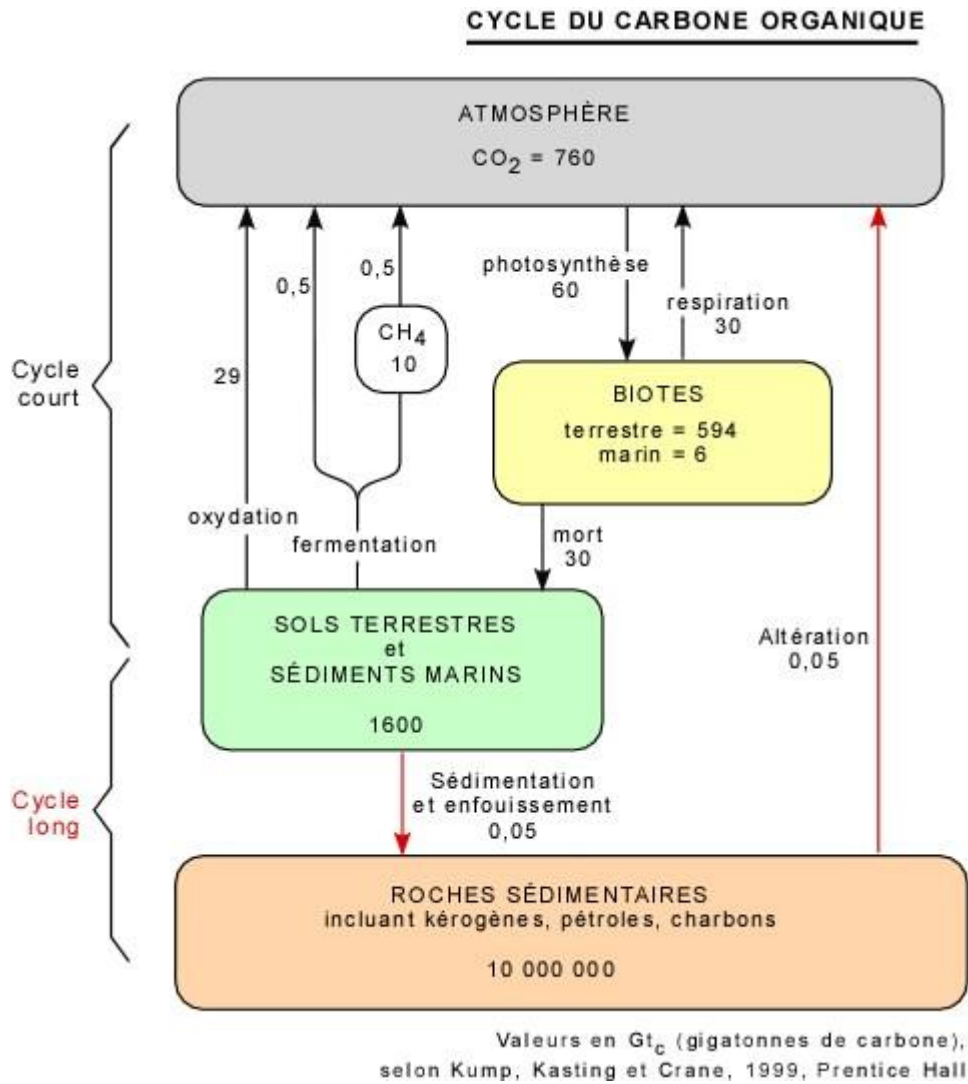


Figure 4: Cycle du carbone organique (crane 1999) (Berner 1996)

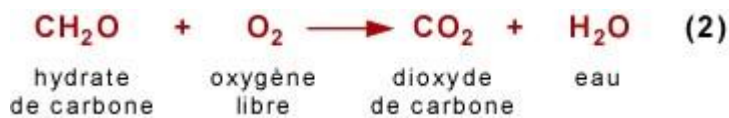
Pour le cycle court, on parle de processus qui s'étalent sur des temps inférieurs au siècle. Le processus de base du recyclage du carbone à court terme est le couple photosynthèse-respiration, c'est-à-dire la conversion du  $C_{inorg}$  du  $CO_2$  en  $C_{org}$  par la photosynthèse, et subséquemment l'inverse, la conversion du  $C_{org}$  de la matière organique en  $C_{inorg}$  par la respiration. Il faut considérer trois réactions de base impliquées. (Berner 1996) (crane 1999)

D'abord, la photosynthèse qui utilise l'énergie solaire pour synthétiser la matière organique en fixant le carbone dans des hydrates de carbone ( $CH_2O$ ):



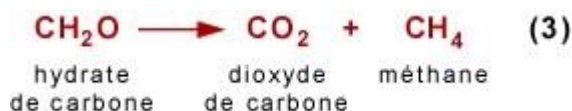
La matière organique est représentée ici par CH<sub>2</sub>O, la forme la plus simple d'hydrate de carbone. En réalité, il s'agit de molécules beaucoup plus grosses et plus complexes dont la base demeure les éléments C, H et O, mais auxquels viennent se joindre d'autres éléments en faibles quantités comme l'azote (N), le phosphore (P) et/ou le soufre (S). Cette partie de la matière organique correspond à la productivité primaire, et les organismes impliqués (bactéries, algues et plantes) sont les producteurs primaires. Ceux-ci captent l'énergie solaire et la transforment en énergie chimique qu'ils stockent dans leurs tissus. Cette dernière est transférée aux organismes consommateurs, incluant les animaux. Il est intéressant de noter que dans la nature la biomasse des consommateurs est bien inférieure (ne comptant que pour environ 1% de la masse totale) à celle des producteurs primaires.

Les consommateurs tirent leur énergie de celle qui est contenue dans les producteurs primaires en ingérant leurs tissus et en respirant. La **respiration** est l'inverse de la photosynthèse: à partir de l'oxygène libre O<sub>2</sub>, elle transforme toute matière organique en CO<sub>2</sub>:



Il s'agit d'une réaction qui nécessite la disponibilité d'oxygène libre O<sub>2</sub>. Dans la nature, une partie de la matière organique est respirée (oxydée) par les animaux ou les plantes elles-mêmes; une autre partie se retrouve dans les sols terrestres ou les sédiments marins. La décomposition se fait sous l'action de micro-organismes, bactéries et champignons. Ces micro-organismes forment deux groupes: ceux qui utilisent l'oxygène libre O<sub>2</sub> pour leur métabolisme, ce sont les aérobies, et ceux qui utilisent l'oxygène des molécules de la matière organique même en absence d'oxygène libre, ce sont les anaérobies. La décomposition aérobie produit du CO<sub>2</sub> (équation 2). Dans les milieux anoxiques (sans oxygène libre), les anaérobies décomposent la matière organique par le processus de la fermentation impliquées. (Berner 1996) (crane 1999)

La fermentation produit du dioxyde de carbone et du méthane (l'hydrocarbure le plus simple, avec une seule molécule de carbone).





Ces deux gaz peuvent s'échapper dans l'atmosphère oxygénée. Le méthane, qui est un gaz à effet de serre 20 fois plus efficace que le CO<sub>2</sub>, est alors oxydé et se transforme rapidement en dioxyde de carbone. En fait, son temps de résidence dans l'atmosphère n'est que de 10 ans, mais il ne faut pas oublier qu'il se transforme en CO<sub>2</sub>, ... ce qui n'est guère mieux pour notre planète. Une partie du méthane demeure cependant dans le sédiment où il forme des réservoirs de gaz naturel. On vient de découvrir (Science, v. 293, juillet 2001) qu'un important volume de méthane est consommé par des bactéries sur les fonds océaniques mêmes. On est tenté d'ajouter: fort heureusement impliquées. (Berner 1996) (crane 1999)

## **8.2. Le cycle long du carbone organique**

Les processus discutés plus haut (photosynthèse, respiration, fermentation) affectent le cycle du carbone organique, et en particulier l'équilibre du CO<sub>2</sub> atmosphérique, sur une échelle de temps inférieure au siècle. Sur des échelles de temps beaucoup plus longues, ce sont les processus de nature géologique qui deviennent les contrôles les plus importants, des processus qui agissent sur des milliers et des millions d'années. Il s'agit de processus tels l'enfouissement des matières organiques dans les sédiments et roches sédimentaires, leur transformation en combustibles fossiles et leur altération (oxygénation) subséquente. Les flux de carbone liés à ces processus sont faibles; en revanche, les réservoirs sont immenses (voir figure du cycle du carbone organique plus haut) et le temps impliqué très long.

Le remplissage de l'immense réservoir que constituent les roches sédimentaires, principalement les schistes, s'est fait petit à petit au cours des temps géologiques, avec deux accélérations importantes, d'abord lors de l'explosion de la vie métazoaire il y a quelques 600 Ma (millions d'années), puis lors de l'avènement de la grande forêt il y a 360 Ma. Le flux de carbone est faible, mais s'étend sur une longue période de temps. Il en est ainsi pour l'oxydation du réservoir de carbone qui se trouve dans les kérogènes, hydrocarbures et charbons. Celle-ci s'est faite au gré de l'exposition à l'air ou aux eaux souterraines oxygénées des roches sédimentaires et de leur contenu, lorsque les mouvements tectoniques qui ont affecté la croûte terrestre ont amené ces roches vers la surface. On évalue le temps de résidence du carbone organique dans ce réservoir à plus de 200 millions d'années, soit en gros le laps de temps correspondant au dépôt des sédiments et matières organiques dans un bassin océanique, à l'enfouissement et la transformation des sédiments en roches sédimentaires, et finalement le soulèvement et l'émergence lors de la formation d'une chaîne de montagne. L'extraction et la combustion des pétroles, gaz et charbons que nous pratiquons allègrement sont venus transformer une partie de ce cycle long en cycle court. (Berner 1996) (crane 1999)

Chapitre II : Milieu Physique

*CHAPITRE II:*  
*MILIEU PHYSIQUE*

## 1. Situation géographique

Le Hodna signifie des plaines des plaine entourées par des montagnes (FAO, 1971) la plaine du Hodna est insérée dans un cadre montagneux, elle constitue un ensemble de Plaine située à l'est et du nord d'une vaste sebka, plaine qu'enrichissent de leurs eaux les rivières originaire du réseaux hydrographique, du telle au nord et de l'atlas saharien au sud (MIMOUNE, 1995)

La région de M'sila est située au sud-est de l'Algérie, elle fait partie du bassin endoréique du Hodna caractérisée par l'étendue de ses plaines arides, riche en sels et à couverts végétales clairsemé. Les stations d'étude sont situés en plaine ; l'une au nord du chott près de la commune de Chellal (Station 2 : 4.400234°E, 35.549348°N, 413m) et l'autre au sud-ouest du chott près de la commune de Maarif (Station 1 : 4.273722°E, 35.368975°N, 420m) voir figure 2 ci-dessous



Source : google earth 25/12/2017

Figure 5: Situation géographique des stations d'étude

## 2. Les caractéristique physique

### 2.1 Géomorphologie :

Le Hodna par son relief et par sa structure est une vaste dépression topographique et également un important bassin tectonique dont l'origine remonte au plissement pyrénéen (lutécien supérieure) qui a donné naissance aux premières chaînes tertiaires avec une dépression dont le djebel Meharga est devenu le centre.

C'est exactement la surface sautée entre les chaînes des montagnes qui entourent le bassin versant du Hodna et le chott lui-même, qui est au point de vue agricole le plus intéressant (FAO, 1973). Le domaine d'étude est sauté entre les chaînes de montagne qui entourent le bassin versant du Hodna et le chott lui-même, qui est au point de vue agricole le plus intéressant. On distingue quatre ensembles géomorphologiques :

#### 2.1.1 Cadre montagneux :

Les monts du Hodna formant une barrière orientée Est-Ouest qui réduit les influences maritimes. Par ailleurs, cet écran dont l'altitude varie entre 1400 à 2000 m (le mont Mâadid au Nord de M'sila culmine à 1863 m)

#### 2.1.2 Les piémonts :

C'est la zone de transition entre la montagne et la plaine, qui s'allonge de l'Ouest en Est aux pieds des montagnes du versant Nord entre les cotes 500 m et 700 m.

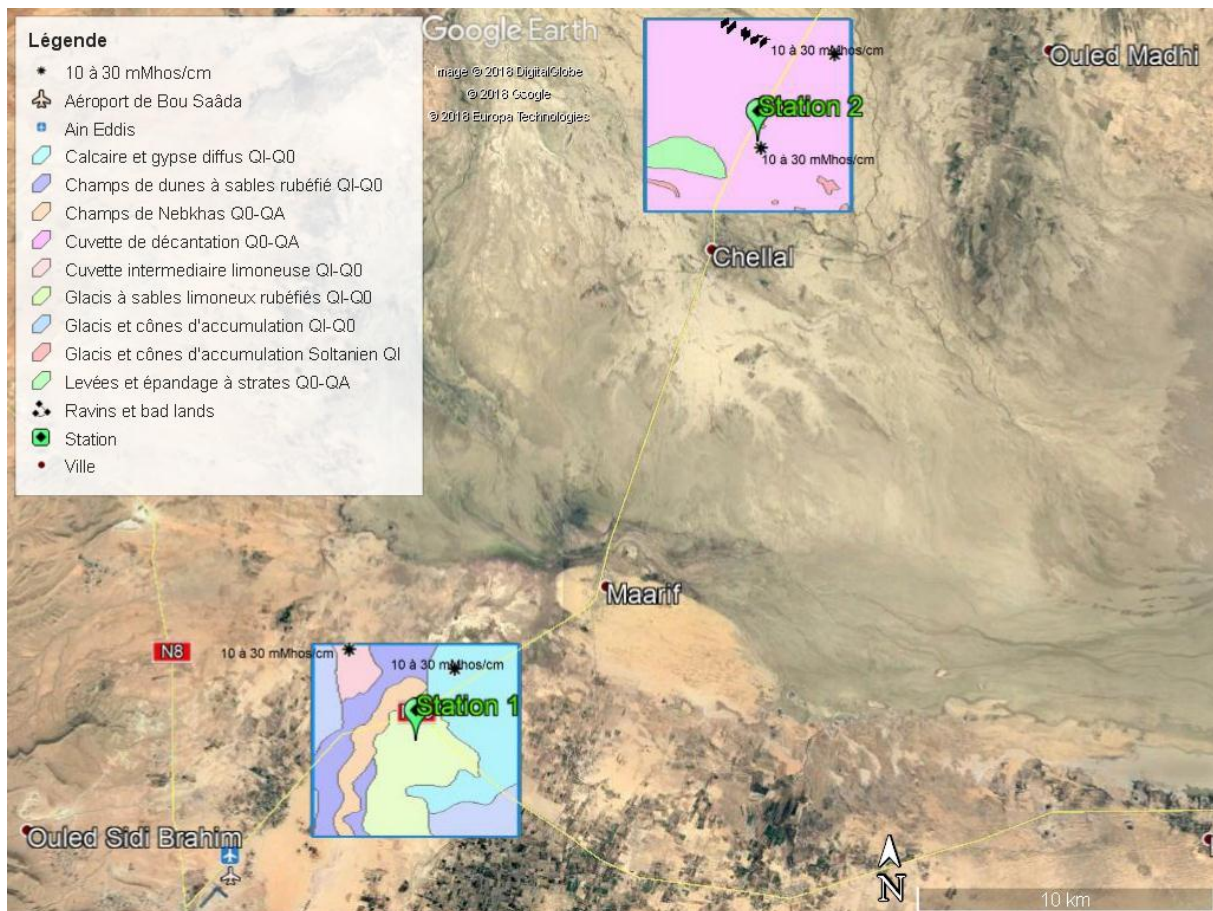
C'est un ensemble correspondant de collines ; qui sont découpées et ravonnées par les oueds qui descendent des montagnes (les oueds de M'sila et Selmane) et par des réseaux temporaires qui coulent après les pluies.

Les collines sont représentées par des plans inclinés et constituées par des dépôts Mio-pliocène, elles plongent vers le centre de la cuvette sous les alluvions récentes.

#### 2.1.3 Les plaines :

La plaine de M'sila couvre une superficie d'environ 500 km<sup>2</sup>. Elle est limitée au nord et à l'est par les glaciers. Au Sud, la courbe de niveau 400 m marque grossièrement le passage de la plaine au chott d'où une pente de 0,55%. Les stations d'étude sont situées dans ces plaines près du chott, la station 2 est représentée par une formation alluviale en forme de cuvette de décantation du quaternaire récent à actuelle, la station 1 par contre elle appartient à une

formation éolienne du quaternaire récent en forme de glacis à sables limoneux rubéfiés voir figure 3



Source : Extrait des cartes géomorphologiques 1/50000 de Chellal et Ain Eddis (CAPALINI & SARY, 1971) Image de fond google earth 2017

Figure 6: Géomorphologie des stations d'étude

#### 2.1.4 Chott el Hodna :

Le chott el hodna fait partie d'une sorte de chott qui s'est développés là où convergent les eaux issues de l'atlas saharien au sud et l'atlas tellien au nord. Le chott à une forme elliptique, à une eau salée et s'étend sur 77km de long et 19 km de large. Son altitude moyenne est de 392m et retenue entre les cordonnées géographique suivent : 35°18'N-35° 32'Net 4°06'E-5°15'E.

### 2.2 Hydrologie :

Le régime hydrologique du hodna est lié au régime pluviométrique caractérise par une forte irrégularité.

La majorité des cours d'eaux n'ont pas débits permanents à exception d'oud longane ,oued el Han, k'sob, selmane , berhoum, soubella alimentés par des source et retenues par des

« ceds » traditionnelle ,conçues pour stockage de l’eaux pour l’irrigation .le bassin vasant présent environs 1/5 de la totalité du bassin hydrologique du hodna .

Le sous –sol renferme beaucoup de formations aquifères repartis en plusieurs niveaux (FAO, 1973)Les principale nappe aquifères des bassins de Hodnasont, la nappe phréatique qui se trouve à une profondeur supérieure à 40cm, le taux de salinité de l’eau est de (moins 2g/l au nord) et la nappe captive profonde de 150 à 250 m, elle est peu chargé en sels (0,5à2g /l). (MIMOUNE, 1995).

Les réseaux hydrographique très diversifiés, il y a au moins 22 cours d’eau qui assertent l’alimentation du chott (BOUMEZBEUR, 2002).

### **2.3 Géologie**

La région de hodna appartient selon (GUIRARD, 1973)à un domaine dit pré atlasique, le bassin de hodna est situé au croisement de système structural très déférent :

L’atlas tellien au nord et l’atlas saharien au sud, elle présente les formations suivantes :

#### **2.3.1 Le secondaire**

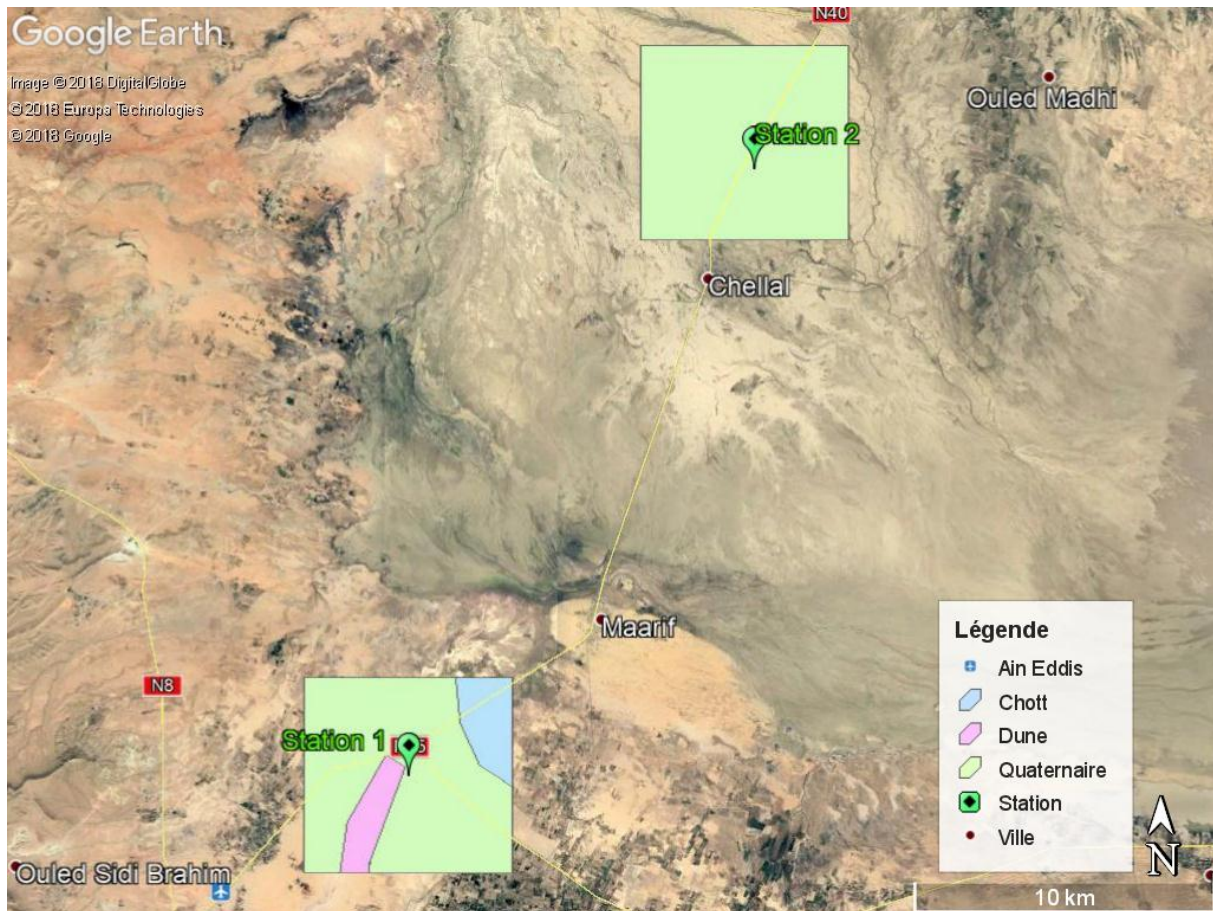
- a. Trias : présente une lithologie composés de marnes et sels.
- b. Jurassique : n’affleure qu’à la faveur d’accidents majeurs dans la partie orientale des monts des hodna, il est caractérisés par la présence de calcaire.
- c. Crétacé : il forme par des bains de marnes et de grés avec interaction de calcaire.

#### **2.3.2 Le tertiaire**

- a. Eocène : les formations paléogènes affleurent en bandes plus ou moins parallèle sur le plan méridional des monts du hodna,il est présente par des grés rouge,des arilles variées, des calcaires et des conglomérats.
- b. Oligocène continentale : il est forme par des conglomérats, des grés fins friables et des marnes rougeâtres
- c. Miocène : il est constitué d’une alternance de marnes gypseuse avec des grés et calcaire.

#### **2.3.3 Le quaternaire :**

Est présent par des alluvions (Station 2)et des sédiments éoliens (Station 1) voir figure



Source : Extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000 image de fond Google earth 2017

Figure 7: Géologie de station d'étude

## 2.4 Pédologie :

Selon l'étude pédologique de là (FAO, 1973) les sols de la région du hodna sont les suivants :

### 2.4.1 Les sols minéraux bruts :

Les sols minéraux bruts d'apports alluviaux qui sont des sols très évoluées, constituées de profil de type (A) C, (A) R ou R. La matière organique se trouve sous forme de traces dans les 20 cm supérieures, et atteindre 1 à 1,5%, dans les 2-3 cm supérieures.

### 2.4.2 Les sols peu évoluées :

Ce sont des sols caractérisés par une altération physique plus poussée. Le profil est de type AC. La matière organique peut exister en quantités élevées dans les 20 cm supérieures.

### 2.4.3 Les solscalcimagnésiques :

Ce type de sols est déterminé par présence d'ions alcalino-terreux dans les horizons supérieurs et dans la partie inférieure si elle existe. Le profil de ces sols est de type AR ou AC ou A(B) R ou A(B) C.

**2.4.4 Les sols halomorphes :**

Ce type de sols est caractérisé par la présence d'une forte teneur en sels de sodium, et / ou par le sodium échangeable « sols sodique ».

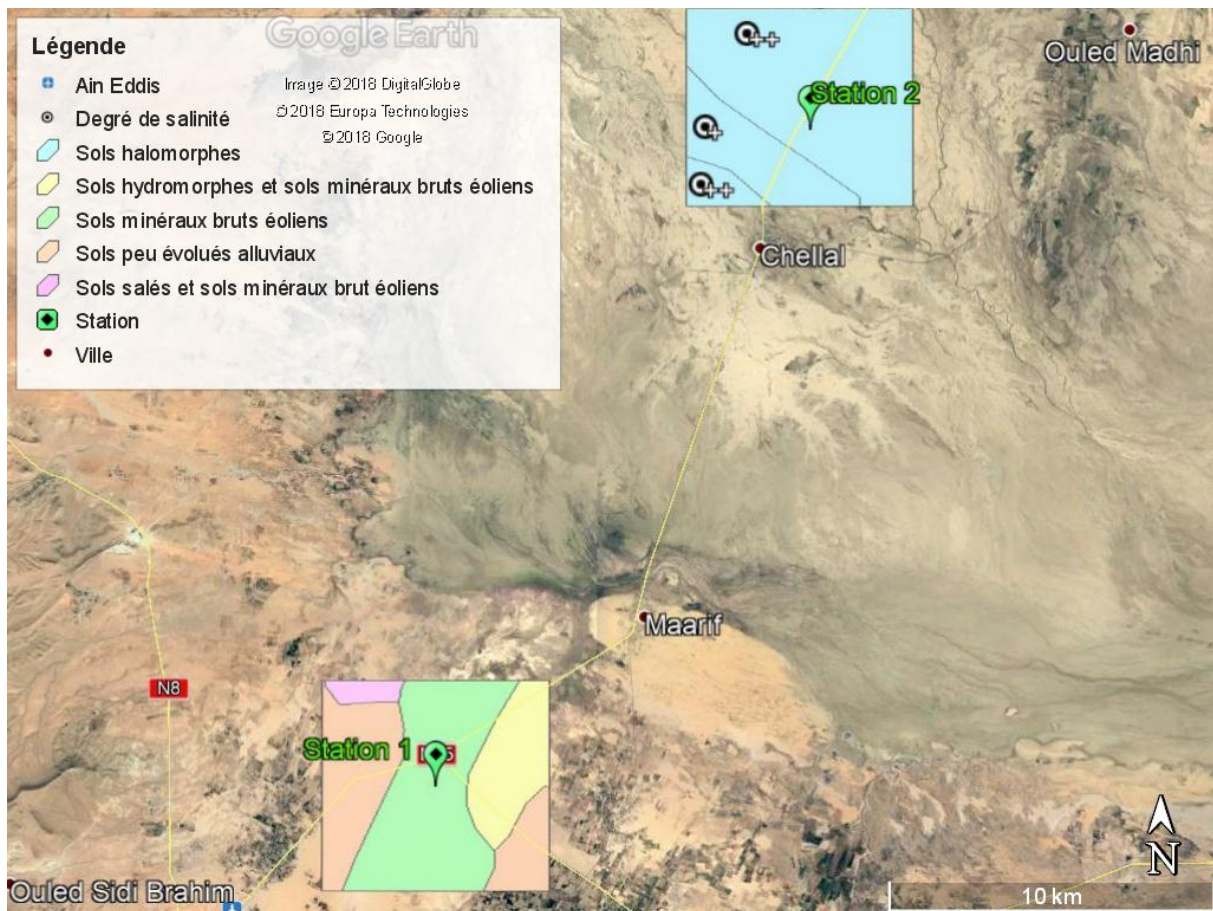
**2.4.5 Les sols hydro morphes :**

Ce type de sols est caractérisé par une hydro orphie important. L'excès d'eau peut se traduits par l'engorgement permanent d'une partie ou de la totalité du profiles. L'eau peut provenir de la nappe phréatique ou de la surface en coéditation de drainage imparfait.

L'hydromorphie est caractérisé par l'horizonne (Gley) ou de pseudogly.

**2.4.6 Les sols iso-humiques :**

Ils sont des sols à profil de type A(B) C, et parfois ABC .le type de profil AC existe rarement. On peut rencontrer en profondeur un horizon de pseudogley ou un horizon à croute calcaire ou gypseuse ou indure .la matière organique est incorporée dans tout le profiles, et est très évoluée dans les horizons supérieurs.



Extrait du carton pédologique du Hodna1/800000 (Boyadgiev, 1975) image de fond Google earth 2017

**Figure 8 : Pédologie des stations d'étude**

## 2.5 Climat :

La région d'étude est une partie du sous bassin versant d'oued k'sob (M'sila) lequel fait partie du bassin versant endoréique Hodnéen. Dans cette étude, on tendra de procéder à des calculs à partir des données météorologiques disponibles.

Le Hodna est caractérisé par des conditions climatiques sévères un été chaud et sec, un hiver et des saisons intermédiaires troublés par le passage sur la méditerranée et plus rarement sur le Sahara du nord, de perturbations cycloniques donnant un régime des vents variables et quelque fois des pluies (MIMOUNE, 1995)

Les principaux éléments du climat (pluies, température, vent...) sont étudiés sur la base des données récoltées auprès de la station météorologique de M'sila (1988-2013).

### 2.5.1 La précipitation :

On distingue sous le terme général de pluviomètre la quantité totale de précipitation reçue par unité de surface et unité de temps. Il constitue un facteur écologique d'importance fondamentale. (RAMADE, 2003).

Sur la région d'El-Hodna, on relève un gradient de 40mm pour 100mm la partie Nord et un gradient de 20mm pour la partie Sud (DJEBAÏLI, 1984).

Les données de précipitation pour la station météorologique de M'sila s'étendent sur la période allant de 1988 à 2014. La variation interannuelle des précipitations est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 1: Répartitions interannuelle des précipitations (mm).**

Année	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
P(mm)	213	282	146	157	105	348	252	125	225	188
Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014			
P(mm)	171	153	121	168	168	179	170			

Source : station météorologique de M'sila (2014)

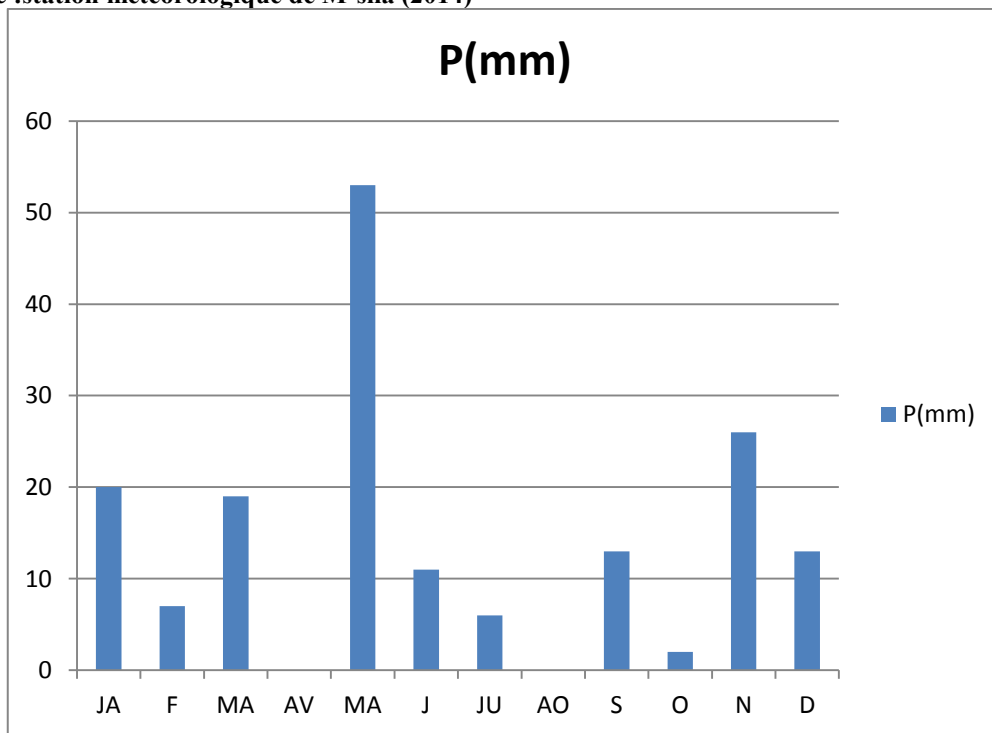
Les hauteurs annuelles des précipitations pour le période (1998 –2014) varient de 105 mm en 2002 à 384 mm en 2003, tandis que lamoyenne pluviométrique interannuelle est égale à 209mm.

On remarque que la pluviosité mensuelle est très variable, et ne suit pas une évolution continue. Avec un maximum en , et un minimum en voir Tableau N° 7.

**Tableau 2 :Pluviométrie moyenne mensuelle.**

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D	Totale
P(mm)	20	7	19	00	53	11	6	00	13	2	26	13	170

Source :station météorologique de M’sila (2014)



**Figure 9 : Pluviométrie moyenne mensuelle**

Les quantités pluviométrique sont repartie d’une manière hétérogène où la période pluvieuse s’étend de septembre jusqu’à Mai.

Afin de connaitre la quantité de précipitation tombée aux différentes phases de développement de la végétation, nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel.

**Tableau 3: Répartitions saisonnier des précipitations**

Pluviométrie	Automne	hiver	Printemps	Eté	Totale	Indicatif saisonner
P(mm)	<b>69,27</b>	<b>51,33</b>	<b>58,23</b>	<b>20,90</b>	<b>199,73</b>	<b>A .P .H.E</b>
P (%)	<b>35</b>	<b>26</b>	<b>29</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>A .P .H.E</b>

**Source : station météorologique de M’sila (2014).** A : Automne .H : hiver P : Printemps E : Eté

La station de M’sila est caractérisée par un régime saisonniers de type **A.P.H.E.** c’est l’automne qui est généralement le plus pluvieux, et la saison la plus sèche est l’Eté.

### 2.5.2 Température

La température représente a un facteur limitant de premier important car elle conditionnée la répartition de la totalité des espèces et des communautés d’être vivant dans la biosphère (RAMADE, 2003).

L’étude de la variation de la température dans le temps a une grand importance dans l’évolution de la matière organique des fait qu’elle constitue le paramètre principale qui conduction le phénomène de dégradation de matière organique, autrement dit, elle une grand influence sur le bilan humique. Elle intervenait aussi dans la répartition de la totalité des espèces et des communautés d’être vivant dans la biosphère

Les températures moyennes minimales et maximales (1998-2014).sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau 4 : Les températures moyen minimales et maximales (°C).**

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
M	<b>18,8</b>	<b>25 ,4</b>	<b>23 ,6</b>	<b>33, 3</b>	<b>37,2</b>	<b>39</b>	<b>42,2</b>	<b>44,3</b>	<b>40,7</b>	<b>36,8</b>	<b>25,9</b>	<b>18,5</b>
m	<b>0,1</b>	<b>-1,8</b>	<b>1</b>	<b>5,3</b>	<b>9</b>	<b>13,6</b>	<b>20</b>	<b>20,5</b>	<b>17,5</b>	<b>7,6</b>	<b>6</b>	<b>-0 ,6</b>
M+m/2	<b>9,45</b>	<b>11,8</b>	<b>12,3</b>	<b>19,3</b>	<b>23,1</b>	<b>26,3</b>	<b>31,1</b>	<b>32,4</b>	<b>29,1</b>	<b>22,2</b>	<b>15,95</b>	<b>8,95</b>

**Source : station météorologique de M’sila (2014)**

**M :** Températures moyennes mensuelles des maxima.

**m :** Températures moyennes mensuelles des minima.

**M +m/2 :** Températures moyennes mensuelles (T Max +T min/2)

L'analyse de ces données montre que : le maximum des températures moyennes mensuelles est atteint en aout avec une valeur de 44 ,3°C, alors que le minimum est observé en Décembre avec une valeur de -0,6°C la température moyenne annuelle est 20,16°C.

2.5.3 Les autres facteurs climatiques :

2.5.3.1 Les vents :

Le vent est un phénomène continuél au désert ou il joue un rôle considérable en provoquant une érosion intense grâce au particule sableuse qu'il transporte (RAMADE, 2003)

Les vents dominants qui soufflent dans la région de M'sila sont :

Le vent d'ouest, ditdhahraoui estpluvieux, il est fréquent en automne, en hiver et au printemps.

Le vent du Nord(N) ; est dit Bahri est moins fréquent, il est froid et sec.

Les vents à directionsvariable (Var), qui souffle surtout pendant les saisons sèches.

Le siroco : vent chaud et sec, souffle général du sud, il entrave le développement des cultures il constitue la cause du faible tapis végétal dans la wilaya de m'sila pour ce que les vents chauds et secs accentuent le dessèchement des substrats et limite l'installation de la végétation (RAMADE, 2003)

Les vents du Nord sont fréquents pendant l'Hiver, alors que ceux du Nord-est bien repartis toute l'année accèdent facilement dans la cuvette du Hodna par la vallée de l'oued Barika. Ceux du sud n'atteignent le Hodna qu'en été, période durant laquelle ils soufflent avec des rafales brulantes.

**Tableau 5: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.**

Mois	Jan	fév	Mar	Avri	Mai	Juin	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	déc
Vitesse du vent(m/s)	3,58	3,7	4,02	4,07	4,05	4,17	4,74	9,25	7,71	4,56	4,5	3,9

Source : Station météorologique de M'sila (2014)

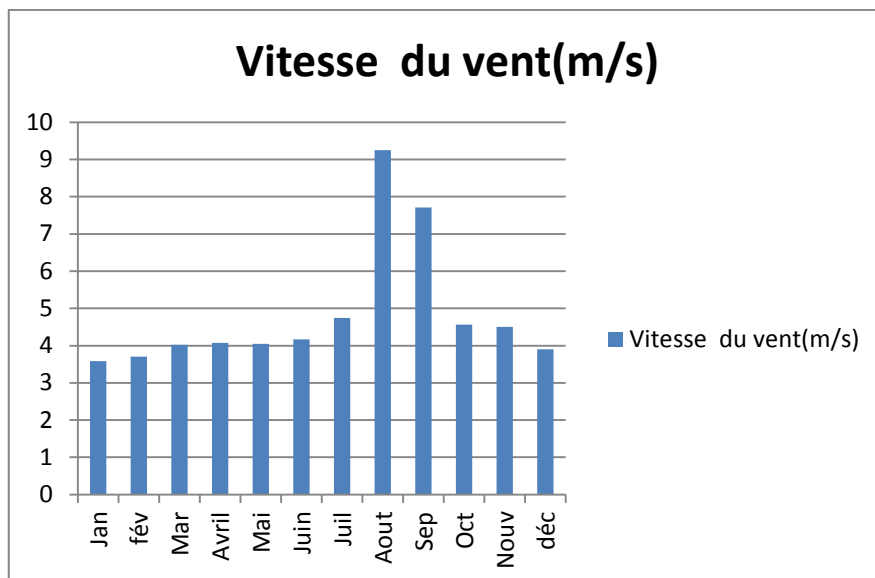


Figure 10 : moyennes mensuelles de la vitesse du vent

Les vents soufflent à leurs maximums pendant le mois d’octobre avec 3,69 m/s .le Sirocco qui sévit à partir du printemps accroît le déficit hydrique des cultures.

**2.5.3.2 L’humidité :**

L’humidité relative moyenne mensuelle prend une valeur de 35% au mois de juillet qui est considéré comme le mois le plus sec alors que le plus humide est décembre avec une valeur de 75,62%

**Tableau 6: Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M’sila durant la période allant de 1998 à 2014 .**

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
L’humidité	85	67	60	52,64	39,17	35,70	37,29	48,34	56,88	60,17	68,52	71,64

Source : station météorologique de M’sila (2014)

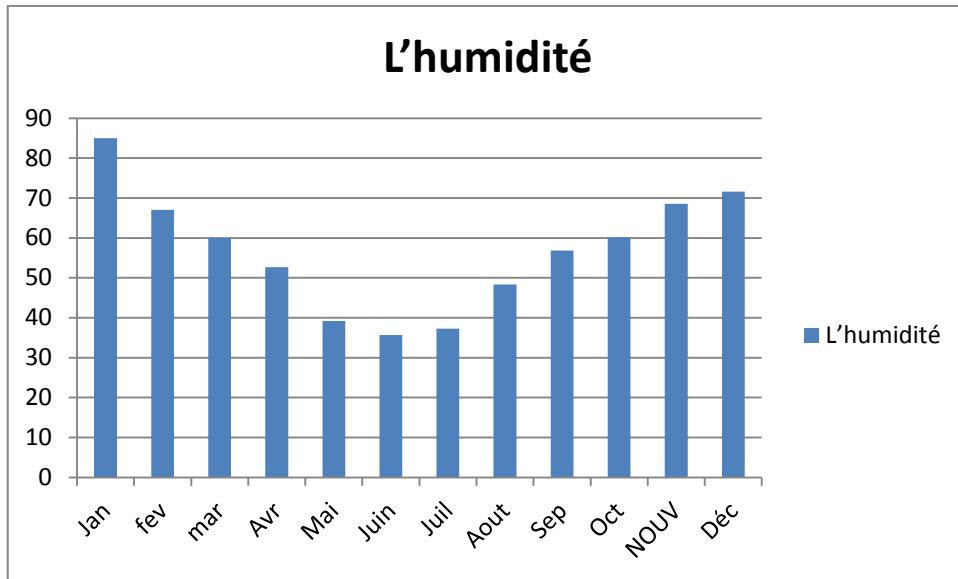


Figure 11 :Moyennes mensuelles d'humidité dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014

Nous avons retenu les paramètres les plus importants, la température, les précipitations le vent pour définir le type du climat de notre région d'étude.

2.5.3.3 Diagramme ombrothermique de bagnouls et gausсен :

Le Diagramme ombrothermique de Bagnouls et gausсен est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année. Les mois sont portés en abscisses, et on ordonnées les précipitations (P)et les températures (T), avec  $P=2T$ .

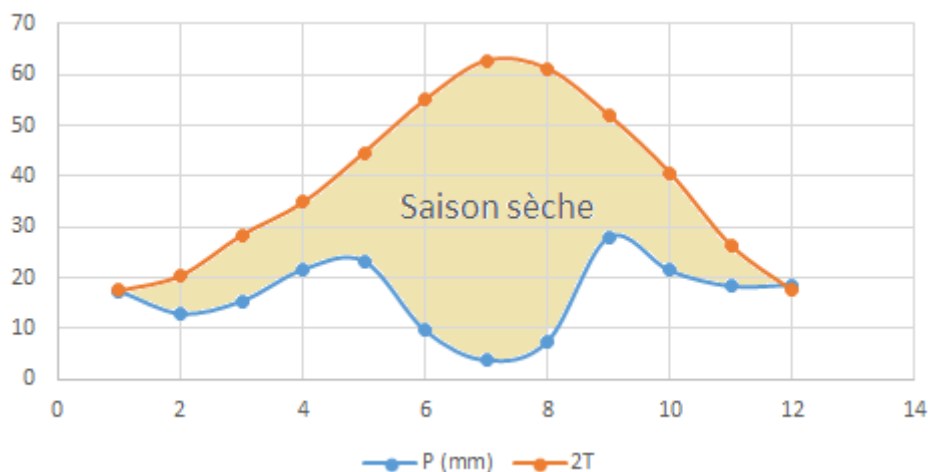


Figure 12 : Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gausсен de la station de M'sila 1988-2014

La figure porte sur le diagramme ombrothermique de la région d'étude établit à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 17ans.

Une période est considérée sèche lorsque la courbe de pluviosité se trouve en dessous de la courbe de température ; il s'agit le plus souvent d'une saison sèche estivale.

Dans notre cas la saison sèche est longue de 10 mois elle s'étale donc presque sur toute de l'année.

**2.5.3.4 Climagramme D'EMBERGER :**

Le climagramme d'Emberger permet de limiter les étages bioclimatiques et de placer une station dans l'un des étages d'Emberger (humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien).

Le quotient pluviothermique s'écrit :

$$Q2 = 3,43 \frac{P}{M - m}$$

Q2 : Le quotient pluviothermique.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus Chaud en kelvin (°C+273).

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid kelvin.

Ce quotient croit avec les hauteurs des précipitations, mais décroît avec les amplitudes thermiques annuelles, c'est-à-dire les différences entre le mois le plus chauds et les mois le plus froids.

**Tableau 7 : Valeurs du quotient pluviothermique**

Données	P (mm)	m (°C)	M(°C)	M-m (°C)	Q2
Station(M'sila)	197,46	2,14	43,60	41.46	14,82
Etage Bioclimatique	Aride inferieure				

Dans le cas de M'sila la valeur de ce quotient est  $Q_2 = 14,82$ , donc connaissant la moyenne de température minimales du mois le plus froid ( $m = -2,14^\circ\text{C}$ ), on peut donc placer la zone de M'sila dans l'étages Aride inferieure sur le ciagramme d'émerger voir figure ci-dessous.

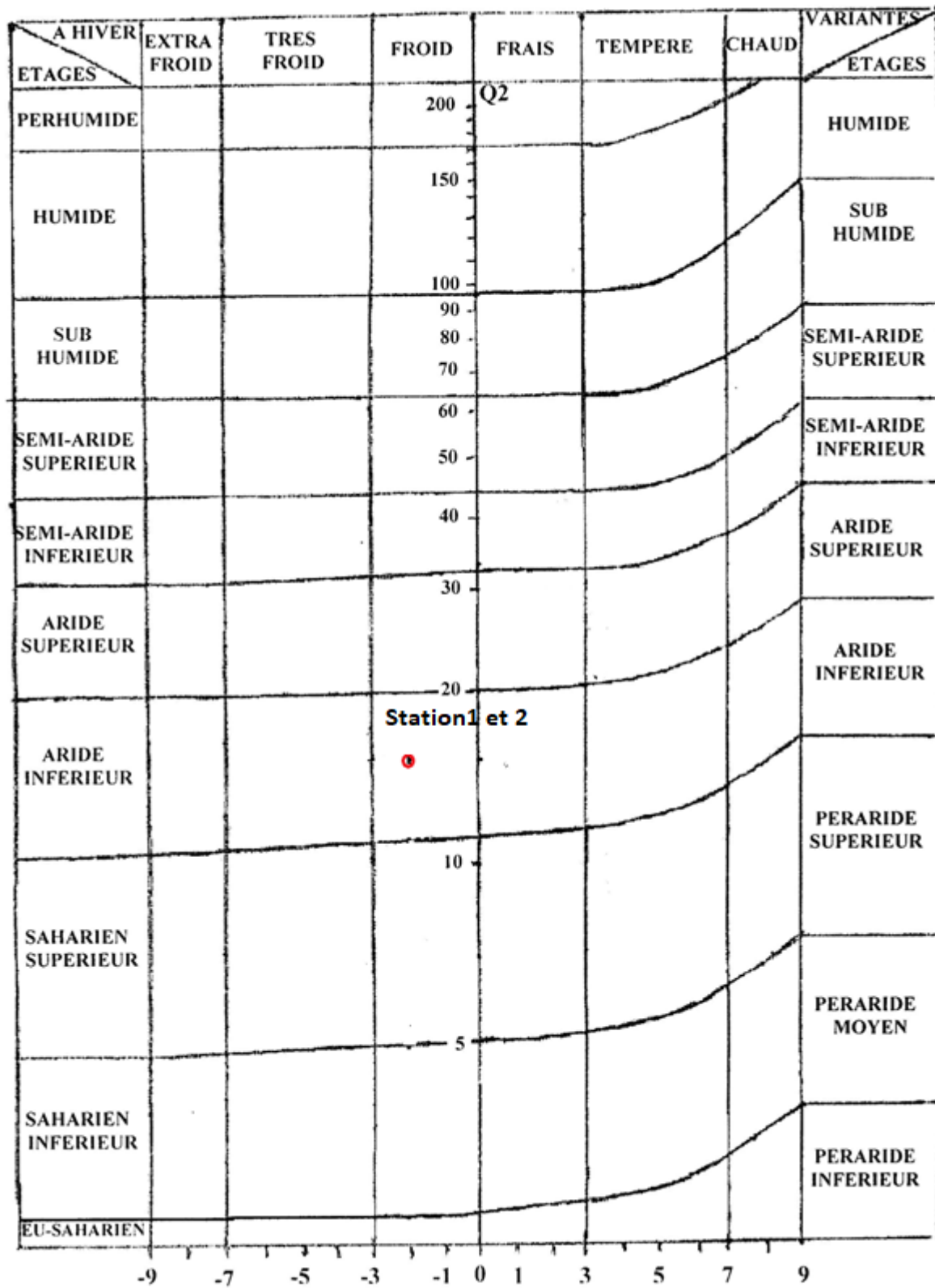


Figure 13 : Climagramme d'Emberger et représentation de la zone d'étude 1988-2013

Chapitre III : Matériel et Méthodes

*CHAPITRE III:  
MATERIEL ET  
METHODES*

## 1. Matériel :

Cette étude vise à caractériser la matière organique dans deux sol du milieu aride de M'sila, localisé au niveau de la plaine du Hodna dans deux stations représentant des sols peu évolué alluviaux et éolien. Prenant en considération les caractéristiques climatique et édaphique.

## 2. Méthode

L'étude de la caractérisation de la matière organique en milieu salé comporte :

- Le choix des sites d'échantillonnage en se basant sur les facteurs climat, géomorphologie et géologies à fin de déterminer l'effet de la salinité sur la matière organique du sol.
- Analyse au laboratoire des caractéristiques du sol
- Traitement statistique des données et expression des résultats

### 2.1 **Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse des sols**

#### 2.1.1 Stratégie d'échantillonnage des sols

Les échantillons destinés à la caractérisation de la matière organique sont prélevés à partir de deux Stations. Dans chaque station trois parcelles sont choisie pour l'échantillonnage de sol en fonction de l'homogénéité du terrain. Dans chaque parcelle six échantillons élémentaire prélevés selon les diagonales sont mélangés pour donner un échantillon représentatif de chaque parcelle. .

#### 2.1.2 Analyses physiques et chimiques des sols

Les échantillons ont été séchés à l'air, à la température ambiante. Les sols séchés ont ensuite été broyés et tamisés à 2 mm. Le tamisât représente la terre fine va subir les analyses ultérieures. Le refus constitue les éléments grossiers, il est pesé pour être exprimé en pourcent du poids total de l'échantillon de terre.

##### 2.1.2.1 *La conductivité électrique*

Elle représente la quantité des sels solubles dans la solution du sol, on mesure la conductivité électrique par un conductimètre dans une suspension (sol/eau de 1/5) (AUBERT, Méthodes d'analyses des sols., 1978).

### 2.1.2.2 *Le pH*

Le pH est l'abréviation du potentiel hydrogène qui est un paramètre servant à définir si un milieu est acide ou basique.

Par mesure de pH on peut distinguer entre :

- Acidité actuelle ou pH eau
- Acidité totale ou pH KCl

Le pH eau, pH kCl est mesuré par voie électro métrique sur une suspension aqueuse dont le rapport sol /eau (respectivement : sol /solution KCl N) = (1/2,5).

### 2.1.2.3 *Le calcaire total*

Dans cette étude nous avons retenu la méthode volumétrique nommée aussi la méthode « Calcimètre de Bernard ». Elle est basée sur la mesure du volume de CO<sub>2</sub> dégagé suite à l'action d'un excès d'acide de chlorure (HCL) sur un poids connu d'un échantillon de sol (BAIZE D. , 2000).

### 2.1.2.4 *Calcaire actif*

On agite la terre avec une quantité connue d'oxalate d'ammonium N/5. On filtre. On titre au permanganate cette solution avant et après son contact avec la terre. La différence entre les deux titrages correspond à la quantité de calcium du carbonate ayant réagi sur l'oxalate d'ammonium. (AUBERT, Méthodes d'analyses des sols., 1978)

### 2.1.2.5 *Analyse granulométrique*

L'analyse granulométrique a été réalisée par diffractométrie laser réalisé sur une suspension de sol, après dispersion ultrasonique. L'appareil permet la mesure du pourcentage des particules de sol de 0.1um à 2000um (Lamy, 1999)

### 2.1.2.6 *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 ministre de l'environnement, 2001)

### 2.1.2.7 *Séparation granulométrique de la matière organique.*

.La séparation des fractions de la matière organique est réalisé en exploitants leur solubilité différentielle dans l'acide et la base selon la méthode de (DABIN, 1976).

- La fraction flottante dans l'acide phosphorique ..... matière organique légère MOL.
- Fraction soluble dans l'acide phosphorique..... Acide fulvique1 AF1
- Fraction soluble dans l'HCL après extraction à la soude.....Acide fulvique2 AF2
- Fraction insoluble dans l'HCLaprès extraction à la soude.....Acide Humique
- Fraction insoluble dans (HCL, H3PO4 et NaOH) .....Humine

### **2.1.3** Analyse statistique

Les analyses statistiques (statistiques descriptive, variances corrélations) ont été réalisé à l'aide de Statistica

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

*CHAPITRE IV:  
RESULTATS ET  
DISCUSSION*

## 1. Résultats Globaux

Les résultats obtenus pour les différentes variables sont donnés dans le tableau1, où figurent la moyenne, minimum, maximum, la déviation standard de la moyenne et la conformité de la distribution des valeurs des variables à la distribution normale.

Le coefficient de variabilité indique une forte variabilité pour l'ensemble des variables excepté pour le pH ceci dénote dissemblance entre les deux stations.

On remarque que la distribution des valeurs de toutes les variables ne suit pas la distribution normale donc la statistique non paramétrique est la plus convenable à l'analyse de nos résultats. Le choix de station et parcelle d'échantillonnage n'a pas été aléatoire mais dicté par des paramètres extrinsèque et intrinsèque au sol ce qui explique probablement les distributions obtenue.

**Tableau 8 : Résultats obtenus des variables étudiées**

	Valide N	Moyenne	Minimum	Maximum	Std.Dev.	Coef.Var.	Distribution
COT (%)	18	0,33222	0,11000	0,58000	0,20997	63,20274	Pas normale
AF1	18	0,01437	0,00519	0,02648	0,00895	62,30831	Pas normale
AF2	18	0,00147	0,00058	0,00252	0,00088	60,01359	Pas normale
A Humique	18	0,00322	0,00116	0,00617	0,00196	60,78703	Pas normale
Humine	18	0,07116	0,02322	0,12780	0,04333	60,89517	Pas normale
MOL	18	0,24146	0,07835	0,44177	0,15852	65,65023	Pas normale
Das (g/cm3)	18	1,38542	1,20688	1,62644	0,16668	12,03099	Pas normale
CEC (meq/100g)	18	15,08889	6,00000	24,20000	8,67626	57,50100	Pas normale
Calcaire total (%)	18	14,59479	6,11538	23,30769	8,42636	57,73540	Pas normale
pHeau	18	8,64000	7,93000	9,22000	0,40175	4,64984	Pas normale
pHKCl	18	8,06889	7,30667	8,87667	0,48365	5,99406	Pas normale
CE (mMhos/cm)	18	3,56578	0,23033	7,25000	3,37334	94,60327	Pas normale
A %	18	4,92925	0,43700	9,53000	4,59087	93,13517	Pas normale
Lf %	18	34,48700	12,00000	56,97000	22,65973	65,70514	Pas normale
Lg %	18	9,74450	2,00000	18,21000	7,84800	80,53774	Pas normale
Sf %	18	40,67050	14,86000	70,42200	26,64233	65,50776	Pas normale
Sg %	18	10,16875	1,64000	23,00000	8,95487	88,06266	Pas normale

## 2. Analyse statistique

### 2.1. ANALYSE DE LA VARIANCE

#### 2.1.1. Influence de la Station : teste de Kolmogorov-Smirlov

Pour toutes les variables étudiés il y a une différence significative entre les deux stations (voir tableau2)

Tableau 9: Test de Kolmogorov-Smirlov pour deux groupes indépendants

	Max Neg	Max Pos	p-value	Mean	Mean	Std.Dev.	Std.Dev.
COT (%)	-1,00000	0,000000	p < .001	0,13000	0,53444	0,010000	0,039721
AF1	-1,00000	0,000000	p < .001	0,00577	0,02297	0,000303	0,001928
AF2	-1,00000	0,000000	p < .001	0,00062	0,00232	0,000029	0,000129
A Humique	-1,00000	0,000000	p < .001	0,00135	0,00508	0,000129	0,000527
Humine	-1,00000	0,000000	p < .001	0,03033	0,11198	0,005660	0,014421
MOL	-1,00000	0,000000	p < .001	0,09082	0,39209	0,008577	0,047631
Das (g/cm3)	0,00000	1,000000	p < .001	1,54261	1,22824	0,054991	0,020516
CEC (meq/100g)	-1,00000	0,000000	p < .001	6,66667	23,51111	0,384057	0,464878
Calcaire total (%)	-1,00000	0,000000	p < .001	6,41675	22,77282	0,308819	0,553658
pHeau	0,00000	0,666667	p < .05	8,89593	8,38407	0,317647	0,307742
pHKCl	0,00000	1,000000	p < .001	8,47111	7,66667	0,262345	0,253470
CE (mMhos/cm)	-1,00000	0,000000	p < .001	0,29415	6,83741	0,059787	0,307773
A %	-1,00000	0,000000	p < .001	0,46850	9,39000	0,027280	0,121244
Lf %	-1,00000	0,000000	p < .001	12,46900	56,50500	0,406166	0,402702
Lg %	-1,00000	0,000000	p < .001	2,13400	17,35500	0,116047	0,740452
Sf %	0,00000	1,000000	p < .001	66,46100	14,88000	3,430327	0,017321
Sg %	0,00000	1,000000	p < .001	18,46750	1,87000	3,925260	0,199186
Astable	-1,00000	0,000000	p < .001	3,95958	5,69985	0,179305	0,181858

### 2.1.2. Influence de la parcelle : teste kaistal-wallis (anova-mediane)

Pour toutes les variables étudiées les parcelles ne sont pas significativement différentes, ce qui est normale car elles ont été choisies pour leur homogénéité apparente.

Tableau 10: test de Kruskal-Wallis pour multiple groupes indépendants

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Astable (Analysemekhamaza) Independent (grouping) variable: Parcelle Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 18) =,7836257 p =,6758				
	Code	Valid - N	Sum of - Ranks	Mean - Rank
1	1	6	59,00000	9,83333
2	2	6	48,00000	8,00000
3	3	6	64,00000	10,66667

### 2.2. Analyse de corrélation test de Spearman

Le carbone organique totale (COT %) est corrélé ; négativement avec la densité apparente (Das), le pH (pHeau, pH<sub>KCl</sub>) et le pourcentage de sable (Sg %, Sf %) et positivement avec les autres variables. Voir tableau 4

Tableau 11: test de corrélation de Spearman

	COT (%)
AF1	0,661134
AF2	0,647578
A Humique	0,704568
Humine	0,760850
MOL	0,940119
Das (g/cm3)	-
CEC (meq/100g)	0,817132
Calcaire total (%)	0,759429
pHeau	-
pHKCl	0,536764
CE (mMhos/cm)	-
A %	0,754465
Lf %	0,744558
Lg %	0,595253
Sf %	0,715570
Sg %	0,943539
Astable	-
	0,823222
	-
	0,943539
	0,849442

### 3. Interprétation

#### 3.1. Carbone organique

La station (2) est plus riche au carbone organique que la station (1) avec des valeurs de 0,53% et 0,13% respectivement, ce valeur sont très faible pour les sols minéraux des référentiels ; soil taxonomy (USDA. 1975) et référentiel pédologique. Ayant pour valeur maximale de carbone organique total de 18%, donc les valeurs de nos stations frôle la borne inférieure de cette échelle. Voir tableau 12 et figure 15

Tableau 12: Carbone organique total (COT%) des deux stations

COT (%)	Valide N	Moyenne	Minimum	Maximum	Déviat. standart.
Station1	9	0,130000	0,110000	0,140000	0,010000
Station2	9	0,534444	0,480000	0,580000	0,039721

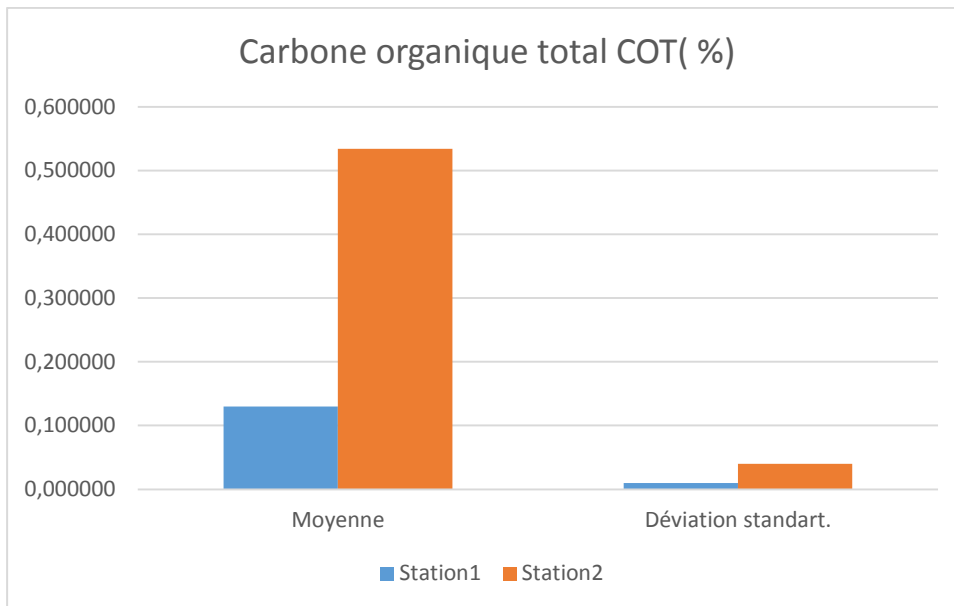


Figure 14: Carbone organique total moyenne par Station

### 3.2. Fractions organiques (séparation chimique)

La station2 est plus riche en carbone organique pour toutes les fractions par rapport à la station1 eu respectant l'ordre décroissant ; matière organique légère (MOL), Humine, Acide fulvique 1(soluble H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) (AF1), Acide Fulvique 2 (Soluble HCl) (AF2), Acide humique (insoluble HCl). Voir tableau13 et figure

Tableau 13: Moyennes des fractions organique par station

Station	Fraction	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Station1	AF1	9	0,005766	0,005189	0,006165	0,000303
	AF2	9	0,000617	0,000581	0,000656	0,000029
	A Humique	9	0,001351	0,001161	0,001613	0,000129
	Humine	9	0,030333	0,023224	0,040180	0,005660
	MOL	9	0,090822	0,078352	0,107832	0,008577
Station2	AF1	9	0,022970	0,021132	0,026483	0,001928
	AF2	9	0,002322	0,002160	0,002521	0,000129
	A Humique	9	0,005082	0,004466	0,006168	0,000527
	Humine	9	0,111982	0,079205	0,127798	0,014421
	MOL	9	0,392088	0,322832	0,441772	0,047631

Où la matière organique légère et l'humine totalise plus de 90% du carbone organique de l'ensemble des fractions. La matière soluble acide fulvique et acide humiques sont les moins représenté avec moins de 10%

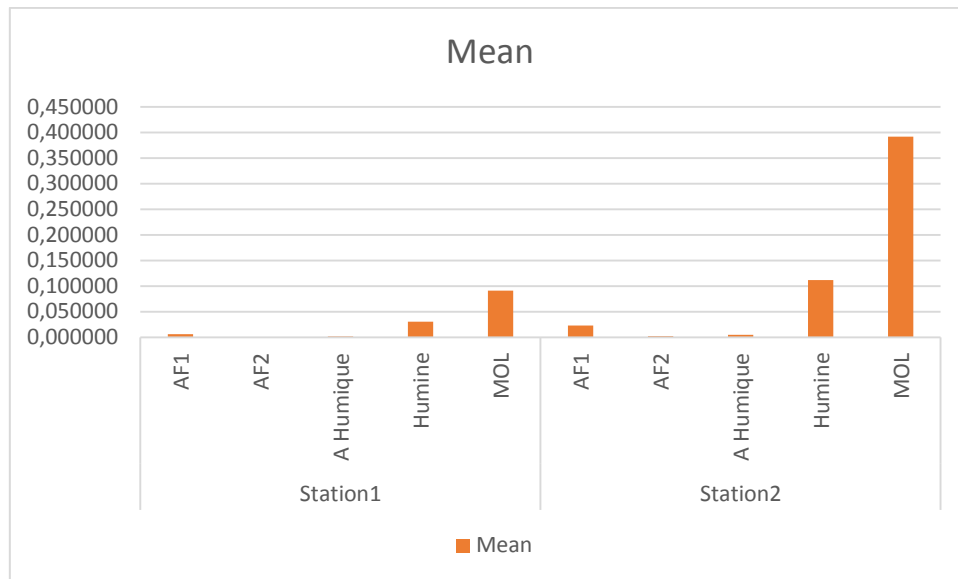


Figure 15: Moyennes des fractions organiques par station

### 3.3. Densité apparente

La densité apparente de la station1 est plus élevée par rapport à celle de la station2 avec des valeurs de 1,54 et 1.23 respectivement voir Figure 16

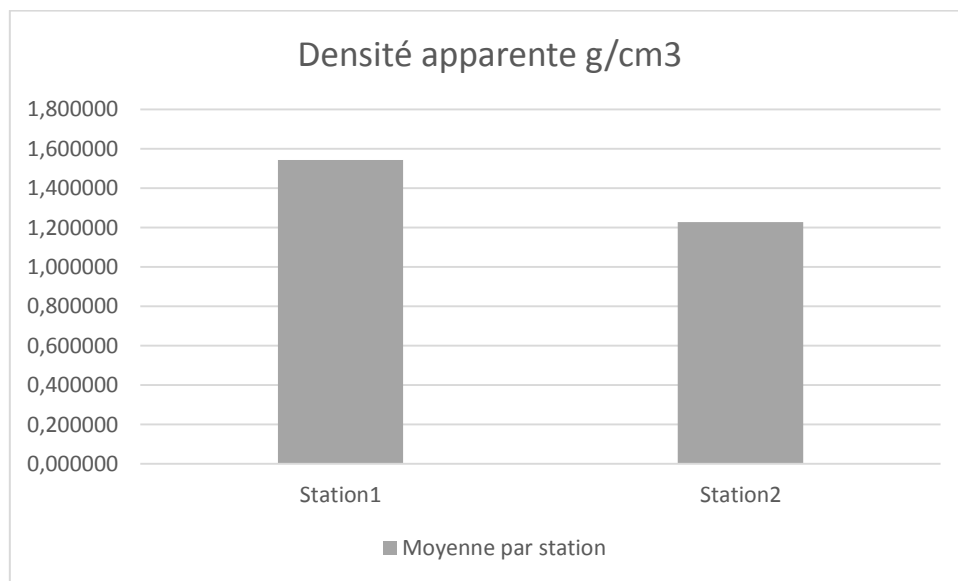


Figure 16: Moyenne des densités apparentes par station

### 3.4. La capacité d'échange cationique

La capacité d'échange cationique de la station 2 présente des valeurs plus élevée que celle de la station 1 avec un écart de plus de 2/3 des valeurs. Voir figure 17

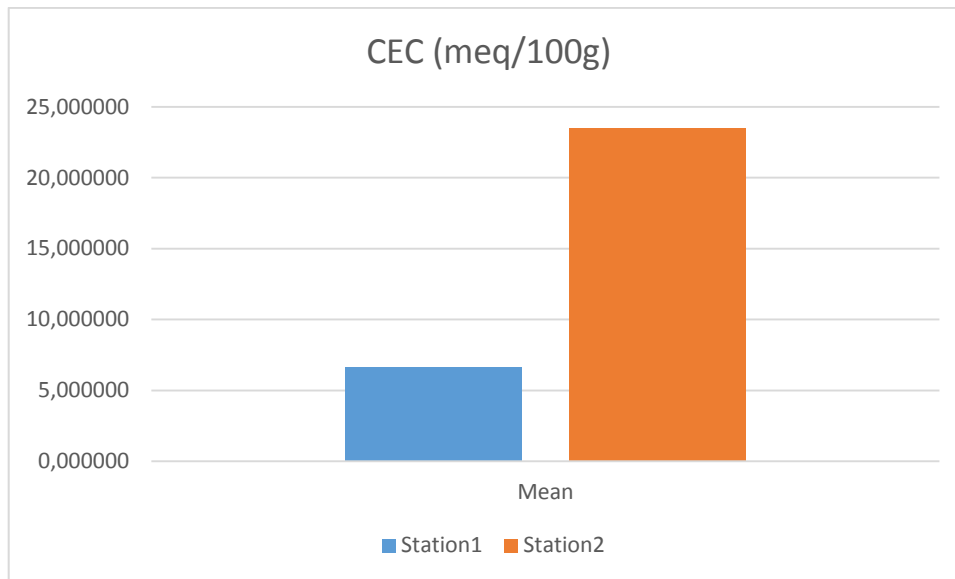


Figure 17: Moyenne de la capacité d'échange par station

### 3.5. Calcaire totale

La station 2 est plus riche au calcaire totale que la station 1 selon le (Soil survey staff, 2003) la station 2 est calcaire car le taux de calcaire est supérieur 15% alors que la station 1 n'est pas calcaire avec près de 6,5% de calcaire totale. Voir figure 18

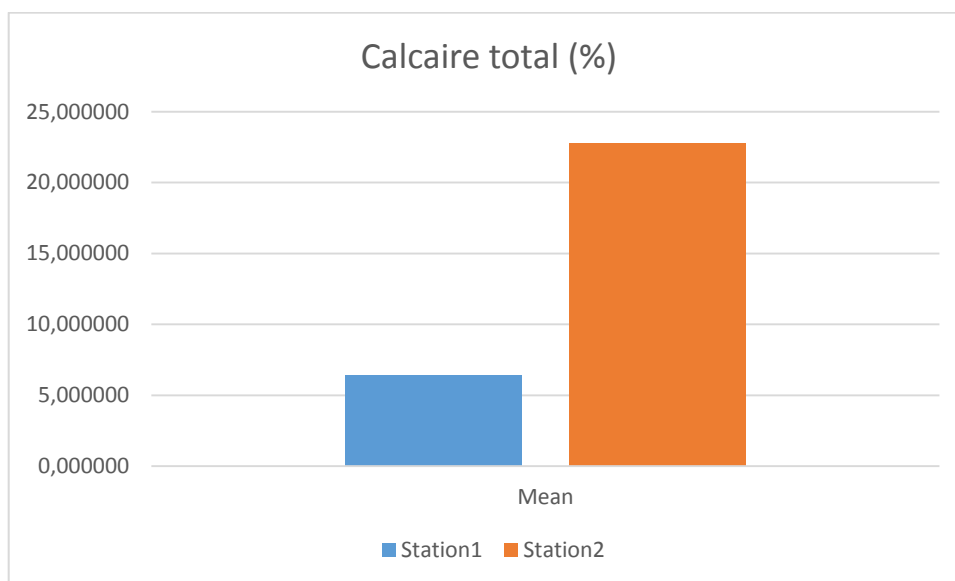


Figure 18: moyenne du calcaire total par station

### 3.6. Réaction du sol : (pH)

Le pH de la station 1 est plus alcalin que celui de la station 2 tandis que pH eau-pH kcl inférieur à 0.5

Selon le (Soil survey staff, 2003) un pHeau inférieur à 8,5 indique que le sol est alcalin tandis que la différence pHeau-pH<sub>KCl</sub> inférieur à 0.5 montre une faible désaturation du complexe d'échange

Donc nos deux stations sont alcalins avec un complexe faiblement désaturé. Voir figure

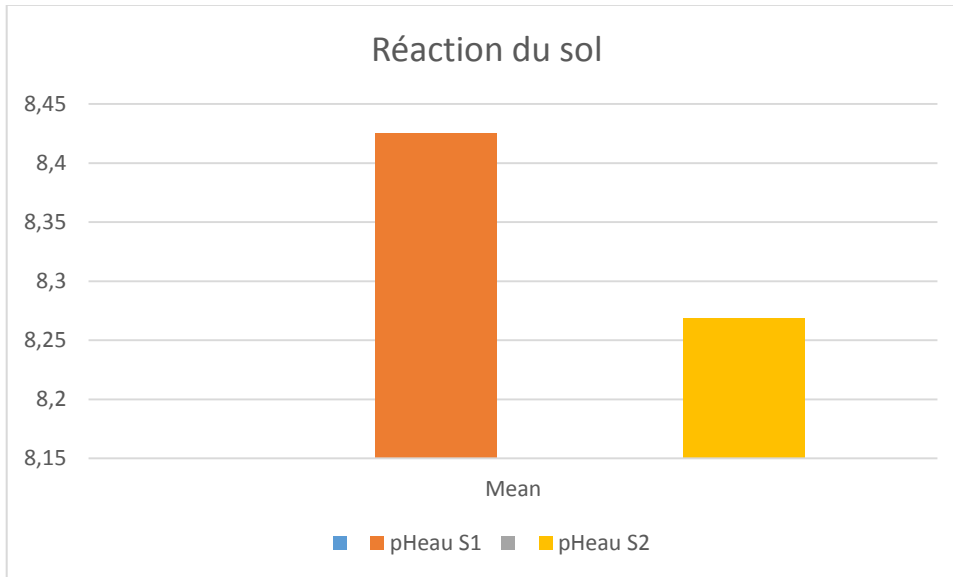


Figure 19: moyenne des valeurs du pH par station

### 3.7. Conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique sont plus élevées au niveau de la station 2 par rapport à la station 1. Voir figure 20

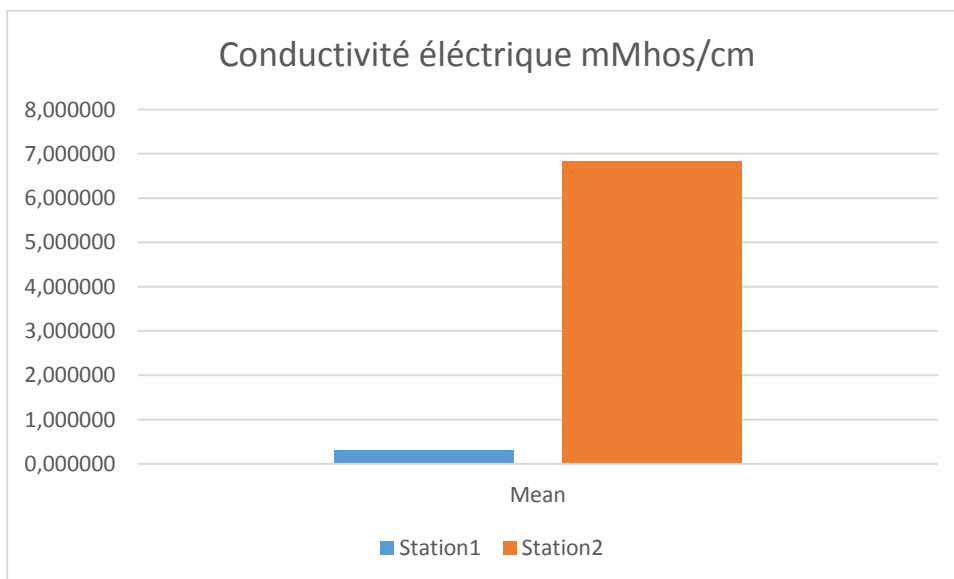


Figure 20: Moyenne de la conductivité électrique par station

Les valeurs des deux stations données par la figure 20 montrent qu'ils appartiennent à deux classes de salinité différente selon (DURAND, 1953)

Station 1 **non salé** CE (suspension sol/eau=1/2.5) < 500 uS/cm

Profil 2 **Très salé** 2000 < CE (suspension sol/eau=1/2.5) < 400

### 3.8. Granulométrie

Les valeurs de la fraction granulométrique indiquent des différences importantes entre les deux stations. La station 1 est plus riche en sable fin et pauvre en limon, la fraction argile est presque absente. La station 2 par contre elle est plus fournie en limon fin et limon grossier et pauvre en sable et argile. Voir tableau et figure

Tableau 14 : Moyennes des fractions granulométriques par station

Station2	Valide N	Moyenne	Minimum	Maximum	Std.Dev.
<b>A %</b>	9	9,39000	9,25000	9,53000	0,121244
<b>Lf %</b>	9	56,50500	56,04000	56,97000	0,402702
<b>Lg %</b>	9	17,35500	16,50000	18,21000	0,740452
<b>Sf %</b>	9	14,88000	14,86000	14,90000	0,017321
<b>Sg %</b>	9	1,87000	1,64000	2,10000	0,199186
<b>Station1</b>	Valide N	Moyenne	Minimum	Maximum	Std,dev,
<b>A %</b>	9	0,46850	0,43700	0,50000	0,027280
<b>Lf %</b>	9	12,46900	12,00000	12,93800	0,406166
<b>Lg %</b>	9	2,13400	2,00000	2,26800	0,116047
<b>Sf %</b>	9	66,46100	62,50000	70,42200	3,430327
<b>Sg %</b>	9	18,46750	13,93500	23,00000	3,925260

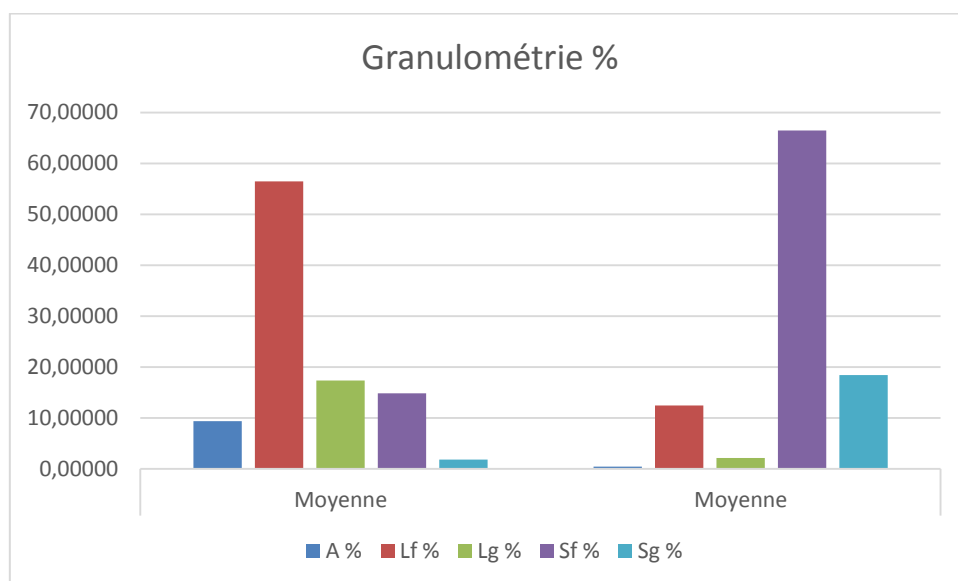


Figure 21: Moyenne des fractions granulométrique par station

Le diagramme des textures (figure 22) indique que la station 1 présente une texture Sable équilibré (Loamy Sand) alors que la station 2 possède une texture relativement plus fine équilibré limoneuse (Silt Loam).

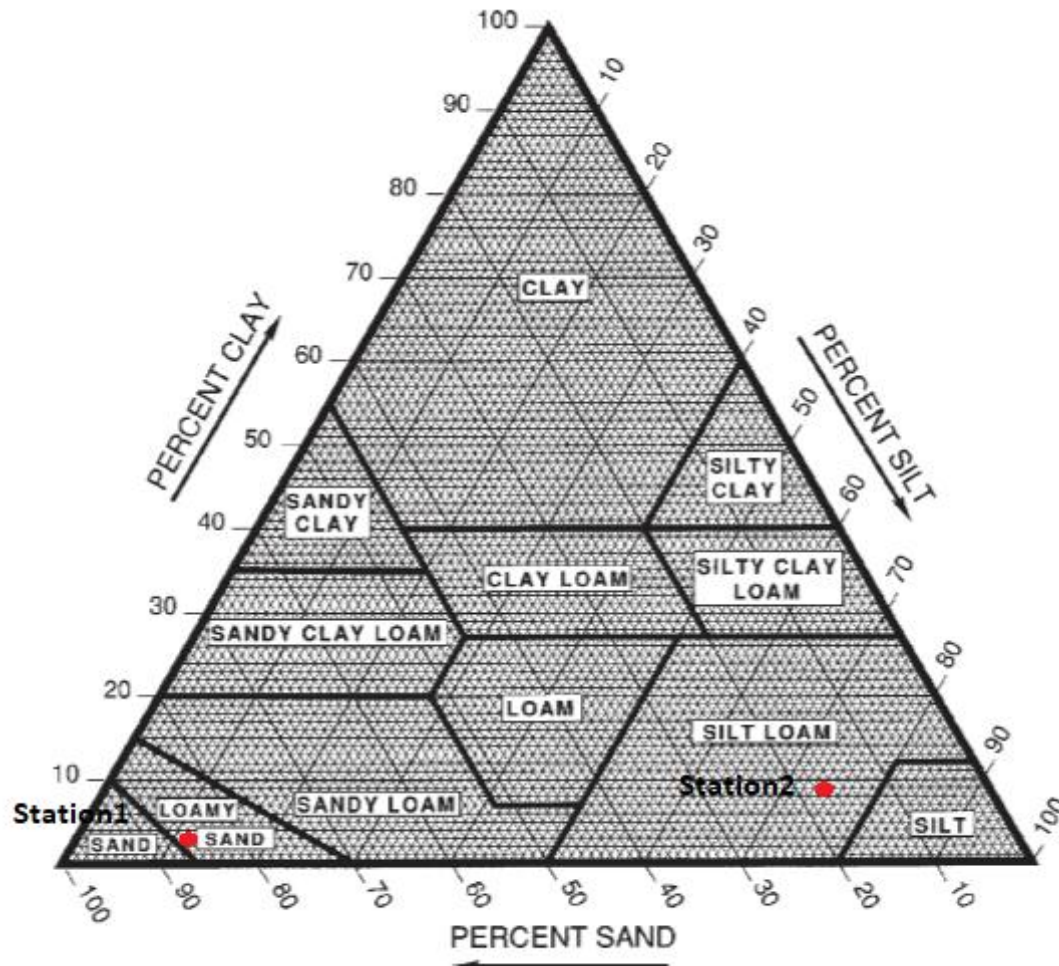


Figure 22: Texture des Stations sur le diagramme des texture (Soil survey staff, 2003)

#### 4. Relation carbone organique caractéristique du sol

La corrélation entre le carbone organique total (COT%) et les caractéristiques du sol (voir tableau11) montre un effet négatif avec le pH la densité et les fractions sableuse, tandis que l'effet positifs suit les autres paramètres du sol.

##### 4.1. Influence négative

Les corrélations négatives significatives sont enregistrées pour la densité apparente et les fractions sable fin et sable grossier. Et non significative avec le pH. Donc l'augmentation

Tableau 15: Corrélation entre le carbone organique et critères à influence négative

Correlations (Analysemekhamaza) Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=18 (Casewise deletion of missing data)	
	COT (%)

pHKCl	-0,403220
pHeau	-0,390337
Das (g/cm <sup>3</sup> )	-0,967967
Sf %	-0,985521
Sg %	-0,952563

L'augmentation de la fraction sableuse se traduit par la diminution du carbone organique total, tandis que toute diminution du carbone organique conduit à l'augmentation de la densité apparente du sol ou la diminution de la porosité du sol.

#### 4.2. Influence positive

Toutes les corrélations positives sont significatives, voir tableau 16 on remarque que l'augmentation du carbone organique totale permet l'augmentation de la CEC. L'augmentation du calcaire, des fractions fines de la texture conduit à l'augmentation du taux de carbone

**Tableau 16 : Corrélation entre le carbone organique totale et les paramètres à effet positif**

Correlations (Analysemekhamaza) Marked correlations are significant at $p < ,05000$ N=18 (Casewise deletion of missing data)	
	COT (%)
CEC (meq/100g)	0,987539
Calcaire total (%)	0,995429
CE (mMhos/cm)	0,984530
A %	0,988537
Lf %	0,989594
Lg %	0,997003

## 5. Discussion

Les stations que nous avons choisi pour mener cette modeste étude sont celle de la zone aride, caractérisée par un déficit climatique (l'évapotranspiration, ETP > précipitation) ces condition favorise l'accumulation des sels (calcaire et sels de sodium ou de calcium) (Halitim, 1988), (MIMOUNE, 1995). Les deux stations sont différentes pour l'ensemble des caractéristiques du sol ce qui permet une étude plus complète de la matière organique.

### 5.1. Carbone organique total et caractéristique du sol

Le carbone organique des deux stations présente un niveau très faible résultats de l'action de l'aridité du climat (10 mois de saison sèche) ce qui influe sur le couvert végétal et la quantité de matière organique incorporés au sol.

Ce type de climat favorise l'accumulation des sels et du calcaire, ces deux paramètres représentés par la conductivité électrique et le calcaire total donnent une corrélation positive avec le carbone total. L'effet positif du calcaire est rapporté par plusieurs auteurs, (DUCHAUFFOUR, 1988) (Toutain, 2016)

La salinité par contre a un effet négatif sur le carbone organique (SERVANT M. , 1975) ce qui est contraire à nos résultats ceci peut être expliqué par le fait que les fortes valeurs de la conductivité électrique de la station2 coïncide avec les fortes valeurs des caractéristiques du sol à effet positive et les faibles valeurs de la station1 coïncide avec les fortes valeurs des paramètres à effet négatif.

La capacité d'échange cationique, et les fractions fines de la texture (limon et argile) favorisent l'accumulation de la matière organique (SZABOLCS, 1944) (SZABOLCS, 1944) (Aubert, 1960) ceci est visible sur la teneur en carbone organique plus élevée de la station2 à texture plus fine et à CEC plus importante.

La densité apparente du sol se trouve négativement corrélé au carbone organique du sol (Henin, 1976) ce qui est concordants avec nos résultats.

Les résultats des fractions organiques donnent l'avantage aux fractions légères et humine au détriment des fractions solubles ceci est due en premier lieu au climat aride qui réduit les processus d'évolution de la matière organique d'où accumulation de la matière fraîche (Balesdent.D, 1996) (DUCHAUFFOUR P. , 2006)

En plus la présence du calcaire et de l'argile à un effet stabilisateur sur la matière organique humifiée, ce qui limite sa solubilité (Balesdent.J, 1996) (DUCHAUFFOUR P. , 1983)Ceci explique les faibles valeurs de fractions solubles enregistrées au niveau de nos stations



### Conclusion générale

Les matières organiques ont de multiples propriétés qui leur confèrent des fonctions primordiales dans les écosystèmes, et en font une composante importante de la fertilité.

C'est ainsi que les matières organiques peuvent indirectement augmenter l'aération, la pénétration des racines, l'infiltration de l'eau, la résistance au compactage, diminuer l'énergie requise pour le travail du sol, diminuer la battance du sol et les de levée, et surtout, limiter les risques d'érosion, voire de perte du sol (**BALESDENT, 1996**).

Notre étude est une modeste contribution dans ce sens elle fait état des résultats suivants :

Les sols qui ont servi comme support d'étude sont à accumulation calcaire, et salés ayant un profil de type AC plus ou moins structuré en surface, et présentant des contraintes de l'hydromorphie temporaire.

Le carbone organique comme analyse globale ne permet pas de rendre compte dans le détail de la teneur en matière organique du sol, car l'effet de la salinité n'a pas été révélé.

L'analyse des fractions organiques montre la dominance des fractions grossières (matière libre peu transformée) sur les fractions actives (matière organique liée). Ceci dénote la transformation progressive de la matière légère.

La fraction organique soluble présente des valeurs élevées, montrant l'importance de la matière organique soluble (acides fulviques, et produit de la minéralisation)

La salinité du sol exprimée par la conductivité électrique a un effet positif sur l'ensemble des fractions organiques du sol salé naturel par rapport à un sol cultivé non salé.

En conclusion, les résultats montrent que les stocks de carbone des sols étudiés sont fragiles car les fractions fines actives sont minoritaires d'où l'importance de préserver les sols naturels contre la mise en culture.



### Références

- ALDERMOCH, M. (1976). *Influence des soulitions salines sur les propriétés physique et l'évolution des minéraux phylliteux de sols systeme*. thèse doc.
- ARROUAYS, D. (1995). *Analyse et modélisation spatiales de l'évolution des stocks de carbone organique des sols à l'échelle d'un paysage pédologique ; application à l'étude des sols de "touyas" du Piedmont pyrénéen*. Thèse de doctorat, E.N.S.A.M.
- Aubert, G. (1960). *Les sols de la zone arride ,étude de leure formation ,de leur conservation actes coll .unesco de paris sur le probleme de la zone arride*. paris.
- AUBERT, G. (1978). *Méthodes d'analyses des sols*. Marseille.: Edit.C.R.D.P.Marseille.
- AUBERT, G. (1983). *observation sur les caractéristique la denomination et la classification des sols salés ou sales sodiques* . Cashors Tom .ser.Pd Volxxx n°1.
- AYERS, R. (1978). *Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte*. (éd. vol I n°3).
- BAISE, D. (1988). *Guide d'analyse courantes en pédologie ,choise ,experssion presentation ,interpretation,INRA*. Paris.
- BAIZE, D. (1986). *Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie*. *Science du Sol* (Vol. 24(3)).
- BAIZE, D. (2000). *Guide des analyses en pédologie. Choies. Expression. Présentation. Interprétation*. 257p. Paris: 2ème Ed. INRA. Paris.
- BAIZE, D., & GIRARD, M. (1995). *Référentiel Pédologique*. INRA Editions.
- Balesdent.D. (1996). *Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols*. PARIS.
- Balesdent.J. (1996). *Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. Etude et gestion des sols*. INRA. PARIS.
- BANFIELD, C., & BASCOMB, C. (1976). *Variability in three areas of the Denchworth soil map unit. II.Relationships between soil properties and similarities between profiles using laboratory* (Vol. 27 (3)).
- BECKETT, P., & WEBSTER, R. 1. (1971). *Soil variability: A review*. *Soils fert* (Vol. 34).
- BECKETT, P., & WEBSTER, R. (1971). *Soil variability: A review*. *Soils fert*. (Vol. 34).
- Bernier, & ponge. (1993, 3 28).
- BOHBOT, H. (2014). *base pratique en crtographique et SIG,initiation à Arc GIS 10* (Vol. 1.1).
- BONNET, E. (2000). *support de cours ArcGIS 9.X*.
- BOULAIN, J. (1989). *Histoire des pédologues et de la science des sols* (éd. INRA Editions,).



- BOULAIN, J. (1971). *hydropedologie, des écoles nationales de génie rurale, , des eaux et des forets.* alger.
- BOULAIN, J. (1980). *Pédologie appliquée. Ed. Masson.*
- BOUMEZBEUR, A. (2002). *Atlas des 26 zone humides Algériennes internationale .* Alger: Direction générale des forets.
- Boyadgiev, T. (1975). *Les sols du Hodna, Etude des ressources naturelles et experimentation et démonstration agricoles dans la region du Hodna, Algérie.* Rome: FAO.
- BRESLER, L., CARTERD, L., & MCNEALB, E. (1982). *Saline and sodic soils ,advanced series in agriculture sciences.* Springer-Varlag.
- BRUS, D., & DE GRUIJTER, J. (1997). *Random sampling or geostatistical modelling. Choosing between design-based and model-based sampling strategies for soil.*
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal Interpolation and Isarithmic mapping of soil properties - I. The semi-variogram and punctual kriging. Journal of Soil Science (Vol. 31).*
- BURGESS, T., & WEBSTER, R. (1980). *Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. I. The semi-variogram and punctual kriging. J. of Soil Sci. (Vol. 31).*
- BUTLER, B. (1980). *Soil Classification for Soil Survey. Clarendon Press, Oxford.*
- c.p.c.s. (1967). *clasification des sols .laboratoire de géologie ,pédologie de l'E.N.S.A.* Paris: grignon.
- CALVET, R. (2003). *Le sol ,propreite et fonction ,phenomene physique et chimique Tom 2.Ed. françe Aricol.*
- CANNAVACCIUOLO, M. (1998). *Biodiversité et structure spatiale de la faune lombricienne dans une prairie temporaire de l'Ouest de la France. Université de Rennes I.*
- Capalini, J., & Sari, M. (1971).
- CAPALINI, J., & SARY, M. (1971). *Atlas des cartes geomorphologique du chott El Hodna feuille de M'sila.* Alger: Secrétariat d'état à lhydraulique, Service agropédologique.
- CHAPLOT, V. (1998). *Organisation spatiale des sols hydromorphes de fonds de vallée et modélisation, Thèse Thèse de doctorat, E.N.S.A. de Rennes.*
- CHERBUY, B. (1991). *les sols salés et leur réhabilitaion. p. 35.*
- CHERY, P. (1995). *Variabilité de l'épaisseur de la couverture de sol. Conséquences pour le bilan hydrique hivernal d'un secteur de Petite Beauce. Thèse de doctorat, Université Nancy I.*
- CHEVERRY, C. (1974). *contrubition à l'étude pédologique des polder du lac tchad .dynamiuie des sels en milieu continental subaride dans des sédiment argileux et organique .* Strasbourg: These universitaire louis pasteur .



CHILÈS, J. (2004). *La modélisation géostatistique de la variabilité spatiale et ses applications*. Earth Sciences. Université Pierre et Marie Curie. Paris VI.

Chilès, J. P., Hélèn, D. R., Nicolas, Dimitri, D., Gaëlle, L., J, P. J., et al. (2005, Novembre 1). Géostatistique appliquée aux sites et sols pollués Manuel méthodologique et exemples d'applications. p. 26.

COCHRAN, W. (1977). *Sampling techniques*. J. Wiley & Sons, New York.

CRESSIE, N. A. (1993). *Statistics for spatial data*. Wiley Series in Probability and.

CRESSIE, N. (1991). *Part I. Geostatistical data*, In 'Statistics of spatial data. John Wiley &.

DABIN, B. (1976). Méthode d'extraction et de fractionnement des matières humiques du SOL. Application à quelques études pédologiques et agronomiques dans les sols tropicaux. *Cahiers de l'ORSTOM*, 14 (41), 287-297.

DAGNELIE, P. (1981). *Principes d'expérimentation*. Les presses agronomiques de Gembloux.

DAOUD, HALITIM, Y., & A. (1994). *Irrigation et salinisation au Sahara Algérien sécheresse*.

DEMELOU, A. (1966). *Dynamique du sol Tom.1,5 eme Ed du nod*. Paris.

DENIS, A. (2012). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 35.

DENIS, A., & ALLARD. (2012, 12 21). *Statistiques spatiales : introduction à la géostatistique*. p. 3.

DERDOUR, H. (1981). *Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodum échangeable sur le compactement des sols au compactage*. Algerie: these Magister ,I.N.A.

DJEBAILI, S. (1984). *Steppe Algérienne : phytosociologie et écologie*. OPU.

DJILI, K. (2000). *Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie*. Thèse doctorat. INA, Alger.

DOKOUTCHAEV, V. (1983). *Russian Chernozems*. Israel Prog. Sci. Trans., Jerusalem, Israel, 1967,.

DUCHAUFFOUR, P. (1988). *Abrégés de pédologie 2 eme édition*. Masson (Vol. 2). Paris Millan .Barcelone .Mexico.

DUCHAUFFOUR, P. (2006). *INTRODUCTION A LA SCIENCE DU SOL*. Paris: SNEL Grafics.

DUCHAUFFOUR, P. (1983). *Pédologie*.

duchauffour, p. (1984). *Pédologie*.

DURAND, J. (1953). *Etude géologique ,hydrogéologique et pédologique des croute en Algerie*. S.E.S .Algerio.

DUTHIL, J. (1973). *Elément d'écologie d'agronomie*. T3.Ed,J.B.Bailliere Paris.



- FAO. (1973). *Etude des ressources naturelle, expérimentale et démonstration agricole dans la région du hodna*. Rome: Val FAO.
- FAO. (2005). *utilisation des engrais par culture en Algerie* .
- FICCIDC. (1988). *the proposed stardard for digital crtographique data. the american cartographer* (Vol. 15(1)).
- FRONTIER, S. (1997). *Stratégies d'échantillonnage en écologie*.Ed. Masson.
- GARG, VYASS, KATHJU, B., B, & S. (1963). *Salinity fertility interaction on groneth mineral composition and nitrogen metabolisme of indain mustrad*.
- Gascuel-Odoux, C. (1984). *Applicaion de la géostatistique a l'etude le la spatiale des propriété hydrique du sol*. ENSM paris et ENSA-INRA rennes.
- GASCUEL-ODOUX, C. (1984). *Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. Thèse doct.Ing. ENSM Fontainebleau & ENSA-INRA Rennes*.
- Girad, M., Walter, C., Remy, J., Berthel, J., & morel, J. (2005). *sol et environnement, cours,exercices et études de cas*. paris: Dunod.
- Girard, M., Aurosseau, P., King, D., & Legos, J. (1989). *Apport de l'informatique à l'analyse spatiale-SCIENCE DU SOL* (Vol. 27, 4).
- GIRARD, M., AUROUSSEAU, P., KING, D., & LEGROS, J. (1989). *SCIENCE DU SOL,Apport de l'informatique à l'analyse spatiale de la couverture pédologique et à l'exploitation des cartes* (Vol. 27, 4).
- GIRARD, M., WALTER, C., REMYE, J., BERTHEL, J., & MOREL, J. (2005). *sol et environnement, cours,exercices et études de cas*. Paris: Dunod.
- GOOVAERTS, P., GERARD, G., & FRANKART, R. (1989). *Etude de la variabilité spatiale de quelques propriétés chimiques du sol en Fagnes de Chimay, Belgique. Pédologie* (Vol. 39(1)).
- HAJRASULIHA, S., BANIABBASSI, N., METTHEY, J., & NIELSEN, D. (1980). *Spatial variability of soil sampling for salinity studies in Southwest Iran. Irrigation Science* (Vol. 1(4)).
- HALITIM, A. (1973). *Etude experementation de l'amelioration des sols sodique d'Algerie en vie de leur mise en culture* . Renne: these de 3eme cycle ,Univ de Renne.
- Halitim, A. (1988). *Sols des region arrides d'Algerie* . Alger: Opu ,Alger.
- Henin. (1976). *coures de physique du sol* (Vol. 1). Paris.
- HEUVELINK, G., & WEBSER, R. *Modelling soil variation: Past, Present and Future. Geoderma* (Vol. 100, No. 3-4).
- HOUEROU, H. (1975). *deterioration of the écologia équilibium in the aride zone of North Africa*. (R. FAO, Éd.)



- INSID. (2008, juillet). LES SOLS SALINS EN ALGERIE. *INSTITUT NATIONAL DES SOLS, DE L'IRRIGATION ET DU DRAINAGE* .
- JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron* (Vol. 18). No h.s.
- JAMAGNE, M. (1967). *Bases et techniques d'une cartographie des sols. Ann. agron.* 18 (No h.s.).
- Jamagne, M., King, D., Girard, M., & Hard, R. (1993). *science du sol* (Vol. 31).
- JENNY, H. (1961). *Derivation of state factor equation of soils and ecosystems. Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*
- Johnston, K., Ver. Hoef, J., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). *Using ArcGIS® Geostatistical Analyst, ESRI, 380*. NewYork Street, Redlands, CA 92373–8100, USA.
- JUSTINE, M. (2001). *Le point sur l'irregation et la salinite des sols en zone sahelienne: risque et recomendations* .
- KUST, G. (1997). *The man tendenccies in the dynamics of soil salinity within of the delta of the amu darya and syrs darya rivers in codition of active modern desrtification.* pochvovedinie n°7.
- LAGACHERIE, P. (2002). *Cartographies des sols et de leurs propriétés à un niveau sub-régional. Habilitation à diriger des recherches.*
- LAHLOU, BADRAOUI, SOUDI, GOUMARI, TESSIER, M., M, et al. (2002). *Modilisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols* . Montpellier.
- LALLEMAND, A. (1980). *Amenagement des sols sales irregation avec des eaux salées.*
- Lamy, P. (1999). *Granulométrie laser*. Paris: Groupe d'étude des modes opératoire GEMO.
- Le conseil canadien des ministre de l'environnement. (2001). *Standards pancanadiens relatifs aux hydrocarbures pétroliers dans le sol* . Winnipeg CANADA: CCME.
- LEGROS, J. (1996). *Cartographie des sols de l'analyse spatiale à la gestion des territoire*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10).
- LEGROS, J. ( 1996 ). *Cartographie des sols : de l'analyse spatiale à la gestion des territoires/ - Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.- (Gérer l'environnement, 10).*
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols. Ann. Agron.* (Vol. 29(6)).
- LEGROS, J. (1978). *Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols.* (Vol. 29(6)).
- Marsden, C. (2006, 11 17).
- MARSMAN, B., & GRUIJTER, J. (1986). *Quality of soil maps. A comparison of soil survey methods in a sandy area. Soil Survey Papers* (Vol. n° 15).



Matheron, G. (1969). *Le krigeage universel. Vol. 1. Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, École des Mines de Paris, France, Fontainebleau.*

Matheron, G. (1963). *Principles of geostatistics, Economic Geology* (Vol. vol. 58).

Matheron, G. (1962). *Traité de géostatistique appliquée, Tome I. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières* (14).

MATHIEU, PIELTAIN, C., & F. (2003). *Analyse chimique des sols*. Paris: tec et doc ,lavoisier.

MEROT, P., GASCUEL-ODOUX, C., & CHEVASSU, G. (1986). *Application de la prospection magnéto-tellurique artificielle à l'étude de la profondeur du sol. Agronomie* (Vol. 6 (1)).

Midekor, A., & Wellens, J. (2007). *Intitiation à Arc GIS*.

MIMOUNE, S. (1995). *Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique en Algérie (sud de cott el Hodna )*. these doc.

Nielsen, D., Biggar, J., & Erh, T. (1973). *spatial variability of field measured soil water properties*. Hilgaradia.42.

Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion*. (C. d.-J. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture, Éd.)

Nolin, M., Cambouris, A., & Simard, R. (1997). *La variabilité des sols: son origine et sa gestion*. Actes du Colloque : Nouvelle technologie en agriculture.

Peck A.J. (1983). *faield variability of soil physical properties*. Adv.irrigation 2.

Provencher, M. 2. (2003). *Évaluation spatiale de l'efficacité agronomique du LIOR dans la pomme de terre. Thèse de maîtrise. Université. Laval. , p. 68 .*

RAJU, K., JINO, L., & WADASI, R. (1993). *Exchange process at the land surface for a range of space and time scades*. Yokahana Japon: procedings of international symposuim heeldat yokahana.

RAMADE, S. (2003). *Eléments d' ecologie ,Ecologie fondamentale . 3eme Edition DUNOD*.

REGIS, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er éditon). Italie.

RÉGIS, C., & COLLET, C. (2005). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1e édition). paris.

RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de d'information géographique* (éd. 1er édition). Italie, Italie.

RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1er). Italie.

RÉGIS, C., & COLLET, C. (2011). *Analyse spatiale de l'iformation géographique* (éd. 1e édition). Italie.

ROBERT, M. (1996). *le sol interface dans l'evirennement ressource pour le developpement . Paris: Masson*.



- ROUDAUT, j.-p., BOYER, G., & GASPARD, M. (2011). *LES PRODUITS ORGANIQUES UTILISABLES EN AGRICULTURE EN LANGUEDOC*.
- RUELLAN, A. D. (1989). *L'analyse structurale de la couverture pédologique*. (Vol. 27, 4,).
- Schloeder, C., Zimmerman, N., & Jacobs, M. (2001). *Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data*. *Soil Science Society of America Journal*, (Vol. 65).
- SERVANT, M. (1975). *Etude pédologique des sols halomorphes*. Montpellier: These Doc .Univ Montpellier.
- SERVANT, SERVAT, J., & t.F. (1966). *Introduction à l'étude des sols salés littoraux des langaux doc* ,. Montpellier: service d'étude des sols centre de recherches agronomique du MIDI34.
- Smith, J., Halvorson, J., & Robert, I. (1993). *Using multiple variable indicator kriging for evaluating soil quality*. *Soil Sci. Soc. Am*.
- SNEDECOR, G., & COCHRAN, W. (1971). *Méthodes statistiques*. Ed. Association de Coordination Technique Agricole. paris.
- Soil survey staff. (2003). *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture, Washington.
- SOPHIE, B. (2005, Avril ). Le krigeage :revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations. *Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval* .
- SOPHIE, B. (2005). *Le krigeage:revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations*.
- SOUDANI, K. (2006). *Initiation aux Systèmes d'Informations Géographiques sous ARCGIS 9 ESRI-Environmental Systems Research Institute*.Université d'Orsay. p. 6.
- STAFF., S. S. (1951). *Soil Survey Manual*. US Department of Agriculture, Washington.
- SZABOLCS, I. (1944). *The limitation of potential yield by salinity and alkalinity of soils with particular reference to the mediterranean regions* . Spain: proceeding IPI.Spain.
- TARDY, Y. (1993). *Pédrologie des latérites et des sols tropicaux*. Masson.
- Toutain, f. (2016). *role de la matiere organique dans les sol* (éd. l'ecole national du génie rural). france.
- Van, B. (1995).
- VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. 15). INRA,Les colloques de l'INRA.
- VAUCLIN, M. (1982). *Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol* (Vol. n°15). (P. L. l'INRA, Éd.) Ed. INRA,.



- VOLTZ, M. (1986). *Variabilité spatiale des propriétés physiques en milieu alluvial. Essai de cartographie quantitative des paramètres hydrodynamiques. Thèse de Docteur-Ingénieur, ENSAM.*
- walter, C. (2002). *analyse spatiale des sol en vue de leur getion précise et leur surveillance.*
- WALTER, C. (2002). *Analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précise et de leur surveillance. Habilitation à diriger des recherches.*
- Walter, C., McBratney, A., Douaoui, A., & Minasny, B. (2001). *Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram. Australian Journal of Soil Research 39:.*
- WEBSTER, R. (2000). *Is soil variation random? Geoderma (97)3-4,.*
- WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps. Nature London 219.*
- WEBSTER, R., & BECKETT, P. (1968). *Quality and usefulness of soil maps. Nature London. London.*
- WEBSTER, R., & OLIVER, M. (1990). *Statistical methods in soil and land resource survey. Spatial Information Systems, Oxford University Press.*
- Webster, R., & Oliver, M.-L. (2001). *Geostatistics for environmental scientists. New York: John Wiley & Sons.*
- WILDING, L., & DREES, L. (1983). *Spatial variability and pedology. in WILDING L.P., SMECK N.E. et.*
- WILFRID, D. (2006). *Rapport de stage « Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. ». Université de Bretagne Sud Institut Universitaire Professionnalisé Informatique et Statistique.*
- WYNJONES, H., & GUNSTON, G. (1991). *Completament a preyor conflicting approchaes to salinity .*
- Xing, & chen. (1999).
- YAALON, D. (1971). *Soil-forming processes in time and space. Paleopedology – Origin, nature and dating of paleosols. Int. Soc. Soil. Sci. and Israel.*
- you, MENG, XIAO, LIO, W., F.R, Z.H, et al. (1992). *Salt- water dynamics in soil : I Salt-Water dynamics in unsaturated soils under stable evaporatio codition . pedosphere ,2,3.*
- ZID, C. (1991). *Les testes de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress Cas des stress salin et hydrique, l'amélioration des plantes (éd. ed. Upelf-UREF).*