

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Master en Sciences  
Agronomiques  
Spécialité : Gestion Conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement

Evaluation spatiale et temporelle de la salinité dans une  
parcelle agricole dans la plaine de la Mina  
(W. Relizane).

Soutenu devant le jury :

Président Mr. BOUALEM AEK	MCB	Université de Mostaganem
Encadreur Mr. HADDAD Ahmed	Pr	Université de Mostaganem
Co-Encadreur Mr. GACEM Farid	Ing.	INSID Matmar
Examineur Mr. ANTEUR Djamel	MAA	Université de SAIDA

Présenté par : - GUELIL Hanane  
- BETTAHAR Wassila

Promotion: 2018-2019

## **Dédicace**

*J'ai le grand honneur de dédier modestement le fruit de mes*

*Longues années d'études tout d'abord :*

*A mes chers parents :*

*Sources de mes joies, secrète de ma force*

*Vous serez toujours le modèle*

*Papa, dans ton orientation, ta force et ton honnêteté*

*Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement*

*Merci pour tous vos sacrifices pour que vos enfants*

*Grandissent et prospèrent.*

*Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie*

*C'est à vous que je dois cette réussite.*

*Et je suis fière de vous l'offrir.*

*Atouts ma famille, je dis merci.*

*A ma Binôme **Wassila** et sa famille.*

*Auchère personne sur mon cœur qui toujours*

*Près de moi, m'encourage, me conseille, me soutien, merci que dieu te garde et te protège pour moi.*

*Atous ceux que j'aime et je respect.*

*Atous la promotion d'Agronomie 2018-2019.*

**Hanane**

## *Remerciement*

*Avant tout, je remercie Dieu le tout-puissant, miséricordieux et clément, pour m'avoir donné santé, patience, volonté et courage. El Hamdou Lillah*

*Sincères remerciements*

*Au Docteur **MHADAD Ahmed** : D'avoir accepté de m'encadrer et de m'avoir initié la recherche avec beaucoup de patience et gentillesse. Pour son aide matériel et moral. Pour sa compétence professionnelle qui fait un exemple de rigueur et de droiture dans l'exercice de la profession.*

*Veillez, trouver dans ce modeste travail l'expression de ma haute considération, de ma sincère reconnaissance et de ma profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.*

*Vifs remerciements*

*A mon enseignant, et président du jury, **Mr. BOUALEM AEK** Qui a non seulement contribué à ma formation mais qui nous a beaucoup guider par ses conseils et par sa bienveillance. Je suis très honorée monsieur de vous avoir comme présidente du jury de mon étude.*

*Qu'il trouve ici l'expression, de ma respectueuse considération et de mon profond respect. Au **Mr. ANTEUR Djamel** qui me fait l'honneur de juger ce travail. Qu'il trouve ii le témoignage de ma gratitude et o profond respect. À notre chef de parcours, **M.HADAD**, qui nous a enseigné et guidé qu'il trouve ii l'expression de ma haute considération, de ma sincère reconnaissance et de mon profond respect. Sincères remerciements.*

## **Résumé :**

L'étude de la variabilité spatiale de la salinité dans les sols par prélèvements d'échantillons suivis d'analyse de laboratoire est difficile à cause de la grande variabilité des teneurs en sels d'un point à l'autre. La méthode conventionnelle de détermination de la salinité, par la mesure de la conductivité électrique d'un extrait de la pâte saturée du sol (CEps), reste difficile à cause de la grande variabilité spatiale des teneurs en sels d'un point à un autre, qui rend cette méthode laborieuse. Comme solution alternative, l'induction électromagnétique par l'appareil (EM38), L'objectif principal de cette étude est la cartographie de la salinité à partir d'une méthode géophysique non destructive, par la technique d'induction électromagnétique, permettant de décrire l'extension spatiale de la salinité et de sa profondeur d'apparition ; et l'élaboration d'une carte d'aménagement hydro agricole en fonction des résultats obtenus.

**Mots-clés :** variabilité, Salinité, cartographie, plaine de Mina,

## **Summary:**

Knowledge of the spatial distribution of soil salinity and its evolution over time becomes necessary in order to arrive at strategie for sustainable agricultural development. The conventional method of determining salinity by measuring the electrical conductivity of an extract of soil saturated (CEps) remains difficult because of the great spatial variability of the salt contents from one point to another, which makes this method laborious. As an alternative solution, electromagnetic induction (EM38) can be used to facilitate rapid measurement of soil salinity in situ. It is fast and allows a high density of measurement points. This spatial evolution of soil salinity by using this method on a representative plot of the Mina (Relizane) plains. A set of 64 measurement of electromagnetic conductivity (CEM) was performed on a regular 50\*50 m grid with the EM38 instrument, while 17 samples were taken for CEps determination. Linear regression models were used to convert CEM values to CEps. kriging was used to extrapolate to non-sampled locations. The elaboration of the salinity map was based on these predicted values. The results showed two levels of soil salinity (saline and very saline). The saline profiles are descending. The statistical analysis of the results allowed us to establish regression equations because of significant correlations between the CEM of the studied soils on the one hand the CEps, the humidity and the organic matter on the otherhand.

**Key words:** variability, salinity, cartography, plain of Mina

## المخلص:

من الصعب دراسة التباين المكاني للملوحة في التربة عن طريق أخذ العينات تليها التحليل المختبري بسبب التباين الكبير في محتوى الملح من نقطة إلى أخرى. لا تزال الطريقة التقليدية لتحديد الملوحة ، بقياس الموصلية الكهربائية لمستخرج من عجينة التربة المشبعة ، صعبة بسبب التباين المكاني الكبير لمحتويات الملح من نقطة إلى أخرى. مما يجعل هذه الطريقة شاقة. كحل بديل ، هو الحث الكهرومغناطيسي من قبل الجهاز (EM38) ، والهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو رسم خرائط الملوحة من طريقة الجيوفيزيائية غير المدمرة ، من خلال تقنية الحث الكهرومغناطيسي ، والسماح لوصف المدى المكاني للملوحة وعمق مظهرها ؛ ووضع خريطة للتنمية المائية الزراعية على أساس النتائج التي تم الحصول عليها.

الكلمات المفتاحية: تقلبات ، ملوحة ، رسم الخرائط ، سهل منى

## Liste des tableaux

<b>Tableau N°1</b> : Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période .....	<b>20</b>
<b>Tableau N°2</b> : Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRAA de H'madna, <b>Relizane</b> .....	<b>20</b>
<b>Tableau N°3</b> : Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006) .....	<b>21</b>
<b>Tableau N°4</b> : Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). .....	<b>22</b>
<b>Tableau N°5</b> : Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) .....	<b>24</b>
<b>Tableau N°6</b> : Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda(Relizane) .....	<b>25</b>
<b>Tableau 07</b> . Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées .....	<b>25</b>
<b>tableau08</b> : montre la répartition de la superficie de l'occupation du sol du sol, au niveau du périmètre, sur une superficie de 6000 Ha .....	<b>26</b>
<b>Tableau N°09</b> .Représente les coordonnées <b>WGS 1984</b> da la parcelle d'étude.....	<b>37</b>
<b>Tableau 10</b> . Résultats de l'Argile (en %)......	<b>50</b>
<b>Tableau 11</b> . Résultats des Limons (en %)......	<b>50</b>
<b>Tableau 12</b> . Résultats des Sables (en %)......	<b>50</b>
<b>Tableau 13</b> . Résultats du pH .....	<b>50</b>
<b>Tableau 14</b> .Résultats du calcaire total (CaCO <sub>3</sub> en %)......	<b>51</b>
<b>Tableau 15</b> .Résultats du calcaire actif (en %)......	<b>53</b>
<b>Tableau 16</b> Résultats de la MO en fonction des couches H <sub>1</sub> et H <sub>2</sub> de prélèvement.....	<b>54</b>
<b>Tableau 17</b> Concentration en anions Cl <sup>-</sup> ,HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> et SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> en fonction des couches H <sub>1</sub> et H <sub>2</sub> de prélèvement .....	<b>54</b>
<b>Tableau 18-</b> Données de corrélation entre la conductivité électromagnétique horizontale et la conductivité électrique de l'extrait de la pate saturée.....	<b>56</b>
<b>Tableau 19</b> .Résultats de la conductivité électrique (CE <sub>psds/m</sub> )......	<b>56</b>
<b>Tableau 20</b> .Résultats de la conductivité électrique (CE <sub>d1/5</sub> ) .....	<b>57</b>
<b>Tableau 21</b> . Distinction des différents profils salins.....	<b>60</b>
<b>Tableau 22</b> . Types de profils de salinité obtenus.....	<b>60</b>
<b>Tableau 23</b> . Relation entre la CEM et la texture du sol.....	<b>61</b>

<b>Tableau 24.</b> Relation entre la CEM et les propriétés du sol.....	63
<b>Tableau 25.</b> Valeurs des conductivités électriques (CEps), mesurées et calculées.....	63
<b>Tableau 26.</b> Paramètres statistiques des valeurs mesurées et calculées.....	63
<b>Tableau N°27 :</b> Echelle de la Salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 .....	66

## Liste des figures

**Figure 1** : Le mécanisme du phénomène de salinisation des sols.

**Figure 2** : Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel (**Munns et Tester, 2008**).

**Figure 3** : La variabilité de niveau de production des cultures à l'augmentation de la salinité des sols (**FAO 1988**).

**Figure 4**: Structure en agrégats.

**Figure 5** : les diverses formes d'eau contenues dans le sol en fonction de leur degré croissant de rétention.

**Figure 6** : Variabilité de la disponibilité de l'eau en fonction de la nature du sol.

**Figure 7** : Superficie affectée par la salinité dans les différentes régions du monde (**FAO, 2006**).

**Figure 8**. Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie (**INSID, 2008**).

**Figure 09**. Carte de situation de la plaine de la Mina (**Relizane**)

**Figure 10**. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles.

**Figure 11** : Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007)

**Figure 12** : Carte de salinité des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha(**INSID, 2008**).

**Figure 13**. Carte d'occupation des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (**INSID, 2008**)

**Figures N°14**. Démarche méthodologique

**Figure N° 15** Spectromètre à absorption atomique

**Figure N° 16**. Situation géographique de la zone d'étude.

**Figure N°17**. Parcelle d'étude (Source : Google Earth).

**Figure 18** : Localisation des points de prélèvement et d'échantillonnages.

**Figure N°19** : Utilisation de l'EM38 en mode verticale et horizontale

**Figure N°20**. Lectures verticales et horizontales de l'EM38

**Figure N°21**. Méthode de prélèvement des échantillons de sol.

**Figure N°22**. La pipette de Robinson

**Figure N°23**. Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée

**Figure N°24**. Protocole de la pâte saturé.

**Figure N°25**. Attaque au froid sur le bain de sable.

**Figure N°26**. Séparation des phases

**Figure N°27**. Dosage avec le selde **Mohr**.

**Figure N°28**. Calcimètre de **Bernard**

**Figure N°29**. Dosage de calcaire actif.

**Figure 30.** Profil salin moyen des échantillons prélevés (CEps en dS.m-1)

**Figure 31.** Corrélation entre CEps et CED<sub>1/5</sub>

**Figure 32.** Distribution de la CEps dans les horizons de la parcelle d'étude.

**Figure 33.** Evolution de la CEps (dS/m) par profils.

**Figure 34.** Corrélation entre CEMV et CEMH.

## Liste des abréviations

CEi : conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation.

Qi : quantité d'eau d'irrigation.

CEd : conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage.

Qd : quantité d'eau de drainage

CE : Conductivité électrique de l'extrait dilué du sol (dS.m<sup>-1</sup>)

CE ps : Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS.m<sup>-1</sup>)

CEa : Conductivité électrique apparente du sol exprimée en mS.m<sup>-1</sup>

CEM H : Conductivité électromagnétique horizontale exprimée en mS.m<sup>-1</sup>

CEM V : Conductivité électromagnétique verticale exprimée en mS.m<sup>-1</sup>

CEC : Capacité d'échange cationique (meq/100g)

SAR : Sodium Absorption Ratio.

ESP : Exchangeable Sodium Pourcentage (en %).

## Sommaire

**Introduction générale .....01**

**Premier partie : Synthèse bibliographique**

### **CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

1. La salinisation des sols.....	04
1.1. Définitions.....	04
1.2. Les caractères des sels.....	04
1.2.1. La solubilité des sels.....	04
1.2.2. Le mouvement des sels.....	04
1.3. La genèse d'un sol salin et/ou sodique.....	05
1.4. Description de l'origine de la salinité.....	06
1.5. Les Types de la salinité des sols.....	06
1.5.1. La salinité primaire (ou Naturelle).....	06
1.5.2. La salinité secondaire (ou d'origine humaine).....	06
2. La différence entre la salinisation et la sodisation des sols.....	07
3. La sensibilité des plantes au stress salin.....	08
3.1. Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité.....	09
3.1.1 Les halophytes.....	09
3.1.2. Les glycophytes.....	10
3.2. Tolérance des cultures à la salinité du sol.....	10
4. La salinité et la texture des sols.....	10
4.1. Définition de la texture du sol.....	10
4.2. L'eau et la structure en agrégats.....	11
4.3. Rétention de l'eau dans les sols.....	11
4.4. Infiltration de l'eau en fonction de la nature du sol.....	12
4.5. La texture des sols et la mobilité des sels.....	12
5. Étude de La salinisation des sols.....	13
5.1. Salinisation dans le monde.....	13
5.2. Salinisation en Algérie.....	14
6. Méthodes de mesure de la salinité des sols.....	15
6.1. Les méthodes de détection des sols.....	15
6.2. Méthodes de détection et de mesure de la salinité des sols .....	15
6.2.1. La méthode de laboratoire.....	15
6.2.2. Méthodes In situ.....	16

6.2.3. La méthode à distance.....	16
6.3. Les capteurs électromagnétiques et électriques .....	16
7. Conclusion.....	17

## **CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

1. Situation géographique.....	19
2. Synthèse climatique .....	20
2.1. Les précipitations.....	20
2.2. Les températures.....	21
2.3. L'évapotranspiration.....	22
2.4. Classification du climat.....	22
2.4.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls.....	22
3. Géologie .....	23
4. géomorphologie .....	23
5. Réseau hydrographique et ressources en eaux.....	24
6. Les sols.....	25
7. Occupation du sol.....	25
8. Conclusion.....	26

## **CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES**

Objectif de l'étude et méthodologie .....	31
1. Matériels et méthode.....	33
1.2. Matériels de terrain .....	33
1.2.1 Conductimètre électromagnétique (EM <sub>38</sub> ).....	33
1.2.2. GPS (Appareil de géo positionnement satellite).....	33
1.2.3. Matériels de laboratoire .....	34
1.2.3.1. Conductimètre .....	34
1.2.3.2. PH- mètre .....	34
1.2.3.3. Centrifugeuse.....	35
1.2.3.4. Spectromètre à absorption atomique.....	35
1.3. Méthodologie .....	36
1.3.1 1Analyse des documents de base .....	36
1.3.1.1 L'expérimentation.....	36
1.3.1.2 Matériel pédologique.....	38
1.3.1.3 Dispositif expérimental.....	39
1.4. Analyses de laboratoire.....	41
1. 4.1. Paramètres physico-chimiques du sol.....	41

1 La Granulométrie .....	41
2Le pH.....	42
3- La Conductivité Electrique.....	43
4- Extrait de la pâte saturée.....	43
La Matière Organique.....	44
Le Calcaire Total.....	45
Le Calcaire Actif.....	46
Étude statistique.....	47

## **CHAPITRE IV : RESULTATS & DISCUSSION**

Partie I. Résultats d'analyses du sol .....	49
I. Etude des paramètres physico-chimiques du sol .....	49
1. Résultats statistiques des analyses physiques du sol .....	49
1.1. Analyse de la texture.....	49
2. Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol .....	50
2.1. Analyses du potentiel Hydrogène (pH) .....	50
2.3. Analyses statistiques du calcaire total (CaCO <sub>3</sub> ).....	51
2.4. Analyses statistiques du calcaire actif .....	53
2.5. Matière organique.....	54
2.6. Concentration en anions.....	54
3. Caractérisation de la salinité du sol.....	56
3.1. Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée (CE <sub>ps</sub> ) diluée (CE 1/5).....	56
3.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué (CED <sub>1/5</sub> ).....	57
3.3. Distribution de la salinité dans les différents horizons.....	59
3.4. Distribution verticale de la salinité.....	59
3.5.1. Les lectures électromagnétiques de l'EM38.....	60
3.3. Analyse statistique des valeurs mesurées et calculées de la Ce <sub>ps</sub> .....	62
Analyses cartographique.....	64
Comparaison entre 3 classes de la salinité .....	67
Conclusion générale.....	68
Références Bibliographiques.....	70
Annexe.....	75

## **Introduction Générale :**

L'amélioration de la sécurité alimentaire dans le monde est un enjeu qui dépend des ressources en terres et en eau et de la façon dont elles sont utilisées. La pression démographique, le changement climatique et la compétition de plus en plus âpre dont la terre et l'eau font l'objet vont probablement aggraver l'insécurité alimentaire, en particulier pour les populations vulnérables d'Afrique et d'Asie.

La population mondiale continue à augmenter. Aujourd'hui évaluée à 7 milliards de personnes environ, elle devrait atteindre 9 milliards en 2050. D'ici là, il sera nécessaire de produire 1 milliard de tonnes de céréales et 200 millions de tonnes de produits animaux supplémentaires chaque année.

Les signaux d'alarme ne manquent pas. Les rythmes de croissance de la production agricole ont ralenti et ne sont plus que la moitié des 3 pour cent de taux de croissance annuelle observés dans les pays en développement par le passé, cette diminution causée par différents phénomènes notamment la pollution des cours et des plans d'eau, la dégradation des écosystèmes liés à l'eau, les inondations, les glissements des terrains, la désertification et la salinisation des sols et des eaux.

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (FAO, 2005). D'après Szablocs (1989), 3,2 million d'hectares subissent la salinisation à des degrés de sévérité variable. Une bonne partie du phénomène de salinisation se trouve localisée dans les terres arides et semi arides, du fait que le processus de salinisation est plus marqué par des températures élevées durant presque toute l'année, du drainage restreint et de la faiblesse des précipitations insuffisantes pour lixivier les sels solubles du sol (FAO, 2005).

Pour Duchaufour (1983), la salinité est due dans les régions sèches à la remontée par capillarité des solutions du sol sous l'influence de l'évaporation, la concentration des solutions augmente, la précipitation des sels intervient, ce qui permet la saturation par le sodium d'une fraction de l'humus et des argiles, qui pourront être entraînés à la période humide suivante.

La plaine de la Mina, de l'ordre de 20 000 ha, est une région agricole caractérisée par la salinisation. Un périmètre y a été équipé en grande hydraulique en 1945 (ANRH, 2003) et depuis, une extension des surfaces salées a été constatée en atteignant par endroits des niveaux critiques.

Plusieurs tentatives pour expliquer cette évolution ont été conduites, notamment à partir des propriétés des sols et institue du sol, d'irrigation et de drainage (INSID) in situ.

L'objectif de ce travail est l'étude de la variabilité spatio-temporelle de la salinité, sur une parcelle cultivée, située au niveau de la plaine de la Mina (Relizane). Des approches complémentaires ont été mises en œuvre, dans cette étude, à savoir :

- la cartographie de la salinité à partir d'une méthode géophysique non destructive, par la technique d'induction électromagnétique, permettant de décrire l'extension spatiale de la salinité et de sa profondeur d'apparition ;
- et l'élaboration d'une carte d'aménagement hydro agricole en fonction des résultats obtenus.

L'organisation de ce travail s'est articulée comme suit :

- Un premier chapitre qui concerne la synthèse bibliographique ;
- Le Chapitre. II est consacré à la présentation de la zone d'étude ;
- Le Chapitre. III est consacré à la méthodologie adoptée et le matériel utilisé ;
- Le Chapitre. IV concerne les résultats obtenus ainsi qu'une synthèse générale.
- Nous terminerons ensuite par une conclusion générale sanctionnée par des perspectives et des recommandations.

# CHAPITRE I

## **Synthèse bibliographique**

## **1. La salinisation des sols**

### **1.1. Définitions**

La salinisation est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin. La salinisation peut aussi être définie comme un processus d'accumulation des sels solubles. D'après Mermoud (2006), la salinisation des sols est le processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol; il s'ensuit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol. La salinisation se produit généralement lorsque la quantité d'eau perdue par le sol par évapotranspiration dépasse celle provenant de l'infiltration des précipitations.

La salinisation entraîne un accroissement de la pression osmotique qui rend l'eau plus difficilement mobilisable par les plantes, une toxicité de certains ions pour les végétaux ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , etc...) et une dégradation du sol (modifications de l'état structural, diminution de la conductivité hydraulique...)

Le terme de salinité se rapporte à la présence des principaux solutés inorganiques dissous (essentiellement des ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{4-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ ) dans des échantillons aqueux. La salinité est quantifiée en termes de la concentration totale de ces sels solubles, ou plus concrètement, en termes de conductivité électrique de la solution, parce que les deux sont étroitement liés (Ussl, 1954).

La salinisation est l'accumulation des sels solubles (plus solubles que le gypse) à la surface du sol et dans la zone racinaire (Mermoud, 2006)

### **1.2. Les caractères des sels**

#### **1.2.1. La solubilité des sels :**

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

#### **1.2.2. Le mouvement des sels :**

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

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

La formation d'un sol salin ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (Essington, 2004). Le régime hydrique du sol, la forme de sel, les conditions climatiques et la texture des sols sont les paramètres les plus importants qui manifestent la genèse d'un sol salin. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ , et aux anions  $\text{Cl}^{-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^{-}$ .

Egalement le bore, l'arsenic et le molybdène (les éléments traces) sont considérés comme d'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations (Keren 2000, Essington 2004). De façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions  $\text{Na}^{+}$  dépasse celle des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur (Sumner 1993, Levy 2000, Essington 2004). Cela dépend de la source de sels mais aussi des conditions physico-chimiques du sol. Selon Bolt et al (1978), la salinité se produit si :

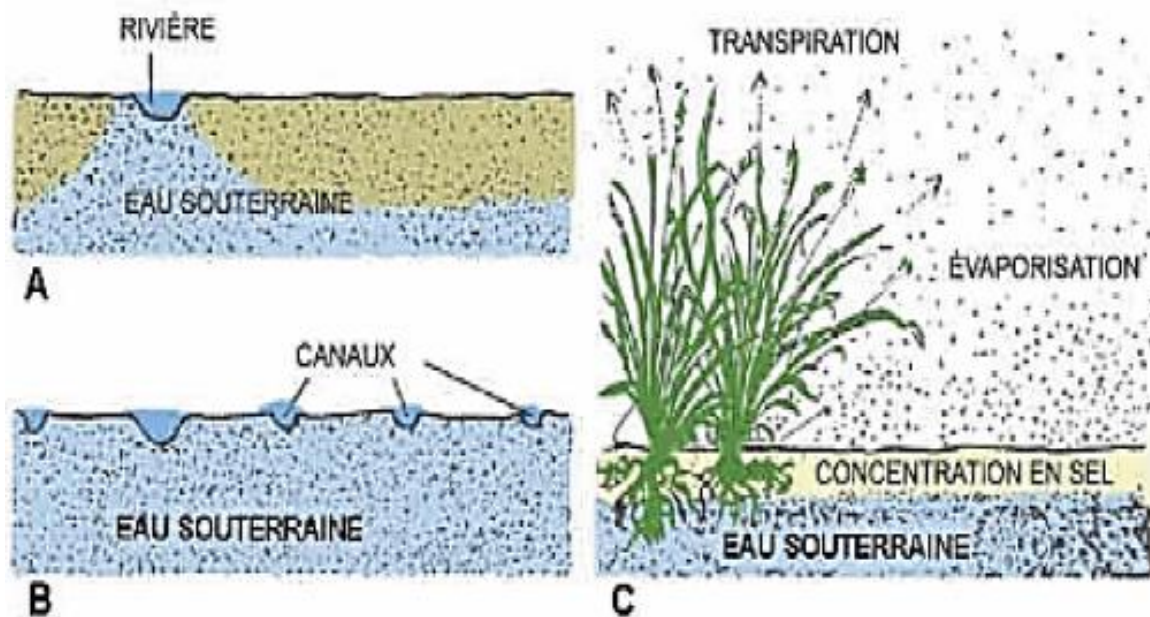
$$\text{CE}_i \times \text{Q}_i > \text{CE}_d \times \text{Q}_d$$

**CE<sub>i</sub>**: conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation.

**Q<sub>i</sub>** : quantité d'eau d'irrigation.

**CE<sub>d</sub>** : conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage.

**Q<sub>d</sub>** : quantité d'eau de drainage



**Figure 1** : Le mécanisme du phénomène de salinisation des sols.

La figure n°1 de Ramade (2008), mettant en évidence le mécanisme du phénomène de salinisation des sols. L'irrigation (A) entraîne une stagnation de l'eau dans les sols (B) due au manque de drainage d'où résulte l'accumulation des sels en surface suite à l'évaporation (C).

#### **1.4. Description de l'origine de la salinité**

La salinisation est contrôlée par un ensemble de facteurs liés aux conditions environnementales (climat, hydrologie), l'approvisionnement en eau et aux systèmes de contrôle (irrigation, drainage), et aux pratiques culturales (type et la densité du couvert végétal et les caractéristiques d'enracinement). Ces facteurs influent sur l'équilibre en eau du sol et donc le mouvement et l'accumulation de sels dans le sol. D'après Cherbuy (1991), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

#### **1.5. Les types de la salinité des sols**

##### **1.5.1. Salinisation primaire (ou naturelle)**

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

##### **Salinisation géologique**

Les sels solubles peuvent provenir soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place ; dans les dépressions fermées, soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires, ou de l'altération des roches volcaniques (Servant, 1975).

##### **Salinisation marine et lagunaire**

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peut être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines (Gaucher et Burdin, 1974).

##### **1.5.2. Salinisation secondaire (ou d'origine humaine)**

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire.

Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (Szablocs, 1994). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir. En effet, Hamdy et al (1995) ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité

correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon Cheverry (1995) occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 12 millions d'hectares.

## 2. la différence entre la salinisation et la sodisation des sols :

**Ramade (2008)** a défini la sodisation comme étant l'accroissement du taux de sodium échangeable d'un sol dû à diverses modifications physico- chimiques, dont résultent une défloculation des argiles et une obturation des pores qui entravent la circulation de l'eau. Le sol devient de ce fait imperméable et donc infertile.

En revanche, le sol sodique est le sol dont la structure pédologique est conditionnée par la teneur en sodium. Les principaux types de sols sodiques sont les solonetz, les solontchaks et les soloths (**Ramade, 2008**).

Le sodium ( $\text{Na}^+$ ) forme un taux d'accroissement élevé de tous les cations liés à des charges négatives sur les particules d'argile qui composent le complexe du sol. Les particules d'argile chargées négativement sont maintenues ensemble par des cations divalents. Lorsque les cations monovalents tels que  $\text{Na}^+$  déplacent les cations divalents sur le complexe du sol, et la concentration de sels solubles libres est faible, le complexe se gonfle et les particules d'argile se séparent.

On détermine la sodisation par le pourcentage de sodium échangeable **ESP** (Echangeable Sodium Pourcentage) par rapport à la capacité d'échange des cations (CEC).

$$\text{ESP} = 100 * \text{Na échangeable (en meq/l)} / \text{CEC (en meq/l)}.$$

Si cette valeur est supérieure à 15%, on parle d'un sol sodique. Ce pourcentage est en étroite relation avec un paramètre utilisé par l'école de Riverside, aux USA, qui est le **SAR** (Sodium Absorption Ratio) de l'extrait de la pâte saturée.

Le SAR est défini par l'expression :

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / ((\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) / 2)^{1/2}$$

Dans laquelle :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  sont les teneurs en meq/l de la solution.

La sodisation des sols est l'une des conséquences les plus dommageables et la plus répandue de l'irrigation, en zone aride. Elle influe sur la perméabilité en favorisant le gonflement et la dispersion des colloïdes du sol et entraîne des problèmes de toxicité des plantes (**Ilou, 1995**).

Si la concentration de sels solubles est suffisamment faible, l'altération des minéraux en argiles sodiques, entre autres par l'hydrolyse, aura lieu d'où la création d'un sol très alcalin. Les sols alcalins sont un type de sol sodique avec un pH élevé en raison de carbonate de sel, et sont définis comme ayant un PSE (Pourcentage de sodium échangeable) de 15 ou plus avec un pH de 8,5 à 10.

Le processus de sodicité est un phénomène complexe qui se produit sur une longue période de temps. Les sels s'accumulent dans le profil du sol par de dépôts atmosphériques ou par l'altération des minéraux. La fraction argileuse du sol peut causer la saturation de sodium. Le lessivage du profil, soit par l'eau de pluie sur des périodes prolongées ou par l'irrigation à l'eau douce, abaisse la concentration de l'électrolyte en disparaissant les particules d'argile. Le lessivage des particules d'argile plus profondément dans le profil bloquent les pores de l'infiltration de l'eau. En effet, le sol argileux empêche l'écoulement de l'eau, il s'engorge rapidement à cause du blocage des pores.

Dans les milieux semi-arides, les profils de sols sont couramment salins ou sodiques, où le sel s'est accumulé en raison de la faible perméabilité du sous-sol sodique. Les sols salins et les sols sodiques sont très répandus dans les zones arides et semi-arides du monde. Les sels provenant de précipitations ou de réactions d'altération s'accumulent dans les zones saturées dans le sous-sol pour qu'ils permettent l'infiltration d'eau d'une manière très lente. La salinité transitoire indique la variation saisonnière et spatiale de l'accumulation de sel dans la zone racinaire n'est pas influencée par les processus et les eaux souterraines de la nappe phréatique en hausse (**Rengasamy, 2002**). La salinité transitoire fluctue en profondeur en raison de la configuration des pluies saisonnières. Elle est dominée dans les différents paysages du monde. Probablement, les deux tiers de la superficie agricole de L'Australie à un potentiel de la salinité transitoire sont associés aux eaux souterraines (**Rengasamy, 2002**).

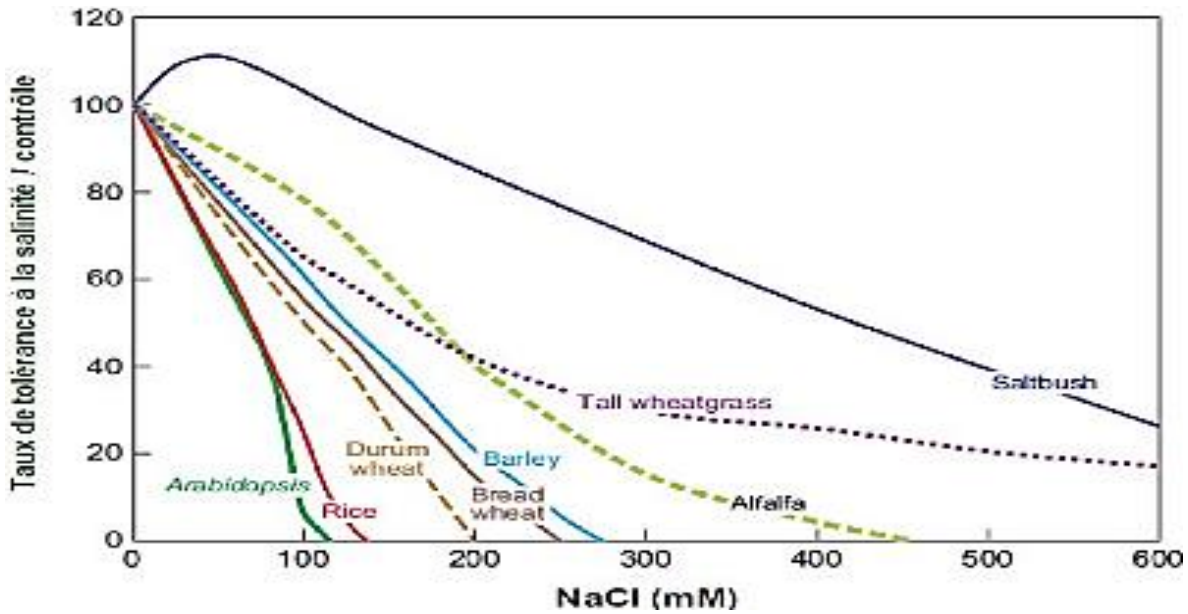
### **3. la sensibilité des plantes au stress salin**

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$  (Hopkins, 2003). Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" (Trembun, 2000).

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées (Levigneron et al. 1995).

#### **3.1. Classification des plantes selon leur tolérance à la salinité**

**Munns et Tester (2008)** ont établi les limites de tolérance à la salinité des espèces d'intérêt agronomique, leur classification est déterminée selon le taux de réduction du rendement sous l'effet du sel à diverses concentrations mesurées en (mM) voir figure n°2.



**Figure 2 :** Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel (Munns et Tester, 2008)

### 3.1.1 Les halophytes

Les halophytes sont des plantes capables de se développer et de croître sous un régime salin de 300 mM de NaCl (Tester et Davenport, 2008 in Chamekh, 2010). Ces plantes sont capables d'accumuler le sodium dans leurs matières foliaires à des concentrations élevées. Le sodium est stocké dans les vacuoles (Glenn et al. 1999 in Chamekh, 2010), ainsi que ces plantes présentent une modification de leurs enzymes ce qui permet une forte adaptation à la contrainte saline (Flowers et Dalmond, 1992 in Chamekh, 2010), ces plantes sont classées selon (Levigneron et al. 1995) en deux catégories :

#### Les plantes de type inclusif (include) :

La plante de type include capte le sel, qui parvient aux feuilles de la même façon que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. À l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles (qui sont des compartiments fermés au sein de la cellule) grâce à des systèmes de "pompes" moléculaires. Le sel est ainsi isolé. (Levigneron et al., 1995 ; Levitt, 1980).

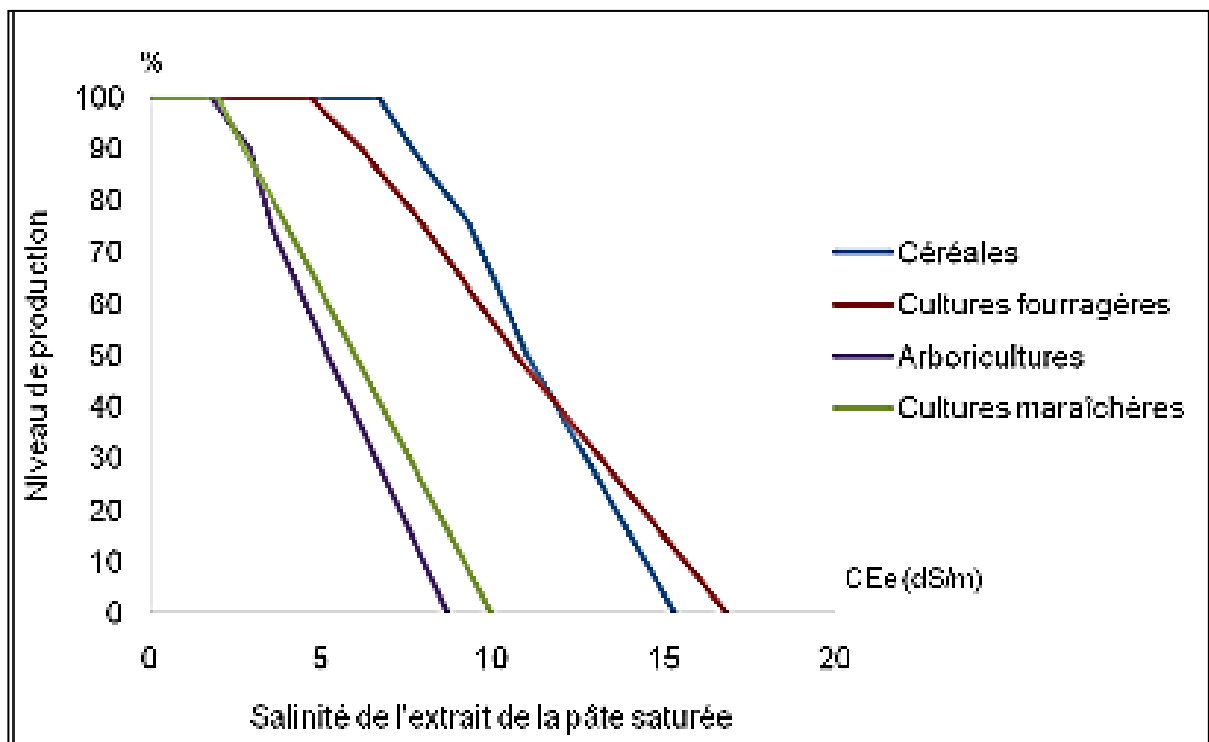
### 3.1.2. Les glycophytes :

Les glycophytes ne sont pas capables de survivre dans des conditions salines mais ils utilisent certaines stratégies des halophytes pour faire face au sel (Yokoi et al. 2002 in Chamekh, 2010). Les glycophytes ont des comportements soit inclusifs ou exclusifs selon les géotypes (Chinnusamy et al. 2004).

### 3.2. Tolérance des cultures à la salinité du sol

La sensibilité des cultures au stress salin se traduit par une réduction du rendement. Le seuil de tolérance à la concentration de sel dans la zone racinaire est propre à chaque culture. Le plus souvent le seuil de tolérance des cultures est exprimé par là CE de l'extrait de pâte saturée du sol (CEe).

Le graphique, ci-après, présente la variabilité de niveau de production des différentes cultures à l'augmentation de la conductivité électrique de la pâte saturée. Nous remarquons que les cultures maraîchères et arboricoles sont généralement les plus sensibles à la concentration de sel dans la zone racinaire, tandis que les céréales et les cultures fourragères supportent une concentration plus élevée sans perte significative de rendement.



**Figure 3 :** La variabilité de niveau de production des cultures à l'augmentation de la salinité des sols (FAO 1988).

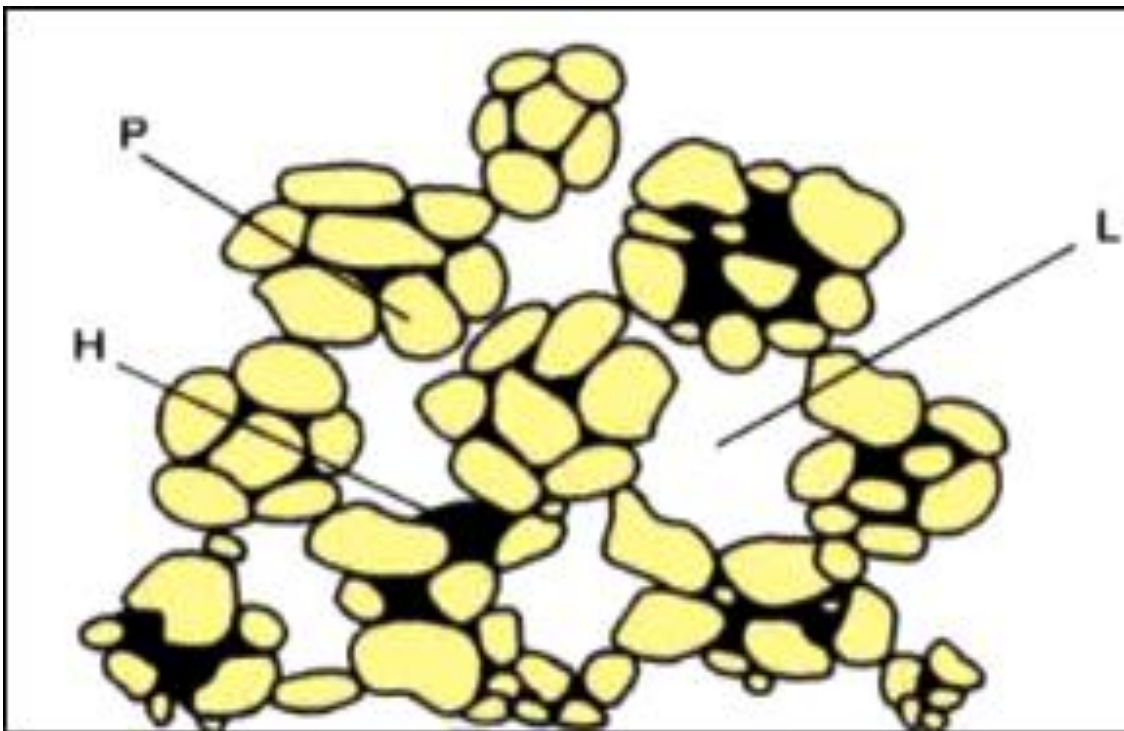
## 4. La salinité et la texture des sols

### 4.1. Définition de la texture du sol

La texture indique l'abondance relative, dans le sol, de particules de dimensions variées : sable, limon ou argile. De la texture dépend la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il retient, et la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol. (FAO, 2006).

### 4.2. L'eau et la structure en agrégats

La capacité de rétention de l'eau dans les sols dépend de leur porosité. Encore dénommée humidité (hygrométrie), elle se mesure en pourcentage de la quantité d'eau contenue dans un sol par rapport à son volume total. La capacité de rétention de l'eau par les lacunes des sols dépend de la teneur en limons et en argiles, car c'est un phénomène capillaire : l'adsorption est d'autant plus grande que la taille des particules est plus faible (Ramade, 2008).



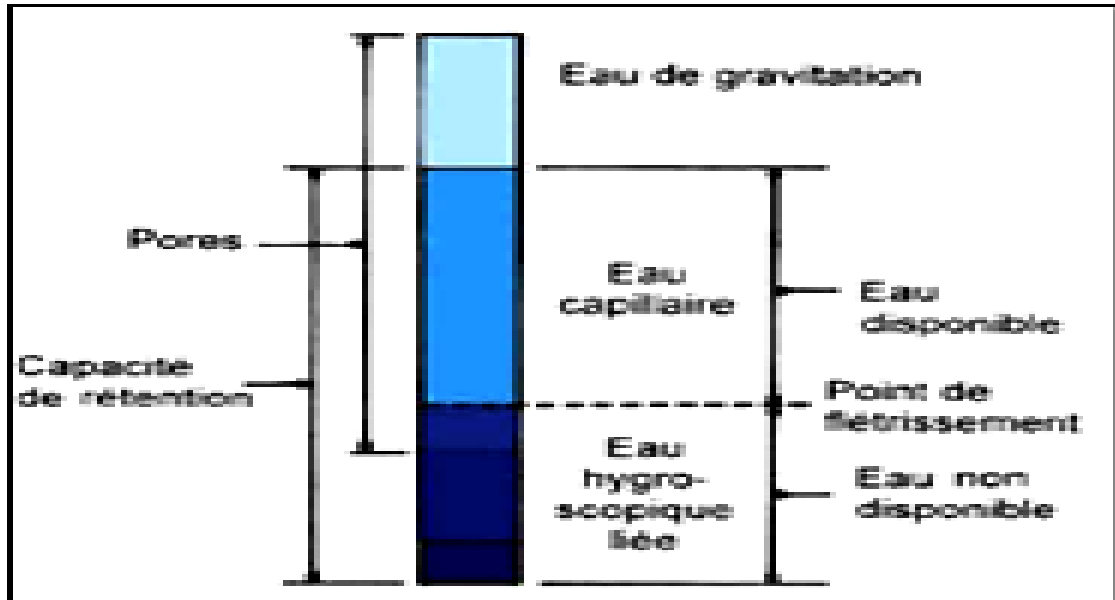
**Figure 4** : Structure en agrégats.

**L** = espaces lacunaires correspondant aux pores du sol, **P** = particules minérales, **H** = ciment constitué par les colloïdes floculés du complexe argilo-humique.

La figure 4, met en évidence la porosité d'un sol due à la structure lacunaire qui délimite des pores permettant une circulation de l'eau et des gaz.

### 4.3. Rétention de l'eau dans les sols :

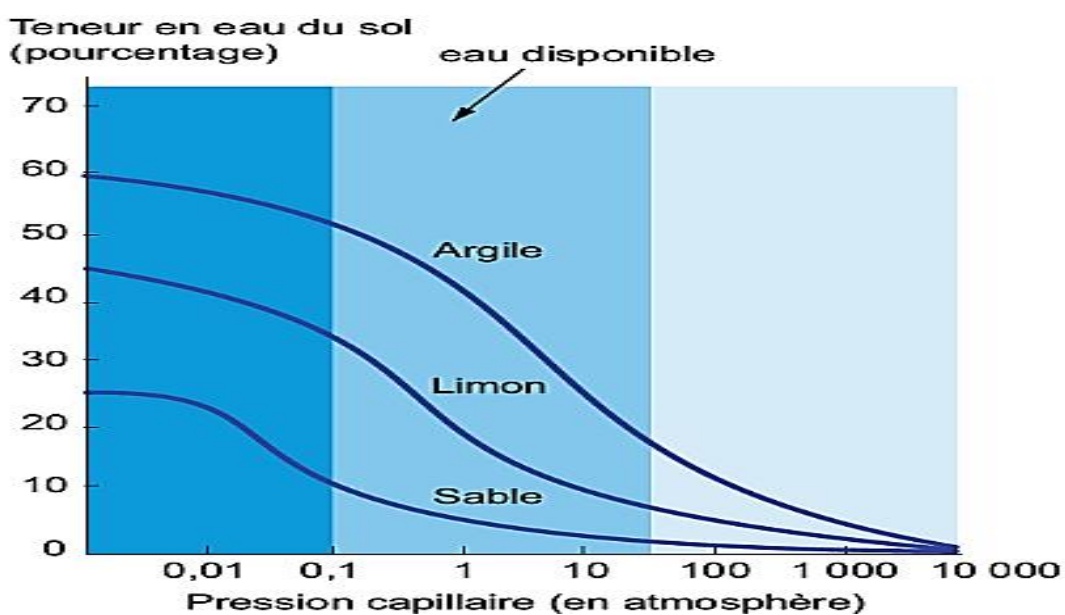
Toutefois, la disponibilité de l'eau pour les plantes ne dépend pas du seul volume total des cavités que referment les sols, mais aussi de la taille des pores qui conditionne la force de rétention capillaire à laquelle l'eau est soumise (**Ramade, 2008**).



**Figure 5 :** Rétention de l'eau dans les sols.

La figure 5 représente les diverses formes d'eau contenues dans le sol en fonction de leur degré croissant de rétention.

### 4.4. Infiltration de l'eau en fonction de la nature du sol



**Figure 6 :** Variabilité de la disponibilité de l'eau en fonction de la nature du sol.

Après une pluie, le sol saturé d'eau présente sa capacité maximale de rétention. Une partie va s'en écouler spontanément vers le bas par drainage : c'est l'eau dite de gravitation qui alimente les nappes phréatiques (Ramade, 2008).

L'eau dont la pression capillaire excède au moins de 1/10 d'atmosphère représente la capacité de rétention du sol dite « au champ », dont une fraction importante constitue l'eau disponible, que les végétaux peuvent extraire par aspiration jusqu'à une quinzaine d'atmosphères (Ramade, 2008).

#### **4.5. La texture des sols et la mobilité des sels**

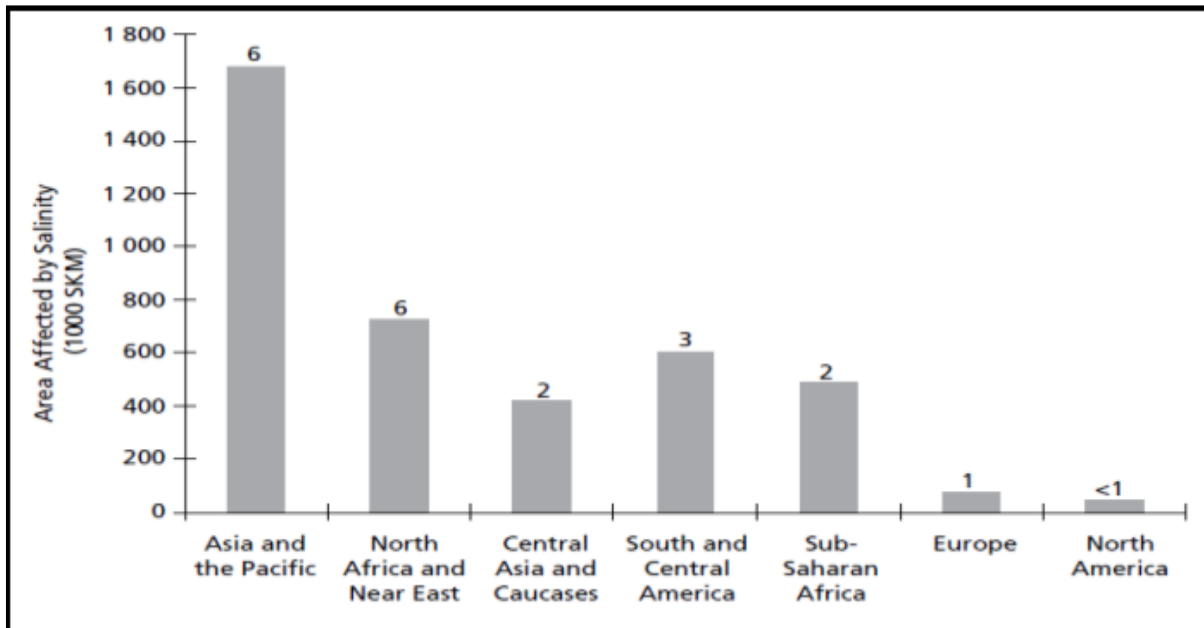
**Ltifi (2008)** a montré que la texture et la structure du sol agissent bien évidemment sur le processus de la salinisation selon son pouvoir drainant. Ainsi, un sol à texture grossière, perméable et bien drainant est très peu affecté par la salinisation, on y rencontre les phénomènes de lixiviation et de migration des sels en profondeur. En revanche, les sols lourds, peu perméables et de texture fine présentent des problèmes d'hydromorphie et de salinisation. Selon **Van hoorn(1994)**, les sols sableux montrent une vitesse élevée d'écoulement capillaire mais une hauteur limitée de remontée. Les sols argileux montrent une vitesse faible, théoriquement une hauteur considérable de remontée, mais pratiquement assez réduite à cause de fissures qui se forment lors du dessèchement et coupent le système capillaire. Au contraire les sols limoneux, qui ne montrent pas de fissures lors de dessèchement, sont les plus dangereux de point de vue salinisation, puisqu'ils combinent une vitesse capillaire moyenne avec une hauteur élevée.

### **5. Étude de La salinisation des sols**

**5.1. Salinisation dans le monde** Selon les estimations de la FAO, la salinisation affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (**Legros, 2009**). La plupart de ces terres affectées par le sel sont situées dans les zones arides et semi-arides, en Afrique du Nord, en Asie orientale, en Asie centrale et du Sud de l'Asie (**FAO, 2006**).

Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée au proche (Égypte, Tunisie) et moyen orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie centrale (Ouzbékistan), au nord de la Chine et en Argentine. Les sols sodiques sont particulièrement étendus en Australie, mais aussi dans certaines situations spécifiques, comme en Hongrie ou en Ouzbékistan. Par comparaison, le développement d'une salinité liée aux activités humaines ne concernerait que 77 millions d'hectares (**MarletetJob, 2006**).

Dans les pays du Maghreb, les dommages de la salinisation sont connus, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation (Djili k et al, 2003).



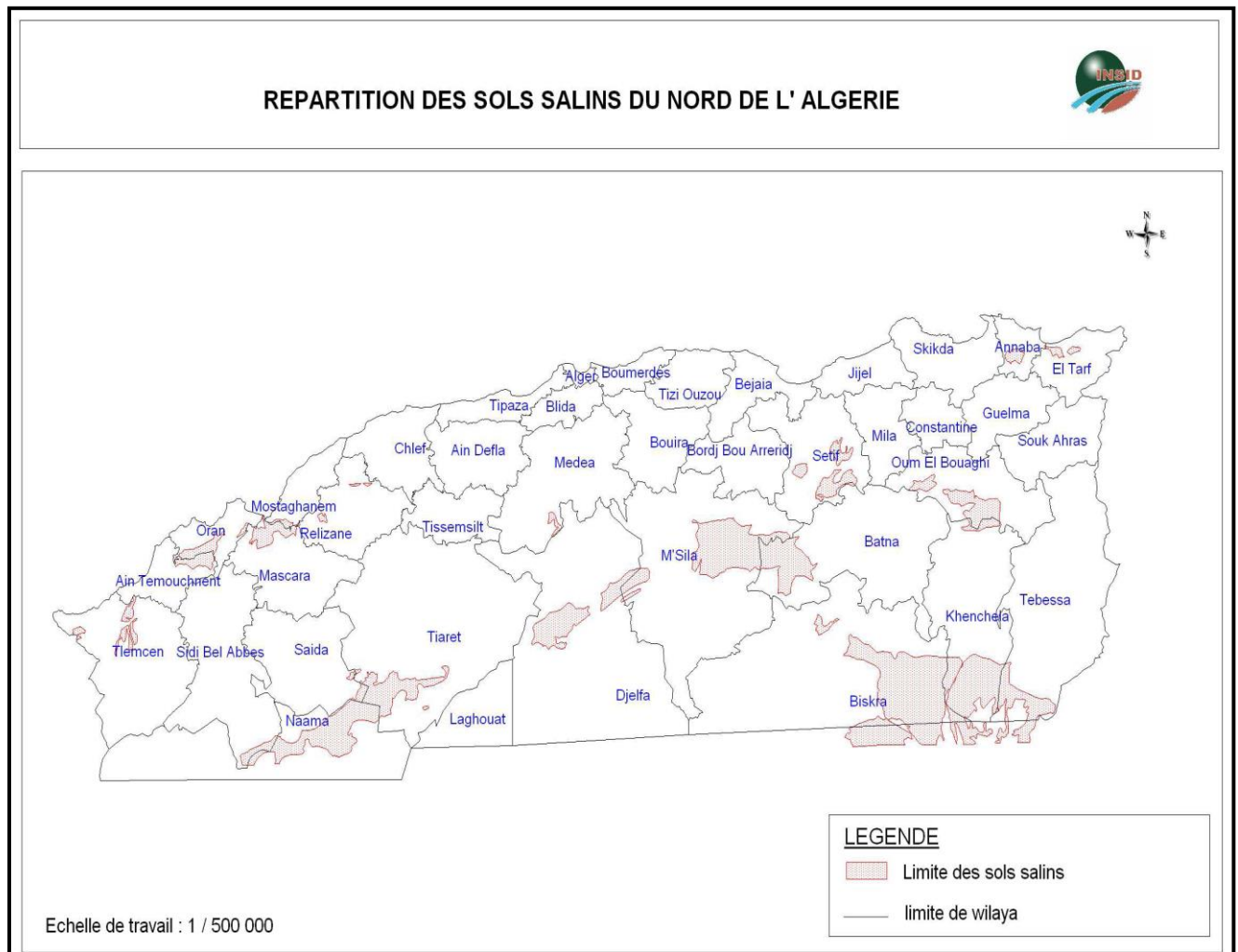
**Figure 7 :** Superficie affectée par la salinité dans les différentes régions du monde (FAO, 2006).

## 5.2. Salinisation en Algérie

En Algérie, les sols salés occupent de grandes étendues (Halitim, 1985). Selon Le Houerou (1993), les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale). Près de 10-15 % de terres irriguées, sont concernées par ces problèmes. Bien que le problème d'alcalinisation, selon Daoud et Halitim (1994) ne se pose plus, on estime que les terres salinisées seront difficilement récupérables. La plupart de ces sols sont situés, en région aride et semi-aride, mais aussi sous bioclimat subhumide (Halitim, 1973). Selon Djili (2000), les sols salés sont localisés au Nord qu'au Sud Algérien, et s'expriment mieux entre les isohyètes 450 mm qui semblent être la limite supérieure des sols fortement sodiques (Fig.08)

Selon l'INSID (2008), la salinité est observée dans les plaines et vallées de l'Ouest du pays (Mina, Cheliff, HabraSig, Maghnia), dans les hautes plaines de l'Est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), aux abords des Chotts et de Sebkhass (Chott Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zahrez Gharbi et Chergui, etc..) et dans le grand Sud (dans les Oasis, le long des oueds, etc.)

(Fig.8). Les sels les plus fréquents, dans les régions arides et semi- arides, sont surtout les chlorures, les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (Halitim, 1988). Selon Aubert (1975), les sols salés d'Algérie sont caractérisés, en général, par une conductivité électrique supérieure à 7dS/m et un pourcentage de sodium échangeable (ESP) qui varie de 5 à 60 % de la CEC.



**Figure n° 8.** Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie (INSID, 2008).

## **6. Méthodes de mesure de la salinité des sols**

### **6.1. Les méthodes de détection des sols**

Il existe différents types de capteurs :

- Les capteurs électriques et électromagnétiques permettent les mesures de la capacité électrique de résistivité et de la conductivité électromagnétique des sols ;
- Les capteurs optiques et radiométriques pour l'utilisation des ondes électromagnétiques pour détecter le niveau d'énergie absorbé et réfléchi par le sol ;
- Les capteurs mécaniques facilitent la mesure de la force des particules engagées du sol ;
- Les capteurs sonores qui permettent de quantifier le son produit par un outil en interaction avec le sol ;
- Les capteurs pneumatiques permettent l'évaluation de la capacité de la perméance de l'air dans le sol ;
- Les capteurs électrochimiques utilisent des éléments ioniques sélectifs produisant une tension de sortie en réponse à l'activité des ions sélectionnés (par exemple l'hydrogène, du potassium, du calcium, du sodium, du nitrate).

### **6.2. Méthodes de détection et de mesure de la salinité des sols**

Le choix d'une méthode d'évaluation de la salinité dépend de plusieurs facteurs tels que le but de la mesure, le nombre d'échantillons, le temps et les possibilités dont nous disposons pour effectuer notre travail. Il existe différentes méthodes pour la mesure de la salinité au niveau des périmètres irrigués :

#### **6.2.1. La méthode de laboratoire**

Elle consiste aux mesures de la conductivité électrique (ou électrochimique) de l'extrait de la pâte saturée ou des extraits aqueux (rapport sol/eau : 1/2, 1/5 et 1/10). C'est une méthode destructive (destruction des sols) lors d'un forage à tarière de plusieurs échantillons.

#### **6.2.2. Méthodes In situ**

Il s'agit de :

- La méthode électrique à l'aide d'un capteur de salinité constitué d'une paire d'électrodes incrustées dans un élément de céramique poreux.
- La méthode électromagnétique est utilisée dans notre travail.

Le prélèvement de la solution du sol in situ, est largement répandu lorsqu'on souhaite suivre des évolutions temporelles. Cette méthode non destructrice présente l'avantage d'être proche des conditions réelles du milieu.

### **6.2.3. La méthode à distance**

Une méthode non destructive qui consiste à l'utilisation des ondes électromagnétiques des capteurs optiques et radiométriques. Elle est basée sur le développement et l'interprétation de données radiométriques et de la réponse spectrale des ondes réfléchies par le sol.

### **6.3. Les capteurs électromagnétiques et électriques**

Les capteurs électriques et électromagnétiques sont utilisés pour mesurer la capacité des particules du sol à la conduite et / ou à l'accumulation de charge électrique. Le sol devient une partie de circuit électromagnétique formant une condition d'échange locale. Le signal enregistré sera affiché immédiatement par l'enregistreur de données. Les instruments les plus connus sont : Technologies Veris, (Salina, KS) et GEONICS Limited (Mississauga, Ontario, Canada), Geocarta (Paris, France), Geometrics, (San Jose, CA), Dualem, (Milton, Ontario, Canada) et CropTechnology, (Bandera, TX).

Pour mesurer la salinité des sols dans notre parcelle d'étude, nous avons utilisé, parmi ces capteurs, le GEONICS Limited EM38 pour calculer la conductivité électrique du sol (ECa) par induction électromagnétique.

**Conclusion**

Le facteur naturel et anthropique intervient au déplacement des sels dans le sol. Le fait qu'il y a une accumulation des sels dans les horizons, en résultant une formation d'un sol salin ou sodique. La solubilité et le mouvement des sels sont des caractères qui réagissent aussi pour la formation d'un sol salin. Le développement des végétations, en particulier la culture maraîchère, peut être menacée à cause de l'excès des sels dans le sol.

Le climat, l'hydrologie, l'irrigation, le drainage, le type du couvert ainsi que leur densité et leurs caractéristiques d'enracinement sont des facteurs qui contrôlent la salinisation des sols.

La production des cultures se change à l'évolution de la quantité des sels dans le sol. En effet, 6 dS/m au plus de conductivité électrique est une valeur convenable pour produire 100% de blé. Par contre si la valeur de conductivité électrique de la pâte saturée est supérieure ou égale à 20 dS/m, on ne peut pas apercevoir de produit de blé.

La plante de courge ne tolère pas la salinité des sols ; à une valeur de conductivité électrique qui ne dépasse pas 4,7 dS/m, le niveau de production peut atteindre 100%. En revanche, 15 dS/m est une valeur qui peut baisser le niveau de production vers 0%.

Pour mesurer et contrôler la gravité de la salinité des sols, il existe trois méthodes : la première méthode celle au laboratoire par la mesure de conductivité électrique de la pâte saturée ou la méthode In situ par la mesure de conductivité électromagnétique de sol ou aussi la méthode à distance celle de la télédétection.

# CHAPITRE II

## Présentation de la zone d'étude

### 1. Situation géographique

La parcelle d'étude est située au niveau du périmètre de la Mina qui se trouve dans le bassin inférieur de l'Oued Chélif et couvre une superficie totale de 20000 Ha environ. Il fut créé en 1945 et il est considéré parmi les plus anciens périmètres irrigués de l'Algérie (ANRH, 2003). La partie centrale du périmètre se trouve dans le Nord de l'Oued Mina, qui coule et se jette dans l'Oued Chélif. La partie Ouest s'étend à gauche et à droite de la route nationale N°4 et comprend le voisinage immédiat de la ville d'El Matmar. La partie Est s'étend à gauche et à droite de la RN°4 et comprend les environs de la ville de Oued Djemaa.



Figure n° 09. Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane).

**2. Synthèse climatique**

Pour estimer rapidement l'influence des principaux éléments, divers systèmes sont proposés. Les plus utilisés en région méditerranéenne sont : le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et le climagramme pluviométrique d'Emberger.

Ces deux systèmes résument le bioclimat d'une station donnée par trois éléments fondamentaux du climat : précipitations (mm) - températures maximales et minimales (°C).

Les données climatiques dans la présente étude proviennent de la station météorologique de Relizane et couvrent une période de 19 ans allant de 1988 à 2006.

Ces données recueillies concernent les températures maximales M (°C), les minimales m (°C) et les précipitations P (mm).

Concernant l'évapotranspiration potentielle, les valeurs sont celles de l'ANRH qui ont été calculées avec les données de Seltzer.

**2.1. Les précipitations**

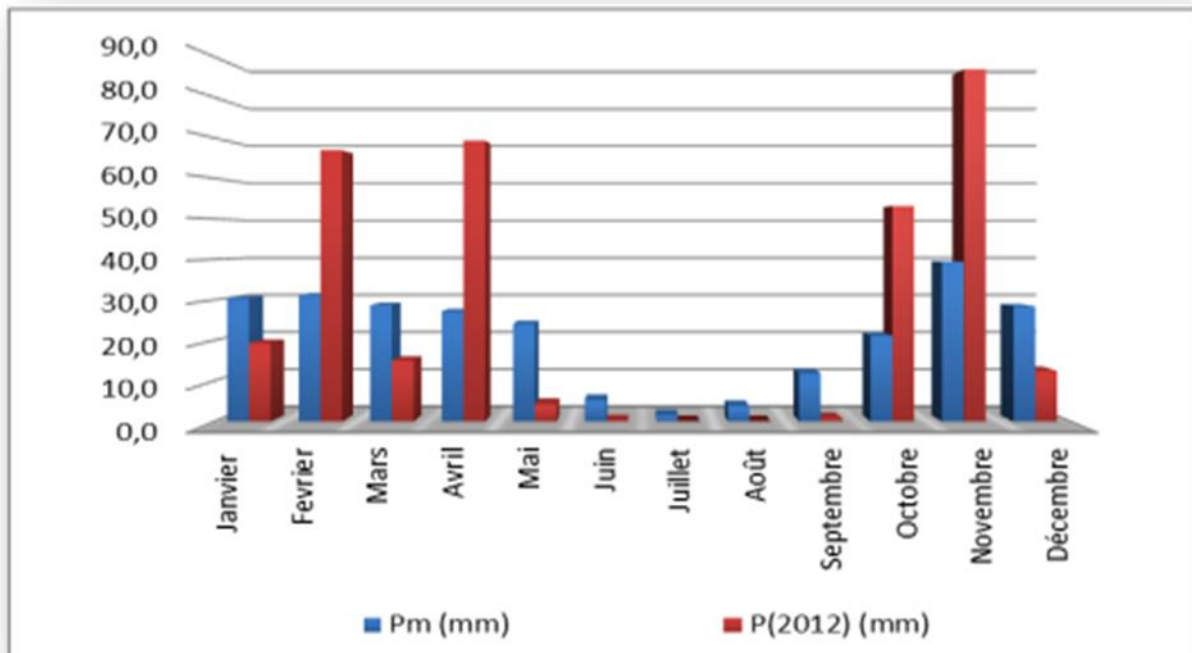
D'après le tableau.2, on remarque que les valeurs des moyennes mensuelles de la pluviométrie indiquent un maximum de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 01.5 mm, par contre le mois le plus humide est Novembre avec 39.4 mm. La répartition mensuelle des pluies laisse apparaître une répartition irrégulière de celles-ci. En effet, d'après la figure.12, 72.5 mm sont enregistré, au cours de l'automne soit 28.6 % du total, 90.1 mm, en hiver soit 35.6% du total et 80.1 mm, pendant le printemps, soit 31.6 % du total.

**Tableau01 :** Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période (1988 – 2006)

Mois (mm)	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	A	T
Pluie mm	11,9	21,2	39,4	28,4	30,4	31,2	28,8	27,2	24,2	5,3	1,5	3,8	253,3

**Tableau 02 :** Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRAA de H'madna, Relizane.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	Au	T
Pluie (mm)	07	53,2	86,9	12,5	19,4	66,9	15,1	69,3	4,3	01	00	00	328,5



**Figure n° 10.** Histogramme des précipitations moyennes mensuelles.

- Pm : précipitations moyennes mensuelles (mm) (station de Relizane - 88/2006) ;
- P(2012) : précipitations moyennes mensuelles (mm) de l'année 2012 de la station de l'INRAA, H'madna, Relizane.

## 2.2. Les températures

La caractéristique de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums, la moyenne mensuelle, le minimum absolu et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique.

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaud 38.9 °C, en Juillet, et le mois le plus froid 6.1 °C, en Janvier, ou la moyenne annuelle est de 20 °C (Tab.5)

**Tableau 03.** Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	JU	A	MOY	M- m
m°C	17	14,5	9	7,7	6,1	6,4	9,4	11,6	15	17	21,1	20,8	13	14,3
M°C	32,5	27,1	23,1	19,3	17,2	18,9	23	24,2	30,1	34,7	38,9	38,5	27,3	
Moy °C	24,2	20,8	15,9	13,6	11,6	12,8	16,1	18,5	22,7	25,8	29,6	29,3	20	

- M: moyenne mensuelle des maximums;
- m: moyenne mensuelle des minimums;
- Moy : Moyenne mensuelle.

2.3. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante au mois d'Août avec 232 mm par contre elle est très faible au mois de Décembre avec 39 mm

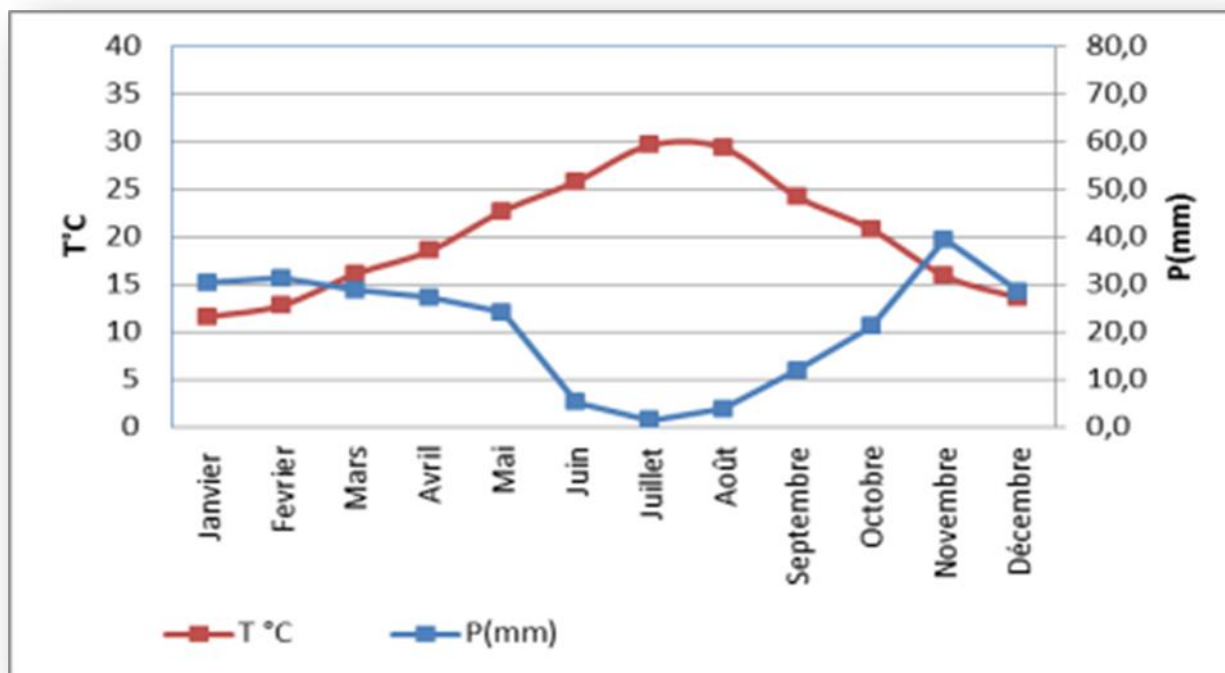
**Tableau 04.** Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). (Station ONM de Relizane)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	d	Année
ETP (mm)	44	60	99	137	174	198	231	232	153	98	55	39	1523

2.4. Classification du climat

2.4.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec  $P=2T$ . La figure.13 porte le Diagramme Ombrothermique de la région de Relizane établit à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 19ans. D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 07 mois, au cours de l'année. La figure.13 montre la courbe des pluies passant au-dessous de la courbe des températures.



**Figure 11 :** Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007)

Selon l'analyse climatique, La plaine de la Mina est caractérisée par un climat contrasté, à hiver froid s'étalant de Novembre à Février. Ses caractéristiques essentielles sont : une faible pluviosité annuelle (328.42mm.), irrégulière d'une année à l'autre (du simple au double, 183mm en 1992, 365mm en 2000 et 272 en 2001), une sécheresse estivale de Mars à Octobre, et souffre d'un déficit pluviométrique de 1194.6 mm/an qui confère à l'irrigation un caractère obligatoire. Grâce au quotient pluviométrique d'Emberger ( $Q=26.5$ ) la zone d'étude se situe dans un étage bioclimatique aride.

### 3. Géologie

La plaine de la Mina est une zone déprimée dominée au sud, à l'est et l'ouest par des massifs montagneux (ANRH, 2003) :

- Région de Hillil (Yellel) : Au nord-ouest, elle est entourée par les monts de Belhacel, qui sont formés de grès pliocène et de sables de désagrégation de ces grès. A l'ouest, on trouve un affleurement de grès recouvert d'une croûte calcaire sur le piedmont. Au sud, les monts de Gerbouça sont formés de grès et marne du pliocène.
- Région de Touila-Khaourara : A l'ouest les affleurements sont formés de grès pliocène et de marnes grises du miocène. A l'est, la plaine est séparée de la vallée de la mina par des collines formées de grès et de poudingues.
- Vallée de la Mina : Au sud et à l'est, la vallée est bordée de massifs érodés de marnes miocènes (de l'helvétien) à petits cristaux de gypse. A l'ouest la vallée est bordée par des collines de Relizane, formées de grès et de poudingue encroûtés.
- Région d'Oued Djemâa : La partie sud- ouest d'Oued Djemaa est bordée par des affleurements de marnes et d'argiles du miocène qui se raccordent à la plaine de Relizane par un glacis de piedmont ancien, recouvert d'une croûte calcaire.

### 4. Géomorphologie

Du point de vue géomorphologique, la plaine est caractérisée par quatre types de formations géomorphologiques (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974). :

- 1) Les glacis de piedmonts : Ce sont des formations colluviales de piedmonts s'appuyant sur des versants, de topographie régulière ou peu ondulée, se raccordant, en aval à des formations colluviales ou à des alluvions. Elles sont recouvertes d'une croûte calcaire épaisse et durcie du quaternaire ancien.
- 2) Les alluvions : Ce sont des formations déposées par les oueds qui coulent dans la plaine (Hillil, Mina, Malah, Djemâa). Leur texture est variable et est sous la dépendance de la lithologie de l'arrière-pays drainé vers la plaine. Dans les parties basses la texture devient

plus argileuse et vers le centre de la plaine, les sols de la rive gauche sont de texture moyenne et deviennent de texture fine et sont mal structurés dans la rive droite. Dans la limite Est, ces formations sont moyennement salées.

- 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) qui ont déposés dans certaines zones des alluvions salées ;

- Ces alluvions salées sont localisées dans la vallée de l'oued Malah, la plaine de Khourara, la vallée de la Mina, et la partie sud de la sebkha de Benziane (action de la nappe phréatique salée dans certaines zones et ravinement de la colline argileuse salée bordant la sebkha de Benziane) ;

3) Les cônes de déjection des oueds : Les bordures géologiques de la zone d'étude sont ravinées par des petits oueds qui déposent un cône de matériaux à l'aval de texture variable : dans la vallée de la mina et la plaine d'oued djemaa, le cône de déjection comporte une texture lourde, alors que dans les zones de Khourara et Yellel, la texture est plus légère. Les couvertures sableuses sont caractérisées par des dépôts sableux épais (plus de 2m) d'origine éolienne qui proviennent des sables de désagrégation des grés pliocènes.

### **5. Réseau hydrographique et ressources en eaux**

Il existe deux principaux oueds dans la plaine de la Mina : l'oued Yellel à l'est et l'oued Mina au centre qui reçoit un affluent salé au sud du périmètre : l'oued Malah.

Le réseau hydrographique est constitué par l'Oued Mina qui draine les reliefs de l'Ouarsenis et est considéré comme l'un des principaux affluents de l'Oued Cheliff.

La mise en eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda en 1978 avec une capacité de 225 Hm<sup>3</sup> a permis l'exploitation du potentiel en eaux de surface de l'Oued Mina pour l'irrigation de la plaine de la Mina. Les tableaux.7 et 8 montrent la salinité et la qualité de l'eau d'irrigation, au niveau de ce barrage, celle-ci se situe entre 1.28 et 2.02 dS/m (de 1990 à 2002) avec une moyenne générale de 1.47 dS/m (0.94g/l de sel).

Ainsi, l'irrigation avec cette eau présente un risque important de salinisation secondaire sur les sols lourds à drainage déficient.

Le tableau montre la qualité de l'eau d'irrigation au niveau du barrage ainsi que le bilan ionique. Les résultats analytiques montrent que la qualité de l'eau pour l'irrigation est moyenne à médiocre, elle est à utiliser avec précaution et nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

**Tableau05 : Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane)**  
(ANRH, 2003)

Année	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
BSM	1,35	1,39	1,67	2,02	1,28	-	1,28	1,33	1,44	1,64	1,59	1,29	1,3

**Tableau06 : Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda(Relizane)**  
(INSID, 2008).

Analyses	CL <sup>-</sup>	So4 <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	N a <sup>+</sup>	SAR	CE	class
unité	Mlq /l	Mlq/l	Mlq/l	Mlq/l	Mlq /l	Mlq/ l	Mlq /l		/	Ds/ m	-
<b>Décembre2005</b>	<b>7,6</b>	<b>7,65</b>	<b>0,24</b>	<b>2,2</b>	<b>4,72</b>	<b>6,09</b>	<b>0,19</b>	<b>6, 3</b>	<b>2,74</b>	<b>1,7</b>	<b>C3S1</b>

Le réseau d'irrigation mis en place depuis 1938 est constitué par des canaux à ciel ouvert de différents types. Des moyens financiers importants ont été mobilisés par les pouvoirs publics pour la réalisation de travaux de réhabilitation du réseau d'irrigation et de son extension vers les zones les plus éloignées du périmètre. Les ressources en eaux souterraines sont représentées par l'existence d'une nappe salée à faible profondeur qui a fait que l'orientation vers l'utilisation de cette ressource n'ayant pas été retenue.

## 6. Les sols

Du point de vue pédologique, la plaine de la Mina est constituée d'apports alluviaux caractérisés par des terres à structure fine, potentiellement salinisables. Ceux déjà irrigués sont effectivement affectés par la salinité (ANRH, 2003). Selon l'étude menée par l'INSID (2008), les sols affectés par une salinité supérieure à 2 dS.m<sup>-1</sup>, représentent 75 % de la superficie sur les 6000 hectares prospectés, au niveau du périmètre irrigué de la Mina (Fig.16). Les sols sont regroupés dans différentes classes pédologiques qui sont : les sols peu évolués, les sols halomorphes, les sols hydromorphes, les sols calcimagnésiques et les vertisols (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974) .

## 7. Occupation du sol

L'agriculture dans le périmètre est très diversifiée. Les cultures pratiquées sont les céréales, les fourrages, le maraîchage, l'arboriculture (agrumes, olivier, grenadier et autres fruitiers). Les superficies irriguées dans le périmètre se situent autour de 3856 Ha qui se répartissent entre les différentes spéculations pratiquées (Tab.7p.).

**Tableau 07. Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées (INSID, 2008).**

Spéculations	Superficies (Ha)
Agrumes	2772
Oliviers	396
Arbres fruitiers	160
Fourrages verts	50
Pépinières	58
Maraîchages	100
Tomate industrielle	20
Artichaut	250
Pomme de terre	50
<b>Totale</b>	<b>3856</b>

Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps.

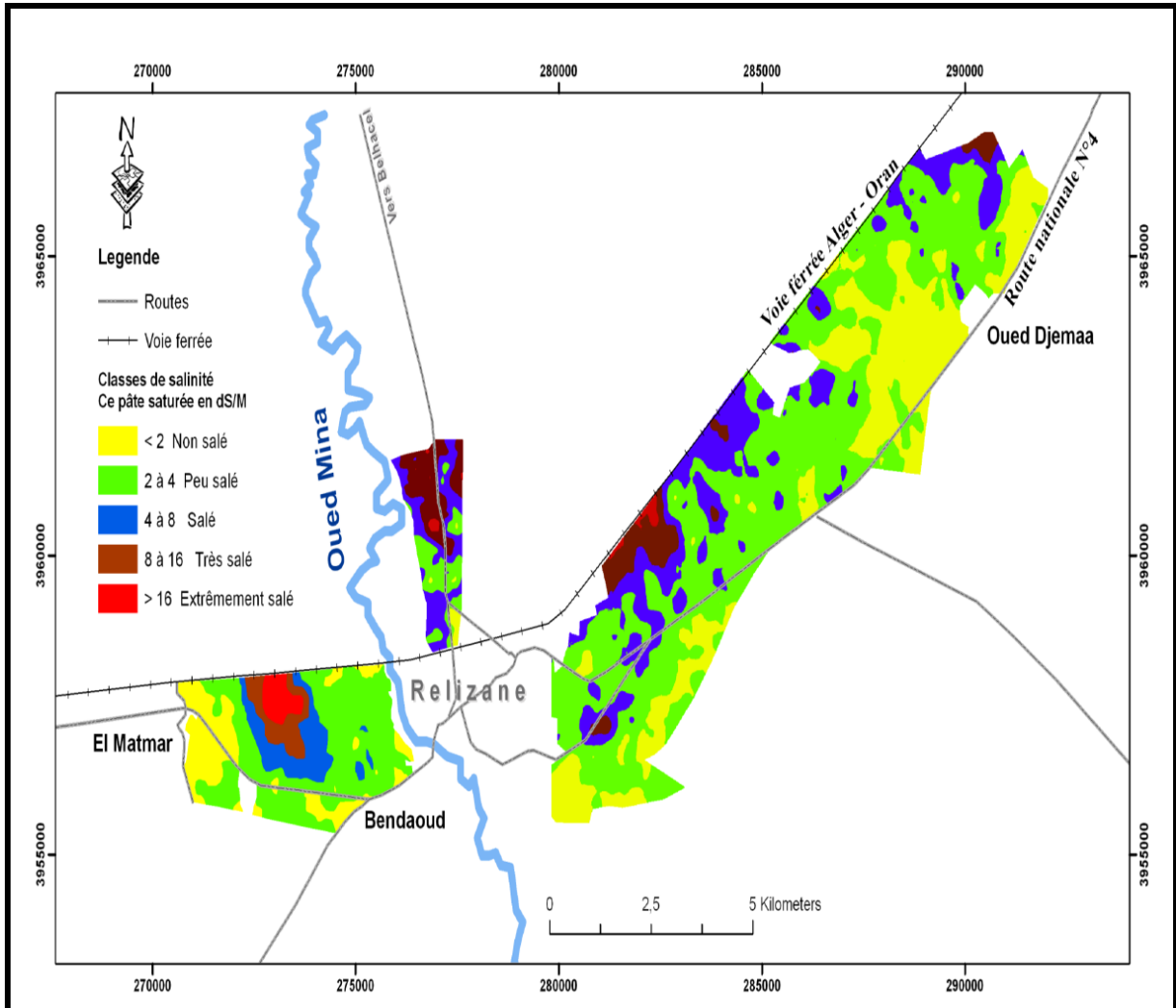
Le **tableau08** et la **figure.13** montrent la répartition de la superficie de l'occupation du sol du sol, au niveau du périmètre, sur une superficie de 6000 Ha (**INSID, 2008**).

Occupation du sol	Superficie (%)
Agrumes et arbres fruitiers	33
Oliviers	8
Céréales / Jachère	46
Maraîchages	4
Pépinières	1
Végétation naturelle (halophyte)	7
<b>Totale</b>	<b>Sur 6000 Ha</b>

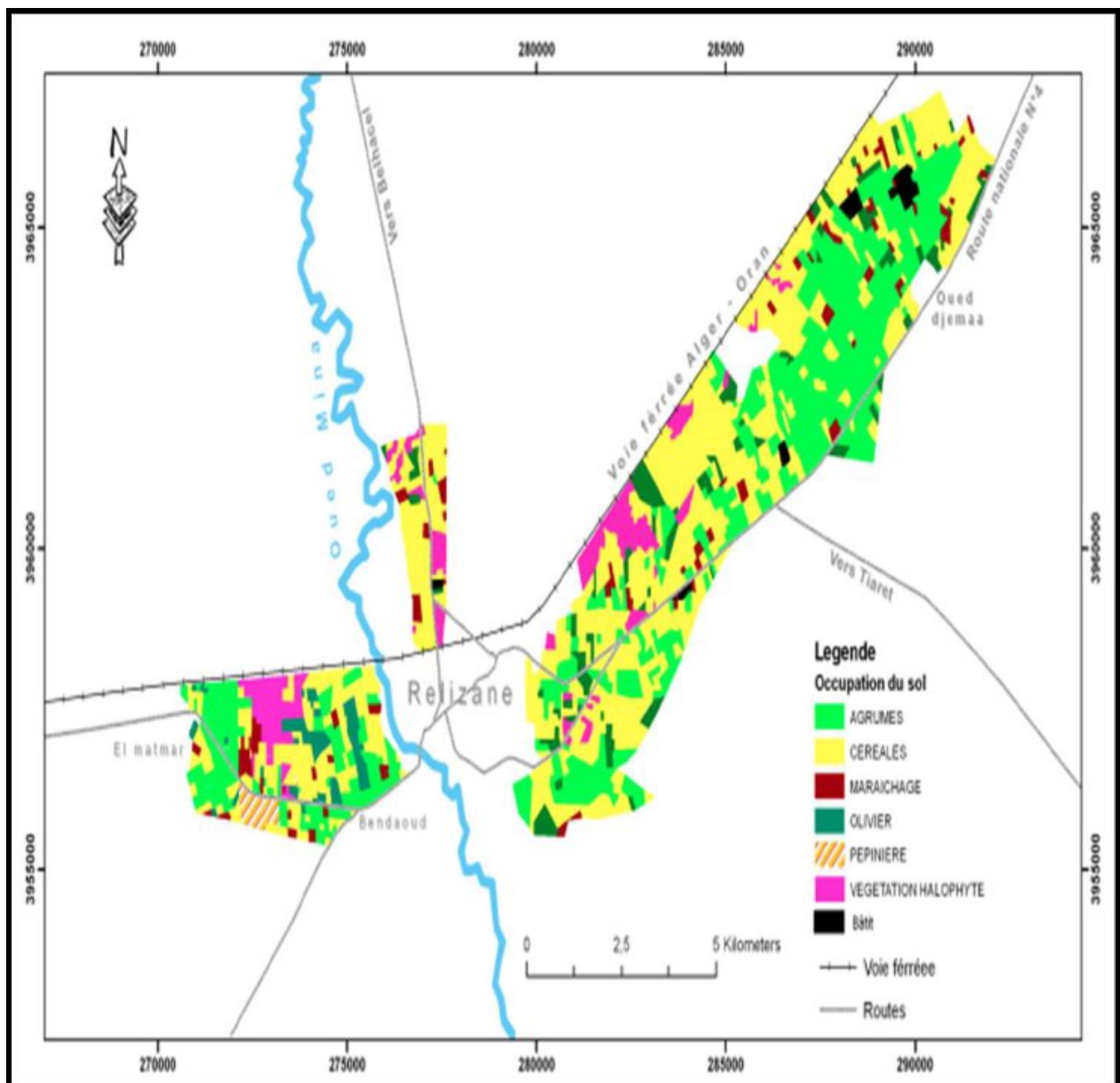
## 8. Conclusion

Le milieu physique doit son originalité à la combinaison d'un relief en cuvette, d'un climat à sécheresse saisonnière accentuée, d'eaux courantes peu abondantes, de terres parfois salées et d'une végétation d'halophytes couvrant certaines zones de la plaine.

Ces conditions naturelles défavorables à la mise en valeur agricole a conduit les pouvoirs publics à suppléer à l'insuffisance des précipitations par l'installation d'un réseau d'irrigation, alimenté à partir du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda.



**Figure 12 :** Carte de salinité des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).



**Figure 13.** Carte d'occupation des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).

# **2ème partie**

## **Etude expérimentale**

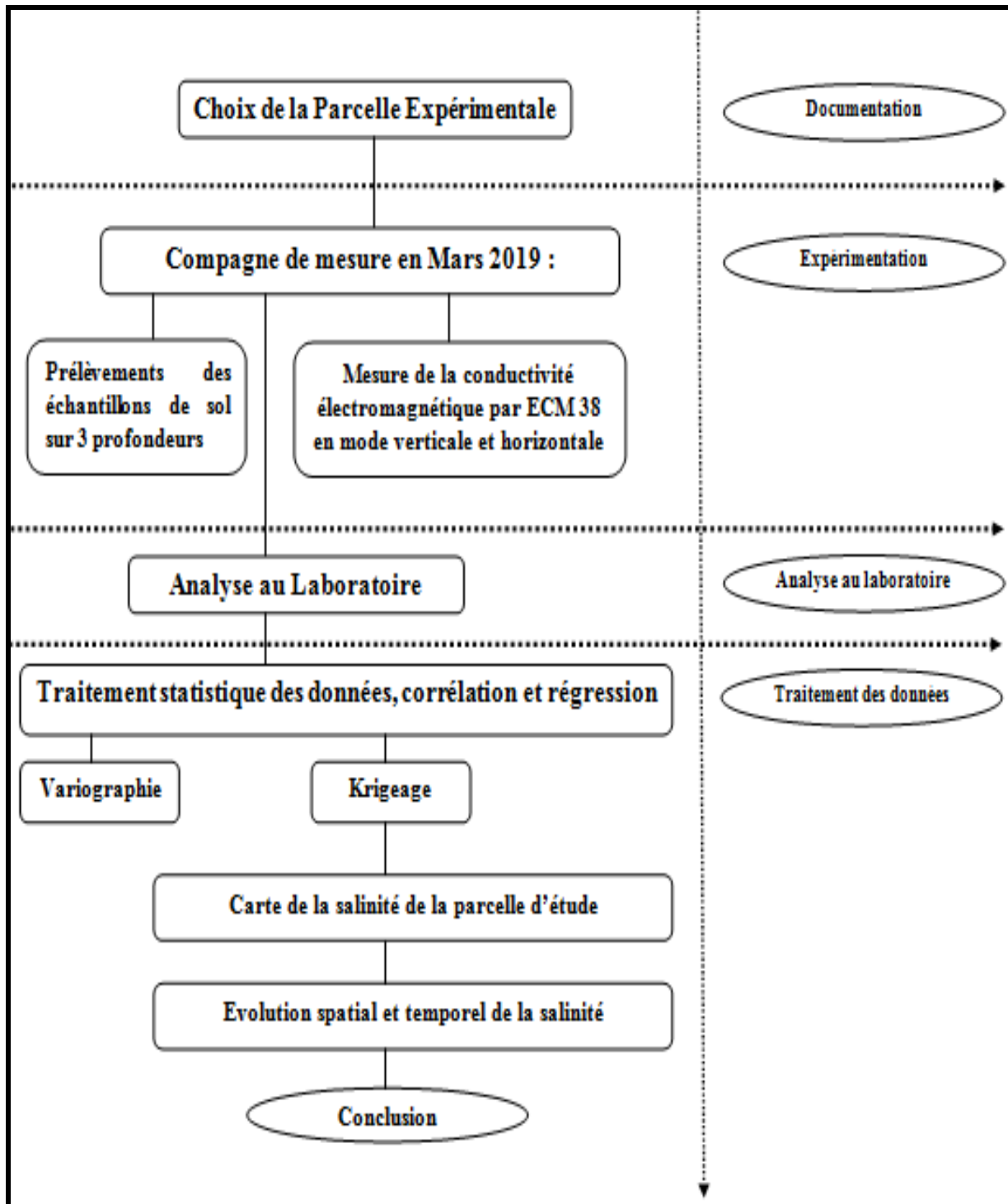
# **Chapitre III**

# **Matériels et méthodes**

### **Objectif de l'étude et méthodologie**

L'objectif de cette étude expérimentale est d'effectuer un diagnostic de l'état de dégradation par salinisation secondaire des sols d'une parcelle de **18 ha** située dans le périmètre irrigué de la Mina (Relizane).

La méthodologie adoptée pour cette étude, consiste dans un premier temps en des mesures in situ et des prélèvements d'échantillons de sols selon un maillage de 25.25m. L'étape suivante est consacrée a une série d'analyses au laboratoire des échantillons prélevés et qui devra servir à caractériser la zone d'étude en vue d'aboutir à des données qui seront traitées sur les plans statistique et géostatistique. Ce qui nous permettra d'élaborer des cartes de salinité, de SAR et d'occupation des sols.



Figures n°14. Démarche méthodologique

### 3.1. Matérielset méthodes

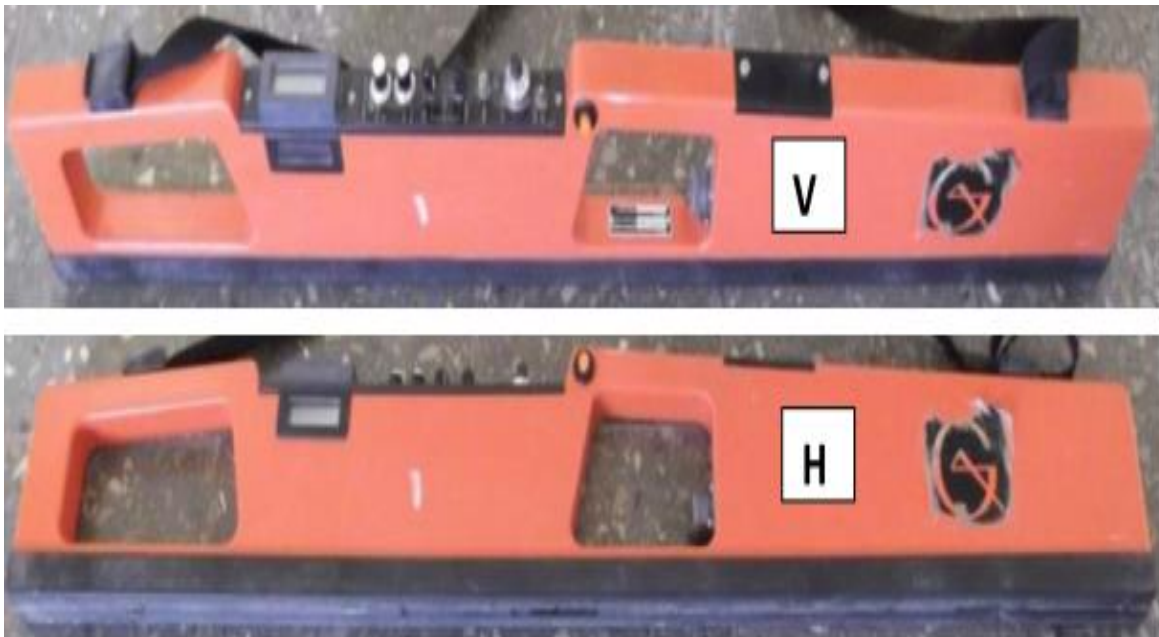
Cette partie est consacrée à la description de la parcelle expérimentale, de la méthodologie utilisée, des techniques analytiques et les différentes méthodes de traitement des données.

#### 3.1.2. Matériels de terrain

##### 3.1.2.1. Conductimètre électromagnétique (EM<sub>38</sub>)

La conductimètre électromagnétique CEM est une ancienne technique utilisé par les géophysiciens pour les tests de reconnaissance des sols et récemment adaptée à l'étude et de la caractérisation des sols agricoles (de JONC et al 1979). Elle permet d'évaluer la salinité totale apparente d'un sol sur une profondeur de 2mètre. L'appareil utilisé pour cette mesure, qui présente l'avantage d'être non destructif, s'appelle l'EM<sub>38</sub> de Geonies.

Il est composé de deux solénoïdes verticaux distants d'un mètre, le premier transmet au profil du sol un champ magnétique constant, induisant des courants qui s'y propagent d'autant facilement que le milieu est conducteur. Ce champ est capté par un solénoïde récepteur qui le transforme en réponse galvanométrique.



**Photo : la conductimètre électromagnétique (EM<sub>38</sub>)**

##### 3.1.2.2 GPS (Appareil de géo positionnement satellite)

Le principe de fonctionnement géographique assuré par un ou plusieurs satellites qui permettent de localiser un point de mesure dans la parcelle expérimentale par ses coordonnées :latitude, longitude et altitude.

L'appareil utilisé au cours de notre expérimentation est de type WGS.

C'est un appareil couramment utilisé en prospection et qui est devenu de nos jours une référence faible pour la cartographie.



**Photo : de GPS (Appareil de géo positionnement satellite)**

### 3.2.1 Matériel de laboratoire

#### 3.2.1.1 Conductimètre

C'est un appareil de paillasse pour la détermination de la CE d'un extrait dilué ou de pâte saturé du sol. Son étalonnage nécessite une série de solutions étalons de KCL comme référence. La mesure a été faite sur extrait dilué au 1/5 et sur extrait de pâte saturée.



**Photo : de la Conductimètre**

### 3.2.1.2 PH-mètre

Nous avons utilisé un PH-mètre de paillasse sur extrait dilué au 1/5 du sol



Photo : de PH mètre

### 3.2.1.3 Centrifugeuse

La centrifugeuse a été utilisée pour extraire la solution de pâte saturée des échantillons de sols destinée à la mesure de la CE. L'appareil utilisé est de type porté à 4 godets avec une vitesse de  $2400\text{trs.min}^{-1}$  pendant 15minute.



Photo : de Centrifugeuse

### 3.2.1.4 Spectromètre à absorption atomique

C'est un appareil qui permet le dosage des éléments Na, Ca, Mg, et K. les résultats des concentrations sont traités sur un ordinateur rattaché à l'appareil et sont exprimés en  $\text{mg.l}^{-1}$ .



**Figure n°15 Spectromètre à absorption atomique**

### 1. Méthodologie

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

1. Analyse des documents de base.
2. Expérimentation.
3. Les analyses de laboratoire.
4. Le traitement des données.

#### 1.2. 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 sur 6000 Ha) réalisée par **INSID** en **2008**

#### 1.3. L'expérimentation.

Les principaux objectifs de ce travail et le suivi spatial et temporel de la salinité dans une parcelle agricole située dans la plaine de la Mina.

Afin de répondre à ces objectifs, il était nécessaire de localiser la parcelle qui se trouve dans la zone salée. À cet effet, nous avons procédé à la localisation de la zone d'étude sur la carte de salinité du sol établie par l'INSID en 2008. Nous avons ensuite réalisé une sortie sur terrain pour une récolte des données existantes. Le propriétaire de la parcelle était notre principale source d'information. En effet, nous avons reçu des informations qui concernent :

- La salinité au niveau de la parcelle.
- Le niveau de la nappe.
- Le travail du sol.
- Les cultures pratiquées
- La conduite de l'irrigation et le réseau de drainage.

Notre expérimentation se déroule au niveau d'une parcelle cultivée, située dans la plaine de la Mina commune de Belhacel dans la localité appelée Messaadia. Relizane. à environ 10 Km à l'est de la ville de Relizane. Les coordonnées de la parcelle en latitude et en longitude (WGS 1984) représentées dans le tableau suivant :

Tableau N°09. Représente les coordonnées WGS 1984 de la parcelle d'étude.

s	Longitude	Latitude
1	0°33'3.53"E	35°47'53.29"N
2	0°33'19.16"E	35°47'52.76"N
3	0°33'0.47"E	35°47'41.71"N
4	0°33'21.62"E	35°47'40.96"N

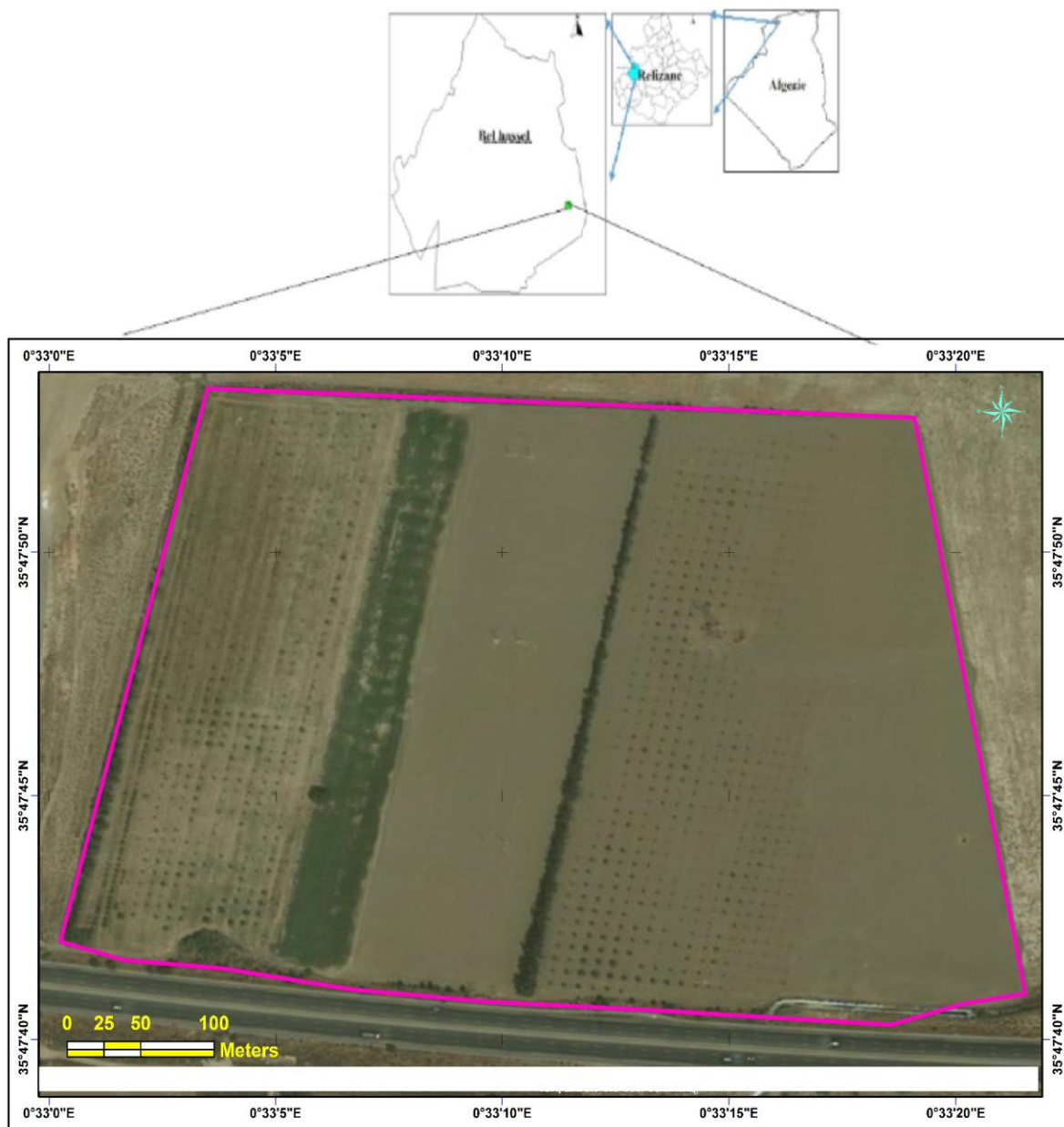


Figure n° 16. Situation géographique de la zone d'étude.



Cette parcelle présente une superficie de 17.52 Ha, occupé par l'oléiculture et une culture intercalaire de l'orge.

Après la localisation de la parcelle expérimentale par le biais d'un GPS de navigation de type Garmin, nous avons réalisée une campagne de mesure au mois de Mars, pour le suivi de la salinité. La prospection sur terrain a nécessité l'utilisation du conductivimètre électromagnétique (EM38) et des prélèvements d'échantillons de sols. Au totale 233 mesures électromagnétique en mode vertical et horizontal ont été effectuées pour un pas d'échantillonnage de 25\*25m. Ainsi 69 échantillons de sol ont été prélevés sur 23 point a trois profondeur (0-25cm), (25-50cm) et (50-75cm), pour la corrélation. Les échantillons de sol prélevés ont été codés et mis dans des sachets en plastique bien fermés et envoyés pour les analyses de laboratoire à l'Institut national des sols ,Irrigation et Drainage (INSID) d'El MatmarRelizane

**\*Le but est Subjectif pour bien répartie dans le type d'échantillonnage\***



**Figure n°18 : Localisation des points de prélèvement et d'échantillonnages**

### 2.1. Matériel pédologique

Les échantillons du sol ont été prélevés à partir du site expérimental, l'étude du sol s'est basée sur les analyses de laboratoire des échantillons prélevés sur trois profondeurs (0-25cm), (25-50cm) et (50-75cm). Les paramètres physico-chimiques utilisés sont le pH, la granulométrie, la conductivité électrique  $1/5$ , la conductivité électrique de la pâte saturée, la matière organique, le calcaire totale.

Les méthodes d'analyses utilisées sont celles exposées par **Aubert (1978)**.

### 1.2. Dispositif expérimental

Deux types de données ont été collectés sur le terrain. :

- Le premier, concerne les données à calibrer et comporte les mesures au champ de la conductivité électromagnétique (CEM) du sol par l'appareil de mesure **EM38** de **Geonics**, en 233 mesures sur une grille régulière de 25 m x 25 m visant à couvrir toute la parcelle d'étude. Les lectures verticales et horizontales de l'EM38 ont été obtenues en maintenant l'appareil sur la surface du sol, en position verticale et horizontale. .
- Le second, concerne, les données de calibrage, et correspond à 23 points de mesure sélectionnés parmi les 233 points de mesure mentionnés ci-dessus de façon à représenter spatialement toute la zone d'étude et, implicitement, à couvrir la gamme de conductivité électrique apparente du sol. Des échantillons de sol ont été prélevés jusqu'à une profondeur de 75 cm par incréments de 25 cm pour déterminer la conductivité électrique de la pâte saturée (CEps) au laboratoire.

Vue la profondeur d'investigation de l'EM38, en position horizontale (0.75cm), seules les lectures horizontales ont été prises en considération. Par ailleurs, la difficulté d'interprétation des mesures de la conductivité électromagnétique (CEM) réside dans l'influence de l'humidité du sol sur ces mesures (**Job et al, 1990**). La meilleure méthode consiste à intervenir après des pluies importantes qui homogénéisent les profils hydriques des sols (**Job et al, 1990**).

Au cours de la prospection de la salinité, pour la campagne de mesures, les lectures de l'EM38, ainsi que les prélèvements des échantillons de sols, ont été réalisées sur les mêmes points. A cet effet, un GPS (Global Positioning System) de type Garmin a été utilisé pour le géo-référencement.

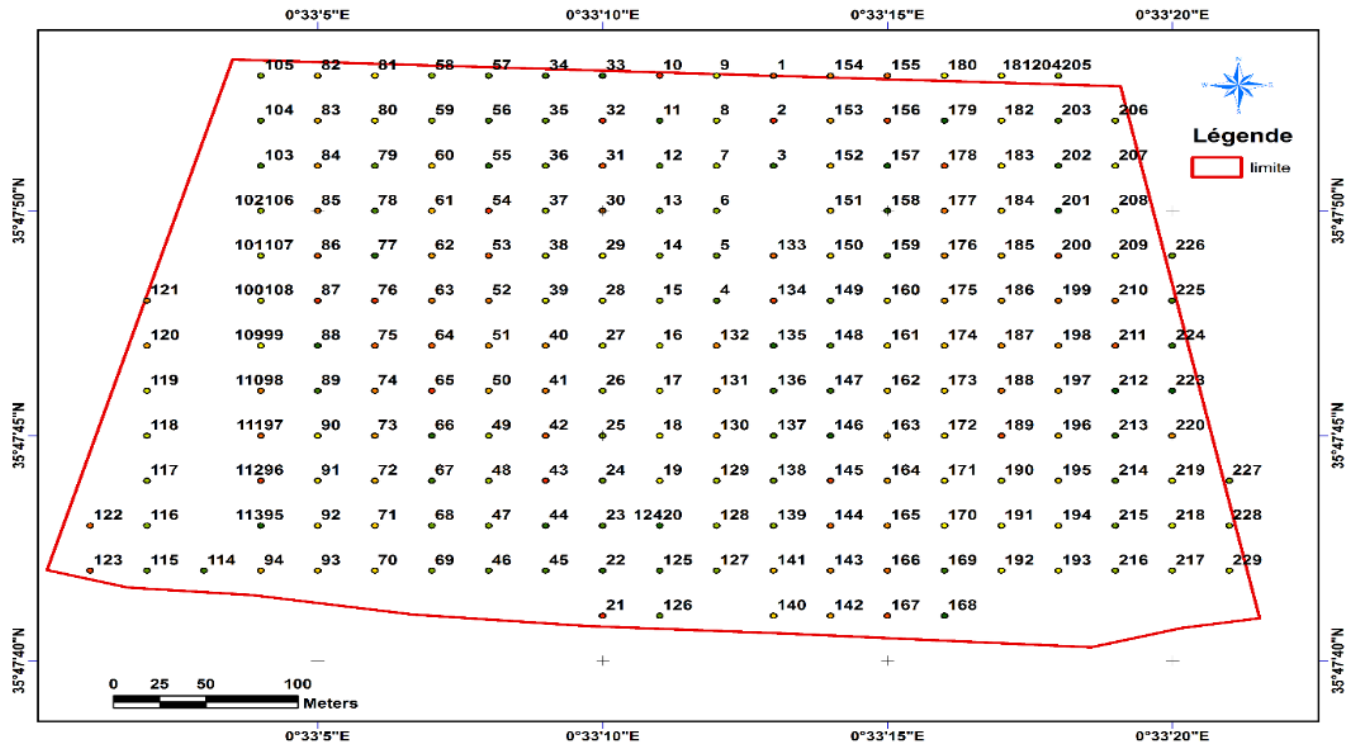


Figure n° 19 : Utilisation de l'EM38 en mode verticale et horizontale

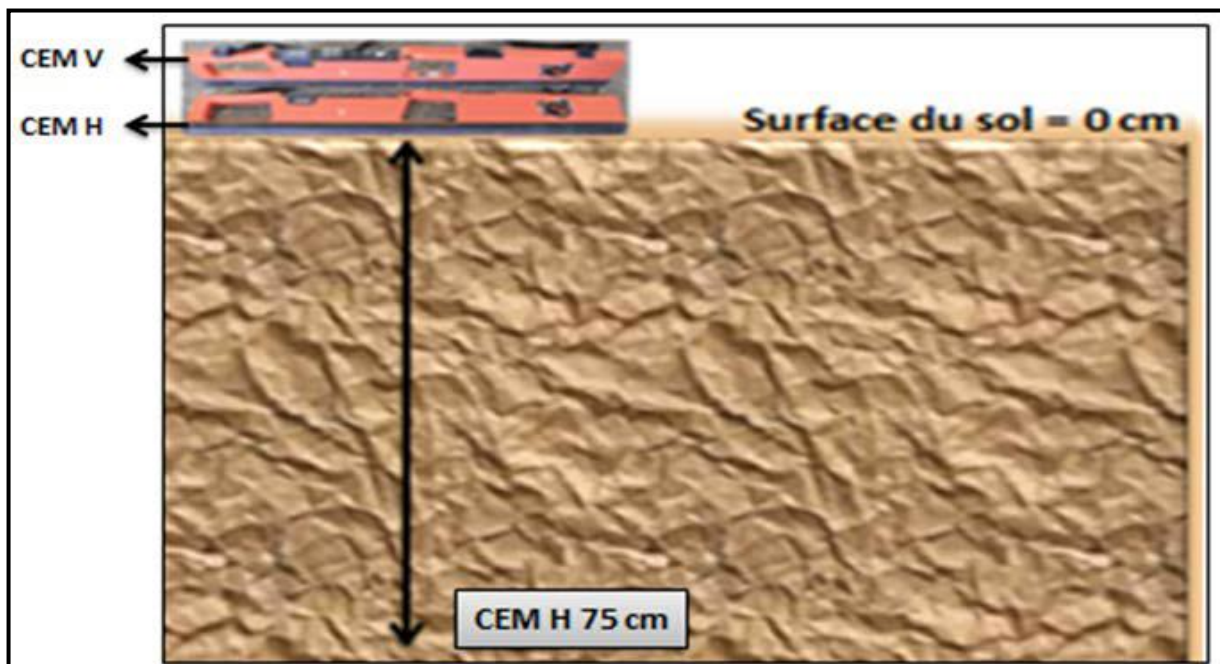


Figure N°20. Lectures verticales et horizontales de l'EM38

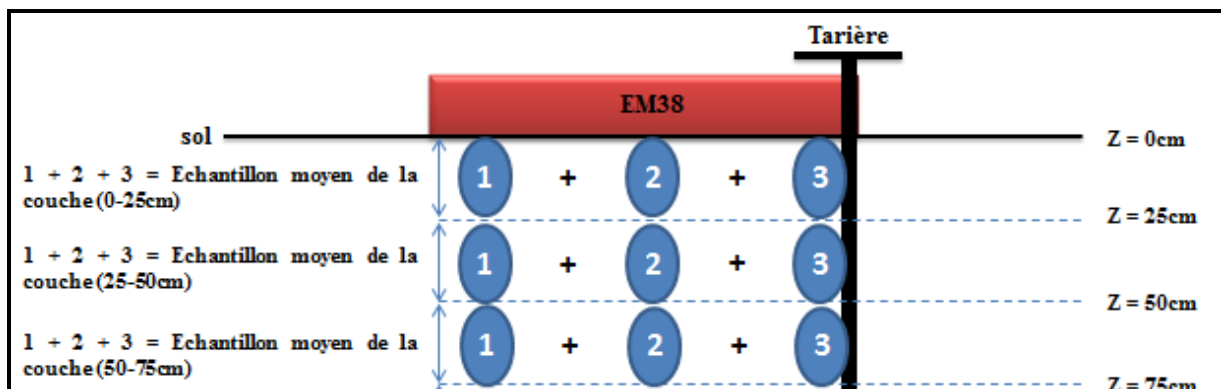


Figure N°21. Méthode de prélèvement des échantillons de sol.

### 3. Analyses de laboratoire

#### 3.1. Paramètres physico-chimiques du sol

Les analyses physico-chimiques du sol sont réalisées au niveau du laboratoire régional ouest de l'INSID d'El Matmar(Relizane).

##### 1-Préparation des échantillons de sol

Au niveau du laboratoire, les échantillons du sol prélevés sont étalés et séchés à l'air libre.

Les cailloux, graviers et débris organiques grossiers sont éliminés et le reste est broyé puis tamisés à 2mm. La fraction du sol <2 mm a été utilisée pour les analyses physico-chimiques.

**1-La Granulométrie**

L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode internationale de la **pipette de Robinson**, l'analyse granulométrique s'effectue sur une prise d'essai de terre fine, elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions de particules minérales constituant les agrégats.

**Mode opératoire :****1/destruction de la matière organique :**

Dans un bécher mettre 10g de terre fine.

Verser dans le bécher 10ml l'eau oxygéné+ 40ml l'eau désilé pendant 24h.

Mettre le bécher sur le bain de sable dont la T° ne doit pas dépasser 85° pendant 2h.

Laisser refroidir le becher, puis transvaser à laide d'un jet de pissette, son contenue dans un flacon de sédimentation jaugé à 400 ml.

Verser dans le flacon 40ml d'hexamétaphosphate de sodium. Cette solution alcaline a pour role de disperser les particules.

Compléter avec l'eau distille jusqu'au trait de jauge 400ml.

Agiter l'éprouvette durant 2 h sur l'agitateur mécanique.

Verser le contenue dans un éprouvette jaugé à 1000 ml.

Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au 1000ml.

Porter l'éprouvette à proximité de la pipette de robinson qui doit etre placée dans une pièce à T° constante.

2/prélèvement des fractions argileuses et limoneuses.

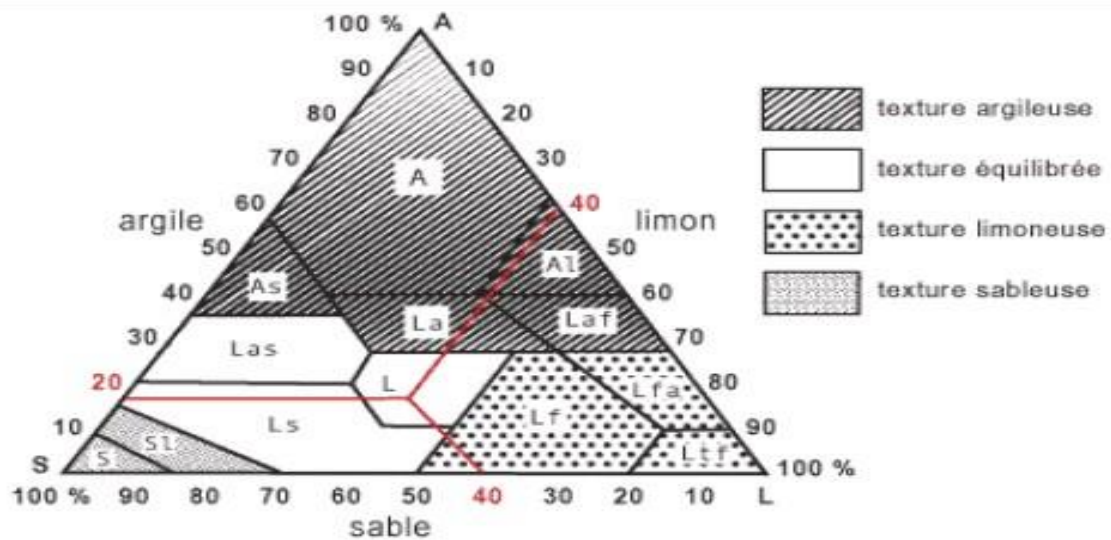
3/détermination de la surcharge d'hexaméta phosphate de sodium.

4/calcul des quantités d'argile, de limon fin.

Fractionnement des sables.



Figure N°22. La pipette de Robinson



A : argileux, As: argilo-sable, Al : argilo-limoneux,  
 La : limono-argileux, Laf : limono-argileux fin, Las : limono-argileux-sableux,  
 L : limoneux, Ls : limono-sableux, Lfa: limoneux fins-argileux,  
 Lf : limoneux fins, Ltf : limoneux très fins, Sl : sablo-limoneux,  
 S : sableux.

Triangle de texture selon (DOCHAUR, 1988).

## 2-Le pH

L'accumulation des sels solubles dans le profil d'un sol, réduit son pH mais dans le cas d'un sol alcalin, le pH augmente avec la salinité à cause de la présence des bicarbonates et des carbonates de (Gupta et al ,1990).

D'après Khartir en 2008, les sols salés ont un pH généralement supérieur à 7, il peut atteindre des valeurs nettement supérieures à 8.5 quand il y a une forte abondance et une diversité en espèce chimique des sels.

En fonction de la valeur de pH d'un sol, on peut classer les sols selon l'échelle suivante :

**PH 4.5** : sols très acides.

**4.5 PH 6** : sols faiblement acides.

**6 pH 7** : neutres, sols équilibrés permettant une bonne alimentation des plantes.

**PH 7** : sols calcaires (alcalins, basiques).

20 g de terre (<2 mm) séchée à 40 C° sont pesés et ajoutés dans un bécher avec une quantité de 50 ml d'eau distillée. L'agitation est effectuée pendant quelques minutes puis on laisse reposer deux heures. Les mesures du pH sont effectuées à l'aide d'une électrode plongée dans le liquide surnageant.

## 3-La Conductivité Electrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol Elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présentes dans l'échantillon, c'est à dire son degré de salinité.

Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques augmente.

La conductivité électrique (CE) est exprimée en mmho.cm<sup>-1</sup> ou dS.m<sup>-1</sup> à une température de 25 C°. La CE est la conductance mesurée dans des conditions spécifiées entre les faces opposées d'un cube unité matérialisé par une cellule conductimétrique composée de deux électrodes de 1 cm<sup>2</sup> de surface distance de 1 cm.

Pour extraire les sels solubles et apprécier la salinité du sol, deux méthodes peuvent être utilisées :

### 3.1- Extrait de la pâte saturée

Cette méthode a été mise au point par l'U.S.Salinity Laboratory. Pour extraire les sels, on amène le sol préalablement séché à saturation, c'est à dire à sa limite de liquidité d'Atterberg par malaxage avec de l'eau distillée. En opérant ainsi, on cherche à se rapprocher au mieux de

ce qui se passe dans le sol, tout en opérant dans des conditions standardisées. Cette façon de faire permet notamment de se rapprocher d'une réalité agronomique, l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention, la plus 9+efficiente pour la plante (Le Brusq et Loyer, 1982).



Figure n° 23. Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée

### 3.2. Extrait dilué

Dans cette méthode, une quantité d'échantillon de sol est mélangée avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport poids sol/poids eau est en général de 1/5 ou 1/10. Cette méthode est plus facile à réaliser et permet ainsi de faire un grand nombre d'échantillons qui est au contraire difficile, par la pâte saturée.

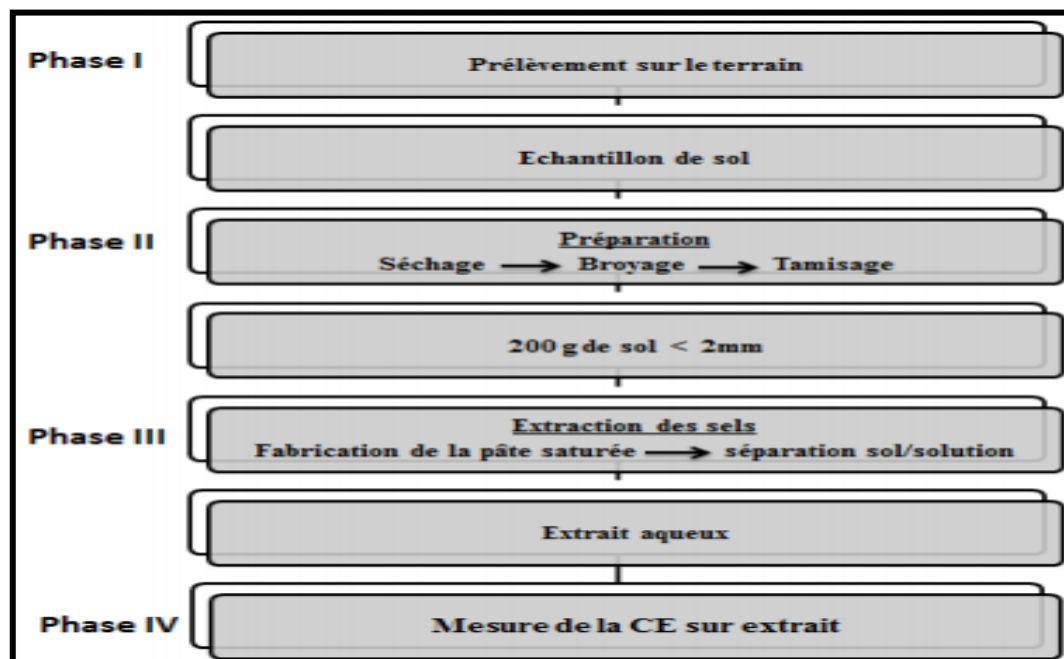


Figure n° 24. Protocol de la pâte saturée.

#### 4- La Matière Organique

La méthode utilisée est la méthode **Anne** où le carbone organique contenu dans un échantillon de sol est oxydé dans des conditions définies en utilisant une quantité d'un mélange oxydant : le bichromate de potassium en milieu sulfurique.

On effectue un dosage en retour, l'excès de bichromate de potassium non utilisé pour l'oxydation est dosé à l'aide d'une solution réductrice : **le sel de Mhor**.

Il n'est pas nécessaire de connaître le titre exact de la solution oxydante, en effet pour tenir compte des conditions expérimentales de l'oxydation, on effectue un dosage témoin, sans terre ou sur sable calciné, avec une quantité de bichromate de potassium identique à celle utilisée dans le dosage du carbone du sol.

Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant le taux de carbone organique obtenu par **1.72**.



**Figure N°25.** Attaque au froid sur le bain de sable. **Figure N°26.** Séparation des phases.



**Figure n° 27.** Dosage avec le sel de Mohr.

### 5-Le Calcaire Total

Le taux de calcaire total est déterminé par acidimétrie, on ajoute à l'échantillon de l'acide chlorhydrique (10 %). Le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré à l'aide d'un **Calcimètre de Barnard** et comparé au volume produit par du carbonate de calcium pur.



Figure n° 28. Calcimètre de **Barnard**

### 6- Le Calcaire Actif

Le dosage du calcaire actif fait par la méthode de **Drouineau –Galet**, elle correspond au calcaire fin, facilement solubilisé.

Au contact d'une solution d'oxalate d'ammonium, ce calcaire fin se transforme en oxalate insoluble, le reliquat de solution d'oxalate non utilisé est dosé par une solution de permanganate de potassium, le calcaire actif correspond à l'oxalate de calcium précipité.



Figure °29. Dosage de calcaire actif.

#### 4-Étude statistique

Les résultats obtenus seront traités et analysés à l'aide d'un logiciel adopté de Microsoft Office Excel (**ARCGIS**) ; dans le but de réaliser la carte de l'évolution temporel de la salinité.



# **Chapitre IV**

## **Résultats et Discussion**

Ce chapitre organisé en deux parties, qui est consacrée à la présentation et à la discussion des résultats. Dans la première partie nous présentons les caractéristiques des paramètres physico-chimiques du sol étudié, y compris ceux relatifs à la salinité et ensuite la réalisation de la carte de salinité. Et enfin la deuxième partie est réservée à la discussion des résultats.

## **Partie I. Résultats d'analyses du sol**

### **I. Etude des paramètres physico-chimiques du sol**

Dans cette partie, nous présentons une description statistique des données du sol relative à la texture, pH, et la conductivité électrique de la pâte saturée et diluée 1/5.

Les analyses ont été effectuées sur 69 échantillons provenant de 23 profils de sols, réalisés sur trois profondeurs (0-25cm), (25-50cm), (50-75cm).

Pour l'interprétation des résultats, nous avons utilisé le coefficient de variation, pour décrire et étudier la variabilité des propriétés physico-chimiques du sol. Cette approche fournit un outil moderne pour comprendre le modèle de variabilité spatiale des propriétés du sol dans la parcelle d'étude. Cinq classes, basées sur la valeur du coefficient de variation (CV en %), sont proposées par **Nolin et al, 1997**, pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols (**Tableau 1, Annexe**).

#### **1.1. Analyse de la texture**

D'après les **Tableaux. 10, 11 et 12**, nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses dans la parcelle d'étude avec une fraction sableuse peu présente.

Dans la parcelle de traitement la fraction argileuse et la fraction limoneuse sont homogènes à la surface et aux profondeurs, le pourcentage des argiles varie, il est de 44.33% pour l'horizon de surface, et il est de 46.79% pour l'horizon profond ; le pourcentage des limons varie, il est de 44.77% pour l'horizon de surface, il est de 41.02% pour l'horizon profond.

Pour les fractions sableuses leur taux est en augmentation vers la profondeur avec des valeurs entre 5.88 % et 6.78%.

La variabilité est faible dans les horizons de surface avec des valeurs entre 6.43% et 13.15% ; Modéré dans les horizons médians avec des valeurs entre 19.82% et 28.55% ; Elevé dans l'horizon profond avec des valeurs entre 38.95% et 46.54%.

**Tableau 10.**Résultats de l'Argile (en %)

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
<b>Moyenne</b>	44,33	43,97	46,97
<b>C .V. %</b>	13,15	28,55	46,08

**Tableau 11.**Résultats des Limons (en %)

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
<b>Moyenne</b>	44,77	43,80	41,02
<b>C .V. %</b>	6,43	24,49	46,54

**Tableau 12.**Résultats des Sables (en %)

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
<b>Moyenne</b>	5,88	5,94	6,78
<b>C .V. %</b>	7,15	19,82	38,95

## 2. Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol

### 2.1. Analyses du potentiel Hydrogène (pH)

Le tableau 13 montre que le pH moyen du sol est supérieur à 8.19 avec une moyenne variante entre 8.19 à 8.32, l'étude des moyennes de pH du sol indique que ce paramètre est élevé lorsque la concentration saline augmente, ces valeur indiquent que notre sol est basique, et se caractérise principalement des sols calcaires et des sols salé et confirme notre résultat de calcaire total et de la conductivité électrique.

Le coefficient de variation est faible dans la parcelle, il varie entre (1.21 % < CV < 2.35 %).

**Tableau 13.**Résultats du pH

Code	Profondeur	pH	code	Profondeur	pH
<b>P5</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	<b>8.59</b>	<b>P125</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	<b>8.22</b>
	<b>H2 (25-50cm)</b>	<b>8.28</b>		<b>H2 (25-50cm)</b>	<b>7.98</b>
	<b>H3 (50-75cm)</b>	<b>8.13</b>		<b>H3 (50-75cm)</b>	<b>8.22</b>
<b>P15</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	<b>8.54</b>	<b>P135</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	<b>8,21</b>
	<b>H2 (25-50cm)</b>	<b>8.23</b>		<b>H2 (25-50cm)</b>	<b>8,11</b>
	<b>H3 (50-75cm)</b>	<b>8.28</b>		<b>H3 (50-75cm)</b>	<b>8,08</b>
<b>P25</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	<b>8.61</b>	<b>P145</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	<b>8.43</b>

	H2 (25-50cm)	8.27		H2 (25-50cm)	8.17
	H3 (50-75cm)	8.25		H3 (50-75cm)	8.09
P35	H1 (0-25cm)	8.01	P155	H1 (0-25cm)	8.43
	H2 (25-50cm)	8,24		H2 (25-50cm)	8.17
	H3 (50-75cm)	8.42		H3 (50-75cm)	8.09
P45	H1 (0-25cm)	8.59	P165	H1 (0-25cm)	8,13
	H2 (25-50cm)	8.28		H2 (25-50cm)	8.20
	H3 (50-75cm)	8.13		H3 (50-75cm)	8,23
P55	H1 (0-25cm)	8.54	P175	H1 (0-25cm)	8.26
	H2 (25-50cm)	8.23		H2 (25-50cm)	8.25
	H3 (50-75cm)	8.28		H3 (50-75cm)	8.22
P65	H1 (0-25cm)	8.61	P185	H1 (0-25cm)	8.07
	H2 (25-50cm)	8.27		H2 (25-50cm)	8.10
	H3 (50-75cm)	8.25		H3 (50-75cm)	8,11
P75	H1 (0-25cm)	8.01	P198	H1 (0-25cm)	8.25
	H2 (25-50cm)	8,24		H2 (25-50cm)	8.18
	H3 (50-75cm)	8.42		H3 (50-75cm)	8.18
P85	H1 (0-25cm)	8.28	P210	H1 (0-25cm)	8.24
	H2 (25-50cm)	8.29		H2 (25-50cm)	8.13
	H3 (50-75cm)	8.36		H3 (50-75cm)	8,19
P95	H1 (0-25cm)	8.32	P220	H1 (0-25cm)	8.07
	H2 (25-50cm)	8.29		H2 (25-50cm)	7.90
	H3 (50-75cm)	8.20		H3 (50-75cm)	7.92
P105	H1 (0-25cm)	8.21	P232	H1 (0-25cm)	8.37
	H2 (25-50cm)	8.22		H2 (25-50cm)	8.11
	H3 (50-75cm)	8.24		H3 (50-75cm)	8.10
P115	H1 (0-25cm)	8.32			
	H2 (25-50cm)	8.15			
	H3 (50-75cm)	8.22			

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
Moyenne	8,32	8,19	8,20
C .V. %	2,35	1,21	1,40

### 2.3. Analyses statistiques du calcaire total (CaCO<sub>3</sub>)

Le tableau 29 montre que les teneurs en calcaire total sont homogènes au niveau des horizons de la parcelle d'étude, la moyenne varie de 21.42 % à 21.60 %, avec un faible coefficient de variabilité (CV < 15%). Ces valeurs correspondent à des sols moyennement calcaire avec un risque de chlorose pour les cultures agricoles.

**Tableau 14.** Résultats du calcaire total (CaCO<sub>3</sub> en %).

Code	Profondeur	CT	code	Profondeur	CT
P5	H1 (0-25cm)	22,31	P125	H1 (0-25cm)	19,21
	H2 (25-50cm)	23,15		H2 (25-50cm)	23,21
	H3 (50-75cm)	21,01		H3 (50-75cm)	24,62
P15	H1 (0-25cm)	19,31	P135	H1 (0-25cm)	23,51
	H2 (25-50cm)	19,97		H2 (25-50cm)	22,15
	H3 (50-75cm)	20,31		H3 (50-75cm)	21,3
P25	H1 (0-25cm)	19,78	P145	H1 (0-25cm)	20,31
	H2 (25-50cm)	18,61		H2 (25-50cm)	24,15
	H3 (50-75cm)	18,96		H3 (50-75cm)	23,98
P35	H1 (0-25cm)	20,54	P155	H1 (0-25cm)	19,64
	H2 (25-50cm)	20,57		H2 (25-50cm)	20,31
	H3 (50-75cm)	19,64		H3 (50-75cm)	19,2
P45	H1 (0-25cm)	18,68	P165	H1 (0-25cm)	24,15
	H2 (25-50cm)	18,99		H2 (25-50cm)	22,08
	H3 (50-75cm)	17,52		H3 (50-75cm)	21,14
P55	H1 (0-25cm)	20,12	P175	H1 (0-25cm)	18,25
	H2 (25-50cm)	19,32		H2 (25-50cm)	17,51
	H3 (50-75cm)	22,15		H3 (50-75cm)	18,57
P65	H1 (0-25cm)	19,53	P185	H1 (0-25cm)	16,98
	H2 (25-50cm)	23,15		H2 (25-50cm)	20,38
	H3 (50-75cm)	24,51		H3 (50-75cm)	21,35
P75	H1 (0-25cm)	23,21	P198	H1 (0-25cm)	24,12
	H2 (25-50cm)	24,62		H2 (25-50cm)	22,18
	H3 (50-75cm)	25,47		H3 (50-75cm)	19,39
P85	H1 (0-25cm)	24,51	P210	H1 (0-25cm)	20,15
	H2 (25-50cm)	19,1		H2 (25-50cm)	19,53
	H3 (50-75cm)	20,13		H3 (50-75cm)	18,64
P95	H1 (0-25cm)	23,1	P220	H1 (0-25cm)	25,14
	H2 (25-50cm)	24,51		H2 (25-50cm)	24,62

	H3 (50-75cm)	25,47		H3 (50-75cm)	27,17
P105	H1 (0-25cm)	22,31	P232	H1 (0-25cm)	24,51
	H2 (25-50cm)	21,12		H2 (25-50cm)	23,14
	H3 (50-75cm)	24,62		H3 (50-75cm)	22,11
P115	H1 (0-25cm)	23,21			
	H2 (25-50cm)	22,4			
	H3 (50-75cm)	19,51			

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
Moyenne	21,42	21,51	21,60
C .V. %	11,11	9,89	12,44

#### 2.4. Analyses statistiques du calcaire actif

Le tableau 33 montre que les teneurs en calcaire actif sont homogènes au niveau des horizons de la parcelle d'étude, la moyenne varie entre 4.87 % et 4.98 %. Ces valeurs correspondent à des sols moyennement calcaires avec la présence du risque de chlorose.

Le coefficient de variabilité est faible dans l'horizon médian avec une valeur de 14.16%, et modéré dans l'horizon de surface et l'horizon profond avec des valeurs respectivement de l'ordre de 16% et 18.44%.

**Tableau 15.** Résultats du calcaire actif (en %).

Code	Profondeur	CA	code	Profondeur	CA
P5	H1 (0-25cm)	5,50	P125	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	5,38		H2 (25-50cm)	4,63
	H3 (50-75cm)	5,25		H3 (50-75cm)	4,38
P15	H1 (0-25cm)	4,13	P135	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	4,75		H2 (25-50cm)	5,13
	H3 (50-75cm)	3,00		H3 (50-75cm)	5,75
P25	H1 (0-25cm)	4,88	P145	H1 (0-25cm)	3,63
	H2 (25-50cm)	5,88		H2 (25-50cm)	4,50
	H3 (50-75cm)	4,38		H3 (50-75cm)	4,38
P35	H1 (0-25cm)	3,63	P155	H1 (0-25cm)	6,13
	H2 (25-50cm)	4,50		H2 (25-50cm)	5,50
	H3 (50-75cm)	4,38		H3 (50-75cm)	5,63

<b>P45</b>	H1 (0-25cm)	6,13	<b>P165</b>	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	5,50		H2 (25-50cm)	4,88
	H3 (50-75cm)	5,63		H3 (50-75cm)	4,38
<b>P55</b>	H1 (0-25cm)	5,63	<b>P175</b>	H1 (0-25cm)	4,88
	H2 (25-50cm)	4,88		H2 (25-50cm)	4,63
	H3 (50-75cm)	4,88		H3 (50-75cm)	5,50
<b>P65</b>	H1 (0-25cm)	4,38	<b>P185</b>	H1 (0-25cm)	3,50
	H2 (25-50cm)	6,13		H2 (25-50cm)	3,63
	H3 (50-75cm)	5,50		H3 (50-75cm)	3,38
<b>P75</b>	H1 (0-25cm)	5,50	<b>P198</b>	H1 (0-25cm)	4,75
	H2 (25-50cm)	5,63		H2 (25-50cm)	3,25
	H3 (50-75cm)	5,25		H3 (50-75cm)	6,25
<b>P85</b>	H1 (0-25cm)	4,50	<b>P210</b>	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	4,75		H2 (25-50cm)	4,75
	H3 (50-75cm)	3,25		H3 (50-75cm)	4,25
<b>P95</b>	H1 (0-25cm)	5,25	<b>P220</b>	H1 (0-25cm)	4,50
	H2 (25-50cm)	4,63		H2 (25-50cm)	4,38
	H3 (50-75cm)	4,75		H3 (50-75cm)	5,75
<b>P105</b>	H1 (0-25cm)	4,25	<b>P232</b>	H1 (0-25cm)	5,13
	H2 (25-50cm)	4,50		H2 (25-50cm)	6,00
	H3 (50-75cm)	4,38		H3 (50-75cm)	5,63
<b>P115</b>	H1 (0-25cm)	5,75			
	H2 (25-50cm)	5,13			
	H3 (50-75cm)	6,00			

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
Moyenne	4,98	4,91	4,87
C .V. %	16,00	14,16	18,44

### C/ Matière Organique :

Les résultats de la matière organique ne montrent que la quantité de la matière organique entre 1,48 % et 4,23%. En général le sol de la parcelle expérimentale est moyennement pourvu en matière organique.

Tableau 16 Résultats de la MO en fonction des couches H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub> de prélèvement.

N° Echantillon	Couche H <sub>1</sub>	Couche H <sub>2</sub>	N° Echantillon	Couche H <sub>1</sub>	Couche H <sub>2</sub>
	0-30 cm	30-60 cm		0-30 cm	30-60 cm
	Mo %	Mo %		Mo %	Mo%
P5	2,54	3,91	P125	4,13	1,59
P15	3,81	2,64	P135	3,81	2,54
P25	2,96	2,12	P145	3,17	3,28
P35	3,25	3,02	P155	3,91	2,22
P45	3,70	4,23	P165	3,17	2,12
P65	3,91	2,22	P175	2,33	2,64
P75	3,38	1,59	P185	3,70	2,86
P85	2,96	1,90	P195	2,75	3,17
P95	2,54	1,69	P110	3,60	1,80
P105	2,75	4,23	P220	2,22	2,01
P115	2,96	1,48	P232	3,28	2,96

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
Moyenne	3,11	2,20	1,09
C .V. %	15,19	18,38	29,64

**D/ Concentration en anions :**

Les résultats d'analyse des concentrations en anions solubles (tableau13), dans l'extrait de pate saturée des échantillons du sol pour les deux couches H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub>, montrent une forte proportion en chlorures, une moyenne teneur en sulfates et une faible présence en bicarbonates. Les carbonates sont à l'état de traces.

Tableau 17 : Concentration en anions Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et SO<sub>4</sub><sup>-</sup> en fonction des couches H<sub>1</sub> et H<sub>2</sub> de prélèvement

Echantillon	Horizon	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	E	Horizon	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
5	H <sub>1</sub>	60	8	12,84	125	H <sub>1</sub>	45	12	5,99
	H <sub>2</sub>	120	5	45,37					
15	H <sub>1</sub>	40	11	59,06		H <sub>2</sub>	12	11	74,47
	H <sub>2</sub>	55	9,5	36,81					

25	H <sub>1</sub>	46	7	21,40	135	H <sub>1</sub>	75	14	50,50
	H <sub>2</sub>	60	6	38,52		H <sub>2</sub>	90	11,5	55,64
35	H <sub>1</sub>	68	7	20,54	145	H <sub>1</sub>	32	11	16,26
	H <sub>2</sub>	100	7,5	20,54		H <sub>2</sub>	70	9	39,38
45	H <sub>1</sub>	59	10	16,26	155	H <sub>1</sub>	28,5	11	10,27
	H <sub>2</sub>	74	8	54,78		H <sub>2</sub>	40	10	55,64
55	H <sub>1</sub>	50	10	13,70	165	H <sub>1</sub>	37	10	61,63
	H <sub>2</sub>	58	12,5	6,85		H <sub>2</sub>	70	9	66,77
65	H <sub>1</sub>	57	9,5	25,68	175	H <sub>1</sub>	30	10	10,27
	H <sub>2</sub>	65	10	24,82		H <sub>2</sub>	82	11	41,94
75	H <sub>1</sub>	23	9	33 ,38	185	H <sub>1</sub>	70	11	28,25
	H <sub>2</sub>	45	10	18 ,83		H <sub>2</sub>	120	12,5	31,67
85	H <sub>1</sub>	158	8,5	81,32	198	H <sub>1</sub>	190	11,5	55,64
	H <sub>2</sub>	168	8	65,06		H <sub>2</sub>	190	7	41,94
95	H <sub>1</sub>	17	7,5	22,26	210	H <sub>1</sub>	160	11	59,92
	H <sub>2</sub>	40	12	40,23		H <sub>2</sub>	210	6	24,82
105	H <sub>1</sub>	65	6	34,24	220	H <sub>1</sub>	220	13	37,66
	H <sub>2</sub>	140	5	91,59		H <sub>2</sub>	275	8	66,77
115	H <sub>1</sub>	62	11	62,49	232	H <sub>1</sub>	150	15	91,59
	H <sub>2</sub>	85	9	62,49		H <sub>2</sub>	580	10	47,94

Corrélation entre la CEMH et La CE<sub>eps</sub> moyenne

Tableau 28- Données de corrélation entre la conductivité électromagnétique horizontale et la conductivité électrique de l'extrait de la pate saturée.

N° D'ordre	N° d'échan	CEMH mS.cm <sup>-1</sup>	CE <sub>eps</sub> Ds.m <sup>-1</sup>	N° d'ordre	N° D'éch	CEMH mS.cm <sup>-1</sup>	CE <sub>eps</sub> dS.m <sup>-1</sup>
1	5	281	9,79	13	125	266	9,88
2	15	201	8,25	14	135	200	11,09
3	25	144	7,88	15	145	229	6,47
4	35	256	8,79	16	155	152	6 ,08
5	45	136	6,93	17	165	319	8,77
6	55	185	6,29	18	175	283	7,39
7	65	137	7,27	19	185	346	10,16
8	75	145	4,67	20	198	361	17,51

9	85	249	17,79	21	210	591	20,37
10	95	136	4,53	22	220	560	23,80
11	105	248	13,18	23	232	622	30,35
12	115	144	9,46				

**B/ Corrélation entre la CEd et la CEps moyenne**

**Tableau18 : Données une corrélation entre la conductivité électromagnétique horizontale et la conductivité électrique de l'extrait de la pate saturée**

N° d'ordre	Ced Moy	Ceps Moy	N° d'ordre	Ced Moy	Ceps Moy
1	1,40	9,79	13	1,44	9,88
2	1,21	8,25	14	1,67	11,09
3	1,06	7,88	15	1,07	6,47
4	1,29	8,79	16	1,16	6,08
5	1,28	6,93	17	1,34	8,77
6	0,75	6,29	18	1,69	7,39
7	1,08	7,27	19	1,75	10,16
8	0,61	4,67	20	2,73	17,51
9	2,46	17,79	21	3,29	20,37
10	0,71	4,53	22	3,30	23,80
11	2,08	13,18	23	4,41	30,35
12	1,36	9,46			

**3. Caractérisation de la salinité du sol**

**3.1. Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée (CE<sub>ps</sub>) diluée (CE 1/5)**

Le tableau 17 montre que la conductivité moyenne de la pâte saturé est en augmentation progressive ver la profondeur et ça est expliqué par la concentration élevée en sels solubles au niveau de cette couche, ce type de sols est dit descendentpar (Servant ,1975).

Les valeurs moyennes de la CEps passent de 5.03 dS.m-1 dans l'horizon de surface pour atteindre une valeur de 17.76 dS.m-1 dans l'horizon de profondeur.

Le coefficient de variation et extrêmement élevé dans la première couche avec une valeur de 78.13% ; élevé dans la couche médian avec une valeur de 48.44 % et modéré dans la couche profond avec une valeur de 34.45%.

Tableau 19. Résultats de la conductivité électrique (CE<sub>ps</sub>ds/m)

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
Moyenne	5,03	10,98	17,76
C .V. %	78,13	48,44	34,45

3.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué (CE<sub>d1/5</sub>)

Le tableau 19 montre que la salinité est en augmentation progressive vers la profondeur, avec des valeurs moyennes qui passent de 1.05 ds.m<sup>-1</sup> pour l'horizon de la surface à 3.26 ds.m<sup>-1</sup> pour l'horizon profond dans la parcelle d'étude.

Le coefficient de variation est extrêmement élevé dans la première et la deuxième couche avec des valeurs respectivement de l'ordre de 66.99 % et 52.46% ; élevé dans la couche profond avec une valeur de 40.87%.

Tableau 20. Résultats de la conductivité électrique (CE<sub>d1/5</sub>)

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
Moyenne	1,05	2,18	3,26
C .V. %	66,99	52,46	40,87

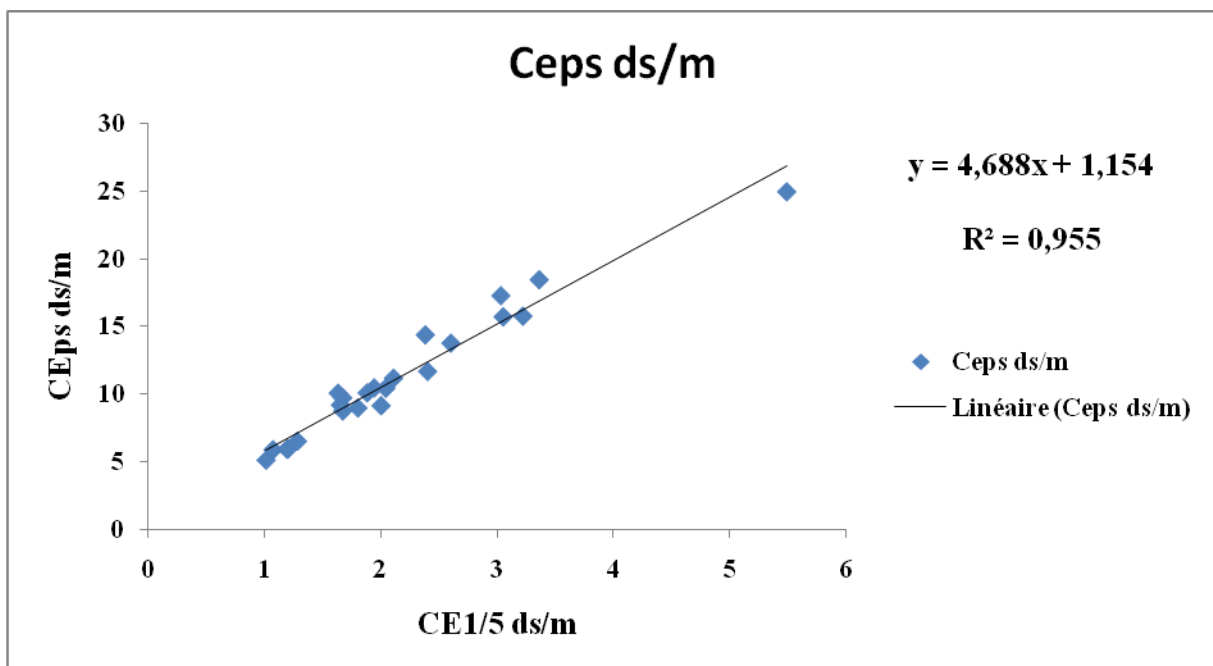
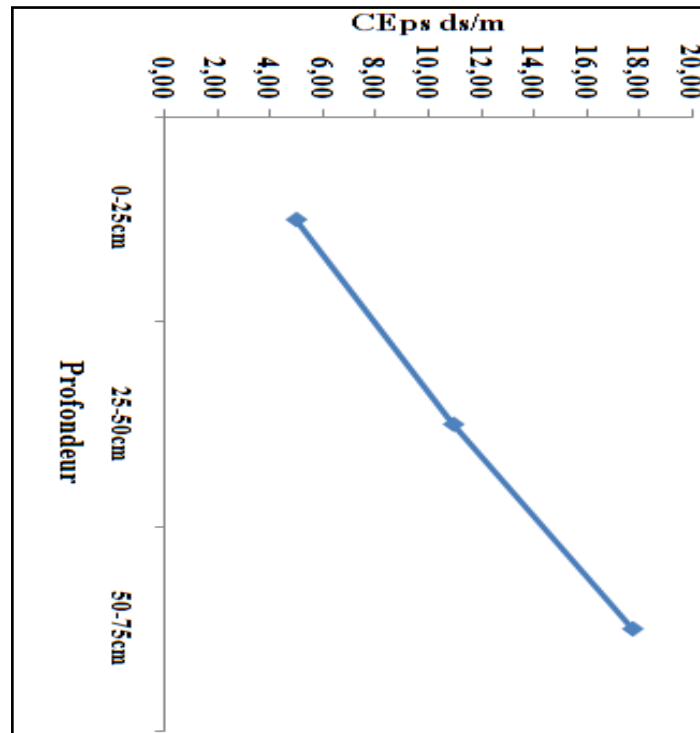


Figure 30. Profil salin moyen des échantillons prélevés (CEps en dS.m-1



**Figure 31.**Corrélation entre  $CE_{ps}$  et  $CE_{d1/5}$ .

L'analyse de la corrélation entre les valeurs de la conductivité électrique moyenne de l'extrait de pâte saturée ( $CE_{ps}$ ) et celles de l'extrait dilué ( $ced_{1/5}$ ) de la parcelle témoin et la parcelle traitement de la première et la deuxième compagne, montre une bonne corrélation ( $r^2 > 0.8$ ) qui est statiquement et hautement significative.

### 3.3. Distribution de la salinité dans les différents horizons (figure 28)

#### a) Distribution de la salinité de l'horizon de surface (0-25cm)

La valeur minimale de la  $CE_{ps}$  de l'horizon de surface (0-25cm) est de l'ordre de 0.86 dS.m-1. Par contre la valeur maximale est de l'ordre de 17.64 dS.m-1.

#### b) Distribution de la salinité de l'horizon de sub-surface (25-50cm)

Pour l'horizon de sub-surface (25-50cm), la valeur minimale de la  $CE_{ps}$  est 3.74 dS.m-1. Par contre la valeur maximale est de l'ordre de 27.33 dS.m-1.

#### c) Distribution de la salinité de l'horizon (50-75cm)

Pour l'horizon (50-75cm), la valeur minimale de la  $CE_{ps}$  est 9.53 dS.m-1. Par contre la valeur maximale est de l'ordre de 30.22 dS.m-1.

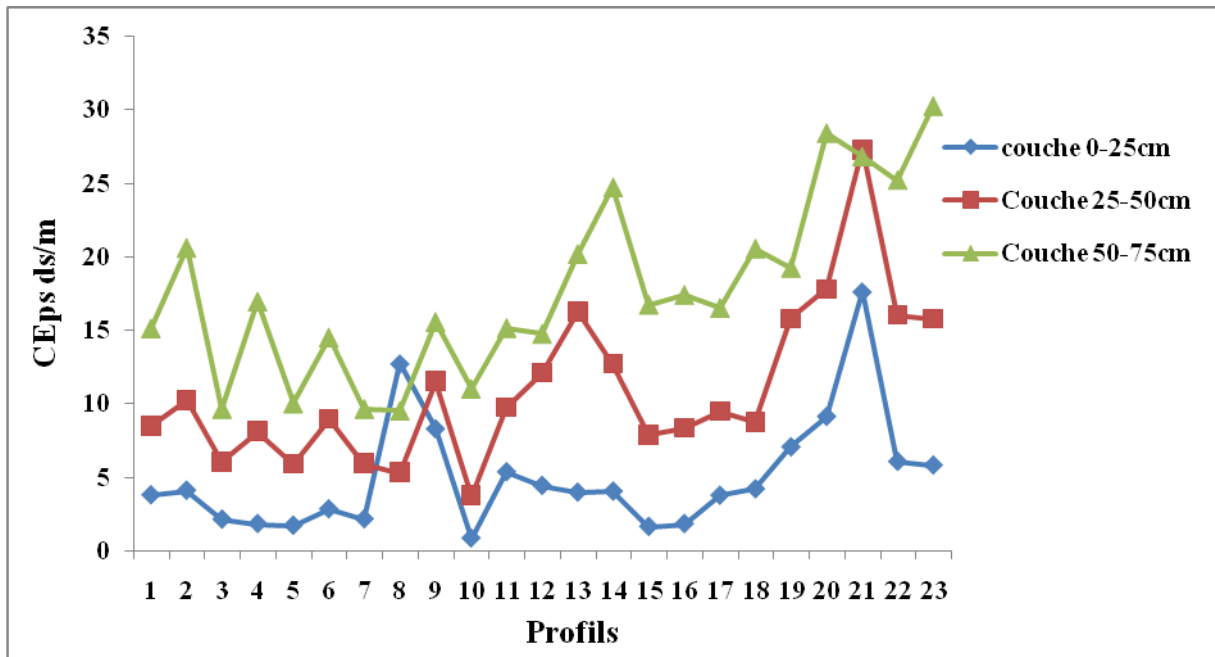


Figure 32. Distribution de la CEps dans les horizons de la parcelle d'étude.

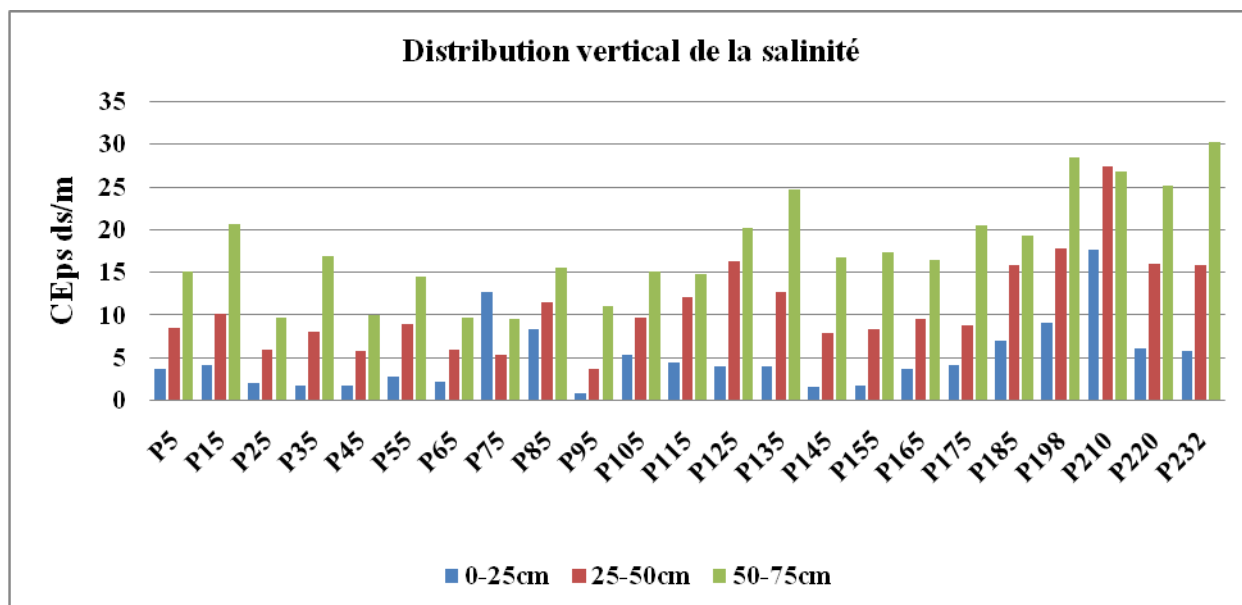
### 3.4. Distribution verticale de la salinité

#### Profils de types descendants

La figure 32 montre une variabilité verticale (intra-profil) et spatiale (inter-profils) de la salinité du sol. En effet, nous distinguons deux types de profils salins différents :

Le profil 210 est de type convexe avec un maximum de salinité dans l'horizon médian (25-50cm) avec une valeur de 27.33 ds/m. Ce type de profil caractérisé par un maximum de salinité peu à moyennement profond serait le résultat d'une salinisation due aux pluies d'hiver (Servant, 1976).

Les restes des profils sont de type descendant (lessivés) avec un maximum de salinité dans l'horizon (50-75 cm) avec une valeur de 30.22 ds/m. Ce type de profil serait le résultat d'un lessivage des sels après les pluies d'automne.



**Figure 33.** Evolution de la CEps (dS/m) par profils

En résumé, il s'avère que la salinité maximale se localise au nord et au est de la parcelle au niveau des horizons 25-50cm et 50-75cm. Cette augmentation montre qu'il y a un mouvement des sels solubles vers le nord et vers l'est de la parcelle au sens de la pente, s'en qu'il ya une évacuation de ces sels hors de la parcelles avec un réseau de **drainage**.

### 3.5. Etude de la salinité par induction électromagnétique (EM38)

Les mesures obtenues par induction électromagnétique ont été étalonnées par rapport aux mesures de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée. Ceci nous permettra d'obtenir une caractérisation de la conductivité électrique calculée (CEpsc) de la parcelle d'étude.

#### 3.5.1. Les lectures électromagnétiques de l'EM38

Le rapport entre les mesures électromagnétiques en mode horizontal et en mode vertical [CEMH / CEMV] permet la distinction entre les différents profils salins et de caractériser l'évolution de la salinité en profondeur (**Tableau 24**) :

- Lorsque  $CEMH > CEMV$  on se trouve au-dessus d'un profil salin décroissant avec la profondeur, situation indiquant une concentration des sels en surface ;
- Dans le cas contraire, lorsque  $CEMV > CEMH$ , il s'agit d'un profil salin croissant en profondeur, où les sels se sont accumulés.

La comparaison entre les lectures de CEMH et celles de CEMV est une première possibilité d'interprétation des résultats. Les résultats du rapport entre les lectures horizontales et les lectures verticales [CEMH / CEMV] est inférieur à 1.05 (**Tableau 25**).

Tableau 21. Distinction des différents profils salins

Type de profil	CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub>	Auteurs
Profil inversé	CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> >1.05	Corwin et Rhoades (1989 et 1990)
Profil lessivé	CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> ≤1.05	
Profil inversé	CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> >1.05	Norman (1990b, Heath et al.1999)
Profil uniforme	1≤CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> ≤1.05	
Profil lessivé	CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> ≤1	Heath et al. 0.5≤CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> ≤1

Tableau 22. Types de profils de salinité obtenus

Type de profil	CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub>	Auteurs
Profil lessivé	CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> = <b>0.71</b>	Corwin et Rhoades (1989 et 1990)
	(≤1.05)	Heath et al. 0.5≤CEM <sub>H</sub> /CEM <sub>V</sub> ≤1

### 3.5.2. Relation entre la CEM et les propriétés du sol

Les coefficients de corrélation entre les lectures verticales et horizontales de l'EM38 et les propriétés physiques et physico-chimiques du sol sont présentés dans les **tableaux 26, 27,28 et 29**.

La corrélation entre la CEM<sub>V</sub> et la CEM<sub>H</sub> est très élevée (coefficient de corrélation  $r > 0.90$ ). Les résultats ont montré une corrélation positive de la CEM avec la conductivité électrique, et négative avec la teneur en argile, limon, sable, le calcaire et la matière organique.

La corrélation la plus importantes a été trouvée entre la CEM et la CE<sub>ps</sub> ( $0.809 < r < 0.934$ ), suivie par Ced<sub>1/5</sub> ( $0.747 < r < 0.754$ ) puis le ph ( $0.441 < r < 0.444$ ). Cependant, la relation est négative avec la teneur en argile ( $0.069 < r < 0.076$ ), négative avec la teneur de limon fin ( $0.268 < r < 0.366$ ), négative avec la teneur de limon grossier ( $0.000 < r < 0.006$ ), négative avec la teneur de sable fin ( $0.018 < r < 0.020$ ), et négative avec la teneur de sable grossier ( $0.028 < r < 0.032$ ),

Ainsi, on peut constater que de nombreux chercheurs ont trouvé des corrélations utiles entre les lectures de l'EM38 et un certain nombre de propriétés agronomiques importantes du sol. Cependant, en raison de l'interaction de divers facteurs, toute corrélation trouvée est spécifique au site étudié (Kati, 2005).

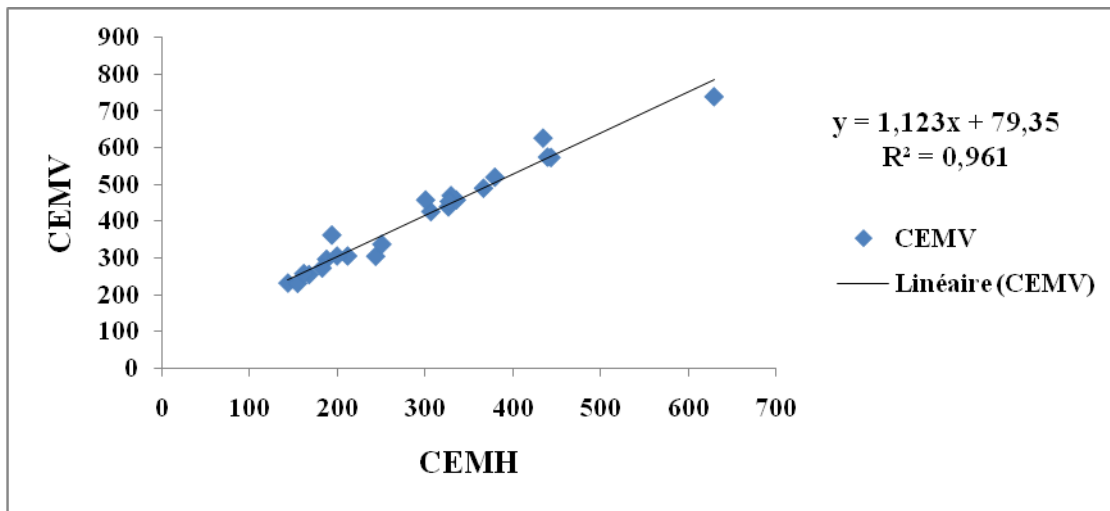


Figure 34. Corrélation entre CEMV et CEMH.

Tableau 23. Relation entre la CEM et la texture du sol

Variable	CEMH	CEMV
A %	<b>0.076</b>	<b>0.069</b>
LG %	<b>0.006</b>	<b>0.000</b>
LF %	<b>0.366</b>	<b>0.268</b>
SG %	<b>0.028</b>	<b>0.032</b>
SF %	<b>0.020</b>	<b>0.018</b>

Tableau 24. Relation entre la CEM et les propriétés du sol.

Variable	CEMH	CEMV
CEMH	1,000	0,961
CEMV	0,961	1,000
Ceps ds/m	0,943	0,809
CE1/5 ds/m	0,754	0,747
ph	0,444	0,441
CT%	0,010	0,002
CA%	0,038	0,027
MO%	<b>0.004</b>	<b>0.000</b>

En gras, valeurs significatives au seuil alpha=0,050 (test bilatéral).

### 3.3. Analyse statistique des valeurs mesurées et calculées de la CE<sub>ps</sub>

Les **tableaux 25** et **26** montrent la comparaison entre les paramètres statistiques des valeurs mesurées et calculées de la CE<sub>ps</sub>, de l'horizon 0-75cm.

Les résultats montrent que les moyennes de la CE<sub>ps</sub> mesurée et celles calculées sont identiques, avec des valeurs entre 5.82 ds/m et 25.11 ds/m pour la conductivité calculer, la salinité moyenne et de 11.64 ds/m, avec une variabilité élevé.

**Tableau 25** Valeurs des conductivités électriques (CE<sub>ps</sub>), mesurées et calculées.

N°	CEps (dS.m-1) mesurée au laboratoire	CEps (dS.m-1) calculée par les équations de régressions
	0-75 cm	0-75 cm
P5	9,14	7,8
P15	11,68	7,56
P25	5,95	7,37
P35	8,97	9,79
P45	5,88	6,77
P55	9,72	8,52
P65	5,93	5,82
P75	6,51	6,25
P85	10,46	13,08
P95	5,11	6,53
P105	10,09	13,44
P115	10,43	10,06
P125	13,77	13,2
P135	14,38	15,19
P145	8,75	8,04
P155	9,2	14,67
P165	10,07	12,29
P175	11,17	13,12
P185	15,72	17,73
P198	18,46	15,66
P210	24,97	25,11
P220	15,77	17,57

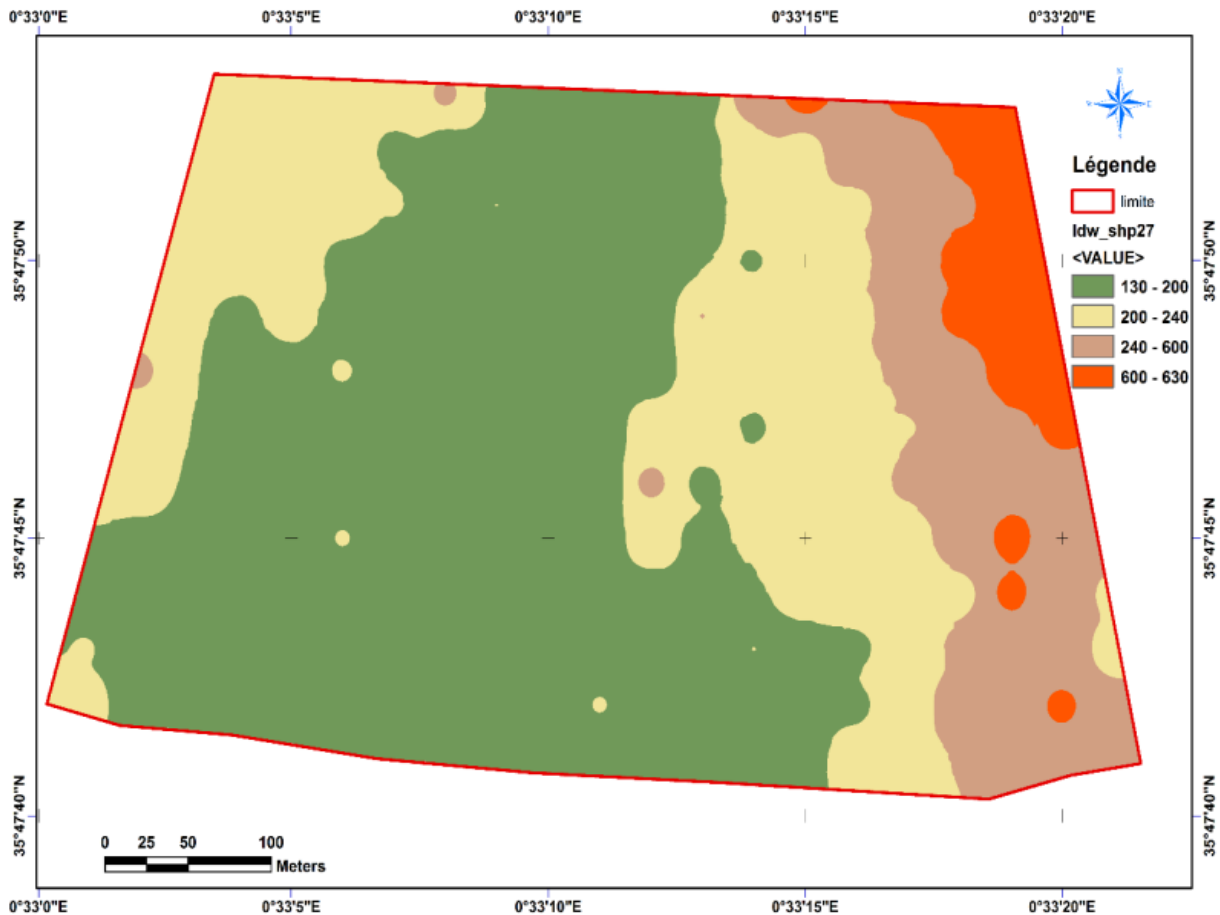
P232	17,28	12,05
------	-------	-------

Tableau 26. Paramètres statistiques des valeurs mesurées et calculées

Paramètre	CEps (dS.m-1) mesurée au laboratoire	CEps (dS.m-1) calculée par les équations de régressions
Min	5,11	5,82
Max	24,97	25,11
Moyenne	11,28	11,64
Ecartype	4,79	4,73
CV%	42,49	40,69

### 1.5. Analyses Cartographiques de la salinité

Les données acquises à l'aide du conductimètre électromagnétique EM38 sont traitées numériquement par des méthodes géostatistiques, en particulier, des cartes sont tracées à partir d'une interpolation par Krigeage. L'étude des variogrammes peut également fournir des renseignements sur la variabilité spatiale de la mesure, susceptibles d'orienter les modes d'échantillonnage futurs. L'emploi de ces méthodes se trouve facilité par le développement de logiciels fonctionnant sur micro-ordinateurs et pouvant même être utilisés sur du matériel portable (Boivin, 1988).



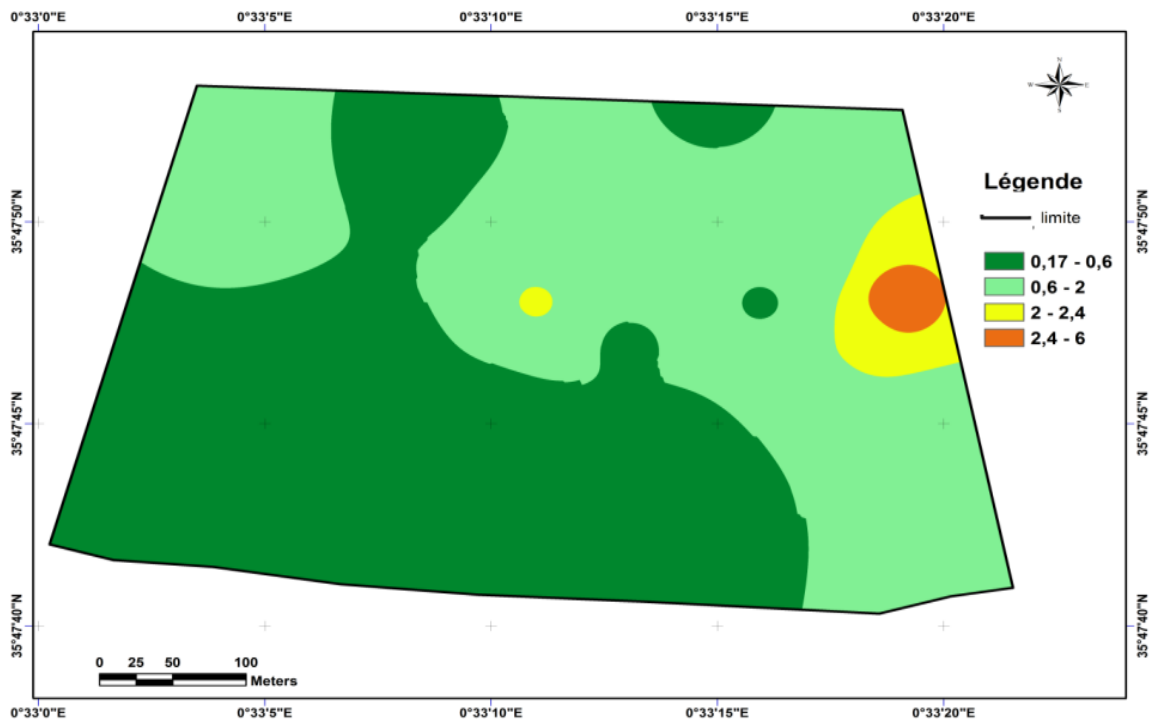
### 4.1. Variographie

Le but principal de cette analyse est la recherche pour chaque horizon d'un modèle structural théorique du variogramme utilisable lors des procédures d'interpolation par Krigeage.

**La variographie :**Le variogramme est un outil de géostatistique permettant d'évaluer les similarités des paramètres de deux échantillons en fonction de la distance qui les sépare (ARMSTRONG et CARIGNAN, 1997 in N'ZI et al, 2010.). L'aspect variographique de la géostatistique permet de mesurer la dépendance (on parle alors des liens entre les points voisins) entre deux points en fonction de la distance les séparant.

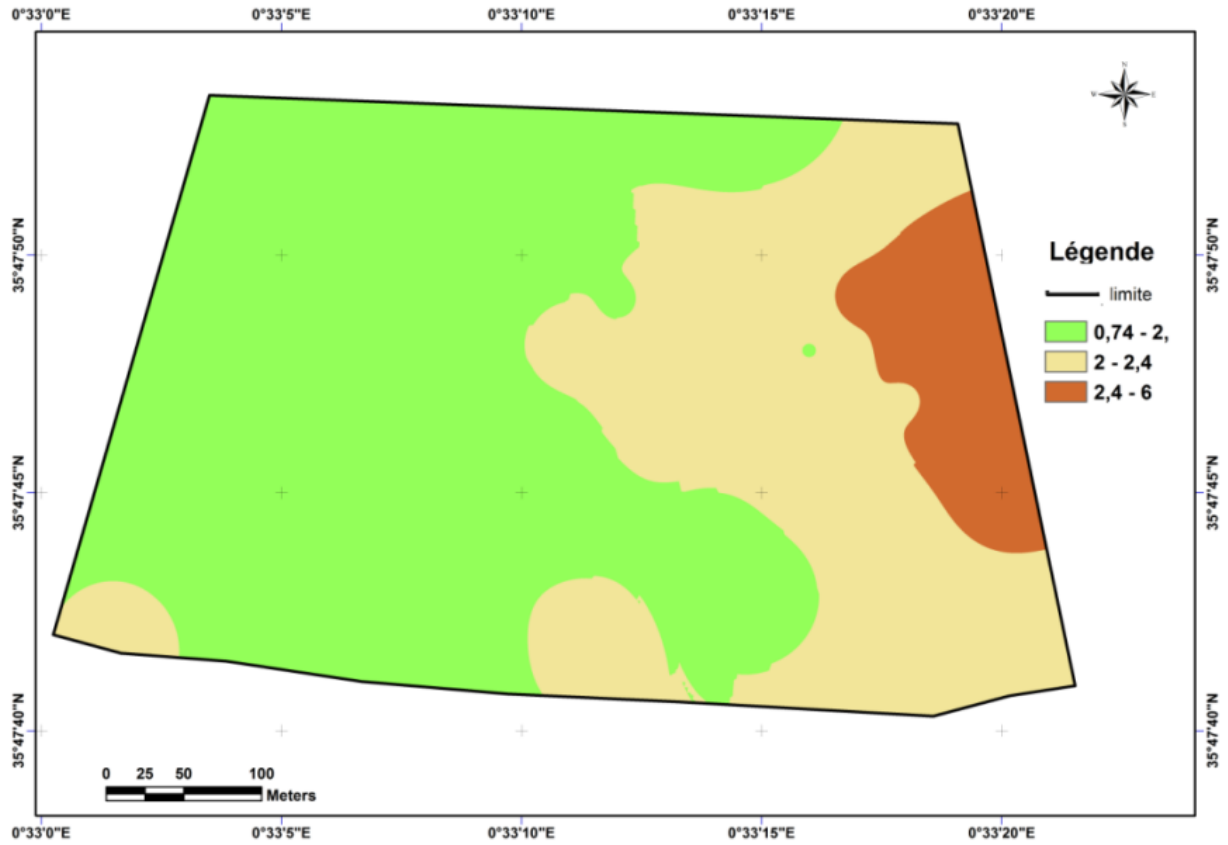
**Le krigeage :** Le Krigeage est la méthode optimale, au sens statistique du terme, d'estimation. On peut l'utiliser autant pour l'interpolation que l'extrapolation.

#### Horizon 1



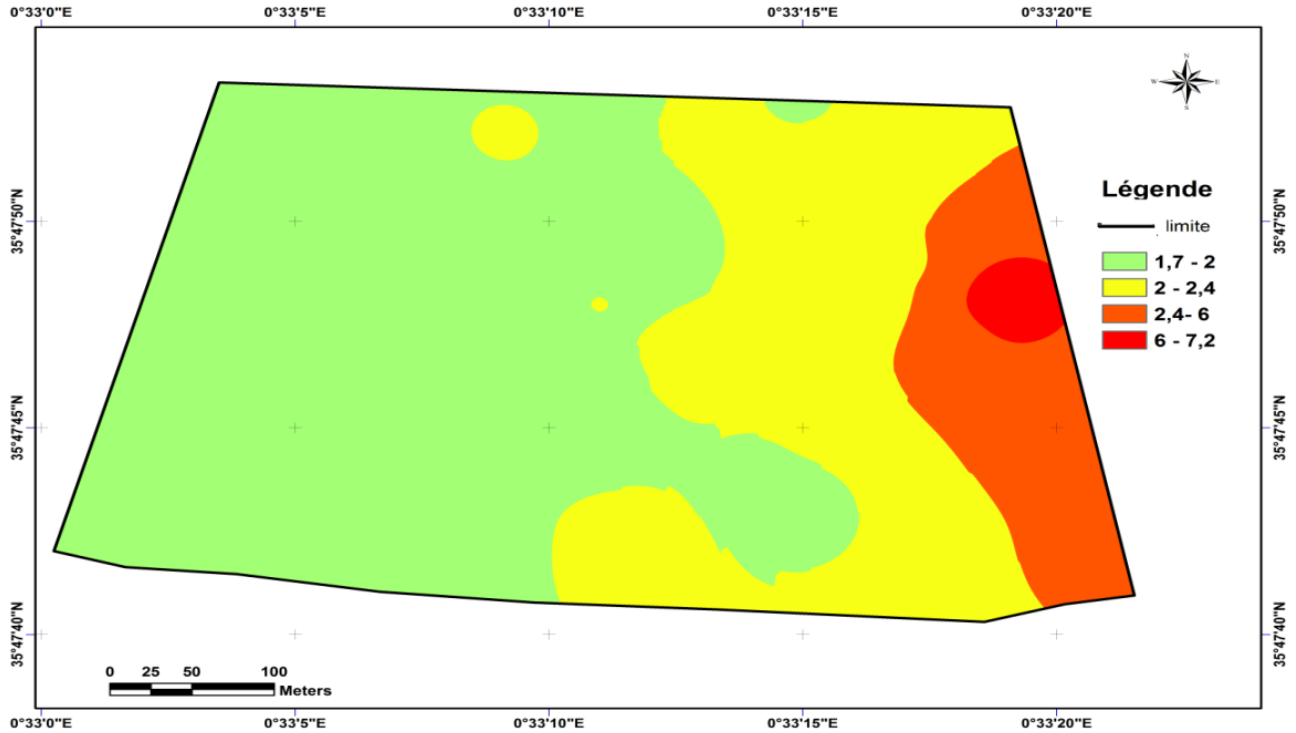
Classe	<0,6	0,6-2	2-2,4	2,4-6
Surface (ha)	8,910	7,917	0,5200	0,1703

Horizon 2



classe	0,6-2	2-2,4	2,4-6
Surface (ha)	10,30	5,894	1,321

Horizon 3



classe	0,6-2	2-2,4	2,4-6	>6
Surface (ha)	10,30	5,180	1,883	0,235

Surface totale est 17,52ha

La cartographie de la salinité a partir des ensembles des prélèvements, nous avons utilisés logiciel **Agis** (analyse cartographique SIG)

- 1: Le fichier X qui contient les cordonnés X et Y et les valeurs de chaque horizon.
- 2 : la création de deux fonctions avec la table de base de données.
- 3 : Interpolation, nous avons utilisés la méthode IDW.
- 4 : nous avons obtenus les classes de la salinité (tableau de la classification de la salinité **Aubert, 1978**).
- 5: nous avons fait le reclassement le fichier exporté et convention la carte au mode raster.

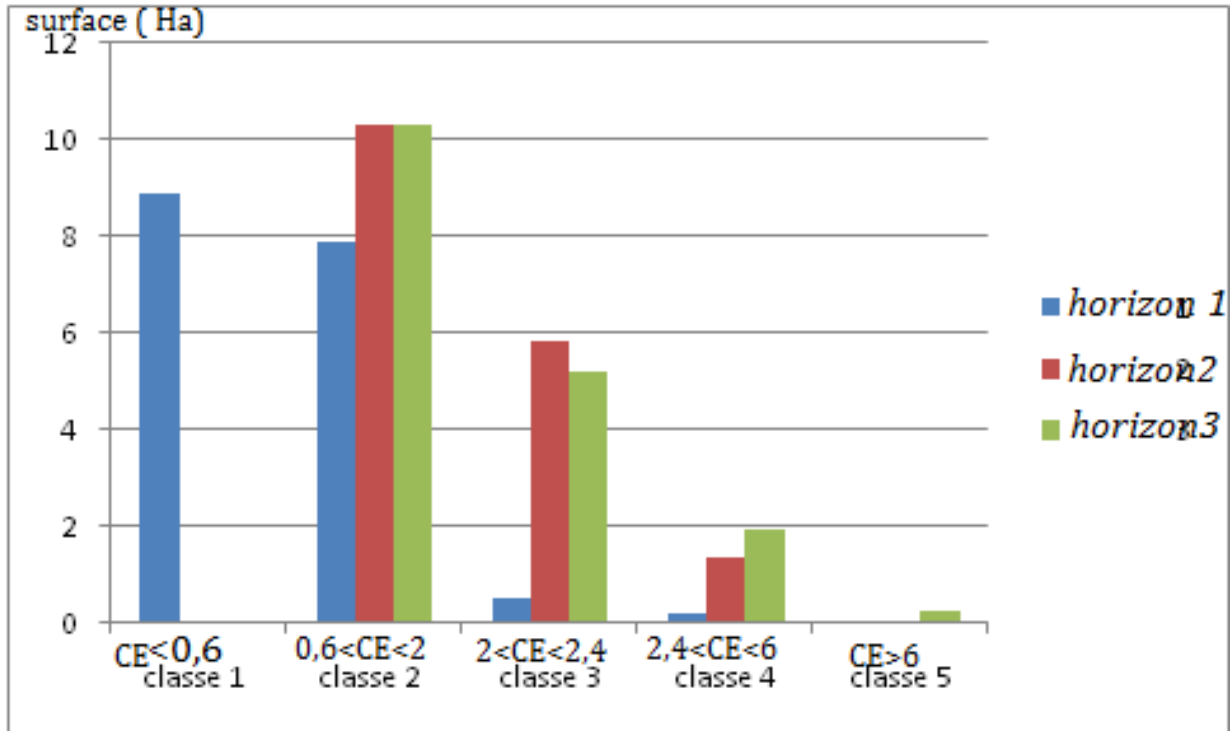
**Tableau N°27: Echelle de la Salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (Aubert, 1978).**

CE (ds/m) à 25C°	Degré de la salinité
CE<0,6	Sol non salé
0,6<CE<02	Sol peu salé
02<CE<2,4	Sol salé
2,4<CE<06	Sol très salé
CE>06	Sol extrêmement salé

**D'après les analyses cartographiques de la carte qui présente la salinité pour l'horizon 1 nous avons obtenus les résultats présents :**

- 1<sup>er</sup> classe <0,6 avec une surface à 8,910 ha, en suite 2<sup>ème</sup> classe entre 0,6-2 avec une superficie à 7,917 ha, encore 3<sup>ème</sup> classe entre 2-2,4 de la superficie à 0,52 ha et enfin, la dernière classe à 2,4-4,6 avec une surface de 9,1703 ha par apport la surface de la région d'étude c'est 17,52 ha
- **horizon 2** : 1<sup>er</sup> classe 0,6-2 avec une surface à 10,3ha, en suite 2<sup>ème</sup> classe entre 2-2,4 avec une superficie à 5,894 ha, encore 3<sup>ème</sup> classe entre 2,4-6 de la superficie par apport la surface de la région d'étude c'est 17,52 ha
- **horizon 3** :- 1<sup>er</sup> classe 0,6-2 avec une surface à 10,3ha, en suite 2<sup>ème</sup> classe entre 2-2,4 avec une superficie à 5,180 ha, encore 3<sup>ème</sup> classe entre 2,4-6 de la superficie à 1,883ha et enfin, la dernière classe à >6 avec une surface de 0,235 ha par apport la surface de la région d'étude c'est 17,52 ha

## 15.1. Comparaison entre 3 classes de la salinité



**Figure N°35** : présentation des horizons par apport chaque classe

Quand nous avons comparés entre les 3 horizons nous avons remarqués que l'horizon 3 est le plus élevé de la salinité que l'autre horizon 1 et 2, et aussi la salinité au coté est eleve que coté ouestde la zone d'étude.la répartition spatiale des classes de la salinité obtenu par interpolation IDW de ce mesure au laboratoire des points géo références des déférentes horizons donc il y'a une variation entre les 3 horizons.

L'augmentation de la salinité est affectée à plusieurs paramètres comme la cartographie c'est la pente de la parcelle donc, la pente fait l'accumulation des sels.

-Une salinisation s'opère inmanquablement au point le plus bas du sol.

-le défrichement provoque la salinisation

-la remontée des nappes phréatiques salées.

-l'activité minière (exploitation de mines de sel ou de potasse).

-la composition chimique des eaux d'irrigation

# **Conclusion générale**

## **Conclusion générale**

Au terme de cette étude, il paraît que l'utilisation des terres salines et des eaux de faible qualité pour la production agricole est possible, au prix d'une réduction de la productivité de l'exploitation. Ainsi, la mise en culture des terres inexploitées contribue à préserver certaines zones favorables d'une dégradation avancée et irréversible.

L'utilisation conjointe de mesures ponctuelles de la conductivité électrique des sols et d'un plus grand nombre de mesures électromagnétiques, nous a permis de décrire la variabilité spatiale de la salinité et de délimiter de manière très rapide des unités de sols salés et qui permet par la suite de suivre l'évolution des sels dans le temps au niveau de la parcelle. On a aussi pu déterminer l'allure du profil salin.

L'analyse de la répartition spatiale de la conductivité électrique a mis en évidence une dynamique spatiale de la salinité, en relation avec le climat (semi-aride), l'activité anthropique, le mauvais drainage et la topographie (pente faible).

Le cation  $\text{Na}^+$  et l'anion  $\text{Cl}^-$  sont les plus présents dans la solution du sol avec respectivement des taux moyens de 61% et de 49 %.

A travers cette étude, il s'avère que le problème de la salinité se pose sous deux aspects pour l'agriculture de la plaine de la Mina, une contrainte, parce que les accumulations des sels sont importantes et que la salinité a atteint un niveau alarmant, pour affecter les rendements agricoles ; et un risque potentiel parce que le taux de sodium élevé, dans les sols, pourrait affecter les propriétés physiques du sol à long terme.

Les résultats de ce travail contribueront, certainement à une meilleure connaissance des conséquences de la salinité sur l'agriculture et l'environnement pour une utilisation durable des ressources naturelles dans la région d'étude. Pour que cette utilisation soit durable, il paraît important de renforcer le rôle du drainage et du contrôle de la salinité dans les périmètres irrigués et de promouvoir le développement de l'expertise pour ces questions. Ce besoin d'expertise s'explique par la nécessité de développer et d'évaluer des méthodes adaptées au contexte agro climatique local.

Il faut en particulier revoir la vision statique de la salinité en développant une nouvelle approche qui doit percevoir d'abord ce phénomène comme un risque devant être géré par les agriculteurs même au prix d'une réduction de la productivité des périmètres.

Sur les moyens à mettre en œuvre pour ce renforcement, il convient de promouvoir un fonctionnement en réseau et de mettre en place une animation sous forme de séminaire, de formations continues et d'échanges de documentation.

Pour diminuer la salinité nous avons proposées des solutions car la salinité est difficilement estimable, par analyse chimique direct c.à.d. par séchage à température élevé,

Le lessivage- la tolérance des cultures à la salinité – Méthodes de culture- Modification des méthodes d'irrigation- Aménagement et contrôle de la salinité.

Il faut aussi structurer un programme d'acquisition de références apte à proposer les solutions idéales attendues pour « lutter » contre ce type de fléau qui il faut le rappeler est souvent le résultat d'une mauvaise gestion d'un espace et des ressources naturelles dont l'eau et le sol.

**Référence**

**bibliographiques**

## Références bibliographique

---

### Références bibliographiques :

Anonyme 1990- le guide de terrain. Paris , 11-52 p.

Anonyme, 2004- les externalités de l'irrigation gravitaire 69-70

AUBERT G, 1978- Méthodes d'analyses des sols, Editions Septima paris. 36-37p

AUBERT G. 1983- observations sur les caractéristiques , la domination et la classification des sols salés ou salsodiques. In Cah O.R.S.T.O.M sér .pédol , vol XX 1, 73-78

AUBERT G 1976 les sols sodique en Afrique du nord . professeur de Sciences du sol- orstom.

Belkhodja K 1974- origine, évolution et caractères de la salinité dans les sols de la plaine de kairoum ( Tunisie Centrale) contribution à l'étude de leur mise en valeur . thèse de docteur – ingénieur , université de Toulouse. Bulletin de la Division des sols 1974, 4 : 105 p.

Benyamina W 2010 Etude et diagnostic de l'état de salinisation et de sodisation des sols du périmètre irrigué de Bel-Hacel (relizane)

Bot, A, Nachtergale, Fet Young, A-2000 . potential des ressources terrestres et les contraintes aux niveaux regional et national , World resources report des sols , N°90 Rome : FAO of UN.

Cheverry et robert, 1998 : la dégradation des sols irrigées et de la ressources en eau ; une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. Etude et gestion des sols , vol5n°, 217-2455.

Clément Met française p 1998- analyse chimique des sols , méthodes choisies Editions TEC et DOC paris , 387.

Daoud 1994- irrigatin et salinisation au sahara algérien , Revue N°3 sécheresse. Vol5 151-160p.

De JONC E , Ballantyne AK Cameron DR READ D.W.L. 1979. Mesure de la conductivité électrique apparente des sols par une sonde à induction électromagnétique à l'aide d'enquêtes de la salinité. Sol sci et soc am j ,43, 810-812.

Dekhil s 1997 introduction à la salinité , Actes de Séminaire sur la salinité 1-3p

GAUCHER H , 1974- Géologie , Géomorphologie et hydrologie des terrains salés editions paris.231p

Gorine M 2010 Analyse de la salinité et détermination de sensibilité a la dégradation des terres agricoles , mémoire de magister , gestion conservatoire de la fertilité des sols et de l'eau .

Gupta R K et P A Brol, 1990 les sols affectés par sel : leur récupération et de gaction pour la production agricole AdV Soil Sci ; 11,233 88.

Insid 2006 : caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la mina

## Références bibliographique

---

- Jakeman T.1995, la salinisation des ressources en terres eau. Directeur de l'évaluation intégrée des bassins versant de gestion du centre.
- Jurinak et suarez , 1990- estimation de pourcentage de sodium échangeable des sables rapport d'adsorption du affectés par le sel des sol dans la plaine de chine du Nord- Songnen.
- Justine ; 2001 le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zone aride, risque et recommandation , handicap international ;12-15p
- Kenfaoui a 1997, la salinité des eaux d'irrigation , synthèse bibliographique , école nationale du génie rural des eaux et des forêts de montpellier.
- Kovda v a 1983 perte des terre productive due a la salinisation ambio 12.91.93
- Lengoupil j c 1974 evolution de la salinité du sol sous irrigation aménagement et mise en valeur des sols salés 11-12.
- McNeill d 1980 électromagnétique mesure de la conductivité du terrain à des nombres de bass induction . tech note TN-6 Geonics limited canada .
- Mermoud a 2006 notions fondamentales d'irrigation . presses universitaires normandes université du neuchatel suisse.
- Sumner me 1993 les sols sodiques , nouvelles perspective australie , soil res 31, 683-750,
- Szabolcs 1989, les sols en sels terres alcalin 274p, editeur CRC press ( boca Raton Fla)
- MARTIN P. (2007), Ces risques que l'on dit naturelle, éditions EYROLLES, Paris, 513p
- MERMOUD A. (2001), Cours de physique du sol : Maitrise de la salinité du sol. Version provisoire : 14 p. Ecole Fédérale de Lausanne
- METTERNICHT Get ALFRED Z. (2008), Remote Sensing of Soil Salinization Impact on Land Management, CRC, 424p.
- MHIRI A. ET AL. (1998), Approche systémique des risques de salinisation par endoréisation anthropique. Revue Etude et gestion des sols. Vol 5, n° 4 :257-268.
- NAIDU R. et AL. (1995), Australian Sodic Soils. CSIRO Publications.
- NAIDU R. et RENGASAMY P. (1993), Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. Australian Journal of Soil Research 31: 801-819.
- NASERI M.Y. (2001), Characterization of salt-affected soils for modelling sustainable land management in semiarid environment: A case study in the Gorgan

region, northeast Iran. ITC dissertation 52, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, the Netherlands.

PELMONT J.(2005),Biodégradations et métabolismes Les bactéries pour les technologies de l'environnement, collection Grenoble sciences, EPE, France, 800p

RENGASAMY P. (2002),Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview.Aust. J. Exp. Agric. 42, 351-361.

SERVANT J. (1975), Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. Exemple des sols salés du sud et de sud-ouest de la France. Thèse doc. Es sciences Naturelles, ENSA Montpellier, France.

SLAMA F. (2004), La salinité et la production végétale. Centre de publication universitaire. Tunis :151p.

SUMNER M.E. (1993),Sodic soils: New perspectives. Australian Journal of Soil Research 31: 683-750. SZABOLCS I. (1994),Soils and salinisation. In 'Handbook of Plant and Crop Stress. (ed. M. Pessarakli), pp 3-11. first edition, Marcel Dekker, New York.

TISSERAND É. et AL. (2008),Analyse et traitement des signaux, 2eme édition Dunod, Paris, 330p.

KEREN R. (2000), Salinity. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY,USA, pp G3-G25.

KRISHNA R. et AL.(2009), Electrochemical Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and Groundwater, Wiley, USA, 732p.

LEVITT J. (1980), Response of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt and other stresses. 2nd edn. Academic Press, London, UK.

LEVY G.J. (2000), Sodicty. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, pp G27-G62.

LTIFI W. (2008),bilan d'eau et des sels dans les périmètres irriguées KALAAT L'ANDALOUS, laboratoire du centre de gestion du ressource en eau, (CGRE) de L'INAT,

**Les**

**Annexes**

## Références bibliographique

### Annexe 1:

#### 1. Les tableaux

**Tableau 1.** Classes d'intensité du coefficient de variabilité (Nolinet al, 1997)

Intensité de la variabilité	Coefficient de variation (%)
Faible	<15
Modérée	15-35
Elevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100

**Tableau 2.** Interprétation des valeurs du PH du sol, Norme d'après (AFES, INRA, 1988).

Classe de réaction du sol	PH eau
Hyper acide	<3.5
Très acide	3.5-5
Acide	5-6.5
Neutre	6.5-7.5
Basique	7.5-8.5
Très basique	>8.5

**Tableau 3.** Conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1/5 (ds/m), Norme ISO 11265.

Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
C.E Extrait 1/5(ds/m)	0.6	1.2	2.4	6

**Tableau 4.** Conductivité électrique de la pâte saturé (ds/m)

Echelle de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS.m <sup>-1</sup> à 25° C.)				
<i>L. A. Richards, 1954. United States Salinity Laboratory Staff – USDA.</i>				
<i>Les effets de la salinité sont négligeables</i>	<i>Les rendements des cultures très sensibles peuvent être limités</i>	<i>Les rendements de nombreuses cultures limités</i>	<i>Seules les cultures tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>	<i>Seules quelques cultures très tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>
<b>Non salé</b>	<b>Peu salé</b>	<b>Salé</b>	<b>Fortement salé</b>	<b>Extrêmement salé</b>
0	2	4	8	16
CE <sub>ps</sub> en dS.m <sup>-1</sup> →				

## Annexes

**Tableau 5.** Interprétation des résultats d'analyse de la matière organique (Achkar, non daté)

Intervalle (%)	Jugement	Dose de fumier recommandée (T/ha)
<b>Sols argileux et limoneux : AA, A, AS, ASS, AL, ALS, LA, LSA, L, LS, et LL</b>		
≥3	Large ment satisfaisant	-
≤2-3	Satisfaisant	-
≤1,7-2	Moyenne	-
≤1,6-1,7	Moyenneme nt faible	20
≤1,4-1,6	Moyenneme nt faible	30
≤1,15-1,4	Faible	40
≤1-1,15	Très faible	50
≤0,8-1	Très faible	60
≤0,60-0,80	Excessive ment faible	70
≤0,40-0,60	Excessive ment faible	80
<0,40	Excessive ment faible	100
<b>Sols sableux : SA, SAl, SL, S, et SS</b>		
≥2	Large ment satisfaisant	-
≥1,75-2,00	Satisfaisant	-
≥1,5-1,75	Moyenne	-
≥1,25-1,50	Moyenneme nt faible	20
≥1,00-1,25	Faible	30
≥0,86-1,00	Faible	40
≥0,70-0,85	Très faible	50
≥0,60-0,70	Très faible	60
≥0,50-0,60	Excessive ment faible	80
≥0,40-0,50	Excessive ment faible	90
<0,40	Excessive ment faible	100

**Tableau 6.** Interprétation des niveaux de calcaire total et calcaire actif (Achkar, non daté).

## Annexes

Calcaire total (%)	Jugement	Commentaires
0	Nul	-
<0-1	Très faible	Aucun risque de chlorose
<1-4	Faible	Aucun risque de chlorose
<4-10	Moyenne	Risque de chlorose très faible
<10-15	Moyennement élevé	Risque de chlorose faible
<15-30	Elevé	Risque de chlorose important
<30-45	Très élevé	Très fort risque de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.
>45	Excessivement élevé	
Calcaire actif (%)		
<0-3	Faible	Risque de chlorose très faible
<3-7	Moyenne	Risque moyen de chlorose
<7-15	Elevé	Risque élevé de chlorose, il faut faire des apports foliaires en oligo-éléments Cu, Zn, B, Fe, et Mn.
>15	Très élevé	Risque très élevé de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.

**Tableau 21. Résultats de la Granulométrie.**

N°	N° échant	Couche H <sub>1</sub> (0-25cm)				Couche H <sub>2</sub> (25-50cm)					Couche H <sub>3</sub> (50-75cm)					
		% A	% LF	%SF	%SG	%LG	%A	%LF	%SF	%SG	%LG	%A	%LF	%SF	%SG	%LG
1	P5	47,3	3,54	4,13	1,34	43,7	44,8	34,9	7,31	0,82	12,2	50,1	30,8	7,21	0,72	10,1
2	P15	47,9	38,59	3,53	1,39	8,62	36,5	42,7	9,24	0,93	10,6	44,4	43,8	8,14	0,83	6,54
3	P25	27,7	53,79	6,52	1,14	10,8	41,3	39,1	4,49	0,66	14,4	46,2	42,1	2,39	0,69	9,04
4	P35	41,3	44,04	4,62	1,43	8,59	38,6	40,1	4,53	0,9	15,8	44,5	42,1	2,43	0,19	9,93
5	P45	42,2	41,21	2,92	1,24	12,4	41,7	43,7	2,7	1,08	10,8	43,5	41,5	1,17	1,28	8,72
6	P55	65	22,88	3,06	2,31	6,8	37,8	36,4	7,63	0,96	17,2	40,5	38,5	5,71	0,9	15
7	P65	36,8	45,45	4,53	1,24	12	38,1	45,7	4,24	1,45	10,5	41,1	46,6	3,34	1,65	7,42
8	P75	39,6	41,72	6,17	3,93	8,64	36,1	39,9	6,03	3,85	14,2	40,2	41,7	5,23	2,65	10,4
9	P85	37	40,81	5,74	1,68	14,8	27,9	43,1	15,3	2,89	10,8	30,1	46,1	13,3	1,79	7,68
10	P95	33,8	38,48	5,21	1,08	21,4	33,6	42,7	5,31	0,56	17,9	36,6	45,7	2,31	0,56	14,9
11	P105	57,8	20,3	3,46	1,51	16,9	37,7	42,1	1,75	0,57	17,9	42,7	41,1	0,75	0,57	12,9
12	P115	35,6	45,4	4,73	1,52	12,7	21,2	32,6	26,6	1,37	18,2	25,1	38,4	24,3	0,17	14,2
13	P125	35,4	40,05	6,85	1,86	15,9	33,7	35,4	13,5	0,77	16,7	35,7	38,4	10,5	0,77	14,7
14	P135	40,7	42,78	3,55	2,03	11	44,2	44,3	3,29	0,83	7,35	44,2	44,3	3,29	0,83	7,35

## Annexes

15	P145	38,3	44,6	4,05	1,23	11,8	35,7	41,5	6,51	0,66	15,7	40,5	43,2	4,81	0,46	10,2
16	P155	33,3	27,53	3,03	1,5	34,7	57	22,6	3,92	1,11	15,4	58	23,6	2,92	1,11	14,4
17	P165	41,2	25,56	4,15	1,65	27,4	44,4	34,6	7,78	1,25	12	48,4	36,6	5,78	1,25	7,98
18	P175	33,4	55,15	2,29	1,36	7,81	43,2	39,7	2,08	0,42	14,6	47,2	40,2	1,28	0,32	10,9
19	P185	39,6	47,93	2,84	2,33	7,3	4152	42,9	2,73	1,47	11,4	45,7	40,8	4,63	1,67	7,36
20	P195	34,8	44,24	4,42	2,05	14,5	38,6	39,4	4,85	0,56	16,6	40,8	38,2	6,65	0,86	14,8
21	P210	43,6	42,47	2,24	1,18	10,5	53,6	40,8	1,03	0,61	4,01	53,4	4056	1,13	0,51	4,11
22	P220	35,8	39,85	3,79	1,54	19,1	24,7	41,1	10,3	0,45	23,6	29,9	40	9,15	0,85	18,4
23	P232	41,5	41,67	5,47	2,41	8,99	26,1	42,4	3,23	1,11	27,2	30,1	40,3	5,2	1,09	24,2
Moyenne		40,4	38,61	5,42	1,69	15,1	38,2	39,5	6,71	1,1	14,6	41,7	40,3	5,72	0,91	11,4

**Tableau 21. Résultats du pH.**

Code	Profondeur	pH	code	Profondeur	pH
P5	H1 (0-25cm)	8.59	P125	H1 (0-25cm)	8.22
	H2 (25-50cm)	8.28		H2 (25-50cm)	7.98
	H3 (50-75cm)	8.13		H3 (50-75cm)	8.22
P15	H1 (0-25cm)	8.54	P135	H1 (0-25cm)	8,21
	H2 (25-50cm)	8.23		H2 (25-50cm)	8,11
	H3 (50-75cm)	8.28		H3 (50-75cm)	8,08
P25	H1 (0-25cm)	8.61	P145	H1 (0-25cm)	8.43
	H2 (25-50cm)	8.27		H2 (25-50cm)	8.17
	H3 (50-75cm)	8.25		H3 (50-75cm)	8.09
P35	H1 (0-25cm)	8.01	P155	H1 (0-25cm)	8.43
	H2 (25-50cm)	8,24		H2 (25-50cm)	8.17
	H3 (50-75cm)	8.42		H3 (50-75cm)	8.09
P45	H1 (0-25cm)	8.59	P165	H1 (0-25cm)	8,13
	H2 (25-50cm)	8.28		H2 (25-50cm)	8.20

## Annexes

	H3 (50-75cm)	8.13		H3 (50-75cm)	8,23
P55	H1 (0-25cm)	8.54	P175	H1 (0-25cm)	8.26
	H2 (25-50cm)	8.23		H2 (25-50cm)	8.25
	H3 (50-75cm)	8.28		H3 (50-75cm)	8.22
P65	H1 (0-25cm)	8.61	P185	H1 (0-25cm)	8.07
	H2 (25-50cm)	8.27		H2 (25-50cm)	8.10
	H3 (50-75cm)	8.25		H3 (50-75cm)	8,11
P75	H1 (0-25cm)	8.01	P198	H1 (0-25cm)	8.25
	H2 (25-50cm)	8,24		H2 (25-50cm)	8.18
	H3 (50-75cm)	8.42		H3 (50-75cm)	8.18
P85	H1 (0-25cm)	8.28	P210	H1 (0-25cm)	8.24
	H2 (25-50cm)	8.29		H2 (25-50cm)	8.13
	H3 (50-75cm)	8.36		H3 (50-75cm)	8,19
P95	H1 (0-25cm)	8.32	P220	H1 (0-25cm)	8.07
	H2 (25-50cm)	8.29		H2 (25-50cm)	7.90
	H3 (50-75cm)	8.20		H3 (50-75cm)	7.92
P105	H1 (0-25cm)	8.21	P232	H1 (0-25cm)	8.37
	H2 (25-50cm)	8.22		H2 (25-50cm)	8.11
	H3 (50-75cm)	8.24		H3 (50-75cm)	8.10
P115	H1 (0-25cm)	8.32			
	H2 (25-50cm)	8.15			
	H3 (50-75cm)	8.22			

**Tableau 22.**Résultats statistiques du pH.

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
Minimum	8,01	7,9	7,92
Maximum	8,61	8,29	8,42
Ecartype	0,20	0,10	0,11

**Tableau 21.**Résultats du  $CE_{1/5}$ .

Code	Profondeur	$CE_{1/5}$	code	Profondeur	$CE_{1/5}$
------	------------	------------	------	------------	------------

## Annexes

<b>P5</b>	H1 (0-25cm)	<b>1,8</b>	<b>P125</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.73</b>
	H2 (25-50cm)	<b>2</b>		H2 (25-50cm)	<b>2.72</b>
	H3 (50-75cm)	<b>2,2</b>		H3 (50-75cm)	<b>4.37</b>
<b>P15</b>	H1 (0-25cm)	<b>1,9</b>	<b>P135</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.88</b>
	H2 (25-50cm)	<b>2,2</b>		H2 (25-50cm)	<b>2.62</b>
	H3 (50-75cm)	<b>3,1</b>		H3 (50-75cm)	<b>3.66</b>
<b>P25</b>	H1 (0-25cm)	<b>0,6</b>	<b>P145</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.373</b>
	H2 (25-50cm)	<b>0,9</b>		H2 (25-50cm)	<b>1.73</b>
	H3 (50-75cm)	<b>2,1</b>		H3 (50-75cm)	<b>2.93</b>
<b>P35</b>	H1 (0-25cm)	<b>0,9</b>	<b>P155</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.75</b>
	H2 (25-50cm)	<b>1,2</b>		H2 (25-50cm)	<b>1.2</b>
	H3 (50-75cm)	<b>3,3</b>		H3 (50-75cm)	<b>3</b>
<b>P45</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.374</b>	<b>P165</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.745</b>
	H2 (25-50cm)	<b>1.11</b>		H2 (25-50cm)	<b>1.6</b>
	H3 (50-75cm)	<b>1.73</b>		H3 (50-75cm)	<b>2.56</b>
<b>P55</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.75</b>	<b>P175</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.901</b>
	H2 (25-50cm)	<b>2.01</b>		H2 (25-50cm)	<b>1.99</b>
	H3 (50-75cm)	<b>2.25</b>		H3 (50-75cm)	<b>3.43</b>
<b>P65</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.497</b>	<b>P185</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.28</b>
	H2 (25-50cm)	<b>1.35</b>		H2 (25-50cm)	<b>3.51</b>
	H3 (50-75cm)	<b>1.72</b>		H3 (50-75cm)	<b>4.38</b>
<b>P75</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.481</b>	<b>P198</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.82</b>
	H2 (25-50cm)	<b>1.21</b>		H2 (25-50cm)	<b>3.19</b>
	H3 (50-75cm)	<b>2.16</b>		H3 (50-75cm)	<b>5.08</b>
<b>P85</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.55</b>	<b>P210</b>	H1 (0-25cm)	<b>3.44</b>
	H2 (25-50cm)	<b>1.809</b>		H2 (25-50cm)	<b>5.86</b>
	H3 (50-75cm)	<b>2.48</b>		H3 (50-75cm)	<b>7.18</b>
<b>P95</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.178</b>	<b>P220</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.28</b>
	H2 (25-50cm)	<b>0.74</b>		H2 (25-50cm)	<b>3.42</b>
	H3 (50-75cm)	<b>2.101</b>		H3 (50-75cm)	<b>4.96</b>
<b>P105</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.04</b>	<b>P232</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.16</b>
	H2 (25-50cm)	<b>1.964</b>		H2 (25-50cm)	<b>3.22</b>
	H3 (50-75cm)	<b>2.66</b>		H3 (50-75cm)	<b>4.72</b>
<b>P115</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.85</b>			
	H2 (25-50cm)	<b>2.45</b>			

## Annexes

---

	<b>H3 (50-75cm)</b>	<b>2.83</b>	
--	---------------------	-------------	--

**Tableau 22.**Résultats statistiques du  $CE_{1/5}$ .

<b>Paramètres</b>	<b>Profondeur (cm)</b>		
	<b>0- 25 cm</b>	<b>25- 50 cm</b>	<b>50-75 cm</b>
<b>Minimum</b>	<b>0,178</b>	<b>0,74</b>	<b>1,72</b>
<b>Maximum</b>	<b>3,44</b>	<b>5,86</b>	<b>7,18</b>
<b>Ecartype</b>	<b>0,71</b>	<b>1,14</b>	<b>1,33</b>

**Tableau 21.**Résultats du  $CE_{ps}$ .

<b>Code</b>	<b>Profondeur</b>	<b><math>CE_{ps}</math></b>	<b>code</b>	<b>Profondeur</b>	<b><math>CE_{ps}</math></b>
<b>P5</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	3,81	<b>P125</b>	<b>H1 (0-25cm)</b>	<b>3.99</b>
	<b>H2 (25-50cm)</b>	8,51		<b>H2 (25-50cm)</b>	<b>16.27</b>
	<b>H3 (50-75cm)</b>	15,12		<b>H3 (50-75cm)</b>	<b>20.17</b>

## Annexes

**Tableau**  
statistiques du

<b>P15</b>	H1 (0-25cm)	4,21	<b>P135</b>	H1 (0-25cm)	<b>4,06</b>
	H2 (25-50cm)	10,24		H2 (25-50cm)	<b>12,74</b>
	H3 (50-75cm)	20,59		H3 (50-75cm)	<b>24,7</b>
<b>P25</b>	H1 (0-25cm)	2,15	<b>P145</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.65</b>
	H2 (25-50cm)	6,05		H2 (25-50cm)	<b>7.89</b>
	H3 (50-75cm)	9,65		H3 (50-75cm)	<b>16.72</b>
<b>P35</b>	H1 (0-25cm)	1,85	<b>P155</b>	H1 (0-25cm)	<b>1,85</b>
	H2 (25-50cm)	8,12		H2 (25-50cm)	<b>8,35</b>
	H3 (50-75cm)	16,94		H3 (50-75cm)	<b>17,4</b>
<b>P45</b>	H1 (0-25cm)	<b>1.73</b>	<b>P165</b>	H1 (0-25cm)	<b>3,78</b>
	H2 (25-50cm)	<b>5.90</b>		H2 (25-50cm)	<b>9.50</b>
	H3 (50-75cm)	<b>10.03</b>		H3 (50-75cm)	<b>16,52</b>
<b>P55</b>	H1 (0-25cm)	<b>2.85</b>	<b>P175</b>	H1 (0-25cm)	<b>4.22</b>
	H2 (25-50cm)	<b>8.98</b>		H2 (25-50cm)	<b>8.76</b>
	H3 (50-75cm)	<b>14.5</b>		H3 (50-75cm)	<b>20.54</b>
<b>P65</b>	H1 (0-25cm)	<b>2.17</b>	<b>P185</b>	H1 (0-25cm)	<b>7.08</b>
	H2 (25-50cm)	<b>5.95</b>		H2 (25-50cm)	<b>15.80</b>
	H3 (50-75cm)	<b>9.66</b>		H3 (50-75cm)	<b>19,23</b>
<b>P75</b>	H1 (0-25cm)	<b>12.73</b>	<b>P198</b>	H1 (0-25cm)	<b>9.16</b>
	H2 (25-50cm)	<b>5,35</b>		H2 (25-50cm)	<b>17.85</b>
	H3 (50-75cm)	<b>9.53</b>		H3 (50-75cm)	<b>28.38</b>
<b>P85</b>	H1 (0-25cm)	<b>8.31</b>	<b>P210</b>	H1 (0-25cm)	<b>17.64</b>
	H2 (25-50cm)	<b>11.53</b>		H2 (25-50cm)	<b>27.33</b>
	H3 (50-75cm)	<b>15.56</b>		H3 (50-75cm)	<b>26,8</b>
<b>P95</b>	H1 (0-25cm)	<b>0.86</b>	<b>P220</b>	H1 (0-25cm)	<b>6.09</b>
	H2 (25-50cm)	<b>3.47</b>		H2 (25-50cm)	<b>16.04</b>
	H3 (50-75cm)	<b>11.02</b>		H3 (50-75cm)	<b>25.2</b>
<b>P105</b>	H1 (0-25cm)	<b>5.38</b>	<b>P232</b>	H1 (0-25cm)	<b>5.84</b>
	H2 (25-50cm)	<b>9.76</b>		H2 (25-50cm)	<b>15.79</b>
	H3 (50-75cm)	<b>15.15</b>		H3 (50-75cm)	<b>30.22</b>
<b>P115</b>	H1 (0-25cm)	<b>4.45</b>			
	H2 (25-50cm)	<b>12.11</b>			
	H3 (50-75cm)	<b>14.74</b>			

**22.Résultats**  
CEps.

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm

## Annexes

<b>Minimum</b>	<b>0,86</b>	<b>3,74</b>	<b>9,53</b>
<b>Maximum</b>	<b>17,64</b>	<b>27,33</b>	<b>30,22</b>
<b>Ecartype</b>	<b>3,93</b>	<b>5,32</b>	<b>6,12</b>

**Tableau 21. Résultats du CT.**

<b>Code</b>	<b>Profondeur</b>	<b>CT</b>	<b>code</b>	<b>Profondeur</b>	<b>CT</b>
<b>P5</b>	H1 (0-25cm)	22,31	<b>P125</b>	H1 (0-25cm)	19,21
	H2 (25-50cm)	23,15		H2 (25-50cm)	23,21
	H3 (50-75cm)	21,01		H3 (50-75cm)	24,62
<b>P15</b>	H1 (0-25cm)	19,31	<b>P135</b>	H1 (0-25cm)	23,51
	H2 (25-50cm)	19,97		H2 (25-50cm)	22,15
	H3 (50-75cm)	20,31		H3 (50-75cm)	21,3
<b>P25</b>	H1 (0-25cm)	19,78	<b>P145</b>	H1 (0-25cm)	20,31
	H2 (25-50cm)	18,61		H2 (25-50cm)	24,15
	H3 (50-75cm)	18,96		H3 (50-75cm)	23,98
<b>P35</b>	H1 (0-25cm)	20,54	<b>P155</b>	H1 (0-25cm)	19,64
	H2 (25-50cm)	20,57		H2 (25-50cm)	20,31
	H3 (50-75cm)	19,64		H3 (50-75cm)	19,2
<b>P45</b>	H1 (0-25cm)	18,68	<b>P165</b>	H1 (0-25cm)	24,15
	H2 (25-50cm)	18,99		H2 (25-50cm)	22,08
	H3 (50-75cm)	17,52		H3 (50-75cm)	21,14
<b>P55</b>	H1 (0-25cm)	20,12	<b>P175</b>	H1 (0-25cm)	18,25
	H2 (25-50cm)	19,32		H2 (25-50cm)	17,51
	H3 (50-75cm)	22,15		H3 (50-75cm)	18,57
<b>P65</b>	H1 (0-25cm)	19,53	<b>P185</b>	H1 (0-25cm)	16,98
	H2 (25-50cm)	23,15		H2 (25-50cm)	20,38
	H3 (50-75cm)	24,51		H3 (50-75cm)	21,35
<b>P75</b>	H1 (0-25cm)	23,21	<b>P198</b>	H1 (0-25cm)	24,12
	H2 (25-50cm)	24,62		H2 (25-50cm)	22,18
	H3 (50-75cm)	25,47		H3 (50-75cm)	19,39
<b>P85</b>	H1 (0-25cm)	24,51	<b>P210</b>	H1 (0-25cm)	20,15
	H2 (25-50cm)	19,1		H2 (25-50cm)	19,53
	H3 (50-75cm)	20,13		H3 (50-75cm)	18,64
<b>P95</b>	H1 (0-25cm)	23,1	<b>P220</b>	H1 (0-25cm)	25,14
	H2 (25-50cm)	24,51		H2 (25-50cm)	24,62
	H3 (50-75cm)	25,47		H3 (50-75cm)	27,17

## Annexes

**Tableau**  
statistiques du

<b>P105</b>	H1 (0-25cm)	22,31	<b>P232</b>	H1 (0-25cm)	24,51
	H2 (25-50cm)	21,12		H2 (25-50cm)	23,14
	H3 (50-75cm)	24,62		H3 (50-75cm)	22,11
<b>P115</b>	H1 (0-25cm)	23,21			
	H2 (25-50cm)	22,4			
	H3 (50-75cm)	19,51			

**22.Résultats**  
CT.

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
<b>Minimum</b>	16,98	17,51	17,52
<b>Maximum</b>	25,14	24,62	27,17
<b>Ecartype</b>	2,38	2,13	2,69

**Tableau 21.Résultats du CA.**

Code	Profondeur	CA	code	Profondeur	CA
<b>P5</b>	H1 (0-25cm)	5,50	<b>P125</b>	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	5,38		H2 (25-50cm)	4,63
	H3 (50-75cm)	5,25		H3 (50-75cm)	4,38
<b>P15</b>	H1 (0-25cm)	4,13	<b>P135</b>	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	4,75		H2 (25-50cm)	5,13
	H3 (50-75cm)	3,00		H3 (50-75cm)	5,75
<b>P25</b>	H1 (0-25cm)	4,88	<b>P145</b>	H1 (0-25cm)	3,63
	H2 (25-50cm)	5,88		H2 (25-50cm)	4,50
	H3 (50-75cm)	4,38		H3 (50-75cm)	4,38
<b>P35</b>	H1 (0-25cm)	3,63	<b>P155</b>	H1 (0-25cm)	6,13
	H2 (25-50cm)	4,50		H2 (25-50cm)	5,50
	H3 (50-75cm)	4,38		H3 (50-75cm)	5,63
<b>P45</b>	H1 (0-25cm)	6,13	<b>P165</b>	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	5,50		H2 (25-50cm)	4,88
	H3 (50-75cm)	5,63		H3 (50-75cm)	4,38
<b>P55</b>	H1 (0-25cm)	5,63	<b>P175</b>	H1 (0-25cm)	4,88
	H2 (25-50cm)	4,88		H2 (25-50cm)	4,63
	H3 (50-75cm)	4,88		H3 (50-75cm)	5,50
<b>P65</b>	H1 (0-25cm)	4,38	<b>P185</b>	H1 (0-25cm)	3,50
	H2 (25-50cm)	6,13		H2 (25-50cm)	3,63
	H3 (50-75cm)	5,50		H3 (50-75cm)	3,38
<b>P75</b>	H1 (0-25cm)	5,50	<b>P198</b>	H1 (0-25cm)	4,75

## Annexes

**Tableau**  
statistiques du

	H2 (25-50cm)	5,63		H2 (25-50cm)	3,25
	H3 (50-75cm)	5,25		H3 (50-75cm)	6,25
<b>P85</b>	H1 (0-25cm)	4,50	<b>P210</b>	H1 (0-25cm)	5,63
	H2 (25-50cm)	4,75		H2 (25-50cm)	4,75
	H3 (50-75cm)	3,25		H3 (50-75cm)	4,25
<b>P95</b>	H1 (0-25cm)	5,25	<b>P220</b>	H1 (0-25cm)	4,50
	H2 (25-50cm)	4,63		H2 (25-50cm)	4,38
	H3 (50-75cm)	4,75		H3 (50-75cm)	5,75
<b>P105</b>	H1 (0-25cm)	4,25	<b>P232</b>	H1 (0-25cm)	5,13
	H2 (25-50cm)	4,50		H2 (25-50cm)	6,00
	H3 (50-75cm)	4,38		H3 (50-75cm)	5,63
<b>P115</b>	H1 (0-25cm)	5,75			
	H2 (25-50cm)	5,13			
	H3 (50-75cm)	6,00			

**22.Résultats**  
**CA.**

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
<b>Minimum</b>	<b>3,5</b>	<b>3,25</b>	<b>3</b>
<b>Maximum</b>	<b>6,13</b>	<b>6,13</b>	<b>6,25</b>
<b>Ecartype</b>	<b>0,80</b>	<b>0,70</b>	<b>0,90</b>

**Tableau 21.Résultats du MO.**

Code	Profondeur	MO	code	Profondeur	MO
<b>P5</b>	H1 (0-25cm)	2,3	<b>P125</b>	H1 (0-25cm)	2,33
	H2 (25-50cm)	2,22		H2 (25-50cm)	1,41
	H3 (50-75cm)	1,21		H3 (50-75cm)	0,62
<b>P15</b>	H1 (0-25cm)	2,85	<b>P135</b>	H1 (0-25cm)	2,96
	H2 (25-50cm)	2,51		H2 (25-50cm)	1,85
	H3 (50-75cm)	1,02		H3 (50-75cm)	0,47
<b>P25</b>	H1 (0-25cm)	1,9	<b>P145</b>	H1 (0-25cm)	3,81
	H2 (25-50cm)	1,71		H2 (25-50cm)	2,64
	H3 (50-75cm)	0,69		H3 (50-75cm)	1,52
<b>P35</b>	H1 (0-25cm)	3,7	<b>P155</b>	H1 (0-25cm)	3,28
	H2 (25-50cm)	2,54		H2 (25-50cm)	2,16
	H3 (50-75cm)	1,2		H3 (50-75cm)	1,27
<b>P45</b>	H1 (0-25cm)	3,91	<b>P165</b>	H1 (0-25cm)	3,28
	H2 (25-50cm)	2,64		H2 (25-50cm)	1,94

## Annexes

**Tableau**  
statistiques du

	H3 (50-75cm)	1,21		H3 (50-75cm)	1,21
P55	H1 (0-25cm)	3,17	P175	H1 (0-25cm)	3,91
	H2 (25-50cm)	2,51		H2 (25-50cm)	2,51
	H3 (50-75cm)	1,32		H3 (50-75cm)	1,73
P65	H1 (0-25cm)	3,28	P185	H1 (0-25cm)	2,85
	H2 (25-50cm)	2,51		H2 (25-50cm)	2,14
	H3 (50-75cm)	1,14		H3 (50-75cm)	0,71
P75	H1 (0-25cm)	2,54	P198	H1 (0-25cm)	3,55
	H2 (25-50cm)	2,3		H2 (25-50cm)	2,31
	H3 (50-75cm)	1,02		H3 (50-75cm)	1,21
P85	H1 (0-25cm)	2,75	P210	H1 (0-25cm)	3,47
	H2 (25-50cm)	1,94		H2 (25-50cm)	2,61
	H3 (50-75cm)	0,95		H3 (50-75cm)	1,25
P95	H1 (0-25cm)	2,96	P220	H1 (0-25cm)	3,21
	H2 (25-50cm)	2,13		H2 (25-50cm)	2,51
	H3 (50-75cm)	1,15		H3 (50-75cm)	1,46
P105	H1 (0-25cm)	3,02	P232	H1 (0-25cm)	2,88
	H2 (25-50cm)	2,64		H2 (25-50cm)	1,72
	H3 (50-75cm)	1,32		H3 (50-75cm)	0,85
P115	H1 (0-25cm)	2,52			
	H2 (25-50cm)	1,26			
	H3 (50-75cm)	0,52			

**22.Résultats**  
MO.

Paramètres	Profondeur (cm)		
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm
<b>Minimum</b>	2,3	1,26	0,47
<b>Maximum</b>	3,91	2,64	1,73
<b>Écartype</b>	0,47	0,41	0,32

**Tableau 19.** Coefficient de corrélation linéaire (Table r de Bravais Pearson).

## Annexes

$v / \alpha$	0.10	0.05	0.02	$v / \alpha$	0.10	0.05	0.02
1	0.9877	0.9969	0.9995	16	0.4000	0.4683	0.5425
2	0.9000	0.9500	0.980	17	0.3887	0.4555	0.5285
3	0.8054	0.8783	0.9343	18	0.3783	0.4438	0.5155
4	0.7293	0.8114	0.8822	19	0.3687	0.4329	0.5034
5	0.6694	0.7545	0.8329	20	0.3598	0.4227	0.4921
6	0.6215	0.7067	0.7887	25	0.3233	0.3809	0.4451
7	0.5822	0.6664	0.7498	30	0.2960	0.3494	0.4093
8	0.5494	0.6319	0.7155	35	0.2746	0.3246	0.3810
9	0.5214	0.6021	0.6851	40	0.2573	0.3044	0.3578
10	0.4973	0.5750	0.6581	45	0.2428	0.2875	0.3384
11	0.4762	0.5529	0.6339	50	0.2306	0.2732	0.3218
12	0.4575	0.5324	0.6120	60	0.2108	0.2500	0.2948
13	0.4409	0.5139	0.5923	70	0.1954	0.2319	0.2737
14	0.4259	0.4973	0.5742	80	0.1829	0.2172	0.2565
15	0.4124	0.4821	0.5577	90	0.1726	0.2050	0.2422
				100	0.1638	0.1946	0.2301

V : le degré de liberté.  $v=n-p-1$  avec n : le nombre d'observation.

P : le nombre de variables explicatives.  $\alpha$  : le risque d'erreur.

La table indique le seuil inférieur de signification du coefficient de corrélation linéaire. Elle exprime la limite supérieure qui peut être imputée au hasard. Pour que la relation soit significative avec un risque d'erreur  $\alpha$ , il faut que r calculé dépasse la valeur de la table au seuil  $\alpha$  et au degré de liberté égal à  $v = n - p - 1$  (n: le nombre d'observations, p: le nombre de relations considérées ou de variables explicatives). Dans le cas d'une corrélation simple on a  $p = 1$  d'où on tire :  $v = n - 2$ .

**Tableau 20.** Interprétation des niveaux de calcaire total Norme d'après (AFES, INRA ,1988).

CaCO <sub>3</sub>	Teneur
<2	Trace
2-10	Faible
10-25	Moyen
25-55	Fort
>55	Très forte

**Tableau N°21 .**Les valeurs des conductivités électromagnétiques et de la pate saturé.

POINT	Coordonnée		compagne 2011		Compagne 2019			
	X	Y	Ceps	CEMH	CEM V	CEMH	Ceps	Occupation
1	0,33 ,13	35, 47, 53	11,94	289	392	168	6,77	Céréales
2	0, 33, 13	35 ,47 ,52	11,66	282	350	188	7,56	céréales

## Annexes

3	0, 33, 13	35, 47, 51	12,29	298	345	200	8,04	céréales
4	0, 33, 12	35, 47, 48	12,29	298	354	165	6,65	céréales
5	0, 33, 12	35, 47, 49	11,62	281	362	194	7,80	céréales
6	0, 33, 12	35, 47, 50	10,82	261	313	145	5,86	céréales
7	0, 33, 12	35, 47, 51	9,08	217	318	201	8,08	céréales
8	0, 33, 12	35, 47, 52	7,97	189	340	216	8,68	Céréales
9	0, 33, 12	35, 47, 53	13,72	334	267	133	5,38	Céréales
10	0, 33, 11	35, 47, 53	12,69	308	329	187	7,52	Céréales
11	0, 33, 11	35, 47, 52	5,54	128	330	140	5,66	Céréales
12	0, 33, 11	35, 47, 51	11, 26	272	322	150	6,06	Céréales
13	0, 33, 11	35, 47, 50	10,39	250	387	172	6,93	Céréales
14	0, 33, 11	35, 47, 49	9,16	219	302	154	6,21	Céréales
15	0, 33, 11	35, 47, 48	8,44	201	296	188	7,56	Céréales
16	0, 33, 11	35, 47, 47	9,32	223	230	135	5,46	Céréales
17	0, 33, 11	35, 47,46	9,2	220	300	133	5,38	Céréales
18	0, 33, 11	35, 47, 45	10,63	256	396	188	7,56	Céréales
19	0, 33, 11	35, 47, 44	12,25	297	330	234	9,39	Céréales
20	0, 33, 11	35, 47, 43	9,71	233	280	202	8,12	Céréales
21	0, 33, 10	35, 47, 41	12,89	313	180	145	5,86	Céréales
22	0, 33, 10	35, 47, 42	5,54	128	260	170	6,85	Céréales
23	0, 33, 10	35, 47, 43	6,1	142	275	182	7,33	Céréales
25	0, 33, 10	35, 47, 44	6,18	144	272	183	7,37	Céréales
26	0, 33, 10	35, 47, 45	6,89	162	270	173	6,97	Céréales
27	0, 33, 10	35, 47, 46	9,32	223	300	199	8,00	Céréales
28	0, 33, 10	35, 47, 47	9,99	240	279	198	7,96	Céréales
29	0, 33, 10	35, 47, 48	9,91	238	299	210	8,44	Céréales
30	0, 33, 10	35, 47, 49	11,26	272	258	171	6,89	Céréales
31	0, 33, 10	35, 47, 50	8,28	197	258	180	7,25	Céréales
32	0, 33, 10	35, 47, 51	7,85	186	288	195	7,84	Céréales
33	0, 33, 10	35, 47, 52	5,62	130	328	212	8,52	Céréales
34	0, 33, 10	35, 47, 53	13,56	330	369	206	8,28	Céréales
35	0, 33, 9	35, 47, 53	10,63	256	304	244	9,79	Céréales
36	0, 33, 9	35, 47, 52	7,05	166	232	213	8,56	
37	0, 33, 9	.5, 47, 51	9,87	237	360	252	10,10	
38	0, 33, 9	35, 47, 50	7,17	169	280	178	7,17	céréales
39	0, 33, 9	35, 47, 49	7,93	188	256	172	6,93	Céréales
40	0, 33, 9	35, 47, 48	6,74	158	280	185	7,44	Céréales
41	0, 33, 9	35, 47, 47	5,07	116	202	125	5,06	Céréales
42	0, 33, 9	35, 47, 46	4,75	108	218	143	5,78	Céréales

## Annexes

43	0, 33, 9	35, 47, 45	6,26	146	278	180	7,25	Céréales
44	0, 33, 9	35, 47, 44	6,5	152	271	175	7,05	Céréales
45	0, 33, 9	35, 47, 43	5,86	136	254	168	6,77	Céréales
46	0, 33, 9	35, 47, 42	6,1	142	230	135	5,46	Céréales
47	0, 33, 8	35, 47, 42	4,83	110	215	146	5,90	Céréales
48	0, 33, 8	35, 47, 43	4,12	92	215	133	5,38	Céréales
49	0, 33, 8	35, 47, 44	5,19	119	243	158	6,37	Céréales
50	0, 33, 8	35, 47, 45	5,54	128	260	170	6,85	Céréales
51	0, 33, 8	35, 47, 46	5,27	121	250	163	6,57	Céréales
52	0, 33, 8	35, 47, 47	5,86	136	210	135	5,46	Céréales
53	0, 33, 8	35, 47, 48	6,02	140	264	178	7,17	Céréales
54	0, 33, 8	35, 47, 49	5,86	136	291	200	8,04	Céréales
55	0, 33, 8	35, 47, 50	7,81	185	305	212	8,52	Céréales
56	0, 33, 8	35, 47, 51	6, 58	154	314	212	8,52	Céréales
57	0, 33, 8	35, 47, 52	8, 32	198	326	204	8,20	Céréales
58	0, 33, 8	35, 47, 53	9, 95	239	650	415	16,58	Céréales
59	0, 33, 7	35, 47, 53	10, 90	263	398	298	11,93	Olivier
60	0, 33, 7	35, 47, 52	8,13	193	332	225	9,03	Olivier
61	0, 33, 7	35, 47, 51	6,38	149	353	256	10,26	Olivier
62	0, 33, 7	35, 47, 50	8,13	193	333	216	8,68	Olivier
63	0, 33, 7	35, 47, 49	6,38	149	293	204	8,20	Céréales
64	0, 33, 7	35, 47, 48	6,58	154	260	164	6,61	Céréales
65	0, 33, 7	35, 47, 47	5,9	137	231	144	5,82	Céréales
66	0, 33, 7	35, 47, 46	5,23	120	234	162	6,53	Céréales
67	0, 33, 7	35, 47, 45	5,66	131	225	145	5,86	Céréales
68	0, 33, 7	35, 47, 44	5,7	132	214	146	5,90	Céréales
69	0, 33, 7	35, 47, 43	5,19	119	237	173	6,97	Céréales
70	0, 33, 7	35, 47, 42	5,86	136	203	144	5,82	Céréales
71	0, 33, 6	35, 47, 42	6,66	156	222	146	5,90	Céréales
72	0, 33, 6	35, 47, 43	6,1	142	247	146	5,90	Céréales
73	0, 33, 6	35, 47, 44	5,39	124	229	153	6,17	Céréales
74	0, 33, 6	35, 47, 45	6,18	144	325	265	10,62	Céréales
75	0, 33, 6	35, 47, 46	6,22	145	230	155	6,25	Olivier
76	0, 33, 6	35, 47, 47	4,91	112	248	160	6,45	Olivier
77	0, 33, 6	35, 47, 48	9,63	231	354	265	10,62	Olivier
78	0, 33, 6	35, 47, 49	9,55	229	342	232	9,31	Olivier
79	0, 33, 6	35, 47, 50	9,63	231	328	222	8,91	Olivier
80	0, 33, 6	35, 47, 51	10,07	242	412	300	12,01	olivier
81	0, 33, 6	35, 47, 52	9,2	220	421	297	11,89	Olivier

## Annexes

<b>82</b>	0, 33, 6	35, 47, 53	9,4	225	388	272	10,90	Olivier
<b>83</b>	0, 33, 5	35, 47, 53	9,63	231	395	286	11,45	Olivier
<b>84</b>	0, 33, 5	35, 47, 52	6,89	162	415	294	11,77	Olivier
<b>85</b>	0, 33, 5	35, 47, 51	10,35	249	439	327	13,08	Olivier
<b>86</b>	0, 33, 5	35, 47, 50	11,26	272	434	309	12,37	Olivier
<b>87</b>	0, 33, 5	35, 47, 49	11,94	289	417	290	11,61	Olivier
<b>88</b>	0, 33, 5	35, 47, 48	9,91	238	329	230	9,23	Olivier
<b>89</b>	0, 33, 5	35, 47, 47	8,44	201	297	194	7,80	Olivier
<b>90</b>	0, 33, 5	35, 47,46	6,89	162	301	205	8,24	Olivier
<b>91</b>	0, 33, 5	35, 47, 45	6,93	163	238	165	6,65	Olivier
<b>92</b>	0, 33, 5	35, 47, 44	6,34	148	235	167	6,73	Olivier
<b>93</b>	0, 33, 5	35, 47, 43	5,35	123	233	157	6,33	Olivier
<b>94</b>	0, 33, 5	35, 47, 42	5,11	117	246	158	6,37	Olivier
<b>95</b>	0, 33, 4	35, 47, 42	5,86	136	257	162	6,53	Olivier
<b>96</b>	0, 33, 4	35, 47, 43	5,54	128	277	191	7,68	Olivier
<b>97</b>	0, 33, 4	35, 47, 44	7,93	188	212	145	5,86	Olivier
<b>98</b>	0, 33, 4	35, 47, 45	6,78	159	247	171	6,89	Olivier
<b>99</b>	0, 33, 4	35, 47, 46	6,89	162	249	173	6,97	Olivier
<b>100</b>	0, 33, 4	35, 47, 47	7,93	188	256	180	7,25	Olivier
<b>101</b>	0, 33, 4	35, 47, 48	9,32	223	295	200	8,04	Olivier
<b>102</b>	0, 33, 4	35, 47, 49	9,40	225	332	233	9,35	Olivier
<b>103</b>	0, 33, 4	35, 47, 50	8,64	206	384	273	10,94	Olivier
<b>104</b>	0, 33, 4	35, 47, 51	9,99	240	436	318	12,72	Olivier
<b>105</b>	0, 33, 4	35, 47, 52	10,31	248	458	336	13,44	Olivier
<b>106</b>	0, 33, 4	35, 47, 53	6,93	163	417	320	12,80	Olivier
<b>107</b>	0, 33, 4	35, 47, 50	7,21	170	436	311	12,45	Céréales
<b>108</b>	0, 33, 4	35, 47, 49	7,25	171	343	248	9,95	Céréales
<b>109</b>	0, 33, 4	35, 47, 48	9,59	230	350	247	9,91	Olivier
<b>110</b>	0, 33, 4	35, 47, 47	6,26	146	296	205	8,24	Olivier
<b>111</b>	0, 33, 4	35, 47, 46	6,62	155	270	181	7,29	Olivier
<b>112</b>	0, 33, 4	35, 47, 45	8,84	211	255	168	6,77	Olivier
<b>113</b>	0, 33, 4	35, 47, 44	7,41	175	248	167	6,73	Olivier
<b>114</b>	0, 33, 4	35, 47, 43	6,58	154	225	152	6,13	Olivier
<b>115</b>	0, 33, 3	35, 47, 42	6,18	144	337	251	10,06	Olivier
<b>116</b>	0, 33, 2	35, 47, 42	6,22	145	234	160	6,45	Olivier
<b>117</b>	0, 33, 2	35, 47, 43	7,17	169	273	185	7,44	Olivier
<b>118</b>	0, 33, 2	35,47, 44	6,26	146	285	194	7,80	Olivier
<b>119</b>	0, 33, 2	35, 47, 45	6,54	153	320	235	9,43	Céréales
<b>120</b>	0, 33, 2	35, 47, 46	6,26	146	445	315	12,61	Céréales

## Annexes

<b>121</b>	0, 33, 2	35, 47, 47	6,66	156	437	325	13,00	Céréales
<b>122</b>	0, 33, 2	35, 47, 48	6,18	144	547	409	16,34	Céréales
<b>123</b>	0, 33, 1	35, 47, 43	6,7	157	369	256	10,26	Céréales
<b>124</b>	0, 33, 1	35, 47, 42	6,89	162	430	333	13,32	Céréales
<b>125</b>	0, 33, 11	35, 47, 43	11,02	266	470	330	13,20	Olivier
<b>126</b>	0, 33, 11	35, 47, 42	10,67	257	360	260	10,42	Olivier
<b>127</b>	0, 33, 11	35, 47, 41	11,82	286	282	223	8,95	Olivier
<b>128</b>	0, 33, 12	35, 47, 42	7,25	171	280	182	7,33	Olivier
<b>129</b>	0, 33, 12	35, 47, 43	6,74	158	275	185	7,44	Olivier
<b>130</b>	0, 33, 12	35, 47, 44	9,71	233	750	232	9,31	Olivier
<b>131</b>	0, 33, 12	35, 47, 45	12,25	297	490	330	13,20	Olivier
<b>132</b>	0, 33, 12	35, 47, 46	11,34	274	622	445	17,77	Olivier
<b>133</b>	0, 33, 12	35, 47, 47	13,25	322	493	355	14,19	Olivier
<b>135</b>	0, 33, 13	35, 47, 49	8,4	200	520	380	15,19	Olivier
<b>136</b>	0, 33, 13	35, 47, 48	10,27	247	460	324	12,96	Olivier
<b>137</b>	0, 33, 13	35, 47, 47	8,72	208	410	280	11,22	Olivier
<b>138</b>	0, 33, 13	35, 47, 46	8,72	208	350	225	9,03	Olivier
<b>139</b>	0, 33, 13	35, 47, 45	10,19	245	315	214	8,60	Olivier
<b>140</b>	0, 33, 13	35, 47, 44	7,21	170	300	190	7,64	Olivier
<b>141</b>	0, 33, 13	35, 47, 43	7,21	170	295	200	8,04	Olivier
<b>142</b>	0, 33, 13	35, 47, 41	8,36	199	280	184	7,40	Olivier
<b>143</b>	0, 33, 13	35, 47, 42	8,89	162	268	182	7,33	Olivier
<b>144</b>	0, 33, 14	35, 47, 41	6,93	163	300	202	8,12	Olivier
<b>145</b>	0, 33, 14	35, 47, 42	9,55	229	305	200	8,04	Olivier
<b>146</b>	0, 33, 14	35, 47, 43	11,06	267	372	252	10,10	Olivier
<b>147</b>	0, 33, 14	35, 47, 44	13,56	330	366	250	10,03	Olivier
<b>148</b>	0, 33, 14	35, 47, 45	10,55	254	385	260	10,42	Olivier
<b>149</b>	0, 33, 14	35, 47, 46	10,43	251	332	253	10,14	Olivier
<b>150</b>	0, 33, 14	35, 47, 47	10,03	241	355	236	9,47	Olivier
<b>151</b>	0, 33, 14	35, 47, 48	8,84	210	366	252	10,10	Olivier
<b>152</b>	0, 33, 14	35, 47, 49	8,09	192	372	260	10,42	Olivier
<b>153</b>	0, 33, 14	35, 47, 50	11,22	271	388	242	9,71	Olivier
<b>154</b>	0, 33, 14	35, 47, 51	11,06	267	435	305	12,21	Olivier
<b>155</b>	0, 33, 14	35, 47, 52	6,50	152	490	367	14,67	Olivier
<b>156</b>	0, 33, 14	35, 47, 53	13,25	322	642	505	20,15	Olivier
<b>157</b>	0, 33, 15	35, 47, 53	12,97	315	762	608	24,24	Olivier
<b>158</b>	0, 33, 15	35, 47, 52	8,4	200	444	324	12,96	Olivier
<b>159</b>	0, 33, 15	35, 47, 51	8,32	198	453	350	14,00	Olivier
<b>160</b>	0, 33, 15	35, 47, 50	10,03	241	409	294	11,77	Olivier

## Annexes

<b>161</b>	0, 33, 15	35, 47, 49	12,37	300	432	293	11,73	Olivier
<b>162</b>	0, 33, 15	35, 47, 48	12,85	312	429	308	12,33	Olivier
<b>163</b>	0, 33, 15	35, 47, 47	12,21	296	433	317	12,68	Olivier
<b>164</b>	0, 33, 15	35, 47, 46	10,51	253	438	311	12,45	Olivier
<b>165</b>	0, 33, 15	35, 47, 45	13,13	319	426	307	12,29	olivier
<b>166</b>	0, 33, 15	35, 47, 44	12,65	307	394	284	11,37	Olivier
<b>167</b>	0, 33, 15	35, 47, 43	8,09	192	328	219	8,79	Olivier
<b>168</b>	0, 33, 15	35, 47,42	8,01	190	286	194	7,80	Olivier
<b>169</b>	0, 33, 15	35, 47, 41	8,56	204	313	238	9,55	Olivier
<b>170</b>	0, 33, 16	35, 47, 41	10,27	247	370	303	12,13	Olivier
<b>171</b>	0, 33, 16	35, 47, 42	8,88	212	328	230	9,23	Olivier
<b>172</b>	0, 33, 16	35, 47, 43	8,96	214	327	230	9,23	Olivier
<b>173</b>	0, 33, 16	35, 47, 44	9,83	236	365	269	10,78	Olivier
<b>174</b>	0, 33, 16	35, 47, 45	11,82	286	401	280	11,22	Olivier
<b>175</b>	0, 33, 16	35, 47, 46	11,7	283	454	328	13,12	Olivier
<b>176</b>	0, 33, 16	35, 47, 47	15,59	381	506	356	14,23	Olivier
<b>177</b>	0, 33, 16	35, 47, 48	16,26	398	490	364	14,55	Olivier
<b>178</b>	0, 33, 16	35, 47, 49	15,47	378	487	350	14,00	Olivier
<b>179</b>	0, 33, 16	35, 47, 50	12,53	304	505	364	14,55	Olivier
<b>180</b>	0, 33, 16	35, 47, 51	13, 21	321	495	355	14,19	Olivier
<b>181</b>	0, 33, 16	35, 47, 52	10,63	256	536	425	16,97	Olivier
<b>182</b>	0, 33, 16	35, 47, 53	12,25	297	603	499	19,91	Olivier
<b>183</b>	0, 33, 17	35, 47, 53	17,1	419	653	536	21,38	Olivier
<b>184</b>	0, 33, 17	35, 47, 52	15,07	368	582	449	17,93	Olivier
<b>185</b>	0, 33, 17	35, 47, 51	14,2	346	574	444	17,73	Olivier
<b>186</b>	0, 33, 17	35, 47, 50	13,41	326	505	417	16,65	Olivier
<b>187</b>	0, 33, 17	35, 47, 49	17,73	435	640	468	18,68	Olivier
<b>188</b>	0, 33, 17	35, 47, 48	15,27	373	540	378	15,11	Olivier
<b>189</b>	0, 33, 17	35, 47, 47	14,87	363	525	373	14,91	Olivier
<b>190</b>	0, 33, 17	35, 47, 46	16,07	393	546	398	15,90	Olivier
<b>191</b>	0, 33, 17	35, 47, 45	13,92	339	480	341	13,64	Olivier
<b>192</b>	0, 33, 17	35, 47, 44	12,13	294	426	315	12,61	Olivier
<b>193</b>	0, 33, 17	35, 47, 43	10,47	252	400	300	12,01	Olivier
<b>194</b>	0, 33, 17	35, 47, 42	13,21	321	487	357	14,27	Olivier
<b>198</b>	0, 33, 18	35, 47, 42	24,28	600	627	435	17,37	TN
<b>198 BIS</b>	0, 33, 18	35, 47, 43	14,79	361	433	392	15,66	TN
<b>199</b>	0, 33, 18	35, 47, 44	9,4	225	470	326	13,04	TN
<b>200</b>	0, 33, 18	35, 47, 45	18,13	445	540	409	16,34	TN

## Annexes

201	0, 33, 18	35, 47, 46	19,60	482	600	435	17,37	TN
202	0, 33, 18	35, 47, 47	16,54	405	592	430	17,17	TN
203	0, 33, 18	35, 47, 48	17,61	432	626	455	18,16	TN
204	0, 33, 18	35, 47, 49	15,59	381	680	537	21,42	TN
205	0, 33, 18	35, 47, 50	20,87	514	684	548	21,86	TN
206	0, 33, 18	35, 47, 51	18,17	446	634	489	19,51	TN
207	0, 33, 18	35, 47, 52	17,69	434	685	504	20,11	TN
208	0, 33, 18	35, 47, 53	15,75	385	670	507	20,23	TN
209	0, 33, 18	35, 47, 53	24,16	597	730	642	25,59	TN
210	0, 33, 19	35, 47, 52	23,93	591	740	630	25,11	TN
211	0, 33, 19	35, 47, 51	22,3	550	652	514	20,51	TN
212	0, 33, 19	35, 47, 50	22,73	561	680	535	21,34	TN
213	0, 33, 19	35, 47, 49	19,44	478	718	568	22,65	TN
214	0, 33, 19	35, 47, 48	19,52	480	719	560	22,33	TN
215	0, 33, 19	35, 47, 47	20,87	514	675	495	19,75	TN
216	0, 33, 19	35, 47, 46	22,14	546	636	485	19,35	TN
217	0, 33, 19	35, 47, 45	20,19	497	736	562	22,41	TN
218	0, 33, 19	35, 47, 44	16,5	404	700	552	22,01	TN
219	0, 33, 19	35, 47, 43	18,8	462	570	452	18,04	TN
220	0, 33, 19	35, 47, 42	22,7	560	575	440	17,57	TN
223	0, 33, 20	35, 47, 42	28,21	699	605	544	21,70	TN
224	0, 33, 20	35, 47, 43	20,75	511	579	433	17,29	TN
225	0, 33, 20	35, 47, 44	20,19	497	603	428	17,09	TN
226	0, 33, 20	35, 47, 45	24,48	605	590	434	17,33	TN
227	0, 33, 20	35, 47, 46	25,47	630	554	494	19,71	TN
228	0, 33, 20	35, 47, 47	22,54	556	692	514	20,51	TN
229	0, 33, 20	35, 47, 48	20,39	502	600	525	20,94	TN
230	0, 33, 20	35, 47, 49	23,13	571	610	528	21,06	TN
231	0, 33, 21	35, 47, 44	21,46	529	405	338	13,52	TN
232	0, 33, 21	35, 47, 43	25,16	622	458	301	12,05	TN
233	0, 33, 21	35, 47, 42	22,46	554	490	389	15,54	TN

X : indique la localisation géographique en latitude (en m).

Y : indique la localisation géographique en longitude (en m).

### Annexe 2.

#### Instructions d'utilisation de l'appareil EM-38

Certaines procédures sont nécessaires pour une bonne utilisation de l'appareil:

## Annexes

**a) Examen de la batterie :** Le contrôle de la batterie est effectué chaque fois qu'on suspecte une baisse du voltage (sur n'importe quel calibre).

**b) Ajustement du déphasage (Initial Inphase Nulling) :** Cette opération est effectuée au début de la journée à la première station à prospector. Il est conseillé d'éloigner tout objet métallique (montre, pièces de monnaies etc..). La sensibilité aux objets métalliques est plus grande près des bobines qu'aux autres endroits de l'appareil.

**Procédure:**

- mettre le bouton de sélection de calibre sur 1000 mS/m ;
- lever l'appareil à 1.5 m en position horizontale ;
- ajuster à zéro en mode I/P par le réglage grossier ;
- répéter l'opération pour les calibres 300, 100 et 30 mS/m ;
- réajuster le contrôle du zéro, autant de fois qu'il faut par le contrôle fin, pour ces échelles successivement plus sensibles.

**c) Le zéro de l'appareil (Zero Instrument) : I**

Cet ajustement est réalisé au début de chaque journée, à la première station à prospector. Il peut être vérifié plusieurs fois au cours de la journée, surtout quand les mesures sont effectuées sur un sol de faible conductivité. L'ajustement est effectué pour avoir le zéro exact de l'appareil.

**Procédure :**

- élever l'appareil à 1.5 m en mode horizontal, en position **Q/P**,
- mettre le bouton de sélection du calibre sur 30 mS/m,
- ajuster le bouton **Q/P** Zero jusqu'à obtention d'une lecture
- faire une lecture en mode vertical: CEV
- **Si**  $CEV = 2 * CEH$  le réglage est correct,
- calculer  $C = CEV - 2 * CEH$
- ajouter à CEH la valeur algébrique de C par le bouton **Q/P**.  
(Soit: Si  $C > 0$  on augmente CEH, si  $C < 0$ , on diminue CEH).
- vérifier de nouveau que  $CEV = 2 * CEH$  et recommencer si besoin.

**Tableau 1.** Maillage recommandé pour la prospection de la salinité par l'EM38

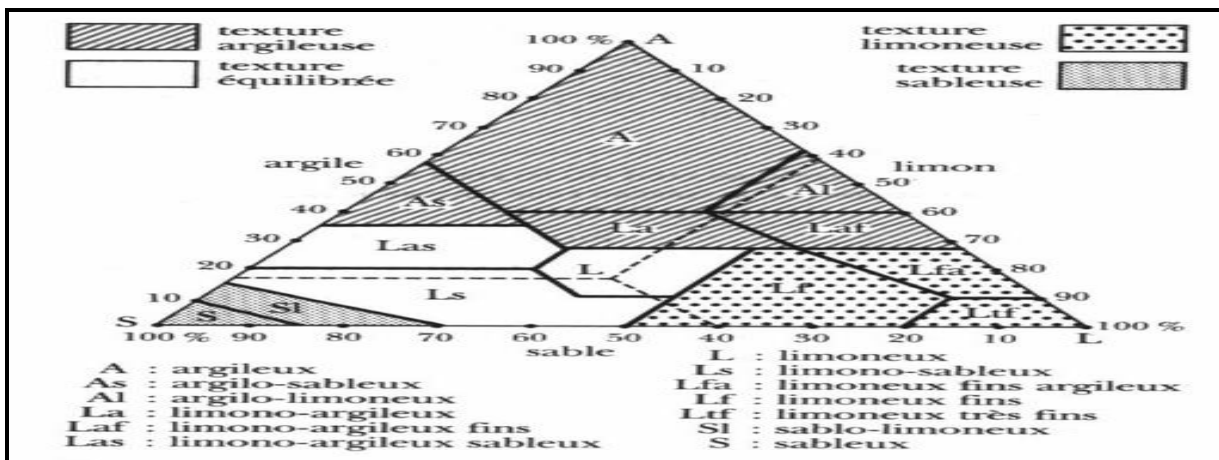
**Source :** (JOB J. O., et al, 1990)

Parcelles cultivées (Ha)	Maillage
à 100 m <sup>2</sup>	1x1m minimum ou 2x2 mètres
100 à 10000 m <sup>2</sup>	5x5 ou 10x10

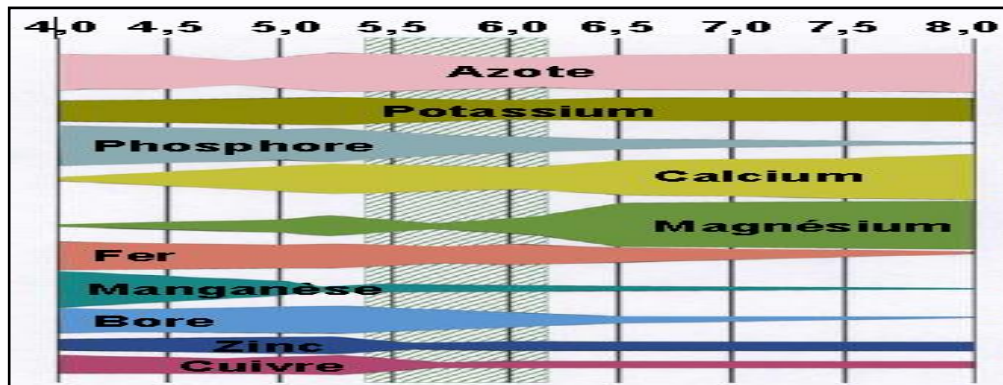
## Annexes

1 à 10 ha	10x10 ou 20x20
5 à 20 ha	25x25 ou 50x50
20 à 100 ha	100x100

### 2. Les figures



**Figure 1** .Triangle de texture d'après U.S. département of agriculture.



**Figure 2.** Disponibilité des éléments minéraux selon le pH de la solution du sol.

## Annexes

---