

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem

Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم  
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département d'agronomie

Mémoire de fin d'études

Présenté par

M<sup>lle</sup> BOUNEDJOUR Aldja

Pour l'obtention du diplôme de

Master en AGRONOMIE

Spécialité : Gestion Durable de l'Environnement

*Thème*

**Mesure et efficacité de la capacité d'échange cationique  
d'un sol de la plaine de la Mina par les deux méthodes  
de Metson et Bower**

Soutenu publiquement le 21 Novembre 2016

*Devant le jury*

Président	Larid Mohamed	Pr	Université de Mostaganem
Encadreur	Benkhelifa Mohammed	Pr	Université de Mostaganem
Examineur	Nemliche Saïd	MCA	Université de Mostaganem

**Thème réalisé au Laboratoire régional ouest de l'INSID El Matmare Relizane**

**Année universitaire 2015 / 2016**

## Dédicace

*C'est avec une grande joie*

*Que je dédie ce modeste travail :*

*A ceux qui m'ont aidé, encouragé, donné la volonté pour continuer, ceux-là que je les  
porte toujours dans mon cœur.*

*A mes parents :*

*Mon très cher père, pour m'avoir donnée de son âme pour me satisfaire malgré son  
absence.*

*Ma très chère mère, la source de tendresse et d'amour qui est mon meilleur exemple  
dans ma vie.*

*A tout ma famille et spécialement mes sœurs et mes frères surtout Abdelkader.*

*A mes chères amis et mes collègues et surtout Sara, Biba, Samira, Hakima, fatima,  
fouzia , djazia, rachid, mbarek, walid,*

## Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre reconnaissance et notre profond respect et sincère sentiment de gratitude, à toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce modeste mémoire.

Je remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guidé toutes les années d'étude et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

J'exprime mes profonds remerciements à mon encadreur M<sup>r</sup> Benkhelifa Mohammed, Professeur au département d'Agronomie de l'Université de Mostaganem et responsable du Master GDE, pour son orientation et son courage constant.

Je remercie sincèrement M<sup>r</sup> Larid Mohamed, Professeur au département d'Agronomie de l'Université de Mostaganem, pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de soutenance.

Mes remerciements s'adressent également à M<sup>r</sup> Nemmiche Saïd, Maître de conférences A au département de biologie de l'Université de Mostaganem, pour avoir bien voulu examiner le présent travail.

Je remercie M<sup>r</sup> Gacem Farid, Responsable du Laboratoire Régional Ouest de l'INSID d'El Matmar (Relizane) pour m'avoir accueilli et pour ses précieuses orientations.

Je remercie M<sup>r</sup> Kradia Laïd qui m'a vraiment beaucoup aidé et m'a encouragé tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier tous les enseignants du département d'Agronomie et particulièrement ceux du Master GDE.

Je remercie infiniment les techniciens du laboratoire de l'INSID surtout M<sup>elle</sup>. Meriam pour la confiance qu'ils m'ont accordée et m'ont aidée tout au long de la période du stage. Un remerciement exceptionnel à mes parents et aussi mes amis.

En fin je remercie également tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Résumé

La capacité d'échange cationique d'un sol représente la taille du réservoir permettant de stocker de manière réversible certains éléments fertilisants cationiques (potassium, magnésium, calcium et sodium).

Grâce à ses propriétés d'échange, un sol est capable de prélever ou de fournir des ions à sa solution. On attribue le pouvoir d'adsorption et d'échange des cations aux matériaux colloïdaux du sol. En effet, le complexe argilo-humique constitue le foyer où se fixent les cations suite à des phénomènes de surface et non par réaction chimique complexe. Ainsi, les cations adsorbés sur le complexe argilo-humique demeurent échangeables et peuvent retourner à la solution de sol dont ils sont issus.

Cette capacité est très importante, notamment en ce qui concerne les éléments minéraux indispensables à la nutrition des végétaux. Ainsi, la fertilité d'un sol dépend en grande partie de son complexe adsorbant.

Le présent travail est une contribution à l'étude d'un sol de la plaine de la Mina (Relizane) par sa caractérisation et la détermination de sa capacité d'échange cationique en utilisant les deux méthodes de Metson et de Bower.

## Sommaire

Dédicace .....	2
Remerciements .....	3
Résumé .....	4
Sommaire .....	5
Liste des tableaux .....	7
Liste des figures .....	8
Liste des photos .....	9
Introduction .....	10
<b>Chapitre I - Importance de la CEC dans l'échange entre solution du sol et complexe adsorbant .....</b>	<b>13</b>
I.1. Complexe adsorbant des sols .....	14
I.2. Le pouvoir de sorption ou capacité d'échange .....	16
I.3. Processus d'échange des cations .....	24
I.4. Principaux facteurs réglant l'intensité des phénomènes de sorption et d'échange des cations .....	30
I.5. Le mécanisme de l'échange des cations .....	32
I.6. La sorption et l'échange des anions .....	33
I.7. Trois valeurs pour caractériser un sol .....	34
I.8. Garniture cationique du complexe adsorbant dans les sols .....	37

I.9. Synthèse .....	39
I.10. Relation entre le taux de saturation et l'acidité du sol.....	40
I.11. Le taux de saturation comme indicateur de l'évolution .....	40
I.12. Le taux de saturation comme indicateur de la fertilité.....	42
I.13. Rôle agricole du pouvoir adsorbant .....	42
<b>Chapitre II– Présentation de la région d'étude.....</b>	<b>43</b>
II.1. Présentation de la région.....	44
II.2. Caractérisation du milieu.....	49
<b>Chapitre III – Matériels et méthodes .....</b>	<b>53</b>
III.1. Introduction .....	54
III.2. Description de la zone d'étude .....	54
III.3. Méthodologie .....	55
<b>Chapitre IV – Résultats et discussion.....</b>	<b>61</b>
IV.1. Caractérisation des parcelles .....	62
IV.2. Synthèse des résultats des analyses du sol .....	70
Conclusion.....	73
Références bibliographiques .....	74
Annexe .....	76

## Liste des tableaux

Tableau 1 - CEC et distribution des charges fixes (CECc) et variables (CECv) chez différents constituants du sol.....	22
Tableau 2 - Relation entre la charge de différents cations saturant une montmorillonite, leur rayon ionique et l'efficacité de leur désorption par des ions monovalents (explications dans le texte) (in Bohn et al., 1979).....	30
Tableau 3 - Désorption d'une montmorillonite saturée $\text{Ca}^{2+}$ par $\text{Ba}^{2+}$ ou $\text{NH}_4^+$ , en fonction de la concentration de la solution d'échange (in Bohn et al., 1979). ....	31
Tableau 4 - la capacité de sorption des principaux colloïdes négatifs à PH 7 .....	32
Tableau 5 - les valeurs CaO sorbé (en meq/100g d'argile) en fonction du PH .....	33
Tableau 6 - Exemple de quelques valeurs pour les taux de saturation de grands types de sols ....	40
Tableau 7 - la valeur du taux de saturation et adjectif au nom du sol.....	41
Tableau 8 - Caractéristiques analytiques du complexe d'échange de quelques sols contrastés.....	43
Tableau 9 - Relations entre le taux de saturation (V) et le pH pour différents types de sol. ....	45
Tableau 10 - Qualificatifs d'un sol en fonction de son taux de saturation (S/T) (selon A.F.E.S., 1995). ....	46
Tableau 11 - Rapport S/T dans les différentes références de Brunisols. ....	47
Tableau 12 - Donnés pluviométriques de la station Matmore Oued Mina (1977-2010).....	52
Tableau 13 : Température moyenne mensuelle des minimums et maximums en °c de la station Matmore Relizane (1977-2010). ....	53
Tableau 14 - Statistiques descriptives des paramètres du sol .....	72
Tableau 15 - Les résultats analytiques et statistiques des différents paramètres de la solution du sol.....	74
Tableau 16 - Statistiques descriptives des propriétés physiques et physico-chimiques .....	75
Tableau 17 - Statistiques descriptives des paramètres de la solution du sol.....	77
Tableau 18 - Statistiques descriptives des propriétés physiques et physico-chimiques .....	78

Tableau 19 - Statistiques descriptives des paramètres de la solution du sol.....	80
Tableau 20 - Résultats d'analyse du sol de parcelle 4 (non salée cultivée).....	81

## Liste des figures

Figure 1 - le complexe adsorbant du sol (tiré de Soltner D. ,1992).....	15
Figure 2 - Variation de la charge nette de surface des colloïdes du sol (in Bohn, McNeal et O'Connor, 1979).....	17
Figure 3 - Influence du pH sur la CEC des composés humiques et des argiles (d'après Stevenson, 1982). .....	20
Figure 4 - Evolution de la charge de surface d'un oxyhydroxyde en milieu hydraté, en fonction du pH (in Chamayou et Legros, 1989).....	24
Figure 5 - Représentation schématique de l'interface hydraté d'un oxyde de fer (hématite) avec formation d'une intercouche de type goethite (in Chamayou et Legros, 1989). .....	25
Figure 6 - Distribution calculée de différents cations à la surface d'un minéral (in Bohn et al., 1979). .....	29
Figure 7 - la fixation des cations : valence et degré d'hydratation (tiré de Soltner D. ,1992).....	35
Figure 8 - les modes de fixation des anions (tiré Soltner D. ,1992) .....	37
Figure 9 - Garniture cationique du complexe d'échange des principaux types d'humus forestiers (horizon holorganique O pour le mor, horizon hémiorganique Ah pour les autres types d'humus). .....	44
Figure 10 - Représentation schématique des différentes fractions constitutives de la capacité d'échange cationique (CEC). .....	44
Figure 11 - Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane) INSID(2008). .....	50

Figure 12 - Localisation de la zone d'étude (Source : Google Earth.2016) .....	51
Figure 13 - Histogramme de la pluviométrie, station Matmore,Oued Mina (1977- 2010) .....	53
Figure 14 - Histogramme des Températures mensuelles à la station de Matmore (1977-2010), Source :O.N.M Alger, 2013. ....	54
Figure 15 - Diagramme ombrothermique, station Matmore, Oued Mina (1977-2010).....	54
Figure 16 - Carte de localisation des parcelles pédologiques (Source Google Earth,2016).....	62
Figure 17 - Schéma Méthodologique.....	64
Figure 18 - Localisation des parcelles par rapport à la carte de salinité établie par l'INSID en 2006.....	82
Figure 19 – CEC en fonction de la méthode d'analyse pour l'horizon de surface .....	82
Figure 20 – CEC en fonction de la méthode d'analyse pour l'horizon inférieur.....	83

## **Liste des photos**

Photo 1 - Prélèvement des échantillons du sol.....	73
Photo 2 -Séchagedes échantillons du sol à l'air libre.....	66
Photo 3 - Préparation des tubes des échantillons du sol et l'ajout de la solution pour chacune des étapes de saturation, lavage et déplacement.....	69

## Introduction

Le sol est une formation de surface, à propriétés essentiellement dynamiques, souvent différencié en couches distinctes, à constituant minéraux et/ou organiques généralement meubles, résultant de la transformation d'une roche-mère sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques et différant de cette roche-mère par certains caractères morphologiques, physiques, chimiques et biologiques.

Le secteur agricole rencontre de nombreux problèmes dus essentiellement à l'exploitation irrationnelle et inefficace des ressources en sols et en eaux, le manque d'intérêt accordé à la connaissance des sols avant leur mise en valeur et le manque de suivi des sols sous irrigation.

L'évaluation des terres nécessite une connaissance du milieu et des propriétés du sol, l'interprétation juste des caractères physico-chimiques est indispensable pour cette évaluation.

En effet il se trouve que la présence dans un sol de facteurs limitants (drainage défavorable, pente forte, encroûtement calcaire, forte salinité) ou des contraintes majeures non modifiables (profondeur utile faible, texture défavorable) conditionnent son aptitude.

Une grande partie des sols particulièrement à l'ouest présente un caractère salin, ce qui rend ces sols stériles. La présence de quantités excessives de sels à l'origine de l'instabilité structurale et de la dégradation des couches superficielles mettant en péril leur capacité de production. Il serait, dès lors important de d'évaluer les potentialités réelles de ces sols afin de relever les contraintes qui peuvent diminuer leur niveau de fertilité et leur pouvoir productif.

La capacité d'échange cationique exprime l'aptitude d'un matériau à retenir des cations sous forme échangeable. C'est une propriété des sols à la fois utile et intéressante.

Certains sols (particulièrement sableux légers), ont une faible capacité d'échange en cations. L'application de la matière organique à ce type de sol contribue donc à l'augmentation de la capacité d'échange cationique de ces terres.

Ces minéraux pourront être restitués ensuite aux plantes par des phénomènes d'échange (décalcification).cette mesure permet d'affiner le conseil de fumure.

Du point de vue méthodologique, l'approche utilisées pour l'évaluation de l'aptitude agricole n'intègre pas directement les facteurs et risques climatiques liés à l'environnement .Seules les données pédologiques ont été considérées.

Dans notre étude on va se limiter uniquement pour les contraintes qui sont connues dans la région ouest et surtout celles qui affectent les terres agricoles dans le périmètre irrigué de la Mina

L'aptitude culturale des sols a été dégagée à partir de la confrontation des exigences de l'occupation actuelles avec les qualités des sols. Les cultures principales retenues sont déterminées à partir de la carte d'occupation du sol.

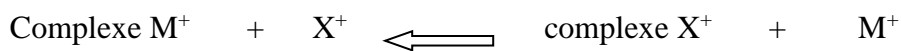
Ce présent travail constitue une contribution à l'étude de l'état du sol des parcelles et leur CEC, afin de mettre en évidences de comparaison entre les deux méthodes différentes et entre les deux horizons supérieur et inférieur.

# **Chapitre I - Importance de la CEC dans l'échange entre solution du sol et complexe adsorbant**

## I.1. Complexe adsorbant des sols

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 (substances humiques, argile, sesquioxides,...) 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 sol, il y aura échange entre les ions du complexe adsorbant et ceux de la solution :



Le terme "adsorbant" est plus approprié que celui d'absorbant que l'on rencontre souvent dans la littérature. En effet, les cations se fixent suite à des phénomènes de surface et non par réaction chimique complexe. Ainsi, les cations adsorbés sur le complexe argilo-humique demeurent échangeables et peuvent retourner à la solution de sol dont ils sont issus.

Cette capacité est très importante, notamment en ce qui concerne les éléments minéraux indispensables à la nutrition des végétaux. Ainsi, la fertilité d'un sol dépend en grande partie de son complexe adsorbant. Les incidences de celui-ci se marquent à divers niveaux dans le sol:

- **Structuration du sol**

L'alliance des argiles et des composés humiques au sein du complexe argilo-humique se traduit par la formation d'agrégats, éléments de base de la structure du sol dans les horizons supérieurs. Ces grumeaux colloïdaux contribuent à la formation d'une structure aérée en permettant de surcroît une meilleure rétention de l'eau.

- **Fertilité minérale**

Le complexe argilo-humique, de par son pouvoir adsorbant, constitue une véritable banque d'éléments nutritifs dans le sol.

• **Lutte contre le lessivage**

Si les cations n'étaient pas retenus sur le complexe, ils seraient irrémédiablement entraînés par les précipitations.

• **Effet tampon**

Le complexe absorbant libère les éléments nutritifs pour les végétaux en les échangeant, notamment contre les ions H<sup>+</sup> résultant de l'activité biologique des racines et des microorganismes.

L'absorption ionique dans le sol peut être considérée comme réversible :

Les ions échangeables du complexe adsorbant sont en équilibre avec la solution du sol :

Toute modification de la composition de la solution du sol provoque un changement de cet équilibre par échange : certains ions du complexe passent en solution (désorption) et sont remplacés par d'autres ions, qui étaient auparavant en solution (adsorption).

Le pouvoir adsorbant est la propriété que possède le complexe adsorbant du sol, de retenir à sa surface des ions provenant de la solution du sol. Cette définition est illustrée dans le schéma ci-dessous (figure 1).

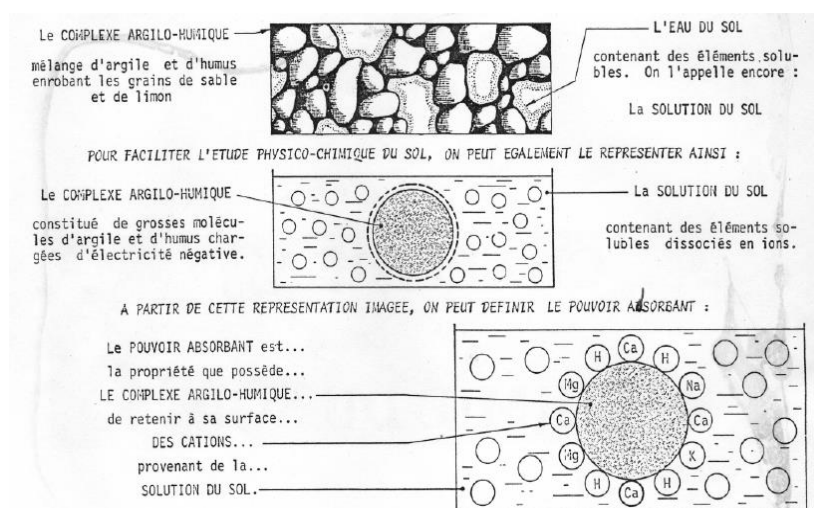


Figure 1 - le complexe adsorbant du sol (tiré de Soltner D., 1992)

La capacité d'échange des cations est très variable dans les sols : de 1 à 5 cmolc kg<sup>-1</sup> en sol sableux jusqu'à 60 à 80 cmolc kg<sup>-1</sup> en sol argileux et humifère. Au plan agronomique, on considère qu'une CEC < 10 cmolc kg<sup>-1</sup> est très faible, qu'entre 10 et 15 cmolc kg<sup>-1</sup> elle est faible, moyenne entre 15 et 20 cmolc kg<sup>-1</sup>, élevée entre 20 et 25 cmolc kg<sup>-1</sup> et très élevée lorsqu'elle est > 25 cmolc kg<sup>-1</sup> (Chamayou et Legros, 1989).

## I.2. Le pouvoir de sorption ou capacité d'échange

### I.2.1. Généralités

La plupart des colloïdes du sol présentent une charge électrique de surface, généralement négative, plus rarement positive.

L'ensemble des charges négatives correspond à la capacité d'échange cationique du sol ou CEC. Cette propriété capitale des sols a été découverte en 1850 par Way et Law à la Station expérimentale de Rothamsted en Angleterre.

L'ensemble des charges négatives est exprimé par la capacité d'échange anionique CEA.

La capacité d'échange des cations est très variable dans les sols : de 1 à 5 cmolc kg<sup>-1</sup> en sol sableux jusqu'à 60 à 80 cmolc kg<sup>-1</sup> en sol argileux et humifère. Au plan agronomique, on considère qu'une CEC < 10 cmolc kg<sup>-1</sup> est très faible, qu'entre 10 et 15 cmolc kg<sup>-1</sup> elle est faible, moyenne entre 15 et 20 cmolc kg<sup>-1</sup>, élevée entre 20 et 25 cmolc kg<sup>-1</sup> et très élevée lorsqu'elle est > 25 cmolc kg<sup>-1</sup> (Chamayou et Legros, 1989).

En résumé, la CEC des sols sera donc fonction de 3 paramètres principaux : la texture, la teneur en matière organique et la composition minéralogique du sol.

### I.2.2. Origine des charges de surface déterminant la CEC

Selon Van Olphen (1963) les colloïdes du sol peuvent être classés en deux grandes catégories selon leurs caractéristiques électro-chimiques :

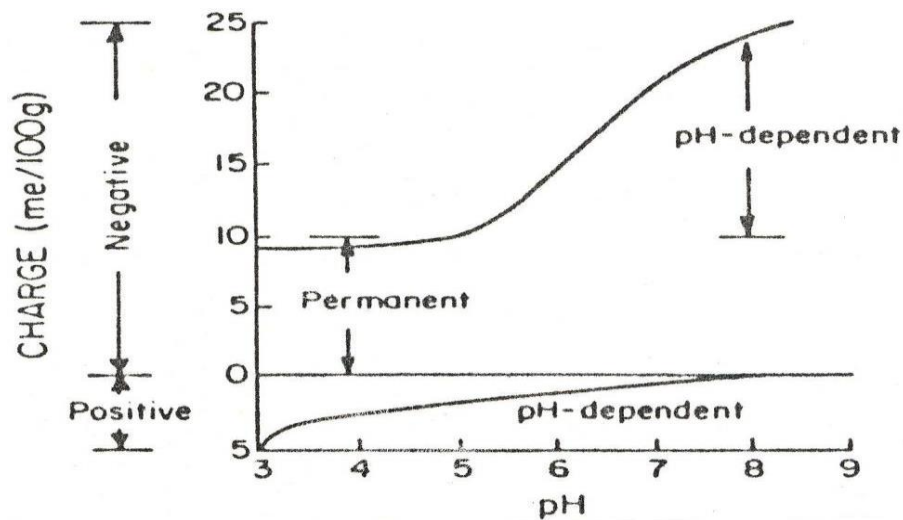
### 1.2.2.1. Les colloïdes à charge électrique constante

C'est le cas des minéraux argileux dont la charge provient de substitutions isomorphiques au sein des unités cristallines. Ces substitutions créent un déficit de charge qui se manifeste à la surface des cristallites argileux et est compensé par une charge équivalente et de signe opposé venant de la solution du sol : les cations échangeables.

### 1.2.2.2. Les colloïdes à charge électrique variable

A cette catégorie appartiennent les oxyhydroxydes, les minéraux argileux, les allophanes et les composés organiques. Leur charge électrique est dépendante de la concentration en  $H^+$  et  $OH^-$  du milieu ambiant : elle est donc liée au pH du milieu.

La figure 16 illustre la variation de charge de surface des colloïdes du sol en fonction du pH. Les charges négatives sont dominantes, avec toutefois une charge positive qui se développe à bas pH.



**Figure 2** -Variation de la charge nette de surface des colloïdes du sol (in Bohn, McNeal et O'Connor, 1979).

### *I.2.3. Charges permanentes*

Comme indiqué ci-dessus elles résultent de substitutions isomorphiques dans le réseau cristallin des minéraux argileux. Elles sont donc structurelles ou de constitution (on les dit aussi "charges fixes du réseau" ou "charges inhérentes"). Ces charges, toujours négatives, ne dépendent ni des conditions du milieu, ni du degré de division des particules argileuses, leur densité de charge restant constante par unité de surface.

Selon que les substitutions se produisent en couche tétraédrique ou octaédrique, l'efficacité de la charge résultante sera forte ou faible et fonction de la distance séparant la surface du feuillet argileux du lieu d'apparition de la charge.

Les charges permanentes sont largement dominantes au sein des minéraux argileux.

Toutefois, la charge nette du feuillet qui peut être calculée sur base de la structure cristalline de ce dernier (nature, localisation et abondance des substitutions), ne correspond pas nécessairement à la CEC du minéral argileux. En effet, la CEC ne sera directement liée à la charge du feuillet que si cette charge n'est pas trop élevée, car lorsqu'elle devient très forte (nombreuses substitutions en couche tétraédrique), les cations compensateurs sont fixes, font partie intégrante du réseau et ne sont donc plus susceptibles d'être libérés : ils ne sont plus échangeables (cas du  $K^+$  chez les minéraux micacés).

Ainsi, dans la séquence smectite ---> vermiculite ---> illite (ou mica), tous les cations seront "échangeables" dans le premier terme, uniquement  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  dans le second ( $K^+$  et  $NH_4^+$  seront fixés) et théoriquement aucun dans le dernier cas où les feuillets sont totalement inexpansibles par suite des ponts potassiques extrêmement fermes qui les rendent solidaires.

La charge nette du feuillet d'une montmorillonite, calculée ou mesurée, est d'environ 90 cmolc  $kg^{-1}$ ; par contre, la charge nette d'une muscovite, calculée, est de 278 cmolc  $kg^{-1}$  alors que sa CEC mesurée n'est que de 60 cmolc  $kg^{-1}$ .

#### *1.2.4. Charges variables dépendantes du pH*

Il s'agit de charges négatives ou positives apparaissant lors de l'ionisation de différents groupes fonctionnels. Les charges négatives se développent généralement à des  $\text{pH} > 5$  et les charges positives plutôt à bas  $\text{pH}$  ; l'ensemble de ces charges est appelé collectivement "charges dépendantes du  $\text{pH}$ ".

Les charges négatives sont dans l'ensemble dominantes et même exclusives chez certains constituants (composés organiques).

Quatre catégories de constituants sont à l'origine de ces charges variables :

1. Les composés organiques.
2. Les minéraux argileux.
3. Les allophanes.
4. Les oxyhydroxydes amorphes ou cristallins.

##### *1.2.4.1. Charges variables liées à la matière organique*

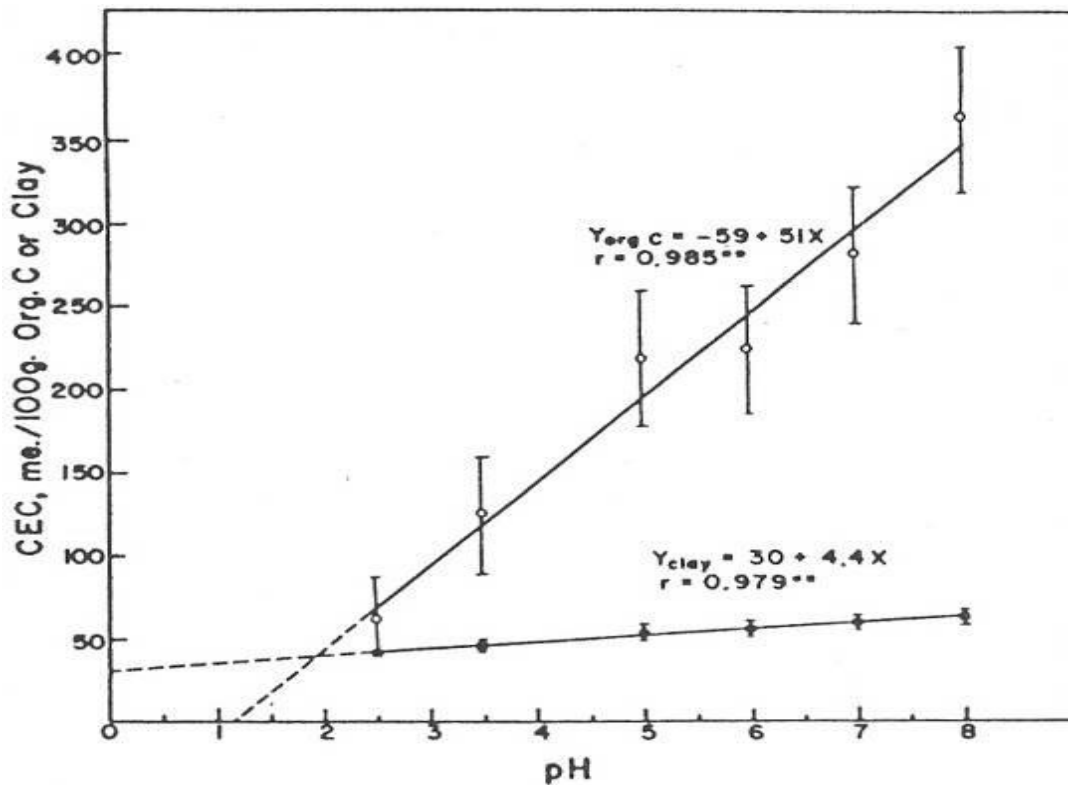
Toutes les charges développées par les composés organiques du sol sont dépendantes du  $\text{pH}$  et toutes sont négatives. Elles proviennent de l'ionisation de différents groupes fonctionnels acides et particulièrement des radicaux carboxyles, phénols et alcools.

Les charges négatives ainsi créées s'ordonnent selon les constantes de dissociation des groupes fonctionnels ; la dissociation étant croissante avec l'augmentation du  $\text{pH}$ . Les groupes carboxyles se dissocient à  $\text{pH}$  acide ( $\sim \text{pH} 4$ ) puis, à  $\text{pH} > 6$  se produit l'ionisation des radicaux phénoliques. Les charges négatives et donc la CEC développée par la matière organique sont croissantes avec le  $\text{pH}$ .

Par voie de conséquence, la CEC des constituants organiques du sol sera extrêmement variable et fonction du  $\text{pH}$  à laquelle elle sera déterminée (selon les protocoles, la CEC est déterminée soit au  $\text{pH}$  du sol, soit à des valeurs de  $\text{pH}$  bien

déterminées : pH 7 ou pH 8). De même, la contribution de la matière organique à la CEC totale du sol pourra varier de 20 % à pH acide à près de 50 % à pH 7.

La figure 3 illustrent tous deux l'influence du pH sur la CEC de la fraction organique (charges variables uniquement) et de la fraction argileuse (charges permanentes dominantes).



**Figure 3** -Influence du pH sur la CEC des composés humiques et des argiles (d'après Stevenson, 1982).

#### 1.2.4.2. Charges variables des faces de rupture des feuillets argileux

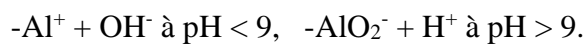
Ces charges négatives dépendantes du pH, apparaissent à la limite du feuillet, sur les faces de rupture de ce dernier où apparaissent des atomes (Si et Al) à liaisons non compensées (liaisons "brisées" des marges des microcristaux). On parle de "charges de bordure" ou de "charges accidentelles", par opposition aux charges fixes liées aux substitutions isomorphes.

Ces charges sont essentiellement dues à la dissociation des groupes -OH situés à la périphérie des feuillets. Tel est le cas de la fonction silanol (-SiOH), à caractère acidoïde, dont la dissociation se produit de la façon suivante :



Cette ionisation s'accroît avec le pH, entraînant une augmentation des charges négatives.

Par contre, le caractère amphotère de l'aluminium fait que l'ionisation du groupe -Al-OH(parfois appelé groupe fonctionnel aluminol) s'inverse vers pH 9 pour prendre une forme anionique :



Le nombre de charges variables est fonction du degré de division des cristallites argileux, en sorte que la CEC augmente au fur et à mesure que décroît la taille des particules.

Comme tous les minéraux argileux présentent des faces de rupture, tous développent des charges variables. Mais la proportion charges variables/charges permanentes est très différente selon les types d'argiles (tableau 09).

- Minéraux 2:1 : les charges de bordure ne représentent souvent que 5 à 20 % de la surface totale disponible (ex.: pour une montmorillonite, charges permanentes = 53 cmol.kg<sup>-1</sup>; charges variables = 7 cmol.kg<sup>-1</sup>).

- Minéraux 1:1 : les charges de bordure constituent la source principale de la charge (pas de charges permanentes).

**Tableau 1** -CEC et distribution des charges fixes (CEC<sub>c</sub>) et variables (CEC<sub>v</sub>) chez différents constituants du sol.

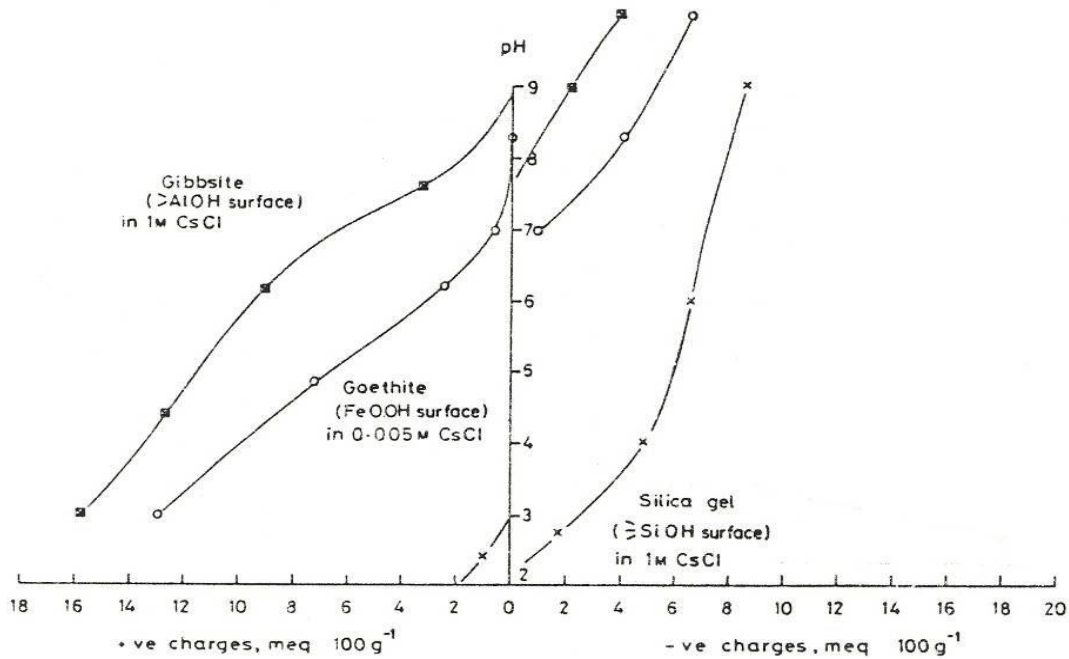
	CEC			Distribution des charges	
	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			% CEC totale	
	CEC <sub>tot</sub>	CEC <sub>c</sub>	CEC <sub>v</sub>	CEC <sub>c</sub>	CEC <sub>v</sub>
Montmorillonite	118,0	112,0	6,0	95	5
Vermiculite	85,0	80,0	5,0	94	6
Illite	19,2	11,5	7,7	60	40
Kaolinite	4,4	1,1	3,3	25	75
Halloysite	17,8	5,5	12,3	31	69
Allophane	51,0	10,3	40,7	20	80
Gibbsite	5,5	0,0	5,5	0	100
Goethite	4,1	0,0	4,1	0	100
Acide humique	270,0	62,0	208,0	23	77

*1.2.4.3. Charges variables liées aux oxyhydroxydes (amorphes ou cristallins) et aux allophanes*

L'origine de ces charges est à rechercher dans la dissociation amphotérique des sites hydroxylés de surface des oxyhydroxydes et des allophanes dont la surface spécifique peut être importante (jusqu'à 100 m<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>). Les charges induites sont soit positives, soit négatives,

et fonction du pH du milieu : en présence de molécules d'eau, une charge de surface est créée par adsorption ou désorption de protons.

On peut déterminer expérimentalement la charge nette de surface d'un oxyhydroxyde (la goethite par exemple) en réalisant une courbe de titration potentiométrique dans une solution saline de concentration déterminée. La figure 18 illustre ce type de courbes potentiométriques pour trois constituants (gibbsite, goethite et gel de silice), dans la gamme de pH de 3 à 9.



**Figure 4** - Charges de surface développées par la gibbsite, la goethite et un gel de silice, dans la gamme de pH de 3 à 9 (d'après Mashali, 1976).

Ces courbes montrent qu'à la surface des oxyhydroxydes concernés est engendrée une charge positive lorsque le pH décroît (sauf pratiquement pour le gel de silice) et, à l'opposé, une charge négative lorsque le pH augmente. En outre, il existe une valeur particulière du pH pour laquelle la surface des oxyhydroxydes se trouve à l'électroneutralité : cette valeur est le "point de charge nulle" ou "zéro point charge" (ZPC).

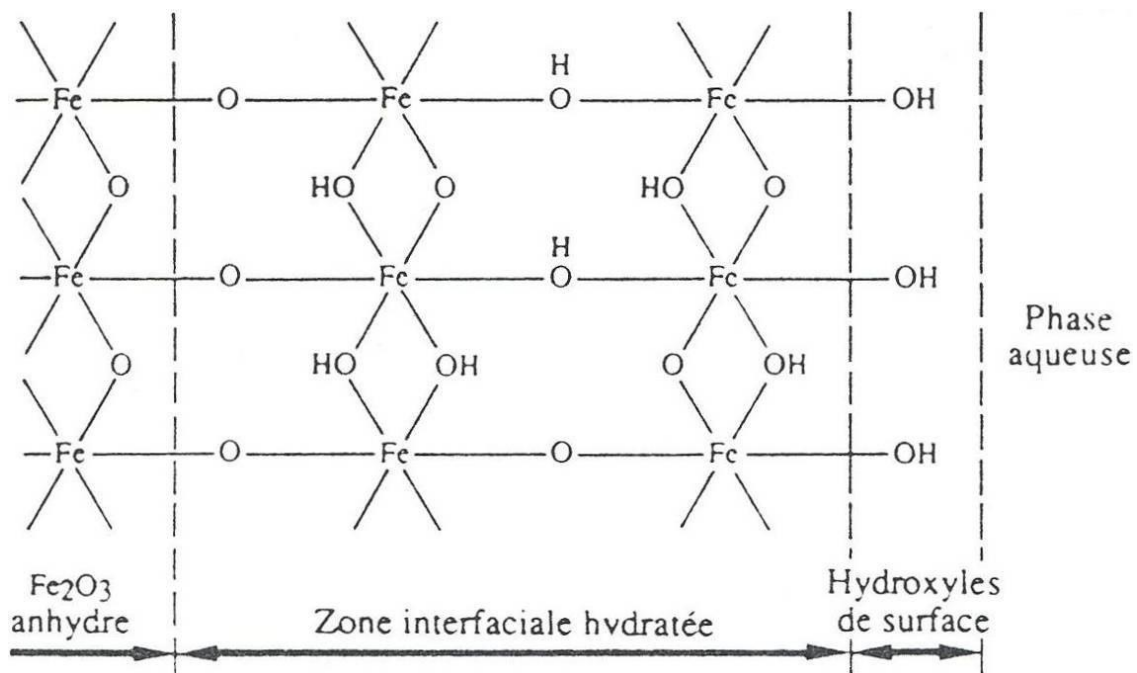
Lorsque le pH du milieu est supérieur au ZPC, la surface est chargée négativement ; inversement, si le pH est inférieur au ZPC de l'oxyhydroxyde, sa surface est chargée positivement.



Le ZPC d'un oxyhydroxyde dépend d'une série de caractéristiques inhérentes à la composition de celui-ci : taille du cation M, valence de ce cation, degré d'hydratation du solide, agencement spatial des ions, etc. Des oxydes fortement amphotériques tels que ceux de Fe et Al auront un ZPC proche de la neutralité, alors qu'un oxyde acide de type siliceux aura un ZPC à des valeurs de pH basses (fig.18). Selon Parks (1965), il existe une relation approximative entre la valence du cation M et le point de charge nulle de son oxyde :

- Ions bivalents ( $MO$ )  $\implies$   $pH\ 8,5 < ZPC < pH\ 12,5$
- Ions trivalents ( $M_2O_3$ )  $\implies$   $6,5 < ZPC < 10,4$
- Ions tétravalents ( $MO_2$ )  $\implies$   $0 < ZPC < 7,5$

En conséquence, les ZPC des principaux oxyhydroxydes du sol sont les suivants :  $SiO_2 \approx pH\ 2$  ;  $TiO_2 \approx pH\ 4,5$  ;  $MnO_2 \approx pH\ 4$  ;  $Fe_2O_3 \approx pH\ 6,5-8,0$  ;  $Al_2O_3 \approx pH\ 7,5-9,5$ . Il semble par ailleurs que la nature minéralogique et le degré de cristallinité des oxyhydroxydes a peu d'importance, puisque tous tendent à s'hydrater rapidement en surface (hydroxylation), de telle sorte que leur comportement en milieu aqueux est uniformisé.



**Figure 5** - Représentation schématique de l'interface hydratée d'un oxyde de fer (hématite) avec formation d'une intercouche de type goéthite (in Chamayou et Legros, 1989).

## I.3. Processus d'échange des cations

### I.3.1. Généralités

La charge de surface dont il a été question ci-dessus, en grande majorité électro-négative, est contrebalancée par une charge équivalente et de signe opposé. Cette charge est représentée par des cations compensateurs dits "échangeables" puisque pouvant participer à un processus d'échange réversible (sorption et désorption) avec les cations présents dans la solution du sol, pour autant que l'électroneutralité du système soit maintenue. Ces cations échangeables sont disponibles pour les végétaux.

On appelle double couche ("electric double layer") l'association de la surface des colloïdes chargée négativement et du manteau plus ou moins diffus des cations échangeables compensateurs.

On appelle complexe d'échange (ou complexe adsorbant) l'ensemble des constituants de la phase solide du sol qui sont responsables de la sorption des cations (et se comportent donc comme un "échangeur d'ions").

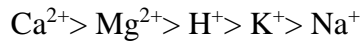
On appelle capacité d'échange cationique du sol (CEC) l'ensemble des sites électro-négatifs susceptibles de fixer, à un pH déterminé et de façon réversible, des cations échangeables. La CEC est toujours exprimée en  $\text{cmolc kg}^{-1}$  de sol. Elle correspond pratiquement à la quantité maximale de cations pouvant être retenus sous forme échangeable.

La CEC peut varier de 1 à plus de 100  $\text{cmolc kg}^{-1}$  de sol, en fonction des teneurs en matière organique et en argile ainsi que de la nature de ces deux constituants.

### I.3.2. Les cations qui se trouvent sur le complexe

On trouve sur le complexe des ions  $\text{H}^+$  ainsi que des cations métalliques tels que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ . En règle générale, les ions bivalents sont mieux retenus que les monovalents. De même, les ions faiblement hydratés ( $\text{Mg}^{2+}$  et surtout  $\text{Ca}^{2+}$ ) sont mieux fixés et constituent des flocculants plus énergiques que les cations à fort taux d'hydratation ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ).

On peut ainsi définir une échelle en fonction de l'intensité de rétention des cations:



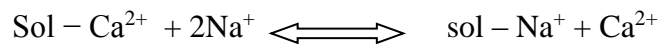
Toutefois, cet ordre varie en fonction du matériau qui assure la rétention (argile ou humus). Dans le cas de l'humus, c'est  $\text{H}^+$  qui est fixé avec la plus forte intensité.

### *1.3.3. Caractéristiques principales des processus d'échange cationique*

Les processus d'échange sont en principe :

**1- Réversibles** : tout cation, même s'il est fortement sorbé peut théoriquement être échangé par un autre.

**2- Stoechiométriques** : 1 cation bivalent est remplacé par 2 monovalents.



**3- Rapides** : l'équilibre qui s'établit entre cations sorbés et cations de la solution du sol est un équilibre cinétique et le processus d'échange est pratiquement instantané ou rapide (quelques minutes), pour autant que les conditions d'accès aux sites d'échange soient favorables (possibilité de libre diffusion des ions : l'échange est très rapide pour la kaolinite dont toutes les charges sont situées en bordure des feuillets, il est plus lent pour la montmorillonite puisqu'il concerne aussi l'espace interfoliaire).

### *1.3.4. Lois de l'échange des cations*

Grâce à ses propriétés, le sol s'oppose à tout changement massif de la composition de sa solution, et ce d'autant plus puissamment qu'il est riche en colloïdes. Cette particularité est appelée pouvoir tampon. Elle confère au sol une stabilité qui en fait un bon milieu biologique.

Les règles de l'échange des cations sont les suivantes:

- La somme des cations fixés et échangeables d'une unité de masse de sol est constante. Si un cation se fixe, un autre doit être libéré.

- Pour un cation donné, un équilibre s'établit entre les cations fixés et ceux qui sont libres dans la solution de sol. Si le cation quitte la solution, cela oblige le complexe à refournir une quantité de ce même cation, jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre s'établisse. Inversement, un apport de cations à la solution (engrais par exemple) déplace l'équilibre vers le complexe sur lequel il y a fixation jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

Les cations présents à la surface des colloïdes organiques et minéraux du sol n'y sont pas distribués de façon quelconque et présentent une sélectivité d'adsorption.

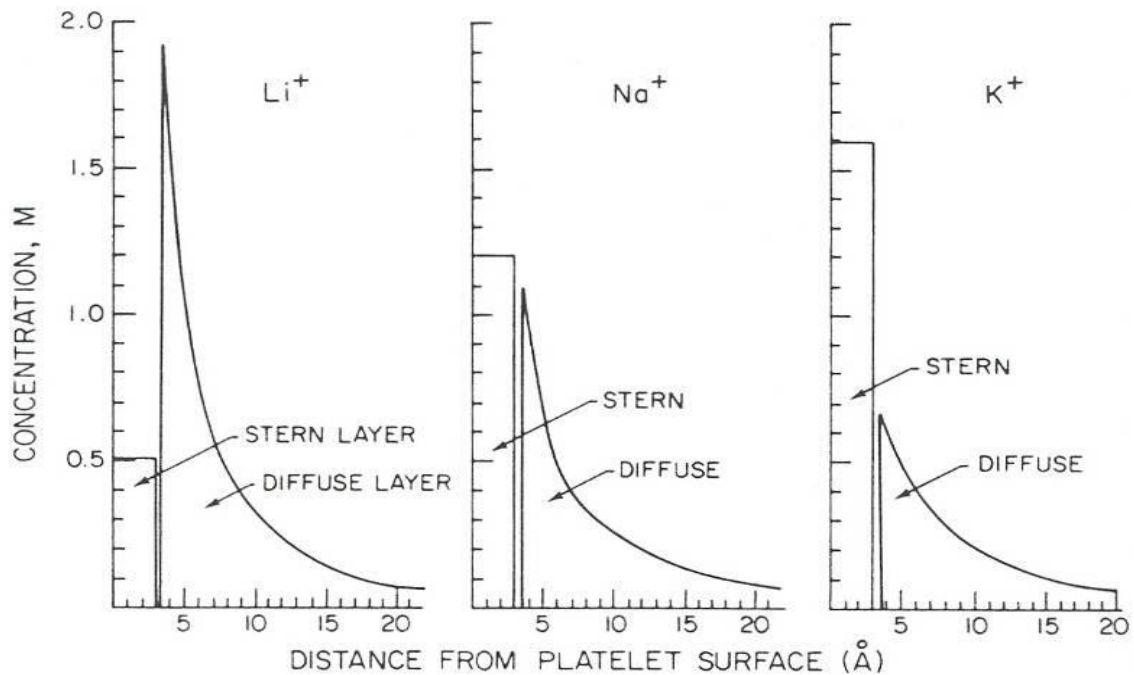
-Distribution des cations dans la double couche

Plusieurs modèles ont été proposés pour expliquer la distribution et la cinétique des cations dans la couche d'eau située à la périphérie des particules colloïdales, c'est-à-dire dans l'espace proche de "l'échangeur". Ces modèles, basés sur des considérations thermodynamiques, permettent de mieux comprendre les processus d'échange des cations dans les sols.

Les cations sont soumis à deux tendances antagonistes :

1) une attraction par le champ électrique des colloïdes (phénomène d'adsorption) ;

2) une tendance à se distribuer régulièrement dans la solution environnante (phénomène de diffusion). Ceci a pour effet de créer d'une part une couche cationique "interne" ou sous-couche compacte (encore appelée couche de Stern), à faible activité ionique et forte concentration ionique, d'autre part une couche "externe" ou sous-couche diffuse (couche de Gouy), à forte activité ionique et au sein de laquelle la concentration ionique passe progressivement à celle de la solution du sol (figure 21). Un équilibre existe entre ces 2 sous-couches dont la frontière fictive sépare en fait le domaine des ions échangeables de celui où ils se trouvent dans la solution du sol. Toute modification de la concentration relative d'un cation dans l'une d'entre elles entraîne une modification d'équilibre par échange (loi d'action des masses).



**Figure 6** - Distribution calculée de différents cations à la surface d'un minéral (in Bohn et al., 1979).

### II.3.5. Adsorption sélective des cations

En règle générale, tout échangeur sélectionne un type de cation au détriment d'un autre.

En conséquence, le rapport de concentration entre deux cations est différent sur l'échangeur (colloïdes argileux, composés humiques,...) et dans le milieu extérieur (solution du sol).

La sélectivité des processus d'échange est régie par :

#### II.3.5.1. La valence des cations

Les polyvalents sont généralement sorbés préférentiellement aux monovalents ( $M^+ < M^{2+} < M^{3+}$ ). C'est ce qu'illustre le tableau 19 : une montmorillonite saturée par différents cations de valences croissantes et désorbée par un cation monovalent.

( $NH_4^+$  ou  $K^+$ ) libère des pourcentages décroissants des cations concernés (N.B. : la quantité de  $NH_4^+$  ou de  $K^+$  utilisée pour désorber la montmorillonite est égale à la CEC de celle-ci).

### II.3.5.2. Le degré d'hydratation des cations

Pour des cations de valence égale, les moins hydratés présentent l'énergie d'adsorption maximale.

Ce sont les ions dont le rayon ionique "sec" (= rayon ionique de l'ion dans une structure cristalline) est le plus petit (ions à forte densité de charge) qui présentent le plus grand rayon ionique en solution aqueuse (= rayon ionique hydraté ou rayon de Stokes), c'est-à-dire le plus gros manteau d'eau de solvation. Ces ions fortement hydratés ne peuvent donc que difficilement s'approcher de la surface des colloïdes : ils seront faiblement sorbés. A l'opposé, un cation à faible sphère d'hydratation sera efficacement sorbé.

Dans la série des alcalins et des alcalino-terreux, un ion en déplacera un autre de rayon hydraté plus élevé (et inversement de rayon ionique sec plus faible : voir tableau 10).

**Tableau 2** - Relation entre la charge de différents cations saturant une montmorillonite, leur rayon ionique et l'efficacité de leur désorption par des ions monovalents (explications dans le texte) (in Bohn et al., 1979).

ION	CRYSTALLOGRAPHIC (DEHYDRATED) RADIUS (Å)	% RELEASED BY NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> OR K <sup>+</sup>
Li <sup>+</sup>	.68	68
Na <sup>+</sup>	.97	67
K <sup>+</sup>	1.33	49
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.43	50
Rb <sup>+</sup>	1.47	37
Cs <sup>+</sup>	1.67	31
"H <sup>+</sup> " (Al <sup>3+</sup> )	(?)	15
Mg <sup>2+</sup>	.66	31
Ca <sup>2+</sup>	.99	29
Sr <sup>2+</sup>	1.12	26
Ba <sup>2+</sup>	1.34	27
Al <sup>3+</sup>	0.51	
La <sup>3+</sup>	1.02	14
Th <sup>4+</sup>	1.02	2

<sup>a</sup> Reprinted with permission from *J. Phys. Chem.* 39:593-604. Copyright by the American Chemical Society.

Exemples : Ca<sup>2+</sup> est plus fortement sorbé que Mg<sup>2+</sup> puisque leurs rayons ioniques hydratés respectifs sont de 3,07 et 3,45 Å (leurs rayons cristallographiques sont respectivement de

0,99 et 0,66 Å) ; de même, K<sup>+</sup> déplacera Na<sup>+</sup> de ses sites d'échange puisque leurs rayons ioniques hydratés sont respectivement de 1,24 et 1,38 Å.

L'échangeabilité relative des ions est fréquemment exprimée dans une série lyotropique :



### II.3.5.3. La concentration de la solution

Lorsque la concentration augmente, l'activité des ions décroît et elle diminue plus vite pour les bivalents que pour les monovalents et plus vite aussi pour les ions peu hydratés que pour les ions très hydratés. En d'autres termes, la dilution augmente l'activité des bivalents plus que celle des monovalents : elle favorise donc l'adsorption préférentielle des premiers et la mise en solution des seconds.

Lorsqu'une montmorillonite saturée Ca<sup>2+</sup> est mise en contact avec une solution d'un sel de baryum (Ba<sup>2+</sup>) ou d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) de concentrations décroissantes, on observe que cet effet de dilution se marque par une efficacité décroissante de la désorption du Ca<sup>2+</sup> uniquement dans le cas du cation monovalent (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), comme le montrent les résultats ci-dessous (tableau 11).

**Tableau 3** - Désorption d'une montmorillonite saturée Ca<sup>2+</sup> par Ba<sup>2+</sup> ou NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, en fonction de la concentration de la solution d'échange (in Bohn et al., 1979).

SOLUTION ADDED		PERCENT Ca <sup>2+</sup> REPLACED BY:	
ml	N	Ba <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
25	0.04	49.7	29.8
100	0.01	50.2	20.8
200	0.005	50.8	16.6
400	0.0025	52.7	15.2

Dans cette expérience, la quantité de cation saturant ajoutée est égale à la CEC de l'échangeur (1 g de montmorillonite = CEC de 1 mmolc ; 1 mmolc 25 mL<sup>-1</sup> = solution 0,04 N).

## I.4. Principaux facteurs réglant l'intensité des phénomènes de sorption et d'échange des cations

### II.4.1. La nature des colloïdes

Le tableau suivant donne :

**Tableau 4** - la capacité de sorption des principaux colloïdes négatifs à PH 7

Kaolinite	3 à 15 meq/100g
Halloysite	5 à 50 meq/100g
Montmorillonite	80 à 150 meq/100g
Illite	10 à 40 meq/100g
Chlorite	10 à 40 meq/100g
Vermiculite	100 à 150 meq/100g
Matièreorganique	100 à 450 meq/100g

Mais, pour un même colloïde, les valeurs de CEC dépendent du PH : l'augmentation des valeurs de PH se traduit généralement, pour les colloïdes négatifs, par une augmentation des charges négatives, Inversement, l'acidification du sol se traduit par une diminution de la sorption cationique.

A titre d'exemple, le tableau suivant donne les valeurs CaOsorbé (en meq/100g d'argile) en fonction du PH :

**Tableau 5** - les valeurs CaOsorbé (en meq/100g d'argile) en fonction du PH

<b>PH</b>	<b>CaOsorbé en meq pour 100g d'argile</b>
2,61	0,53
3,81	3,75
4,75	6,75
6,35	8,70
6,90	11,90
7,00	14,95
8,00	16,76
8,60	25,44
10,54	35,12

#### *II.4.2. La nature des ions*

La fixation des ions suit un ordre préférentiel : les cations habituellement fixés sur le complexe sont :

1. les ions  $H^+$

2. les cations métalliques, parmi lesquels :

-Certains sont fixés en quantité importante :  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,...

-D'autres en quantité généralement plus limitée :

1-l'ion ammonium  $NH_4^+$

2-Les oligo-éléments :  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,...

3-Le fer  $Fe^{2+}$  ou  $Fe^{3+}$

4-L'aluminium  $Al^{3+}$

L'intensité avec laquelle ces ions sont retenus est en générale la suivant :

Anions:  $\text{SO}_4 > \text{F} > \text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{Br} > \dots$

Cations:  $\text{Li} < \text{Na} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{Ba} < \text{Al} < \text{H}$

Un cation est donc déplaçable par tous ceux qui sont situés à sa droite.

Mais cet ordre de préférence (cations à égales concentrations dans la solution du sol) est différent pour chaque type d'argile et pour l'humus.

Par exemple :

Kaolinite..... $\text{Na} < \text{H} < \text{K} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{Ba}$

Montmorillonite..... $\text{Na} < \text{K} < \text{H} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{Ba}$

Mica..... $\text{Na} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{K} < \text{H} < \text{Ba}$

Acides humiques..... $\text{Na} < \text{K} < \text{Mg} < \text{Ca} < \text{Ba}$

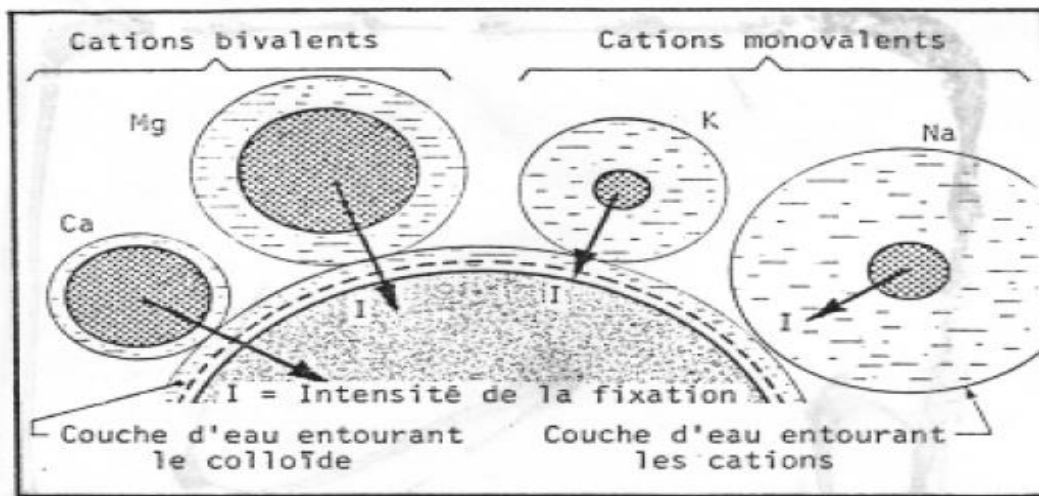
Cet ordre préférentiel de fixation, d'une grande importance pédologique, peut s'expliquer ainsi :

⇒ L'intensité de fixation dépend de la valence et l'hydratation des ions :

Les ions bivalents  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  sont plus énergiquement retenus que les ions monovalents  $\text{K}^+$  ;  $\text{Na}^+$ ,...

Les ions faiblement hydratés ( $\text{Mg}^{2+}$  et surtout  $\text{Ca}^{2+}$ ), c'est-à-dire entourés d'une faible couche d'eau (voir figure ci-dessous) sont mieux fixés que les ions fortement hydratés ( $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ )

⇒ Pour chaque ion, il existe un équilibre entre la quantité de cet ion fixée sur le complexe adsorbant et la concentration de cet ion dans la solution du sol.



**L'INTENSITÉ DE FIXATION DES CATIONS dépend de leur valence et de leur hydratation.**

- Les ions bivalents, Ca et Mg, sont plus énergiquement fixés que les monovalents.
- Plus les cations sont entourés d'une couche d'eau importante, moins ils peuvent s'approcher des colloïdes. Pour cette raison, le sodium, bien qu'étant un ion flocculant, assure la flocculation la moins stable.

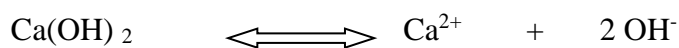
**Figure 7** - la fixation des cations : valence et degré d'hydratation (tiré de Soltner D.,1992)

## I.5. Le mécanisme de l'échange des cations

### II.5.1. Deux exemples d'échange de cations

-Le remplacement des ions  $H^+$  par des cations  $Ca^{2+}$  :

Lorsque l'on introduit de la chaux dans un sol, ses molécules se dissocient :



-L'échange de cations  $Ca^{++}$  contre des cations  $K^+$  :

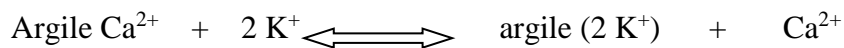
Si dans ce sol enrichi en calcium par le chaulage, on introduit du chlorure de potassium ( $KCl$ , engrais potassique), ce sel se dissout, puis se dissocie en anions  $Cl^-$  et cations  $K^+$ . Ces derniers, augmentant la concentration en ions  $K^+$  de la solution, provoquent un échange avec le complexe : ils prennent sur celui-ci la place d'ions  $Ca^{2+}$ , à raison de  $2K^+$

pour  $1\text{Ca}^{2+}$ . Ces cations  $\text{Ca}^{2+}$  remis en solution forment, avec les anions  $\text{Cl}^-$  du  $\text{CaCl}_2$ , sel soluble qui peut être lessive : cet apport d'engrais potassiques (voir figure 3 ci-dessous).

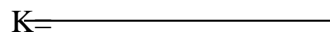
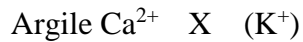
### II.5.2. Mécanisme d'échange : recherche d'un équilibre entre complexe et solution du sol

Supposons la présence simultanée des ions  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{2+}$  dans le système : argile-solution du sol.

Nous avons l'équation d'équilibre :



Avec :



Avec :

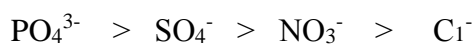
$K$  = constante d'équilibre qui dépend de la nature des colloïdes, de la nature des ions, ...

## I.6. La sorption et l'échange des anions

Dans les eaux de drainage, on trouve beaucoup d'anions  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ , ...

Apparemment donc ces ions ne sont pas retenus par le pouvoir adsorbant du sol. De fait, chacun sait que les nitrates sont très facilement perdus par lessivage.

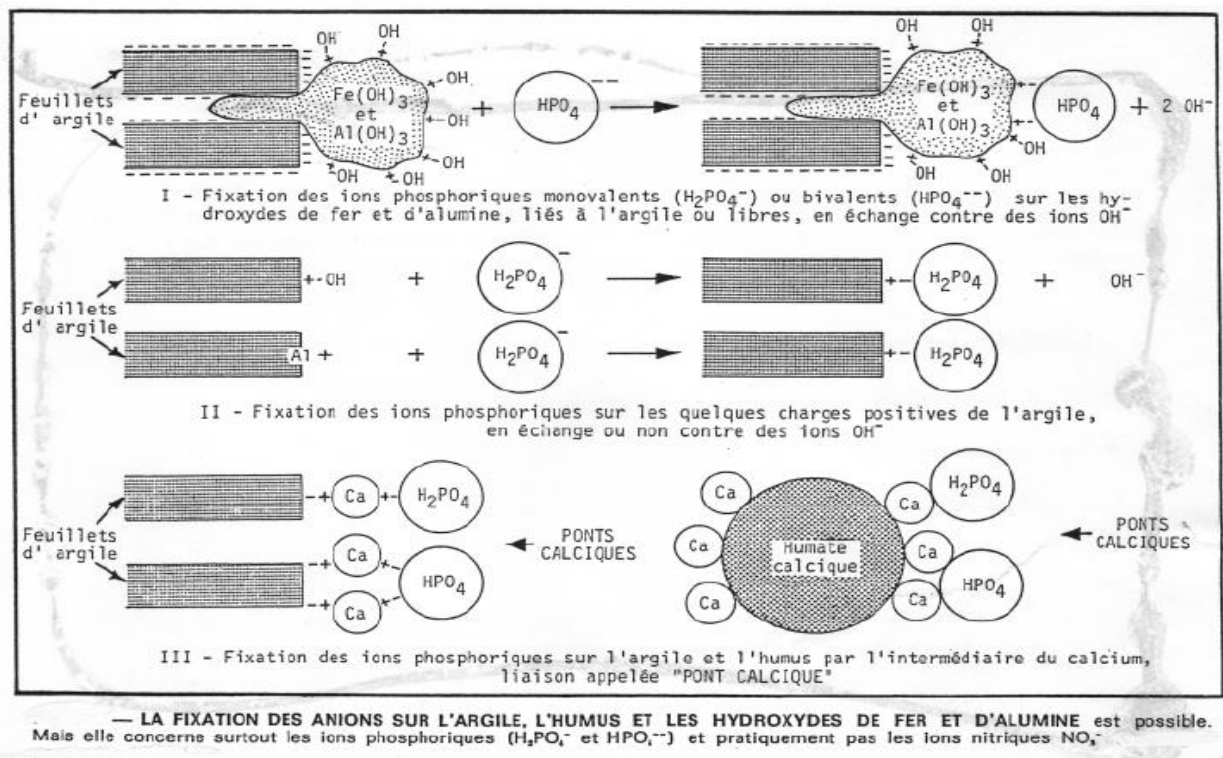
Pourtant, les anions  $\text{PO}_4^{3-}$  sont très bien retenus. Certains anions peuvent donc être fixés, leur énergie de fixation serait la suivante, par ordre décroissant :



Plusieurs mécanismes expliquent cette fixation (voir figure 23) :

-la fixation sur les hydroxydes de fer et d'aluminium, colloïdes positifs liés à l'argile, en échange contre des ions OH<sup>-</sup>.

-fixation sur quelques valences positives des argiles, en échange contre des ions OH<sup>-</sup>, ou sur des liaisons de bordure (Al<sup>3+</sup>)



-fixation sur l'argile ou l'humus par l'intermédiaire d'ions  $Ca^{2+}$  (ponts calcique).

**Figure 8** - les modes de fixation des anions (tiré Soltner D., 1992)

## I.7. Trois valeurs pour caractériser un sol

### II.7.1. La capacité totale d'échange (T) ou capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité totale d'échange ou capacité d'échange de cations est la quantité maximale de cations qu'un sol peut adsorber (pour 100 g de matière sèche).

Autrement dit, cette mesure représente le total des charges négatives du sol disponibles pour la fixation :

-des ions  $H^+$  et  $Al^{3+}$

-des cations appelés bases échangeables :  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  (l'ion  $NH_4^+$  peut être présent aussi, mais étant très minoritaire, il n'est pas pris en compte).

On l'exprime en milliéquivalents (meq) pour 100g de matière sèche. L'équivalent d'un corps étant le rapport masse atomique (en g) / valence de ce corps. le milliéquivalent en est le millième.

Exemple : un sol qui a une CEC de 20 meq pourrait retenir :

-en  $Ca^{2+}$  :  $20 \text{ meq} * 40/2 = 400 \text{ mg de Ca/100 g de sol.}$

-en  $Na^+$  :  $20 \text{ meq} * 23/1 = 460 \text{ mg de Na/100 g de sol.}$

La CEC d'un sol dépend de la nature des colloïdes de ce sol et du PH de ce sol.

Les normes officielles cependant recommandent plutôt d'exprimer la CEC en fonction des moles, qui définissent la même grandeur que l'équivalent. En conséquence, les résultats seront désormais exprimés en centimoles de charges positives par kilogramme (cmol+/kg). À savoir, pour toute conversion entre les deux systèmes d'unités, que 1 cmol+/kg vaut exactement 1 méq/100g.

La capacité totale d'échange d'un sol est stable. Elle ne dépend que du taux et de la nature des colloïdes du sol. Ainsi, la capacité totale d'échange est élevée pour les sols argileux et humifères, faible pour les sols sableux (tableau 14).

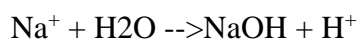
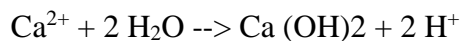
**Tableau N°14** : Exemple de quelques valeurs pour T

<b>Nature des composés</b>	<b>Capacité d'échange (T)</b>
composés humiques	300 à 500 méq/100g
argiles	80 à 150 méq/100g
Matière organique peu humifiée	100 méq/100g

*1.7.2. La somme des bases échangeables (S) et l'acidité d'échange (AE)*

Il s'agit de la somme des quantités de cations métalliques échangeables (classiquement  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ ) fixés sur le complexe à un moment donné. On l'exprime habituellement en méq/100g de terre.

Les cations métalliques ne sont pas à proprement parler des bases, mais des «générateurs de bases». En effet, ils se combinent aux molécules d'eau pour former des bases:



La différence T-S (capacité totale d'échange – somme des bases échangeables) représente la quantité d'ions  $\text{H}^+$  et  $\text{Al}^{3+}$  fixés. Cette différence peut encore être appelée « insaturation ».

Elle représente l'acidité potentielle, l'acidité de réserve ou l'acidité d'échange du sol (AE).  $T = S + \text{Al}^{3+} + \text{H}^+$

### II.7.3. Le taux de saturation (V% ou S/T)

Le taux de saturation est calculé par le rapport entre la somme des bases échangeables et la capacité d'échange, On l'exprime en % de cations fixés par rapport au total des ions du complexe:  $V=S/T \times 100$

Ce taux est variable d'un sol à l'autre, et même d'une année à l'autre pour un seul et même sol. En effet toute cause capable d'apporter ou au contraire d'enlever des bases échangeables au complexe le fait varier.

Les principaux facteurs influençant le taux de saturation sont :

-de la richesse chimique de la roche mère.

-de la fréquence et de l'importance des apports de cations (surtout Ca lors des amendements calcaires,...).

-de l'importance du lessivage, donc du climat, et de la perméabilité du sol.

Les sols formés sur calcaire (riches en calcaire actif) ont souvent un taux de saturation voisin de 80 à 90%. Dans leur cas,  $Ca^{2+}$  représente 70 à 80 % de la somme des bases échangeables (S).

Les sols formés sur des roches sableuses, gréseuses ou granitiques (soit pauvres en bases et filtrantes) ont un taux de saturation souvent inférieur à 20 % (tableau 15).

**Tableau 6-** Exemple de quelques valeurs pour les taux de saturation de grands types de sols

Types de sol	Taux de saturation (V)
Calcosols	V = 90 à 100%
Neoluvisols	V = environ 50%
Podzosols	V < 20%

Le taux de saturation du complexe adsorbant est un précieux indicateur pédologique et agronomique quant à la richesse chimique du sol. Toutefois, il faut se garder d'établir une équivalence automatique entre taux de saturation et niveau trophique : cette attitude semble critiquable car le niveau trophique (ou plus largement la fertilité) d'un sol dépend de beaucoup d'autres facteurs tels que la teneur en argile, la structure, l'aération, le PH, la profondeur prospectable par les racines, la réserve utile en eau, les teneurs en NPK,...

Selon la valeur du taux de saturation, on peut ajouter un adjectif au nom du sol :

**Tableau 7** - la valeur du taux de saturation et adjectif au nom du sol

<b>Taux de saturation S/T</b>	<b>Adjectif</b>
100%	Saturé
95%	saturé
80%	Quasi-saturé
50%	Méso-saturé
30%	Oligo-saturé
15%	désaturé
0%	Hyper-saturé

Le complexe adsorbant, par son pouvoir adsorbant

-met en réserve les éléments nutritifs qui, sans lui, seraient perdus par lessivage, en les échangeant principalement contre les ions  $Ca^{2+}$ , faciles à déplacer.

-libère ces éléments pour les racines, en les échangeant notamment contre les ions  $H^+$  formés continuellement par l'activité biologique (microbes et racines) élaborant de l'acide carbonique ( $H_2CO_3$ ).

-régularise la composition de la solution du sol, milieu de vie des racines et des microbes.

Ce mécanisme de régulation concerne, outre la teneur en bases échangeables, mais aussi la teneur en  $\text{Al}^{3+}$  et en  $\text{H}^+$ , ions responsables de l'acidité des sols (voir deuxième partie).

L'aluminium n'est stable dans le sol que sous forme d'hydroxyde  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Pour obtenir des anions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ), il provoque la dissociation de la molécule d'eau, libérant ainsi des protons  $\text{H}^+$ .

### I.8. Garniture cationique du complexe adsorbant dans les sols

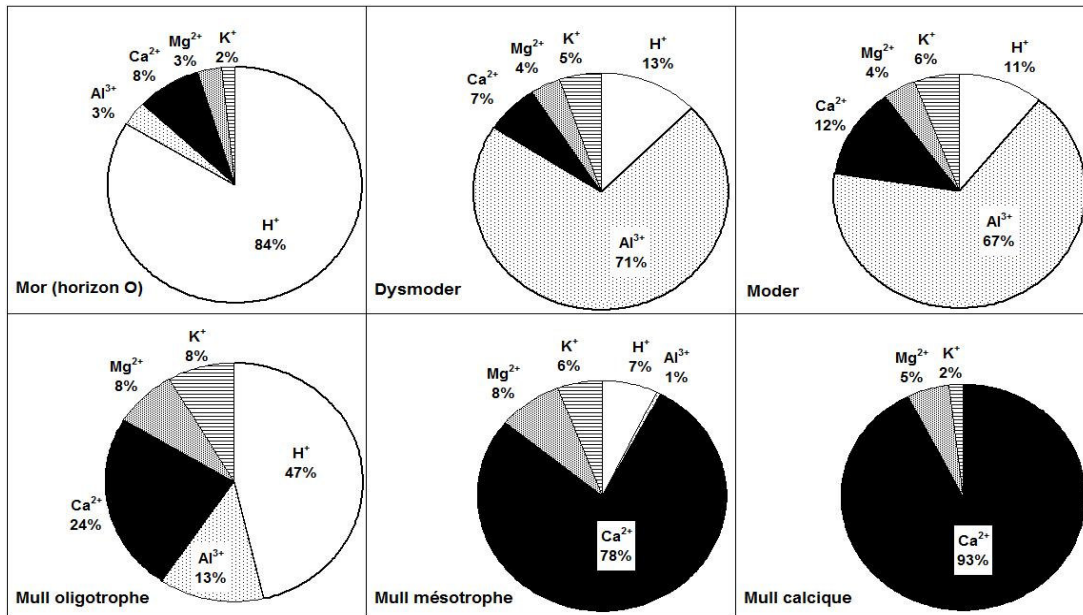
Elle est très variable selon les types de sols et les conditions du milieu. Le tableau 17 illustre, à titre d'exemple, la composition du complexe d'échange de quelques sols mondiaux contrastés et la figure 24 celle des principaux types d'humus forestiers. Les principaux facteurs qui influencent la garniture cationique du complexe d'échange sont les suivants :

- **Les conditions climatiques** : tendance à la désaturation en climat humide (lixiviation des cations "basiques", au profit des cations "acides"  $\text{H}^+$  et  $\text{Al}^{3+}$ , voir ci-dessous) ; tendance à la saturation en climat sec, à forte évaporation (concentration de la solution du sol).
- **La nature de la roche-mère ou du matériau parental** : abondance de calcium sur roches carbonatées, de magnésium sur roches ultrabasiques, de sodium sur matériaux salinisés ; déficiences marquées en cations alcalino-terreux et alcalins sur roches siliceuses, etc.
- **Le type d'humus, déterminé par les conditions bioclimatiques et la nature de la couverture végétale** : les mors, très organiques et source d'acidité, favorisent la désaturation, alors que les mulls tendent plutôt à la freiner.
- **L'activité humaine** : pratiques agricoles tendant à augmenter le taux de saturation (amendements, fertilisations, pratique du brûlis, etc.) ou effets acidifiants de certaines pollutions ("pluies acides" :  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , etc.). L'homme est aussi responsable de l'introduction dans les sols de cations échangeables "indésirables" et souvent toxiques tels que divers métaux lourds (Cd, Pb, Zn, etc.).

**Tableau 8** - Caractéristiques analytiques du complexe d'échange de quelques sols contrastés.

**Podzol à mor.** Forêt résineuse boréale (Alaska). Matériau parent : moraines.

Horizon	Prof.	M.O	C/N	pH	pH	Ac.é ch	Cations échangeables				CEC effect	Taux satur. effect	Taux satur.Al
	cm	%		eau	KCl		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>			
							cmolc kg <sup>-1</sup>					%	
O	10-0	85,0	43	3,6	-	89,2	85	3,1	1,8	3,3	102,9	13	3,2
E	0,5	20,0	35	3,7	-	34,1	0,1	0,2	0,2	4,8	34,8	2	13,8
B <sub>h</sub>	5-13	23,5	31	4,6	-	75,9	0,1	0,1	0,1	4,6	76,3	1	6,0
B <sub>s</sub>	13-23	13,2	30	4,9	-	60,0	0,3	0,1	0,1	1,7	60,6	1	2,8
B <sub>v</sub> /C	23-33	2,6	24	5,5	-	20,4	0,7	0,1	0,1	0,5	21,5	5	2,3
C	33-76	0,34	-	5,8	-	4,6	0,6	0,1	0,1	0,2	5,6	18	3,6



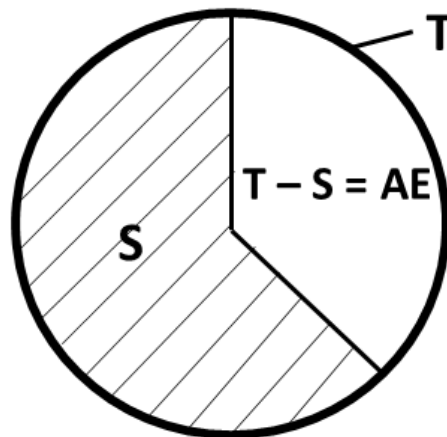
**Figure 9** - Garniture cationique du complexe d'échange des principaux types d'humus forestiers (horizon hologranique O pour le mor, horizon hémiorgranique Ah pour les autres types d'humus).

### I.9. Synthèse

**T** : capacité d'échange cationique

**S** : somme des bases échangeables

**AE** : acidité d'échan



**Figure 10** - Représentation schématique des différentes fractions constitutives de la capacité d'échange cationique (CEC).

$T = CEC =$  capacité totale d'échange cationique. La capacité d'échange totale (T ou CEC) d'un horizon ou d'un échantillon de sol correspond à la quantité totale de cations que celui-ci peut retenir sur son complexe adsorbant (= complexe argilo-humique), à un pH donné.

$S =$  somme des bases échangeables = quantité de cations métalliques actuellement fixés sur le complexe ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,...).

$AE = T-S =$  acidité d'échange = somme des ions  $H^+$  fixés sur le complexe = insaturation du complexe.

$V = S/T \times 100 =$  taux de saturation dépendant de la richesse en bases de la roche-mère et de la fréquence des apports en calcium et autres cations.

### I.10. Relation entre le taux de saturation et l'acidité du sol

Ces deux valeurs sont en général inversement proportionnelles (tableau 9) :

- plus un sol est saturé, plus son acidité est faible et son PH élevé.
- plus un sol est désaturé, plus son acidité est forte et son PH faible.

**Tableau 9-** Relations entre le taux de saturation (V) et le pH pour différents types de sol.

Type de sol	Taux de saturation	PH H <sub>2</sub> O
Rendosol	V = 80 à 90%	PH= 7,5 à 8,5
Brunisol	V = 40 à 50%	PH= 6,5 à 7,5
Podzosol	V < 20%	PH= 4 à 5,5

### I.11. Le taux de saturation comme indicateur de l'évolution

Le taux de saturation constitue l'aspect quantitatif de l'adsorption, ce qui est très important pour mesurer l'état d'évolution d'un sol. En effet, tous les complexes argilo-humiques n'adsorbent pas la même quantité d'ions.

L'évolution du sol va le conduire à la désaturation. S'il est issu de roche calcaire, le sol est riche en carbonates ( $\text{CaCO}_3$ ) et son complexe est saturé de cations  $\text{Ca}^{2+}$  essentiellement. Peu à peu, les pluies vont attaquer les carbonates (processus de décarbonatation). Le calcium n'est plus lié et donc beaucoup plus sensible au lessivage : c'est le processus de décalcification qui s'amorce. Par la suite, les argiles sont petit à petit dispersées et migrent dans le profil (sols lessivés), d'où des complexes moins aptes à retenir les cations basiques. Le taux de saturation devient ainsi un indicateur de l'état d'évolution d'un sol puisqu'il nous indique à quelle phase de désaturation celui-ci se situe.

Le Référentiel Pédologique Français distingue 5 domaines en fonction du taux de saturation du sol (tableau 19). Prudence avec les sols acides, pour lesquels il faut déterminer la CEC effective, soit la CEC au pH du sol, pour l'accorder au tableau 10.

**Tableau 10-** Qualificatifs d'un sol en fonction de son taux de saturation (S/T) (selon A.F.E.S., 1995).

S/T(%)	Qualificatif
95 à 100	Saturé (ou resaturé)
80 à 95	Subsaturé (ou resaturé)
50 à 80	mésosaturé
20 à 50	oligosaturé
0 à 20	désaturé

Le terme "insaturé" qualifie quand à lui un horizon ou un solum dont le rapport S/T est inférieur à 80%.

Dans les sols calcaires ou dolomitiques, il est fréquent que le rapport S/T dépasse 100%, parfois même très largement. Ce résultat aberrant est essentiellement dû à la dissolution d'une fraction de calcite ou de dolomie par le réactif d'extraction. Ainsi, la détermination de S est généralement inutile en sols que l'on sait calcaires.

En outre, le Référentiel Pédologique utilise le rapport S/T mesuré dans les horizons S (horizons structuraux) pour distinguer les 4 références de Brunisols (tableau 11).

**Tableau 11-** Rapport S/T dans les différentes références de Brunisols.

Référence	Rapport S/T
Brunisol Saturé	80 à 100%
BrunisolMésosaturé	50 à 80%
Brunisololigosaturé	20 à 50%
Brunisolresaturé	> 80%, PH > 6,0 complexe resaturé par la mise en culture

### I.12. Le taux de saturation comme indicateur de la fertilité

La fertilité minérale d'un sol se mesure par rapport aux éléments principaux que sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). Or, les nitrates et les phosphates sont des anions, et ne sont par conséquent pas pris en compte par le rapport S/T. De plus, le calcium représente environ 90 % de cette mesure, alors que le potassium n'y est que faiblement représenté.

Ainsi, le taux de saturation constitue un indicateur valable uniquement dans sa globalité, puisqu'il ne permet pas d'isoler la fertilité en potassium (cation essentiel) et ne prend pas en compte les anions essentiels que sont les phosphates et les nitrates.

### I.13. Rôle agricole du pouvoir adsorbant

Par son pouvoir adsorbant, le complexe argilo-humique du sol a un rôle essentiel dans l'alimentation des plantes. Il régularise la composition de la solution du sol et met réserve les éléments nutritifs qui, sans lui, seraient perdus par lessivage. La régulation des phénomènes d'alimentation est ainsi assurée par lessivage. La régulation des phénomènes particuliers du sol (que Pedro (1987) appelle le « plasma argilo-humique ») et dont les

propriétés chimiques de surface sont appréhendées à travers la notion de capacité d'échange.

Sachant que la capacité potentielle d'échange d'un sol est stable puisqu'elle dépend du taux et de la nature des colloïdes de ce sol, et que celui-ci ne peut beaucoup varier, le pouvoir adsorbant d'un sol, donc sa capacité à retenir des éléments nutritifs, va être directement liée aux types de sol. La CEC est élevée pour les sols argileux et humifères et faible pour les sols sableux puisqu'elle résulte de la proportion de ces différents colloïdes. Elle peut cependant varier à terme, si le taux d'humus augmente ou diminue. La capacité d'échange effective dépend en plus du pH du sol : elle peut doubler lorsque le pH passe de 5 à 8.

D'où l'importance de la quantité et de la nature des colloïdes du sol pour mettre en réserve, libérer et réguler les éléments nutritifs de la plante issus de l'altération des minéraux primaires, de la minéralisation de l'humus et / ou de l'apport anthropique d'amendements ou de matières fertilisantes.

Enfin, ce mécanisme de régulation concerne outre la teneur en cations métalliques, la teneur en ions  $H^+$  de la solution, qui définit sa réaction. On notera ainsi toute l'importance de la fertilité potentielle d'un sol.

# **Chapitre II- Présentation de la région d'étude**

## II.1. Présentation de la région

### II.1.1. Situation géographique du périmètre

Le périmètre irrigué de la Mina, créé en 1943, occupe une superficie totale de 13.647 ha, dont 9592 ha sont irrigables sur les 10.580 ha que compte la SAU. Il est situé dans la vallée du plus grand affluent du Chélif (Oued Mina). Il est traversé par la route nationale N°04.

La partie centrale du périmètre se trouve dans le nord de l'Oued Mina qui coule vers le Nord et se jette dans l'Oued Chélif. La partie Ouest du périmètre s'étend à gauche et à droite de la route menant à la ville d'Oran et comprend le voisinage immédiat de la ville d'El Matmar. La partie est s'étend à gauche et à droite de la route menant vers la ville de Chlef et comprend les environs de la localité de la ville de Oued Djema.



Figure 11 -Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane)INSID(2008).

### II.1.2. Situation géographique des parcelles d'étude

Les parcelles d'étude, se trouvent dans la commune d'El Matmar. La zone d'étude, où se localisent les parcelles étudiées, est délimitée par l'oued mina, à l'Est, l'autoroute Est-Ouest, au Nord, le chemin de fer Alger-Oran, au Sud et à l'Ouest par des parcelles limitrophes (Figure 27).



**Figure 12** -Localisation de la zone d'étude(Source : Google Earth.2016)

### II.1.3. Climat de la Mina

L'analyse du climat de la Mina est effectuée sur la base des données de la station climatique de la station de Matmore (Oued Mina). Ces données climatiques couvrent une période de 33 ans, allant de 1977 à 2010.

Les coordonnées géographiques de la station climatique du barrage de sidi M'hamedBenaouda sont les suivantes :

**Longitude, E=304,3km**

**Latitude, N=272,2km**

**Altitude, Z=75m**

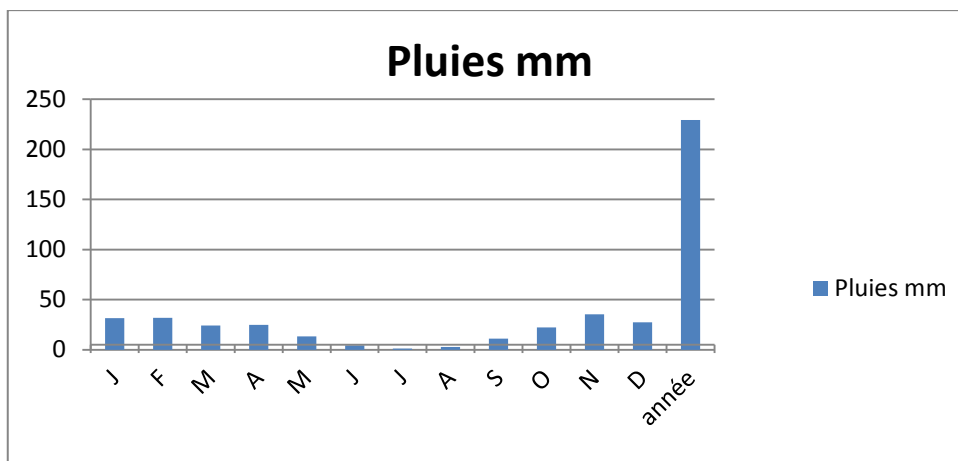
### *II.1.3.1. Pluviométrie*

L'analyse pluviométrique de la région de la Mina déduite à partir des précipitations (Tableau 21 et figure 28) est résumée par les points suivants sur la période 1977à 2010 :

- a) Le mois de novembre est le mois le plus pluvieux (35,2mm) sur une moyenne de 33 ans.
- b) Le mois de juillet enregistre la plus faible pluviosité dans l'année avec une pluviométrie égale à 1,2 mm (figure 13).
- c) Bien que la période estivale soit la moins pluvieuse dans l'année, celle-ci enregistre des pluies tombant sous forme d'averses de forte intensité. Ces pluies interviennent en période hivernale comme en période estivale, dans le processus de dégradation et d'érosion du sol.

**Tableau 12** - Donnés pluviométriques de la station Matmore Oued Mina (1977-2010)

<b>Moi s</b>	<b>J</b>	<b>F</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M</b>	<b>J</b>	<b>J</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>O</b>	<b>N</b>	<b>D</b>	<b>ann ée</b>
<b>Plui es mm</b>	<b>31 ,4</b>	<b>31 ,8</b>	<b>2 4, 2</b>	<b>2 4, 7</b>	<b>2 3, 2</b>	<b>4, 2</b>	<b>1, 2</b>	<b>2 , 8</b>	<b>10, 9</b>	<b>22, 2</b>	<b>3 5, 2</b>	<b>27 ,3</b>	<b>229, 1</b>



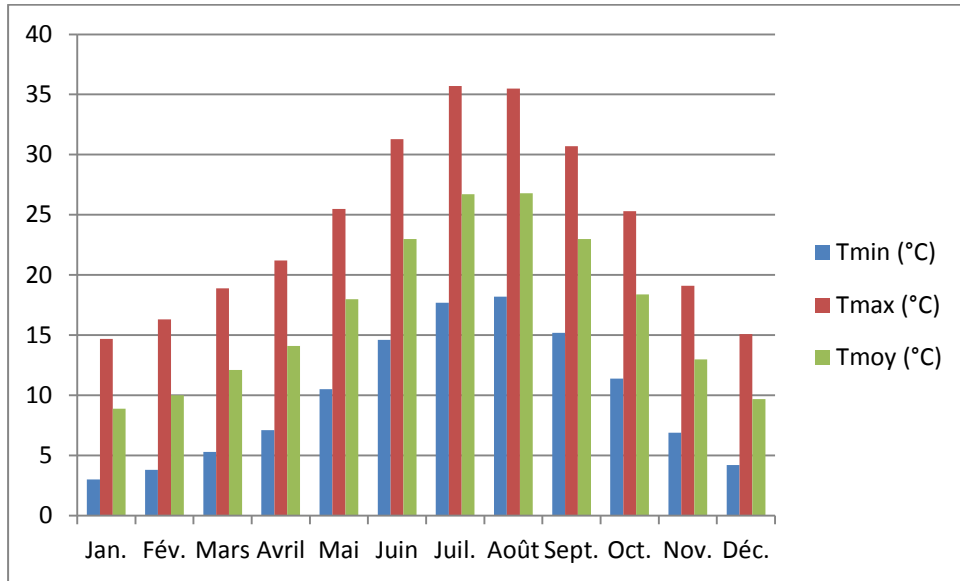
**Figure 13**-Histogramme de la pluviométrie, station Matmore,Oued Mina (1977- 2010)

### II.1.3.2. Températures

Le régime thermique se caractérise par de très importantes amplitudes journalières (la différence est de 26,8 °c entre la moyenne des maxima et la moyenne des minima au cours du mois d’Août) et mensuelle (26,8°c d’écart entre la température moyenne du mois d’Août, et celle du mois de janvier). La température la plus basse observée en 33 ans a été de 9,7°c au mois de décembre et la température la plus élevée est de 26,8°c au mois d’Aout (figure 14). Le passage des basses températures de la saison froide aux hautes températures de la saison chaude est brutal, les saisons intermédiaires, étant très courtes. L’influence marine est donc faible. Ce régime thermique est du type continental.

**Tableau 13** :Température moyenne mensuelle des minimums et maximums en °c de la station Matmore Relizane (1977-2010).

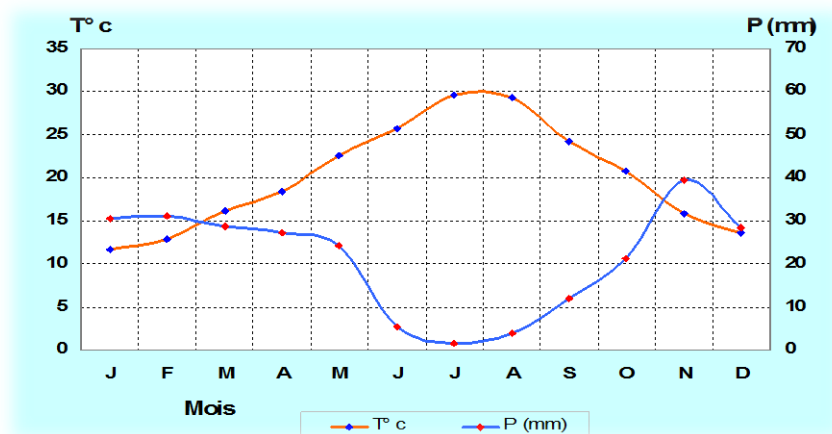
Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
<b>Tmin(°C)</b>	3,3	3,8	5,3	7,1	10,5	14,6	17,7	18,2	15,2	11,4	6,9	4,2
<b>Tmax(°C)</b>	14,7	16,3	18,9	21,2	25,5	31,3	35,7	35,5	30,7	25,3	19,1	15,1
<b>Tmoy(°C)</b>	8,9	10	12,1	14,1	18	23	26,7	26,8	23	18,4	13	9,7



**Figure 14** -Histogramme des Températures mensuelles à la station de Matmore (1977-2010),  
Source :O.N.M Alger, 2013.

### II.1.3.3. Courbes ombrothermiques

La courbe ombrothermique de la station de Matmore, entre 1977 et 2010, montre une longue période de sécheresse qui s'étale sur 8 mois, allant du mois de mars au mois d'octobre, cette période se caractérise par une forte demande en eau d'irrigation pour satisfaire les besoins du secteur agricole (figure 15).



**Figure 15** -Diagramme ombrothermique, station Matmore, Oued Mina (1977-2010)

#### *II.1.3.4. Humidité relative*

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois. Elle se situe entre 60 et 75 % en hiver et près de 35 % en été. Le mois le plus humide est le mois de décembre ; par contre, le mois le plus sec est le mois de juillet.

#### *II.1.3.5. Les vents*

La connaissance de leur direction, force et fréquence est importante pour la mise en valeur agricole d'un périmètre. Pendant les mois du septembre à avril, les vents froids sont dominants du secteur Sud à Sud-Est et les mois d'Avril à Mai se caractérisent par les vents chauds du secteur Ouest.

#### *II.1.3.6. Gelées*

Le problème des gelées est important pour les cultures surtout maraîchères. Elles sont liées aux températures. Les données des mois de décembre, janvier et février montrent que la température moyenne brute des minima descend au-dessous de 0°C. Le nombre de jours de gelées blanchâtres est estimé à environ 40 jours par an.

#### *II.1.3.7. Sirocco*

Comme les gelées, le sirocco est particulièrement important, il se manifeste en été, surtout durant les mois de juillet et Août.

On estime à 20 jours de sirocco par an pour le périmètre de la Mina.

#### *II.1.4. Conclusion*

La plaine joue d'un climat continental du fait de sa position en cuvette entourée de massifs montagneux. La pluviométrie est très faible et très irrégulière et les besoins en eau des cultures sont importants.

## II.2. Caractérisation du milieu

### II.2.1. Géologie

Le site d'étude fait partie de la plaine du Mina. Cette plaine est un bassin déprimé bordé au Sud à l'Est et à l'Ouest de montagnes.

Au Nord-Ouest, par les monts de Bel-Hacel qui sont formés, dans leur partie drainée vers la plaine de grés pliocènes et de désagrégation de ces grés (sables du plateau de Mostaganem) qui peuvent donner des dunes (région Nord-est de Hillil), le piedmont de cette zone est encroûté (croûte calcaire).

Au Sud, les monts de Guerbouça sont formés de grés dans leur partie occidentale et de grés et marnes pliocènes. Ces formations se raccordent à la plaine par un glacis encroûté.

Au Sud et à l'Est, la vallée est bordée de massifs érodés de marnes Miocènes (Helvétiques) à petits cristaux de gypse.

Au niveau de la confluence de l'Oued Mina et de l'Oued Malah, la vallée est bordée à l'Ouest par les collines de Relizane formées de grés et de poudingues et localement encroûtées.

Sur la partie Sud et Sud-Ouest de Oued Djemâa, les affleurements de marnes et d'argiles miocènes, se raccordent à la plaine de Relizane par un glacis de piedmont ancien, recouvert d'une croûte calcaire. A l'Est et au Sud-est, les monts environnants sont formés de marnes et argiles miocènes.

### II.2.2. Géomorphologie

On peut distinguer 4 types de formations géomorphologiques dans la plaine de la Mina :

### **a) Les glacis de piedmont**

Il s'agit de formations colluviales de piedmont s'appuyant sur des versants, de topographie régulière ou peu ondulée, se raccordant en aval à des formations colluviales d'âge différent ou à des alluvions. Ce sont des formations recouvertes d'une croûte calcaire épaisse et durcie du quaternaire ancien.

- Ces glacis encroûtés entourent la plaine d'Hillil, la plaine de Touila-Khaourara et forment le piedmont en bordure de la plaine de l'oued Djemaa. Un lambeau de glacis encroûté isolé est localisé entre les oueds Mina et Malah, au sud de la confluence.

- A ces glacis de piedmont encroûtés peuvent être emboîtés vers l'aval des glacis plus récents colluviaux portant des sols à encroûtement calcaire en profondeur ou présentant une accumulation de calcaire sous forme de nodules ou d'amas apparaissant vers 60cm de profondeur.

### **b) Les alluvions**

Il s'agit de formations déposées par les oueds qui coulent dans la plaine de (Hillil, Mina, Malah et Djemaa). La texture variable de ces alluvions est sous la dépendance de la lithologie de l'arrière-pays drainé vers la plaine.

Dans les zones basses, les alluvions deviennent plus argileuses ; dans la zone d'épandage de l'oued Hillil, vers le centre de la plaine, les sols de la rive gauche sont de texture moyenne ; ils deviennent de texture fine et sont mal structurés dans la rive droite ou ils présentent un encroûtement calcaire de nappe le long de la voie ferrée. Elles sont moyennement salées dans la limite Est.

Les alluvions déposées par les oueds sont salées dans certaines zones et cela provient du fait que certains oueds ont raviné des formations géologiques salées (marnes à gypse miocène du bassin versant de la Mina, massif de gypse du trias du bassin versant de l'oued Malah).

Les alluvions salées sont localisées dans la vallée de l'oued Malah, la plaine de Khaourara, la vallée de la Mina et la partie sud de la Sebkhah de Ben Ziane.

### **c) Les cônes déjections des oueds**

Les bordures géologiques de la région sont ravinées par des petits oueds qui déposent un cône de matériaux de texture variable à l'aval.

### **d) Les couvertures sableuses**

Il s'agit de dépôts sableux épais d'origine éolienne, provenant de la désagrégation des grès pliocènes. Ces dépôts sont localisés dans la plaine d'Hillil au pied du massif de Bel Hacel au nord-ouest du village d'Hillil.

#### *II.2.3. Hydrogéologie*

Dans la plaine de la Mina, il y a une distinction nette de deux nappes superposées contenues dans le complexe alluvio-plio-quadernaires :

- Les nappes superficielles libres contenues dans les formations alluvionnaires du quadernaire.
- Les nappes profondes captives contenues dans les formations plio-quadernaires.

Les nappes superficielles sont contenues surtout dans la formation alluvionnaire du quadernaire récent. Elles sont utiles pour l'irrigation et localement pour les besoins d'alimentation de quelques habitations éparses dans la plaine de la Mina.

Au sujet de ces nappes, AUBERT (1943), a fait remarquer qu'il n'y a pas une seule nappe continue, mais plutôt une série de nappes dont le cloisonnement dépend surtout de la constitution physique des alluvions. La notion d'une nappe unique ne correspond pas à la réalité ; il y a autant de niveaux aquifères que de niveaux relativement perméables.

Le réseau hydrographique est constitué par deux oueds principaux drainent la plaine de la Mina.

L'oued Hillil à l'ouest et l'oued Mina au centre. Ce dernier reçoit un affluent salé au sud du périmètre oued Malah. Les lits de ces oueds sont encastrés dans la terrasse alluviale

récente à un niveau inférieur à 10m avec des bords escarpés et très abrupts. Ces oueds sont pratiquement à sec pendant la période estivale.

#### *II.2.4. Topographie de la zone d'étude*

Le paysage de la zone d'étude présente une morphologie très légèrement ondulée. L'altitude de celle-ci varie entre 60 et 70 mètres avec des pentes dépassant très rarement les 2%.

##### *II.2.4.1. Végétation*

###### **-La végétation naturelle**

La zone d'étude est colonisée par la végétation naturelle, composée de plantes halophytes comme *Atriplex*, *Suaedafruticosa* et *SalsolaVermiculata*, avec une association d'espèces moins tolérantes à la salinité. Ces espèces appartiennent à la famille des graminées. L'ensemble constitue le cortège floristique du paysage avec la décroissance de la salinité.

###### **-Les cultures pratiquées**

Dans cette région et plus particulièrement au niveau de la zone d'étude, cette plaine n'a jamais été cultivée depuis la colonisation française jusqu'au lancement du programme national du fond de développement agricole et rural (PNFRDA).

Une enquête a été effectuée avec le propriétaire de la parcelle sur les modalités d'affectation et les techniques appliquées pour rendre la parcelle exploitable.

L'exploitation est choisie sur la base de leur connaissance de terrain en matière de végétal développé sur le lieu suivant le degré de la salinité. A partir de 1992, l'agriculteur exerce des labours moins profonds périodiques pendant trois ans pour la détérioration des végétations spontanées ou prédominantes *AtriplexHalimus*, *SalsolaVermiculata* et *Suaedafruticosa*, cette opération s'appelle metaoua. Après, il pratique des cultures de céréale et de fourrage pour ameublir le sol et l'enrichir en éléments fertilisants afin de le rendre apte aux plantations arboricoles.

Actuellement, la parcelle est plantée en oliviers, grenadiers. Une partie de la superficie est réservée à la culture de céréales avec des cultures maraîchères utilisées en assolement.

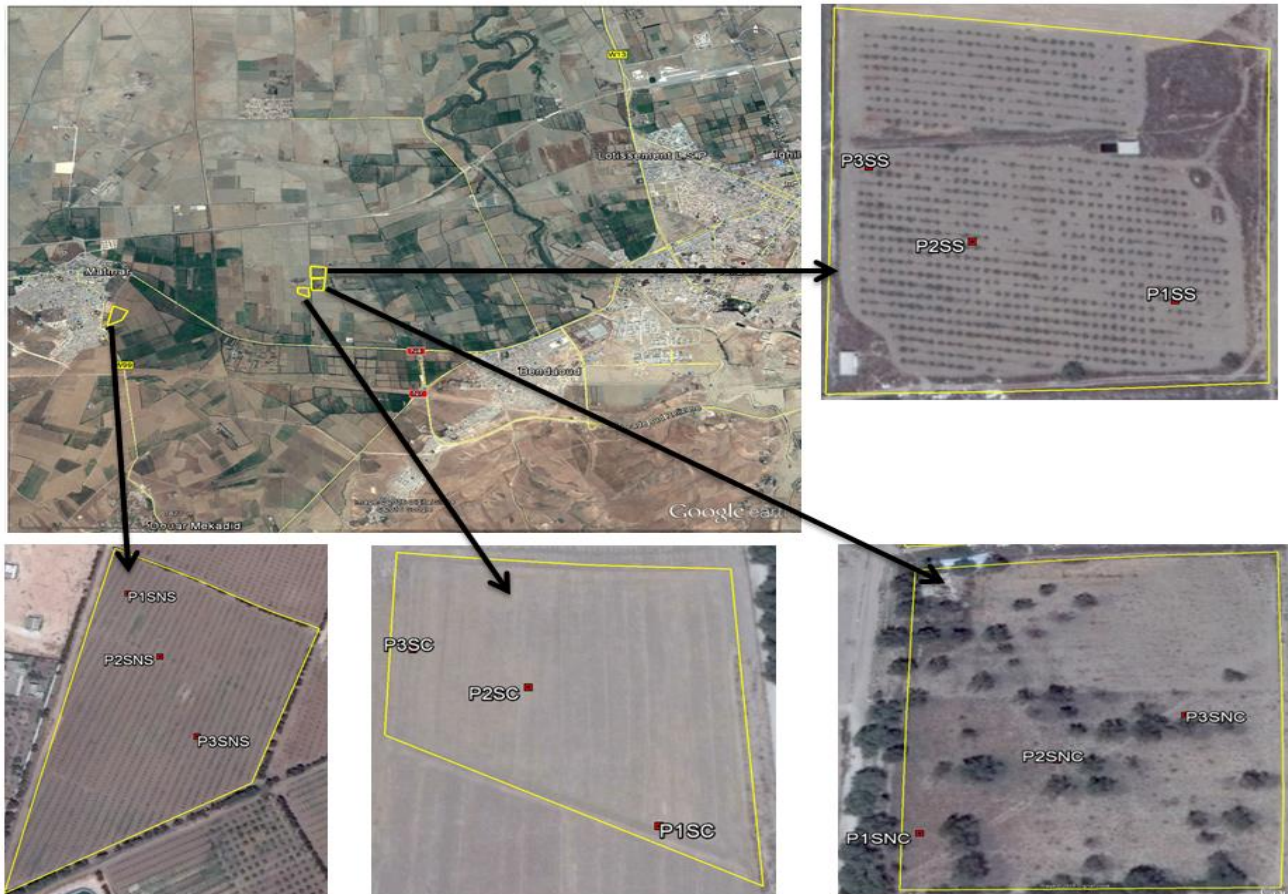
# **Chapitre III – Matériels et méthodes**

### III.1. Introduction

Cette partie est consacrée à la description de la zone d'étude, de la méthodologie utilisée, des techniques analytiques et des différentes méthodes de traitement des données.

### III.2. Description de la zone d'étude

L'expérimentation s'est déroulée au niveau d'une zone salée de la plaine de Relizane, à environ 03 km à l'Ouest de la ville de Relizane et 5 Km à l'Est de la ville d'El Matmar et une autre parcelle voisine de laboratoire de l'INSID(Figure 16).



**Figure 16** -Carte de localisation des parcelles pédologiques (Source Google Earth,2016)

Notre étude est effectuée au niveau de 4 parcelles différentes :

Parcelle 1 : sol non salé

Culture : orange

Superficiel : 3,81ha

Parcelle 2 : sol cultivé

Culture : artichaut

Superficiel : 1,52 ha

Parcelle 3 : sol non cultivé

Superficiel : 2,9 ha

Parcelle 4 : sol salé

Culture : olivier

Superficiel : 3,81ha

### III.3. Méthodologie

Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée comporte quatre étapes :

- Analyse des documents de base.
- Choix de la zone d'étude
- Prélèvement des échantillons de sols
- Les analyses de laboratoire.

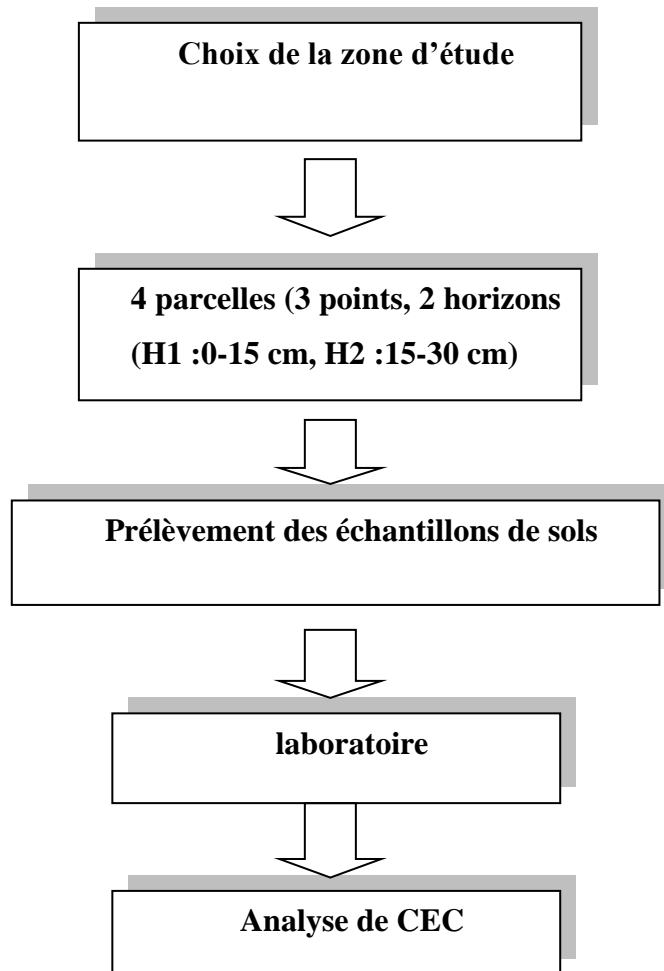


Figure 17 -Schéma Méthodologique

### *III.3.1. Analyse des documents de base*

Cette étape concerne l'examen des documents disponibles ainsi que les études réalisées dans la zone d'étude. Elle concerne :

L'étude sur la caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina (**INSID, 2006**).

### *III.3.2. Phase de terrain*

#### *III.3.2.1. Prélèvement des échantillons de terre*

L'objectif visé par cette étude est mesure de la capacité d'échange cationique des échantillons du sol de 4 parcelles différents par deux méthodes (Metson et Bower), nous

avons réalisé une sortie, sur terrain, au niveau la plaine de la Mina (Relizane), en se basant sur les documents de base de l'étude réalisé par l'INSID (2006).

La prospection de la zone d'étude a été effectuée, le 15 et 21 février de l'année 2016.

Pour chaque horizon, délimité, des échantillons de sol ont été prélevés, en commençant par les horizons de surface vers les horizons inférieure.

Les échantillons de sol prélevés ont été codés et mis dans sachets en plastique bien fermés, et envoyés pour les analyses de laboratoire à l'Institut National des Sols, Irrigation et Drainage (INSID) d'El Matmar (Relizane).

### *III.3.2.2. Méthodes et outils de prélèvement*

Lorsqu'il s'agit de caractériser le comportement d'un sol au cours d'une étude agronomique, on peut se demander quand ou comment effectuer les prélèvements.

Les exigences de cette activité font que l'on est amené à trouver une méthode adéquate pour que l'on puisse travailler en toutes raisons. L'échantillonnage du sol a été effectué à partir de 3 points différents. Les échantillons du sol sont prélevés à l'aide d'une tarière manuelle Hélicoïdale « Edelman »



Photo 1 - Prélèvement des échantillons du sol

### *III.3.3. Phase de laboratoire*

#### *III.3.3.1. Préparation des échantillons de sol*

##### **1-Séchage**

Étaler toute la matière sur un plateau ne pouvant provoquer aucune contamination, en une couche dont l'épaisseur ne doit pas être supérieure à 5 cm.

Les échantillons de sol prélevés sont d'abord séchés à l'air libre pendant 4 jours. Sécher jusqu'à une perte de masse inférieure à 5 %.



Photo 2 - Séchage des échantillons du sol à l'air libre

##### **2-Broyage**

Pour les prises d'essai de moins de 2 g ou selon les spécifications des méthodes d'essai, il est essentiel de réduire encore plus finement les éléments composant la fraction inférieure à 2 mm.

Broyer un sous échantillon représentatif jusqu'à ce qu'il passe au travers d'un tamis à maille de 250  $\mu\text{m}$ . - Broyer pendant 5 minutes puis tamiser l'échantillon. À l'aide d'un broyeur ou d'un mortier.

##### **3-Tamisage**

Tamiser l'échantillon à 2 mm sur le tamis, la terre fine a fait l'objet d'analyses concernant la solution du sol et le sol lui-même avec deux ou trois répétitions.

#### *III.3.3.2. Analyses de laboratoire*

Il existe plusieurs méthodes normalisées pour la mesure de la CEC, comme la méthode de Bower et la méthode Metson.

Cette dernière consiste à déplacer tous les cations adsorbés sur les sites d'échanges de la CEC, puis de saturer ces sites par un cation unique, qui est l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ). On utilise  $\text{NH}_4^+$

comme cation saturant à pH de la solution = 7 et le KCl comme cation déplaçant. Le nombre de site d'échange de la CEC correspond exactement au nombre d'ions ammonium dosés. Le résultat est exprimé en nombre de charges pour 100g de sol (milliéquivalents pour 100g ou méq/100g ou centimoles+/kg).

#### ❖ Principe

Les étapes nécessaire pour déterminer la C.E.C (elles sont identiques à tous les sols).

**A-étape de saturation.**

**B-étape de lavage.**

**C-étape de déplacement**

#### ❖ Méthode de METSON

##### **A-ETAPE DE SATURATION :**

Cas des sols normaux (non calcaires, ni salés, ni humifères)

Le sol est saturé l'acétate d'ammonium ( $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ , N, pH=7).

##### **B-ETAPE DE LAVAGE :**

On lave avec l'éthanol.

##### **C-ETAPE DE DEPLACEMENT :**

La percolation se fait par le chlorure de potassium (KCl, N, 74.77g/l).

#### ❖ Méthode de BOWER :

##### **A-ETAPE DE SATURATION :**

Cas des sols basique

La saturation se fait avec l'acétate de sodium ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ , N, 82.03g/l) à pH 8.2 pour les sols calcaires. Pour les sols salés non calcaires à pH 7.

***B-ETAPE DE LAVAGE :***

On procède avec l'éthanol pour enlever l'excès en cations saturants.

On lave avec le méthanol puis par l'éthanol si la  $\text{C.E} > 20 \text{ m.mho/cm}$ .

***C-ETAPE DE DEPLACEMENT :***

La percolation lente est réalisée à l'aide d'acétate d'ammonium.



Photo 3 - Préparation des tubes des échantillons du sol et l'ajout de la solution pour chacune des étapes de saturation, lavage et déplacement

# **Chapitre IV – Résultats et discussion**

## IV.1. Caractérisation des parcelles

### VI.4.1. Caractérisation des sols de la parcelle 1 (cultivée salée)

#### VI.4.1.1. Propriétés physiques et physico-chimiques

##### **Le gypse**

Les teneurs en gypse sont faibles dans l'horizon de surface, elles oscillent entre 2,98 % et 6,2 %, avec une moyenne du profil de 4,3% et un coefficient de variabilité modéré. Ces valeurs sont cependant supérieures à 5% à partir de l'horizon de sub-surface.

##### **- Le calcaire**

Les teneurs en calcaire sont homogènes au niveau de la parcelle, elles varient de 11,9% à 17,4% pour le calcaire total et de 5,3 à 8,5%, pour le calcaire actif, avec une moyenne respective de 14,5 et 6,8% et un faible coefficient de variabilité. La parcelle, est donc moyennement calcaire.

##### **- La matière organique**

Le taux de matière organique diminue avec la profondeur, et varie entre 1,0 %, en profondeur à 3,1 % dans l'horizon cultural, avec une moyenne de 1,7 % et un coefficient de variabilité très élevé.

##### **- La granulométrie**

Nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses. Dans l'horizon de surface, les argiles et les limons ont pratiquement les mêmes taux qui sont respectivement de 49 et 46 %. Dans l'horizon de sub-surface, la fraction argileuse prédomine avec un taux de 49 %. La fraction sableuse est moyennement représentée et varie entre 5 et 10,8 %. Nous observons au niveau des horizons profonds une diminution de la fraction argileuse (53 à 20%) et une forte augmentation de la fraction limoneuse (43 à 73 %). Le premier et le deuxième horizon présentent des textures argilo-limoneuses, alors que le troisième et le dernier horizon sont

limoneux. Nous remarquons aussi que le coefficient de variabilité pour l'argile est élevé (Tab.23).

**Tableau 14** -Statistiques descriptives des paramètres du sol

Paramètres	M0 (%)	Calcaire (%)	Gypse (%)	Granulométrie (%)		
				Argile	Limon	Sable
<i>Moy</i>	1,7	14,5	4,3	33,8	55,8	10,8
<i>Max</i>	3,1	17,4	6,2	49,0	69,0	19,0
<i>Min</i>	1,0	11,9	3,0	18,0	46,0	5,0
<i>E. type</i>	0,9	2,2	1,4	17,6	11,6	6,9
<i>CV %</i>	55,8	15,5	31,9	52,2	20,8	64,6

#### VI.4.1.2. Composition de la solution du sol

Les résultats analytiques et statistiques des différents paramètres de la solution du sol sont indiqués dans le tableau 24.

#### - La conductivité électrique

La distribution des sels, en fonction de la profondeur, révèle une forte salinité de l'horizon de profondeur (CE= 45 dS/m) par rapport à l'horizon de surface de surface (CE= 14.75 dS/m). Cette CE est plus faible que celle des autres horizons du profil. Ce phénomène serait dû à une lixiviation des sels provoquée par les pluies comme pour le cas du profil A (la description a été réalisé après la saison humide)et qui se seraient accumulés au niveaues horizons de profondeur, provoquant une augmentation de la CE (CE= 45 dS/m). La salinité augmente sensiblement dans les deux horizons Cnz1 et Cnz2 pour atteindre respectivement les valeurs de 45 et 38.8 dS/m. Ce résultat indique que le profil salin est descendant.

#### - Le pH

Les résultats montrent que le pH est supérieur à 8, avec une moyenne de 8,4. Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols calcaires et des sols salés.

#### - Le SAR

Les valeurs du SAR varient de 18,4 pour les horizons de surface à 49,7 pour les horizons de profondeur. Les valeurs du SAR sont plus faibles dans les horizons de surface, par rapport à ceux, en profondeur. Ceci est dû, probablement, aux valeurs de la CE, qui sont

aussi plus faibles (14,8 dS/m), en surface par rapport à celles, en profondeur (45 dS/m).

- **Les cations de la solution du sol**

Le cation  $\text{Na}^+$  est le plus représenté avec un taux moyen de 73% et une concentration qui varie entre 132,6 meq/l et 460,3 meq/l. Le  $\text{Mg}^{++}$  vient en deuxième position avec un taux de 15% avec des teneurs qui varient entre 27,7 meq/l et 87,1 meq/l. Le  $\text{Ca}^{++}$  se situe en troisième position avec un taux de 11% et des concentrations qui varient entre 38,3 meq/l et 64,6 meq/l, alors que le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un taux de 1%, et des teneurs qui varient entre 0,5 meq/l et 0,9 meq/l.

De ce fait, le classement des cations est de type :  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$

- **Les anions de la solution du sol**

l'anion  $\text{Cl}^-$  est le plus représenté avec un taux moyen de 76,9% et une concentration qui varie entre 108,2 meq/l et 473,1 meq/l. Le  $\text{SO}_4^-$  vient en deuxième position avec un taux de 22,6% avec des teneurs qui varient entre 71,9 meq/l et 91,5 meq/l. Le  $\text{HCO}_3^-$  vient en dernière position

avec un taux de 0,8% et des teneurs qui varient entre 1 meq/l et 3 meq/l.

**Tableau 15** -Les résultats analytiques et statistiques des différents paramètres de la solution du sol

Paramètres	pH	CE dS. m <sup>-1</sup>	Cations (meq.l <sup>-1</sup> )				Anions (meq.l <sup>-1</sup> )			SAR
			Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HC O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
Min	8,3	14,8	132,6	38,3	27,7	0,5	108,2	71,9	1,0	<b>18,4</b>
Max	8,5	45,0	460,3	64,6	87,1	0,9	473,1	91,5	3,0	<b>49,7</b>
Moy	8,4	30,9	288,0	50,1	59,6	0,7	285,0	83,7	1,8	<b>31,7</b>
CV%	1	44,1	47,9	22,2	41,9	23,1	56,7	10,1	54,7	<b>41,4</b>

#### VI.4.2. Caractérisation des sols de la parcelle 2(non cultivée salée)

##### VI.4.2.1. Propriétés physiques et physico-chimiques

Les résultats statistiques sont présentés dans le **tableau.25**.

##### - Le gypse

Les teneurs en gypse sont faibles dans l'horizon de surface, elles oscillent entre 2,16 % et 5,6 %, avec une moyenne du profil de 4,6 % et un coefficient de variabilité élevé. Ces valeurs sont cependant supérieures à 5% à partir de l'horizon de sub-surface.

##### - Le calcaire

Les teneurs en calcaire sont homogènes au niveau du profil, elles varient de 11,8% à 16,6% pour le calcaire total et de 6,3 à 7,3%, pour le calcaire actif, avec une moyenne respective de 14,8 et 6,8 % et un faible coefficient de variabilité. Le profil, est moyennement calcaire.

- **La matière organique**

Le taux de matière organique diminue avec la profondeur, et varie entre 1,3%, en profondeur à 3,8 % dans l'horizon cultural (Ap), avec une moyenne de 2,1 % et un coefficient de variabilité très élevé.

- **La granulométrie**

Nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses. Dans l'horizon de surface, les argiles et les limons ont pratiquement les mêmes taux qui sont respectivement de 45 et 49 %. Dans l'horizon de sub-surface, la fraction argileuse prédomine avec un taux de 53 %. La fraction sableuse est très peu représentée et varie entre 4 et 7 %. Nous observons au niveau des horizons profonds une diminution de la fraction argileuse (53 à 20%) et une forte augmentation de la fraction limoneuse (43 à 73 %). Tous les horizons ont des textures argilo-limoneuses sauf pour le troisième horizon qui présente une texture limono-argileuse et l'horizon de profondeur qui présente une texture limoneuse. Nous remarquons aussi que le coefficient de variabilité pour l'argile est élevé pour ce profil.

**Tableau 16** -Statistiques descriptives des propriétés physiques et physico-chimiques

Paramètres	M0	Calcaire	Gypse	Granulométrie (%)		
	%	(%)	%	Argile	Limon	Sable
<i>Moy</i>	2,1	14,8	4,6	38,3	55,8	6,0
<i>Max</i>	3,7	16,6	5,6	53,0	73,0	7,0
<i>Min</i>	1,3	14,0	4,6	20,0	43,0	4,0
<i>CV %</i>	54,58	11,8	35,41	37,18	23,4	23,57

VI.4.2.2. *Composition de la solution du sol*

- **La conductivité électrique**

La distribution des sels en fonction de la profondeur (**Tab.17**) révèle une forte salinité de l'horizon de profondeur (CE=23,2 dS/m) et une faible salinité de l'horizon de surface (CE=2,42 dS/m). Cette CE est relativement plus faible que celle des autres horizons du profil. Ce phénomène serait dû à une lixiviation des sels provoquée par les pluies (la description a été réalisée après la saison humide) et qui se seraient accumulés au niveau des horizons de profondeur, provoquant une augmentation de la CE (CE=23,2 dS/m). La

salinité augmente sensiblement dans les deux horizons Cny1 et Cny2 pour atteindre respectivement les valeurs de 20,6 et 23,2 dS/m. Ce résultat indique que le profil salin est descendant.

- **Le pH**

Le **tableau 17** indique que le pH est supérieur à 8 avec une moyenne de 8,3. Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols calcaires et des sols salés.

- **Le SAR**

Les valeurs du SAR varient de 14,3 pour les horizons de surface et de sub-surface à 23,1 pour les horizons de profondeur (**Tab.26**), les faibles valeurs du SAR dans les horizons de surface et de sub-surface sont dues, probablement aux valeurs de la CE, qui ne sont pas très élevées ( $2,42 \text{ dS/m} < \text{CE} < 9.9 \text{ dS/m}$ ).

- **Les cations de la solution du sol**

Le cation  $\text{Na}^+$  est le plus représenté avec un taux moyen de 66,4% et une concentration qui varie entre 62 meq/l et 207 meq/l. Le  $\text{Ca}^{++}$  vient en deuxième position avec un taux de 17,6% avec des teneurs qui varient entre 9.6meq/let 54.2meq/l. Le  $\text{Mg}^{++}$  se situe en troisième position avec un taux de 15,7% et des concentrations qui varient entre 12,75 meq/l et 52,54 meq/l, alors que le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un taux de 0,3%, et des teneurs qui varient entre 0,56 meq/l et 0.72 meq/l.

De ce fait, le classement des cations est de type :  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$

- **Les anions de la solution du sol**

L'anion  $\text{Cl}^-$  est le plus représenté avec un taux moyen de 72,4% et une concentration qui varie entre 55 meq/l et 218,1 meq/l. Le  $\text{SO}_4^-$  vient en deuxième position avec un taux de 26,8% avec des teneurs qui varient entre 23,1 meq/l et 60,8 meq/l. Le  $\text{HCO}_3^-$  vient en dernière position avec un taux de 0,8% et des teneurs qui varient entre 1 meq/l et 2 meq/l.

**Tableau 17** -Statistiques descriptives des paramètres de la solution du sol

Paramètres	pH	CE dS. m <sup>-1</sup>	Cations (meq.l <sup>-1</sup> )				Anions (meq.l <sup>-1</sup> )			SAR
			Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HC O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	
<b>Min</b>	8,18	2,4	61,73	9,60	12,75	0,56	55	1,0	23,1	<b>14,28</b>
<b>Max</b>	8,67	23,2	207,40	54,20	52,54	0,72	218,1	2,0	60,8	<b>23,12</b>
<b>Moy</b>	8,3	13,9	134,78	35,78	31,92	0,65	137,98	1,5	51,2	<b>18,58</b>
<b>CV%</b>	2,7	68,6	42,42	40,88	48,32	6,98	51,22	38,5	36,6	<b>20,00</b>

#### VI.4.3. Caractérisation des sols de la parcelle 3 (salée et non cultivée)

##### VI.4.3.1. Propriétés physiques et physico-chimiques

Les résultats statistiques sont présentés dans le **tableau.27**.

##### - **Le gypse**

Les teneurs en gypse sont faibles dans l'horizon de surface, elles oscillent entre 2,16 % et 5,6 %, avec une moyenne du profil de 4,6 % et un coefficient de variabilité élevé. Ces valeurs sont cependant supérieures à 5% à partir de l'horizon de sub-surface.

##### - **Le calcaire**

Les teneurs en calcaire sont homogènes au niveau du profil, elles varient de 11,8% à 16,6% pour le calcaire total et de 6,3 à 7,3%, pour le calcaire actif, avec une moyenne respectivement de 14,8 et 6,8 % et un faible coefficient de variabilité. Le profil, est moyennement calcaire.

- **La matière organique**

Le taux de matière organique diminue avec la profondeur, et varie entre 1,3%, en profondeur à 3,8% dans l'horizon cultural (Ap), avec une moyenne de 2,1% et un coefficient de variabilité très élevé.

- **La granulométrie**

Nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses. Dans l'horizon de surface, les argiles et les limons ont pratiquement les mêmes taux qui sont respectivement de 45 et 49%. Dans l'horizon de subsurface, la fraction argileuse prédomine avec un taux de 53%. La fraction sableuse est très peu représentée et varie entre 4 et 7%. Nous observons au niveau des horizons profonds une diminution de la fraction argileuse (53 à 20%) et une forte augmentation de la fraction limoneuse (43 à 73%). Tous les horizons ont des textures argilo-limoneuses sauf pour le troisième horizon qui présente une texture limono-argileuse et l'horizon de profondeur qui présente une texture limoneuse. Nous remarquons aussi que le coefficient de variabilité pour l'argile est élevé pour ce profil.

**Tableau 18** -Statistiques descriptives des propriétés physiques et physico-chimiques

Paramètres	M0 %	Calcaire (%)	Gypse %	Granulométrie (%)		
				Argile	Limon	Sable
<i>Moy</i>	2,5	14,2	4,6	38,3	57,8	6,0
<i>Max</i>	4,7	15,6	6,6	53,0	73,0	7,0
<i>Min</i>	3,6	14,9	5,6	20,0	44,0	4,0
<i>CV %</i>	64,58	12,8	39,41	37,18	23,4	23,57

VI.4.3.2. *Composition de la solution du sol*

- **La conductivité électrique**

La distribution des sels en fonction de la profondeur (**Tab.28**) révèle une forte salinité de l'horizon de profondeur (CE= 23,2 dS/m) et une faible salinité de l'horizon de surface (CE = 2,42 dS/m). Cette CE est relativement plus faible que celle des autres horizons du profil. Ce phénomène serait dû à une lixiviation des sels provoquée par les pluies (la

description a été réalisé après la saison humide) et qui se seraient accumulés au niveau des horizons de profondeur, provoquant une augmentation de la CE (CE= 23,2 dS/m). La salinité augmente sensiblement dans les deux horizons Cny1 et Cny2 pour atteindre respectivement les valeurs de 20,6 et 23,2 dS/m. Ce résultat indique que le profil salin est descendant.

- **Le pH**

Le **tableau 19** indique que le pH est supérieur à 8 avec une moyenne de 8,3. Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols calcaires et des sols salés.

- **Le SAR**

Les valeurs du SAR varient de 14,3 pour les horizons de surface et de sub-surface à 23,1 pour les horizons de profondeur (**Tab. 19**), les faibles valeurs du SAR dans les horizons de surface et de sub-surface sont dues, probablement aux valeurs de la CE, qui ne sont pas très élevées ( $2,42 \text{ dS/m} < \text{CE} < 9,9 \text{ dS/m}$ ).

- **Les cations de la solution du sol**

Le cation  $\text{Na}^+$  est le plus représenté avec un taux moyen de 66,4% et une concentration qui varie entre 62 meq/l et 207 meq/l. Le  $\text{Ca}^{++}$  vient en deuxième position avec un taux de 17,6% avec des teneurs qui varient entre 9,6 meq/l et 54,2 meq/l. Le  $\text{Mg}^{++}$  se situe en troisième position avec un taux de 15,7% et des concentrations qui varient entre 12,75 meq/l et 52,54 meq/l, alors que le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un taux de 0,3%, et des teneurs qui varient entre 0,56 meq/l et 0,72 meq/l.

De ce fait, le classement des cations est de type :  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$

- **Les anions de la solution du sol**

L'anion  $\text{Cl}^-$  est le plus représenté avec un taux moyen de 72,4% et une concentration qui varie entre 55 meq/l et 218,1 meq/l. Le  $\text{SO}_4^-$  vient en deuxième position avec un taux de 26,8% avec des teneurs qui varient entre 23,1 meq/l et 60,8 meq/l. Le  $\text{HCO}_3^-$  vient en dernière position avec un taux de 0,8% et des teneurs qui varient entre 1 meq/l et 2 meq/l.

**Tableau 19** -Statistiques descriptives des paramètres de la solution du sol

Paramètres	pH	CE dS. m <sup>-1</sup>	Cations (meq.l <sup>-1</sup> )				Anions (meq.l <sup>-1</sup> )			SAR
			Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	HC O <sub>3</sub> <sup>-</sup>	S O <sub>4</sub> <sup>--</sup>	
<b>Min</b>	8,18	2,4	61,73	9,60	12,75	0,56	55	1,0	23,1	<b>13,28</b>
<b>Max</b>	8,67	14,2	207,40	54,20	52,54	0,72	218,1	2,0	60,8	<b>22,12</b>
<b>Moy</b>	8,3	8,3	134,78	35,78	31,92	0,65	137,98	1,5	51,2	<b>17,7</b>
<b>CV%</b>	2,7	48,6	42,42	40,88	48,32	6,98	51,22	38,5	36,6	<b>18,00</b>

*VI.4.4. Caractérisation des sols de la parcelle 4 (non salée cultivée)*

Humide, texture sablo argileuse, structure polyédrique Fine, matière organique moyennement décelable, poreux, friable, activité biologique moyenne présence des racines, transition diffuse.

## IV.2. Synthèse des résultats des analyses du sol

**Tableau 20** -Résultats d'analyse du sol de parcelle 4 (non salée cultivée)

profondeur cm	Salinité	CaCO <sub>3</sub>		pH	Activité biologique				Granulométrie					Phosphore assimilable ppm
		Total	Actif		N, T ‰	M, O %	C, O %	C/N	A	Lf	Lg	Sf	Sg	
Horizons	CED ds/m	Total	Actif	eau	N, T ‰	M, O %	C, O %	C/N	A	Lf	Lg	Sf	Sg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0 - 35	0,246	16,55	7,62	8,19	0,175	1,9	1,1	62,8	31,82	19,85	10,9	15,71	21,73	16,66
35 - 65	0,270	13,16	3,75	8,11	0,525	1,58	0,92	17,6	28,64	11,31	8,92	27,11	24,02	50
65 - 110	0,280	2,97	7,25	8,09	0,35	1,37	0,79	22,5	20,30	14,19	11,83	24,03	29,64	33,33

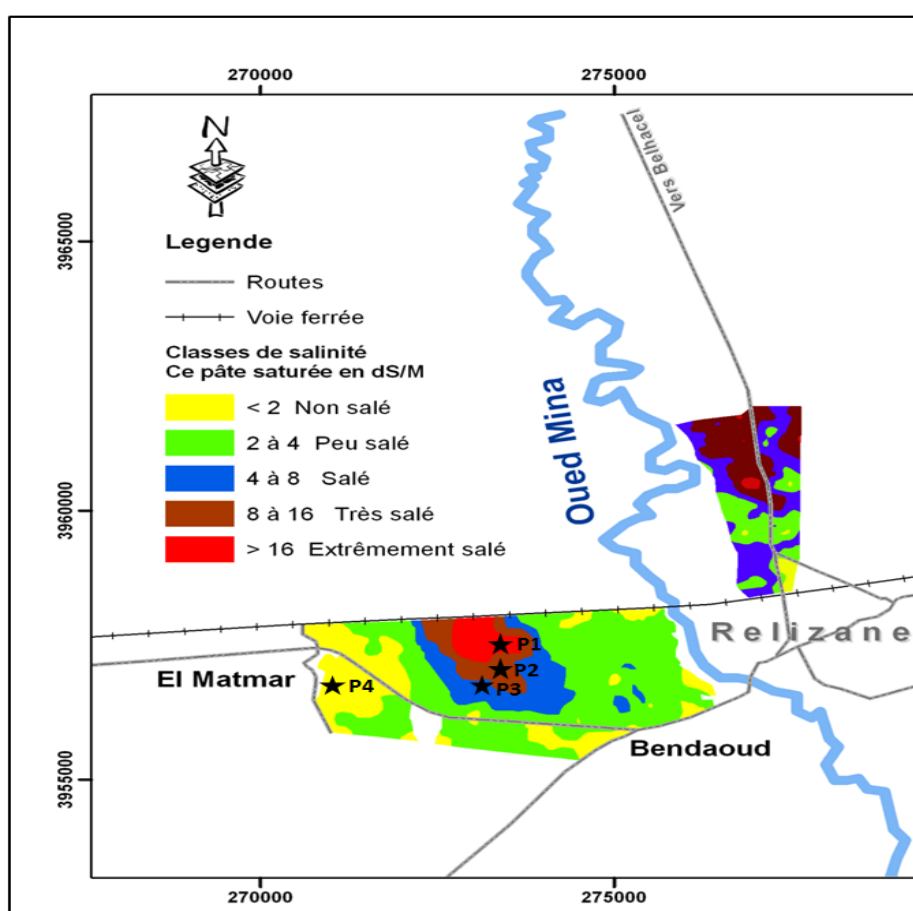


Figure 18 - Localisation des parcelles par rapport à la carte de salinité établie par l'INSID en 2006

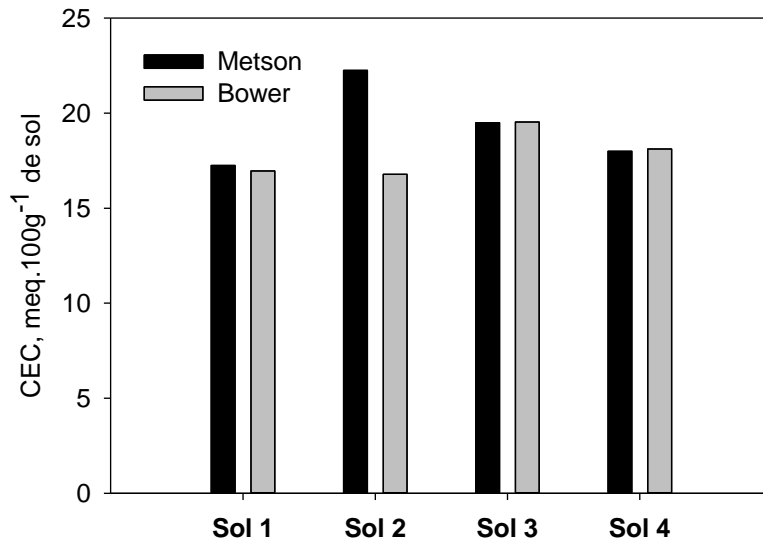


Figure 19–CEC en fonction de la méthode d’analyse pour l’horizon de surface

Pour les quatre sols étudiés, on n’observe pas une différence importante entre les deux méthodes de mesure de la capacité d’échange cationique dans l’horizon de surface (Fig. 19). Il est important de rappeler que le sol 4 n’est pas salé (Fig. 18). Dans ce cas, il est admissible que la différence entre les deux méthodes de mesure de la CEC ne soit pas décelée.

Néanmoins, pour les trois autres sols qui sont salés : le sol 1 extrêmement salé, le sol 2 très salé et le sol 3 salé (Fig. 18), il devrait être une différence apparente entre les deux méthodes de mesure de la CEC. Une différence entre les deux méthodes de mesure est notable pour le sol 2 dans l’horizon de surface (Fig. 19).

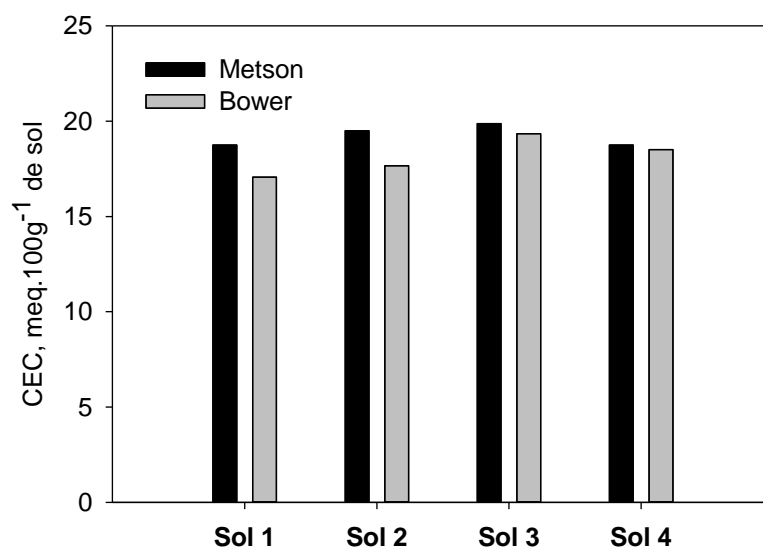


Figure 20–CEC en fonction de la méthode d’analyse pour l’horizon inférieur

Pour l’horizon inférieur, on peut admettre qu’il y a une différence entre les deux méthodes de mesures pour tous les sols à l’exception du sol 4 qui n’est pas salé (Fig. 20).

## Conclusion

Au terme de cette étude, il est possible de déduire les conclusions suivantes :

Les résultats de caractérisation des 4 sols étudiés montrent qu'ils présentent des caractéristiques différentes.

De ce fait, trois d'entre eux sont salés (1,2 et 3) et le quatrième non salé.

Les échantillons prélevés sur l'horizon de surface du sol, ne montrent pas des différences entre les deux méthodes de mesure de la CEC.

Pour les échantillons prélevés sur l'horizon inférieur, les différences sont apparentes entre les deux méthodes de mesures de la CEC pour les sols salés. Pour le sol 4 non salé, il ne réside pas de différence entre les deux méthodes de mesure de la CEC.

## Références bibliographiques

- Aubert G., 1975 -Sols sodiques en Afrique npord. Ann. Inst. Nat. Agron., Alger, VI, pp : 185-195.
- Aubert G., 1983. Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah. ORSTOM. Ser. ped.Vol xxx n°1, pp = 7378.
- Aubert G., 1988 – Les sols salés et leur mise en valeur. Séminaire National, sur la fertilisation, Chélif Algérie.
- Aubert, 1983 ; Bridges, 1978 Duchauffour, 1969
- Bonneau et Souchier, 1979). Effets de boisements résineux purs sur l'évolution de la fertilité du sol. Rev. for. fr., XXXI, 3, 198-207
- Baize D., 2000 – Guide des analyses en pédologie. INRA Paris p 205 – 213.
- Balesdent J., 1996- "Un point sur l'évolution des réserves organiques dessols de France."  
Etude et Gestion des sols. p 260.
- Bodet et al., 2001- Fertiliser avec les engrais de ferme, IE, ITAVI, ITCF, ITP, 104 p.
- Collot et *al.*, 1982- Les interactions sols racines. Incidences sur la nutrition minérale. INRA. Paris. 325p.
- Claire Marsden
- Calvet R, 2003-Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 p.
- Chamayou et Legros, 1989

- Duparque A et Rigalle P, 2006 : Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2006, Agrotransfert.
- DUPRARQUE A, RIGALLE P, 2011 : Composition des MO et turn over ; Rôles et fonctions des MO, actes du colloque « Gestion de l'état organique des sols », 27 janvier 2011, Agrotransfert.
- Daoud (1978) in MARIH R., 1991 – Répartition saisonnière et spatiale de la salinité au niveau de la station I.N.R.A de HAMADENA (RELIZANE). Mémoire, ing agro, INES Tiaret, 32 pages.
- Espiau et Pedro (G), 1980- caractérisation du complexe d'échange et sa signification pedogenitique sous climat tempéré .Ann,Agron,31,363-383p.
- Eengeïntegreerde kijk op N-bemesting van volle veldsgroenten (inagro)
- GEPPA (Groupes d'étude des problèmes de pédologie appliquée) a été publié en 1963
- INSID 2008- les sols salins en Algérie., Institut national des sols, de l'irrigation et du drainage; juillet 2008.
- Mehlich, 1953, Bascomb, 1964, Gillman, 1979.
- I Mehlich G., 1970. Veränderung eines Lösslehm. Pseudogley durch Fichtenreianbau. Thèse, Hambourg.
- Mashali A.M., 1976: Soil management practices for gypsiferous soils. International symposium with gypsum. Leida. Spain, pp: 34-51.
- Orsini et Rémy, 1976, Oliver, 1984, Fallavier et al., 1985
- Richards (L. A)., 1954- Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agri. and book- 60.

- Richards, 1954 ; Servant, 1970 ; Creusi, 1970 : Diagnosis and improvement of saline and alkali soils Agric. Handb . N° 60 vol 1. us
- Rieu et al (1992) : Sodium – calcium exchange on Brazilian soils : modeling the variation of selectivity coefficients. Soils .sci. Ann. J , pp: 1294-1300.
- Roger Prat, Samia Serri: Roger Prat Réalisation : Roger Prat, Samia Serri Production : Science en Cours, Université Denis Diderot Paris 7
- Soltner D, 2003- Les bases de la production végétale. Tome 2. 6ème édition.Sci et Tech Agr. 49310. Sainte Gène sur la Loire. France.117-.
- Soltner D, 2005- Les bases de la production végétale. Tome 3. 6ème édition.Sci et Tech Agr. 49310. Sainte Gène sur la Loire. France
- Servant J.M ., 1975: Etude pedologique des sols halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Montpellier, 194p.
- Servant (J.), 1978. - La salinité dans les sols et les eaux. Caractérisation et problèmes d'irrigation-drainage. Bull. du BRGM, section IV, n° 2.142p.
- Van Olphen (1963):gypsiferrous soils. Notes on their characteristics and management. Bulletin 12. International institute for land reclamation and improvement wageningen . The nether lands, 44 p.