

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA  
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DES SCIENCE**

**DEPARTEMENT SCIENCE AGRONOMIQUE**

N° : .....



**DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE  
ET DE LA VIE**

**OPTION : Sciences de sole**

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par : ALLAL Ilham**

**SAID Fatima**

**Intitulé**

**Contribution à la connaissance des  
propriétés d'un sol salé de la région de M'sila**

**Soutenu devant le jury composé de:**

M. TORCHIT Nadir.	Université M'sila (MAA)	Président
M. Tellache Slimane	Université M'sila (MAA)	Encadreur
Melle. MADANI .Djamila	Université M'sila (MAA)	Examineur

**Année universitaire : 2018 /2019**

## **Remerciements**

*Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné santé, courage et la bonne volonté pour mener à bien ce modeste travail.*

*Nous tenons tout particulièrement à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés à la réalisation de cette étude de loin ou de près. Tout d'abord \* **Mr TELLACHE SLLIMANE** notre encadreur qui nous a consacré beaucoup de temps, patience, et de nous avoir bénéficié de son expérience tout au long de l'élaboration de ce travail.*

*Nous exprimons nos vifs et sincères remerciements à nos enseignants et membres de jury :*

*\*Mr TORCHIT NADIR de l'honneur qu'il nous fait de présider le jury.*

*\*M<sup>elle</sup> Madani Djamila Pour avoir accepté de lire et corriger notre travail.*

*Finalement, nous exprimons nos vifs remerciements à nos amis (es) et collègues et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement et réalisation de ce travail.*

*MERCI*



## Dédicace

*A mes parents et à mon mari à qui je dois tout*

*A tous les membres de ma famille et*

*à mes chers amis chacun en son nom,*

*à ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste*

*travail et pour leurs encouragements.*

*ainsi qu'à tous mes enseignants,*

*a chaque personne qui m'a aidé je*

*dédie ce mémoire*

# *Dédicace*

*À mes parents et à mon mari à qui je dois tout*

*À tous les membres de ma famille et*

*à mes chers amis chacun en son nom,*

*à ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste*

*travail et pour leurs encouragements.*

*ainsi qu'à tous mes enseignants,*

*à chaque personne qui m'a aidé je*

*dédie ce mémoire*

**FATIMA.**

# SOMMAIRE

## LISTE DES FIGURES

## LISTE DES TABLEAUX

## LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE.....	1
RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE .....	3
PREMIERE PARTIE.....	3
CHAPITRE I : LES PROPRIETES DU SOL .....	4
1. LES PROPRIETES CHIMIQUES D'UN SOL.....	4
1.1. La capacité d'échanges cationiques (T ou CEC).....	4
1.2. La conductivité électrique (CE) .....	4
1.3. L'acidité (le pH) du sol et son pouvoir tampon .....	4
1.4. Calcaire totale .....	4
1.5. Le taux du sodium échangeable (ESP en %) (Sodium absorption ratio) .....	5
1.6. Le taux du sodium en solution (SAR) .....	5
1.7. Les cations basiques échangeables .....	5
1.8. La phase liquide du sol (solution du sol) .....	6
2. LES PROPRIETES PHYSIQUES D'UN SOL.....	6
2.1. Généralités.....	6
2.2. La texture d'un sol.....	7
2.2.1. Définition de la texture d'un sol .....	7
2.2.2. Le triangle de texture .....	7
2.3. La structure d'un sol.....	8
2.3.1. Définition de la structure du sol.....	8
2.3.2. Description de la structure .....	8
2.3.3. Les types de structure .....	9

2.3.4.	Classification de structure .....	10
2.3.5.	La stabilité de la structure .....	10
2.4.	La porosité du sol .....	11
2.4.1.	Généralités .....	11
2.4.2.	Définition.....	11
2.5.	La perméabilité du sol.....	13
2.6.	Rétention de l'eau par les sols .....	13
<b>3.</b>	<b>LES PROPRIETES BIOLOGIQUES D'UN SOL.....</b>	<b>14</b>
3.1.	La matière organique .....	14
3.1.1.	Définition de la matière organique .....	14
3.1.2.	Rôle et fonctions de la matière organique .....	15
3.2.	Les éléments major disponibles dans le sol.....	15
3.2.1.	Le potassium .....	15
3.2.1.1.	L'origine de potassium .....	15
3.2.1.2.	Les formes du potassium dans le sol.....	16
3.2.2.	L'azote N.....	16
3.2.2.1.	L'azote et sa disponible .....	16
3.2.2.2.	Cycle de l'azote.....	16
3.2.2.3.	Les gains d'azote .....	17
3.2.2.4.	Les pertes d'azote.....	17
3.2.3.	Le phosphore .....	17
3.2.3.1.	Le phosphore et sa biodisponibilité .....	17
3.2.3.2.	Formes du phosphore dans le sol.....	18
<b>4.</b>	<b>NOTION DE FERTILITE .....</b>	<b>18</b>
4.1.	La fertilité physique .....	19
4.2.	La fertilité chimique .....	19
4.3.	La fertilité biologique .....	19
<b>CHAPITRE II :</b>	<b>GENERALITES SUR LES SOLS SALES .....</b>	<b>20</b>
1.	Les sols salés .....	20
1.1.	Les sols salés dans le monde et en Algérie .....	20
1.1.1.	Sols salés dans le monde .....	20
1.1.2.	Sols salés en Algérie.....	21
1.2.	La genèse d'un sol salin et/ou sodique.....	21
1.2.1.	Formes de salinisation des sols .....	22
1.2.1.1.	Salinisation primaire .....	22
1.2.1.2.	Salinisation secondaire.....	22

1.2.2.	Paramètres de caractérisation des sols salés .....	22
1.3.	L'effet de la salinité .....	23
1.3.1.	Effet de la salinité sur le sol.....	23
1.3.2.	Effet de la salinité sur les plantes .....	23
1.3.3.	Effets de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol.....	23
1.3.3.1.	Effets sur les propriétés physiques .....	23
1.3.3.2.	Effets sur les propriétés chimiques.....	23
1.4.	Mise en valeur des sols salés.....	24
<b>DEUXIEME PARTIE :</b> .....		<b>25</b>
<b>MILIEU PHYSIQUE ET METHODES D'ETUDE.....</b>		<b>25</b>
<b>CHAPITRE 1 : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE .....</b>		<b>26</b>
1.	<b>LOCALISATION DE WILAYA DE M'SILA : .....</b>	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
2.	<b>PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....</b>	<b>26</b>
2.1.	Situation géographique de la région d'étude .....	26
2.2.	Géomorphologie : .....	27
2.2.1.	Cadre montagneux .....	27
2.2.2.	Les piémonts .....	28
2.2.3.	Les plaines.....	28
2.2.4.	Chotte el Hodna.....	28
2.3.	Hydrologie .....	28
2.4.	Géologie .....	29
2.4.1.	Le secondaire .....	30
2.4.2.	Le tertiaire .....	30
2.4.3.	Le quaternaire .....	30
2.5.	Pédologie.....	31
2.5.1.	Les sols minéraux bruts .....	31
2.5.2.	Les sols peu évoluées .....	31
2.5.3.	Les sols calcimagnésiques .....	31
2.5.4.	Les sols halomorphes .....	31
2.5.5.	Les sols hydro morphes .....	31
2.5.6.	Les sols iso humiques .....	31
2.6.	Climat.....	32
2.6.1.	La précipitation .....	32

2.6.2.	Température .....	34
2.6.3.	Les autres facteurs climatiques .....	36
2.6.3.1.	Le vent.....	36
2.6.3.2.	Humidité relative .....	37
2.7.	Synthèse climatique .....	38
2.7.1.	Diagramme ombrothermique : .....	38
2.7.2.	Climagramme d'Emberger .....	39
<b>CHAPITRE II :</b> .....		<b>42</b>
<b>MATERIEL ET METHODE</b> .....		<b>42</b>
<b>1. MATERIEL</b> .....		<b>43</b>
<b>2. METHODE</b> .....		<b>44</b>
1.1.	<i>Choix du site d'échantillonnage</i> .....	<b>44</b>
1.2.	Méthode d'échantillonnage .....	<b>44</b>
1.3.1.	Les analyses chimiques .....	47
1.3.1.1.	Mesure du pH.....	47
1.3.1.2.	Conductivité électrique .....	47
1.3.1.3.	Calcaire total (CaCo3%).....	47
1.3.1.4.	Calcaire actif.....	48
1.3.1.5.	La CEC (Bowen modifier) .....	48
1.3.1.6.	Le gypse (CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O).....	49
1.3.2.	Les analyses physiques .....	49
1.3.2.1.	Analyse granulométrique.....	49
1.3.2.2.	La structure .....	50
1.3.2.3.	Stabilité structurale.....	50
1.3.2.4.	Indice de battance .....	50
1.3.2.5.	Porosité.....	51
1.3.2.6.	La réserve hydrique du sol.....	51
1.3.2.7.	La perméabilité .....	52
1.3.2.8.	Régime hydrique du sol .....	52
1.3.3.	Les analyses biologiques.....	53
1.3.3.1.	Dosage de carbone organique .....	53
1.3.3.2.	Dosage de l'azote total (méthode de Kjeldhal).....	53
<b>TROISIEME PARTE :</b> .....		<b>54</b>
<b>RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....		<b>54</b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....		<b>55</b>

<b>2. CARACTERISTIQUES ET PROPRIETES DU SOL.....</b>	<b>55</b>
2.1. Les propriétés physiques .....	55
2.1.1. Texture.....	55
2.1.2. La structure .....	57
2.1.3. Stabilité structurale .....	58
2.1.3.1. Indice de battance :.....	58
2.1.3.2. La porosité.....	58
2.2. Les propriétés hydrique du sol.....	59
2.2.1. La perméabilité.....	59
2.2.2. La réserve hydrique .....	61
2.2.3. La section de contrôle .....	61
2.2.4. Le régime hydrique du sol .....	62
2.3. Les propriétés chimiques.....	63
2.3.1. Réaction du sol (PH) .....	63
2.3.2. Conductivité électrique.....	65
2.3.3. Capacité des échanges cationiques (CEC).....	66
2.3.4. Pourcentage de sodium échangeable (ESP) .....	67
2.3.5. Calcaire totale CaCO <sub>3</sub> .....	67
2.3.6. Calcaire active.....	69
2.3.7. Gypse .....	69
2.4. Propriétés biologique .....	70
2.4.1. Matière organique.....	70
2.4.2. L'azote total .....	71
 <b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	 <b>73</b>
 <b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	 <b>75</b>
 <b><u>ANNEXES</u>.....</b>	 <b>79</b>

## Liste des Figures

<b>Figure 1:</b> Caractéristiques de rétention $\theta(h)$ d'un horizon argileux, horizon limoneux et d'un horizon sableux.....	14
<b>Figure 2:</b> Carte des zones arides dans le monde.....	20
<b>Figure 3 :</b> Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie .....	21
<b>Figure 4:</b> localisation de la zone d'étude (M'sila) .....	25
<b>Figure 5:</b> Situation géographique de la région d'étude (M'sila).....	26
<b>Figure 6:</b> Réseaux hydrographique du site d'étude.....	29
<b>Figure 7 :</b> Géologie du site d'étude extrait de la carte géologique de l'Algérie.....	30
<b>Figure 8:</b> Pédologie du site d'étude extrait de la carte pédologique du Hodna.....	32
<b>Figure 9 :</b> Pluviométrie moyenne mensuelle .....	34
<b>Figure 10 :</b> Représentée Les températures moyennes mensuelles Minimales et maximales.....	35
<b>Figure 11 :</b> Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila .....	37
<b>Figure 12:</b> Moyennes mensuelles d'humidité de l'air dans la région de M'sila.....	38
<b>Figure 13:</b> Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gausson de la station de M'sila.....	39
<b>Figure 14:</b> Climagramme d'Emberger et représentation du site d'étude .....	41
<b>Figure 15:</b> la zone d'étude.....	43
<b>Figure 16 :</b> <i>Salicornia semipunctata</i> .....	43
<b>Figure 17:</b> <i>Artenesia Herba alba</i> .....	43
<b>Figure 18:</b> vue du site d'étude au niveau de la pépinière de M'sila .....	44
<b>Figure 19 :</b> schéma représentant les différentes étapes de préparation des échantillons .....	46
<b>Figure 20 :</b> Vue du pHmètre .....	47
<b>Figure 21:</b> Analyse de Calcaire totale ( $\text{CaCO}_3$ ).....	48
<b>Figure 22:</b> Analyse granulométrique par la méthode internationale .....	49
<b>Figure 23:</b> représenté la méthode de stabilité structurale .....	50
<b>Figure 24 :</b> variation des fractions granulométriques par horizon pour la station d'étude.....	56
<b>Figure 25:</b> triangle texturale de Soil Taxonomy .....	56
<b>Figure 26:</b> Vitesse d'infiltration des horizons .....	60
<b>Figure 27:</b> Infiltration et ruissellement en fonction de l'intensité des précipitations .....	60
<b>Figure 28 :</b> réserve hydrique des horizons .....	61
<b>Figure 29 :</b> Section de contrôle et réserve hydrique cumulé .....	62
<b>Figure 30 :</b> Etat de la réserve hydrique du sol (données décadaires).....	63
<b>Figure 31 :</b> Disponibilité des éléments nutritifs en fonction du pH du sol .....	64
<b>Figure 32:</b> la pourcentage de $\text{P}_{\text{Heau}}$ et $\text{P}_{\text{Hkcl}}$ .....	65
<b>Figure 33 :</b> Variation de la conductivité électrique en fonction des stations .....	66
<b>Figure 34:</b> Les bases échangeables des horizons.....	67
<b>Figure 35:</b> Variation des teneurs en calcaire total en fonction des horizons de zone d'étude .....	68
<b>Figure 36:</b> Représentée le calcaire actif.....	69
<b>Figure 37:</b> Le taux de gypse des horizons .....	70
<b>Figure 38:</b> carbone et matière organique des horizons .....	71

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Répartition des sols salés dans le monde .....	20
<b>Tableau 2</b> : Les caractéristiques de la station météorologique de M'sila.....	32
<b>Tableau 3</b> : Répartitions interannuelle des précipitations (mm).....	33
<b>Tableau 4</b> : Pluviométrie moyenne mensuelle en (mm).....	33
<b>Tableau 5</b> : Répartitions saisonnier des précipitations.....	34
<b>Tableau 6</b> : Les températures moyennes mensuelles Minimales et maximales (°C). .....	35
<b>Tableau 7</b> : Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Tableau 8</b> : Les variations de l'humidité moyennes mensuelles de la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.....	37
<b>Tableau 9</b> : Valeur du quotient pluviométrique Q2:.....	40
<b>Tableau 10</b> : Etages bioclimatiques.....	40
<b>Tableau 11</b> : fraction granulométrique des horizons .....	55
<b>Tableau 12</b> : Structure et norme d'interprétation .....	57
<b>Tableau 13</b> : <i>les classes de stabilité</i> .....	58
<b>Tableau 14</b> : <i>les valeurs des porosités et densité du 7 horizons</i> .....	58
<b>Tableau 15</b> : <i>Vitesse d'infiltration et signes d'hydromorphie</i> .....	59
<b>Tableau 16</b> : les valeurs de PH eau et PH kcl du profil.....	63
<b>Tableau 17</b> : Les résultats de la conductivité électrique (CE).....	65
<b>Tableau 18</b> : Les valeurs de capacité d'échange cationique des horizons .....	66
<b>Tableau 19</b> : Les bases échangeables des horizons .....	67
<b>Tableau 20</b> : les pourcentages de calcaire totale CaCO <sub>3</sub> .....	68
<b>Tableau 21</b> : représenté le calcaire actif .....	69
<b>Tableau 22</b> : Gypse des horizons.....	70
<b>Tableau 23</b> : carbone et matière organique des horizons .....	71
<b>Tableau 24</b> : l'azote total dans les horizons .....	71

## Liste des abréviations

°C : degré Celsius  
°K : degré Kelvin  
A : argiles  
C : carbone  
CE : conductivité électrique  
CEC ou T : capacité des échange cationique  
USSL : United state salinity laboratory  
cm : centimètre  
Is : indice d'instabilité  
K : indice de perméabilité  
Km : kilomètre  
L : limons  
log<sub>10</sub> : logarithme décimal  
m : mètre  
M (°C) : température maximale mensuelle  
m (°C) : température minimale mensuelle  
meq/g : micro équivalent par grammes  
MO : matière organique  
MOS : matière organique sèche  
ms/cm : milli siemens par centimètre  
N: Azote  
P: phosphore  
K: potassium  
P (mm) : précipitations mensuelle en millimètre  
ETP : évapotranspiration potentielle  
S: sables totaux  
SF : sables fins  
SG : sables grossiers  
P: moyenne des précipitations annuelles en mm;  
pH : potentiel d'hydrogène  
pH eau : acidité actualité  
pH kcl : acidité totale  
T° : température  
µm : micro mètre  
ESP : le taux du sodium échangeable  
SAR : le taux du sodium en solution  
K : horizon humifères  
CaCO<sub>3</sub> : Calcaire total.  
D' : densité apparente  
D : Densité réelle.  
Eche : Echelle.  
ESP : Pourcentage de Sodium Echangeable.  
FAO: Food Agricultural Organization.  
H: Horizon.  
P (%) : Porosité.  
Q2 : Quotient pluviométrique.

**V (km/h)** : Vent.

**V<sub>s</sub>** : Volume occupé par la matière solide.

**V<sub>t</sub>** : Volume total.

**V<sub>v</sub>** : Volume de vide.

**E** : Est

**N** : nord

**Clay** : argile

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

**AFES** : Agence française d'Etude des sols

**ISRIC**: international soil reference and information center

## Introduction générale

Les sols salés dits halomorphes ou salsodiques (Servant, 1975) sont des sols qui contiennent un excès des sels solubles et/ou du sodium échangeable. Ils sont défavorables à la croissance et au développement des plantes.

Ils représentent un pourcentage important de la superficie totale des sols dans le monde (Benédicte, 1991) et en Algérie, les zones arides représentent plus de 95% du territoire (Halitim, 1988).

La région de M'sila, est une zone aride du centre du pays. Cette région réputée d'être une zone pastorale où l'agriculture est une activité secondaire. Dans ces régions les sols, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeurs. Ils présentent souvent des accumulations calcaire ou gypseuses et sont, la plupart du temps, salés et sujets à une salinisation secondaire (Aubert, 1960).

L'évaporation rapide de l'eau pendant la saison sèche provoque une augmentation de la concentration des sels solubles, dans les horizons superficiels des sols, cette accumulation de sels peut modifier l'environnement immédiat des cultures dont le développement en est alors perturbé. Les accumulations des sels solubles transforment profondément les propriétés physiques et chimiques du sol, lorsque les concentrations salines dépassent un certain seuil, elles provoquent une diminution importante des rendements des cultures. Par la suite, les sols non cultivés vont être colonisés par les peuplements de plantes halophytes.

En effet, les sels solubles essentiellement les chlorures de sodium augmentent la pression osmotique de la solution du sol et déséquilibrent son état nutritionnel, ce qui induit un dysfonctionnement hydrique. Il est donc indispensable de maîtriser les effets néfastes de la salinité sur les propriétés des sols telle que la rétention en eau. Or, ces propriétés fonctionnelles sont influencées en grande partie par la texture des sols et notamment la nature et le taux de la fraction argileuse (Sellami, 2013).

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail dont l'objectif principale est la connaissance des propriétés d'un sol salé naturel de la région de M'sila

Pour ce faire on a structuré notre travail comme suit :

- Le premier chapitre, est basé sur une recherche bibliographique concernant les propriétés des sols
- Le deuxième chapitre, concerne la représentation détaillée du milieu physique du site d'étude
- Le troisième chapitre, est consacré à la méthodologie du travail et le matériel utilisé
- le quatrième chapitre : est consacrée à l'interprétation des résultats obtenus
- Et en fin, on termine par une conclusion générale.

**Première partie**  
**Recherche bibliographique**





## Chapitre I : les propriétés du sol

### 1. Les propriétés chimiques d'un sol

#### *1.1. La capacité des changes cationiques (T ou CEC)*

La capacité d'échange des sols pour les cations va donc être très dépendante de la texture du sol, et plus particulièrement, de la teneur en argile et en matière organique. Plusieurs auteurs ont essayé de mettre cette relation en équation. Cependant, selon la nature des argiles, la capacité d'échange liée à la charge négative, peut varier de 10 à 100 meq/100g. La matière organique, généralement présente en plus faible quantité, a une capacité d'échange, le plus souvent supérieure à cinq fois celle de l'argile, mais là encore une grande variabilité est possible en fonction du poids moléculaire, des COOH présents (Robert, 1996) .

#### *1.2. La conductivité électrique (CE)*

D'après (Robert, 1996) , la conductivité électrique des sols est la principale propriété chimique qui caractérise le sol, par rapport à une roche mère qui en est le plus souvent dépourvue.

#### *1.3. L'acidité (le pH) du sol et son pouvoir tampon*

Selon (Robert, 1996) , le pH des sols est une autre propriété chimique essentielle qui détermine le comportement des éléments chimiques, mais aussi le comportement des êtres vivants (microflore-végétation). On mesure en général le pH de l'eau ou d'une solution qui est en équilibre avec le sol.

L'eau étant entièrement dissociée en ions OH<sup>-</sup> et H<sup>+</sup>, chaque variation d'une unité pH traduit donc une variation de concentration de H<sup>+</sup> d'un facteur 10 (vers les pH acides) ou OH<sup>-</sup> (vers les pH alcalins).

#### *1.4. Calcaire totale*

Le calcaire total est déterminé à l'aide du calcimètre de Bernard, par dosage du CO<sub>2</sub> provenant de la réaction du carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) avec l'acide chlorhydrique.

Le volume de CO<sub>2</sub> dégagé est proportionnel à la quantité de carbonates présents et donc du calcaire.

La quantité de carbonates est déduite de la courbe d'étalonnage effectuée avec une série de quantités connues de carbonate de calcium (Duchaufour, 1979) .



### 1.5. Le taux du sodium échangeable (ESP en %) (Sodium absorption ratio)

Selon (BOULAINÉ, 1972) in (Medjahed, 2005), la présence de sodium en quantité élevée dégrade la structure du sol.

Le sodium peut détruire la structure lorsqu'il atteint certaine teneur dans le sol, ce seuil est fixé à 15%. Cette destruction de la structure est influencée aussi par la concentration globale en sel et du type d'argile (USSL, 1954).

La relation suivante permet de la calculer : **ESP = Na<sup>+</sup>/T × 100**.

- Na : en meq/100g.
- T : Capacité d'échange cationique.

### 1.6. Le taux du sodium en solution (SAR)

C'est le taux de sodium absorbé par rapport aux cations bivalent (Medjahed, 2005).

L' (USSL, 1954), définit le SAR par la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{++}}{2} + \frac{Mg^{++}}{2}}}$$

Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> En meq/100g.

Le SAR donne une indication sur le risque d'alcalisation par le du milieu (Mathier et al., 2003).

### 1.7. Les cations basiques échangeables

Le sol possède la propriété de retenir diverses substances. En effet, les cations et les anions peuvent être retenus par le complexe adsorbant du sol, c'est-à-dire l'ensemble des colloïdes dotés de charges négatives ou positives.

Les ions y seront retenus sous forme échangeable. En d'autres termes, si on traite un sol par une solution contenant des ions différents de ceux retenus par le complexe, il y aura échange entre les ions du complexe adsorbant et ceux de la solution (échange réversible).



Les cations sont fixés à la surface des plages où se développent des charges négatives (Massenet, 2013).



Dans la plupart des climats à saison humide, les cations retenus se classent dans ordre :  
 $Ca > Mg > K > Na$

Le calcium représentant à lui seul 70 à 80 % de la somme des bases échangeable, et même plus de 90% dans la plupart des rendzines, à forte réserve calcique (Duchaufour, 1984) .

### ***1.8. La phase liquide du sol (solution du sol)***

Elle contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques ionisées et non ionisées dont la nature et la concentration dépendent de plusieurs phénomènes.

Généralement, elle est difficile à décrire et à étudier en raison des variabilités spatiales et temporelles de sorte qu'il n'existe pas de composition type. Cependant (Sposito, 1989) a distingué deux grandes catégories de solutés :

- Les micro-éléments dont la concentration est inférieure à  $10^{-6}$  mol.L<sup>-1</sup>, il s'agit d'éléments traces métalliques.

- Les macro-éléments dont la concentration est supérieure à cette limite, les éléments les plus fréquents et les espèces chimiques correspondant sont : C (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), Na (Na<sup>+</sup>), Mg (Mg<sup>+2</sup>), Si (Si (OH) 4), S (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), Cl (Cl<sup>-</sup>), K (K<sup>+</sup>), Ca (Ca<sup>2+</sup>)...

Elle contient aussi des ions H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup> dont les concentrations déterminant le pH de la solution du sol est variable à cause notamment des sols salés ou des sols irrigués par des eaux saumâtres et l'épandage des fertilisants.

## **2. Les propriétés physiques d'un sol**

### ***2.1. Généralités***

Du point de vue physique, le sol est un système tri-phasique : phases gazeuse, liquide et solide, la phase solide comporte deux fractions : organique et minérale (Cordary, 1994) .

Le sol doit être suffisamment profond pour que le système racinaire puisse se développer et explorer un volume de terre assurant sa nutrition car la capacité de rétention et la capacité d'échange cationique dépendent de la profondeur.



## 2.2. La texture d'un sol

### 2.2.1. Définition de la texture d'un sol

La texture (ou composition granulométrique) est définie d'après la proportion des éléments du sol, classés par catégories de grosseurs, après destruction des agrégats.

Selon (Morel, 1996) , la texture d'un sol exprime la composition de la fraction minérale de ce sol en catégories de différentes grosseurs.

le sol doit permettre l'accès à l'eau, aux éléments nutritifs, à l'air et à la chaleur, les propriétés physiques et chimiques sont étroitement liées à la texture du sol. (Tiercelinet al., 2006) .

D'après les résultats de l'analyse granulométrique, par la représentation graphique en coordonnées tri linéaires, appelée triangle de texture, obtenues en portant sur chaque côté les valeurs en % des argiles (0 - 2u), des limons (2 - 50 U, et des sables (50 U. à 2mm), on a :

- **les sols argileux** (plus de 25% d'argile) sont lourds. Par conséquent, il faut développer une grande énergie pour les travailler, sol chimiquement riches à mauvaises propriétés physiques et milieu imperméable et asphyxiant.
- **les sols limoneux** (plus de 45% de limons) sont battants, pauvres en humus et d'une stabilité médiocre, la quantité de colloïdes minéraux est souvent Insuffisante.
- **les sols sableux** (plus de 55% de sables) sont légers, faciles à travailler, manquant de cohésion, à réserve d'eau faible, et pauvre en éléments nutritifs. (Sellami, 2013) .

### 2.2.2. Le triangle de texture

Le triangle de référence est le triangle rectangle ou le triangle équilatéral cette représentation s'appuie sur le fait quasi, dans un triangle équilatéral, ou même un point, des parallèles aux cotés, la somme des distance interceptés sur les cote est égale au côté du triangle. On procède de la manière suivante :

- chaque côté du triangle est divisé en 100 parties égale un cote du triangle attribué à l'argile, un autre aux limons et le troisième aux sables, la somme de leurs pourcentage respectifs est égale à 100.
- L'intérieur du triangle est divisé en cases, chacune d'elles représentant un type granulométrique de sol caractérisé par les proportions d'un ou deux éléments dominants.



- L'emplacement du point représentatif d'un sol dans le triangle ne donne qu'une indication simple (Halitim, 1988) .

### 2.3. La structure d'un sol

La structure du sol constitue un facteur déterminant de fonctionnement des sols, de sa capacité à supporter la vie et à affecter la qualité de l'environnement, particulièrement à travers la séquestration du carbone et l'amélioration de la qualité de l'eau (Bronicket al., 2005) .

#### 2.3.1. Définition de la structure du sol

La structure du sol résulte des assemblages (agrégats) en trois dimensions des particules solides ; minérales essentiellement les argiles et organiques.

Ces assemblages ne sont pas compacts, influence la porosité totale, qui détermine la capacité du sol à stocker l'air et l'eau, et les dimensions des pores dont dépend la circulation des fluides (Raoul, 2013) .

La structure peut être simplement définie, comme étant la manière dont sont disposées les particules du sol les unes par rapport aux autres (Henin, 1990) ; (Musyet al., 1991)

La structure est un état du sol, variant à court terme, par exemple selon les saisons. Elle dépend directement de la texture (l'inverse n'est pas vrai !) mais aussi de l'état des colloïdes, du taux d'humidité ou de matière organique et, dans une large mesure, de l'activité de la faune. (Jean-Michelet al., 1998) .

#### 2.3.2. Description de la structure

La description de la structure est effectuée à un niveau microscopique, celui des particules minérales, et à un niveau macroscopique, celui de l'horizon de sol. (Raoul, 2013) .

Assemblages élémentaires :

L'analyse micro-morphologique des sols, par l'observation microscopique de lames minces, permet de décrire les entités suivantes.

- **le squelette** : constitué de particules observables isolément ;
- **le plasma** : masse dans laquelle les éléments ne sont pas discernables ;



- **la porosité** : les chenaux des vers de terre, les divers types de pores inter et intra-agrégats ;
- **les traits pédologique** : on inclusions, tels les divers revêtements, les concrétions calcaires et ferrugineuses, les boulettes fécales, les débris de matière organique ( Philippe, 2001) .

#### **Agrégats :**

La description macroscopique des agrégats porte principalement sur leur forme et leur taille , mais on peut la compléter par des notions de couleur, d'aspect des faces d'agrégats, de cohésion et de compacité ou de relations avec les marques visibles de l'activité biologique ( Baiseet al., 1995) ; (Jean , 2005) .

### **2.3.3. Les types de structure**

Selon (Jean , 2005) ; (Philippe, 2001) Les types des structures est :

- **Structure particulières, meuble :**

Lorsqu' il n'existe pas de ciment, ou que celui-ci est en quantité insuffisante pour créer des agglomérats, la structure est dite particulière. Les éléments du squelette P us associés entre eux. La nomenclature emprunte ses termes à la granulométrie pour des éléments minéraux : poudres, sables, graviers, etc., et à la forme pour les éléments organiques : feuillets, fibres.

- **Structure agrégées :**

Structures massives ou continues

Si les forces de cohésions sont continués et relativement isotropes, il n'existe plus d'interfaces. On parle de structure massive. On les distingue par la diminution des particules élémentaires contenues dans la pâte.

- **Structure fragmentaires :**

Dans le cas où l'on peut identifier des agrégats, on parle de structure fragmentaire.

On distingue alors :

- ✓ Structures lamellaires ou phylliteuses : squameuses, schisteuses, laminaires.
- ✓ Les structures parallélépipédiques : prismatiques, cubiques, polyédriques.
- ✓ Les structures arrondies : grenues, grumeleuses, unciformes.



#### 2.3.4. Classification de structure

Ainsi, plusieurs tentatives de classification de structures ont été abordées par de nombreux auteurs. Aujourd'hui les classifications basées sur la genèse des structures sont devenues les plus convaincantes. Ainsi apparaissent les deux concepts de structure : les structures mécaniques et structures construites.

- **Structures mécaniques :**

Les structures mécaniques tacitement visibles dans les sols secs, disparaissent plus ou moins par humidification par suite d'un gonflement des agrégats amenant la fermeture des interstices (Chamayouet al., 1989) .

La formation des agrégats physiques agit par des effets antagonistes aux forces de liaisons. Les actions physiques les plus fréquentes sont :

- ✓ les tensions à la dissociation.
- ✓ la gélification.
  
- ✓ développement de système racinaire.
- ✓ Et le travail du sol.

- **Structures construites :**

D'après (Harris et al(1966) in (Chamayouet al., 1989) ; (Philippe, 2001) est agrégats arrondis ne peuvent provenir uniquement de tensions mécaniques ils résultent en partie, ou en totalité de l'activité biologique, les principales populations qui Interviennent dans les formations des agrégats sont les bactéries, les champignons et les vers de terre.

#### 2.3.5. La stabilité de la structure

La description des agrégats peut être due à des actions physiques (éclatements, *chois*, compressions) et des actions physicochimique (dispersion des argiles).

La stabilité de la structure croit avec les quantités d'argiles et de MO contenues dans le sol.

Elle est favorisée par la détermination d'indices de stabilité basés sur la résistance des agrégats à l'action de l'eau, ou indirectement par des mesures relatives à écoulement de l'eau.

La diversité des liens permettant l'agrégation des particules élémentaires dans les sols explique la diversité des méthodes de mesure de la solidité des agrégats, ou stabilité structurale (Le Bissonais , 1996) .

Les facteurs de dégradation les plus courants sont les suivants :



1° en saison humide, dégradation des structures «fragmentées» par gonflement des argiles.

2° orages violents, provoquant la rupture des agrégats par action mécanique des gouttes (splash érosion), la dilution des cations flocculants, la dispersion des ciments, accompagnée souvent d'entraînement des particules fines (appauvrissement), ce qui provoque le glaçage des sols.

3° disparition des ciments organiques les plus efficaces (polysaccharides) par biodégradation très rapide de ces ciments : un travail du sol excessif, activant *cette* biodégradation, peut avoir un effet nuisible.

4° acidification et changement d'état de l'humus, souvent accompagnés de tassement et diminution de l'aération.

5° tassement par les instruments aratoires lourds, sur sol cultivé, ce qui provoque une baisse de porosité avec disparition des pores grossiers.

Les structures ont en fait, une stabilité très variable. Alors que les structures truites, comportant des ciments organiques et calcaires (rendzines) sont très stables d'autres, constituées de limons agglomérés par une quantité insuffisante d'argile et d'humus, sont au contraire instables. S'ils sont mal travaillés, ou s'ils s'acidifient, de tels limons deviennent «battants», c'est-à-dire prennent une structure massive défavorable (Philippe, 2001) .

## ***2.4. La porosité du sol***

### **2.4.1. Généralités**

Le sol est un système à trois phases : une phase solide, une phase liquide et une phase gazeuse in ( Sellami , 2013 ) .

La proportion de la phase solide oscille entre 45 et 60% ( Henin , 1976 ) . Son volume est le plus constant par rapport aux deux autres phases.

L'autre proportion qui n'est pas occupée par la phase solide constitue l'ensemble des vides du sol ( Sellami , 2013 ) .

### **2.4.2. Définition**

La porosité est la conséquence du mode d'assemblage des constituants du sol ( Jean , 2005 ) .



La porosité, c'est-à-dire le volume des vides, exprimé en pourcentage du volume total, divisé lui-même en deux parties : capacité en air, capacité en eau ( Philippe , 2001 ) ; ( Willy , 1998 ) et ( Jean , 2005 ) .

La porosité donne une bonne idée de l'état structural avec, avantage certain, la possibilité de mesures comparatives. Selon la taille des pores, elle se subdivise en macroporosité (vides > 50 Um, pouvant être remplis par l'eau de gravité et souvent colonisés par les racines moyennes), en méso porosité ou porosité capillaire, constituée des vides de 0,2 à 50 Um retenant l'eau utile aux plantes, et en microporosité, dont les vides Inférieurs à 0,2 Um retiennent l'eau Inutilisable.

La mésoporosité dépend beaucoup de la texture, la macroporosité surtout de la structure ( Willy , 1998 ) .

D'après ( Prevost , 2006 ) ; ( Hillel , 1984 ) , la porosité est définie corne le rapport du volume de l'espace poral  $V_p$  au volume  $V_t$  du sol en place ou volume apparent. Le volume  $V_p$  se détermine par différence entre le volume du sol en place et le volume des constituants solides  $V_s$ . D'où la formule de la porosité :

$$P = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_t - V_s}{V_t} = \frac{1 - V_s}{V_t}$$

D'après (Philippe, 2001) ; (Prevost, 2006) et (Hillel, 1984) , La porosité (P) est en relation étroite avec deux valeurs caractéristiques :

- **la densité réelle (D)** de la fraction solide, indépendante des vides : pour les sols silicatés, pauvres en matière organique, elle varie peu, entre 2,6 et 2,7 : on peut la mesurer avec précision à P aide *d'un* pycnomètre. Le plus souvent on utilise la valeur moyenne, 2.65. Une correction *soustractive doit être* faite pour les sols lres calcaires et surtout pour les horizons humifères (K), la matière organique abaissant fortement la densité moyenne ;
- **la densité apparente (D')** est la densité du sol sec, concernant l'ensemble, fraction solide et pores. Elle *se* mesure à l'aide de plusieurs méthodes, la plus simple étant celle du cylindre métallique de 250 cm<sup>3</sup>, enfoncé avec précaution dans le sol, et retiré avec son contenu, tout tassement devant être évité : le poids de sol sec



(multiplié par 4) donne le poids de 1 litre. Pour la majorité des sols, la densité apparente  $D'$  varie de 1 à 2.

- **La porosité totale** est donnée par la formule,  $P = \frac{D-D'}{D}$ .

• La porosité totale se subdivise, en fonction de la taille des pores, en porosité fine (qui retient l'eau) et en porosité grossière, qui, le plus souvent est occupée par de l'air ; ces différentes formes de porosité sont établies en fonction des états de l'eau : capacité au champ, point de flétrissement.

La densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du matériau et indirectement, la porosité totale (Alongo et Kambele, 2013).

## 2.5. La perméabilité du sol

La perméabilité du sol dépend de la texture et la structure et du sol lui-même. Un sol est perméable s'il a une texture grossière (sableuse) et une structure fragmentaire (Prevost, 2006) .

La perméabilité d'un sol est définie par la vitesse d'infiltration de l'eau de gravité en cm par seconde (ou par heure, si la vitesse est lente) : coefficient  $k$ .

Le coefficient  $k$  est calculé par le débit  $Q$  obtenu à l'aide du dispositif de filtration sur colonne, indique par (la loi de Darcy) :  $Q = K (H+H' /H) S$ . (Duchaufour, 2001) .

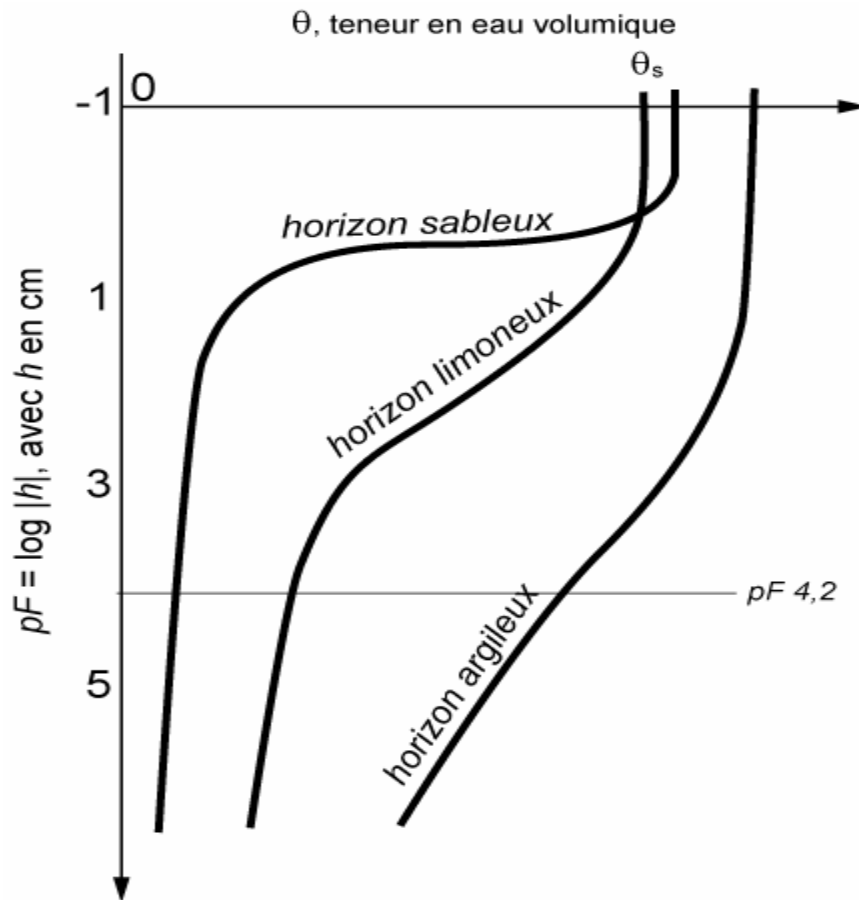
## 2.6. Rétenion de l'eau par les sols

La rétenion en eau d'un horizon correspond à sa capacité à retenir l'eau à un état hydrique donné, caractérisé par une valeur donnée du potentiel matriciel de l'eau dans le sol. On nomme « caractéristique de rétenion en eau » la relation  $\theta(h)$  qui relie  $\theta$ , teneur en eau volumique, et  $h$ , potentiel matriciel de l'eau. Il s'agit d'une relation non linéaire puisque  $h$  peut varier de plusieurs ordres de grandeur :  $h = 0$  à saturation et  $h = -106$  hPa pour un horizon très sec, tandis que  $\theta$  varie de  $\theta_s$  (rarement supérieur à 0,95) à  $\theta$  proche de 0 pour un horizon séché à l'air. C'est pourquoi on utilise couramment la transformation logarithmique suivante pour faciliter la représentation graphique des caractéristiques de rétenion :

$$pF = \log_{10} |h|, \quad \text{avec } h \text{ en cm.}$$

Cette relation varie d'un horizon à l'autre, en particulier en fonction de la texture et de la structure du sol (Bruandet al., 2005) .

Caractéristiques de rétenion  $\theta(h)$  d'un horizon argileux, d'un horizon limoneux et d'un horizon sableux (Bruandet al., 2005) figure (1).



**Figure 1:** Caractéristiques de rétention  $\theta(h)$  d'un horizon argileux, horizon limoneux et d'un horizon sableux (Bruandet al., 2005) .

### 3. Les propriétés biologiques d'un sol

#### 3.1. La matière organique

##### 3.1.1. Définition de la matière organique

Par le terme « MO des sols (MOS) » on entend l'ensemble des composés organiques qui sont issus de résidus d'organismes à différents stades de décomposition, synthétisés par les organismes vivants ou qui sont des produits de dégradation. Les quantités de MOS et de carbone organique sont corrélées. Il est arbitrairement admis que la MOS est le double du carbone organique dans un sol non cultivé et que dans un sol cultivé, elle est égale à 1.73 fois la teneur en carbone organique (Duchaufour, 2001) .



### 3.1.2. Rôle et fonctions de la matière organique

La matière organique du sol représente l'indicateur principal de la qualité des sols, à la fois pour des fonctions agricoles (c'est-à-dire la production et l'économie) et pour les fonctions environnementales (parmi elles la séquestration du carbone et la qualité de l'air). La matière organique est le principal déterminant de l'activité biologique, la quantité, la diversité et l'activité de la faune et des micro-organismes sont en relation directe avec la présence de la matière organique (Van Wesemael et al., 2013) .

(Robert, 1996) , souligne l'influence majeure de la matière organique sur les propriétés Physiques et chimiques des sols. L'agrégation et la stabilité de la structure du sol augmentent avec le contenu en carbone des sols. Les conséquences directes sur la dynamique de l'eau et la résistance à l'érosion par l'eau et le vent. Le carbone des sols affecte aussi la dynamique et la biodisponibilité des principaux éléments nutritifs. (FAO, 2002) .

### 3.2. Les éléments major disponibles dans le sol

#### 3.2.1. Le potassium

##### 3.2.1.1. L'origine de potassium

Le potassium est assez abondant sur terre, mais peut être fréquent dans les eaux, il provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) (Debieche, 2002) .

De nombreux constituants minéraux du sol contiennent du potassium à l'état natif. La teneur Moyenne de l'écorce terrestre en  $K_2O$  est évaluée à 3,2 %. Les minéraux silicatés (feldspaths potassiques, micas, argiles,...) en sont les principales sources. Dans les sols, ce sont surtout les minéraux argileux qui constituent à la fois le principal réservoir et le piège à potassium.

Les minéraux d'altération des sols se distinguent les uns des autres par leurs teneurs en bases dont le potassium (Mhiri , 2002) .

Par ailleurs, l'humus du sol peut constituer une source non négligeable de potassium. La teneur et le type d'humus déterminent le potentiel de ce gisement potassique.

Pour L'agriculture biologique, il est la source principale d'entretien de la fertilité du sol.

A l'exception de certains sols franchement sableux, riches en feldspaths potassiques (sable arkosique), les sols à texture fine (textures argileuse, argilo-limoneuse,...) sont Potentiellement plus riches en K total que les sols à texture grossière. Mais la teneur en K total



d'un sol ne préjuge pas du niveau de bio-disponibilité de cet élément pour la plante cultivée, ( Mhiri , 2002) .

### 3.2.1.2. Les formes du potassium dans le sol

(Mhiri , 2002) , a défini les trois formes suivantes :

- **Potassium échangeable.** Il comprend le potassium de la solution du sol et le potassium adsorbé sur les surfaces externes des minéraux argileux en particulier. Des échanges ioniques incessants et rapides s'établissent entre ces deux formes.
- **Potassium de constitution :** à l'intérieur de l'édifice cristallin des argiles. Il représente plus de 95 % du potassium total des sols argileux.
- **Potassium fixé (ou rétrogradé) :** constitue un volant de réserve. Entre les différentes formes, des échanges lents peuvent se réaliser dans certaines conditions avec le potassium échangeable.

### 3.2.2. L'azote N

#### 3.2.2.1. L'azote et sa disponible

L'atmosphère est la principale source d'azote. On le rencontre principalement sous sa forme diatomique ( $N_2$ ).il s'agit d'une molécule très stable. La plupart de l'azote du sol est constitué d'azote organique.il est rendu disponible pour les plantes par minéralisation liée à l'activité des micro-organismes. La matière organique constitue la principale réserve d'azote du sol (Scheiner, 2005) .

(Scheiner, 2005) , définit les formes suivantes :

- **L'azote organique :** constitue 85 à 95% de l'azote total du sol.
- **L'azote inorganique :** constitue la fraction disponible pour les cultures.

Le sol en contient rarement plus de 10% de l'azote inorganique total.

C'est sous la forme de nitrates ( $NO_3^-$ ) qu'il est principalement absorbé par les cultures exception faite de certains cas ou la culture se développe en conditions d'anoxie ( cas des rizières :  $NH_4^+$ ).

#### 3.2.2.2. Cycle de l'azote

Il intègre les diverses formes de l'azote du sol et de l'atmosphère, et toutes les transformations entre ces différentes formes. Le passage du  $N_2$  (gazeux) aux formes combinées se fait au moyen de la fixation biologique, et le passage des formes organiques aux formes inorganiques se fait au travers de la minéralisation.



Dans le cycle global de l'azote, on peut différencier la partie propre au sol. La caractéristique principale de ce cycle interne est qu'il peut se résumer en deux processus biologiques opposés : la minéralisation et l'immobilisation.

- *La minéralisation* : contenant deux processus, l'ammonification et la nitrification.
- *La nitrification* : c'est la conversion de l'azote inorganique en formes organiques

Constitutives des micro-organismes (Mengelet al., 2001) .

### 3.2.2.3. Les gains d'azote

La fixation biologique de l'azote atmosphérique par les bactéries représente environ 60% de l'azote total. Le rayonnement ultraviolet et la foudre contribuent pour 15%. Le reste provient de l'industrie des Engrais (Mengelet al., 2001) .

### 3.2.2.4. Les pertes d'azote

Se font à travers trois processus :

. *La dénitrification* : par l'action des bactéries anaérobies, passant des nitrates aux nitrites, puis en composés ammoniacaux et enfin en azote gazeux et oxydes d'azote.

. *La volatilisation* : cette voie des pertes est favorisée dans les sols alcalins, les sols de faible capacité d'échange cationique ou les sols secs (Evaluation of ammonia volatilization in the field., 1988) cité par (Scheiner, 2005) .

. *La lixiviation* : l'azote sous forme  $\text{NO}_3^-$ , très vulnérable à la lixiviation, s'accumulant dans les horizons de surface peuvent être entraînés en profondeur. Dans les sols agricoles, ce risque de perte est dépendant de la présence de nitrates dans le profil et d'un volume d'eau capable de le transporter (Scheiner, 2005) .

## 3.2.3. Le phosphore

### 3.2.3.1. Le phosphore et sa biodisponibilité

Le phosphore constitue l'un des trois éléments majeurs indispensables à l'alimentation des cultures et un facteur qui peut sérieusement limiter la production agricole. En effet, le phosphore est fondamental dans le métabolisme de la matière vivante (ATP, ADP, AMP) ; il fait partie aussi des éléments constituant toutes les membranes cellulaires. Dans le sol, la teneur en phosphore est de l'ordre de 0,02 à 3%. L'analyse du statut phosphaté du sol est donc destinée à évaluer le phosphore bio disponible, (Lilia, 2004) .



### 3.2.3.2. Formes du phosphore dans le sol

Les formes du phosphore dans le sol sont multiples et variées. La présence de chacune de ces formes dépend des conditions d'acidité, de basicité, d'alcalinité ainsi que de l'activité biologique du sol considéré.

(Baize, 2000) , considère les formes suivantes :

#### - Phosphore total

C'est l'ensemble de toutes les formes de phosphore présentes dans un échantillon de sol, qu'elles soient minérales ou organiques.

#### - Phosphore minéral

C'est le phosphore inclut dans des minéraux comme les apatites (phosphates calciques), dans tous les composés d'oxy-hydroxydes de fer et d'aluminium, ainsi que dans les phosphates tricalciques associés à un calcaire actif (très insolubles dans les milieux calcaires).

#### - Phosphore organique

Le phosphore organique correspond à celui que l'on retrouve dans la matière organique fraîche et l'humus. Dans les sols cultivés de longue date, sa proportion varie entre 25 et 30 % du phosphore total. Cette forme de phosphore est susceptible de devenir assimilable grâce à l'action des micro-organismes et à la minéralisation de l'humus.

#### - Le phosphore assimilable

Appelé aussi « fraction labile », c'est le phosphore susceptible d'être absorbé par les racines ; on y trouve différentes formes d'anions ( $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ ,  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ ) soit dans la solution du sol, sur les surfaces externes des minéraux argileux ou bien sur les surfaces sorbantes des oxyhydroxydes de fer et/ou d'aluminium.

## 4. Notion de fertilité

La notion de fertilité d'un sol se rapporte à l'aptitude de ce sol à produire des récoltes plus ou moins abondantes grâce à l'action de l'agriculteur. Toutefois, cette aptitude ne dépend pas uniquement des propriétés du sol (fertilité propre ou intrinsèque), mais également des caractéristiques climatiques de la région étudiée (Morel, 1989) .

Le climat et le sol concourent à un environnement pédoclimatique, c'est-à-dire un ensemble de conditions favorables ou contraignantes pour la croissance végétale (lumière, température, humidité, éléments nutritifs,...etc.) ; il s'agit bien d'une potentialité propre à un contexte, et sur lequel l'homme peut agir (travail du sol, fertilisation, choix d'espèces,...etc.)



(Genotet al., 2007) .La fertilité englobe trois composantes, physique, chimique et biologique.

#### ***4.1.La fertilité physique***

Les facteurs physiques essentiels de la fertilité des sols constituent l'état structural et la capacité de rétention de l'eau. L'état structural d'un sol correspond au mode d'assemblage des constituants minéraux et organiques du sol, elle détermine l'aération dont dépendent la croissance du végétal et l'activité biologique du sol. Le niveau d'épanouissement du système racinaire ainsi que le niveau de transfert de l'eau, oxygène et les éléments minéraux justifient l'état structural d'un sol. Elle est fonction d'une part de la texture et de la structure et d'autre part des facteurs agro-climatiques et anthropiques ainsi que de la topographie, de la profondeur et de la disposition des horizons (Soltner, 1996) .

#### ***4.2.La fertilité chimique***

(Pieri, 1989) , indique que la capacité d'un sol à se maintenir chimiquement fertile est déterminée par l'importance des réserves totales et leur passage sous forme assimilable.

En effet, un sol fertile doit permettre de fixer les éléments nutritifs et assurer leurs échanges entre la phase liquide et solide, mais aussi entre la plante et le sol. La nature de la roche mère et la quantité d'éléments mobilisables déterminent l'abondance des éléments nutritifs dans le sol. La baisse du niveau des éléments chimiques s'accompagnent d'une acidification et de toxicités diverses (Boyer, 1983) .

#### ***4.3.La fertilité biologique***

Elle a pour objectif de favoriser l'activité biologique, d'aider aux transferts des nutriments du sol à la plante et de favoriser la minéralisation des matières organiques. Elle peut être vue comme une conséquence des fertilités physique et chimique (Merelle, 1998) .



## Chapitre II : généralités sur les sols salés

### 1. Les sols salés

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde et les sols dont la pédogénèse est fortement influencée par la présence de sels ont longtemps été appelés sols salés ou sols halomorphes. (CHERBUY, 1991) . Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations de façon permanente ou temporaire. Ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines), hydrologique (eaux marines) ou anthropique (gestion hydroagricole) (GIRARD et al., 2005) .

#### 1.1. Les sols salés dans le monde et en Algérie

##### 1.1.1. Sols salés dans le monde

A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent une grande ampleur pour l'agriculture. Leurs distributions géographiques se superposent presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières (Durand, 1983) La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares (Tableau 1), soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008)

**Tableau 1** : Répartition des sols salés dans le monde (Szabolcs, 1994)

Sols affectés par les sels des différents continents et S/ continents (10 <sup>3</sup> hectares)	
<b>Amérique du nord</b>	15755
<b>Mexique et Amérique centrale</b>	1965
<b>Amérique du sud</b>	129163
<b>Afrique</b>	80608
<b>Asie du sud</b>	87608
<b>Asie du nord et du centre</b>	211686
<b>Asie du sud est</b>	19983
<b>Australie</b>	357330
<b>Europ</b>	50804
<b>Total</b>	954832



### 1.1.2. Sols salés en Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1983) . Les sols salins sont répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de la Mina près de Relizane, sur les hautes plaines Sud de Sétif et de Constantine et aux bords de certains chotts comme le chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (Durand, 1983) .

### 1.2. La genèse d'un sol salin et/ou sodique

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles. Le mouvement des sels dépend de l'état physique de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de la texture des sols etc.

La composition de la solution, le pH et la température sont les paramètres influençant la solubilité des sels. Les sels se solubilisent par des formes différentes. En effet, les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement solubles. En revanche, lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles.

Le régime hydrique du sol, la forme de sel, les conditions climatiques et la texture des sols sont les paramètres les plus importants qui manifestent la genèse d'un sol salin. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ , et aux anions  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{-}$ . Egalement le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène (les éléments traces) sont considérés comme d'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations (Keren, 2000) ; (Essington, 2004)

Selon (BOLT et al., (1978) . Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante.



## 1.2.1. Formes de salinisation des sols

### 1.2.1.1. Salinisation primaire

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle « édaphique », on qualifie, alors la salinisation de « primaire ». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes :

- Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses.
- inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité.
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (Mermoud , 2006) .

### 1.2.1.2. Salinisation secondaire

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique ; sont qualifiées de « secondaires » dû principalement à l'irrigation des terres avec une eau de mauvaise qualité (eau saline), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant Invalid source specified. et Invalid source specified.. ou bien présence d'une nappe phréatique salée proche de la surface ; (Duchaufour, 1983) ; (CHERBUY, 1991) ; (Girardet al., 2005) .

## 1.2.2. Paramètres de caractérisation des sols salés

Selon (CHERBUY, 1991) . L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble de facteurs :

**\*Conductivité électrique:** La salinité est mesurée par la CE de l'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué du sol. Elle est exprimée en en ds/m à 25°C.

**\*pH du sol:** La notion du pH du sol permet de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Les sols salés ont un pH sensiblement égal à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport  $Na^+/CEC$ .

**\*ESP (Le taux de sodium échangeable):** Ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange, l'ESP est en fonction de la CEC exprimée en (meq/l).

**\*ESP=  $Na^+$  / Quantité totale des cations absorbés**

**\*SAR (Sodium absorption ratio):** Il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol.



$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{++}}{2} + \frac{Mg^{++}}{2}}}$$

### 1.3. L'effet de la salinité

#### 1.3.1. Effet de la salinité sur le sol

L'excès de sel dans un sol modifie les propriétés physiques et chimiques. Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (haoualaet al., 2007) et (Gregory, 2005) .

#### 1.3.2. Effet de la salinité sur les plantes

La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité des plantes ALLAKHVERDIEV et al. 2000 (in PARIDA et (DSA, 2008) ).

#### 1.3.3. Effets de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol

##### 1.3.3.1. Effets sur les propriétés physiques

C'est par leurs cations que les sels solubles affectent les propriétés du sol. Il s'agit essentiellement de l'ion sodium. L'action défavorable de cet ion à l'état échangeable se traduit par la dispersion des colloïdes du sol et par conséquent :

- Structure dégradée ;
- Réduction de la perméabilité ;
- Mauvaise stabilité structurale ;
- Faible disponibilité de l'eau à la plante (Halitim, 1973) .

##### 1.3.3.2. Effets sur les propriétés chimiques

L'excès de sels présente un effet sur les propriétés chimiques, notamment sur le PH et l'ESP (Oustani, 2006) .

- **pH** : la réaction du sol est influencée par la nature des sels. Alors que certains sels sont acidifiants (CaSO<sub>4</sub>, KCL, MgSO<sub>4</sub>), d'autres sont alcalinisant (NaHCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, NaCO<sub>3</sub>).
- **ESP** : le taux de sodium échangeable a une grande importance dans les sols alcalins, vu que ces derniers retiennent de faible concentration en sels solubles et



La grande quantité de sodium se trouve sous la forme échangeable. Tandis que Dans le cas des sols salés, la grande partie du sodium se trouve dans la solution du sol.

#### ***1.4. Mise en valeur des sols salés***

La restauration des sols salins et leur mise en valeur nécessitent des Investissements très importants qu'il faille l'évaluer afin de justifier sur le plan de Rentabilité des investissements nécessaires pour les différentes phases (Oustani, 2006) .

Une bonne utilisation agricole des sols salée nécessite :

- L'élimination des excès de sels (lixiviation) et la suppression de la source de Sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que Le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne Qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements organiques et minéraux.

**Deuxième partie :**  
**Milieu physique et méthodes d'étude**



## Chapitre 1 : Etude du milieu physique

### 1. Présentation de la zone d'étude

#### 1.1. Situation géographique de la région d'étude

Le site d'étude appartient à la pépinière de M'sil, actuellement ferrée par M'sila vert fait partie de la wilaya de M'sila. Elle est située entre les latitudes  $4^{\circ}33'N$  et  $21^{\circ}88'N$  et les longitudes  $35^{\circ}44'W$  et  $16^{\circ}55'E$ .

La wilaya de M'sila signifie des plaines entourées par des montagnes (FAO, 1973), 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 des réseaux hydrographique. Du telle au Nord et de l'Atlas Saharien au Sud (Mimoune, 1995) .

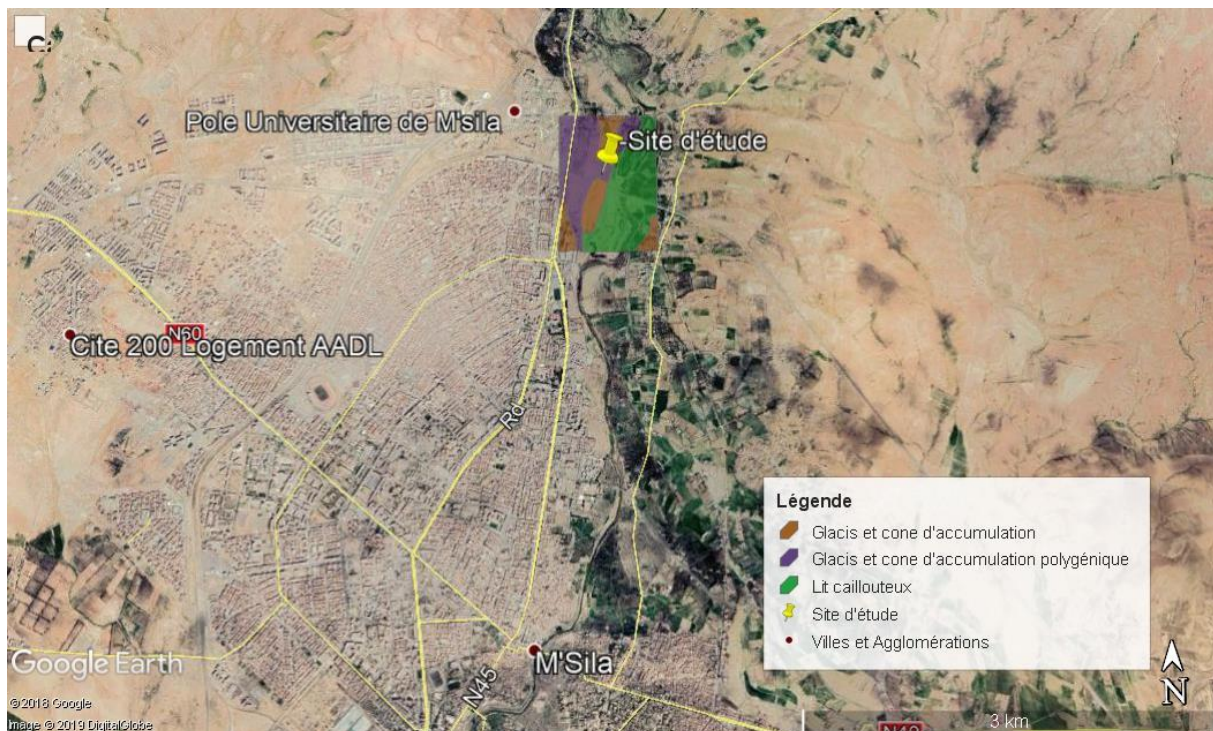
La région de M'sila est située au sud-est de l'Algérie. Elle fait partie du bassin endoréique du Hodna caractérise par l'étendue de ses plaines arides. Riche en sels et à couverts végétales clairsemé. La zone d'étude est située dans le périmètre du ksob qui se trouve au Nord du Chott.



**Figure 2:** Situation géographique de la région d'étude (M'sila) Google Earth.

## 1.2. Géomorphologie :

Le site d'étude 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. qu'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. qu'est au point de vue agricole le plus intéressant.



**Figure 3** : Géomorphologie du site d'étude (M'sila) 1/50000 Google Earth (CAPOLONI et al., 1971)

On distingue quatre ensembles géomorphologiques :

### 1.2.1. Cadre montagneux

Le site d'étude formant une barrière orientée Est Ouste qui réduit les influences marines. Par ailleurs. Cet écran dont l'altitude varie entre 1400 à 2000m (le mont M'adid au Nord de m'sila culmine à 1863m)

### 1.2.2. Les piémonts

C'est la zone de transition entre la montagne et la plaine. qui s'allonge d'Ouest en Est aux pieds des montagnes du versant Nord entre les cotes 500m et 700 m. C'est un ensemble correspondant de collines ; qui sont découpé et ravinées par les oueds qui descendent des montagnes (oueds m'sila et oued selmane) et par des réseaux temporaires qui coulent âpres les pluies.

Les collines sont représentées par des plans inclinés et constituées par des dépôts Miopliocène. Elles plongent var le centre de la cuvette sous les alluvions récentes.

### 1.2.3. Les plaines

La plaine de M'sila couvre une superficie d'environ  $500km^2$ . Elle est limite au nord et à l'est par les glacis. Au Sud. la courbe de niveau 400m marae grossièrement le passage de la plaine au le chott d'où une pente de 0.55%.

### 1.2.4. Chotte el Hodna

Le chott el Hodna fait partie d'une serte de chotte 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 392 m et retenue entre les coordonnées géographique suivent :  $35^{\circ}18'N-35^{\circ} 32'N$  et  $4^{\circ}06'E-5^{\circ}15'E$ .

## 1.3. Hydrologie

Selon la (DSA, 2008) . Les capacités hydrique sont estimées à 540 millions de  $m^3$  dont 320 millions de  $m^3$  en eaux superficielles (soit 59.25% de la capacité totale). et 220 million de  $m^3$  en eaux souterraines (soit 40.74%).

Le régime hydrologique du M'sila est lié au régime pluviométrique caractérisé par une forte irrégularité. La majorité des cours d'eau 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'eau pour l'irrigation .le bassin vasant présent environs 1/5 de la totalité du bassin hydrologique du M'sila . Le sous –sol renferme beaucoup de formations aquifères repartis en plusieurs niveaux (FAO, 1973) Les principale nappe aquifères des bassins de M'sila sont. 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 hydrographiques très diversifiés.il y a au moins 22 cours d'eau qui assentent l'alimentation du chott (BOUMEZBEUR, 2002) .

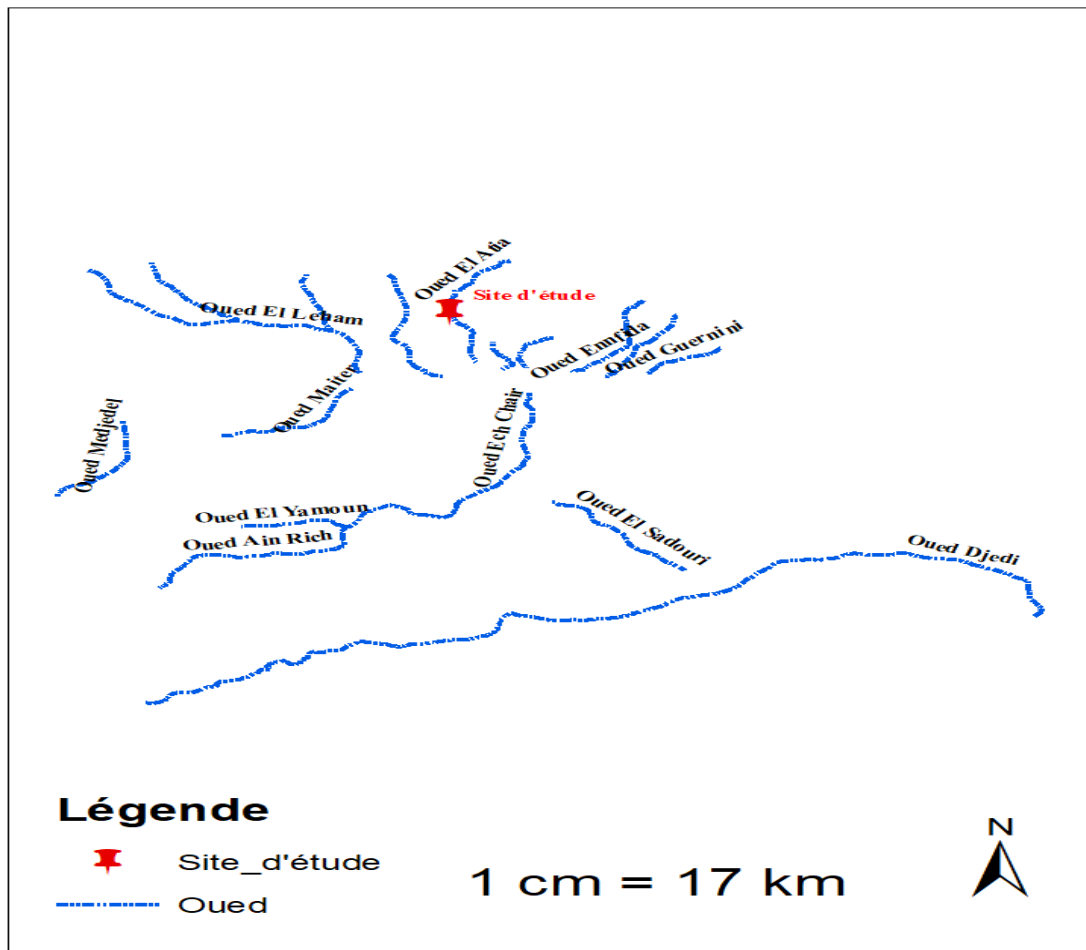


Figure 3: Réseaux hydrographique du site d'étude ( Google Erath )

### 1.4. Géologie

La géologie de la zone appartient au quaternaire. selon (Capoloniet al., 1971) la géomorphologie est du quaternaire moyen (Amero-tensiftien) est représentée par des glacis d'accumulation (Amerien) et des glacis d'accumulation polygéniques (Tensiftien). La zone d'étude est traversée par Oued Ksob dont le lit est caillouteux

La région de Hodna appartient selon (GUIRAUD. 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 :

#### 1.4.1. Le secondaire

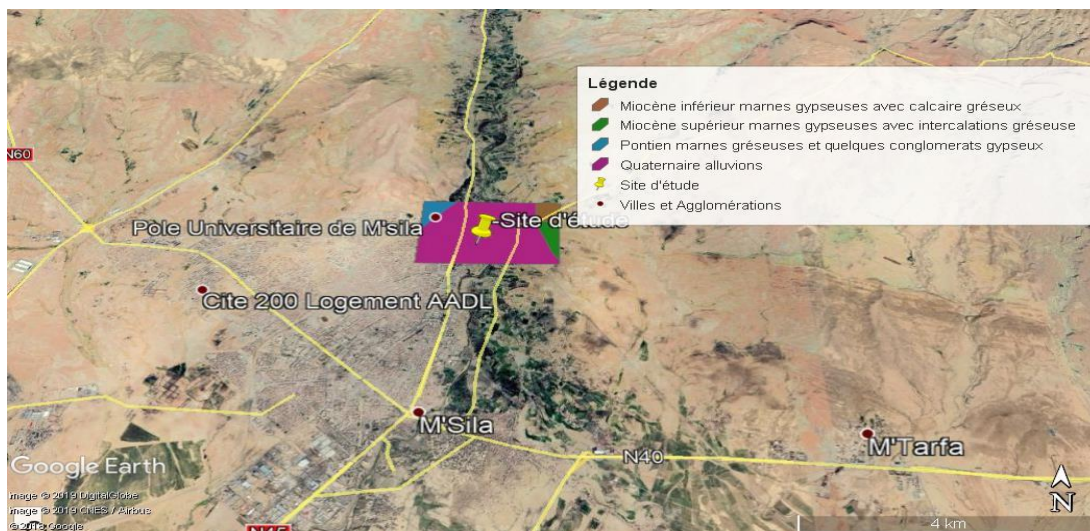
Comporte le trias. Jurassique et le Crétacé. Le Trias présente une lithologie composée de marnes gypseuse et sels. Le Jurassique n’affleure qu’à la faveur d’accidents majeurs dans la partie orientale des monts des Hodna. Il est caractérisés par la présence de calcaire. Formé et le Crétacé formé par des bains de marnes et de grès avec intercalation de calcaire :

#### 1.4.2. Le tertiaire

Comporte l’Eocène. L’Oligocène continentale et le Miocène. Le premier et caractérisé par des grés rouge. Des arilles variés. Des calcaires et des conglomérats. Le second caractérisé par des conglomérats. Des grés fins friables et des marnes rougeâtres et le dernier est constitué d’une alternance de marnes gypseuse avec des grés et calcaire.

#### 1.4.3. Le quartenaire

Est présent par d’anciennes alluvions et des sédiments fins.



**Figure 4 :** Géologie du site d'étude extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000 Google Earth (M.Sari 1971)

## 1.5. Pédologie

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

### 1.5.1. Les sols minéraux bruts

Les sols minéraux bruts d'apports alluviaux qui sont des sols très peu évoluées, constitués de profil de type (A) C. (A) R ou R. la matière organique se trouve sous forme de traces dans les 20 cm supérieure et atteindre 1 à 1.5 % dans les 2-3cm supérieure.

### 1.5.2. 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 20cm supérieures.

### 1.5.3. Les sols calcimagnésiques

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

### 1.5.4. 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 ».

### 1.5.5. Les sols hydro morphes

Ce type de sols est caractérisé par une hydromorphie important. L'excès d'eau peut se traduits par l'engorgement permanent d'une partie ou de la totalité du profile s. L'eau peut provenir de la nappe phréatique ou de la surface en coédition de drainage imparfait. L'hydromorphie est caractérisé par l'horizonne (Gley) ou de pseudogley.

### 1.5.6. 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 pseudo Gley 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.



**Figure 5:** Pédologie du site d'étude extrait de la carte pédologique du Hodna 1/800000 (FAO, 1973)

## 1.6. 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 procédera à des calculs à partir des données météorologiques disponibles.

Les principaux éléments du climat (pluies, température, vent...) sont étudiés sur la base des données récoltées auprès de la station météorologique de M'sila (altitude 441m, 1988-2014).

**Tableau 2 :** Les caractéristiques de la station météorologique de M'sila

Station	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Données	Période disponible
	Latitude	Longitude			
M'sila	35°40'N	04°30'E	441	P. T. H et vent	1984-2014

Source : la station météorologique de M'sila

### 1.6.1. 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 (Djebaili, 1984) .

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

**Tableau 3:** Répartitions interannuelle des précipitations (mm).

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

Source : station météorologique de M'sila (1998 à 2014).

L'examen de tableau 5. montre que : Les hauteurs annuelles des précipitations pour la période (1998 –2014) varient de 105 mm en 2002 à 384 mm en 2003. tandis que la moyenne pluviométrique interannuelle est égale à 209mm.

On remarque que la pluviosité mensuelle est très variable. et ne suit pas une évolution régulière. Avec un maximum en Septembre et un minimum en Aout voir Tableau n° 4.

**Tableau 4 :** Pluviométrie moyenne mensuelle en (mm).

	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
P (mm) Msila 441m	17,38	12,92	15,38	21,58	23,27	9,54	3,69	7,46	27,96	21,38	18,31	18,58
P (mm) Site d'étude 531m	18,91	13,77	16,58	23,94	26,01	10	3,76	7,74	31,92	23,7	20,01	20,33

Source : station météorologique de M'sila (1998 à 2014).

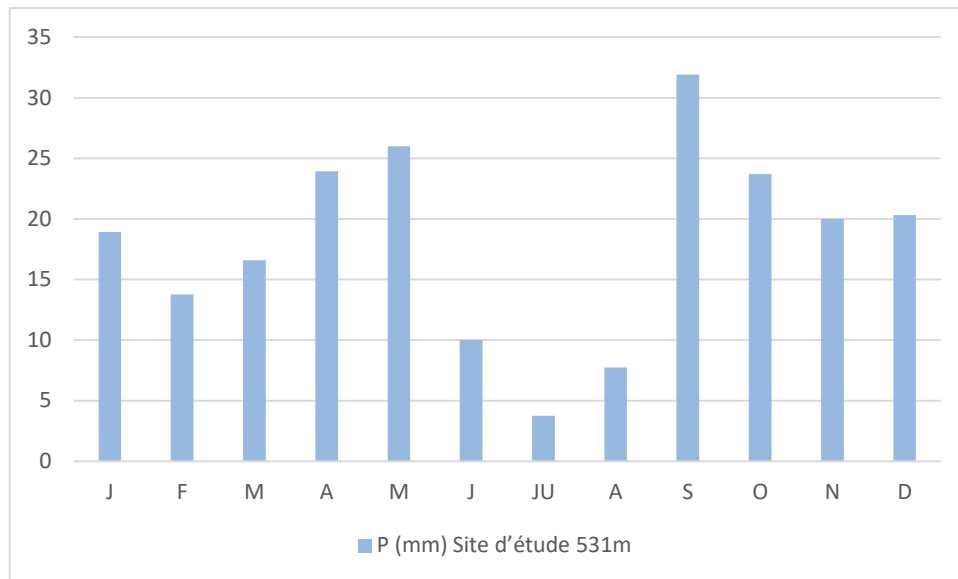


Figure 6 : Pluviométrie moyenne mensuelle

Le tableau 4 : montre que les moyennes des précipitations mensuelles sont irrégulières. Le mois le plus pluvieux est le mois septembre avec une moyenne de 27.96mm, alors que le mois le plus sec est le mois de juillet avec une valeur de 3.69mm.

Les valeurs saisonnières des précipitations aboutit à un régime 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.

Tableau 5: Répartitions saisonnier des précipitations

pluviométrie	Automne	hiver	Printemps	ETE	Totale	Indicatif saisonner
<b>P (mm)</b>	69.27	51.33	58.23	20.90	199.73	A .P.H.E
<b>P (%)</b>	35	26	29	10	100	A .P.H.E

### 1.6.2. Température

La température représente a un facteur limitant de toute premier important car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait 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

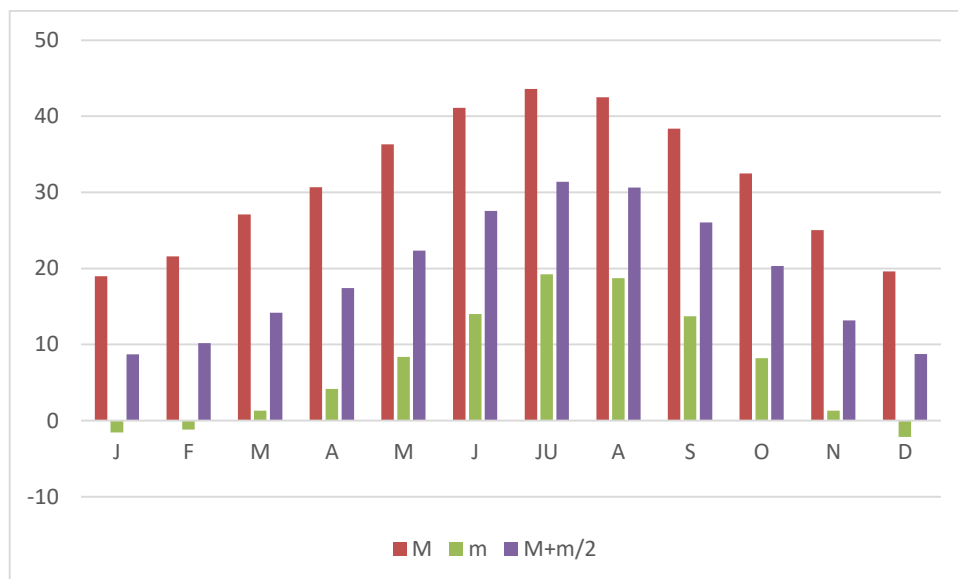
influence sur le bilan humique. Elle intervenait aussi dans la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'être vivant dans la biosphère

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

**Tableau 6 :** Les températures moyennes mensuelles Minimales et maximales (°C).

Mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
<b>M</b>	19.00	21.57	27.09	30.66	36.31	41.11	43.60	42.52	38.36	32.47	25.06	19.63
<b>m</b>	-1.57	-1.17	1.31	4.17	8.38	14.02	19.22	18.74	13.71	8.21	1.32	-2.14
<b>M+m/2</b>	8.72	10.20	14.20	17.41	22.34	27.57	31.41	30.63	26.03	20.34	13.19	8.74

**M** : moyennes mensuelles des maxima. **m** : moyennes mensuelles des minima. **M +m/2** : moyennes mensuelles (T Max +T min/2) **Source : station météorologique de M'sila (1998 à 2014)**



**Figure 7 :** Représentée Les températures moyennes mensuelles Minimales et maximales (1998-2014).

L'analyse de ces données montre que : Dans la région de m'sila. Le mois de janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne minimale de 8.72°C. Alors que le mois le plus chaud est le mois juillet. Avec une moyenne maximale de 31.41°C.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 8,74°C la température moyenne annuelle est 20.16°C.

### 1.6.3. Les autres facteurs climatiques

#### 1.6.3.1. Le vent

Il constitue en certain biotope un facteur écologique limitant sous l'influence de vent violent. La végétation est limitée dans son développement. Le vent est un phénomène continu 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 dit dhahraoui est pluvieux 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 directions variable (Var) qui souffle surtout pendant les saisons sèches.

Le siroco : vent chaud et sec souffle en 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) .

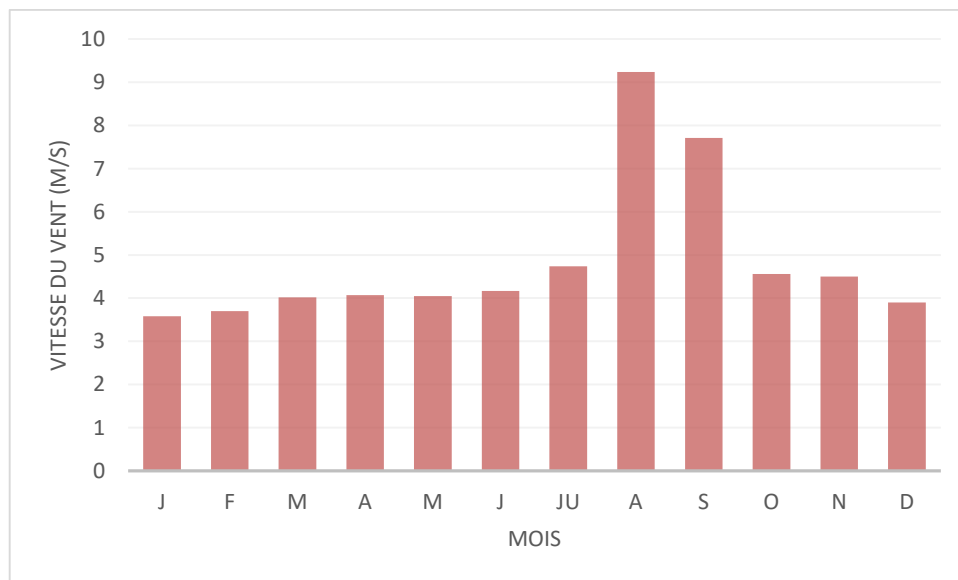
Les vents du Nord sont fréquents pendant l'Hiver alors que ceux du Nord-est bien repartis toute l'année accèdent facilement dans la cuvette du Hodna par la vallée de l'oued Barika. Ceux du sud n'atteignent le Hodna qu'en été période durant laquelle ils soufflent avec des rafales brulantes.

**Tableau 7:** Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M'sila durant la période allant de 1998 à 2014.

mois	J	F	M	A	M	J	JU	A	S	O	N	D
Vitesse du vent (m/s)	3.58	3.7	4.02	4.07	4.05	4.17	4.74	9.24	7.71	4.56	4.5	3.9

Source : Station météorologique de M'sila (1998 à 2014)

Nous constatons que le vent le plus fort est enregistré dans le mois avec une vitesse de 9.24m /s (Tableau 9)



**Figure 8 :** Moyennes mensuelles de la vitesse des vents dans la région de M’sila (1998 à 2014)

### 1.6.3.2. Humidité relative

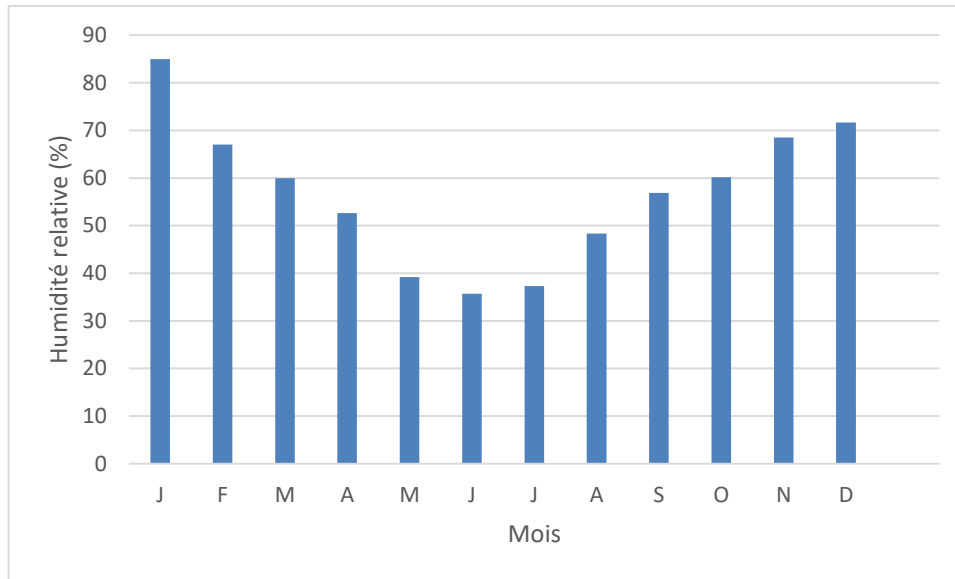
C’est le rapport entre la teneur en vapeur d’eau de l’air et la masse théorique de vapeur d’eau que peut renfermer l’atmosphère à saturation compte tenu de la température et de la pression barométrique existante (Ramade, 2003) .

On remarque que le taux de l’humidité relative est bas en été avec une valeur minimale de 35% en juillet (tableau 6), alors que les observations le plus élevés sont enregistré entre novembre et janvier avec un taux maximal en décembre (71.64%).

**Tableau 8:** Les variations de l’humidité moyennes mensuelles de la région de M’sila durant la période allant de 1998 à 2014

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
L’humidité	85	67	60	52,6	39,2	35,7	37,3	48,3	56,9	60,2	68,5	71,6

Source : station météorologique de M’sila (1998-2014)



**Figure 9:** Moyennes mensuelles d'humidité de l'air dans la région de M'sila (1998 à 2014)

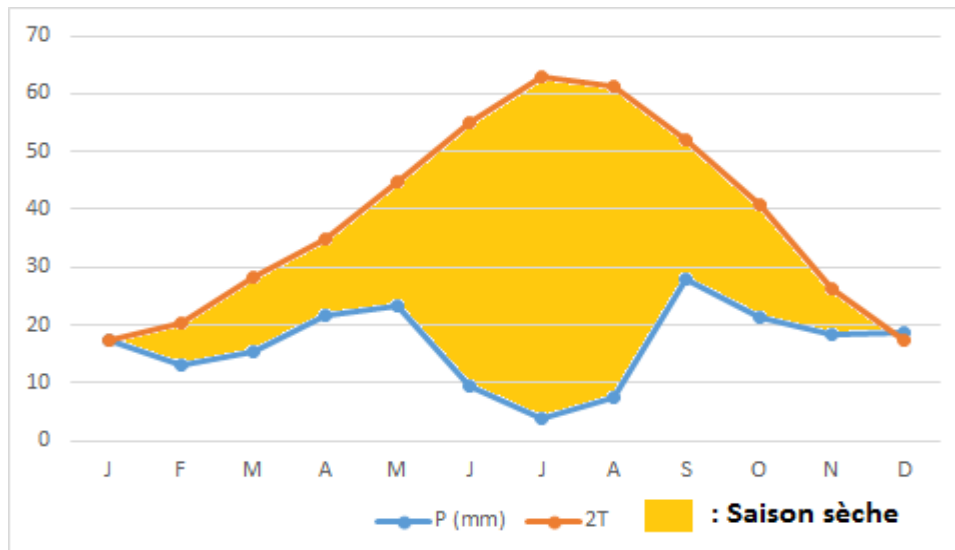
### 1.7. Synthèse climatique

La synthèse des données climatiques est présentée par le diagramme d'ombrothermique de Bagnouls et Gausson et le Climagramme d'Emberger,

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

#### 1.7.1. Diagramme ombrothermique :

(Gausson et al., 1957) Le Diagramme ombrothermique est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année, il considère qu'un mois est sec si les précipitations ( $p$ ) exprimées en (mm) sont inférieures à  $P=2T$  ou inférieures au double de la température ( $T$ ) exprimée en degrés centigrades ( $^{\circ}\text{C}$ ) :  $p < 2T$



**Figure 10:** Diagramme ombrothermique de Bagnoul et Gausson de la station de M'sila 1998-2014

Cette formule ( $P < 2T$ ) permet de construire de diagramme Ombrothermique traduisant la durée de la saison sèche d'après l'intersection des deux courbes.

Le diagramme Ombrothermique, montre que la région de M'sila présente une période sèche qui dure 10mois, allant de fevrier jusqu'au mois de Novembre.

### 1.7.2. Climagramme d'Emberger

Emberger a défini les étages bioclimatiques en se basant sur les deux facteurs, le quotient pluviométrique <<Q2>> et la température du mois le plus froid <<m>> (Ozenda, 1982)

Le Quotient d'Emberger est exprimé par la formule suivante :

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

Q2 : Le quotient pluviothermique

- P : exprime les précipitations moyennes annuelles exprimées en (mm)
- M : exprime la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en K°
- m : exprime la moyenne des températures minimales du mois le plus froid en K°

NB : les températures sont exprimées en degrés Kelvin°= $T^{\circ}+273$  pour la station de M'sila

**Tableau 9 :** Valeur du quotient pluviométrique Q2:

Données	P (mm)	m (°C)	M (°C)	M-m (°C)	Q2
Station (M'sila)	197,46	-2,14	43,6	45,74	14,81
Site d'étude	216,66	-2,14	43,6	45,74	16,25
Etage Bioclimatique	Aride inferieure				

(Source : station météorologique de M'sila, 2014)

La représentation graphique port « m » sur l'axe des abscisses et « Q2 » sur celui des ordonnées, Les valeurs du quotient correspondent aux étages bioclimatiques et à celle des températures minimales du mois le plus froid.

Dans le cas de site d'étude la valeur de ce quotient est  $Q2 = 16,25$ , donc connaissant la moyenne de température minimales du mois le plus froid ( $m = -2,14^{\circ}\text{C}$ ), on peut donc placer de site d'étude dans l'étages Aride inferieure sur le climagramme d'Emberger voir figure ci-dessous. Le tableau 10 présente l'ensemble des étages bioclimatiques définis au niveau de la région méditerranéenne selon (Sur une formule climatique et ses applications en botanique , 1932) .

**Tableau 10:** Etages bioclimatiques selon (Sur une formule climatique et ses applications en botanique , 1932)

Q2	P (mm)	Zones bioclimatiques
$Q2 < 10$	$P < 100$	Saharienne
$10 < Q2 < 45$	$100 < P < 400$	Aride
$45 < Q2 < 70$	$400 < P < 600$	Semi-Aride
$70 < Q2 < 110$	$600 < P < 800$	Sub-humide
$110 < Q2 < 150$	$800 < P < 1200$	humide
$Q2 > 150$	$P > 1200$	Per-humide

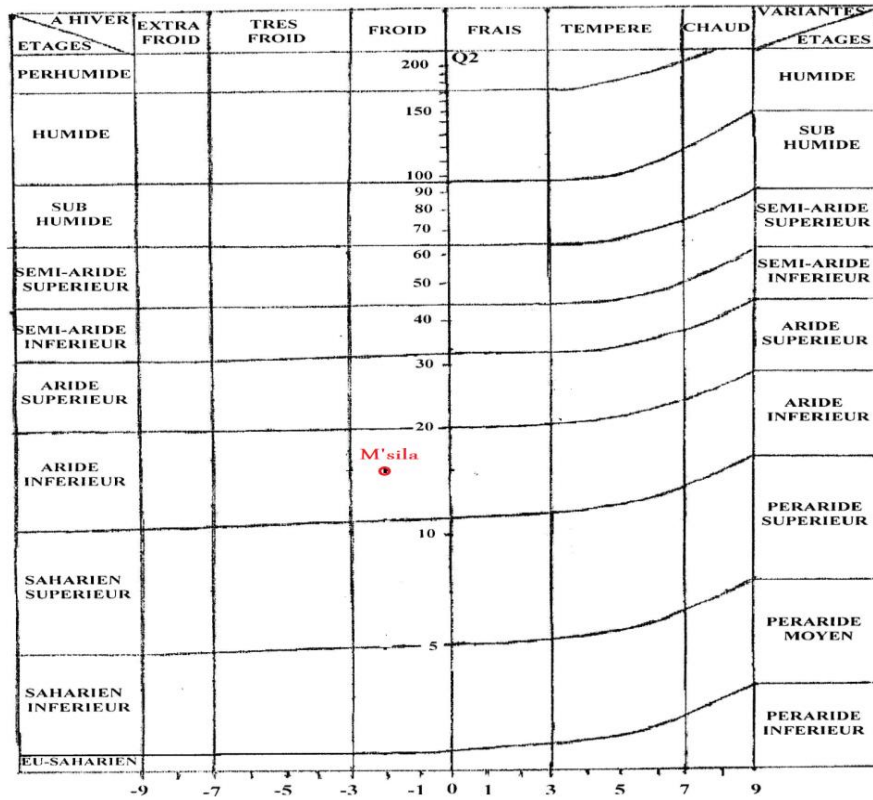


Figure 11: Climagramme d'Emberger et représentation du site d'étude 1998-2014

# **CHAPITRE II :**

## **Matériel et méthode**



## Introduction

La réalisation de ce travail s'inscrit dans le but de la détermination des propriétés physique et chimique des sols de la zone choisi, visant une connaissance de leur potentialités agricoles et une identification des contraintes auxquelles se trouve confrontée le secteur agricole dans cette zone.



**Figure 12:** la zone d'étude ( originale)

### 1. Matériel du sol

Le site d'étude fait partie de la pépinière de M'sila actuellement gérée par M'sila vert, Il représente les sols salés colonisés par les espèces halophytes telles-que *Salicornia semipunctata* et *Artemisia herba alba* voir figures 16 et 17



**Figure 13 :** *Salicornia semipunctata* ( originale)



**Figure 14:** *Artemisia herba alba* ( originale)

La pépinière est occupée majoritairement par l'arboriculture fruitière suivi de céréales et comprend aussi des sols non cultivés présentant des contraintes de salinité comme le site d'étude ou des contraintes mécaniques de charge de surface.

## 2. Méthode

### 1.1. Choix du site d'échantillonnage

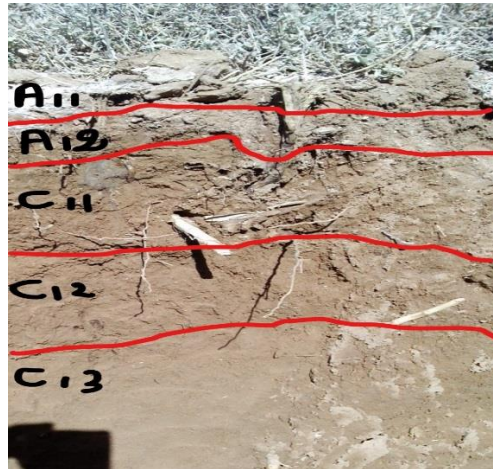
Le choix du site d'étude a été motivé par le type d'utilisation des terres (sol naturel, non cultivé), la présence de la salinité comme contrainte à l'agriculture, la proximité et la présence d'une structure d'accueil facilitant le travail de terrain. Le choix a donc porté sur les sols salés de la pépinière de M'sila située près du nouveau pôle universitaire, dont l'occupation est à dominance d'arboriculture. Voir figure 18



**Figure 15:** vue du site d'étude au niveau de la pépinière de M'sila

### 1.2. Méthode d'échantillonnage

Les échantillons destinés à l'étude de la caractérisation du sol sont prélevés au niveau des horizons. Dans chaque horizon une quantité de sol d'au moins un kilogramme est prélevée d'une manière assurant l'homogénéité de l'échantillon.



**Figure 16:** le profil du le site d'étude (originale )

Horizon 1 : 0-5 cm, horizon 2 : 5-13 cm, horizon 3 : 13-23 cm, horizon 4 : 23-35 cm, horizon 5 : 35-60cm, horizon 6 : 60-90 et horizon 7 : 90-120 on respectant les épaisseurs réelles des horizons.

#### Préparation des échantillons de sol pour l'analyse

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 qui 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,

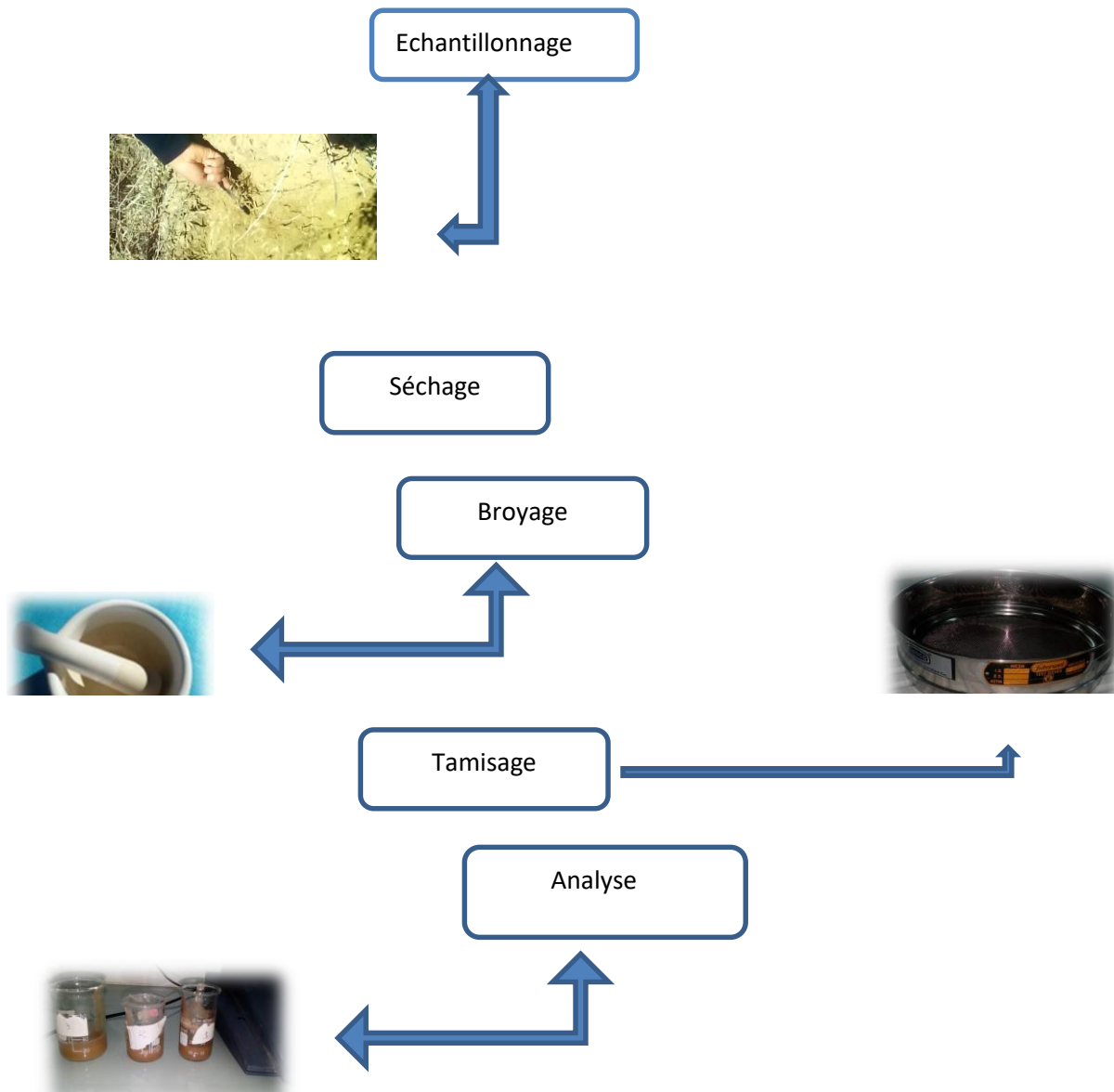


Figure 17 : schéma représentant les différentes étapes de préparation des échantillons

### 1.3. Les méthodes d'analyse de laboratoire

Les analyses physicochimiques et biologiques ont été réalisées au laboratoire de pédologie du département de sciences Agronomiques, faculté des sciences l'Université de M'Sila.

### 1.3.1. Les analyses chimiques

#### 1.3.1.1. Mesure du pH

Le pH est l'abréviation du potentiel hydrogène qui est un paramètre servant à définir son état d'acidité ou d'alcalinité (ou statut acido-basique), Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un PH-mètre dans une suspension sol /eau : 1/ 2,5, ( sol/kcl N) Acidité actuelle ou pH eau : Le pH eau du sol est mesuré dans une suspension sol /eau après un repos d'au moins une heure, La lecture se fait sur le PH mètre lorsque l'aiguille est stabilisée,

- Acidité totale ou pH KCl : se fait de la même manière que le pH eau mais après une nuit de contact entre le sol et la solution de KCl une fois normale (KCl :1N),  
(AUBERT, 1978)

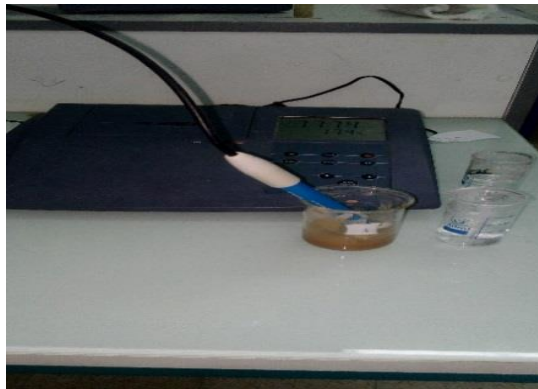


Figure 18 : Vue du pHmètre ( originale )

#### 1.3.1.2. 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 , 1978) . Avant la mesure la constante de cellule a été vérifiée à l'aide d'une solution de KCl dont la conductivité est connue.

#### 1.3.1.3. Calcaire total (CaCo3%)

Dans cette étude nous avons retenu la méthode volumétrique nommée aussi la méthode du 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, 2000) . Et dans un poids de CaCO<sub>3</sub> basé sur la réaction chimique suivante :



Le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé permet de déterminer la quantité de  $\text{CaCO}_3$  présente dans le sol après un étalonnage utilisant du  $\text{CaCO}_3$  pure et sec. (PROVOST , 2006) .



**Figure 19:** Analyse de Calcaire totale ( $\text{CaCO}_3$ ) ( originale )

#### 1.3.1.4. Calcaire actif

On agite la terre avec une quantité connue d'oxalate d'ammonium N/5. On filtre. On titre au permanganate cette solution sans oublier un témoin sans sol. La différence entre les deux titrages (témoin et sol) correspond à la quantité carbonate de calcium du ayant réagi sur l'oxalate d'ammonium (AUBERT, 1978) .

#### 1.3.1.5. La CEC (Bowen modifier)

Les méthodes utilisées pour la détermination de la CEC varient selon le type de sol ; dans notre cas (sols des zones arides et semi-arides) on a suivi la méthode d'extraction par :

- acétate de sodium à 1N pour l'extraction de Ca, K, et Mg
- lavage à éthanol
- déplacement du sodium par une solution d'acétate d'ammonium (1N) puis déterminer la CEC

$\text{K}^+$ : sont dosée par spectrophotométrie à flamme

$\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  : par complexométrie à l'EDTA

Na<sup>+</sup> est déterminé par différence CEC-(Ca<sup>++</sup>+Mg<sup>++</sup>+K<sup>+</sup>) (PETARD, 1993) .

### 1.3.1.6. Le gypse (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O)

Le gypse est dissous dans l'eau par agitation, puis il est précipité par l'acétone. Après lavage, ce précipité est redissous dans une quantité d'eau connue. La conductivité de la nouvelle solution est mesurée et la quantité de gypse est déterminée par comparaison avec une série standard (MATHIEU et al., 2003) .

## 1.3.2. Les analyses physiques

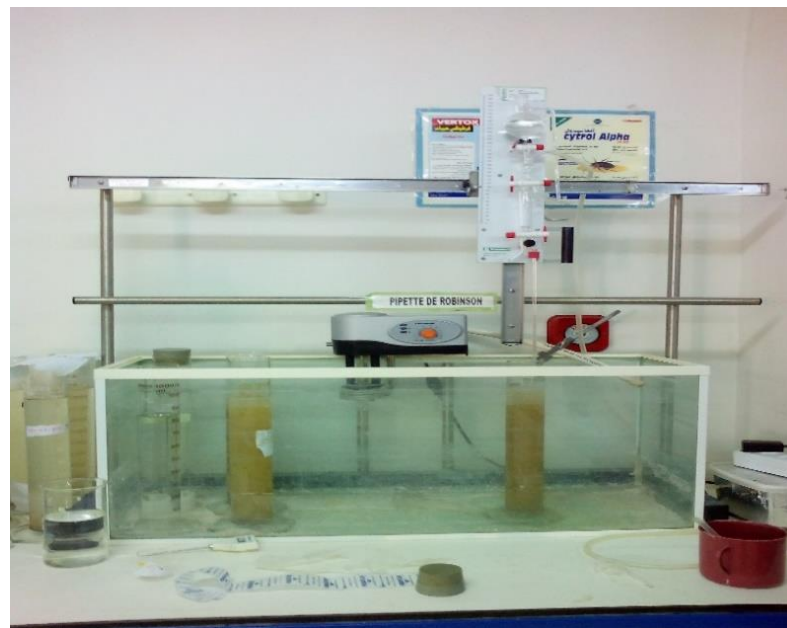
### 1.3.2.1. Analyse granulométrique

. L'analyse granulométrique a été effectuée selon la méthode internationale à la pipette de ROBINSON, sur des échantillons des sols séchés à l'air et tamisés à 2 mm.

Après élimination des ciments calcaires (HCl N) et organiques (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 30%) et dispersion des particules (Hexametaphosphate de Na) en procède comme suit :

Détermination des fractions argile et limon par sédimentation à la pipette de Robinson (figure 22 ) Détermination des sables ; fin et grossier par tamisage.

La détermination de la texture est réalisée à l'aide du diagramme de texture. (USDA , 1975)



**Figure 20:** Analyse granulométrique par la méthode internationale ( originale )

### 1.3.2.2. La structure

La structure a été décrite en prenant en considération les critères type, taille et cohésion de la structure (SOIL SURVEY STAFF, 1951)

### 1.3.2.3. Stabilité structurale

Cette méthode repose sur une évaluation de la stabilité des agrégats, déterminée en examinant, l'action de l'eau, sur la dégradation de la structure des sols. Les prises d'essai composées d'agrégats sec de dimensions inférieures à 2 mm d'un même horizon vont subir une action brutale de l'eau après prétraitement ; à l'alcool éthylique, au benzène et sans prétraitement. La moyenne des agrégats supérieurs à 200µm issue de ces trois prétraitements constitue les agrégats stables pour le calcul l'indice d'instabilité structurale,  $IS = \frac{(A+L) \text{ maxi}}{\frac{\sum Ag}{3} - 0,9 SG}$  (MATHIEU et al., 1988) .



Figure 21: représenté la méthode de stabilité structurale ( originale )

### 1.3.2.4. Indice de battance

L'indice de battance est calculé d'après les paramètres de texture et de matière organique comme suit :

$$\text{Indice de Battance (IB)} = \frac{(1,5 * LF \%) + (0,75 * LG \%) }{(A \%) + (10 MO \%)}$$

Lf : Limon fin, Lg : Limon grossier, A : Argile, MO : Matière organique (LAMBERT , 1975) .

### 1.3.2.5. Porosité totale

La porosité d'un sol est un indice de volume total des pores. Elle s'exprime en pourcentage :

$$P(\%) = (1 - (d_a/d_r)) * 100.$$

Ou :  $d_a$  : densité apparente sèche

Elle est déterminée par la méthode du cylindre, un cylindre calibré de volume connue est rempli de terre (non remaniée) cette dernière est séchée puis pesée pour donner le poids  $P_s$ . La densité apparente sèche est ensuite calculée  $d_a = P_s/V$  ( $V$  = volume du cylindre). Pour la densité réelle nous avons pris la valeur moyenne ( $d_r = 2.65$ ) (PROVOST, 2006) .

### 1.3.2.6. La réserve hydrique du sol

La réserve hydrique du sol a été calculé par le logiciel « Soil water characteristics » version 6.02.74 en se basant sur les teneurs en eau à la capacité au champ (pression=33KPa) et au point de flétrissement (1500KPa), en fonction de la texture (argile et sable) la matière organique et la conductivité électrique de l'extrait de pate saturé.

$$\Theta_{1500} = -0.024S + 0.487C + 0.006OM + 0.005(S*OM) - 0.013(C*OM) + 0.068(S*C) + 0.031$$

$$\Theta_{33} = -0.251S + 0.195C + 0.011OM + 0.006(S*OM) - 0.027(C*OM) + 0.452(S*C) + 0.299$$

$\Theta_{1500}$ : Humidité au point de flétrissement en pourcent volumique

$\Theta_{33}$ : Humidité à la capacité au champ en pourcent volumique

C : Argile %, S : Sable en %, MO : Matière organique %.

$$R = (\Theta_{33} - \Theta_{1500}) * Pr$$

R = Réserve hydrique en cm

Pr = profondeur du sol en cm

Correction des potentiels en présence de salinité.

$$\Psi_{O\Theta} = (\Theta_S/\Theta) * (36 * EC)$$

$\Psi_{O\Theta}$  : potentiel osmotique à  $\Theta < \Theta_S$

ΘS : teneur en eau à saturation

Θ : teneur en eau en dessous de la saturation

EC : conductivité électrique de l'extrait de pate saturée (Saxton, 2006) .

### 1.3.2.7. La perméabilité

La vitesse de filtration à saturation Ks a été estimé par le logiciel « Soil water characteristics » selon la formule suivante

$$KS = 1930 (\Theta S - \Theta 33) (3 - \lambda)$$

KS : Conductivité à saturation mm/H

λ : Pente de la courbe du logarithme de la tension matricielle (33KPa) (Saxton, 2006) .

La section de contrôle de l'humidité du sol

La section de contrôle de l'humidité du sol est une couche située en dessous de la surface du sol, qui emmagasine une réserve utile en eau de 50 mm, avec une limite supérieur délimitée par une réserve superficielle de 25mm, et une limite inférieur qui survient après 75mm de réserve utile superficielle (USDA, 1975) .

### 1.3.2.8. Régime hydrique du sol

Le régime hydrique du sol décrit l'état hydrique de la section de contrôle en fonction du temps (une année), il tient compte des précipitations mensuelles ou décadaire, de l'évapotranspiration pour les même périodes et du bilan hydrique de la section de contrôle (USDA, 1975) .

L'ETP est calculé par la méthode de Turc en se basant sur les données mensuelles de température, l'ensoleillement et la radiation solaire globale.  $ETP = \frac{0,4(Ig+50)}{t+15}$  , avec  $Ig =$

$$Iga(0,18 + 0,12) \frac{h}{H}$$

Iga = Radiation solaire globale en absence d'atmosphère ; h = durée d'insolation en heures ;

H = durée maximum du jour ; t = température moyenne mensuelle en° C (YAICHEet al., 2002) .

### 1.3.3. Les analyses biologiques

Les éléments du sol dont les teneurs dépendent des processus de transformation biologique de la matière organique sont noté caractéristiques biologique (carbone organique et azote total).

#### 1.3.3.1. Dosage de carbone organique

La technique d'attaque consiste en une oxydation de la matière organique à froid au bichromate de potassium en présence d'acide sulfurique. Le dichromate réduit est dosé par une solution de sulfate de fer (sel de Mohr), pour obtenu la matière organique on multiple les résultats de carbone organique par 1,72. (PETARD, 1993) .

#### 1.3.3.2. Dosage de l'azote total (méthode de Kjeldhal)

Minéralisation des échantillons à chaud en présence d'acide sulfurique concentré et de catalyseurs (sulfate de cuivre, sulfate de potassium, oxyde de titane).

Distillation de l'azote ammoniacale en présence de soude 40 % fixation dans l'acide borique et titration à l'aide de l'acide sulfurique (PETARD, 1993) .

**Troisième partie :**  
**RESULTATS ET DISCUSSION**



## 1. Introduction

Dans ce chapitre il sera exposé les caractéristiques et propriétés du sol, ayant trait à la salinité du sol et son utilisation agriculture (mise en valeur). On distingue les caractéristiques physiques comme la texture et la structure, chimiques comme la conductivité électrique et les bases échangeable et enfin biologiques liées à la transformation de la matière organique comme le carbone organique et l'azote.

## 2. Caractéristiques et propriétés du sol

### 2.1. Les propriétés physiques

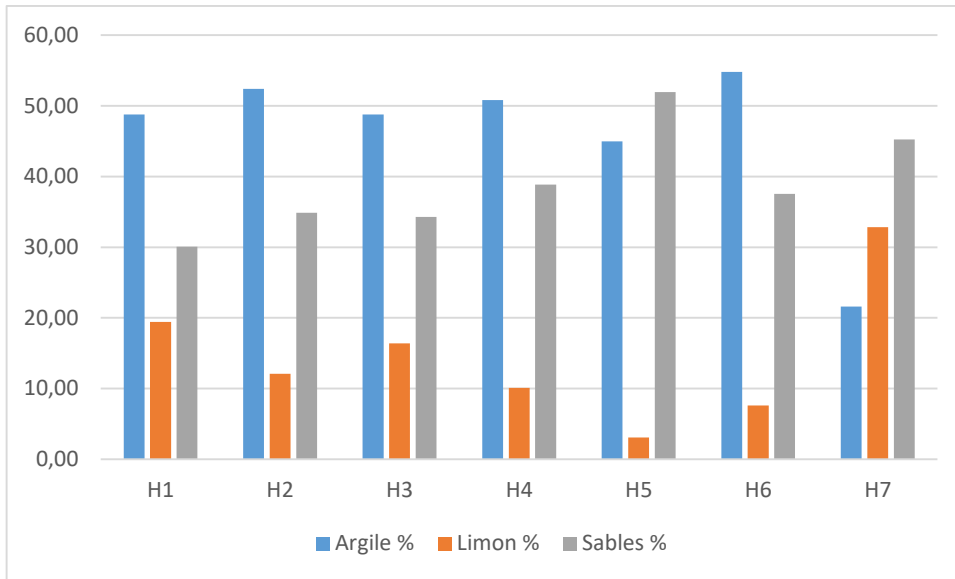
#### 2.1.1. Texture

L'ensemble des résultats d'analyse granulométrique est présentée dans le tableau (11),

**Tableau 11:** fraction granulométrique des horizons

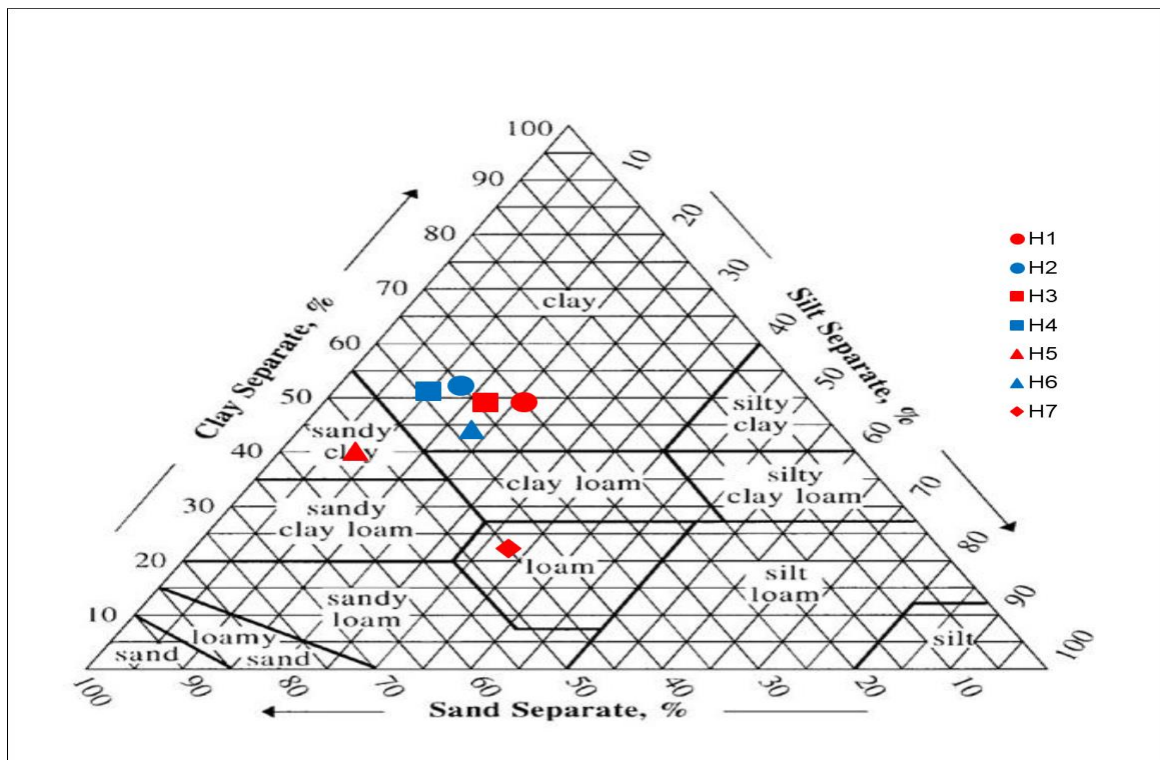
Fraction	H1 0 - 5 cm	H2 5 -13 cm	H3 13-23cm	H4 23 -35cm	H5 35 -60cm	H6 60 -90cm	H7 90-120cm
<b>A(%)</b>	48,80	52,40	48,80	50,80	50,40	54,8	21,6
<b>S(%)</b>	30,09	34,89	34,30	38,85	51,94	37,54	45,26
<b>L(%)</b>	19,41	12,09	16,41	10,08	2,99	7,58	32,83

L'analyse granulométrique des différents horizons montre la prédominance de la fraction argileuse ( clay ) au niveau de l'ensemble des horizons avec des valeur supérieurs à 48% sauf l'horizon 7 où elle en est moins représenté (<22%) le taux de la fraction sableuse ( sand ) varie entre 30 % et 52 % alors que la fraction limoneuse (silt), oscille entre 7,58% et 19,41%, voir figure 24



**Figure 22** : variation des fractions granulométriques par horizon pour la station d'étude

Le diagramme de la figure (24) montre une texture argileuse pour les horizons de 1 à 4 ainsi que l'horizon 6, La texture est équilibrée (Loam) au niveau de l'horizon 7 et argile sableuse pour l'horizon 5.



**Argileuse : Clay ; Sableuse :Sandy ; Limoneuse : silty ; équilibrée : loam**

**Figure 23:** triangle texturale de Soil Taxonomy (USDA, 1975)

### 2.1.2. La structure

La structure est feuilletée (lamellaire) au niveau de l'horizon 1 et polyédrique subangulaire moyenne (5 – 10 mm) pour les horizons suivants sauf l'horizon 5 on note la présence d'une structure cubique moyenne (5-10mm),

La structuration du sol est très mauvaise en surface (structure lamellaire) qui favorise le ruissellement et l'érosion du sol, et limite l'infiltration des eaux de précipitation

Le reste du profil présente une structuration de qualité moyenne avec une structure anguleuse et des incidences négative sur la macroporosité, la perméabilité et l'aération des horizons en saison humide. Voir tableau 12

**Tableau 12 :** Structure et norme d'interprétation (Mcdonaldet al., 2012)

Les Horizons	Type de structure	La taille	Qualité agronomique
<b>H1</b>	feuilletée	-	Très mauvaise
<b>H2</b>	Polyédrique subangulaire moyenne	5-10 mm	Moyenne
<b>H3</b>	Polyédrique subangulaire moyenne	5-10 mm	Moyenne
<b>H4</b>	Polyédrique subangulaire moyenne	5-10 mm	Moyenne
<b>H5</b>	Cubique moyenne	5-10mm	Moyenne
<b>H6</b>	Polédrique moyenne	5-10 mm	Moyenne
<b>H7</b>	Polyédrique subangulaire moyenne	5-10 mm	Moyenne

### 2.1.3. Stabilité structurale

Les résultats de stabilité structurale pour l'horizon de surface on note la valeur de la face superficiel (horizon 1) est 0,21 donc très stable donc pas de battance.

Cette stabilité est due probablement à la forte teneur en argiles (plus de 48%) et l'abondance du calcium (sol calcaire) et près de 3% de matière organique, qui est des facteurs favorisant la structure, de plus la fraction limoneuse est faiblement représentée, (HENIN), La structure feuilletée de l'horizon A est probablement due aux dépôts de colloïdes apportés par les eaux de ruissellement

Tableau 13: les classes de stabilité

Classes de stabilité	Log 10 Is
Très stable	0-1
stable	1-1,3
Stabilité médiocre	1,3-1,7
Instable	1,7-2,0
Très instable	Sup à 2

(Henin, 1976)

#### 2.1.3.1. Indice de battance :

D'après (HENIN, 1976) ; (LAMBERT, 1975) , en utilisant une formule  $IB = \frac{(1,5*LF\%)+(0,75*LG\%)}{(A\%)+(10MO\%)}$  donc Le calcul de l'indice pour l'horizon de surface donne une valeur de (0,33), indiquant l'absence de battance ce qui confirme les résultats de la stabilité structurale du même horizon.

#### 2.1.3.2. La porosité

Tableau 14: les valeurs des porosités et densité du 7 horizons

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Densité apparente g/cm <sup>3</sup>	1,42	1,39	1,39	1,42	1,44	1,38	1,58
Densité réelle g/cm <sup>3</sup>	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65
Porosité totale %	46,42	47,55	47,55	46,42	45,66	47,92	40,38
Porosité de la faune	Fine abondante	Fine abondante	Fine faible	Fine faible	Fine faible	Fine faible	Fine faible

(HENIN, 1976)

Les résultats de la porosité totale montre des valeurs élevées sur l'ensemble des horizons avec plus de 40%, La valeur minimale de la porosité de l'horizon 7 est due à fraction sableuse relativement plus élevée.

La porosité de la faune est abondante dans les deux premiers horizons et faibles pour le reste des horizons, Ceci peut atténuer l'effet de la battance de surface et améliorer l'infiltration au niveau du deuxième horizon due à l'insuffisance de la structuration, Pour les autre horizons étant donnée les fortes teneurs d'argile la macroporosité est faiblement représenté lorsque le sol est humide à cause du gonflement des argiles (macroporosité de fissure).

## 2.2. Les propriétés hydrique du sol

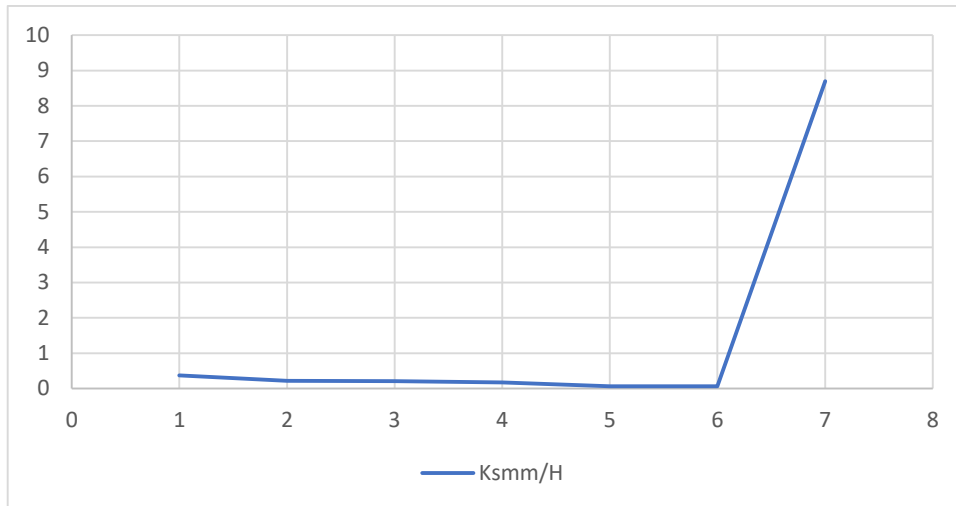
### 2.2.1. La perméabilité

Les résultats montrent une infiltration très faible pour l'ensemble des horizons de 0 mm/h (horizon 6) à 0,37 mm/h (horizon 1), par contre l'horizon 7 est plus perméable avec moins de 9 mm/H voir figure 25 et tableau 15, Ces valeurs indiquent des problèmes de drainage dans les horizons de profondeurs confirmés par l'apparition de taches d'oxydoréduction, Ces horizons sont donc asphyxiants pendant la saison humide.

Tableau 15: Vitesse d'infiltration et signes d'hydromorphie

Les horizons	Vitesse d'infiltration mm/H	Interprétation	Signe d'hydro morphe
H1	0,37	Très lente	Pas de signe
H2	0,22	Très lente	Taches d'oxydoréduction
H3	0,21	Très lente	Taches d'oxydoréduction
H4	0,17	Très lente	Taches d'oxydoréduction
H5	0,06	Très lente	Taches d'oxydoréduction
H6	0,06	Très lente	Taches d'oxydoréduction
H7	8,7	Assez lente	Taches d'oxydoréduction

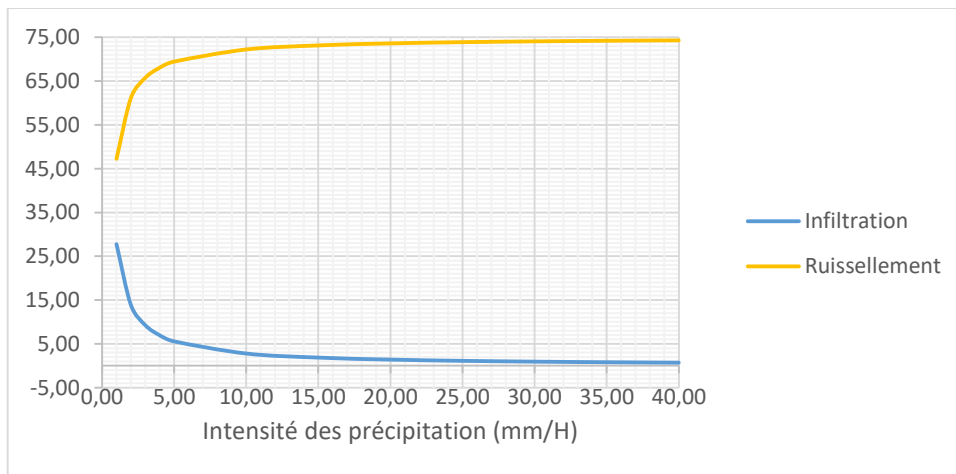
(Henin, 1977)



**Figure 24:** Vitesse d'infiltration des horizons

Une simulation d'infiltration d'une lame de précipitation de 75 mm en fonction de l'intensité de précipitation (voir figure 26) montre l'importance du ruissellement dès les intensités faibles à 5mm/H plus de 93% des précipitations ruissellent.

Ceci est du probablement à la teneur élevée en argiles et la mauvaise structuration due à l'insuffisance de la quantité matière organique humifiées à cause de la salinité qui bloque les processus d'évolution de la matière organique (minéralisation et humification)



**Figure 25:** Infiltration et ruissellement en fonction de l'intensité des précipitations (originale)

### 2.2.2. La réserve hydrique

La réserve hydrique du sol varie entre 1 mm/cm et 1,1 mm/cm, ces valeurs reflètent l'influence positive de la texture (abondance des argiles) et négative de la salinité et les très faibles teneurs de la matière organique Voir figure (28).

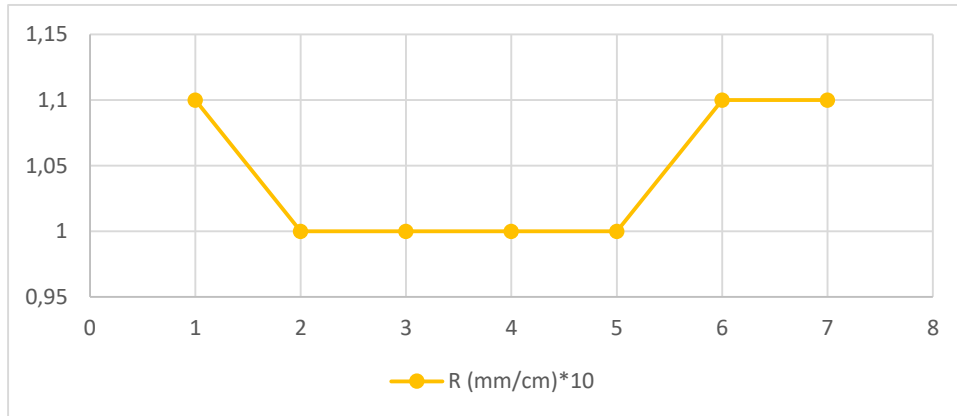


Figure 26 : réserve hydrique des horizons

### 2.2.3. La section de contrôle

La section de contrôle de notre sol est située entre 22,75 cm et 71,5cm de profondeur, ce qui dénote que sa réserve utile est beaucoup plus importante du moment où le profil se prolonge jusqu'à 120 cm donc la réserve du sol est plus importante que celle la section de contrôle, Voir (figure 29)

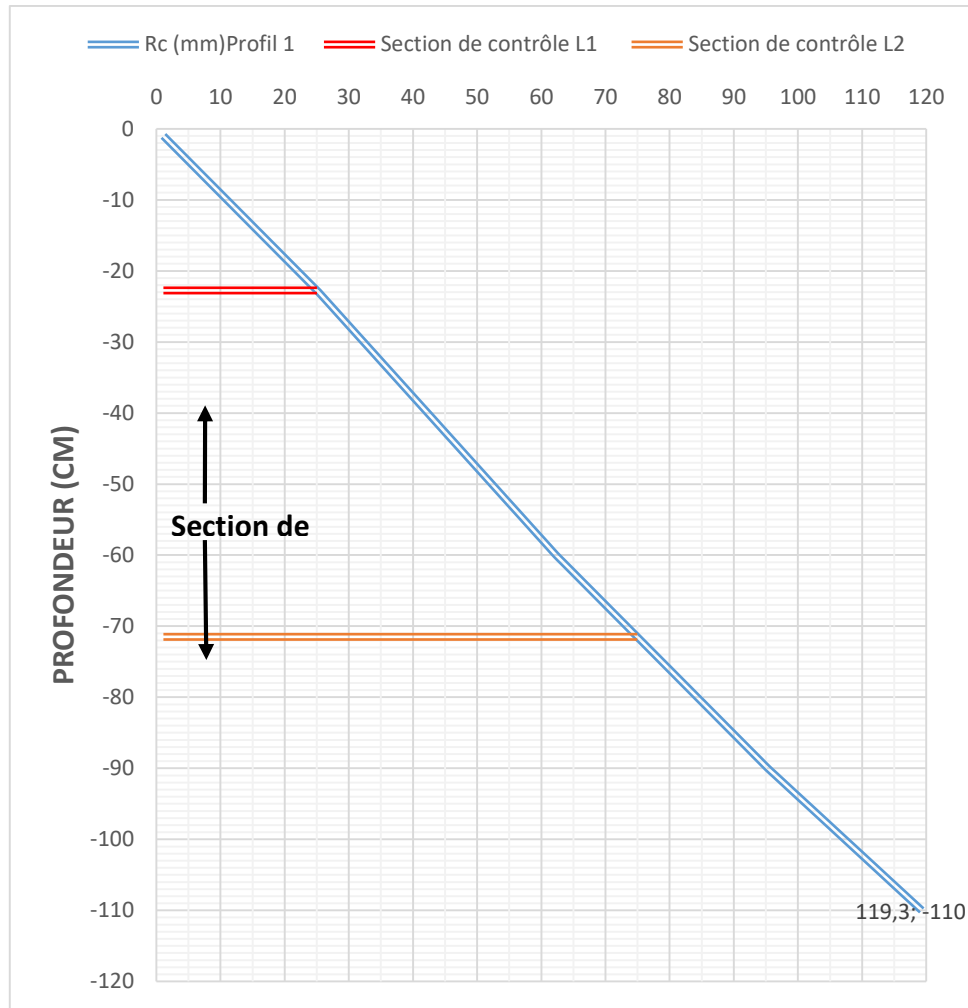


Figure 27 : Section de contrôle et réserve hydrique cumulé en mm

#### 2.2.4. Le régime hydrique du sol

Le climat est déficitaire ( $P-ETP < 0$ ) le long de l'année sauf pour le mois décembre où il permet un léger stockage de 6,18 mm, La section de contrôle est complètement sèche pendant toute l'année, donc selon la soil taxonomy (USDA, 1975) il s'agit du régime hydrique aridique, Donc l'agriculture est impossible sans irrigation Voir figure (30).

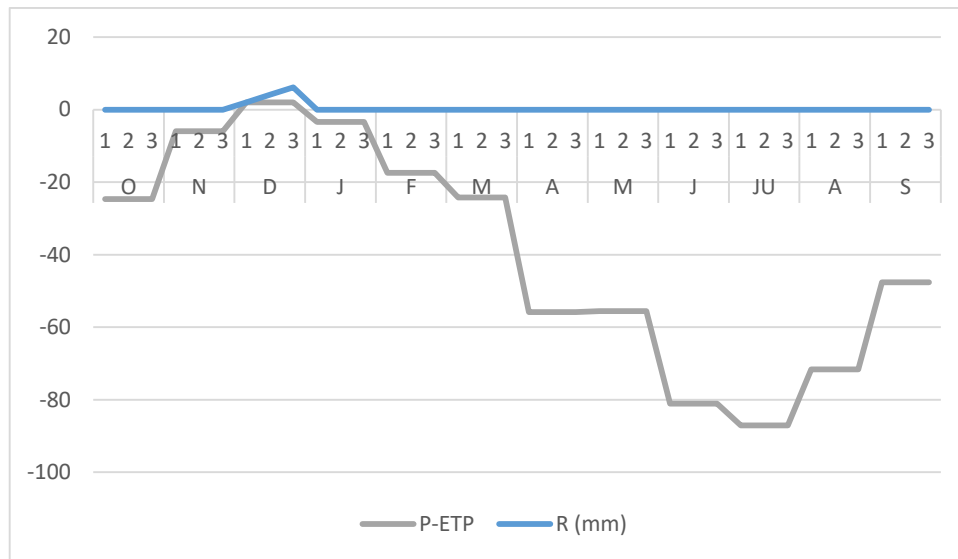


Figure 28 : Etat de la réserve hydrique du sol (données décadaires)

### 2.3. Les propriétés chimiques

#### 2.3.1. Réaction du sol (pH)

D’après les mesurer du pH des 7 horizons, on note un minimum de 7,97 pour l’horizon 2 et un maximum de 8,50 pour l’horizon 5 voir tableau (16) donc tous les horizons du profile sont faiblement alcalin (7,5-8,5) selon PNUD/FAO, Le  $pH_{KCl}$  oscille entre 7.6 et 7.8, ces valeurs indique un sol modérément à fortement alcalin selon (Apal, 2013) .

Tableau 16: les valeurs de  $pH_{eau}$  et  $pH_{kcl}$  du profil

Horizon	$pH_{Eau}(MOY)$	Ecartype	$pH_{kcl} (MOY)$	Ecartype
H1	8,07	0,06	7,703	0,082
H2	7,97	0,12	7,687	0,061
H3	8,10	0,00	7,623	0,088
H4	8,50	0,10	7,730	0,110
H5	8,50	0,06	7,793	0,141
H6	8,50	0,12	7,703	0,218
H7	8,37	0,12	7,670	0,262
moyenne	8,31	0,08	7,70	0,14
$pH_{eau}-pH_{KCl}$	0,61	-	-	-

Ces pH légèrement alcalin gêneraient la disponibilité de certains oligo-éléments (cuivre, zinc, bore, manganèse, fer) et un peu moins du phosphore (Apal, 2013) voir figure 31

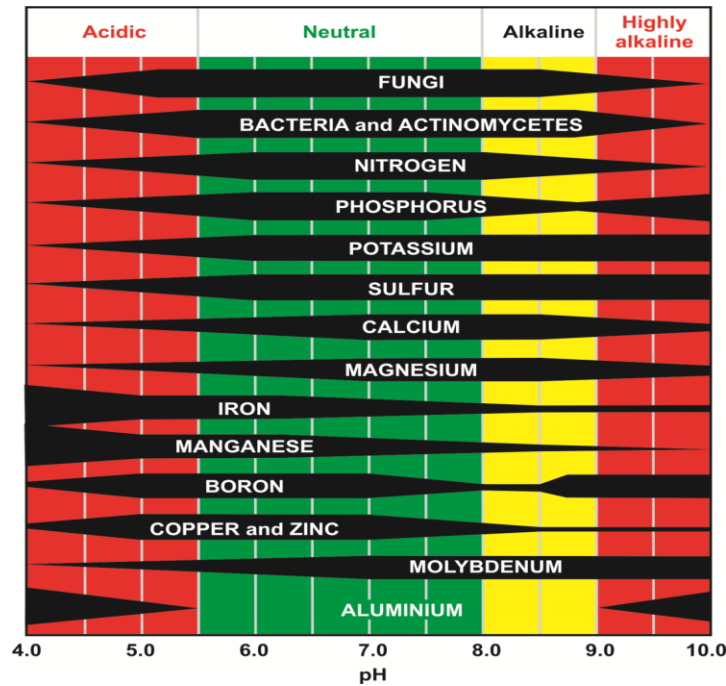


Figure 29 : Disponibilité des éléments nutritifs en fonction du pH du sol (Apal, 2013) .

Cette alcalinité est peut-être due à la nature géologique de notre zone d'étude ; riche matériaux calcaires et salés comme il a été signalés dans les travaux de (Dussarte, 1966) ; (Bermondet al., 1973) .

Selon (BAIZE, 2000) , tous les horizons présentent des PH basique car les valeurs de PH comprise 7,5 et 8,7.

La présence de calcaire dans le site et les pH varient avec les types de sols et les cultures.

A partir de tableau (16) que enregistrer la différence entre les deux types d'acidité du sol (acidité actuelle PH eau et acidité potentielle PH<sub>kcl</sub> on remarque les 7 horizons égale (0,61), donc notre sol est faiblement dé saturé car PH eau – PH<sub>kcl</sub> <0,5.voir la figure 32 et l'annexe 3.

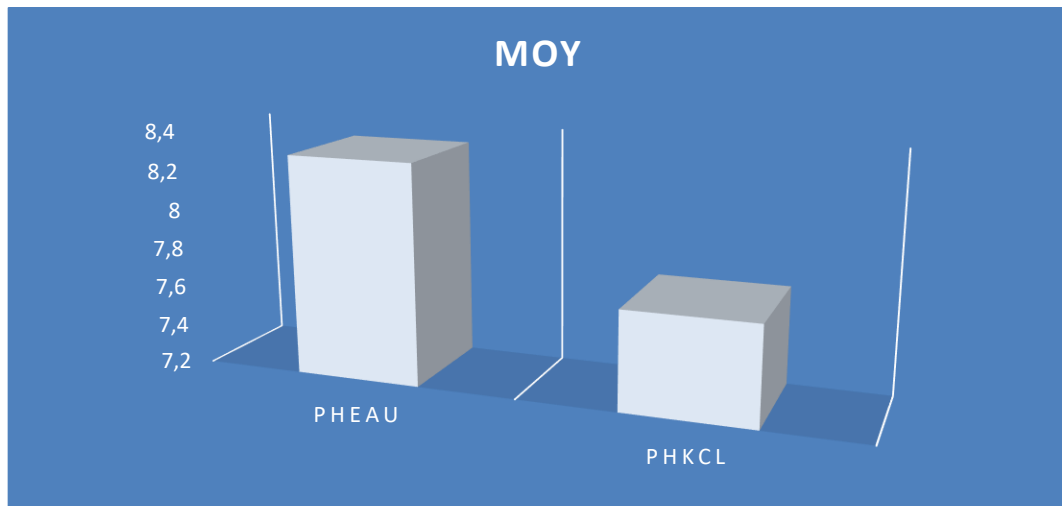


Figure 30: la pourcentage de PHeau et PHkcl

### 2.3.2. Conductivité électrique

La conductivité est fonction de la concentration en sels solubles (chlorures, sulfates, carbonates et bicarbonates alcalins et alcalinoterreux, nitrates et phosphates).

D'une manière générale, les valeurs de la conductivité électrique observées dans les 7 horizons sont variables entre (1,24 et 3,30  $\mu\text{m/cm}$ ).

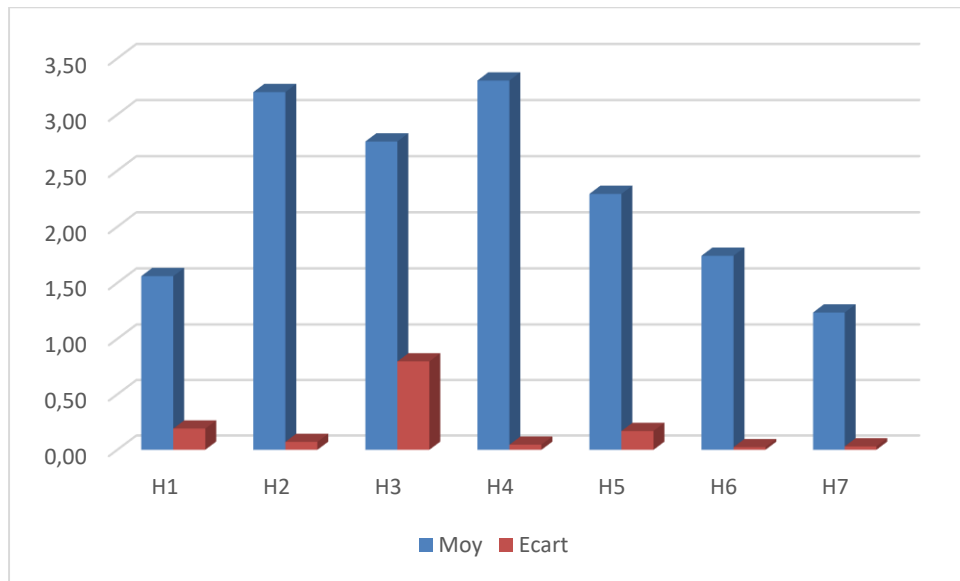
Selon l'échelle de la salinité qui est représenté dans le tableau (17) nous remarquons que les valeurs de la conductivité électrique dans les sédiments de H1 ,H5, H6 et H7, sont (1,24 – 2,29  $\mu\text{m/cm}$ ), donc elles sont classées parmi les sols salés, et H2, H3 et H4, sont ( 2,76 –3,30  $\text{ms/cm}$  ), donc elles sont classées parmi les sols très salés, voir Tableau 17 suivant ;

Tableau 17 : Les résultats de la conductivité électrique (CE)

Horizon	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	Moy
<b>CE (mMhos/cm)</b>	1,56	3,2	2,76	3,303	2,293	1,742	1,236	<b>1,723</b>
<b>Extrait 1/5</b>								
<b>Interprétation</b>	salé	Très salé	Très Salé	Très salé	salé	Salé	salé	salé

L'augmentation des teneurs de sels minéraux résulte de l'altération primaire (géologie).

Selon (AUBERT, 1978) ; (Durand, 1983) , ces valeurs indiquent que les échantillons de sol varient de très salés (2,4-6) à salés (1,2-2,4).voir l'annexe (6)



**Figure 31 :** Variation de la conductivité électrique en fonction des stations

Les résultats obtenus dans l'expérimentation montrent que la CE de notre sol est élevée, Cette valeur peut être le résultat de l'absence de lessivage des éléments minéraux et précipitations faibles enregistrées avant l'échantillonnage.

### 2.3.3. Capacité des échanges cationiques (CEC)

Le sol d'étude possède une CEC qui varie de 15.02 à 27.24 dans les horizons (H3 et H4) respectivement voir tableau 18

**Tableau 18: Les valeurs de capacité d'échange cationique des horizons**

Horizon	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<b>CEC meq/100g</b>	20,87	17,05	15,02	27,24	20,87	19,09	19,09
<b>Interpretation</b>	Très faible	Très faible	Très faible	faible	Très faible	Très faible	Très faible

(Apal, 2013)

Selon (SOLTNER, 2000) , montre que la capacité d'échange cationique des sols dépend généralement de la teneur en matière organique et de la texture du sol et du type de minéraux argileux. Selon les normes (Doucet, 2006) en annexe 8 les valeurs de la CEC

sont faible à très faible ceci est due probablement au taux de matière organique faibles la présence d'une quantité appréciable d'argiles granulométriques.

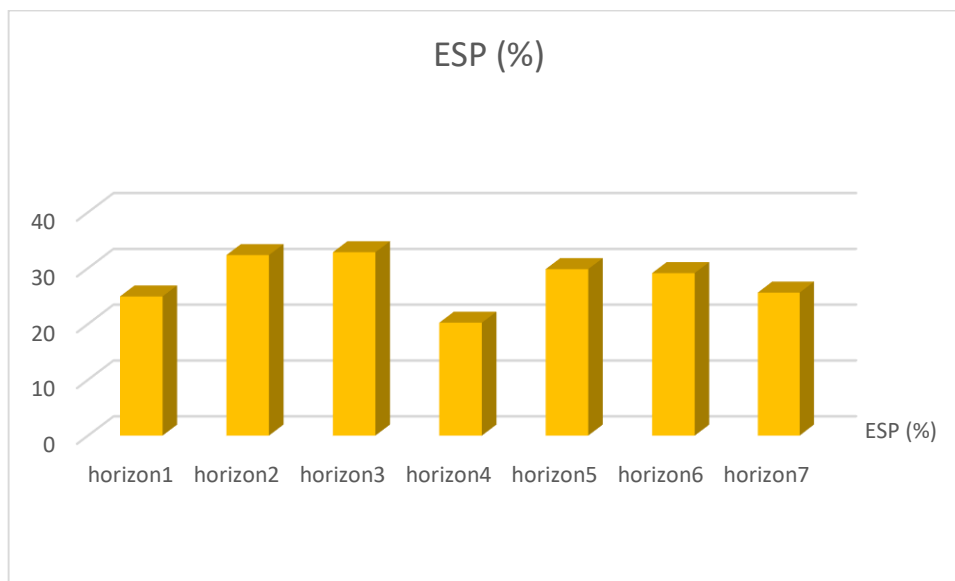
### 2.3.4. Pourcentage de sodium échangeable (ESP)

Les résultats qui représentent des Pourcentage de sodium échangeable, les valeurs les plus élevés en l'horizon 3 avec valeur 32,85% et les valeurs inférieures en horizon 4 avec valeur 20,23. Voir tableau 19.

**Tableau 19** : Les Pourcentages des sodiums échangeables des horizons

	horizon1	horizon2	horizon3	horizon4	horizon5	horizon6	horizon7
<b>ESP (%)</b>	24,92	32,33	32,85	20,23	29,82	29,11	25,61

Selon (U.S.S.L, 1954) , le taux d'ESP est supérieur à 15%, ce qui engendre un risque d'alcalinisation sodique, dispersion des colloïdes et destruction de la structure du sol.



**Figure 32:** Les Pourcentages des sodiums échangeables des horizons

### 2.3.5. Calcaire totale CaCO<sub>3</sub>

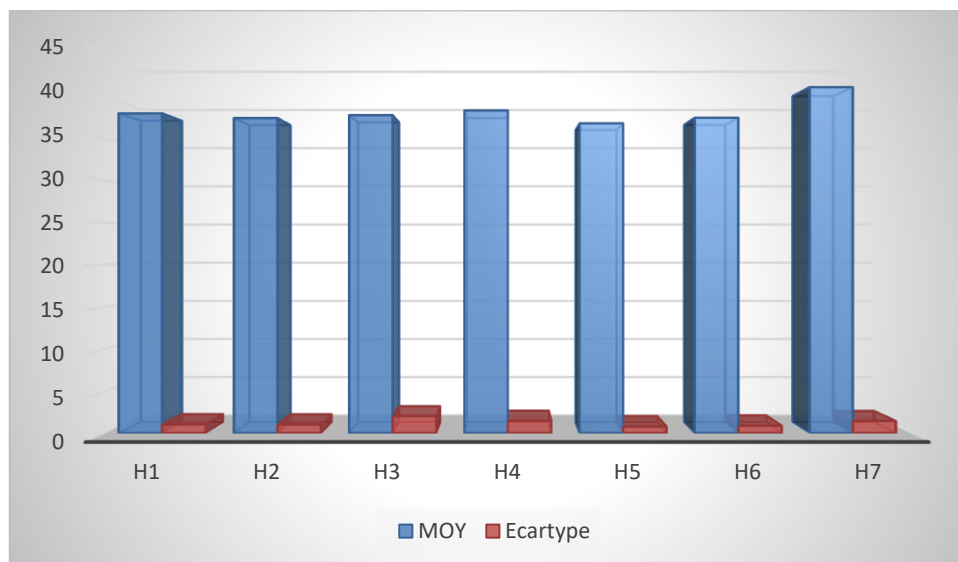
Les résultats de teneurs en calcaire total dans les différentes horizons étudiés sont représentés dans la figure (35), Ces valeurs sont comprises entre un minimum de (36,76) remarqué dans l'horizon (H5) et un maximum de (41,04) remarqué dans l'horizon (H7). Voir le tableau 20.

**Tableau 20:** les pourcentages de calcaire totale CaCO<sub>3</sub>

HORIZONS	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
CaCO <sub>3</sub> T%	37,93	37,38	37,73	38,28	36,76	37,42	41,04
Ecartype	1,032	1,018	2,0296	1,46	0,780	0,88	1,44

D’après (Baize, 1997) , un sol est considéré riche en calcaire lorsque sa teneur en (CaCO<sub>3</sub>) dépasse 25%, ceci est loin d’être le cas de notre étude,

En comparant les teneurs en CaCO<sub>3</sub> des 7 horizons aux normes d’interprétation citées dans le tableau (20) Annexe (7) et a partir le figure (35) de variation des teneurs en calcaire total en fonction des horizons de station d’étude nous remarquons que le calcaire comprise entre 36,76 dans l’horizon H5 et 41,04 dans l’horizon H7 donc elle est classée comme un sol est fortement calcaires.



**Figure 33:** Variation des teneurs en calcaire total en fonction des horizons de zone d’étude

Le taux de CaCO<sub>3</sub> totale obtenu à l’analyse est montre que notre sol est fortement calcaire parce que le pourcentage de calcaire supérieur 25% et inférieur 50% et le PH supérieur à 8 voir l’annexe (7 et 3).

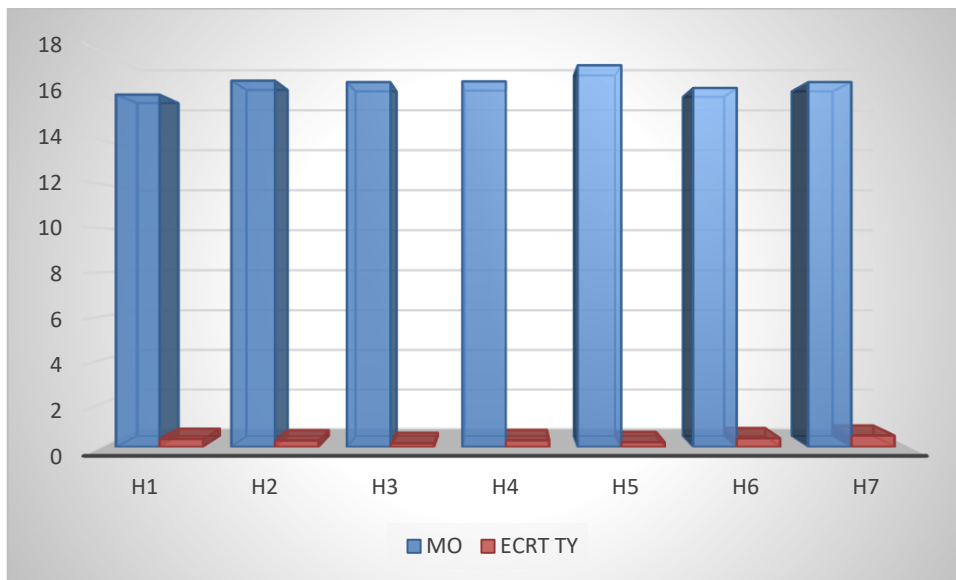
### 2.3.6. Calcaire active

Le calcaire actif est présent avec une valeur maximale dans l'horizon H5 (17,4%) et une valeur minimale dans l'horizon H1 (16,07%). Voir le tableau 21.

**Tableau 21:** représenté le calcaire actif

Horizos	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<b>Calcaire actif</b>	<b>16,07</b>	<b>16,7</b>	<b>16,63</b>	<b>16,67</b>	<b>17,4</b>	<b>16,37</b>	<b>16,63</b>
<b>ECRT TYPE</b>	<b>0,369</b>	<b>0,294</b>	<b>0,170</b>	<b>0,309</b>	<b>0,216</b>	<b>0,403</b>	<b>0,5249</b>

Selon les normes d'interprétation du calcaire actif en annexe (9) le calcaire actif dans notre sol appartient à l'intervalle  $5 < \text{Calcaire actif} < 20$ , qui représente la classe des teneurs élevé, avec un risque avéré de chlorose.



**Figure 34:** Représentée le calcaire actif

### 2.3.7. Gypse

Les résultats donnent des valeurs très faible du gypse dans tous les horizons, voir le Tableau 22 suivante ;

Tableau 22: Gypse des horizons

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
Gypse%	0,55	0,3	0,4	0,4	0,2	0,25	0,15

Ces valeurs sont inférieures à 3% ; il s'agit d'un sol non gypseux selon (BARZANJI, 1973) in (TIR, 2001) . Voir la figure ci-dessous.

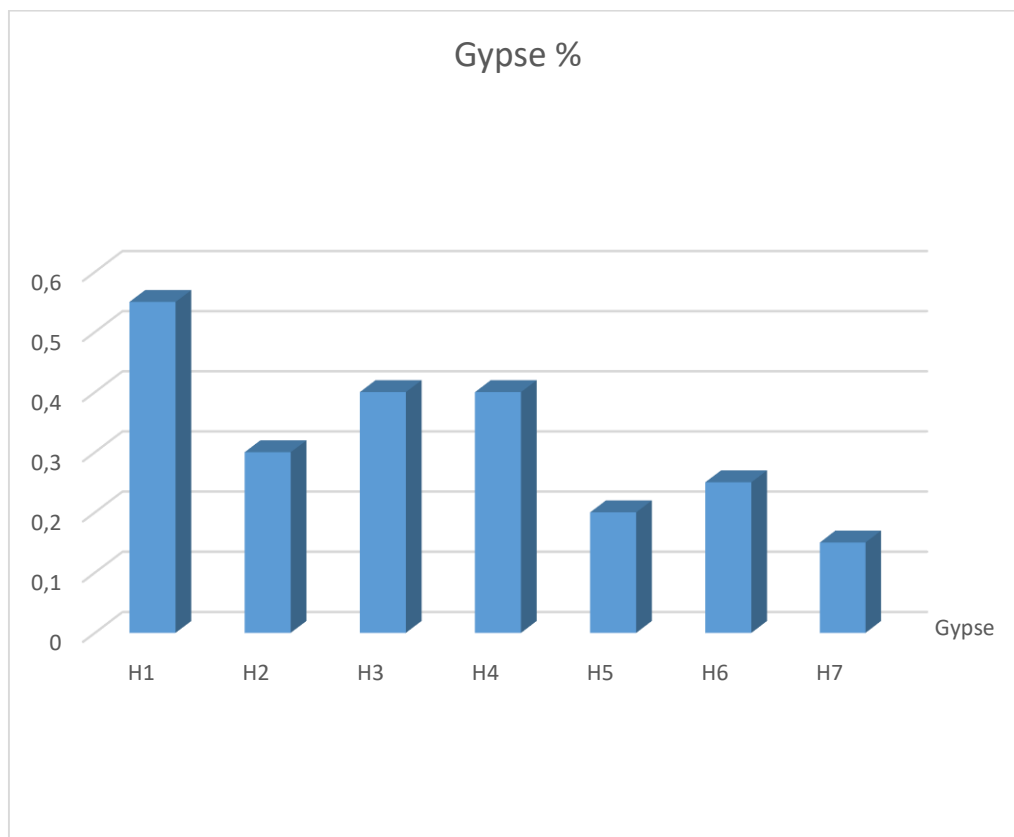


Figure 35: Le taux de gypse des horizons

## 2.4. Propriétés biologique

### 2.4.1. Matière organique

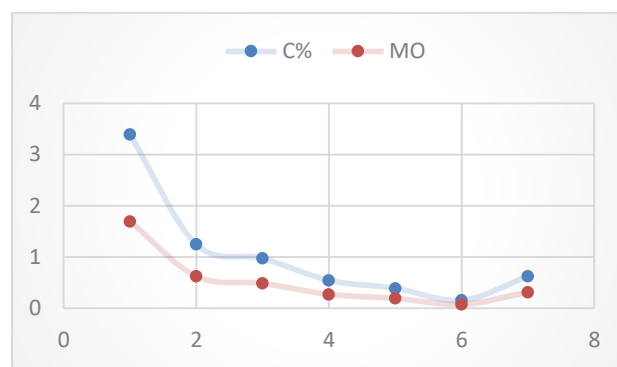
Les valeurs de la matière organique et du carbone organique présentent des valeurs qui diminuent rapidement avec la profondeur voir tableau 22 et figure 35 avec un maximum de carbone organique en surface (H1=1,7 %) et un minimum de 0,08 dans l'horizon H6.

Selon (AFEQ, 1987) voir annexe 2 les valeurs de la matière organique de notre sol de texture argileuse lourde est situés dans deux classes la première entre 2.1 et 4.5 % et coïncide avec la classe des teneurs faibles et la seconde avec des valeurs inférieures à 2% qui caractérise les teneurs très faibles. Ces faibles teneurs peuvent s’expliquer par la double contrainte les faibles précipitations et la présence de salinité qui limite le développement des végétales sources de matière organique du sol.

**Tableau 23:** carbone et matière organique des horizons

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<b>C%</b>	1,70	0,624	0,49	0,273	0,20	0,078	0,312
<b>MO%</b>	3,393	1,248	0,975	0,546	0,39	0,156	0,624

D’après CHOUDHRY (1994) la MO des sols se caractérise comme les argiles par une grande surface spécifique et par son pouvoir gonflant permettant la pénétration de l’eau et la diffusion des molécules des petites tailles qui peuvent ainsi se lier avec les substances humiques.



**Figure 36:** carbone et matière organique des horizons

### 2.4.2. L’azote total

Les valeurs de l’azote varient irrégulièrement avec la profondeur (voir tableau 23 ci-dessous) avec un maximum en H7 0.7% et un minimum en H2 0,04%.

Selon les normes d’Apal, 2013 l’azote total varie de valeurs très faibles (H5, H2) à très élevées (H6, H7).

Les teneurs d'azote total ne sont pas toute disponible pour la plante, cela dépend de la fraction de la matière organique auquel appartient l'azote, il existe des fractions labile qui se minéralise rapidement et d'autre moins labile (fraction résistante, fraction humifiée) qui se minéralise lentement. (Duchaufour, 2001)

Dans notre cas l'évolution de l'azote qui dépend de l'activité des microorganismes, est fortement atténuée par la sécheresse et la salinité.

**Tableau 24:** l'azote total dans les horizons

profile 1	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
<b>Azote total %</b>	0,21	0,04	0,49	0,42	0,07	0,63	0,70
<b>Interpretation</b>	moyen	Très faible	élevé	élevé	Très faible	Très élevé	Très élevé

(Apal, 2013)



### Conclusion générale

Le présent travail a été mené dans la région de M'sila, dans le but de la connaissance des propriétés d'un sol salé, La zone étudiées caractérisée par un climat de types aride. Pour la caractérisation des sols on a trouvé que :

La texture est argileuse dans le horizon 1 et argilo-sableuse de les horizons (H2, H3, H5, H6, H7) d'une station d'étudiées.

La structure de sol d'une station d'étudiées est feuilletée d'horizon 1 et polyédrique d'un horizon 2, 3, 4, 6 et 7 et d'un structure cubique d'horizon 5. Les sols de station sont très poreux.

Dans les stations, le pH présente des valeurs supérieures à 8, indiquant l'alcalinité des sols.

On se référant aux résultats fournis par là CE, la salinité est élevée (très salé dans les horizons 2, 3, 4 et salé dans les horizons 1, 5, 6, 7) dans les stations, les valeurs de l'ESP indique un risque d'alcalinité.

Le sol est fortement calcaire avec des teneurs en calcaire actifs élevé provoquant des risque de chlorose et d'insolubilisations de certains éléments nutritifs

Le sol est pauvre en matière organique en surface et très pauvre dans les horizons du dessous dénotant l'action du climat à déficit hydrique et de la salinité

L'Infiltration très faible pour l'ensemble des horizons sauf l'horizon 7 indiquant des problèmes d'hydromorphie temporaire dans les horizons de profondeurs confirmés par l'apparition de taches d'oxydoréduction.

Ceci est du probablement à la teneur élevée en argiles et la mauvaise structuration due à l'insuffisance de la quantité matière organique humifiées à cause de la salinité qui bloque les processus d'évolution de la matière organique (minéralisation et humification).

Reserve hydrique reflètent l'influence négative des fortes teneurs en argiles (>40%), de la salinité et des teneurs faibles de MO, elle présente des valeurs allant de 1 à 1.1 mm/cm. Le sol est suffisamment profond pour offrir une réserve plus importante que celle de la section de contrôle (119 mm contre 75mm nécessaire au remplissage de la section de contrôle).



## *Conclusion générale*



Le climat est déficitaire ( $P-ETP < 0$ ) pendant tout l'année sauf le mois de décembre donc la section de contrôle est sèche et le régime hydrique aridique l'agriculture impossible sans irrigation

Pour cela on recommande :

Utilisation de culture résistante à la salinité comme les céréales (orge)

Un lessivage avec une eau non salés pour éliminer les sels solubles du profil.

Un drainage pour évacuer les sels solubles hors du profil, et cultiver les cultures sensibles à l'hydromorphie temporaire.

L'utilisation d'engrais acide pour réduire le pH à fin de corriger l'insolubilisations de certains élément nutritif.



### Références bibliographiques

- AFEQ** *Guide de fertilisation*. Montreal, Association des fabricant d'engrais du Québec, 1987. p.6
- Annuaire statistique de la FAO**. **FAO2005**.
- Apal** *Soil Test Interpretation Guide*. Australie, Agricultural laboratory, 2013. p.27.
- AubertG** Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leur conservation actes call. *Unesco de paris sur le probleme de la zone aride*. . 1960.
- AUBERTG** *Méthodes d'analyses des sols*. Marseille., Edit.C.R.D.P.Marseille., 1978, p.189.
- BAISED** *Guide d'analyse courantes en pédologie ,choise ,experssion presentation ,interpretation,INRA* . Paris, s.n., 1988, p.172.
- BaiedD, GirardM** *Référentiel Pédologique*.s.l., INRA, 1995.
- Baized** *Guide des analyses en pédologie*. Paris, INRA, 2, 2000, p.257.
- BAIZED** *Guide des analyses en pédologie*. Paris, INRA, 2000, p.257.
- Baized** *Teneurs en éléments traces métalliques dans les sols*. Paris., INRA, 1997, p.401.
- BAIZED, DUVALO, RICHARDG** Les sols et leurs structures. BAIZED, DARBOUXFauteur du livre. *Tests de stabilité structurale, de percolation et d'évaluation de la sensibilité à la battance*.France, s.n., 2013, pp.215-225.
- Bénédicte Chereuy** *Les sols salés et leur réhabilitation*.s.l., Centre National du Machinisme Agricole, du Genie Rural, des Eaux et des Forets (CEMAGREF), 1991, p.124.
- BermondR, VuichardR** *Paramètre de la qualité des eaux*.Paris, SPEPE, 1973, p.179.
- BOLTG.H, BRUGGENWERTM.G.M.** *Soil chemistry*. Amsterdam, Elsevier, (1978, p.281.
- BOUMEZBEURA** *Atlas des 26 zone humides Algériennes internationale*. Alger: Direction générale des forets. 2002.
- BoyerJ** *Conservation et amélioration de la fertilité*. ORSTOM. Paris, France,, s.n., 1983. pp.357-366, In : Bulletin technique d'information des ingénieurs des sciences agricoles. (n0379/381) .
- BronickCJ, LaIR** Soil structure and management: a Review. *Geoderma*,. 2005, Vol. 124, (1-2), pp.3-22.
- BruandAry, CoquetYves** Les sols et le cycle de l'eau. *Science du sol et Environnement*. 2005, pp.345-363.
- CapoloniJean, SARYMichel** *Atlas des cartes geomorphologique du chott El Hodna feuille de M'sila*. Alger, Secrétariat d'état à l'hydraulique, Service agropédologique, 1971.
- CAPOLONIJean, SARYMichel** *Atlas des cartes geomorphologique du chott El Hodna feuille de M'sila*. Alger, Secrétariat d'état à l'hydraulique, Service agropédologique, 1971.
- ChamayouH, LegrosJP** *Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol*.1989.
- CHERBUYB** Les sols salés et leur réhabilitaion. Ecole nationale supereur d'agronomie, 1991, p.35.
- CordaryD** *Mécaniques des sols*. Paris, s.n., Lavoisier n TEC et DOC, 1994, p.375.
- CRAAQ** *Guide de référence en fertilisation*. Sainte-Foy, Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2003. p.294.
- DebiecheTH** *Evolution de qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle*.université de franche comté. 2002. p.50, thèse de doctorat.
- DjebailiS** *Steppe Algérienne :phytosociologie et écologie*.s.l., OPU., 1984.
- DoucetR.** *Le climat et les sols agricoles*. Eastman, Québec, Berger, 2006. p.443.
- DSA2008**.
- Duchaufour** *Pédogenèse et classification*.Paris-France 491 p, Masson, 2ème, 1983, pp.208- 483.
- DuchaufourP** *Pédologie: 1 Pédogenèse et classification*.1979, p.477.
- DuchaufourPh** *Abrégés pédologie*.Paris, Masson, 1984, p.220.



- . *Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement*.s.l., Dunod, 6ème , 2001, p.331.
- DurandJH** *Les sols irrigables*. Paris, Presse univervitaire de France, 1983, p.322.
- . *Les sols irrigables*. Paris, Agence de coopération culturelle et technique, 1983, p.190.
- DussarteB-H** *A l'imonologie -l'étude des eaux continentales Gauthier-Villars*, . s.l., Paris, 1966, p.678.
- EssingtonME** *Soil and water chemistry, an integrative approach*.s.l., CRC Press, USA., 2004.
- Evaluation of ammonia volatilization in the field*. **HargroveWL**1988, Journal of Production Agriculture., pp.104-111.
- FAO** *Etude des ressources naturelle, expérimentale et démonstration agricole* . 1973.
- . *Climate change, water and food security*. Roma, FAO, 2008. Expert groupe meeting .
- . *Etude des ressources naturelle, expérimentale et démonstration agricole*. Rome: Val FAO. 1973.
- . *La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion de terres*.Paris,France., s.n. , 2002. p.59, Rapport basé sur le travail de Michel Robert INRA,.
- FetayahH** *Etude ethnobotanique des plantes médicinales à effets cardiovasculaires de la daira de M'sila*. . Univerité Mohamed Boudhiaf de M'sila.2015. p.79, Thème de Master Académique: Gestion de l'environnement.
- GausсенH, BagnoulsF**Les climats biologiques et leur classification.*Annales de Géographie*,. 1957, N°355.LXVI, pp.193-220.
- GenotV, ColinetG, BockL** *La fertilité des sols agricoles et forestiers en région wallonne*. 2007. p.78 , Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement Wallon.
- GIRARDM.Cet al.** *sol et environnement, cours,exercices et études de cas*. Paris, Dunod, 2005.
- GirardMCet al.** *Sols et environnement*,. Paris, Dunod, 2005. p.475., Cours, exercices et étude de cas.
- GregoryB** *Ecophysiologie de semis de coniferes ectomycorhizes en milieu salin et sodique*. 2005. p.190, Thèse de doctorat en science forestières.
- HalitimA** *Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture*.Univ de Renne.Alger, s.n., 1973. p.176, Thèse de 3ème cycle.
- . *Les sols des régions arides d'Algérie*. Alger, s.n., OPU, 1988, p.384.
- haoualaf, ferdjanih, ben elhadjiseffets** de la salinité sur la répartition des cations (Na+,K+,et Ca++) et du chlore (CL-) dans les parties aériennes et les racines du ray gras anglais et du chiendent.*Biotechnology, Agronomie, société et Environnement*. 2007, Vol. 11, 3, pp.235-244.
- HENINS** *Cour de physique du sol, <Texture- Structure- Aération >. Tom I*. Edéd.. Paris, ORSTOM, 1976, p.160.
- HeninS** *Cours de physique du sol. Tome 1: Texture-Structure-Aeration*.Paris, Orstom, 1976, p.160 .
- . *Sol-agronomie-environnement*. Paris, s.n., ORSTOM, 1990, p.189.
- HilleID** *L'eau et le sol principes et processus physique*.s.l., Louvain-la-Neuve,, 1984, p.288.
- Jean Marie** *Etude du comportement mécanique de matériaux granulaires compactés non saturés sous chargements cycliques*.Thèse de doctorat en Mécanique des sols et géotechnique routière . Paris, s.n., 2005.
- Jean-MichelGobat, MichelAragno, WillyMatthey** *Le sol vivant: Bases pédologie biologie des sols*.s.l. , Presses polytechniques Et Universitaires Romandes, 1998, p.519.
- KerenR** *Salinity*.In:*Sumner M.E*.s.l., Handbook of Soil Science.CRC Press,NY,USA,, 2000, pp.G3-G25 .
- LAMBERTM** *Analyse du sol*. El-Harrache, Alger, s.n., 1975, p.110.



- Le Bissonais Y** *Eur.J.Soil Sci.* 1996, Vol. 47, pp.425-437.
- LiliaRR** *gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar*. Antananarivo, s.n., 2004. p.200, thèse de doctorat des sciences naturelles.
- MassenetJY** *Chimie du sol,Capitre V*.2013. p.42.
- MathierC, PieltainF** *analyse physique des sols : méthodes choisies*. paris, s.n., Tec et doc lavoisier , 2003, p.275.
- MATHIEUC, PIELTAINF** *Analyse chimique des sols : Méthodes choisies*.Paris, Ed. Tec et Doc Lavoisier , 2003, p.387.
- . *Analyse physique des sols:Méthodes choisies*. Lavoisieret DocTecd.. s.l., Paris, Ed, 1988, p.265.
- McdonaldD.C. , JulianR.**Quantitative estimation of soil total porosity. *Agricultural research*. Taylor & Francis, 2012, Vol. 20, pp.927-943.
- Medjahedk** *contribution à l'étude analytique des solutions du sol des zones aride,cas de la région de zaàfrane (wilaya de djelfa)*. Univ.,Djelfa. 2005. p.70, Mém. Ingé.
- MengelK, KirkbyEA** *principales of plant nutrition*. s.l., kluwer academic publishers, 5, 2001, p.849.
- MerelleF** *L'analyse de terre aujourd'hui*. GEMAS,Nantes, s.n., 1998. p.184.
- Mermoud A** *Cours de physique du sol :Maitrise de la salinité des sols*.Ecole polytechnique fédérale de lausanne,. 2006. p.23.
- Mhiri A** *Le potassium dans le sols de tunisie, atelier sur la gestion de la fertilisation potassique, Acquis et perspective de la recherche* . 2002. p.13.
- MimouneS** *Gestion des sols salés et désertification dans une cuvette endoréique en Algérie (sud de cott el Hodna )*.1995. these doc.
- MorelR** *les sols cultivés*. s.l., LAVOISIER, TEC. DOC, 1989, p.373.
- . *Les sols des régions arides d'Algérie*. Paris, Lavoisier, 1996, p.359.
- MusyA, SoutterM** *Physique du sol*. s.l., Lausanne, Presses polytechniques et universitaires Romandes, 1991, p.331.
- NedjraouiD** *Country pasture, forage ressource profils*. . s.l., FAO.Grassland and pasture crops Algérie,, 2003, pp.1-29.
- OustaniM** *Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions sahariennes (cas de Ouargla)*.Université Ouargla.2006. p.187, Thèse Magister.
- OzendaP** *Les végétaux dans la biosphère*.Paris, s.n., Doin, 1982, p.431.
- PETARDJ** *Les methodes d'analyses. Tomel, Analyse de sol*. s.l., ORSTOM, Nouméa, 1993, p.200. (N°5) .
- PhilippeDuchaufour** *Introduction a la science du sol: Sol, Végétation, Environnement*.s.l., Dunod, 6 ème, 2001, p.331.
- PieriC** *Fertilité des terres de savanes* . Ministère de la coopération et du développement Centre Internationale de Recherches Agricoles et Développement . 1989. p.444, Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du sahara.
- PrevostP** *Les bases de l'agriculture*.Paris, Tec et Doc Lavoisier, 3ème, 2006, p.290.
- PROVOST P** *Les bases de l'agriculture*. Ed3éd.. Lavoisier, TEC - DOC, 2006, p.290 .
- RamadeS** *Eléments d'ecologie ,Ecologie fondamentale*. s.l., DUNOD, 3eme, 2003.
- RAMADES** *Eléments d'ecologie ,Ecologie fondamentale* .3eme Edition DUNOD, s.n., 2003, p.690 .
- RaoulCalvet** *Le sol*. AGRICOLEFRANCEéd.. 2013, p.678.
- RobertM** *Le sol, Interface dans l'environnement, ressource pour le développement*.Paris, Masson, Dunod, 1996, p.240.



- Robertm** *Le sol, interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Paris, ed. Masson, 1996, p.244.
- Saxton K.E.** *Soil water characteristics*. Washington, USDA Agricultural research service & Department of biology system engineering Washington state university, 2006. ((509)332-7277).
- Scheiner J.D.** *spéciation du carbone, de l'azote et du phosphore de différentes boues de stations d'épurations au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol*. INP Toulouse. 2005. p.218, thèse de doctorat en agronomie.
- Sellami Lahcene** *Evolution des propriétés physiques des sols irrigués de la plaine d'El-Outaya (Biskra)*. Université de Batna. 2013. p.89, Mémoire d'ingénieur.
- Servant J.** *Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes*. 1975.
- SOIL SURVEY STAFF** *Soil Survey Manual. US Department of Agriculture, Washington*. Washington, USDA, 1951, p.503.
- Soltner D.** *Les bases de la production végétale, Tome 1: le sol et son amélioration*. s.l., Collection Science et Techniques Agricoles, 21, 1996, p.464.
- SOLTNER D.** *Les bases de production végétale. Le sol - le climat - la plante. Tome I : le sol et son amélioration*. 2<sup>e</sup> éd. s.l., Collection sciences et technique agricole, 2000, p.472.
- Sposito G.** *The chemistry of soils*. Oxford university press. New York, s.n., 1989. p.277.
- Sur une formule climatique et ses applications en botanique*. **Emberger L** 1932, *Météorologie*, pp.92-93; 423-432.
- Szabolcsi I.** *The limitation of potential yield by salinity and alkalinity of soils with particular reference to the mediterranean regions*. s.l., Spain : proceeding IPI.Spain., 1994.
- Tiercelin J.R., Vidal A.** *Traité d'irrigation*. Paris, s.n., Lavoisier TEC et DOC, 2006, p.1266.
- TIRC** *Dynamique saisonnière des nappes phréatiques dans la station expérimentale de Sedi Mehdi-Touggourt*. Univ., Batna, s.n., 2001. p.70, Mém. Ing.
- U.S.S.L.** *United salinity laboratory, diagnostic and improvements of saline and alkali soil*. 1954, p.160.
- USDA** *Keys to soil Taxonomy*. 1975, p.332.
- USDA Key to soil Taxonomy** 1975, p.332.
- USSL** *United salinity laboratory, diagnostic and improvement of saline and alkali*. 1954, 60, p.160.
- Van Wesemael B., Brahy V.** *Sols 2, chapitre 11 : Les sols et l'environnement terrestre*,. 2013. pp.468-475.
- Willy Matthey** *Le sol vivant: Bases de pédologie biologie des sols*. s.l., Presses polytechniques et Universitaires Romandes., 1998, p.519.
- WRI** *Drylands, people, and ecosystem goods and services: a web-based geospatial analysis*. 2002.
- YAICHEM-R, BOUHANIKA** *Atlas Solaire Algerien*. 2002, p.84.



## Annexes

### Annexe 1 : Classes de l'indice de battance

Indice de battance	Interprétation
$IB > 2$	sol très battant
$1,8 < IB < 2$	sol battant
$1,6 < IB < 1,8$	sol assez battant
$1,4 < IB < 1,6$	sol peu battant
$IB < 1,4$	sol non battant

(BAIZE et al., 2013)

### Annexe 2 : les normes de la teneur en matière organique

Niveau	Texture légère	Texture lourde
	Sable à loam	Loam argileux à argile lourde
Très pauvre	0,0 – 2,0 %	0,0 – 2,0 %
Pauvre	2,1 – 3,5 %	2,1 – 4,5 %
Moyen	3,6 – 6,5 %	4,6 – 10,0 %
Riche	6,6 – 8,0 %	10,1 – 13,0 %
Très riche	> 8,0 %	> 13,0 %

Source : Association des fabricants d'engrais du Québec (1987) (AFEQ, 1987)

### Annexe 3 : Les interprétation de PH<sub>eau</sub> et PH<sub>eau</sub> - PH<sub>kcl</sub> du chaque horizons

PH <sub>eau</sub>	< 5,5	5,5 – 6	6 - 7	7 – 8	>8
Interprétation	Forte acidité	Acidité légère	Très légère acidité	Alcalinité	Forte alcalinité
PH <sub>eau</sub> – PH <sub>kcl</sub>	< 0,5	0,5-----1	>1	-	-
Interprétation	Sol faiblement dé saturé	Sol dé saturé	Sol fortement dé saturé	-	-

in (TIR, 2001)



Annexe 4

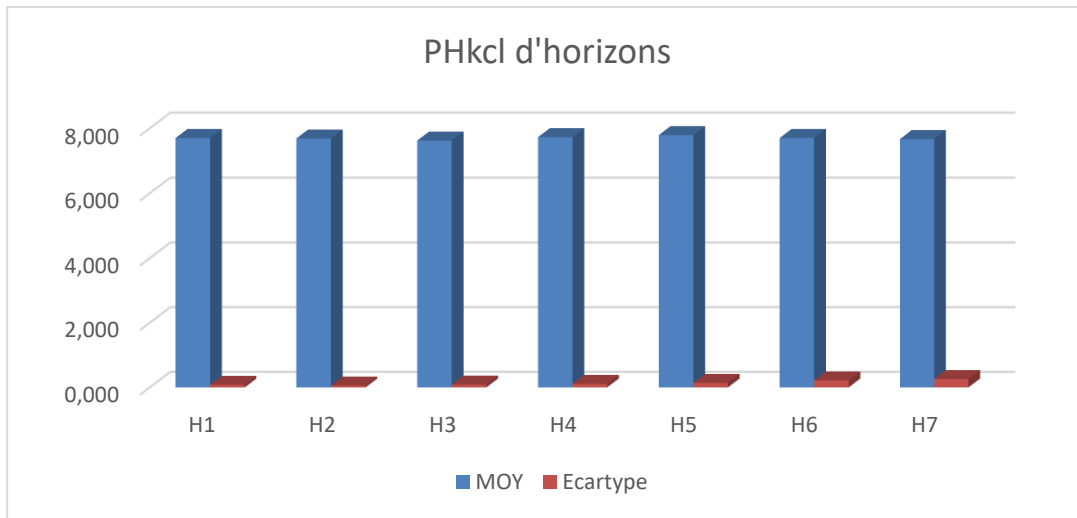


Figure : qui représenté PH<sub>kcl</sub>

Annexe 5 :

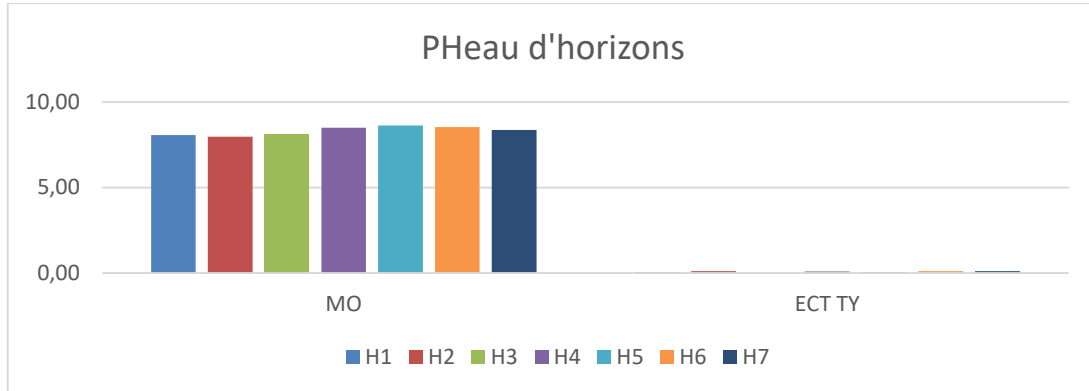


Figure : qui représenté PH<sub>eau</sub>

Annexe 6 : Tableau d'un normes de calcaire total selon GEPPE in (BAISE, 1988)

mesure	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
CE (1/5) mMhos/cm	< 0,6	06-1,2	1,2- 2,4	2,4-6	>6



Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)	Effet sur la croissance des plantes
Non salins	0-2	Effets de la salinité négligeables
Légèrement salins	2-4	La production de certaines plantes sensibles peut être affectée (ex : tomate, haricot...)
Modérément salins	4-8	La production de la plupart des plantes est restreinte.
Fortement salins	8-16	Seules les plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante (ex : asperge)
Très fortement salins	>16	Seul un très petit nombre de plantes tolérantes au sel produisent de façon satisfaisante.

### Annexe 7: le taux de CaCO<sub>3</sub> totale

Taux de caco3 total a l'analyse	Qualification du sol
CaCO <sub>3</sub> T ≤ 5%	SOL NON CALCAIRE
5 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 12,5%	SOL FAIBLEMENT CALCAIRE
12,5 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 25%	% SOL MODEREMENT CALCAIRE
25 < CaCO <sub>3</sub> T > 50%	SOL FORTEMENT CALCAIRE
CaCO <sub>3</sub> T > 50%	SOL TRES FORTEMENT CALCAIRE

### Annexe 8

Types de sol	CEC typique(meq/100 g. sol)
Léger	4 – 10
Moyen	10 – 25
Lourd	25 – 50
Organique	50 – 200

Source : Thi Sen Tran, IRDA) (CRAAQ, 2003) P41



Catégories de sol	Très	Faible	Moyenn	Élevée	Très
	CEC (meq/100 g. sol)				
Sols légers (à pH	< 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	> 10
Sols francs (loams)	< 10	10 –	15 – 20	20 – 25	> 25
Sols lourds	< 25	25 –	30 – 35	35 – 40	> 40
Sols organiques	< 50	50 –	100 –	150 –	> 200

Source : Tableau 12.9 : Normes de fertilité des différents types de sols (Doucet, 2006. p. 328)

## Annexe 9

**Tableau** : les normes du calcaire actif

Calcaire Actif en %		5	10	20
Le sol est :	Faible	Assez élevé	Élevé	Très élevé

Source : [wiki-calcaireinterpretation.jpg](#)

## ملخص

هدف هذا العمل إلى دراسة الخواص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للتربة المالحة للحضانة (المسيلة) ، وإمكانيات تطورها. توضح النتائج الخصائص الناتجة عن الجودة أو القيد على النحو التالي :

- عمق كافي للجذور دون وجود مستومعيق (صلب ، مضغوط ، عناصرخشنة) (% <75
- احتياطي مياه متوسط (1 إلى 1.1 م / سم) يبلغ إجمالاً أكثر من 120 ملم على عمق 120 سم وهو ما يكفي إلى حد كبير لإمداد المحاصيل بالمياه.
- النفاذية الضعيفة المتعلقة بقوام الطين والبنية السيئة للتربة تسبب في تشبع مؤقت بالمياه يعيق تنفس الجنور.
- يهيمن على الخواص الكيميائية وجود ملوحة عالية (من المالحة إلى المالحة للغاية) ، وقلوية عالية ( $ESP > 15$ )
- احتياطي المغذيات (CEC) بين 15 و 20 ميكروغرام / 100 غرام (منخفض مقارنة بالمحتوى المرتفع من الطين.
- درجة الحموضة القلوية والمستويات العالية من المكون الجيري النشط لها تأثير سلبي على توافر بعض العناصر الغذائية.
- يوجد أيضاً محتوى منخفض للمواد العضوية بسبب كل من المناخ الجاف والملوحة. تتفاوت مستويات النيتروجين الكلية من منخفضة للغاية إلى مرتفعة للغاية حسب معدل ونوع المادة العضوية الموجودة.

الكلمات المفتاحية: التربة المالحة ، الخواص الفيزيائية ، التصريف ، الترشيح

## Résumé

Ce travail vise l'étude des propriétés physico-chimiques et biologiques d'un sol salé de la pépinière (M'sila), et les possibilités de sa mise en valeur.

Les résultats font état de caractéristiques se traduisant comme qualité ou contrainte comme suit :

- Une profondeur suffisante pour l'enracinement sans niveau limitant (dure, très compact, éléments grossiers >75%)
- une réserve moyenne en eau (1 à 1.1 mm/cm) totalisant plus de 120mm sur 120cm de profondeur ce qui est largement suffisant pour l'alimentation hydrique des cultures.
- Une perméabilité faible liée à une texture argileuse est une mauvaise structuration du sol, causant une hydromorphie temporaire gênant la respiration des racines.
- Les propriétés chimiques sont dominées par la présence d'une forte salinité (salé à très salé), et une forte alcalinité ( $ESP > 15\%$ )
- Une réserve en élément nutritifs (CEC entre 15 et 20 meq/100g) faible par rapport à la forte teneur en argile.
- Le pH alcalin et les fortes teneurs en calcaire actif agissent négativement sur la disponibilité des certains éléments nutritifs.
- On note aussi les faibles teneurs en matière organiques dues à la fois à l'aridité du climat et la salinité. Les niveaux d'azote total varie de très faible à très élevé variant selon et le taux et le type de matière organique en présence.

**Mots clé : Sol salé, propriétés physico-chimique, drainage, lessivage**

### Abstract

This work aims to study the physicochemical and biological properties of a salty soil of the nursery (M'sila), and the possibilities of its development.

The results show characteristics resulting as quality or constraint as follows:

- Sufficient depth for rooting without limiting level (hard, very compact, coarse elements > 75%)
- An average water reserve (1 to 1.1 mm / cm) totaling more than 120mm over 120cm deep which is largely sufficient for the water supply of crops.
- A weak permeability related to a clay texture is a bad structuring of the soil, causing a temporary waterlogging hindering the respiration of the roots.
- The chemical properties are dominated by the presence of high salinity (salty to very salty), and high alkalinity ( $ESP > 15\%$ )
- A nutrient reserve (CEC between 15 and 20 meq / 100g) low compared to the high clay content.
- The alkaline pH and high levels of active limestone have a negative effect on the availability of certain nutrients.
- There is also low organic matter content due to both arid climate and salinity. Total nitrogen levels vary from very low to very high depending on the rate and type of organic matter present.

**Key words: Salty soil, physicochemical properties, drainage, leaching**