

# UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et  
Sciences de la Terre et de l'Univers

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

## MASTER ACADEMIQUE

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences agronomiques

**Spécialité :** protection de la ressource sol-eau et environnement

Présenté par : M<sup>elle</sup> ATTAB Om El Kheir

&

M<sup>elle</sup> BOUKHELKHAL Nacira

### Thème

**Cartographie de la salinité par deux méthodes  
différentes en milieu oasien. Cas de l'exploitation  
phoenicicole de l'université de Ouargla**

Soutenu publiquement

Le : 16 / 06 /2013

Devant le Jury :

<b>M. DADDI BOUHOUN Mustapha</b>	<b>MC (A)</b>	<b>Président</b>	<b>UKMOuargla</b>
<b>M.BERKAL Ismaïel</b>	<b>MA (A)</b>	<b>Encadreur</b>	<b>UKMOuargla</b>
<b>M.IDDER Med Abdelhak</b>	<b>MA (A)</b>	<b>Co-Encadreur</b>	<b>UKMOuargla</b>
<b>M.DJILI Brahim</b>	<b>MA (A)</b>	<b>Examineur</b>	<b>UKMOuargla</b>

**Année universitaire : 2012/2013**

# Remerciement

*Louange à DIEU tout puissant pour tout ce qu'il m'a donné afin que nous puissions terminer ce travail.*

*Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement Mr BERKAL Ismaïel qui nous a permis de bénéficier de son encadrement.*

*Les conseils qu'il nous a prodigués, la patience, la confiance qu'il nous a témoignés ont été déterminants dans la réalisation de notre travail de recherche.*

*Nous remercions également notre Co- promoteur Mr IDDER Med Abdelhak, pour ses conseils surtout au laboratoire.*

*Nous remercions également :*

*Toutes les équipes de bibliothèque de faculté des sciences de la nature et la et des sciences de la terre et l'univers.*

*Les techniciens de laboratoire pédagogique(I.T.A.S).*

*Les agents de l'exploitation de l'Université Kasdi Merbah Ouargla.*

*Nos remerciements à tous nos collègues de 1<sup>ère</sup> promotion de Master protection de la ressource de sol et l'environnement promotion : 2012/2013 surtout la Melle BABAHAMMOU Asma.*

*Nous tenons à ne remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.*

*Merci* 



*Ama mère en témoignage de ses sacrifices et ses soutiens*

*Amon père pour tous ses soutiens*

*Ames sœurs et mes frères*

*Ames deux grandes familles BOUKHELKHAL et CHABIA*

*Ames amis et mes collègues*

*Je dédié ce modeste travail.*

***Nacira***

*Ama mère en témoignage de ses sacrifices et ses soutiens*

*Amon père pour tous ses soutiens*

*Ames sœurs et mon frère*

*Ames deux grandes familles ATTAB et ABIMOULOUD*

*Ames amis et mes collègues*

*Je dédié ce modeste travail.*

***Om Elkheir***



## Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Table de matière	
Liste des tableaux	
Listes des figures	
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>chapitre I: synthèse bibliographiques Sur les différentes méthodes de mesure la salinité de sol</b>	
<b>Introduction</b> .....	3
<b>1. Analyse au laboratoire</b> .....	3
<b>2. Mesure sur terrain (in situ)</b> .....	3
<b>2.1. La méthode électrique</b> .....	4
2.1.1. <i>La résistivité électrique apparente</i> .....	-4
2.1.2. <i>Les principaux dispositifs</i> .....	5
<b>2.2. La méthode électromagnétique</b> .....	7
2.2.1. <i>La conductimètre électromagnétique (le Géonic EM38 Ltd)</i> .....	8
<b>2.3. La réflectométrie en domaine temporel TDR</b> .....	10
<b>3. Spatialisation des données</b> .....	10
<b>3.1. Variogramme</b> .....	11
3.1.1. <i>Estimation du variogramme</i> .....	11
3.1.2. <i>Propriétés de variogramme</i> .....	11
3.1.3. <i>L'Effet de pépite</i> .....	12
3.1.4. <i>Modélisation du variogramme</i> .....	12
<b>3.2. Krigeage</b> .....	13
<b>Chapitre II: Présentation de la région d'étude</b>	
<b>1. Situation géographique</b> .....	15
<b>2. Milieu physique</b> .....	15
<b>2.1. Pédologie de la région</b> .....	15
<b>2.2. Topographie de la région</b> .....	16
<b>2.3. Géomorphologie de la région</b> .....	17

2.3.1. Hamada du Miopliocène.....	17
2.3.2. Glacis.....	17
2.3.3. Sebkhass et chotts.....	17
2.3.4. Dunes.....	17
<b>2.4. Géologie de la région.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5. Hydrogéologie de la région.....</b>	<b>18</b>
2.5.1. Nappe phréatique.....	18
2.5.2. Nappe du complexe terminal (CT).....	18
2.5.3. Nappe du Miopliocène.....	19
2.5.4. Nappe du sénonien.....	19
2.5.5. Nappe albienne (Continental Intercalaire).....	19
<b>3. Climatologie de la région.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Températures.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2. Les précipitations.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3. L'humidité relative.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4. Evaporation.....</b>	<b>20</b>
<b>3.5. Les vents.....</b>	<b>20</b>
<b>3.6. Synthèse climatique.....</b>	<b>21</b>
3.6.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN.....	21
3.6.2. Climagramme d'EMBERGER.....	21

## Chapitre III: Matériels et Méthodes

<b>1. Présentation du site expérimental.....</b>	<b>23</b>
<b>2. Choix du site expérimental.....</b>	<b>23</b>
<b>3. Mesure de la conductivité électromagnétique.....</b>	<b>24</b>
<b>4. Echantillonnage.....</b>	<b>25</b>
<b>5. méthodes d'analyse.....</b>	<b>26</b>
5.1. Analyses physiques.....	26
5.1.1. Humidité.....	26
5.2. Analyses chimiques.....	26
5.2.1. Conductivité électrique CE.....	26
<b>6. La mesure de la résistivité électrique.....</b>	<b>27</b>
<b>7. Traitements des données.....</b>	<b>28</b>

## Chapitre IV: Résultats et discussions

<b>Introduction.....</b>	<b>29</b>
--------------------------	-----------

<b>1. Les statiques descriptives des données des mesures EM38, de la résistivité et des prélèvements</b> .....	29
<b>1.1. Statistiques descriptives des échantillons prélevés</b> .....	29
1.1.1. <i>L'humidité</i> .....	29
1.1.2. <i>La conductivité électrique (<math>CE_{1:5}</math>)</i> .....	30
<b>1.2. Statistique descriptives des mesures de conductivité électrique apparente (ECa) et la résistivité électrique apparente (Ra)</b> .....	31
1.2.1. <i>Statistiques descriptives des deux parcelles A2 et D1</i> .....	31
1.2.2. <i>Statistiques descriptives de la parcelle A2</i> .....	32
1.2.3. <i>Statistiques descriptives de parcelle D1</i> .....	33
<b>1.3. Statistiques descriptives de mesure conductivité électrique apparente des points de prélèvements</b> .....	33
1.3.1. <i>Statistiques descriptives pour l'ensemble des données (parcelle A2 et D1)</i> .....	33
1.3.2. <i>Statistiques descriptives des prélèvements de la parcelle A2</i> .....	34
1.3.3. <i>Statistiques descriptives des prélèvements de la parcelle D1</i> .....	34
<b>Conclusion</b> .....	35
<b>2. Etalonnage des mesures électromagnétiques</b> .....	35
<b>2.1. La relation entre la conductivité électrique apparente Verticale (CEaV) et la conductivité électrique 1/5 (<math>CE_{1:5}</math>)</b> .....	36
<b>2.2. La relation entre la Conductivité électrique apparente (CEaH) et la conductivité électrique 1/5 (<math>CE_{1:5}</math>)</b> .....	37
<b>2.3. La relation entre la résistivité électrique apparente (Ra) des 30 premiers centimètres et la conductivité électrique 1/5 (<math>CE_{1:5}</math>)</b> .....	38
<b>2.4. La relation entre la Résistivité électrique apparente (Ra), la Conductivité électrique apparente Verticale (CEaV-30) et la Conductivité électrique 1/5 (<math>CE_{1:5}</math>)</b>	39
<b>2.5. La relation entre la conductivité électrique apparente verticale (CEaV) et la conductivité électrique apparente horizontale (CEaH)</b> .....	40
<b>Conclusion</b> .....	40
<b>3. Evolution temporelle de la salinité de sol</b> .....	41
<b>3.1. Evolution de la conductivité électrique apparente(CEa) entre novembre 2010 et mars 2013</b> .....	41
<b>3.2. Evolution de la conductivité électrique apparente dans chaque parcelle entre novembre 2010 et mars 2013</b> .....	42
<b>Conclusion générale</b> .....	43
<b>Références Bibliographiques</b> .....	45
<b>Annexes</b>	

## Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>TITRES</b>	<b>PAGE</b>
<b>Tableau 01</b>	Résultats statistique de l'humidité	29
<b>Tableau 02</b>	Résultats statistique de la conductivité électrique	30
<b>Tableau 03</b>	Statistiques des résultats des CEa et de la Ra des deux parcelles A2 et D1	31
<b>Tableau 04</b>	Statistiques des résultats des CEa et de la Ra de la parcelle A2	32
<b>Tableau 05</b>	Résultats des Statistiques descriptives de la conductivité électrique apparente (CEa) et de la résistivité électrique apparente (Ra) de la parcelle D1	33
<b>Tableau 06</b>	Statistiques descriptives des résultats de l'échantillonnage pour les deux parcelles A2 et D1	33
<b>Tableau 07</b>	Statistiques descriptives des résultats de l'échantillonnage pour la parcelle A2	34
<b>Tableau 08</b>	Statistiques descriptives des résultats de l'échantillonnage de parcelle D1	34
<b>Tableau 09</b>	Matrice de corrélations entre les différentes mesures de terrain et de laboratoire	35

## LISTE DES FIGURES

<i>Figure</i>	<i>TITRES</i>	<i>PAGES</i>
<b><i>Chapitre I : Synthèse bibliographiques</i></b>		
<b>Figure 01</b>	Dispositif Wenner	<b>06</b>
<b>Figure 02</b>	Principaux diapositifs de mesures de la résistivité électrique.	<b>07</b>
<b>Figure 03</b>	Appareillage (EM-38) utilisé pour les mesures électromagnétiques	<b>08</b>
<b>Figure 04</b>	Principe de la mesure conductivité électromagnétique	<b>09</b>
<b>Figure 05</b>	Exemple de variogramme a palier	<b>12</b>
<b>Figure 06</b>	Représentation des différents modèles de variogrammes	<b>13</b>
<b><i>Chapitre II : Présentation de région d'étude</i></b>		
<b>Figure 01</b>	Localisation géographique de la wilaya d'Ouargla	<b>16</b>
<b>Figure 02</b>	Diagramme Ombrothémique de Ouargla (2002-2012)	<b>21</b>
<b>Figure 03</b>	Climagramme d'EMBERGER de la région d'Ouargla	<b>22</b>
<b><i>Chapitre III : Matériels et Méthodes</i></b>		
<b>Figure 01</b>	Position de l'EM38 : (a) horizontale soulevé de 60cm de la surface du sol ; (b) verticale soulevé de 120cm de la surface du sol	<b>24</b>
<b>Figure 02</b>	Schéma de la prospection électromagnétique	<b>25</b>
<b>Figure 03</b>	Schéma des prélèvements des échantillons qui caractérisent la variabilité spatiale la salinité à courte distance	<b>26</b>
<b>Figure 04</b>	Résistivimètre électrique selon le dispositif Wenner	<b>27</b>
<b>Figure 05</b>	Localisation des points des mesures électromagnétiques, de la résistivité électrique et de prélèvements d'échantillons	<b>28</b>
<b><i>Chapitre IV : Résultats et Discussions</i></b>		
<b>Figure 01</b>	Profil hydrique moyen intervalle de confiance des échantillons prélevés	<b>30</b>
<b>Figure 02</b>	Profil salin moyen et intervalle de confiance des échantillons prélevés	<b>31</b>
<b>Figure 03</b>	Relation entre la CEaV-30 et la CE30	<b>36</b>
<b>Figure 04</b>	Relation entre la CEaH et la CE30	<b>37</b>
<b>Figure 05</b>	Relation entre la Ra et la CE30	<b>38</b>
<b>Figure 06</b>	Relation entre Ra, la CEaV-30 et la CE30	<b>39</b>
<b>Figure 07</b>	Relation entre la CEaV et la CEaH	<b>40</b>
<b>Figure 08</b>	Moyennes et intervalle de confiance des CEa entre novembre 2010 et mars 2013	<b>41</b>



# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

Le plus grand problème dans les années à venir va venir du réchauffement climatique et de l'augmentation de la population mondiale. L'irrigation va devenir de plus en plus indispensable, notamment dans les régions arides, pour combler les déficits en eau et pour utiliser un maximum les terres arables et subvenir aux besoins d'une population croissante, et d'autre part car les phénomènes d'évaporation inhérents à l'augmentation de la température va accentuer le phénomène de concentration des sels dans les sols (phénomène de la salinisation) (UNESCO, 2002 ; KHACHEBA, 2011).

La salinité est la présence des sels solubles dans les eaux ou dans les sols. Selon la richesse en sels et la composition ionique de la solution, plusieurs conséquences plus ou moins néfastes sur la fertilité des sols, l'évolution des paysages ou des aménagements, se manifestent (BRAUDEAU et HACHICHA, 1998).

En Algérie, on évalue aujourd'hui à 1,5 million d'hectares la superficie des sols salés dont 49 milles se situent dans le sud du pays (MADR, 2004 in ABDELHAFID, 2010). En Algérie, environ 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité. Ce problème a été observé dans plusieurs régions. Dans l'est algérien, plusieurs périmètres irrigués sont soumis à de graves problèmes de salinisation et de la remontée de la nappe qui se traduisent par une dégradation des sols et une baisse de productivité (ABDELHAFID, 2010).

La salinisation des sols est un phénomène assez fréquent dans la région de Ouargla qui est caractérisée par une faible pluviométrie (40-50mm par an) (ONM, 2011 in EL FERGOUGUI et BOUTOUTAOU, 2012 ), une nappe phréatique peu profonde (0-1,5m) et très salée (EL FERGOUGUI et BOUTOUTAOU, 2012).

Les méthodes conventionnelles de mesure de salinité sur de petits échantillons peuvent difficilement rendre compte d'un tel phénomène. Aujourd'hui des nouvelles méthodes sont employées pour caractériser la salinité du sol. Elles permettent de réaliser des mesures rapides et non destructives à différentes profondeurs de sol. En effet, des méthodes géophysiques adaptées à la cartographie de la conductivité électrique offrent des perspectives intéressantes et peuvent être employées pour la connaissance de variabilité spatiale du sol à courte distance (IDDIR, 2006).

Les méthodes électromagnétiques et les méthodes électriques qui font partie des mesures géophysiques permettent de mesurer avec une bonne précision le niveau de salinité des différents horizons de sol.

L'objectif principal de ce travail est la comparaison entre la précision de deux méthodes de cartographie de la salinité en milieu oasien. La première méthode se base sur l'induction électromagnétique on utilisant le conductivimètre EM38 de Géonic Ltd, qui considéré comme le conductivimètre électromagnétique le plus utile et le plus rapide pour l'indentification et la cartographie des sols salés (JOB et al.,1990). La deuxième méthode mesure la résistivité électrique ( $\Omega.m$ ) dont le principe est l'injection d'un courant électrique dans le sol à travers deux électrodes émettrices et deux électrodes réceptrices suivant le dispositif Wenner.

Le travail été réalisé sur deux parcelles de sol sableux, salé au niveau de l'exploitation phoenicicole de l'université de Ouargla.

Le présent document est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre est réservé essentiellement à l'étude bibliographique sur les différentes méthodes de mesure de la salinité des sols.

Dans le deuxième chapitre on présentera la région d'étude. L'approche méthodologique fera l'objet du troisième chapitre, qui consiste en une description détaillée de la méthodologie adoptée pour la réalisation de notre travail ainsi que la description du matériel utilisé pour sa réalisation.

Les résultats obtenus et leurs discussions constituent l'essentiel de ce mémoire et sont présentés dans le dernier chapitre.

Enfin, nous terminons ce travail avec une conclusion générale dans laquelle nous regrouperons l'essentiel des résultats et les recommandations.

CHAPITRE I

*Synthèse bibliographique  
Sur les différentes  
méthodes de mesure la  
salinité de sol*

## **Introduction**

La salinisation de la terre est problème majeur à l'échelle du globe. Elle affecte 400 millions d'hectares et en menace gravement une surface équivalente (ROUDART, 2006).

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de le devenir. Les sols salins sont très répandus aux bords de certains chotts et sebkha dans les régions sahariennes. La remontée de la nappe phréatique salée et l'irrigation par des eaux salées constituent la cause principale de la salinité dans ces régions (BOUTELLI, 2012). On peut mesurer la salinité à partir de la mesure de la conductivité électrique. Cette dernière se mesure directement par différentes méthodes : dans laboratoire, ou indirectement à partir de formules empiriques liant celle-ci à des mesures de natures différentes sur le terrain (RHOADES et al., 1999).

### **1. Analyse au laboratoire**

La mesure de la conductivité électrique (CE) se fait le plus souvent sur des extraits dilués selon un rapport sol/eau: 1/1 ; 1/2,5; 1/5; 1/10, ou bien à partir de l'extrait de la pâte saturée. Cette méthode de l'extrait saturé, outre le fait qu'elle est la méthode internationale de référence, présente de nombreux avantages, dont celui de représenter le mieux la solution du sol et donc de se rapprocher de plus près de la réalité agronomique ; l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention la plus efficace pour la plante (LE BRUSQ et LOYER, 1982 ; RHOADES et al., 1999).

### **2. Mesure sur terrain (in situ)**

Il existe trois types de méthodes pour mesurer la conductivité électrique apparente d'un sol qui sont les méthodes basées sur la mesure de la résistivité électrique, de l'induction électromagnétique, et de la réflectométrie en domaine temporel (TDR) : Time Domain Reflectometry ( RHOADES et al., 1999).

## 2.1. La méthode électrique

La méthode électrique de sol est une technique géophysique non destructive qui est réalisée à partir d'électrodes plantées dans le sol. C'est une mesure intégrante qui est représentatif à certain volume sur terrain (GOULET et BARBEAU, 2004).

Les méthodes de résistivité électrique consistent en l'injection d'un courant électrique entre deux électrodes disposées à la surface du sol et à la mesure du potentiel électrique par un second jeu d'électrodes disposées au voisinage des électrodes d'injection. Ces méthodes ont été développées dans les années 1920 simultanément en France et aux Etats-Unis sous les impulsions respectives de Conrad Schlumberger et Frank (SCHNEIDER, 2010).

La mesure électrique est effectuée avec une résistivimètre électrique. Elle est l'inverse de la conductivité électrique et s'exprime en  $\Omega.m$  (BOTTRAUD et al., 2010). Les méthodes de résistivité sont fondées sur la mesure des champs électriques et calculer par la suite les caractéristiques du milieu, qu'on appelle "résistivité apparente".

### 2.1.1. La résistivité électrique apparente

La résistivité électrique apparente est la valeur de résistivité obtenue sur le terrain. Elle résulte de la contribution volumique de toutes parcelles du milieu traversé par le courant émis en fonction de la distance à la source. Si le sol est homogène la résistivité apparente est égale à la résistivité intrinsèque (CHOUTEAU et GALOAGUEN, 2003).

Selon EL OUMRI et VIEILLEFON (1983), la résistivité apparente ( $R_a$ ) est exprimée par la formule suivante :

$$R = 2 \cdot \pi \cdot R_a \cdot a \quad \text{(I)}$$

$R_a$  = Résistivité apparente en  $\Omega.m$ .

$R$  = Résistance en  $\Omega$ .

$a = AB/3$  en m

$$\text{Posons : } K = 2\pi a \text{ (facteur géométrique), elle devient } R_a = KR \quad \text{(II)}$$

A partir de la mesure de la résistance (R), il est commode d'exprimer la résistivité apparente ( $R_a$ ) en terme de conductivité électrique globale (CEG) par relation suivante :

$$CEG=10/KR \quad (III)$$

CEG=conductivité électrique globale en mmhos

### 2.1.2. Les principaux dispositifs

Les mesures de la résistivité électrique d'un sol traduisent son état à un moment donné (GOULET et BARBEAU, 2004). Elle s'effectue en injectant un courant électrique dans celui-ci au moyen d'électrodes d'injection. Le nombre d'électrodes, ainsi que leur agencement définit le dispositif électrique utilisé.

La configuration du dispositif est choisie selon la problématique de l'étude.

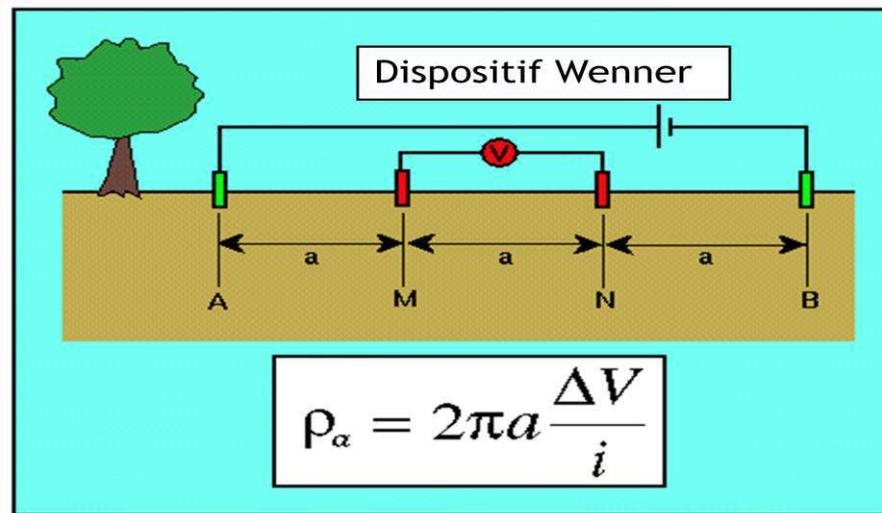
#### 2.1.2.1. Le dispositif Wenner

Recommandé pour les structures horizontales. La profondeur d'investigation est plus faible que celle du Dipôle-Dipôle et de Schlumberger. Le nombre de points à l'acquisition est aussi inférieur à celui du Dipôle-Dipôle de Schlumberger. Dans le dispositif Wenner, l'écartement inter-électrode ( $a$ ) est constant. On déplace alors tout le dispositif d'un point de mesure à l'autre (Fig. 1).

C'est le dispositif le plus simple, les quatre électrodes sont disposées dans l'ordre A M N B et séparées entre elles par une distance égale ( $a$ ). Le courant injecté pénètre dans le sol par l'électrode A et en sort par l'électrode B (Fig. 1). La répartition des lignes et des courants se fait alors en volume, on peut donc répéter à la fois les variations latérales de la résistivité et les variations en profondeur.

Pour mesurer la résistivité apparente avec le quadripôle horizontal, on injecte un courant électrique d'intensité « I » à l'aide de deux électrodes extérieures (A, B) symétriques par rapport au centre du dispositif (O), et on mesure la différence de potentiel (V) entre les deux électrodes intérieures (M, N), également symétriques par rapport au centre (O) de telle façon que  $AB = 3MN$  (EL OUMRI et VIEILLEFON, 1983).

Il suffira d'augmenter la valeur de « a » pour que le sondage descende à une plus grande profondeur( BOÛARD ,1965).



**Figure 1.** Dispositif Wenner (CHOUTEAU et GLOAGUEN, 2003).

#### 2.1.2. 2. Le dispositif Schlumberger

Recommandé à la fois pour les structures horizontales et verticales. La profondeur d'investigation est d'environ 10 % plus élevée qu'avec le Wenner, et le nombre de points à l'acquisition est plus grand que pour le Wenner mais inférieur à celui du Dipôle-Dipôle.

Dans le dispositif Schlumberger, les électrodes de mesure sont immobiles au centre du dispositif et on fait varier l'écart entre les électrodes d'injection (GUY, 2005) (Fig.2).

#### 2.1.2. 3. Le dispositif Dipôle-Dipôle

Recommandé surtout pour les structures verticales avec une plus grande profondeur d'investigation que le Wenner et le Schlumberger. Le nombre de points à l'acquisition est plus grand que pour le Wenner et le Schlumberger. Il nécessite des appareils sensibles et un bon couplage des électrodes avec le sol peut être utilisé pour de la 3D.

#### 2.1.2. 4. Le dispositif Pôle-Pôle

Les électrodes B et N sont placées à « l'infini » (en théorie), on ne s'occupe que de A et M. Ce dispositif est théoriquement simple puisque le potentiel mesuré en M est dû à

« A » seul. Dans la pratique cependant ce dispositif est encombrant à cause de la longueur des câbles nécessaires pour rendre négligeable l'effet des électrodes placées à « l'infini » (en réalité très loin du site de mesure, car on a toujours besoin de quatre électrodes pour fermer le circuit) (MARESCOT, 2006).

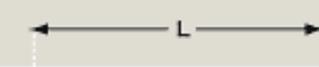
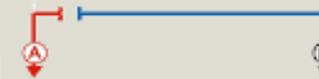
Dispositifs		Prof. d'investigation	
		Roy (1971)	Barker (1989)
Wenner		0.11L	0.17L
Schlumberger		0.125L	0.19L
Dipôle-Dipôle		0.195L	0.25L
Pôle-Pôle		0.35L	

Figure 2. Principaux dispositifs de mesures de la résistivité électrique.

## 2.2. La méthode électromagnétique

La méthode d'induction électromagnétique peut renseigner sur la structure interne de la terre et aussi, sur la présence d'eau dans les premiers décimètres du sol. Une bobine localisée à une extrémité de l'appareil EM crée un courant induit dans le sol, dont l'intensité est proportionnelle à la conductivité électrique du sol. C'est donc une mesure active de la conductivité électrique apparente du sol, dont l'avantage est d'être totalement non-invasive. En revanche, le traitement mathématique est beaucoup plus complexe que celui de la mesure par résistivité électrique (SCHNEIDER, 2010).

L'utilisation de mesures électromagnétique en science du sol a débuté dans les années 1970 afin de mesurer la salinité du sol via la mesure de CEa. Actuellement les appareils utilisés le plus couramment sont les Geonics EM-31 et EM-38 (6 m et 1,5 m d'investigation respectivement). Ce dernier étant bien adapté aux problèmes agricoles (CORWIN et al., 2006 ; RHOADES, 1999).

La conductivité électromagnétique (CEM) est une technique géophysique récemment adaptée à l'étude des sols (DE JONC et al., 1979 in JOB et al., 1990). Elle est rapide de mesure « in situ » de la conductivité électrique globale de sol (BOIVIN et al., 1989). Elle

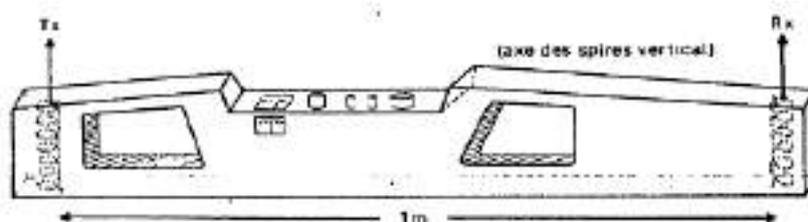
permet entre autres d'évaluer la salinité globale apparente des sols intégrée sur une profondeur d'à peu près deux mètres. Elle se fait en soumettant le sol à un champ magnétique de haute fréquence. Ce champ induit des courants qui sont d'autant plus intenses que le sol est conducteur.

La conductivité électrique apparente (CEa) mesurée correspond à un volume de sol donné qui dépend des caractéristiques de l'appareil de mesure (longueur, fréquence de l'onde magnétique émise), de son mode d'utilisation et des caractéristiques physico-chimiques du sol (MICHOT, 2003 ; BESSON, 2007). Généralement utilisées en valeurs relatives, les mesures de CEa peuvent être calibrées par rapport à une méthode d'extraction de la solution du sol et de mesure de la CE au laboratoire. Cette calibration entraîne des biais dus à l'échantillonnage in situ et aux variations de teneur en eau et de texture dans le volume de sol exploré par la méthode électromagnétique (JOHNSTON et al., 1997 in MONTOROI et al., 2002).

### 2.2.1. La conductimètre électromagnétique (le Géonic EM38 Ltd)

#### 2.2.1.1. Appareillage

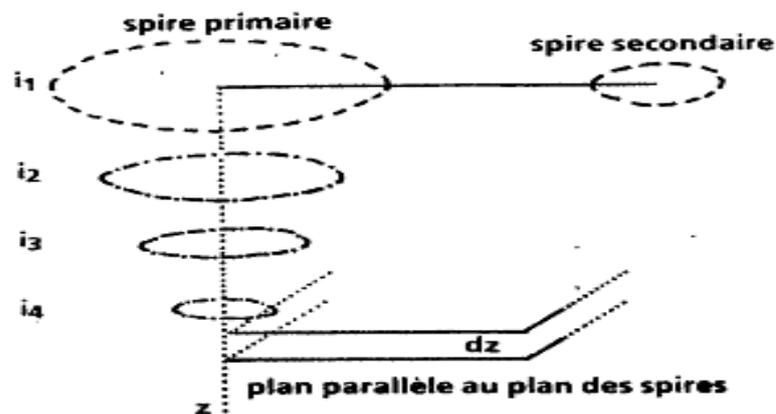
L'appareil utilisé pour les mesures décrites dans le chapitre III est le Géonic EM-38. Il est composé de deux solénoïdes verticaux distants d'un mètre. Le premier envoie dans le sol un champ magnétique constant induisant des courants qui s'y propagent d'autant mieux que le milieu est plus conducteur. Ces courants créent à leur tour, suivent la loi d'Ampère un champ magnétique proportionnel à la surface de ligne de courant, donc à la conductivité électrique de sol. Ce champ adapté par un solénoïde récepteur qui la transforme en réponse galvanométrique (JOB et al., 1990).



**Figure 3.** Appareillage (EM-38) utilisé pour les mesures électromagnétiques.

## 2.2.1.2. Principe et fonctionnement

C'est un appareil constitué de deux bobines à axes parallèles et coplanaires séparées d'un mètre. La bobine ou spire SP, parcourue par un courant électrique de fréquence  $f$  produit un champ magnétique primaire HP de même fréquence qui induit dans le sol suppose homogène, des courants  $i_1$ ,  $i_2$ ,  $i_3$ . Elle est liée à l'ordre de succession des résistivités vraies des matériaux rencontrés (Fig. 4). Ces courants produisent à leur tour un champ secondaire HS qui est mesuré à l'aide d'une spire secondaire SS. Si l'on néglige les interactions magnétiques entre les différentes lignes de courant, on peut mesurer une conductivité du sol qui dépend de la fréquence  $f$  et de la géométrie des lignes de courant induites dans le sol (JOB et al., 1987 ; WADE, 1998).



**Figure 4.** Principe de la mesure de conductivité électromagnétique.

Le rapport entre les deux champs magnétiques ( $H_s/H_p$ ) est proportionnel à la conductivité électrique apparente  $CE_a$  selon l'équation de McNEILL (1980) :

$$CE_a = 4(H_s/H_p)/2\pi f \mu_s^2$$

$CE_a$  : conductivité électrique apparente de sol en  $\Omega \cdot m \cdot cm^{-1}$ .

$H_s$  : champ magnétique secondaire au niveau de la bobine réceptrice.

$H_p$  : champ magnétique primaire au niveau de la bobine émettrice.

$f$  : fréquence (Hz).

$\mu$  : perméabilité de l'espace libre ( $4\pi \cdot 10^{-7} \cdot H \cdot m^{-1}$ ).

s : distance inter-spire.

### 2.2.1.3. Mode d'utilisation principale

Pour la mesure, on peut orienter les grands axes des solénoïdes de départ, soit perpendiculairement à la surface du sol, mesure notée (CEaV) pour un volume de sol de 1,5 m, soit parallèlement à celui-ci (CEaH) pour un volume de sol de 0,75 m. La géométrie des lignes de courants, donc des lignes de champ, est alors différente ainsi que la contribution d'une couche de sol située à une profondeur « h ». A chaque point de mesure, on dispose donc de deux valeurs CEaV et CEaH, qui représentent une salinité apparente globale (JOB et al., 1990).

## 2.3. La réflectrométrie en domaine temporel TDR

La réflectrométrie en domaine temporel TDR a apporté un moyen rapide et précis pour mesurer la teneur en eau volumique du sol. Les principes théoriques et pratiques de cette mesure ont été largement étudiés et discutés. Initialement utilisée pour mesurer la teneur en eau volumique, la sonde TDR permet de mesurer aussi la conductivité électrique apparente, en se basant sur l'atténuation du signal lorsqu'il traverse le sol. Le principe de la technique repose sur l'asymétrie de charge de la molécule d'eau qui est à l'origine du phénomène de permittivité diélectrique. Bien que cette méthode possède l'avantage de mesurer simultanément permittivité diélectrique et conductivité électrique apparente, et ce, de façon précise et continue. L'inconvénient majeur des sondes TDR, comparées aux méthodes électrique et électromagnétique, est la nécessité d'installer l'instrument de mesure dans le sol, ce qui perturbe le milieu (CORWIN et LESCH, 2005 ; SCHNEIDER, 2010).

## 3. Spatialisation des données

Les données acquises à l'aide de l'EM38 sont traitées numériquement par une méthode géostatistique). Cette méthode est devenue d'un emploi courant en science du sol avec essentiellement deux domaines d'applications : l'étude de la structure spatiale de la variable étudiée, à partir du calcul du variogramme : recherche de la distance d'autocorrélation, de la variance à faible distance. La géostatistique fournit également une méthode d'interpolation, le krigeage (BOIVIN et al., 1989).

### 3.1. Variogramme

Le variogramme est l'outil le plus simple pour mesurer une qualité d'estimateur qu'on appelle la variance. Il présente des techniques de géostatistique, morphologie et mathématique (CLAUDE, 1989 ; CHAUVET, 1992).

#### 3.1.1. Estimation du variogramme

A l'aide des mesures obtenues sur les différentes parcelles, on estime le variogramme par la méthode des moments (méthode qui consiste à estimer l'espérance par la moyenne empirique). Cet estimateur est défini de la façon suivante :

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{N(h)} [z(s_i) - z(s_j)]^2$$

Où :

$h$  correspond à une distance

$z(s_i)$  correspond à la valeur de la variable régionalisée au point  $s_i$

$N(h) = \{(i, j) \text{ tel que } s_i - s_j = h\}$

$|N(h)|$  est le nombre de paires distinctes de l'ensemble  $N(h)$

#### 3.1.2. Propriétés de variogramme

Palier et portée

Dans la plupart des cas, le variogramme atteint un palier ; les structures qui engendrent des variogrammes à palier sont parfois appelées phénomènes de transition. La distance à partir de laquelle le palier est atteint est appelée « portée du variogramme », et elle est notée «  $a$  ». La portée correspond à la notion physique de zone d'influence des échantillons : pour les distances «  $h < a$  » les échantillons sont corrélés ; pour «  $h \geq a$  » les échantillons ne le sont plus.

Cette corrélation peut s'exprimer également en terme de variance d'estimation ; la définition de  $2\gamma(h)$  peut s'interpréter comme la variance d'estimation de  $z(x)$  par  $z(x+h)$  :

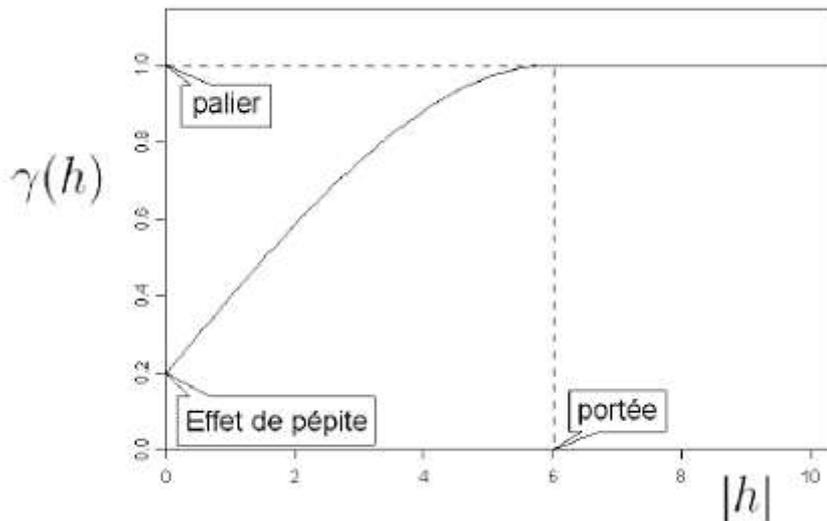
plus les échantillons sont proches, meilleure est l'estimation ; quand «  $h$  » augmente, l'estimation se dégrade, la variance  $y(h)$  augmente ; quand «  $h > a$  », les échantillons ne sont plus corrélés, et cette variance d'estimation est maximale (DEVERLY, 1984).

### 3.1.3. L'Effet de pépité

Lorsqu'aux petites distances pour «  $h$  » décroissant vers 0,  $y(h)$  tend vers une valeur  $C_0$  non nulle, il y a une discontinuité apparente à l'origine, appelée « effet de pépité ».

Cette discontinuité peut avoir deux causes : Existence de microstructures, inaccessibles à l'échelle des observations et/ou existence d'erreurs de mesures (erreurs d'analyse et d'échantillonnage).

Le cas extrême est l'effet de pépité pur : pour tout  $h$ ,  $y(h) = C_0$  avec par définition  $y(0) = 0$ . Il caractérise alors une absence totale de corrélation entre échantillons.



**Figure 5.** Exemple de variogramme à palier

### 3.1.4. Modélisation du variogramme

Une fois le variogramme estimé, il convient de le modéliser par une fonction de référence (modèle exponentiel, sphérique...). Ce modèle aura alors toutes les propriétés requises pour effectuer un krigeage sur nos données (HENNEQUI, 2010).

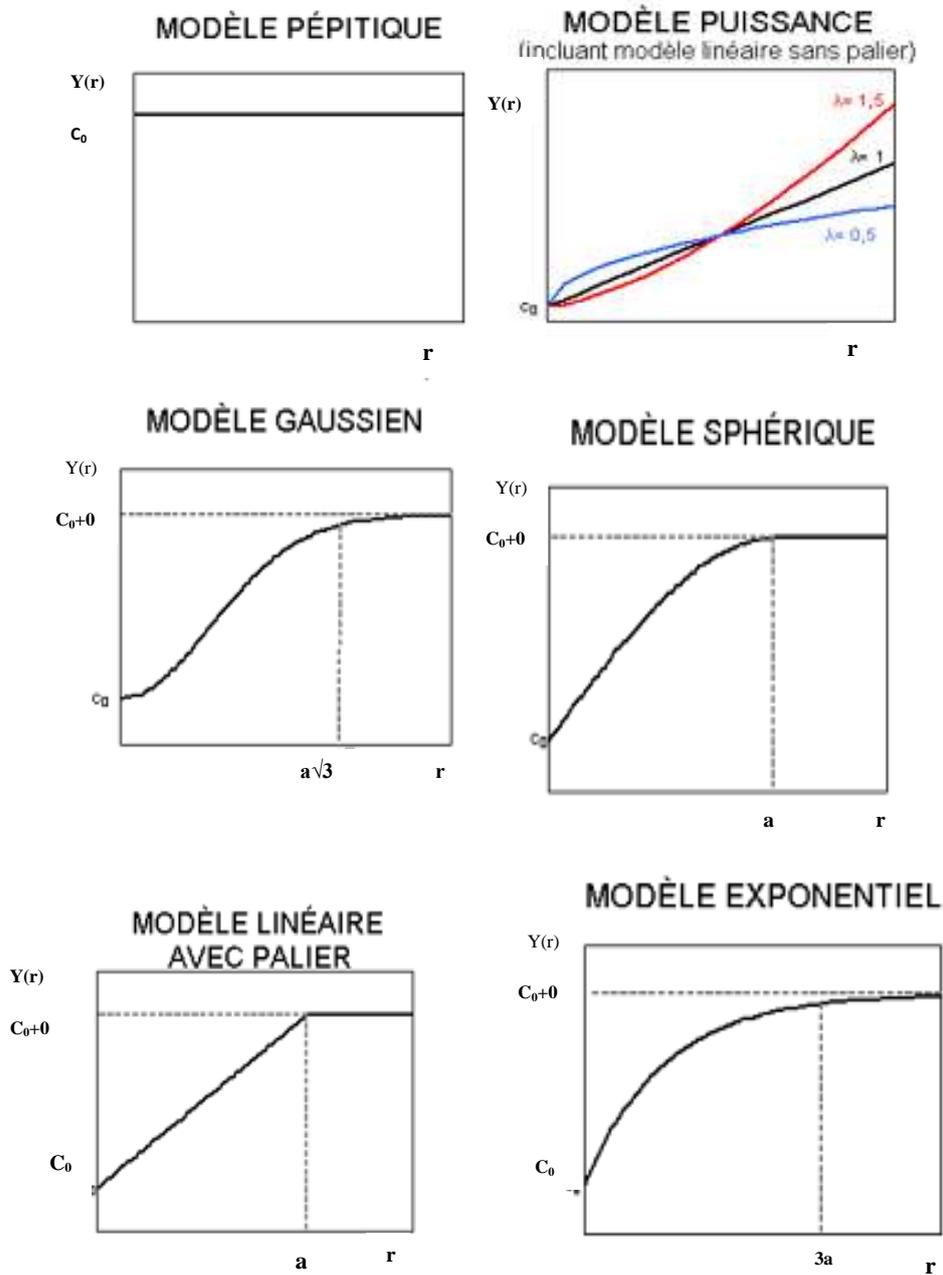


Figure 6. Représentation des différents modèles de variogrammes.

### 3.2. Krigeage

Le krigeage est une technique géostatistique de modélisation spatiale permettant, à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations

étudiées (HENNEQUI, 2010). Cette technique est développée à partir des années 50 par le géologue sud Africain Krige. Le krigeage permet d'intégrer la connaissance émanant de l'analyse préalable de la structure par le variogramme, en plus d'être un interpolateur exact (ABDELHAFID, 2010).

Il existe trois types de krigeage: le krigeage simple, le krigeage ordinaire et le krigeage universel. Le krigeage ordinaire est le plus fréquemment utilisé en pratique car les hypothèses de départ sont moins contraignantes que celle du krigeage simple (DESPAGNE, 2006).

#### **4. Système d'information géographique (SIG)**

Un Système d'Information Géographique est un outil informatique permettant d'effectuer des tâches diverses sur des données à références spatiales. Elle est l'une des technologies de l'information qui a révolutionné le monde de la géographie dans ses méthodes et ses recherches. En effet, les SIG permettent l'acquisition, l'abstraction, l'analyse, l'affichage et l'archivage des données (GERARD, 2012).

L'information est géographique lorsqu'elle est liée à une localisation dans un système de référence sur la terre. On parle aussi de données localisées ou d'information à référence spatiale. L'information géographique est composée d'informations géométrique, descriptive et topologique (HABERT, 2000).

En outre, les Systèmes d'Information Géographique permettent de disposer les objets dans un système de référence (géoréférencé), de convertir les objets graphiques d'un système à un autre, de faciliter la superposition de cartes de sources différentes et exécuter et d'extraire toutes les requêtes possibles.

## *CHAPITRE II*

# *Présentation de la région d'étude*

## **1. Situation géographique**

La wilaya de Ouargla est située au sud est de l'Algérie(Fig.1), à environ 800 km de la capitale Alger. Elle est l'une des principales oasis du sud algérien. Elle se trouve au fond d'une large cuvette de la vallée d'Oued M'ya. La ville de Ouargla, chef lieu de la wilaya, est située à une altitude de 157 m, ses coordonnées géographique sont 31°85' latitude Nord et 5°20' longitude Est.

La région de Ouargla couvre une superficie de 99000 hectares (SLIMANI, 2012) .Elle est limitée au Nord par les wilayas de Djelfa et El Oued et de Biskra, à l'Est par la Tunisie, Au Sud par les wilayas de Tamanrasset et d'Illizi et à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.

## **2. Milieu physique**

### **2.1. Pédologie de la région**

La région de Ouargla se caractérise par des sols légers, à prédominance de sable et une structure particulière. Ils sont caractérisés principalement par de faibles taux de matière organique, un pH alcalin, une bonne perméabilité ainsi qu'une forte variabilité spatiale de salinité.

La plupart des sols sont soumis à la fois à une salinisation primaire et une salinisation secondaire. Cette salinité pose un grand problème pour l'agriculture dans la région, et aggravée par un drainage déficient (NASRAT, 2007).

Dans la région de Ouargla on distingue trois grands types de sols. Il s'agit des sols, sols salins, hydromorphiques et les sols minéraux bruts.



### **2.3. Géomorphologie de la région**

La cuvette de Ouargla appartient au sous-bassin saharien, elle correspond à la basse vallée fossile de l'Oued M'ya. Sur le plan géomorphologique on distingue les unités suivantes :

#### *2.3.1. Hamada du Miopliocène*

C'est une formation continentale détritique située à l'Ouest de Ouargla, et qui s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Elle est fortement érodée, laissant une série de buttes témoins ou Goures.

#### *2.3.2. Glacis*

Sur le versant Ouest de la cuvette, les glacis s'étagent en quatre niveaux allant de 200 m à 140 m. Les glacis dont les hauteurs varient de 180 à 160 mm sont très visibles et caractérisés par l'affleurement du substrat gréseux du miopliocène. La pente de ce dernier est faible, et souvent recouverte de sables et de graviers. A l'Est de la cuvette se trouve un vaste glacis alluvial à sable grossier, de 150 m d'altitude (NASRAT, 2007).

#### *2.3.3. Sebkhass et chotts*

Elles constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond au centre de la sebkhass est constitué des sols gypseux en surface. Souvent la nappe phréatique affleure en surface au centre de la sebkhass. Au Nord de la ville de Ouargla 136 m d'altitude, diverses sebkhass alternent avec des massifs dunaires jusqu'à Sebkhass Sefioune 103 m d'altitude (NASRAT, 2007).

#### *2.3.4. Dunes*

Ce sont des formations éoliennes récentes en petit cordons, d'environ 150 m d'altitude, occupent la partie Est et Sud de la cuvette et bordent les sebkhass le long de la vallée de l'Oued M'ya.

## 2.4. Géologie de la région

La région de Ouargla fait partie du bas-Sahara ; qui se présente comme une cuvette synclinale. Elle est caractérisée par un remplissage sédimentaire plus ou moins circulaire ayant un diamètre de 600 km (BOUZIANE et SLIMANI, 2012). Celui-ci est limité au Nord par les chaînes de l'Aurès, des Nememcha, des Ouled Nail, et de Gafsa en territoire Tunisien; à l'Ouest par la dorsale de M'zab ; au Sud par les Hamadas de Tademaït et Tingher et à l'Est par les plateaux de Dahra tunisien.

## 2.5. Hydrogéologie de la région

Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent deux grands ensembles de formation aquifère : le continental intercalaire à la base et le complexe terminal au sommet. Une troisième formation d'importance plus modeste s'ajoute aux deux précédents : la nappe phréatique ou nappe superficielle (NASRAT, 2007).

### 2.5.1. Nappe phréatique

Cette nappe est contenue dans les sables alluviaux de la vallée. Elle se localise principalement dans la vallée de Oued Righ et dans la cuvette de Ouargla. Elle est caractérisée par son niveau piézométrique est très variable, mais très proche de la surface par endroit (NEZLI, 2009).

Cette nappe s'écoule du sud vers le nord, suivant la pente de la vallée. Sa profondeur varie de 1 à 8 m en fonction du lieu et de la saison.

Les analyses des eaux de la nappe phréatique montrent qu'elle est très salée, avec une conductivité électrique de l'ordre de 5 à 10 dS/m, et dépassant parfois les 20 dS/m (MAHANI, 2006).

### 2.5.2. Nappe du complexe terminal (CT)

Ce complexe s'étend sur une superficie d'environ 350 000 km<sup>2</sup> (IDDER, 2006).

Dans le bassin occidental, il se confond avec le complexe intercalaire sous le grand erg occidental, alors que dans le bassin oriental, il forme un aquifère nettement distinct. Le

complexe terminal regroupe des formations aquifères contenues dans les horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire.

Le Complexe Terminal (CT) comprend deux nappes différentes qui de haut en bas sont le Miopliocène et le Sénonien.

#### *2.5.3. Nappe du Miopliocène*

Elle est appelée aussi nappe des sables, et fût à l'origine des palmeraies irriguées. Elle s'écoule du sud-ouest vers le nord-est, en direction du chott Mélgbir. La salinité de la nappe est très variable 4,7 à 8,3 dS/m (BOUZIANE et SLIMANI, 2012).

#### *2.5.4. Nappe du Sénonien*

La nappe artésienne du sénonien est exploitée dans les calcaires entre 140 et 200 m de Profondeur. La salinité de cette nappe est très variable 3,8 à 5,5 dS/m. Elle est surtout utilisée à l'alimentation en eau potable (YOUCEFI, 2011).

#### *2.5.5. Nappe albiennne (Continental Intercalaire)*

La nappe du continental intercalaire est une nappe fossile fortement artésienne qui n'est pas réalimentée par la climatologie actuelle. Elle est captée à plus de 1000 m au centre du Sahara et affleure dans la région d'Adrar et Timimoune. Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par une température qui dépasse parfois les 60°C (MERABET, 2011 ; YOUCEFI, 2011). La salinité moyenne de cette nappe est d'environ 2,4 dS/m (BOUZIANE et SLIMANI, 2012).

### **3. Climatologie de la région**

Le climat de la région de Ouargla est particulièrement contrasté malgré la altitude relativement septentrionale. L'aridité est exprimée par de températures très élevées en été, de faible précipitation et surtout par l'importance de l'évaporation due à sécheresse de l'air (NASRAT, 2007).

### **3.1. Températures**

La wilaya de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées, la température moyenne annuelle est de 22,3 °C. . Le mois le plus chaud est observé en juillet avec des températures maximales de 43,1 °C et le mois le plus froid est celui de janvier avec des températures minimales de 17,7 °C.

### **3.2. Les précipitations**

Les précipitations sont rares et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Le cumul des précipitations annuelles sur 10 ans (2002-2012) est de 42,1 mm.

### **3.3. L'humidité relative**

Le taux d'humidité maximum à Ouargla est atteint au mois de janvier avec 58,4%, et son minimum est obtenu au mois de juin autour de 36%. Elle varie d'une saison à l'autre, mais elle reste toujours faible, avec une moyenne annuelle d'environ 47%.

### **3.4. Evaporation**

Elle est très importante surtout lorsqu'elle se trouve renforcée par les vents, notamment ceux qui sont chauds (NASRAT, 2007). Le maximum est enregistré en juillet avec 413, 2 mm et le minimum en janvier avec 83 mm.

### **3.5. Les vents**

A Ouargla les vents soufflent du nord-est et du sud, ils sont fréquents au printemps avec une vitesse moyenne annuelle d'environ 14 m/s.

### 3.6. Synthèse climatique

#### 3.6.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

La figure 2 indique que la période sèche dans la région de Ouargla s'étend sur toute l'année.

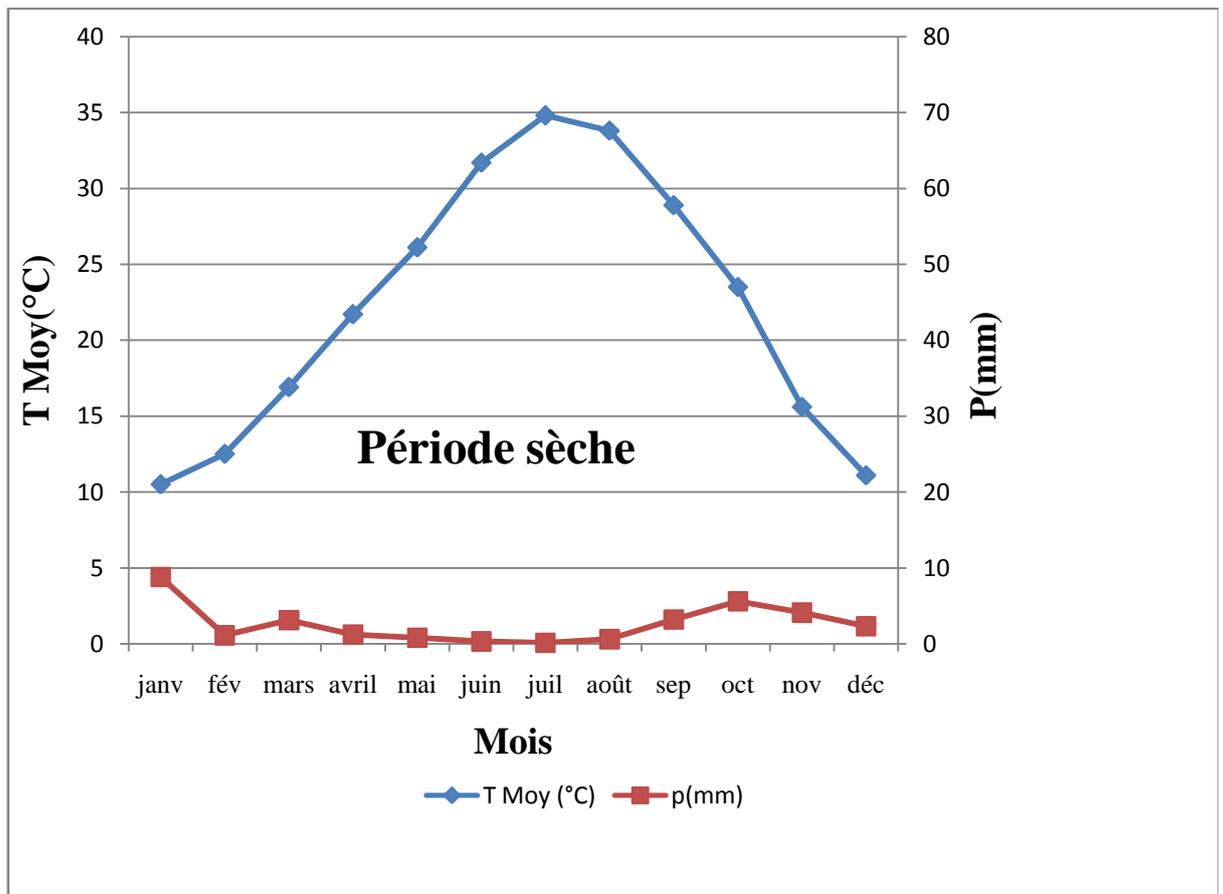


Figure 2. Diagramme Ombrothermique de Ouargla (2002-2012)

#### 3.6.2. Climagramme d'EMBERGER

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il dépend des températures minimale et maximale et des précipitations. Il est calculé par la formule de Stewart (1969) in MESSAOUDI (2010) ci-dessous :

$$Q3=3.43.P/(M-m)$$

Avec :

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.

m: moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

D'après la figure 3, la cuvette de Ouargla est située dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son Q3 est égale à 5,8.

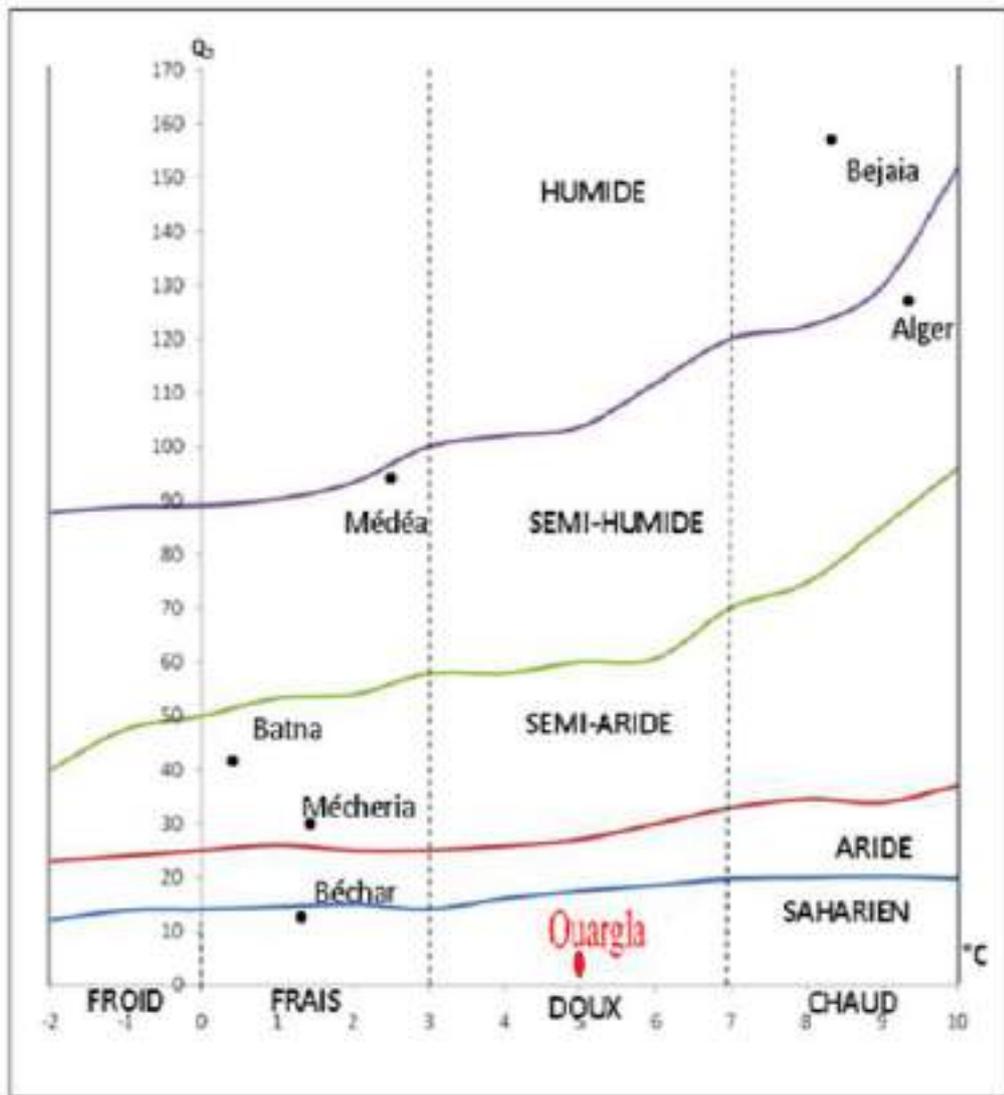


Figure 3. Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla.

*CHAPITRE III*

*Matériels et méthodes*

## 1. Présentation du site expérimental

Notre expérimentation a été réalisée au sein de l'exploitation phoenicicole de l'université de Ouargla. Elle a été créée en 1959 par le service colonial pour la mise en valeur. Elle fut confiée à l'Institut Technique de l'Agronomie Saharienne (ITAS) en 1979 dans un but pédagogique et scientifique. Ses coordonnées WGS 84 / UTM zone 31 N, sont à une longitude de 819,82 km et une latitude de 3547,22 km.

L'exploitation couvre une superficie de 32 hectares, divisée en secteurs d'environ 1hectare chacun. Huit secteurs sont aménagés et cultivés principalement par 06 variétés de palmier dattier (*Phoenix dactylifera*) : déglet noir, ghars, dégla béida, variétés communes et des dokkars (mâles), ainsi que des djebbars (pieds jeunes), et le reste est un sol nu non exploité. Pour les besoins d'irrigation, l'exploitation est alimentée par les eaux des forages du Sénonien (3,7 mS cm<sup>-1</sup>) et du Miopliocène (5,3 mS cm<sup>-1</sup>). Le drainage des parcelles est assuré par des drains à ciel ouvert (BERKAL et al., 2011). Sur le plan pédologique, les sols de l'exploitation sont caractérisés par une texture sableuse (90% de sable) avec quelques limons (8%) et presque dépourvus d'argile (1%). Ils sont riches en gypse et en sels solubles avec des profils salins ascendants dans leurs majorités. En outre, ils sont pauvres en matière organique (0,4%) (BERKAL et al., 2012).

## 2. Choix du site expérimental

Notre travail expérimental a été réalisé au niveau de deux parcelles A2 et D1 cultivées avec du palmier dattier et irriguées respectivement avec les eaux du Miopliocène et du Sénonien (Fig. 5).

Le protocole expérimental de ce travail a été établi sur trois phases : une phase de prospection EM, une phase de prospection électrique et une phase de prélèvements d'échantillons entre les deux phases de prospections.

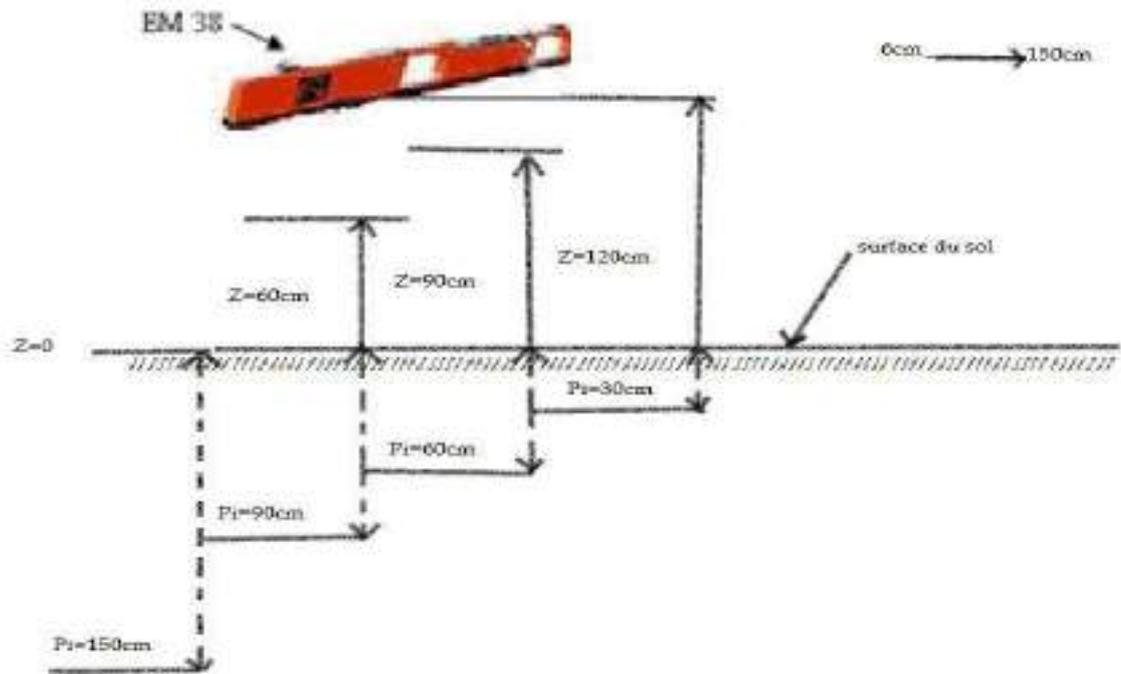
Toutes les points de mesures et de prélèvements ont été localisés grâce à un GPS de type GARNIN 72. On obtient alors des données géoréférencées capables d'être spatialisées.

### 3. Mesure de la conductivité électromagnétique

Pour mesurer la conductivité électromagnétique sur le terrain, nous avons utilisé l'EM38. Pour chaque point de mesures EM (Fig.5), nous avons pris l'EM38 selon deux positions horizontale, qui permet d'obtenir des CEaH pour un volume de sol d'environ 75 cm et en position verticale, qui permet d'obtenir des CEaV pour un volume de sol d'environ 150 cm. Les mesures CEaV et CEaH ont été réalisées suivant la méthodologie adoptée par RHOADES et al., (1999) et qui consiste à faire des mesures en posant directement l'EM38 sur le sol, puis soulever l'appareil en mode verticale de 60cm, 90cm et 120cm (Fig. 1b) de la surface du sol. La profondeur d'investigation ( $P_i$ ) est alors réduite respectivement à 90cm, 60cm et 30 cm (Fig. 2). On obtiendra alors respectivement des CEaV-90, CEaV-60 et CEaV-30.



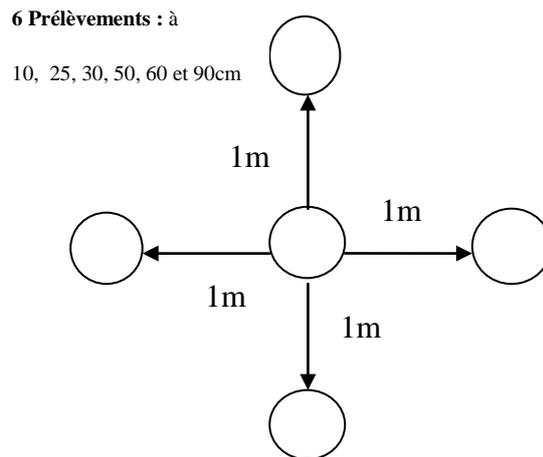
**Figure 1.** Position de l'EM38 : (a) horizontale soulevé de 60cm de la surface du sol ; (b) verticale soulevé de 120cm de la surface du sol.



**Figure 2.** Schéma de la prospection électromagnétique.

#### 4. Echantillonnage

Les prélèvements des échantillons de sol à la tarière, ont été effectués d'une façon aléatoire parmi les points déjà prospectés à l'EM38 pour effectuer des analyses d'humidité et de conductivité électrique ( $CE_{1,5}$ ) au laboratoire. Nous avons échantillonné 15 points dans chaque parcelle répartis comme suit : 10 points échantillonnés à 10, 25, 30, 50, 60 et 90 cm de profondeur. Dans le but de cerner la variabilité spatiale de la salinité à faible distance, nous avons échantillonné 5 autres points selon le schéma de la Fig.3 aux mêmes profondeurs décrites.



**Figure 3.** Schéma des prélèvements des échantillons qui caractérisent la variabilité spatiale la salinité à courte distance.

Nous avons de ce fait obtenue 35 échantillons de sol dans chaque parcelle et pour chaque profondeur.

## 5. méthodes d'analyse

### 5.1. Analyses physiques

#### 5.1.1. Humidité

Les échantillons sont séchés à l'étuve à  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  jusqu'à masse constante, pendant 24 heures ou 48 heures. La différence entre le poids initial et le poids après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon (CIRAD., 2004).

### 5.2. Analyses chimiques

#### 5.2.1. Conductivité électrique CE

La conductivité électrique a été mesurée sur l'extrait dilué 1/5. Cette méthode consiste à mélanger un échantillon de 20 g de sol sec tamisés par un tamis de diamètre inférieur à 2 mm avec 100 ml d'eau distillée. Après une agitation de 2 heures, on laisse reposer jusqu'à ce qu'il y ait sédimentation du sol. On filtre ensuite la solution du sol avec du papier filtre dans un bicher (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).

Cette méthode est plus facile à réaliser et permet ainsi faire un grand nombre d'analyses, ce qui est le difficile voire impossible avec la méthode de la pâte saturée (WADE, 1998).

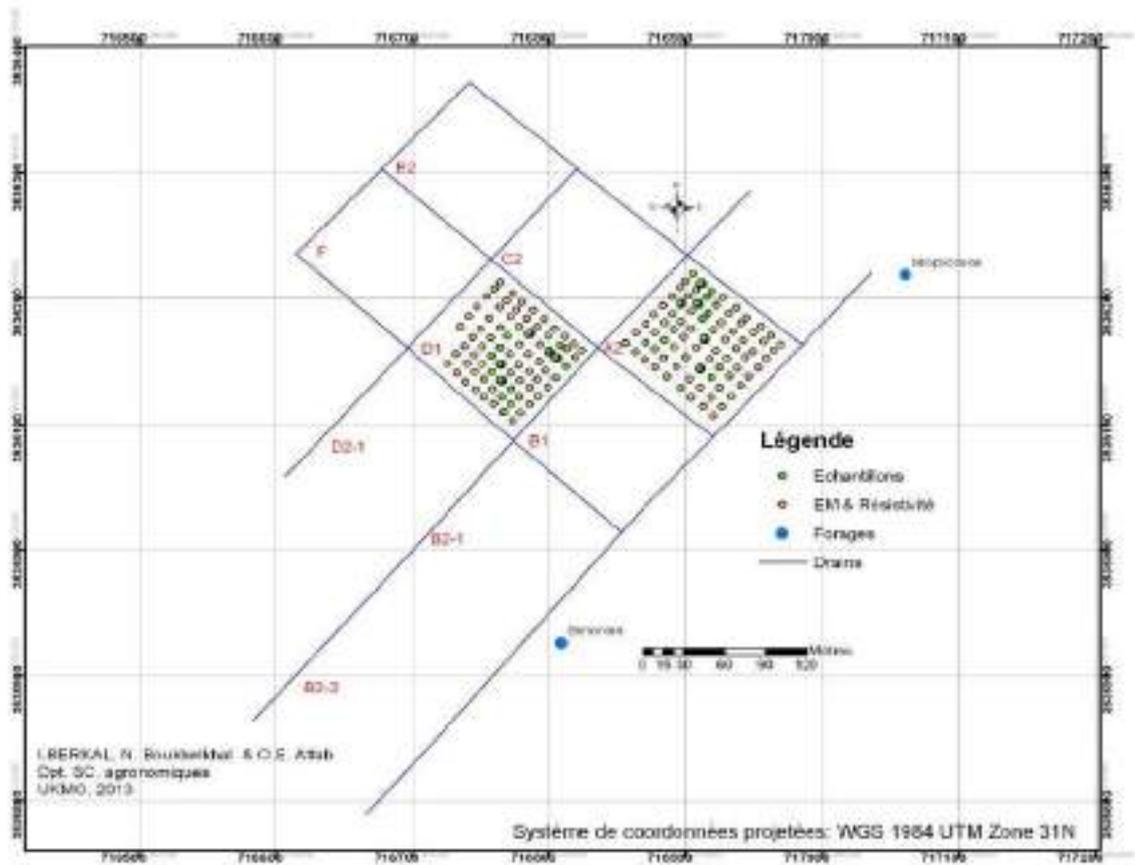
## 6. La mesure de la résistivité électrique

La résistivité électrique a été mesurée par un résistivimètre électrique selon le dispositif Wenner (Fig. 4). Dans le but de mesurer la résistivité électrique apparente ( $R_a$ ) d'un volume de sol de 30 cm de profondeur, nous avons utilisé la formule de Wenner :  $a = (4/3) * P$  tel que « p » est la profondeur d'investigation. De ce fait il fallait écarter les électrodes d'une distance  $a = 40$  cm.



**Figure 4.** Résistivimètre électrique selon le dispositif Wenner.

Les mesures électriques sont collocated avec les mesures EM38 (Fig. 5). Ces mesures vont nous permettre une comparaison directe avec les mesures CEaV-30, CEaV, CEaH et avec les CE<sub>1.5</sub>.



**Figure 5.** Localisation des points des mesures électromagnétiques, de la résistivité électrique et de prélèvements d'échantillons.

## 7. Traitements des données

Les statistiques descriptives des données des mesures EM38 et de la résistivité et des prélèvements sont réalisées avec le logiciel STATISTICA version 7.1.

## *CHAPITRE IV*

# *Résultats et discussions*

## Introduction

La statistique est devenue le mode de représentation et d'appréhension des grands ensembles. Pour décrire la réalité d'une façon aussi complète que possible et découvrir les principales structures, on a recours à un certain nombre de caractéristiques (moyenne, médiane et variance).

Selon WALTER (1990), c'est une démarche descriptive non explicative. De ce fait, nous ne pouvons donc qu'émettre des hypothèses pour expliquer les résultats.

## 1. Les statistiques descriptives des données des mesures EM38, de la résistivité et des prélèvements

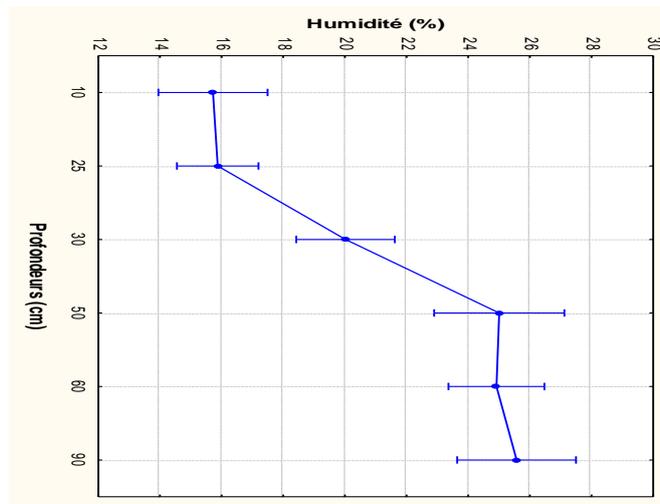
### 1.1. Statistiques descriptives des échantillons prélevés

#### 1.1.1. L'humidité

Le tableau 1 montre que l'humidité du sol varie entre 15% et 30%, la teneur en eau augmente avec la profondeur. La teneur en eau des échantillons de sol est presque identiquement variable dans les couches des différents profils (Fig. 1).

**Tableau 1.** Résultats statistique de l'humidité.

Variables	Statistiques Descriptives						
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
<b>H<sub>10</sub></b>	70	15,7	14,7	1,9	42,9	55,1	7,4
<b>H<sub>25</sub></b>	70	15,9	14,9	2,5	29,9	30,7	5,5
<b>H<sub>30</sub></b>	70	20,0	19,1	5,1	44,0	44,9	6,7
<b>H<sub>50</sub></b>	70	25,0	24,6	10,1	64,5	78,5	8,9
<b>H<sub>60</sub></b>	70	25,6	25,4	7,3	37,9	42,6	6,5
<b>H<sub>90</sub></b>	70	25,6	25,6	2,6	51,1	65,2	8,1



**Figure 1.** Profil hydrique moyen et intervalle de confiance des échantillons prélevés.

### 1.1.2. La conductivité électrique ( $CE_{1:5}$ )

Les résultats relèvent que la  $CE_{1:5}$  de l'ensemble des couches se situe entre 2,2 et 49,8 dS/m (Tab. 2), ce large écart signifie que les parcelles étudiées sont très hétérogènes pour ce paramètre. Le profil salin de l'ensemble des données des deux parcelles est ascendant avec une grande variation dans la couche de surface (Fig. 2).

**Tableau 2.** Résultats statistiques de la conductivité électrique.

Variables	Statistiques Descriptives						
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
<b>CE10</b>	70	11,4	9,1	3,2	49,8	61,3	7,8
<b>CE25</b>	70	5,8	5,2	2,4	15,5	7,2	2,7
<b>CE30</b>	70	4,4	4,2	2,4	8,6	2,4	1,5
<b>CE50</b>	70	3,8	3,6	2,2	6,7	1,3	1,1
<b>CE60</b>	70	3,8	3,4	2,3	7,6	1,2	1,1
<b>CE90</b>	70	3,9	3,5	2,3	10,5	1,9	1,6

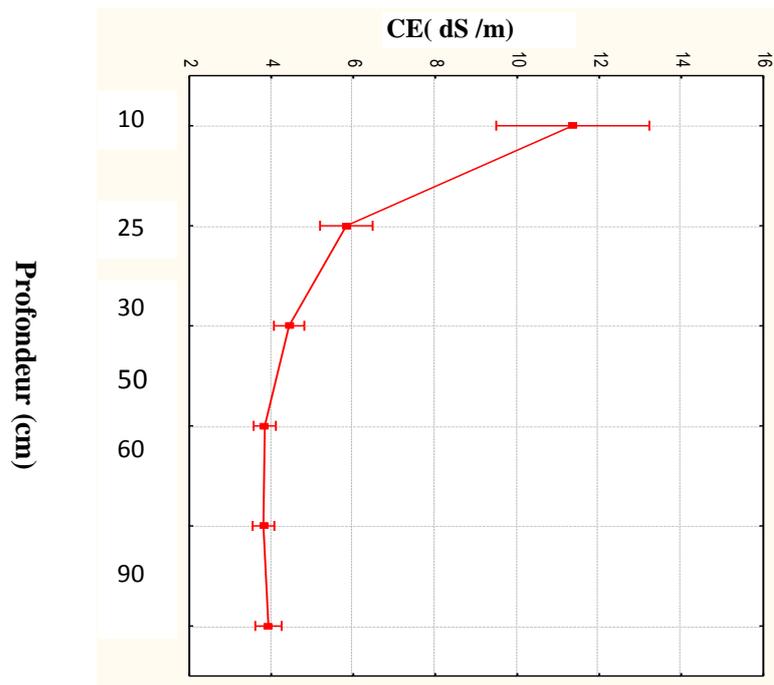


Figure 2. Profil salin moyen et intervalle de confiance des échantillons prélevés.

## 1.2. Statistique descriptives des mesures de conductivité électrique apparente (CEa) et la résistivité électrique apparente (Ra)

### 1.2.1. Statistiques descriptives des deux parcelles A2 et D1

Tableau 3. Résultats statistiques des CEa et de la Ra des deux parcelles A2 et D1.

Variables	Statistiques Descriptives						
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
<b>CEaV</b>	159	206,2	194,4	15,7	403,4	6675,3	81,7
<b>CEaV-90</b>	159	128,5	128,3	46,7	0	1661,4	40,8
<b>CEaV-60</b>	159	90,1	88,0	33,2	221,1	916,6	30,3
<b>CEaV-30</b>	159	64,8	62,7	7,4	208,9	513,6	22,7
<b>CEaH</b>	159	268,2	271,2	67,5	562,7	9946,9	99,7
<b>CEaH-15</b>	159	80,1	79,4	24,6	515,9	1887,8	43,4
<b>Ra</b>	159	5,2	4,1	1,8	45,1	16,1	4,0

Les mesures électromagnétiques et les mesures de la résistivité électrique sont effectuées directement sur terrain (in situ) au nombre de 159 mesures. La mesure

électromagnétique a été effectuée en mode horizontal et en mode vertical pour des volumes de sols variables. La mesure de la résistivité électrique a été effectuée seulement pour un volume de sol de 30cm.

Le tableau 3 ci-dessus, montre que la moyenne des CEA est proportionnellement variable avec l'augmentation du volume de sol prospecté. La CEA<sub>V</sub> moyenne est entre 206 et 64mS/m, et la CEA<sub>H</sub> varie entre 268 et 80 mS/m. La CEA<sub>V-30</sub> est 64,8 mS/m, elle diminue donc avec la diminution du volume de sol. La Ra moyenne est de 5,15 Ω.m.

L'écart type de CEA<sub>V</sub> est de 81,7 mS/m et l'écart type de CEA<sub>H</sub> est 99,7mS/m cela signifie qu'il y a une forte dispersion des moyennes des deux mesures. En outre, on remarque une diminution de la variabilité avec la diminution du volume de sol prospecté à 22,7mS/m. Les données du tableau 3 indique également que le rapport CEA<sub>V</sub> / CEA<sub>H</sub> < 1. Ce résultat signifie que la conductivité est forte en surface (IDDIR, 2006 ; BERKAL et al., 2012).

#### 1.2.2. Statistiques descriptives de la parcelle A2

**Tableau 4.** Résultats statistiques des CEA et de la Ra de la parcelle A2.

Variables	Statistiques Descriptives						
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
<b>CEaV</b>	81	223,1	223,5	15,7	403,4	7538,9	86,8
<b>CEaV-90</b>	81	142,8	140,2	62,7	254,0	1542,5	39,3
<b>CEaV-60</b>	81	97,6	95,2	47,0	170,6	672,9	25,9
<b>CEaV-30</b>	81	70,4	67,5	35,0	121,7	333,8	18,3
<b>CEaH</b>	81	308,1	317,5	67,5	562,2	9940,2	99,7
<b>CEaH-15</b>	81	92,4	86,7	37,3	515,9	2883,1	53,7
<b>Ra</b>	81	4,3	3,7	1,8	11,9	3,7	1,9

Les mesures électromagnétiques et les mesures électriques effectuées dans la parcelle A2 sont d'un effectif 'N'= 81 mesures. Les statistiques descriptives du tableau 4, indiquent une variabilité des mesures électromagnétiques des différents volumes de sol pour les deux positions verticales et horizontales. Cette variabilité est proportionnelle avec l'augmentation du volume de sol prospecté. L'écart-type des mesures de la résistivité électrique est 1,92 Ω.m ce qui signifie une faible dispersion entre les mesures.

### 1.2.3. Statistiques descriptives de parcelle D1

**Tableau 5.** Résultats des statistiques descriptives de la conductivité électrique apparente (CEa) et de la résistivité électrique apparente (Ra) de la parcelle D1.

Variables	Statistiques Descriptives						
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
<b>CEaV</b>	78	186,5	184,9	47,9	374,7	5094,2	71,4
<b>CEaV-90</b>	78	113,7	113,6	46,9	221,1	1368,8	37,0
<b>CEaV-60</b>	78	82,4	78,6	33,2	221,1	1062,8	32,6
<b>CEaV-30</b>	78	58,9	56,5	7,4	208,8	639,0	25,2
<b>CEaH</b>	78	226,8	221,1	84,8	410,3	6669,9	81,7
<b>CEaH-15</b>	78	67,2	63,3	24,6	133,9	550,6	23,5
<b>Ra</b>	78	6,0	5,0	2,0	45,1	27,7	5,3

Les mesures électromagnétiques et les mesures électriques dans la parcelle D1 ont été effectuées pour 78 sites. Les statistiques descriptives du tableau 5 indiquent que le sol de cette parcelle est moins conducteur que le sol de parcelles A2. A l'inverse, la résistivité électrique de D1 est supérieure à celle de A2. Le tableau 5 indique que l'écart type de CEaV et CEaH respectivement d'ordres 71,4 et 71,8mS/m signifie d'une forte dispersion entre les mesures. La résistivité électrique reste toujours homogène dans la couche mesurée.

### 1.3. Statistiques descriptives de mesure conductivité électrique apparente des points de prélèvements

#### 1.3.1. Statistiques descriptives pour l'ensemble des données (parcelle A2 et D1)

**Tableau 6.** Statistiques descriptives des résultats de l'échantillonnage pour les deux parcelles A2 et D1.

Variables	Statistiques Descriptives						
	N Actifs	Moyenne	Médiane	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
<b>CEaV</b>	70	170,5	168,8	35,1	319,7	4549,7	67,4
<b>CEaV-90</b>	70	101,9	101,3	57,0	182,5	882,0	29,7
<b>CEaV-60</b>	70	68,8	69,9	41,0	119,0	351,7	18,8
<b>CEaV-30</b>	70	48,6	48,1	30,3	81,6	156,3	12,5
<b>CEaH</b>	70	321,2	225,0	104,9	481,9	8056,2	89,8
<b>CEaH-15</b>	70	60,5	59,7	31,9	116,8	396,9	19,9

L'échantillonnage a été effectué dans les deux parcelles A2 et D1 au nombre de 70. Les statistiques descriptives du tableau 6, montrent que les moyennes des mesures EM38 (CEaV, CEaH) ont formées un profil salin ascendant. Les profils sont très conducteurs à la surface de sol et moins conducteurs en profondeur. Les mesures conductivité électrique apparente sont fortement dispersées.

### 1.3. 2. Statistiques descriptives des prélèvements de la parcelle A2

**Tableau 7.** Statistiques descriptives des mesures des points d'échantillonnages de la parcelle A2.

Variables	Statistiques Descriptives					
	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
CEaV	35	196,7	66,9	319,7	5205,0	72,1
CEaV-90	35	114,0	62,4	182,5	1060,0	32,6
CEaV-60	35	75,9	43,0	119,0	436,1	20,9
CEaV-30	35	52,6	30,6	81,6	202,2	14,2
CEaH	35	265,6	128,1	481,6	9703,0	98,5
CEaH-15	35	68,5	35,1	116,8	496,0	22,3
Ra	35	4,9	2,1	11,9	8,8	3,0

L'échantillonnage effectué dans la parcelle A2 concerne 35 points. Les statistiques descriptives du tableau 7, indiquent que les moyennes des mesures EM38 (CEaV, CEaH) est de 196,7mS/m et est 265,6mS/m respectivement pour la CEaV et la CEaH, et 52,6mS/m pour la CEaV-30. L'écart type des premières mesures renseigne sur une forte dispersion.

### 1.3.3. Statistiques descriptives des prélèvements de la parcelle D1

**Tableau 8.** Statistiques descriptives des mesures des points d'échantillonnages de la parcelle D1.

Variable	Statistiques Descriptives					
	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
CEaV	35	144,2	35,1	260,3	2611,4	51,1
CEaV-90	35	89,8	57,0	140,4	430,1	20,7
CEaV-60	35	61,6	41,0	94,4	172,6	13,1
CEaV-30	35	44,1	30,3	66,6	77,0	8,8
CEaH	35	196,8	104,9	332,9	4215,4	64,9
CEaH-15	35	52,4	31,9	83,5	175,3	13,2
Ra	35	5,1	2,5	10,2	4,6	2,1

L'échantillonnage effectué dans la parcelle D1 concerne également 35 points, Les statistiques descriptives du tableau 8 indiquent que les moyennes des mesures EM38 (CEaV, CEaH) est de 144,2mS/m et est 196,8, mS/m respectivement pour la CEaV et la CEaH. L'écart type de CEaV-30 est 8,8mS/m ce qui signifie une faible dispersion de CEaV-30.

## Conclusion

Les statistiques descriptives indiquent, que les sols des deux parcelles A2 et D1 sont très salés. Les mesures CEa montrent qu'il y a une grande conductivité et une grande variabilité spatiale en surface (CEaV / CEaH < 1). Néanmoins, les mesures moyennes de la Ra ont une faible dispersion.

## 2. Etalonnage des mesures électromagnétiques

**Tableau 9.** Matrice de corrélations entre les différentes mesures de terrain et de laboratoire.

Variables	Corrélations Corrélations significatives marquées à $p < ,05000$ N=30 (Observations à VM ignorées)												
	CEaV	CEaH	CEaV-90	CEaV-15	CEaV-60	CEa-30	Ra	CE10	CE25	CE30	CE50	CE60	CE90
CEaV	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	-0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
CEaH	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	-0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3
CEaV-90	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-0,4	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2
CEaH-15	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,4	0,2
CEaV-60	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	-0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
CEaV-30	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	-0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1
Ra	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	1,0	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,1
CE10	0,4	0,5	0,5	1,0	0,4	0,4	-0,2	1,0	0,8	0,7	0,5	0,6	0,4
CE25	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	-0,3	0,8	1,0	0,9	0,8	0,8	0,6
CE30	0,3	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	-0,3	0,7	0,9	1,0	0,9	0,9	0,7
CE50	0,2	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	-0,3	0,5	0,8	0,9	1,0	1,0	0,7
CE60	0,2	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	-0,3	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	0,7
CE90	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	1,0

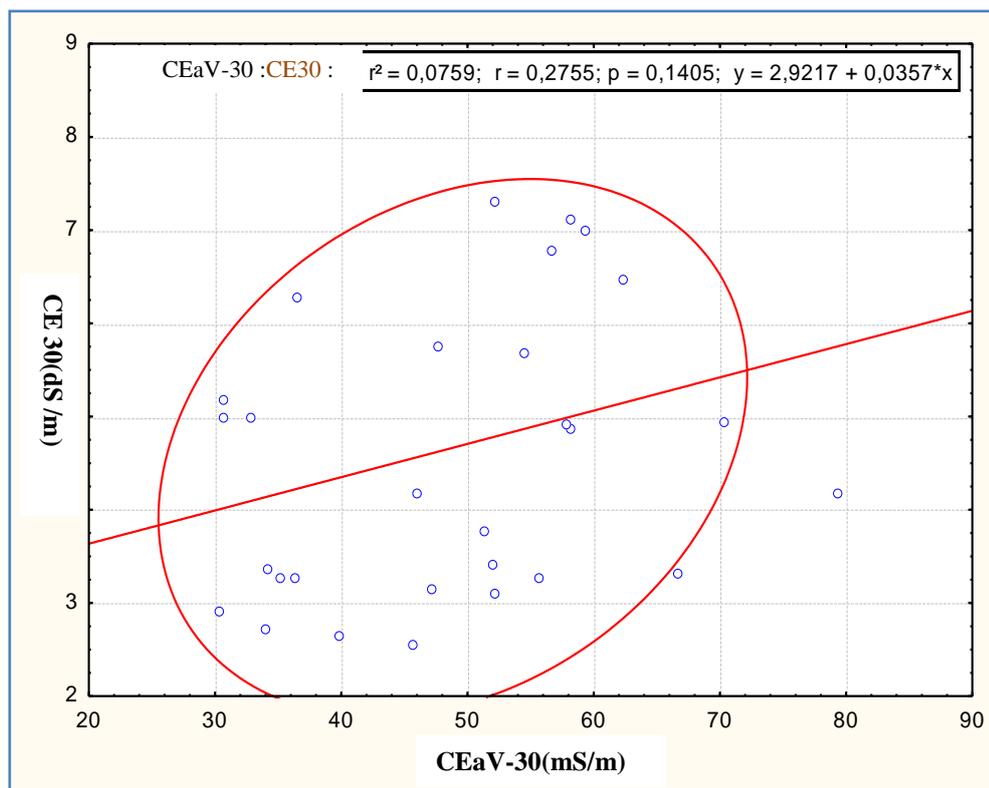
La relation entre la résistivité électrique et la CE<sub>1:5</sub> n'est pas significative statistiquement, les variables sont alors indépendantes. Néanmoins, on remarque qu'il y a une relation négative et significative entre la résistivité électrique et les conductivités électromagnétiques des différents volumes de sol. Le coefficient de corrélation (r) est d'environ 0,4 pour tous les couples de données.

En outre, on remarque une relation positive et significative entre la conductivité électromagnétique CEaH et CE<sub>1:5</sub> des couches 10, 25, 30, 50 et 60 cm. Le coefficient de corrélation est de 0,44 entre la CEaH et la moyenne des CE<sub>1:5</sub> des couches précédentes. Cependant, la CEaV-30 n'est pas bien corrélée avec le CE<sub>1:5</sub> de la couche située à 30 cm de profondeur (CE30).

Les humidités des différentes couches ne sont pas corrélées à la CEa, et elles ne sont pas également corrélées à la résistivité électrique. Elles ne seront pas incluses de ce fait dans les discussions.

Pour des raisons méthodologiques, nous nous limiterons à la présentation des couples de corrélations des CEaV, CEaH, CEaV-30 et de la résistivité électrique avec le CE<sub>1:5</sub>.

### 2.1. La relation entre la conductivité électrique apparente Verticale (CEaV-30) et la conductivité électrique 1/5 (CE<sub>1:5</sub>)

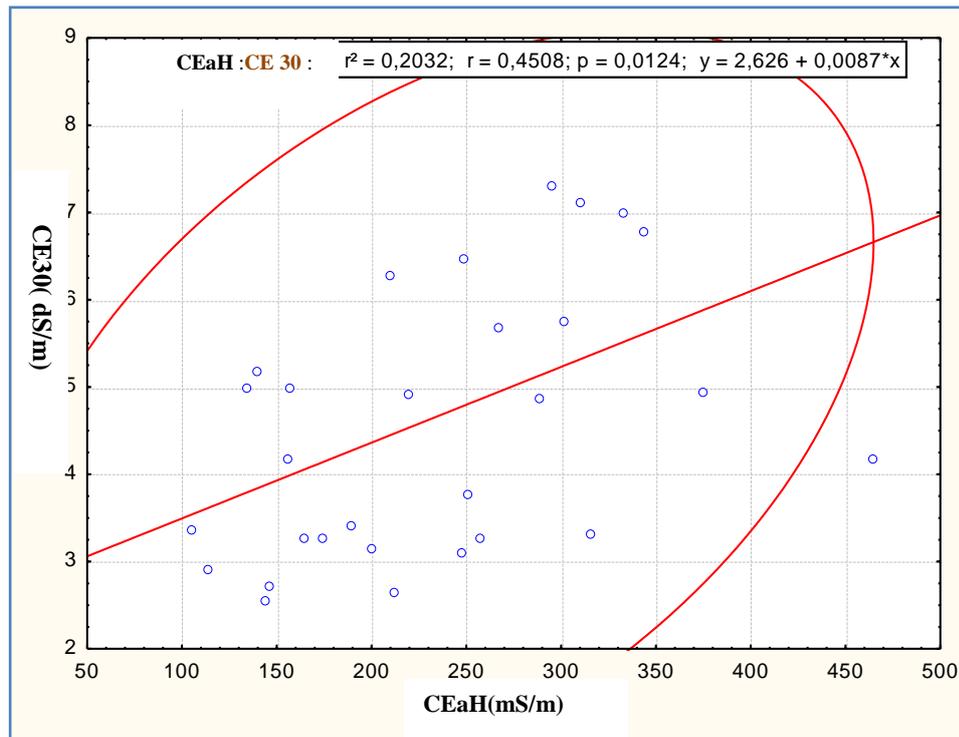


**Figure 3.** Relation entre la CEaV-30 et la CE30.

Il existe une corrélation non significative ( $r=0,3$ ) (Tab. 9) entre la CE<sub>1:5</sub> de la couche située à 30cm (CE30) et la CEaV-30. Le nuage de point confirme ce résultat.

Une augmentation de la conductivité apparente s'accompagne par une augmentation de la  $CE_{1.5}$ .

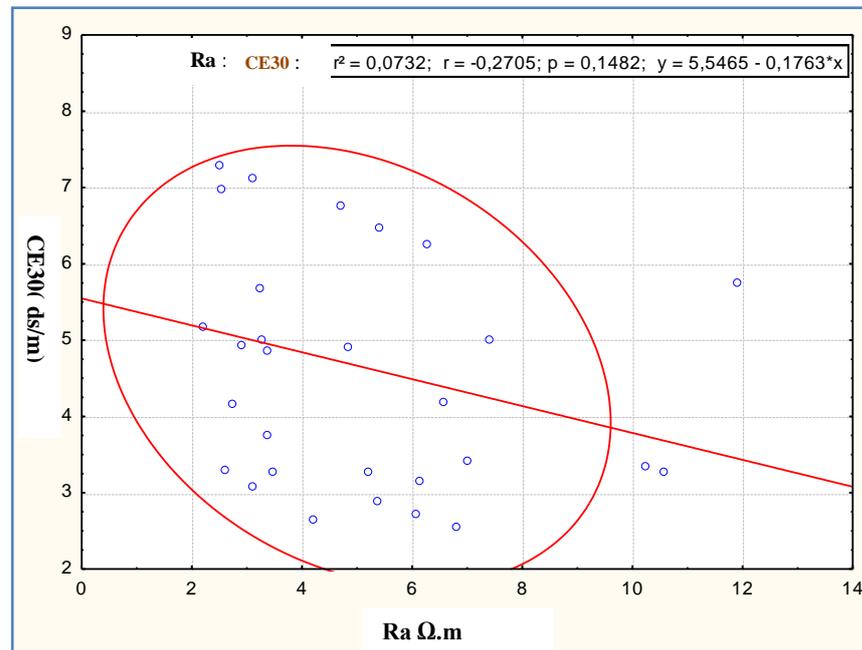
## 2.2. La relation entre la Conductivité électrique apparente (CEaH) et la conductivité électrique 1/5 ( $CE_{1.5}$ ).



**Figure 4.** Relation entre la CEaH et la CE 30.

Il existe une corrélation significative positive ( $r=45\%$ ) entre la  $CE_{1.5}$  de la couche située à 30cm (CE30) et la CEaH. Le nuage de point confirme ce résultat. Une augmentation de la conductivité apparente s'accompagne par une augmentation de la  $CE_{1.5}$ .

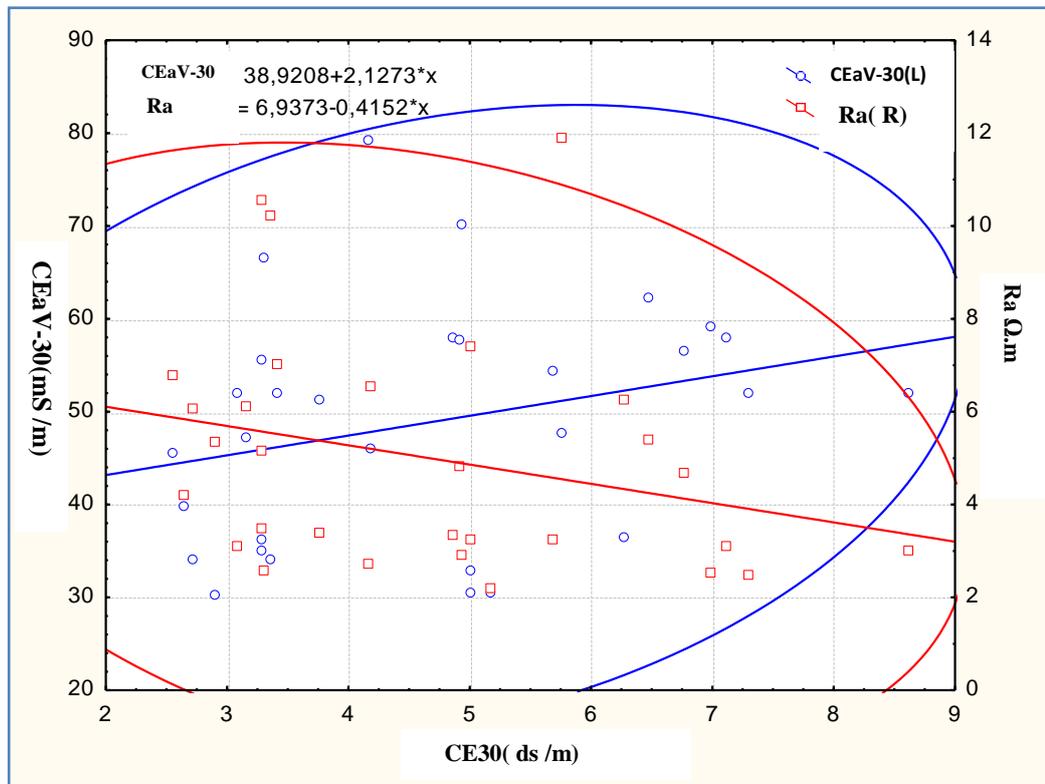
### 2.3. La relation entre la résistivité électrique apparente (Ra) des 30 premiers centimètres et la conductivité électrique 1/5 (CE<sub>1:5</sub>)



**Figure 5.** Relation entre la Ra et la CE30.

Il existe une corrélation non significative ( $r = -0.3$ ) entre la CE<sub>1:5</sub> à 30cm de profondeur et la Ra (Tab. 9). Une augmentation de la conductivité apparente s'accompagne par une diminution de la CE<sub>1:5</sub>.

**2.4. La relation entre la Résistivité électrique apparente (Ra), la Conductivité électrique apparente Verticale (CEaV-30) et la Conductivité électrique 1/5 (CE<sub>1:5</sub>)**

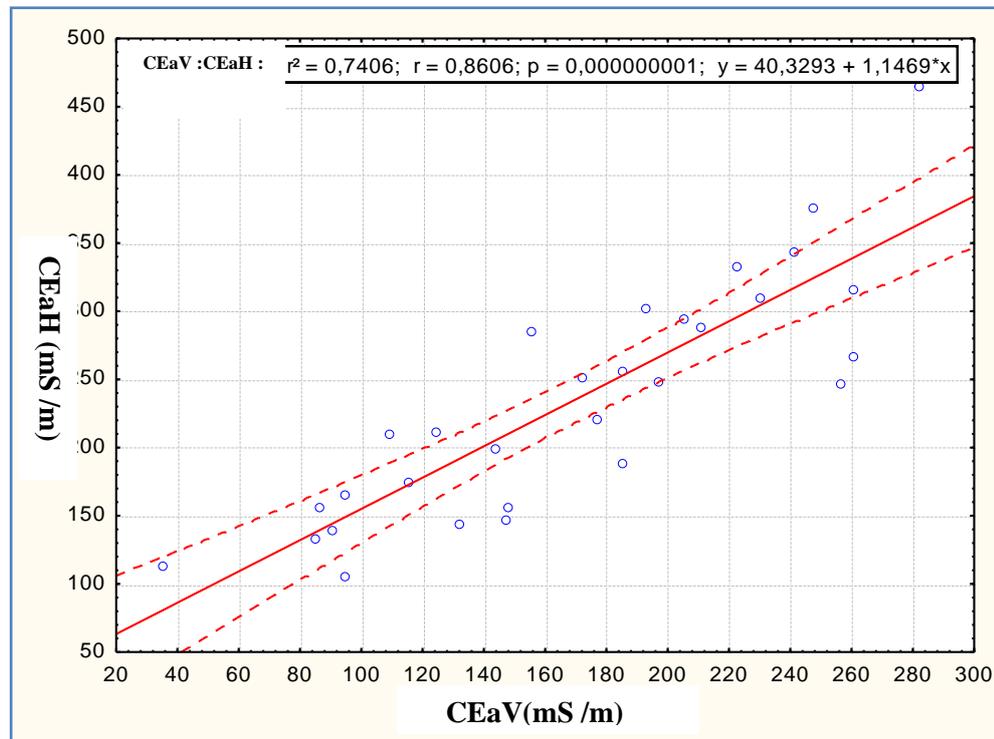


**Figure 7.** Relation entre la Ra et CEaV-30 et la CE30.

Dans ce graphe, nous tontons de regrouper les résultats des deux figures précédentes, la figure 3 et la figure 5.

Il y a une relation entre la CE<sub>1:5</sub> et la CEaV-30, lorsque CE<sub>1:5</sub> augmente la CEaV-30 augmente. La relation entre la Ra et la CE<sub>1:5</sub> inversement proportionnelle. Une augmentation de CE<sub>1:5</sub> est accompagné d'une diminution de la Résistivité apparente (Ra).

## 2.5. La relation entre la conductivité électrique apparente verticale (CEaV) et la conductivité électrique apparente horizontale (CEaH)



**Figure 8.** Relation entre la CEaV et la CEaH.

Il existe une forte corrélation positive ( $r=86\%$ ) entre la CEaV et la CEaH. Le nuage de point montre qu'une augmentation de la CEaV est accompagnée d'une augmentation de la CEaH.

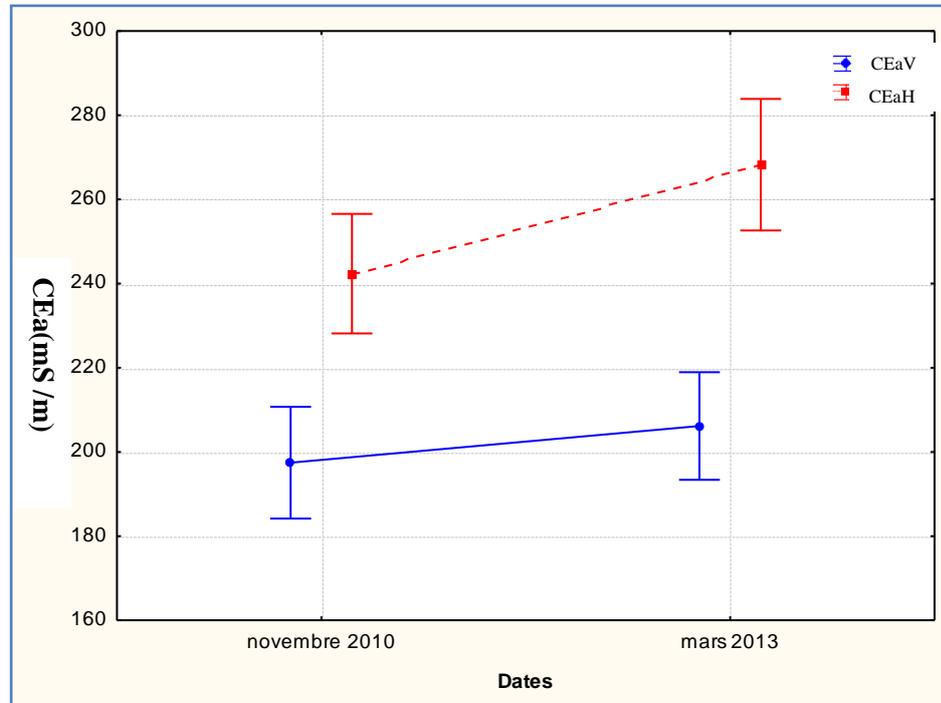
### Conclusion

La corrélation entre la  $CE_{1:5}$  avec la CEaH est significative alors que la corrélation  $CE_{1:5}$  - CEaV est non significative. La corrélation CE30- Ra est également non significative. Il est de même pour la corrélation CE30 – CEaV-30.

Nous pensons que, les corrélations  $CE_{1:5}$  – CEaV ; CE30- Ra et CE30 – CEaV-30 ne sont pas significative car la relation entre les deux paramètres et une relation simple entre la  $CE_{1:5}$  et les autres variables. La salinité ne serait pas la seule responsable de la variation des mesures EM. Il serait alors souhaitable à l'avenir d'inclure d'autres paramètres du milieu capables d'influés sur la salinité (gypse, texture, la nappe, etc...).

### 3. Evolution temporelle de la salinité de sol

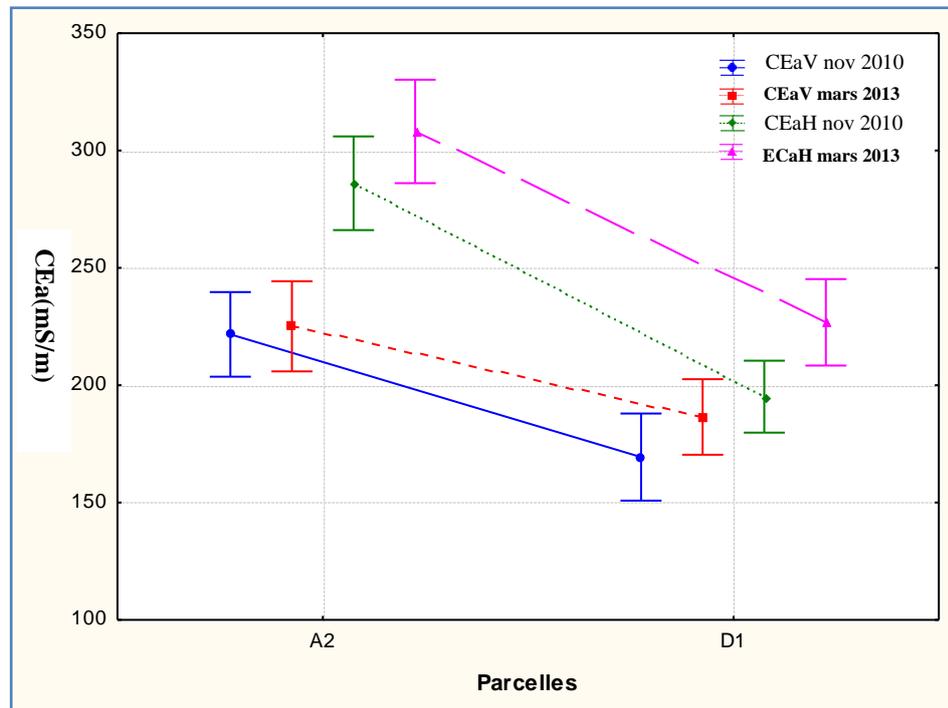
#### 3.1. Evolution de la conductivité électrique apparente(CEa) entre novembre 2010 et mars 2013



**Figure 9.** Moyennes et intervalle de confiance des CEa entre novembre 2010 et mars 2013.

La figure 9 indique que les moyennes des mesures CEa verticales et horizontales ont augmentées entre novembre 2010 et mars 2013. L'augmentation de surface (CEaH) est plus marquante par rapport à celle observée en profondeur (CEaV). L'évolution de la conductivité en surface (CEaH) serait liée à la remontée des eaux riches en sels solubles par ascension capillaire favorisée par un phénomène d'évaporation intense grâce aux températures élevées (NEZLI et al., 2007 ; DADDI BOUHOUN et al., 2012).

### 3.2. Evolution de la conductivité électrique apparente dans chaque parcelle entre novembre 2010 et mars 2013.



**Figure 10.** Moyennes et intervalles de confiance des CEa entre novembre 2010 et mars 2013 dans chaque parcelle.

La figure 10 indique une évolution verticale et horizontale de la CEa entre les mesures du mois de novembre 2010 et mars 2013. Elles ont évolué dans les deux parcelles. Cette augmentation est beaucoup plus marquée dans la parcelle A2.

# *Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

La région de Ouargla, en l'occurrence sa cuvette notre zone d'étude, s'inscrit dans un vaste bassin sédimentaire du Sahara septentrional caractérisé par un climat saharien. Notre travail de recherche a été élaboré dans l'exploitation phoenicicole de l'université de Ouargla (ex. ITAS).

A l'inverse des travaux déjà réalisés, l'objectif auquel nous devons arriver dans cette étude est la comparaison entre la précision de deux méthodes de cartographie de la salinité. Les résultats pourraient être généralisés dans tout le milieu oasien du Sahara septentrional.

La première méthode que nous avons employée est basée sur l'induction électromagnétique, utilisant le conductivimètre EM38 de Géonic Ltd. La méthode électromagnétique a été effectuée par deux modes : horizontal et vertical, pour la mesure de la conductivité électrique apparente (CEaH et CEaV) du sol. Dans un deuxième temps, nous avons utilisé une autre technique géophysique non destructive. C'est une mesure qui permet de calculer les caractéristiques du milieu comme la résistivité apparente (Ra) ( $\Omega.m$ ). La résistivité électrique apparente a été déterminée pour un volume de sol de 30 cm.

Toutes les mesures effectuées par les deux méthodes sont directement in situ, c'est-à-dire lecture direct sur le terrain.

Les résultats de ces deux méthodes ont été comparés aux résultats des analyses de laboratoire de la conductivité électrique des extraits aqueux 1/5 (CE<sub>1:5</sub>) des prélèvements de sol.

Les principaux résultats obtenus indiquent, que les sols de la zone d'étude sont très salés (2,2 et 49,8 dS/m) avec un profil salin ascendant. En revanche, l'humidité du sol augmente avec la profondeur.

Les mesures EM38 (CEaV, CEaH) indiquent que le sol est plus conducteur en surface qui ne l'ait en profondeur. Les sels seraient très concentrés à la surface de sol par rapport à la profondeur (profil salin ascendant).

En outre, les résultats des corrélations indiquent qu'il y a une relation positive et significative entre la conductivité électromagnétique CEaH et CE<sub>1.5</sub> des prélèvements à 10, 25, 30, 50 et 60 cm.

En revanche, nous n'avons pas trouvé de relation statistique significative entre la résistivité électrique (Ra) et la conductivité électrique (CE<sub>1.5</sub>). Ce résultat, nous permet d'affirmer qu'on ne peut prédire la CE<sub>1.5</sub> à partir des mesures de Ra dans les mêmes conditions que notre expérimentation. .

Néanmoins, il existe une relation négative et significative entre la résistivité électrique et les conductivités électromagnétiques des différents volumes de sol.

La variation temporelle des CEa, indiquent que les mesures CEa verticales et horizontales ont augmenté en mars 2013 par rapport aux mesures précédentes de novembre 2010 dans les deux parcelles. L'augmentation de la conductivité en surface (CEaH) est la plus marquante par rapport à celle observée en profondeur (CEaV).

A partir des résultats précédents, nous pouvons déduire que la salinité ne serait pas la seule responsable de la variation des mesures EM. Il serait alors souhaitable à l'avenir d'inclure dans les modèles d'autres paramètres du milieu capables d'influer sur la prédiction de la salinité.

*Références  
bibliographiques*

- Abdelhafid Y. (2010) Cartographie de la salinité des sols par induction électromagnétique « Cas de la zone est du périmètre irrigué de la Mina ». Mém., Mag., ENSA., El-Harrach, 102 p.
- Berkal I., Walter C., Michot D. & Djili K. (2011) Cartographie de la salinité d'un périmètre oasisien par conductivité électromagnétique. In *11èmes Journées d'Etude des Sols: Le sol face aux changements globaux*. Ed. INRA. Versailles (Paris) pp 342-343.
- Berkal I., Walter C., Michot D. & Djili K. (2012) Seasonal soil salinity monitoring in oasis ecosystems by EM conductivity. Digital soil assessments and Beyond. Minasny, Malone & McBratney (eds). CRC Press Taylor & Francis group, Londres, U.K., pp 347-351.
- Besson A. (2007) Analyse de la variabilité spatio-temporelle de la teneur en eau des sols à l'échelle parcellaire par la méthode de résistivité électrique. Thèse de Doc., Université d'Orléans, 212 p.
- Boivin P., Hachicha M., Job J.O. & Loyer Y. (1989) Une méthode de cartographie de la salinité des sols « Conductivité électromagnétique et interpolation par krigeage ». Science du sol. Vol.27, n°1, pp 69-72.
- Bottraud J.C., Bornan M. & Serva E. (2010) Mesures de résistivité appliquée à la cartographie en pédologie. Association Française pour l'Etude du Sol. Laboratoire Science du Sol. INRA., ENSA., pp 279-293.
- Boüard M. (1965) La mesure de la résistivité électrique des sols en archéologie. Etudes d'archéologie normande Annales de Normandie. vol.15, n°3, pp461-477.
- Boutelli M.H. (2012) La salinité des sols et des eaux au niveau de la Sebkhha de Bamendil, caractérisation et conséquences sur l'environnement. Mém., Mag., Université de Ouargla, 113 p.
- Bouziane F. et Slimani R. (2012) Mode de dégradation du sol sableux naturel dans la cuvette de Ouargla par deux formes chimique précipité et complexe possibilité d'utilisation agricole. Mém., Ing., Agro., université de Ouargla, 98 p.
- Braudeau E. et Hachicha M. (1998) Projet d'Irrigation de la basse vallée de la Medjerda et de Ras Djebel. *Orstom. - Inrgref, Vol.30, n°18*, pp2-124.

- Chauvet P. (1992) Traitement des données à support spatial : la géostatistique et ses usages. These, École des mines de paris, France, 64 p.
- Chouteau M. et Gloaguen E. (2003) Tomographie électrique en génie et en environnement. Ecole polytechnique Montréal, 62 p.
- CIRAD. (2004) Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement. Analyse de sols. CIRAD., 8 p.
- Claude M. (1989) Cahiers de géographie du Québec, vol. 33, n° 88, pp122-123.
- Corwin D.L., Leschs M., Oster J. D. & Kaffka S.R. (2006) Monitoring management-induced spatio-temporal changes in soil quality through soil sampling directed by apparent electric alconductivity. *Geoderma*, n°131, pp 369 – 387.
- Corwin D.L. et Lesch S.M. (2005) Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture.*, n° 46, pp11–43.
- Daddi Bouhoun M., Saker M.L., Boutoutaou D., Brinis L., Kemassi A. & Ould El Hadj M. (2012) Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla. *Algerian Journal of Arid Environnement*, vol. 2, n° 2, pp 71-77.
- Despaigne W. (2006) Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. Rapport de stage, I U P I S., Paris, 68 p.
- Deverly F. (1984) Echantillonnage et Géostatistique. Thèse de doc., L'Ecole Nationale Supérieure des Mines, Paris, 129 p.
- El fergougui M. et Boutoutaou D. (2012) La relation entre l'évaporation de la nappe phréatique et le pouvoir évaporant de l'atmosphère en zone arides. Université de Biskra, *Courrier du Savoir*, Algérie, N°13, pp 9-12.
- El Oumri M. et Vieillefon J. (1983) Étude expérimentale de la conductivité électrique globale des sols « Application à l'estimation de leur salinité ». *Cah. ORSTOM., sér. Pédol., vol. XX, n°2, pp 91-108.*
- Gerard A. (2012) Système d'Information Géographique et Analyse multicritère. AMCD., 5 p.
- Goulet E. et Borbeau G. (2004) Apports des mesures de résistivité électrique du sol dans les études sur le fonctionnement de la vigne et dans la spatialisation parcellaire. Congrès « Viticultural Terroir Zoning », pp 1-8.
- Guy M. (2005) Prospection électrique. Ed. Eost Strasbourg, France, 20 p.

- Habert E. (2000) Qu'est ce qu'un système d'information géographique?. IRD., France, 30 p.
- Hennequi M. (2010) Spatialisation des données de modélisation par Krigeage. Rapport de stage, Université de Strasbourg, Paris, 74 p.
- Idder M.A. (2006) Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région de Ouargla . Mém., Mag., INA., El-Harrach, 102 p.
- Iddir M. (2006) Evaluation de la salinité induction électromagnétique « exemple d'un parcelle cultivées ». Mém., Mag., INA., El-Harrach, 96 p.
- Job O.J., Hachicha M.A. & Loyer J.Y. (1990) Conductivimétrie électromagnétique Cartographie de salinité de sol. *ORSTOM, Tunis*, 33 p.
- Job O.J., Loyer J.Y. & Ailoul M. (1987) Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols *Cah. ORSTOM, ser.pédol, Vol. XXIII, n° 2, pp 123-131.*
- Khacheba R. (2011) Cartographie de la salinité du sol évaluée par induction électromagnétique « GéonicsEM38 » Cas du sous bassin de Sidi Rached (Tipaza). Mém., Mag., ENSA., El-Harrach, 94 p.
- Le brusq J.Y. et Loyer J.Y. (1982) Relations entre les mesures de conductivités sur des extraits de sols de rapports sol/solution variables, dans la vallée du fleuve Sénégal. *Cah., ORSTOM., sér. Pédol., vol. XIX, no 3, pp293-301.*
- Mahani K. (2006) Contribution à l'étude de l'impact de quelques contraintes physico-chimique du sol sur le rendement du palmier dattier chez la variété Déglet-Nour (Ouargla). Mém., Ing., Agro., université de Ouargla, 108 p.
- Marescot L. (2006) Introduction à l'imagerie électrique du sous-sol. *Bull. SVSN., vol. 90, n°1, pp 23-40.*
- Mathieu C. et Pieltain F. (2009) Analyse chimique des sols. *TEC. & DOC., Paris*, 378 p.
- Mc Neill J.D. (1980) Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction "Géonics Tech". Note TN6, Canada, 275 p.
- Merabet S. (2011) Etude comparative de deux systèmes aquatiques dans le Sahara septentrional (Chott Merouane et Ain El Beida), environnement et signes de dégradation. mém., Ing., Agro., université de Ouargla, 141 p.
- Messaoudi N. (2010) Contribution à la dynamique de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla. Mém., Ing., université de Ouargla, 37 p.

- Michot D. (2003) Intérêt de la géophysique de subsurface et de la télédétection multispectrale pour la cartographie des sols et le suivi de leur fonctionnement hydrique à l'échelle intraparcellaire. Thèse de Doc., Pierre et Marie CURIE (Paris VI), Paris, 393 p.
- Montoroi J.P.I., Grünberger O., Sukchan S. & Kungklang N. (2002) Estimation de la salinité des sols du Nord-est de la Thaïlande par électromagnétisme en domaine fréquentiel. *ORSTOM.*, France, 5 p.
- Nasrat A. (2007) Contribution à l'étude de l'expérience de la concession agricole dans le périmètre de khchem Errih (Région de Ouargla cas de l'exploitation de l'I.T.A.S). Mém., Ing., Agro., université de Ouargla, 76 p.
- Nezli I.E. (2009) Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Thèse de doc., Université Mohamed Kheider, Biskra, Algérie, 117 p.
- Nezli I.E., Achour S. & Djabri L. (2007) Approche géochimique des sols processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la Basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). *Larhyss Journal*, n° 06, pp121-134.
- ONM. (2012) Office National de la Météorologie, synthèse de données climatiques de la région de Ouargla, 267 p.
- Rhoades J.D., Chanduvi F. & Lesch S.M. (1999) 'Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements.' FAO edn. (FAO) 150 p.
- Roudart L. (2006) Terres cultivées et terres cultivables dans le monde. INA., Paris(Grigno) , 11 p.
- Schneider S. (2010) Estimation des paramètres hydrodynamiques des sols à partir d'une modalisation inverse de Données d'infiltration et de résistivité électrique. Thèse de doc., Université Paris-Sud 11 , Paris, 146 p.
- Slimani A. (2012) Contribution au recensement et à la compartimentation des sels de la série neutre sur les horizons supérieures des sols naturels de la cuvette de Ouargla. Mém., Ing., Agro., université de Ouargla, 56 p.
- UNESCO. (2002) La lutte contre la désertification. Ressources en eau douce et réhabilitation des terres dégradées dans les zones arides. In 'Séminaire international sur la lutte contre

- la désertification', 30 octobre au 4 novembre 2000 2002, N'djamena (Tchad). (Ed. MAB-UNESCO), 135 p.
- Wade M. (1998) Cartographie de la salinité dans la zone de Ngnith. Rapport de stage, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, 27 p.
- Walter C. (1990) Estimation de propriétés du sol et quantification de leur variabilité à moyenne échelle : Cartographie pédologique et géostatistique dans le sud de Lille et Vilaine (France). Thèse de doc., université de Paris 6, Paris, 172 p.
- Youcefi M. (2011) Etude de l'impact de l'hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla. mém., mag., université de Ouargla, 122 p.

# *Annexes*

### **Etalonnage de l'EM38**

-Vérifier la batterie en plaçant l'interrupteur ON-OFF-BAT dans la position BAT, si une valeur supérieure à 720 afficher donc la batterie est chargée, si c'est le cas :

- Placer l'interrupteur sur la position ON et laisser l'appareil réchauffer pendant 15 mn, puis en passe aux les étapes suivantes :

#### **Etape 1 :**

Placer la sonde EM38 dans la position verticale. Avec l'interrupteur «MODE» dans la position Q/P gauche, déplacer le dial «Q/P ZERO» jusqu'à obtenir de 0 mS/m.

#### **Etape 2 :**

Avec l'interrupteur «MODE» dans la position I/P droite, déplacer les dials «COARSE» et «FINE» jusqu'à obtenir une lecture 0 mS/m.

Remettre l'interrupteur «MODE» en position Q/P et vérifier que la lecture est 0 mS/m. Si la lecture ne donne pas 0 mS/m, déplacer encore le dial Q/P ZERO jusqu'à ce que la lecture soit 0 mS/m.

#### **Etape 3 :**

Soulever EM38 à 1.5m au-dessus de la surface de sol en position horizontale.

#### **Etape 4 :**

Avec l'interrupteur «MODE» en position Q/P gauche, déplacer le dial «Q/P ZERO» jusqu'à obtenir une lecture 0mS/m.

Avec l'interrupteur «MODE» en position I/P droite, déplacer les dials «COARSE» et «FINE» jusqu'à obtenir une lecture de 0 mS/m.

Remettez le «MODE» en position Q/P gauche et vérifier que la lecture est 0mS/m. Si le cas contraire, déplacer encore le dial «Q/P ZERO» jusqu'à ce que la lecture soit 0 mS/m.

#### **Etape 5 :**

Avec l'interrupteur «MODE» en position Q/P gauche, déplacer le dial «Q/P ZERO» jusqu'à ce qu'il donne une valeur arbitraire.

Changer EM38 en position verticale et lire la valeur mesurée.

Calculer la différence entre la lecture horizontale et la lecture verticale.

**Etape6 :**

Avec l'interrupteur «MODE» en position Q/P gauche et l'EM38 dans la position horizontale, déplacer le dial «Q/P ZERO» jusqu'à ce que la lecture soit la valeur calculée dans l'étape 5.

Tourner EM38 en position verticale. La lecture devrait être le double de la valeur obtenue en position horizontale.

**Tableau1 : Les donnes climatiques de la région de Ouargla (2002-2012) (ONM., 2012).**

	Température(C°)			Précipitation (mm)	Vitesse de vent (mm)	Evaporation (mm)	Humidité (%)
	Min.moy	Max.moy	Moyenne				
Janvier	3	17.6	10.5	8.8	10.61	82.83	58.41
Février	5.23	20.33	12.59	1.13	12.84	118.96	53.31
Mars	9.27	24.69	16.93	13.06	14.8	166.53	47.56
Avril	13.74	29.45	21.62	1.2	16.33	204.33	43.73
Mai	17.61	34.07	26.08	0.82	17.56	301.9	40.34
Juin	22.94	39.42	31.7	0.29	16.81	349.42	36.01
Juillet	26.29	43.16	34.75	0.11	14.1	413.27	34.37
Aout	25.33	41.92	33.84	0.6	14.53	385.31	38.4
Septembre	20.98	35.99	28.89	3.23	14.69	272.87	47.69
Octobre	15.9	30.79	23.5	5.62	12.01	199.44	51.08
Novembre	8.32	22.32	15.64	4.95	9.31	121.89	56.3
Décembre	4.3	17.79	11.08	2.31	9.53	83.43	58.5
Moyenne	14.4091667	29.7941667	22.26	3.51	13.5933333	225.015	47.1416667
Cumule* annuel				42.12*		2700.18*	

**Résumé-** Notre travail a été réalisé sur des sols sableux salés au sein d'une l'exploitation phoenicicole en zone aride. L'objectif de ce travail est la comparaison entre la précision de deux méthodes de cartographie de la salinité en milieu oasisien. Il s'agit de la méthode électromagnétique utilisant le conductivimètre EM38 et de la méthode électrique selon le dispositif Wenner.

Les résultats de ces deux méthodes ont été comparés aux résultats des analyses de laboratoire de la conductivité électrique des extraits aqueux 1/5 ( $CE_{1.5}$ ) des prélèvements de sol.

Les principaux résultats obtenus sur 159 points de mesures EM38 et de résistivité apparente ( $R_a$ ) indiquent que le sol est plus conducteur en surface qu'en profondeur.

En outre, les résultats des corrélations indiquent qu'il y a une relation positive et significative entre la conductivité électromagnétique  $CEaH$  et  $CE_{1.5}$  des prélèvements à 10, 25, 30, 50 et 60 cm. En revanche, il n'y a pas de relation statistique significative entre la résistivité électrique ( $R_a$ ) et la conductivité électrique ( $CE_{1.5}$ ).

L'étude de la variation temporelle des  $CEa$ , indique que les mesures verticales ( $CEaV$ ) et horizontales ( $CEaH$ ) ont augmenté en mars 2013 par rapport aux mesures de novembre 2010 dans les deux parcelles. La conductivité en surface ( $CEaH$ ) est la plus importante par rapport à celle observée en profondeur ( $CEaV$ ).

**Mots clés :** salinité, conductivité électromagnétique (EM38), résistivité électrique, milieu oasisien, Ouargla

### رسم خريطة الملوحة بطريقتين مختلفتين في وسط واحاتي . حالة غابة نخيل جامعة ورقلة

**المخلص -** العمل المنجز كان على تربة رملية مالحة. داخل غابة نخيل في منطقة جافة. الهدف من هذا العمل هو المقارنة بين دقة الطريقتين لرسم خريطة الملوحة في وسط واحاتي: الطريقة الكهرومغناطيسية بواسطة جهاز قياس الناقلية EM38 والطريقة الكهربية على حسب تركيبية WENNER .

نتائج الطريقتين قارناها بنتائج التحليل المخبرية عن طريق قياس للناقلية الكهربية للمستخلص المائي لعينات التربة 1/5. النتائج الأساسية التي وجدت على قياس 159 نقطة ب EM38 ، وقياس المقاومة الظاهرية ( $R_a$ ) تبين ان ناقلية التربة في السطح أكثر مما عليه في العمق. كذلك، نتائج العلاقات المتبادلة تبين أن هناك علاقة ايجابية بليغة بين الناقلية الكهرومغناطيسية  $CEaH$  والناقلية الكهربية للمستخلص المائي للتربة 1/5 للعينات 10، 25، 30، 50، 60 سم. على العكس ليس هناك علاقة إحصائية بليغة بين المقاومة الظاهرية ( $R_a$ ) و الناقلية الكهربية لمستخلص التربة 1/5.

دراسة الناقلية الكهربية الظاهرية في التغير الزمني ، تبين أن القياسات العمودية والأفقية لها زادت في شهر مارس 2013 مقارنة بقياسات شهر نوفمبر 2010 في القطعتين. ناقلية السطح ( $CEaH$ ) أكثر مقارنة بالعمق ( $CEaV$ ) .

**الكلمات المفتاحية:** الملوحة، الناقلية الكهرومغناطيسية، المقاومة الكهربية، الوسط الواحاتي، ورقلة.

### Salinity mapping by two different methods oasis area. Case for palm grove of Ouargla

**Summary-** Our work has been done on salty sandy soils within a in grove palm in arid area. The objective of this work is the comparison between the accuracy of two methods for mapping salinity oasis environment. This is the electromagnetic method using the EM38 conductivity and electrical method according to the Wenner device.

The results of these two methods were compared with the results of laboratory tests of the electrical conductivity of aqueous extracts 1/5 ( $CE_{1.5}$ ) soil samples.

The main results of 159 points EM38 measures and apparent resistivity ( $R_a$ ) indicates that the soil is more conductive surface only depth.

In addition, the results of the correlations indicate that there is a positive and significant relationship between electromagnetic conductivity  $CEaH$  and  $CE_{1.5}$  samples at 10, 25, 30, 50 and 60 cm. However, there is no significant statistical relationship between the electrical resistivity ( $R_a$ ) and electrical conductivity ( $CE_{1.5}$ ).

The study of the temporal variation of  $CEa$  indicates that vertical measurements ( $CEaV$ ) and horizontal ( $CEaH$ ) increased in March 2013 compared with November 2010 measurements in the two plots. The surface conductivity ( $CEaH$ ) is the most important to that observed in deep ( $CEaV$ ).

**Keywords:** salinity, electromagnetic conductivity (EM38), electrical resistivity, oasis environment, Ouargla.