

**UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA -**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA  
TERRE ET DE L'UNIVERS**

***Département des Sciences Agronomiques***



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

*En Vue De L'obtention Du Diplôme D'ingénieur d'Etat*

*Spécialité : Agronomie saharien*

*Option : Mise en valeur des sols saharienne*

**THEME**

***Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité  
en milieux sableux. Cas de la palmeraie de  
l'Université de Ouargla***

*Présenté et soutenu publiquement par :*

**M<sup>lle</sup> MESSAOUDI Noussaiba .**

*Le 04/10/2010.*

**Devant le jury :**

<b>Président :</b>	<b>Mr HAMDIAISSA Belhaj</b>	<b>M.C.A Univ Ouargla</b>
<b>Promoteur :</b>	<b>Mr BERKAL Ismaiel</b>	<b>M.A.A Univ Ouargla</b>
<b>Co-promoteur :</b>	<b>Mr IDDER Med Abd Elhak</b>	<b>M.A.A Univ Ouargla</b>
<b>Examineur :</b>	<b>Mr DADDI BOUHOUN Mustapha</b>	<b>M.A.A Univ Ouargla</b>
<b>Examineur :</b>	<b>Mr DJILI Ibrahim</b>	<b>M.A.A Univ Ouargla</b>

**Année Universitaire : 2009/2010**

## Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'université de Ouargla

### Résumé :

L'objectif de ce travail est d'étudier la variabilité spatiale de la salinité en milieu aride et sableux sous l'influence d'une nappe salée.

L'analyse de 900 points mesurés à l'EM38 indique que la salinité du sol présente une grande variabilité en surface; conductivité électromagnétique horizontal et en profondeur; conductivité électromagnétique vertical avec des valeurs élevées dans la partie Ouest de l'exploitation. Les secteurs Sud de l'exploitation sont moins exposés à la salinité, contrairement aux secteurs Nord où la nappe est plus proche de la surface.

Les résultats indiquent, que l'irrigation mal gérée serait responsable de la salinisation des sols de secteurs étudiés

**Mots clefs :** salinité, conductivité électrique, conductivité électromagnétique (EM38), nappe phréatique, Ouargla

:

! " # \$ % & ' ! ( ) & \* + ,

@? B!( @ 4 > \$ 97" @? < 4 = 6 # \$ +78 20 ;: EM38 3 45 900 . ' /0 12

!8 # M N"(2- ! L9( '5@-9!004! 2?H # M ; -9!004! E9\$ FGH (19 J5K C%!( 4 > \$ 97"

-< 4 0950 >+ \*ç

20 Q.M. R4 & JS? \$ 4 ;: P @ ?2

-

5 I " 01 I(EM38) I 4 > \$ 97" @? I 27" 5? I -: ! " #

### Contribution to the study of the dynamics of salinity in sandy areas. Case of the Palmeral of the University of Ouargla

#### Summary :

This work aims to investigate the spatial variability of salinity in arid and sandy areas under the influence of a tablecloth salted.

900 Points measured at the EM38 analysis indicates that the salinity of the soil presents a great variability (CEH) surface and depth (CEV) with higher in the West of the operating part values. South farm sectors are less exposed to salinity, unlike North areas where groundwater is closer to the surface.

The results indicate that poorly managed irrigation would be responsible for the sectors studied soil salinization

**Key words:** salinity, electrical conductivity, electromagnetic conductivity (EM38), groundwater, Ouargla

# Remerciement

*Avant tous, je remercie **Allah** tout puissant de m'avoir donné le courage, la vaillance et la patience pour terminer ce travail.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur **BERKAL Ismaeil** mon promoteur qui propose ce sujet.*

*Je dois une mention particulière à Monsieur **IDDER M<sup>ed</sup> Abed El Hak** mon Co-promoteur qui m'aide beaucoup pour terminer ce travail.*

*Je remercie Monsieur **HAMDI AISSA Belhadj** pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de jury, Monsieur **DADDI BOUHOUN Mustapha** et Monsieur **DJILI Brahim**.*

*Je remercie mes enseignants qui m'aident en particulier Monsieur **SAGGAI Ali***

*N'oublier pas le directeur de laboratoire de conservation des écosystèmes dans les zones arides et semi-arides et n'oublier pas **M<sup>elle</sup> SAIH** et **M<sup>elle</sup> BOUGHABA**.*

*Je tiens aussi à remercier les personnels de laboratoire des travaux publics et surtout **M<sup>r</sup> HAFSI**.*

*Enfin je remercie mes collègues qui n'ont économisés aucun effort pour m'aider et tous la promotion **22<sup>eme</sup>** Agronomie saharien.*

# Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

## Chapitre I: Bibliographie

1. Méthodes de mesure de la salinité du sol.....	03
1.1. La mesure de la conductivité électrique.....	03
1.2. La méthode électromagnétique.....	03
2. Le Géonics EM38.....	04
2.1. Mode d'utilisation principal.....	04
2.2. La réponse de l'EM 38.....	05
3. Traitement des données.....	05
3.1. La variographie.....	06
4. Systèmes d'information géographique (S.I.G).....	06

## Chapitre II: Présentation de la région d'étude

1. Situation géographique et cadre physique.....	08
1.1. Le milieu physique.....	08
1.1.1. Géologie de la région.....	08
1.1.2. Pédologie de la région.....	08
1.1.3. Géomorphologie de la région.....	08
1.1.4. Topographie de la région.....	09
1.1.5. Hydrographie de la région.....	09
1.1.6. Hydrogéologie de la région.....	09
1.2. Climatologie de la région.....	10
1.2.1. Température.....	10
1.2.2. Précipitation.....	10
1.2.3. Evaporation.....	10
1.2.4. Insolation.....	11
1.2.5. Vents.....	11
1.2.6. Humidité relative.....	11
1.3. Synthèse climatique.....	11
1.3.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN.....	11
1.3.2. Climagramme d'EMBERGER.....	11
2. Caractéristiques chimiques du sol et des eaux de l'exploitation	14
2.1. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol des parcelles cultivées.....	14
2.1.1. Conductivité électrique.....	14
2.1.2. Le pH.....	14
2.1.3. Le calcaire et le gypse.....	14
2.1.4. La matière organique et l'azote total.....	15
2.2. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol des parcelles non cultivées.....	15
2.2.1. La conductivité électrique.....	15
2.2.2. Le pH.....	15

2.2.3. Le calcaire et le gypse.....	15
2.2.4. La matière organique.....	15
2.3. Caractéristiques chimiques de l'eau d'irrigation.....	16
2.4. Caractéristiques de l'eau de la nappe phréatique.....	16

### **Chapitre III: Matériels et Méthodologie de travail**

1. Choix du site expérimental.....	17
2. Présentation du site expérimentale.....	17
3. Echantillonnage.....	18
4. Méthodes d'analyse.....	18
4.1. Analyses physiques.....	18
4.1.1. Humidité.....	18
4.2. Analyses chimiques.....	18
4.2.2. Conductivité électrique C.E.....	18
5. Mesure de la conductivité électromagnétique.....	19

### **Chapitre IV: Résultats et discussions**

1. Relation CEV-CEH.....	20
2. Corrélation des données (CEa et CE 1/5).....	21
2.1. Relation CEH-CE <sub>h1</sub> .....	22
2.2. Relation CEH-CE <sub>h2</sub> .....	22
2.3. Relation CEH-CE <sub>h3</sub> .....	23
2.4. Relation CEH- CE <sub>moy</sub> .....	24
2.5. Relation CEV-CE <sub>h1</sub> .....	25
2.6. Relation CEV-CE <sub>h2</sub> .....	25
2.7. Relation CEV-CE <sub>h3</sub> .....	26
2.8. Relation CEV-CE <sub>moy</sub> .....	24
3. Les cartes d'isovaleurs de CEa.....	27
3.1. La carte de CEV.....	27
3.2. La carte de CEH.....	30
4. Relation entre la remontés de la nappe et la salinisation du sol.....	32
Conclusion générale.....	34
Références bibliographiques.....	35
Annexe	

## Liste des tableaux

<b>N°</b>	<b>Titre de tableau</b>	<b>Page</b>
01	variabilité de CEa V	21
02	variabilité de CE H	21
03	variabilité de Ratio CEV/CEH	21

## Liste des Figures

N°	Titre de figure	Page
Figure 01	Le Géonics EM38	04
Figure 02	EM38 en mode vertical	05
Figure 03	EM 38 en mode horizontal	05
Figure 04	Diagramme Ombrothermique de la station de Ouargla (1997-2009)	11
Figure 05	Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla	13
Figure 06	Délimitation du site expérimental	17
Figure 07	GPS de type GARMIN 72	18
Figure 08	Relation entre CEV et CEH	20
Figure 09	Relation entre CEH et $CE_{h1}$	22
Figure 10	Relation entre CEH et $CE_{h2}$	23
Figure 11	Relation entre CEH et $CE_{h3}$	24
Figure 12	Relation entre CEH et $CE_{moy}$	24
Figure 13	Relation entre CEV et $CE_{h1}$	25
Figure 14	Relation entre CEV et $CE_{h2}$	26
Figure 15	Relation entre CEV et $CE_{h3}$	26
Figure 16	Relation entre CEV et $CE_{moy}$	27
Figure 17	Carte de la salinité en mode vertical (CEV)	29
Figure 18	Carte de salinité en mode horizontale (CEH)	31
Figure 19	Fluctuation de la nappe phréatique au moment de l'étude	32

## Liste des abréviations

- **A.N.R.H.:** Agence National des Ressources Hydriques.
- **B.N.E.D.E.R. :** Bureau Nationale D'étude Pour Le Développement Rural
- **C.E. :** Conductivité électrique.
- **C.E.a. :** Conductivité électrique apparente.
- **C.E.H:** Conductivité électromagnétique horizontale.
- **C.E.h1:** Conductivité électrique à profondeur 1.
- **C.E.h2:** Conductivité électrique de profondeur 2.
- **C.E.h3:** Conductivité électrique de profondeur 3.
- **C.E.M:** Conductivité électromagnétique.
- **C.E.moy:** Conductivité électrique moyenne.
- **C.E.V :** Conductivité électromagnétique verticale.
- **O.N.M.:** Office National des Météorologie.
- **S.A.R.:** Sodium adsorption ratio.
- **S.I.G :** Système d'information géographique.

### **Introduction générale**

Les conditions climatiques hyper-arides du désert (précipitations < 100 mm/an) font que l'irrigation est indispensable pour le développement agricole. Mais l'évacuation des eaux salées (2-8 g/l) (d'origine souterraine) après utilisation dans un système endoréïque a entraîné la remontée de la nappe superficielle, la salinisation et l'hydromorphie, mettant en péril la qualité des sols et de l'environnement (HAMDI-AÏSSA ET GIRARD, 2000).

Les contraintes imposées par le phénomène de salinisation intense sont mieux illustrées par une cartographie de la couverture pédologique selon le concept d'état de surface (HAMDI-AÏSSA ET GIRARD, 2000).

En Algérie, de l'Est à l'Ouest, et de la côte au Sahara, les sols agricoles sont dans leur forte majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958 in BENBRAHIM, 2001).

La région de Ouargla, est l'une des régions qui affectée par les sels et qui présente de multiple problèmes en particulier la remonté de la nappe phréatique, un déficit de drainage, méconnaissance des techniques culturales, une eau d'irrigation salée, l'aridité du climat sont autans de facteurs qui accentuent ce problème.

La ville située au fond d'une vaste dépression sans exutoire notable ou la nappe phréatique salée est souvent à fleur du sol ; est ainsi assiégée de grandes surfaces de chotts et de sebkhas (SCHIRMER, 1893 in IDDER 2006).

Il existe différentes méthodes de cartographie de la salinité des sols. La méthode classique généralement utilisée consiste à déterminer, à partir de quelques mesures de la conductivité électrique (CE) sur extrait aqueux, la valeur moyenne de la salinité d'une unité pédologique ou d'une parcelle.

Cependant des travaux antérieurs sur la variabilité et les possibilités de cartographie numériques de la salinité révèlent que l'étude de la répartition spatiale des sels dans le sol par la mesure de la conductivité électrique (CE) sur extrait aqueux est difficile du fait de leur grande variabilité (DIBA, 1995). De plus la quantité de sel mesurée sur un échantillon ne peut pas être extrapolée à un grand volume de sol, la répartition spatiale

des sels étant généralement très hétérogène. Or la cartographie des sols salés doit tenir compte de cette grande hétérogénéité.

Notre travail qui a pour l'objectif, une caractérisation de la variabilité spatiale de la salinité on utilisant la conductivité électromagnétique. On tentera par la suite, une description de la dynamique spatiale de la salinité à l'échelle d'un sol cultivé et d'un sol nu, caractérisée par une texture sableuse et en présence d'une nappe salée à faible profondeur.

Ce document est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre traitera une bibliographie succincte. Le deuxième chapitre comporte la présentation de la région d'étude. Dans le troisième chapitre on présentera les matériels et la méthodologie de travail. Le quatrième chapitre traitera les résultats obtenus. Enfin on terminera par une conclusion.

**Chapitre I**  
**BIBLIOGRAPHIE**

**Chapitre II**  
**Matériels et**  
**méthodologie de**  
**travail**

# **Chapitre IV**

## **Résultats et discussions**

# **Conclusion Générale**



# **Références bibliographiques**

# **Annexe**

# **Introduction générale**

**Chapitre III**  
**Présentation de la**  
**région d'étude**

### Chapitre I: bibliographie

#### 1. Méthodes de mesure de la salinité du sol

La salinité du sol peut être mesurée par différentes méthodes, parmi ces méthodes on cite:

##### 1.1. La mesure de la conductivité électrique

Elle est mesurée à partir l'extrait de pate saturé ou l'extrait dilué par un conductivimètre électrique.

##### 1.2. La méthode électromagnétique

La conductivité électromagnétique (CEM) est une technique de géophysique récemment adaptée à l'étude des sols (De JONC et al., 1979). 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 (BOIVIN et al, 1988 in MAHDI, 2008). Généralement utilisées en valeurs relatives, les mesures de la conductivité électrique apparente (CEa) peuvent être calibrées par rapport à une méthode d'extraction de la solution du sol et de mesure de la CE au laboratoire (CORWIN ET RHOADES, 1990; McKENZIE et al., 1989; WOLLENHAUPT et al., 1986; MONTOROI, 1997). 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 WADE, 1998).

Le conductivimètre électromagnétique est alimenté par un courant alternatif. Il est composé de deux solénoïdes verticaux. Le premier envoie dans le sol un champ magnétique constant induisant des courants ( $H_p$ : champ magnétique secondaire au niveau de la bobine réceptrice), ces courants créent à leur tour suivant la loi d'Ampère un champ magnétique proportionnel à la surface des lignes de courant ( $H_s$ : champ magnétique primaire au niveau de la bobine émettrice), donc à la conductivité électrique du sol. Ce champ est capté par un

solénoïde récepteur qui le transforme en réponse galvanométrique. (Mc NEILL, 1980):

Le rapport entre les deux champs magnétique ( $H_s / H_p$ ) est proportionnel à la conductivité électrique apparente  $CEa$  selon l'équation de Mc NEILL (1980):

$$CEa = \frac{4}{2\pi f \mu_0} (H_s/H_p)$$

Avec

$CEa$ : conductivité électrique apparente du sol en mho/cm

$f$ : fréquence (Hz)

$\mu_0$ : perméabilité de l'espace libre ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m)

$H_s$ : champ magnétique secondaire au niveau d la bobine réceptrice

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

## 2. Le Géonics EM38

L'appareil utilisé pour les mesures de la conductivité électrique est un EM-38 de Géonics qui considéré comme le conductivimètre électromagnétique le plus utile et le plus rapide pour l'identification et la cartographie des sols salés (JOB et al, 1990). C'est un appareil facile à utiliser et nécessite une batterie de neuf volts pour fonctionner.

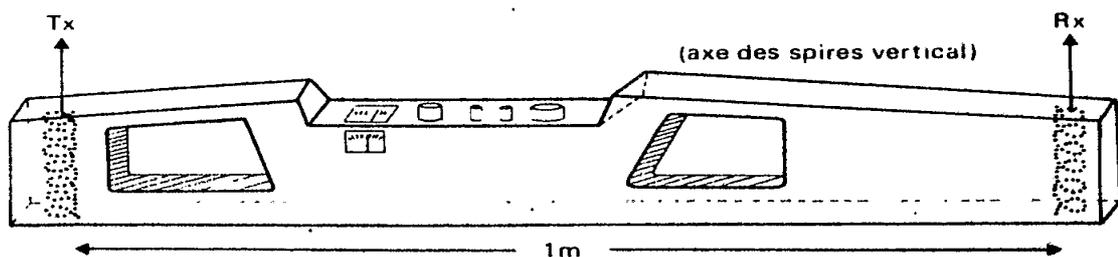


Figure 01: Le Géonics EM38

### 2.1. Mode d'utilisation principal

Pour la mesure, on peut orienter les grands axes des solénoïdes de départ, soit perpendiculairement à la surface du sol, mesure notée (CEV), ce

mode permet de prospecter une profondeur allant jusqu'à 1,5m, soit parallèlement à celui-ci (CEH), l'appareil étant alors horizontal qui permet de donner des lectures électromagnétiques jusqu'à 0,75m. 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: CEV et CEH, qui représentent une salinité apparente globale. Pour chaque type de sol, on peut relier l'une ou l'autre de ces valeurs, soit avec leur moyenne globale des conductivités des extraits soit avec leur moyenne pondérée suivant la profondeur (MENETLL, 1984).

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 électromagnétique émise), de son mode d'utilisation (dipôle émetteur-récepteur vertical ou horizontal, réponse non uniforme avec la profondeur) et des caractéristiques physico-chimiques du sol (teneurs en eau et en argile, minéralisation de la solution du sol, compacité...) (Mc Neill, 1980).



**Figure 02:** EM38 en mode vertical



**Figure 03:** EM38 en mode horizontal

### 2.2. La réponse de l'EM 38

La contribution du sol dans le champ magnétique secondaire capté par la bobine réceptrice varie d'une couche à une autre. Cette variation est dépendante de la forme et des caractéristiques des bobines, de leurs positions relatives et de la fréquence du courant inducteur (JOB et al., 1990).

### 3. Traitement des données

Les données acquises par l'EM 38 sont dans un premier temps étalonnées en utilisant des équations appropriées, elles seront par la suite traitées par des méthodes géostatistiques.

La géostatistique désigne la modélisation statistique de données spatiales. Les méthodes géostatistiques se basent sur l'analyse de la structure spatiale et se réfèrent à la théorie des variables régionalisées (MATHERON, 1965 in MAHDI, 2008).

#### 3.1. La variographie

La variographie décrit une continuité spatiale d'un phénomène à travers le variogramme. Le variogramme se définit comme étant la variance qui existe entre deux points associés à deux valeurs et d'une propriété connue et séparés par une distance.

#### 3.2. Le krigeage

Le krigeage est une méthode d'interpolation spatiale, il porte le nom de son précurseur krige D.G. qui développé en 1951 une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. Le krigeage vise à prévoir ou à estimer la valeur d'une variable régionalisée étudiée en un site non échantillonnée par une combinaison linéaire des données (BAILLAREON, 2005 in MAHDI 2008)

### 4. Systèmes d'information géographique (S.I.G)

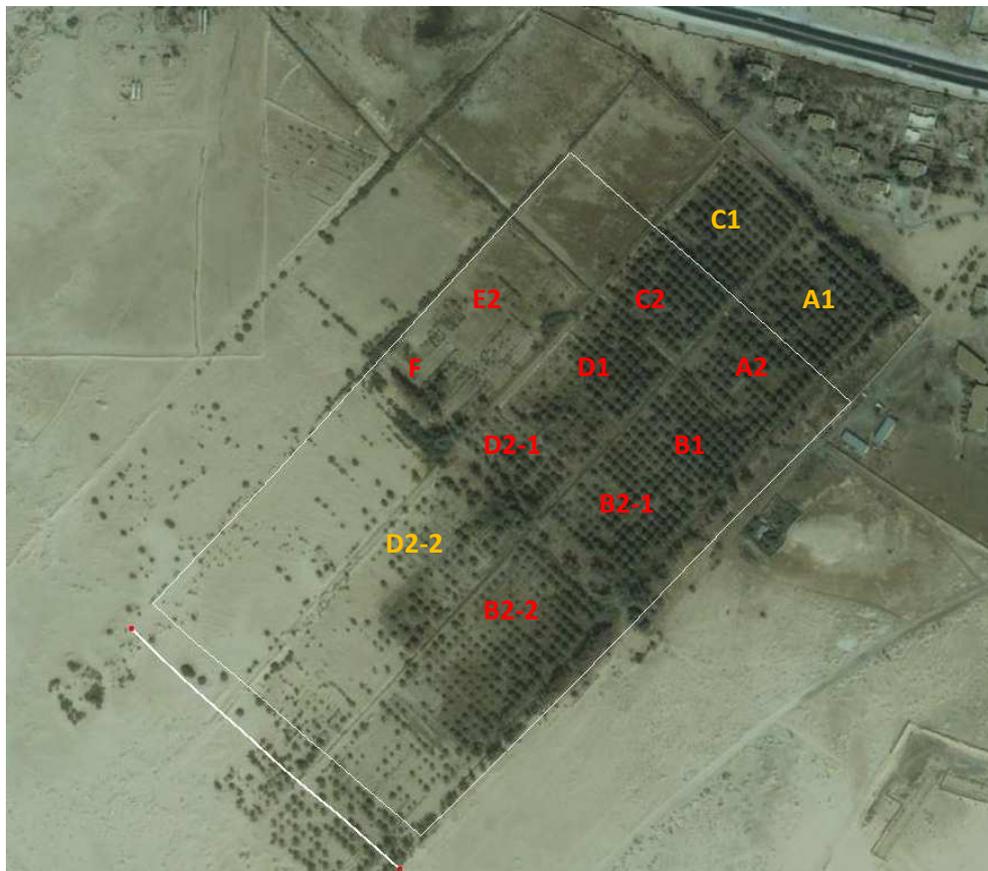
Le développement des Systèmes d'information géographique (SIG) a débuté vers 1980, en relation directe avec les performances de l'informatique. Il s'accélère actuellement et une très forte croissance est à prévoir au cours de cette décennie.

Un SIG est une base de données numérisées dans laquelle sont stockées des informations variées mais ayant un dénominateur commun : elles sont toutes repérées par leur position géographique à la surface de la Terre. On dit, de ce fait, qu'elles sont géocodées ou géoréférencées ; d'où l'expression aussi employée de Système d'information géocodée. (BRABANT, 1992)

Un SIG peut stocker des informations sur des objets de nature très diverse, par exemple : topographique, climatique, pédologique, agronomique, socio-économique. Connaissant les relations spatiales existant entre ces objets, il est possible de croiser et de traiter ces données. Aussi l'utilisation d'un SIG correspond à une activité pluridisciplinaire (BRABANT, 1992 ; JAMAGNE et al., 1993 in BERKAL, 2006)

## 1. Choix du site expérimental

Notre travail a été réalisé sur tous les secteurs cultivés en référence à ( $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_{2-1}$ ,  $B_{2-2}$ ,  $C_2$ ,  $D_1$  et  $D_{2-1}$ ) et les deux parcelles nues ( $E_2$  et  $F$ ) de l'exploitation de l'université de Ouargla ex. I.T.A.S. Les secteurs en questions sont influencés par les facteurs climatiques et à la remontée de la nappe phréatique d'une part et à l'influence de la culture et de l'irrigation d'une autre part.



**Figure 06: Délimitation du site expérimental** (image Google Earth, 2001)

## 2. Présentation du site expérimentale

L'exploitation de l'université a été créée en 1959 par le service colonial pour sa mise en valeur. Elle fut confiée à l'I.T.A.S en 1979 dans un but pédagogique et scientifique. Ses Coordonnée U.T.M, Fuseau 31 sont :  $X = 819,82 \text{ Km}$  et

$Y = 3547,22 \text{ Km}$ .

L'exploitation couvre une superficie de 32 hectares, divisée en secteurs de 3.6 hectares chacun. Huit secteurs sont aménagés et les autres forment l'extension, pratiquement inexploitées.

Le palmier dattier est la principale spéculation agricole. Le réseau de drainage est constitué de drains à ciel ouvert, débouchant sur un collecteur principal. Il est important de signaler que ces drains sont non fonctionnels.

### **3. Echantillonnage**

Des sondages au nombre de 30, ont été effectués sur trois profondeurs (0-10; 10-25; 25-50 cm). La localisation des points est déterminée avec un GPS de type GARMIN 72.



**Figure 07: GPS de type GARMIN 72**

## **4. Méthodes d'analyse**

### **4.1. Analyses physiques**

#### **4.1.1. Humidité**

Elle été mesurer juste après le prélèvement du sol.

### **4.2. Analyses chimiques**

#### **4.2.2. Conductivité électrique C.E**

Elle est mesurée sur l'extrait aqueux de rapport sol/eau (1/5).

## **5. Mesure de la conductivité électromagnétique**

Pour la mesure de la conductivité électromagnétique, nous avons utilisé l'EM 38 dans l'ensemble des parcelles selon un plan systématique de 10 m. Au niveau de chaque point, nous avons réalisé deux (02) lectures, une vertical et l'autre horizontal. Les mesures vont être calibrées par les conductivités électriques de l'extrait aqueux qui sera mesurée au laboratoire. Nous avons alors obtenu une conductivité pour 900 points, en mode vertical (CEV) et en mode horizontal (CEH).

L'EM38 permet d'augmenter la résolution de mesure de la salinité, en limitant les difficultés de prélèvements classiques, vu la lourdeur de l'opération et son caractère destructif.

### **Les traitements statistiques**

Les traitements statistiques ont été réalisés avec le logiciel STATISTICA 6 version française. Ils autorisent, à partir de descripteurs pertinents basés sur des représentations descriptives de tendance centrale (moyenne, médiane et mode) et de dispersion (étendue, écart-type, variance) une expression convenant bien aux besoins de ce travail

### **Les cartes d'isovaleurs**

Les cartes de la salinité ont été réalisées par l'utilisation d'un logiciel de cartographie en l'occurrence Arc GIS version 9.3, version françaises. On a réalisés deux cartes l'une de la salinité horizontal (CEH) et l'autre de la salinité vertical (CEV).

### **Fluctuation de la nappe phréatique**

Pour mesurer le niveau de la nappe phréatique nous avons utilisé une sonde électrique afin de déterminer la fluctuation de la nappe.

## **Chapitre II: présentation de la région d'étude**

### **1. Situation géographique et cadre physique**

Selon D.P.A.T. (2008), la wilaya de Ouargla est située au Sud-est du pays couvrant une superficie de 163,230 Km<sup>2</sup>. Elle demeure une des collectivités administratives les plus étendues du pays. Elle est limitée :

- Au nord : par les Wilayas de Djelfa, d'El-Oued et de Biskra ;
- A l'Est : par la Tunisie ;
- Au Sud : par les Wilayas de Tamanrasset et d'Illizi ;
- A l'Ouest : par la Wilaya de Ghardaïa.

#### **1.1. Le milieu physique**

##### **1.1.1. Géologie de la région**

Le relief de Ouargla est constitué des roches sédimentaires, alluvions et colluvions dérivées des Marnes jaunâtres plus ou moins gréseuses, salées et gypseuses, Calcaires jaunâtres ou ocre, gréseux ou marneux, Argiles sableuses rouges à ocres, salées et gypseuses, Grés, sables et conglomérats, Calcaires lacustres et les sables récents du quaternaire.

##### **1.1.2. Pédologie de la région**

La couverture pédologique de la région de Ouargla présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes : sols minéraux brutes, sols hydromorphes et sols halomorphes (DAOUD et HALITIM, 1994).

##### **1.1.3. Géomorphologie de la région**

Selon ROUVILOIS-BRIGOL (1975), la dissymétrie de la vallée est marquée par la présence d'une falaise occidentale (le baten) particulièrement nette et continue, tandis que la limite orientale est beaucoup moins précise ; à l'Ouest, un plateau calcaire surplombe la cuvette (à environ 230 d'altitude) en confluence de l'oued M'Zab et de l'oued N'sa et au delà le long de l'Oued Right. La limite est moins nette à l'Est, le plateau très démantelé ne dépasse pas 160m d'altitude et son rebord disparaît souvent sous les sables des ergs. Le massif dunaire recouvre les ruines de Sedrata au Sud, son altitude dépasse 150m dominant de 20 m le point le plus bas de la vallée qui, à cette

altitude se trouve au pied du baten occidental. Au Nord, la vallée reprend une direction (sud-sud-ouest)-(nord-nord-est). La Sebkhia Safioune en occupe le centre, tandis que ses rives sont couvertes de massifs dunaires.

En fin tout le long de la vallée, les Sebkhias et les massifs dunaires altèrent avec les fonds sur lesquels se sont installées les cultures irriguées et bours.

#### **1.1.4. Topographie de la région**

D'après ROUVILOIS-BRIGOL (1975), la pente générale de la vallée est légèrement inférieure à 1%. Néanmoins, elle reste variable par endroit. Elle est de 2% du pied du Djebel Abbad à la rive de la Sebkhia de Ouargla, par contre, au nord de la Sebkhia jusqu'à la palmeraie de N'Goussa, la pente est régulière et se situe autour de 1. 8%. Après le seuil de N'Goussa, la topographie devient pratiquement plane jusqu'aux rives de la sebkhia Safioune où la pente est réduite à 0.6%.

#### **1.1.5. Hydrographie de la région**

Oued Mya est un Oued fossile, dont la source se situait au Sud dans les massifs montagneux du Tadmait, traversait, autrefois Ouargla avant de recevoir au niveau de la Sebkhia Safioune, les apports de l'Oued M'zab et de l'Oued N'sa. (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

#### **1.1.6. Hydrogéologie de la région**

Selon l'A.N.R.H. (2000), il existe trois aquifères dans la région de Ouargla

##### **1.1.6.1. La nappe phréatique**

La nappe phréatique est contenue dans les sables alluviaux de la vallée. Elle s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée, sa profondeur varie de 1 à 8 m selon les lieux et les saisons. Les eaux de la nappe phréatique sont très salées (50 g/l). (A.N.R.H., 2000).

##### **1.1.6.2. La nappe du complexe terminal**

La nappe du complexe terminal est constituée de deux nappes, la nappe de Miopliocène et la nappe de Sénonien (A.N.R.H., 2000).

#### **1.1.6.2.1. Nappe de Miopliocène**

La nappe du Miopliocène dite nappe des sables fût à l'origine des palmeraies irriguées. La salinité de la nappe du Miopliocène varie de 1,8 à 4,6 g/l (A.N.R.H., 2000).

#### **1.1.6.2.2. Nappe de Sénonien**

La nappe de Sénonien est mal connue, elle est exploitée à des profondeurs allant de 140 à 200 m environ. Son débit a limité son utilisation malgré la bonne qualité de ces eaux. La salinité de cette nappe selon NEZLI (2009) est aussi très variable 3,76 à 5,48 dS/m.

#### **1.1.6.3. La nappe Albienne**

La nappe Albienne est la nappe du continental intercalaire. La profondeur moyenne d'un forage d'exploitation dans la région de Ouargla, est comprise entre 1000 à 1500 m généralement leur salinité est moins de 2 g/l (B.N.E.D.E.R., 1992 in BENBRAHIM, 2006).

### **1.2. Climatologie de la région**

D'après ROUVILOIS-BRIGOL (1975), le climat de Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

#### **1.2.1. Température**

La température moyenne annuelle est de 23,4°C avec une température mensuelle de mois le plus froid (janvier) est de 11,7°C et la plus chaude est de 35°C le mois d'Aout (O.N.M, 2009).

#### **1.2.2. Précipitation**

Les précipitations sont très rare est présente une irrégularité mensuelle est annuelle, elle est d'environ 38.7 mm (O.N.M., 2009).

#### **1.2.3. Evaporation**

Le moyen de l'évaporation est d'environ 269mm. Elle atteint sa valeur maximale le mois de juillet avec 484,1mm et une valeur minimale moyenne le mois de janvier qui est de 102 mm (O.N.M., 2009).

### 1.2.4. Insolation

La durée d'insolation dans la cuvette d'Ouargla est de 267 heures/mois (O.N.M., 2009).

### 1.2.5. Vents

Ils soufflent du Nord-est et du Sud, ils sont fréquent le printemps avec une vitesse moyenne annuelle est de 3,7 m/s (O.N.M., 2009).

### 1.2.6. Humidité relative (Hr)

Elle présente une moyenne annuelle de 40,6%.

## 1.3. Synthèse climatique

### 1.3.1. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOUP

Selon la figure ci-dessous la période sèche s'étale tout l'année

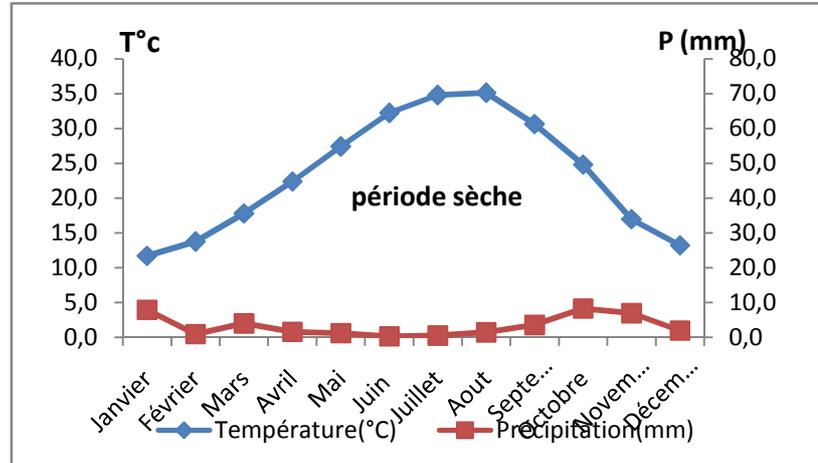


Figure 04 : Diagramme Ombrothermique de la station de Ouargla (1997-2009)

### 1.3.2. 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 par la relation

$$Q_3 = 3,43 \times P / (M - m) \text{ (STEWART, 1969).}$$

Avec :

- P : précipitation moyenne annuelle 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 05, la cuvette de Ouargla est située dans l'étage saharien à hiver doux et son  $Q_3$  est égale à 3.42

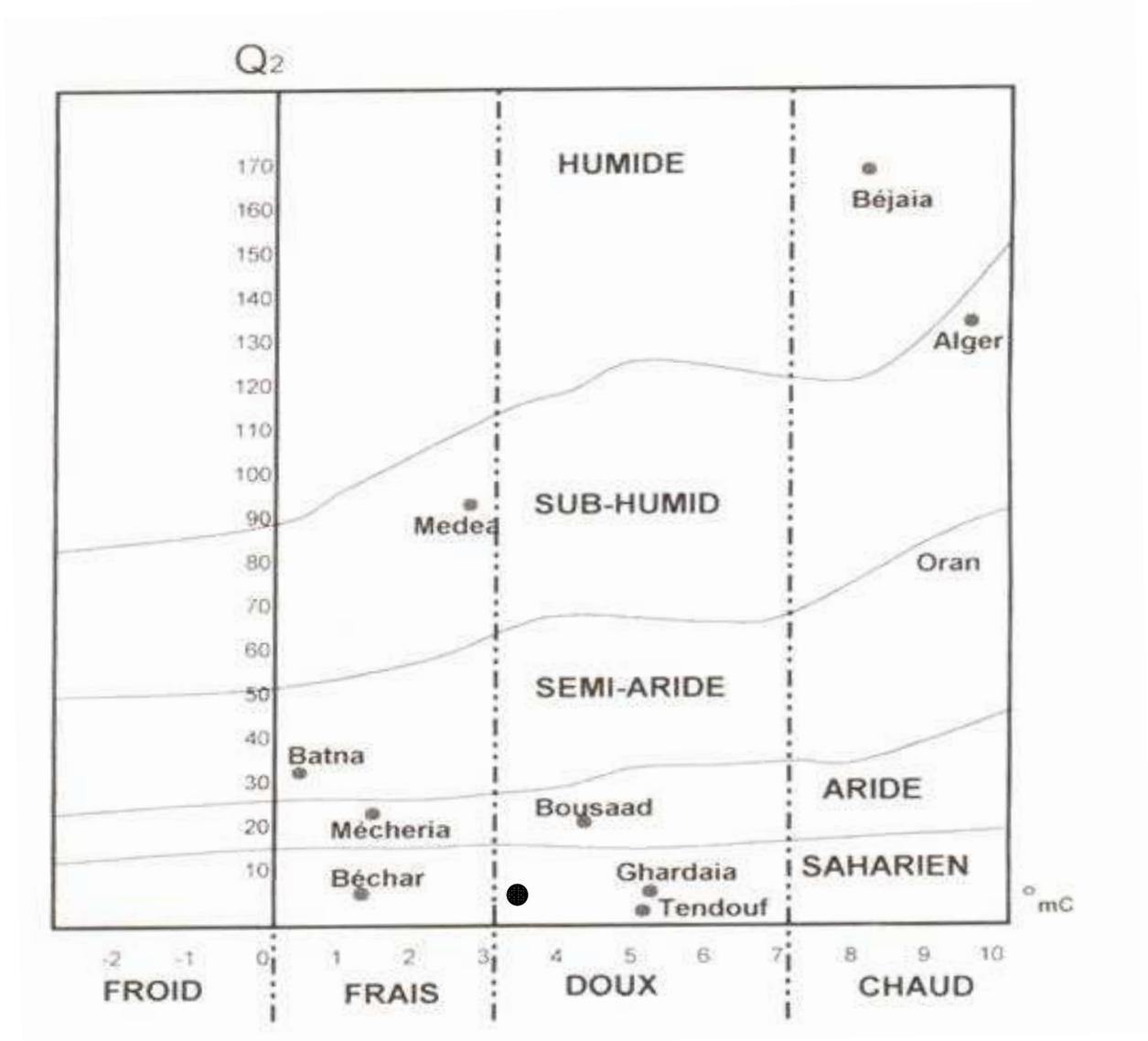


Figure 05: Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla

## **2. Caractéristiques chimiques du sol et des eaux de l'exploitation de l'université de Ouargla**

Comme tous les sols de Sahara, le sol de l'exploitation de l'université de Ouargla a connu des changements dans leurs caractéristiques physiques, chimiques ou physico-chimiques. Plusieurs études ont été réalisées au niveau l'exploitation. BENZAHY (1994), BENBRAHIM (2001), OULED SIDI BELA (2001), MESSITFA, 2002, IDDER (2006) et BERRABEH (2009). Elles traitent dans leur majorité le problème de la salinité du sol par la fluctuation de la nappe phréatique et de l'eau d'irrigation.

Dans cette partie en présentera l'évolution des caractéristiques chimiques du sol et de l'eau d'irrigation, afin de déterminer l'influence de l'une sur l'autre.

### **2.1. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol des parcelles cultivées**

#### **2.1.1. Conductivité électrique**

Selon les études réalisées sur l'exploitation a compté de l'année 1994 jusqu'à l'année 2009, il est clair que la salinité est le paramètre le plus variable, méritant ainsi un suivi minutieux et continu, compte tenu des taux de la salure dans le sol en question.

Les différents travaux antérieurs ont montré de nettes augmentations de la salure. Elle a atteint selon BENZAHY (1994) 3,73 dS/m donc le sol est salé. Les travaux de OUELED SIDI BELLA, 2001 et MESSITFA, 2002 montrent que le sol s'est salinisé d'avantage puisque la valeur de la conductivité électrique a atteint 8,35 dS/m; le sol devient par conséquent très salé à extrêmement salé. Enfin, selon la dernière étude de BERRABEH en 2009, la salure du sol de l'exploitation est excessive avec une C.E qui avoisine les 19 dS/m. Les faciès chimiques sont chloruré sodique et sulfaté sodique.

#### **2.1.2. Le pH**

Le pH du sol est alcalin ( $7,70 \leq \text{pH} \leq 8,70$ ). Ses valeurs sont croissantes avec les années (BENZAHY, 1994 ; BENBRAHIM, 2001; MESSITFA, 2002 ; BERRABAH, 2009).

#### **2.1.3. Le calcaire et le gypse**

Le sol de l'exploitation est non calcaire. Le gypse quant à lui, s'accumule dans les horizons de profondeur. Leur teneur est très élevés et en augmentation au fil des années.

Les travaux de BENZAHI(1994), BENBRAHIM (2001) et BERRABEH (2009) ont démontré cette évolution de gypse essentiellement en profondeur. Le bilan chiffré est respectivement 56%, 61% et 62%.

#### **2.1.4. La matière organique et l'azote total**

D'après la bibliographie, les sols de la région d'étude sont très pauvres en matière organique ( $MO \leq 1\%$ ). Elles le sont également pour l'azote total qui se situent entre 0,8 et 2,4% (BERRABEH, 2009). Les travaux des autres auteurs ont confirmé cette mémoire.

### **2.2. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol des parcelles non cultivées**

#### **2.2.1. La conductivité électrique**

Peu de travaux sont réalisés sur les secteurs non cultivés. On peut citer les travaux de BENBRAHIM (2001), IDDER (2006) et BERRABEH (2009).

Le sol est caractérisé par une forte salinité puisque les valeurs de la conductivité électrique sont toujours élevées ( $CE \geq 20$  dS/m). Le faciès chimique global est chloruré sodique.

#### **2.2.2. Le pH**

Le pH du sol est compris entre 7,5 et 8,5. (BENBRAHIM, 2001; IDDER, 2006 ; BERRABEH, 2009).

#### **2.2.3. Le calcaire et le gypse**

Le sol est faiblement calcaire, son taux varie entre 0,14% et 1,16% IDDER(2006) et BERRABEH (2009). Le taux de gypse est très élevé (> 60%), il s'accumule généralement dans les horizons de profondeur.

#### **2.2.4. La matière organique**

Le taux de la matière organique est très faible ; il est toujours inférieur à 1%. (IDDER, 2006 ; BERRABAH, 2009).

## **Conclusion**

Selon IDDER, 2006 ; la mise en valeur de ce type de sol nécessite de lourds investissements et une inscription dans le moyen et long terme afin d'améliorer davantage ses propriétés bio-physico-chimiques.

### **2.3. Caractéristiques chimiques de l'eau d'irrigation**

L'eau d'irrigation provient de la nappe du Miopliocène, appartenant à la classe C5S3. Cette eau est de qualité médiocre donc déconseillée à l'irrigation sauf dans les sols bien drainés. Elle est salée (C.E à 25°C  $\geq 5$  dS/m), faiblement alcalin (pH  $\geq 7$ ), moyennement sodique ( $6,8 \leq SAR \% \leq 8,39$ ). Faciès chimique globale chloruré sodique.

### **2.4. Caractéristiques de l'eau de la nappe phréatique**

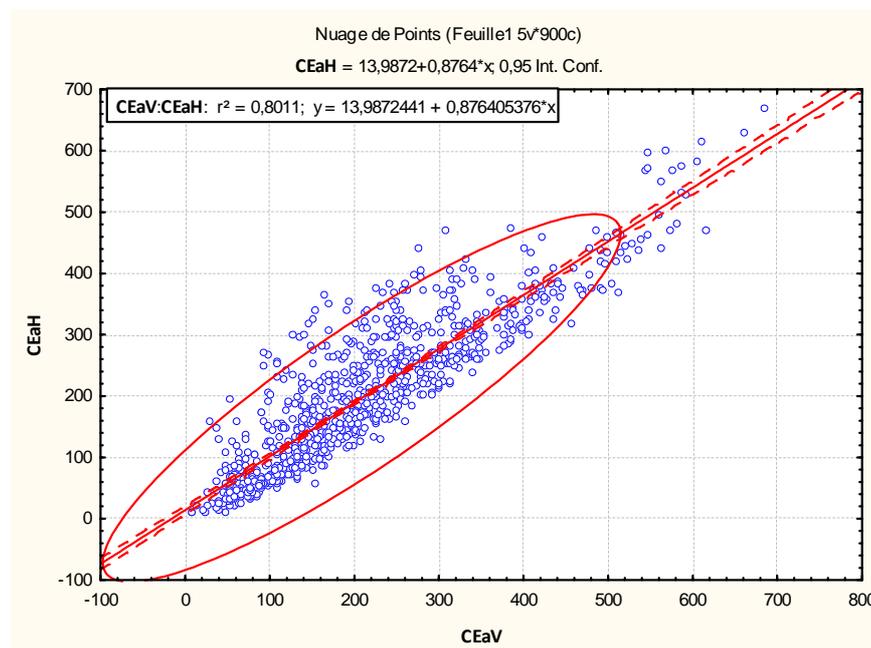
Les eaux phréatiques sont extrêmement salées; les valeurs de la conductivité électrique peuvent atteindre 31,1 dS/m dans la parcelle nue, fortement alcalin (pH=8,5) et faiblement sodiques avec un S.A.R de 13,85 dans la parcelle cultivée et fortement sodique dans la parcelle nue a S.A.R de 25,97. Elle est caractérisée par un faciès chimique global sulfaté sodique dans la parcelle cultivé et chloruré sodique dans la parcelle nue. La classe d'eau est C5S2. Cette eau est déconseillée pour l'irrigation. (DURAND, 1985).

## Chapitre IV: Résultats et discussions

Pour l'interprétation des résultats, nous avons retenu les classes de CE établies par Durand (1983) sur extrait de patte saturée à 25 °C.

### 1. Relation CEV-CEH

Selon le nuage de point de la figure 08, il existe une grande corrélation entre CEV et CEH. Une augmentation de la CEV s'accompagne par une augmentation de la CEH. Le coefficient de détermination est de 80%.



**Figure 08: Relation entre CEV et CEH**

### 2. Variabilité des paramètres mesurés

Les traitements statistiques ont été réalisés avec le logiciel STATISTICA 6 version française. Ils autorisent, à partir de descripteurs pertinents basés sur des représentations descriptives de tendance centrale (moyenne, médiane et mode) et de dispersion (étendue, écart-type, variance) une expression convenant bien aux besoins de ce travail.

## 2.1. CEaV

**Tableau 01: variabilité de CEa V**

N Actifs	Moyenne	Médiane	Mode	Effectif Mode	Somme	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type	Asymétrie
900	208,7067	189,0000	140,0000	9	187836,0	10,00000	685,0000	15538,86	124,6550	0,973542

Les résultats statistiques indiquent une grande variabilité de la salinité en profondeur. Cette variabilité est bien marquée par les valeurs de l'étendue

## 2.2. CEa H

**Tableau 02 : variabilité de CEa H**

N Actifs	Moyenne	Médiane	Mode	Somme	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type
900	196,8989	184,5000	Multiple	177209,0	9,000000	668,0000	14897,85	122,0567

Les statistiques indiquent également qu'il y a une grande variabilité spatiale de la salinité en surface. Un écart-type de 122 confirme cette tendance.

## 2.3 Ratio CEV / CEH

L'étude du ratio est importante, car il nous donne une idée sur l'accumulation saline. Elle est en surface si le ratio est inférieur à 1. Elle est par contre en profondeur si sa valeur est supérieure à 1.

**Tableau 03: variabilité de Ratio CEV/CEH**

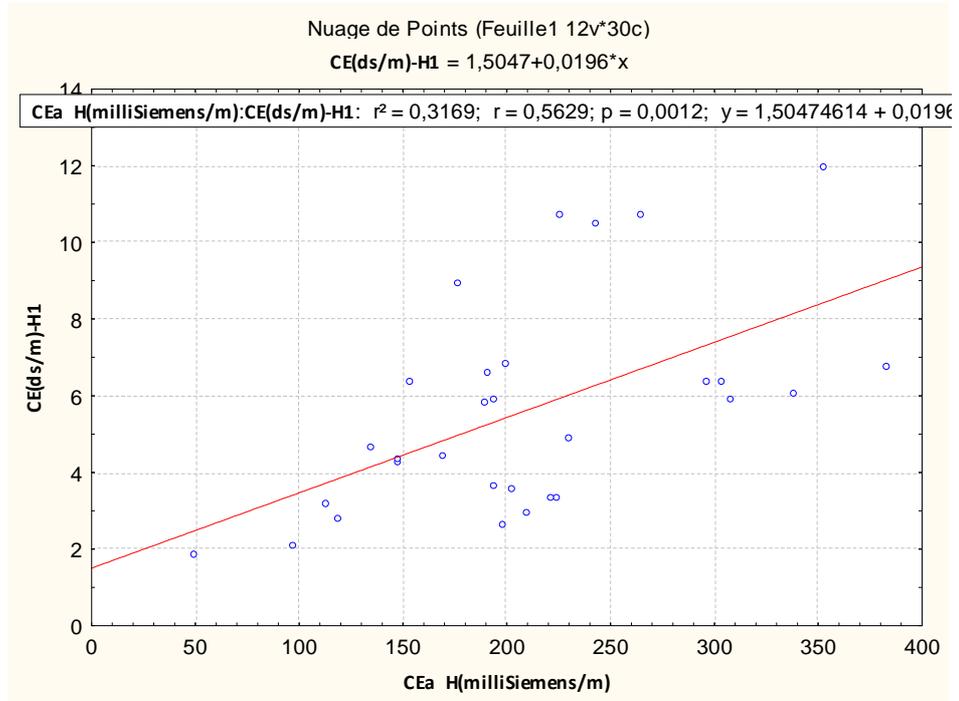
N Actifs	Moyenne	Médiane	Mode	Somme	Minimum	Maximum	Variance	Ecart-type	Asymétrie
900	1,194452	1,160692	1,000000	1075,007	0,198718	4,800000	0,188144	0,433756	1,561165

## 3. Corrélation des données (CEa et CE 1/5)

Nous allons voir la corrélation de la CEH et de la CEV avec les différentes CE (1/5) mesurées au laboratoire, sur des échantillons de sols prélevés à la tarière, sur trois profondeurs (0-10, 10-25, 25-50). Les traitements sont été appliqués sur 30 couples de données.

**3.1. Relation entre CEH-CE<sub>h1</sub>**

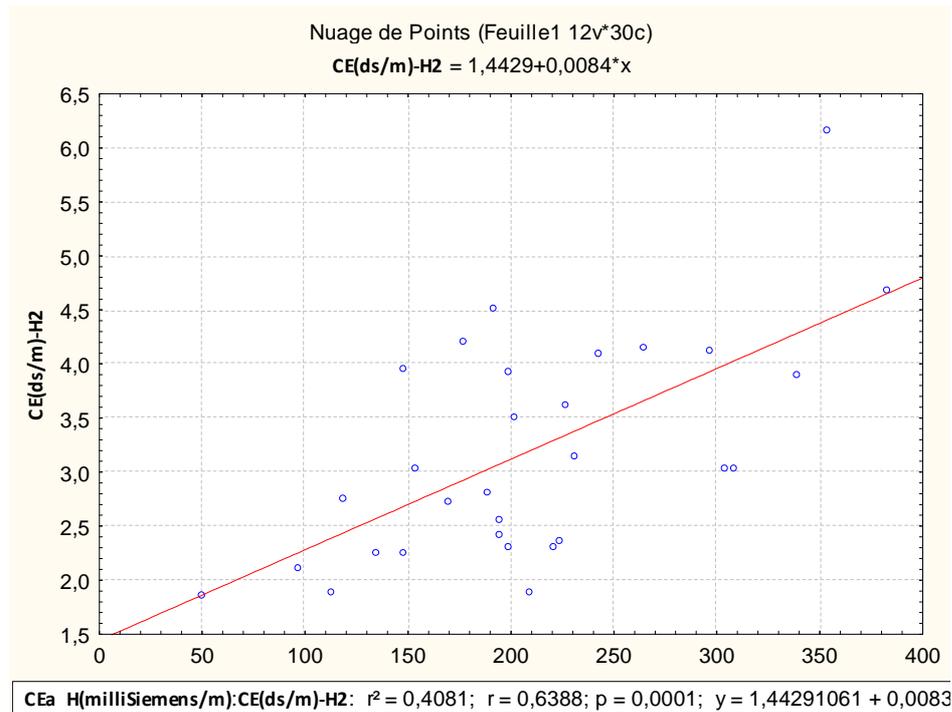
La figure 09 montre qu'il existe une relation entre la CEH et CE<sub>h1</sub>. La corrélation entre ces deux variables est significative car la valeur de coefficient de corrélation est positive ( $r = 0,5629$ ). Le nuage de point confirme ce résultat.



**Figure 09: Relation entre CEH et CE<sub>h1</sub>**

**3.2. Relation entre CEH-CE<sub>h2</sub>**

Selon la figure 10, il ya une relation entre les deux variables (CEH-CE<sub>h2</sub>). Le coefficient de corrélation montre que la corrélation est significatif ( $r=0,6388$ ).



**Figure 10: Relation entre CEH et CE<sub>h2</sub>**

**3.3. Relation entre CEH-CE<sub>h3</sub>**

La figure 11 montre qu'il y a également relation entre CEH et CE<sub>h3</sub>. Le coefficient de corrélation entre ces deux variables s'avère positif ( $r = 0,1858$ ). La droite de régression et l'allure de nuages de points indiquent que l'augmentation de la CEaH s'accompagne par une augmentation de la CE<sub>h3</sub>.

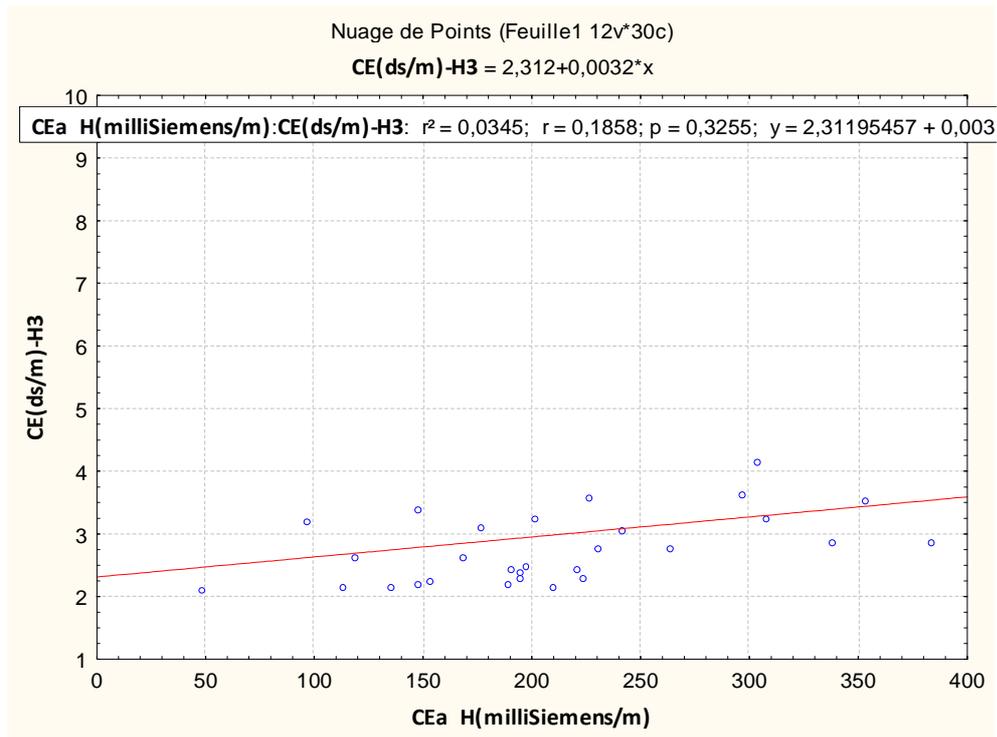


Figure 11: Relation entre CEH-CE<sub>h3</sub>

3.4. Relation entre CEH- CE<sub>moy</sub>

La relation entre la CEH et CE<sub>moy</sub> est bonne (figure 12). Le coefficient de corrélation est significative ( $r = 0,5796$ ).

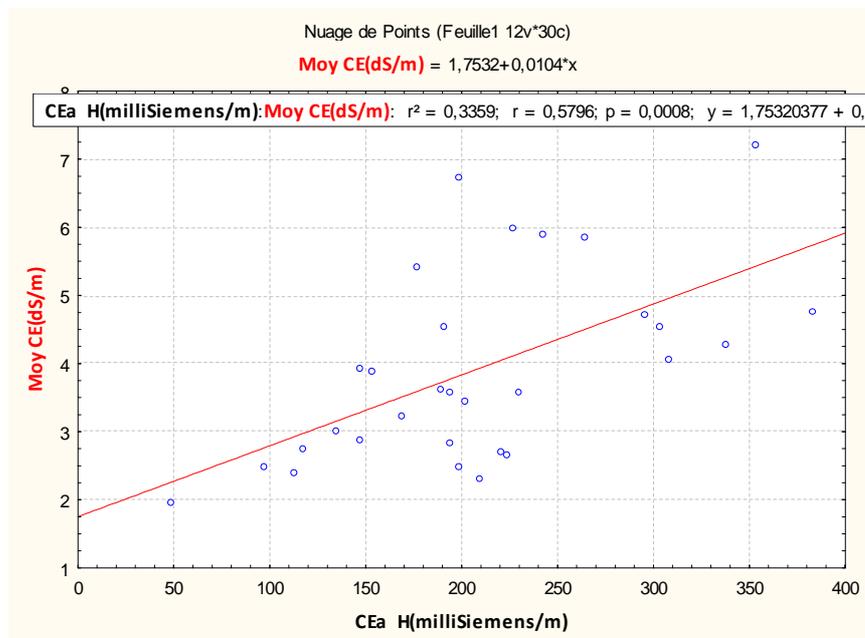


Figure 12: Relation entre CEH et CE<sub>moy</sub>

3.5. Relation CEV-CE<sub>h1</sub>

Selon la figure 13, il existe une faible relation entre CEV et CE<sub>h1</sub>. La corrélation est positive et son coefficient de corrélation est de 0,2842.

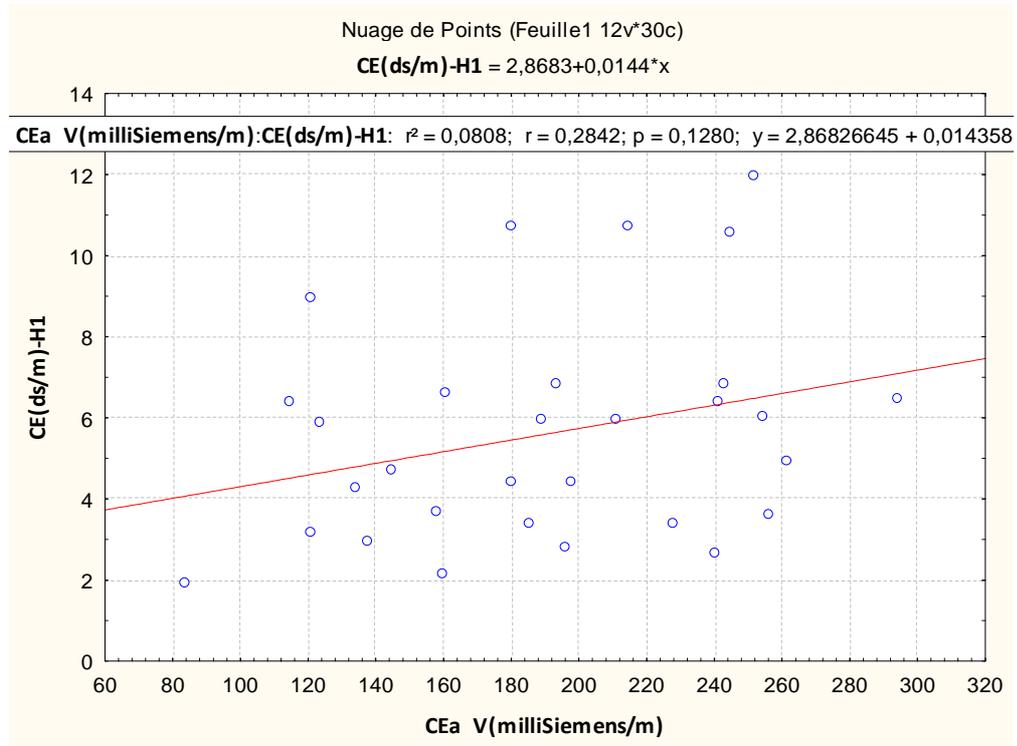


Figure 13: Relation entre CEV et CE<sub>h1</sub>

3.6. Relation CEV-CE<sub>h2</sub>

La relation entre ces deux variables est très faible car on peut remarquer que le nuage des points est évolué de façon séparé (figure 14). La corrélation est positive et son coefficient de détermination est d'environ 20%.

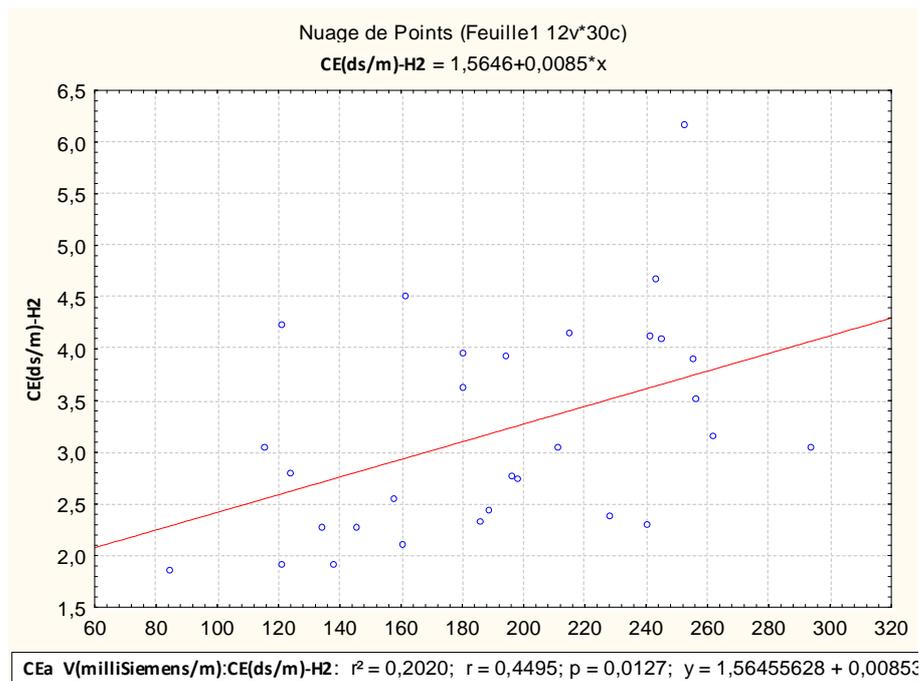


Figure 14: Relation entre CEV et CE<sub>h2</sub>

3.7. Relation CEV-CE<sub>h3</sub>

Le nuage de point de la figure 15 montre qu’une augmentation de la CEV s’accompagne par une augmentation de la CE<sub>h3</sub>. Le coefficient de corrélation confirme que cette relation est positive.

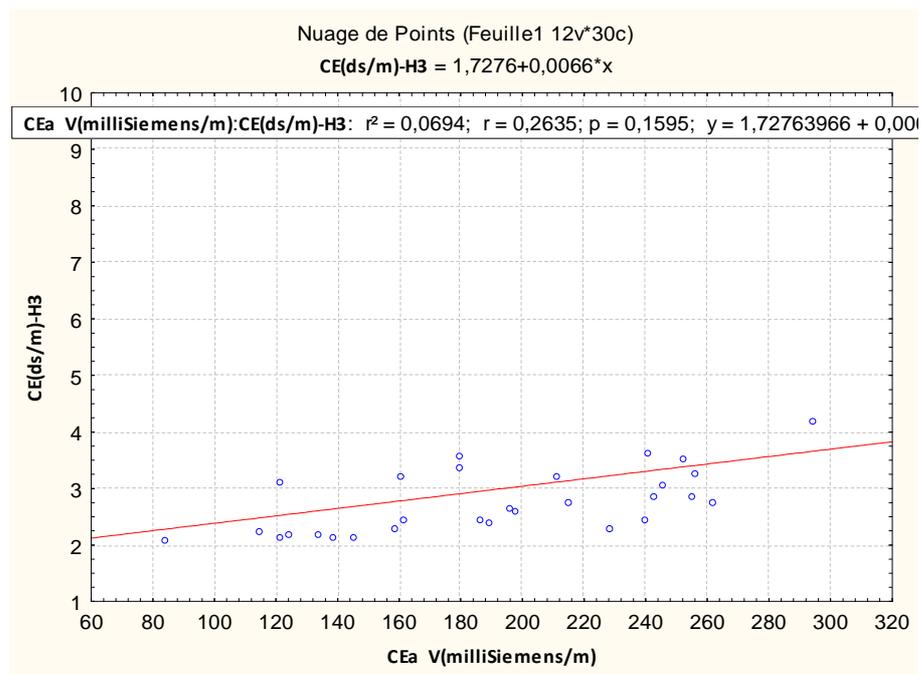
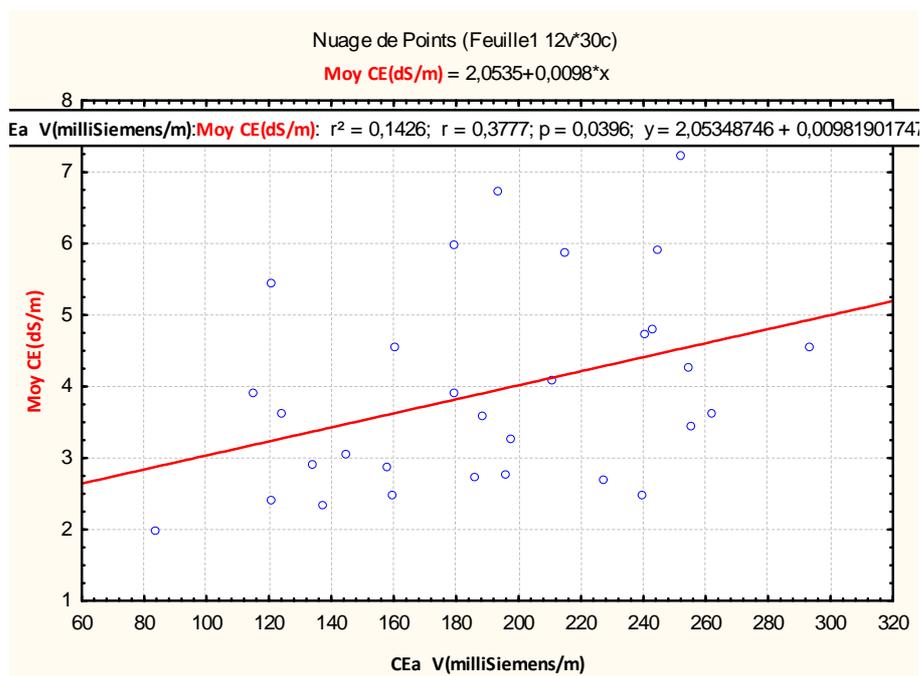


Figure 15: Relation entre CEV et CE<sub>h3</sub>

### 3.8. Relation CEV- $CE_{moy}$

La relation est étroite entre les deux variables (figure 16). La corrélation est significative ( $r = 0,3777$ ).



**Figure 16: Relation entre CEV et  $CE_{moy}$**

## 4. Les cartes d'isovaleurs de CEa

Les cartes de la salinité (CEV et CEH) ont été réalisées par l'utilisation d'un logiciel de cartographie en l'occurrence Arc GIS version 9.3, version françaises. Dans cette partie on visualisera la spatialisation de la salinité dans les secteurs de l'exploitation en mode verticale (salinité en profondeur) et en mode horizontale (salinité du surface).

Nous tenons à rappeler que la partie D2-2 n'était pas prospectée à l'EM38. Les résultats obtenus sur les cartes sont le fait une extrapolation obtenue par krigeage.

### 4.1. La carte de CEV

La carte de CEV (figure17) montre une hétérogénéité de la salinité en profondeur, dont on peut noter facilement cinq classes de salinité

Des sols non salin ( $C1 \leq 2$  dS/m), leur localisation est au coté Sud de l'exploitation dans le secteur  $B_{2-2}$  et une petite surface dans le secteur  $B_{2-1}$  et très petite surface en  $D_{2-2}$ . Ce

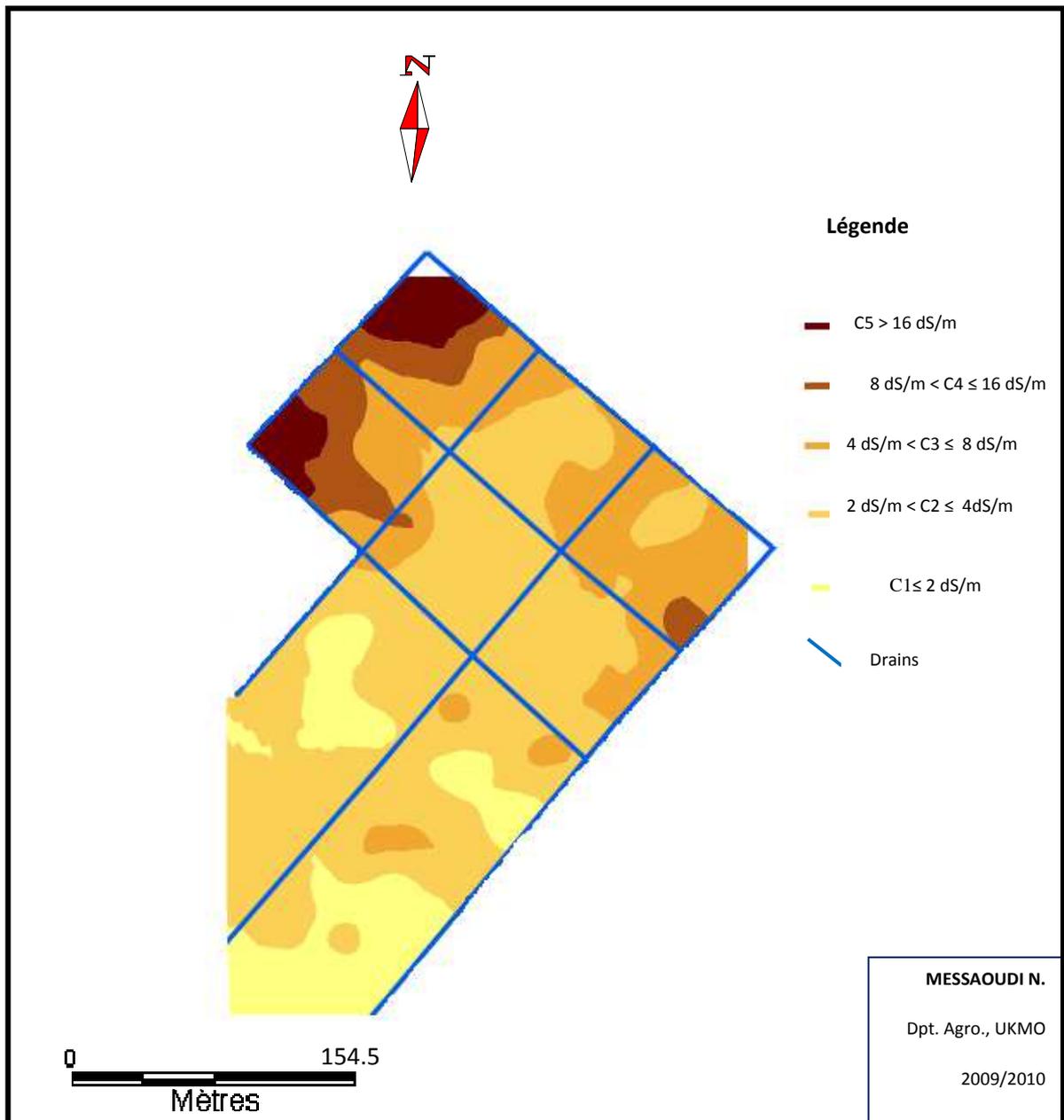
résultat serait le fait que la nappe est loin de la surface et que ces secteurs ne sont pas irrigués.

Les sols légèrement salin ( $2 \leq C2 \leq 4$  dS/m), occupent une grande surface de l'exploitation en particulier dans les secteurs cultivés.

Les sols salins ( $4 \text{ dS/m} \leq C3 \leq 8 \text{ dS/m}$ ) quant à eux, se localise essentiellement dans les secteurs  $A_2$ ,  $E_2$  et F et occupent une petite plage dans le secteur  $C_2$ .

Les secteurs  $E_2$ , F sont des sols très salin ( $8 \text{ dS/m} \leq C4 \leq 16 \text{ dS/m}$ ). Cette gamme de salinité est d'ailleurs bien localisée dans cette zone qui représente l'exutoire des drains. Néanmoins, une très petite plage dans le secteur  $A_2$  du côté des drains est à suivre.

Les sols sont également extrêmement salins ( $C5 \geq 16 \text{ dS/m}$ ), au niveau de la partie la plus proche des drains des secteurs E et F (parcelles nues), occupent une petite surface.



**Figure 17:** Carte de la salinité en mode vertical (CEV)

**4.2. La carte de CEH**

L'hétérogénéité de la salinité de surface est remarquable d'après la carte de CEH (figure 18), car on peut constater ce qui suit:

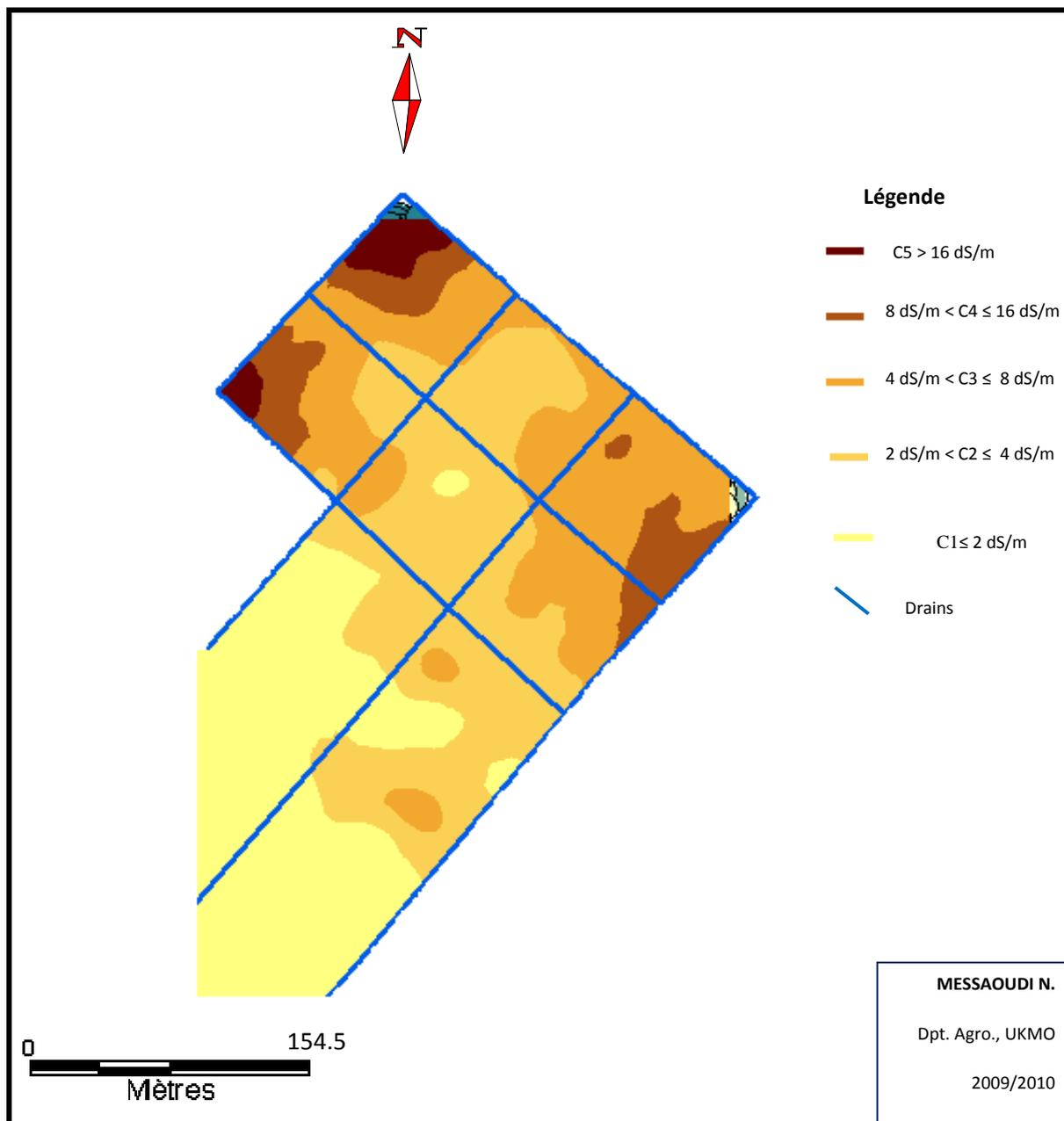
Des sols non salins ( $C1 \leq 2\text{dS/m}$ ), occupent une grande partie de l'exploitation (Sud) et dominent les secteurs B<sub>2-2</sub>, D2-2 et D<sub>2-1</sub> et une partie du secteur B2-1.

Les sols légèrement salins par contre, dominent le centre de l'exploitation avec des CE variant de 2dS/m à 4dS/m (dans les secteurs B2-1, D2-1, D1 et C2).

Les sols salins ( $4 \text{ dS/m} \leq C3 \leq 8 \text{ dS/m}$ ), sont bien représentés dans le côté Nord de l'exploitation surtout dans les secteurs A2, C2, E2, B1 et F. Il est bien clair que cette classe de sol domine le secteur A2. Ce résultat aurait comme cause, la remontée de la nappe phréatique proche de la surface dans ces secteurs.

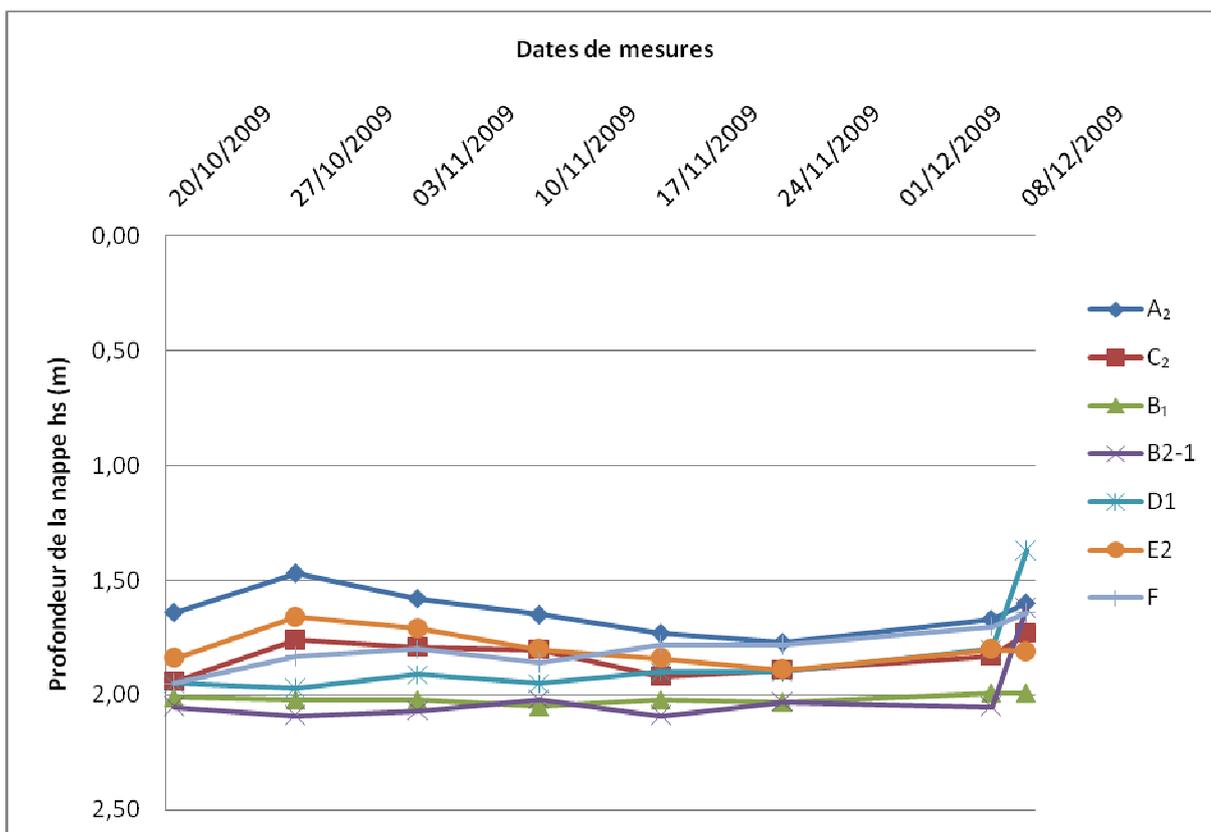
Les sols très salins, apparaissent dans les parcelles nues (E2 et F) et dans une petite surface dans le secteur A2 avec des CE qui variaient de 8dS/m à 16dS/m.

Pour les sols extrêmement salins ( $CE \geq 16 \text{ dS/m}$ ), cette classe a une faible représentation. Elle se localise dans les parcelles nues près des drains.



**Figure 18:** Carte de la salinité en mode horizontal (CEH)

5. Relation entre la remontés de la nappe et la salinisation du sol



**Figure 19:** Fluctuation de la nappe phréatique au moment de l'étude

Selon la figure 19, le niveau de la nappe n'est pas identique dans tous les secteurs de l'exploitation.

La nappe est profonde dans les secteurs B<sub>1</sub>, B<sub>2-1</sub> et D<sub>1</sub> (hs avoisine 2m) donc il aurait peu d'influence de la nappe sur la salinisation de sol, ce qui apparait bien sur les cartes de CEa (sol non salin et légèrement salin).

Le niveau hs de la nappe peut atteindre 1,9 m dans le secteur E<sub>2</sub> et reste dans ce niveau durant toute la période d'étude, mais on remarque que la salinité est extrême dans ce secteur donc l'eau de la nappe n'est pas la seule source de salinisation du sol.

Dans le secteur F, le niveau de la nappe est variable. Au début de l'étude la nappe est profonde (hs ≤ 2m) mais son niveau a connu une fluctuation (hs = 1,6m), au point que la

salinité est extrême dans ce secteur. Donc on peut dire que la nappe aurait contribué à la salinisation du sol.

Le niveau piézométrique de la nappe phréatique est faible dans les secteurs A2 et C2. Il peut atteindre 1,5m (dans A2). Néanmoins, le sol de ces secteurs est légèrement salin à salin. L'irrigation serait responsable de la diminution de la salinité par le phénomène de lixiviation des sels.

### Conclusion générale

L'étude qui nous avons réalisés sur un sol sableux au niveau de l'exploitation de l'université de Ouargla est un premier travail de caractérisation de la variabilité spatiale et temporelle de la salinité par l'utilisation de l'induction électromagnétique EM38.

Les résultats de l'étude, indiquent que la salinité du sol présente une grande variabilité en surface comme en profondeur. La salinité augmente surtout dans la partie Ouest de l'exploitation. Ce résultat est valable aussi bien pour les couches de surfaces (CEH) que pour les couches profondes (CEV).

Les cartes d'iso valeurs, indiquent que les secteurs Sud de l'exploitation sont moins exposés à la salinité, contrairement aux secteurs Nord où la nappe est plus proche de la surface.

La nappe phréatique aurait une influence sur la salinisation du sol. Cette action apparait surtout dans les parcelles nues et à un degré moindre dans les parcelles cultivées où la salinisation est faible, ce qui supposerait un effet de l'irrigation et de la texture sableuse du sol par le phénomène de lixiviation des sels.

La méthode électromagnétique permet donc d'augmenter la résolution de mesure de la salinité en limitant les difficultés de prélèvements classiques, ce qui facilitera à l'avenir un suivi rigoureux de la salinité dans ces vastes périmètres oasiens.

C'est dans cette optique, qu'un suivi temporel de la salinité est envisageable, dans le but de bien comprendre la dynamique des sels dans ces milieux oasiens à fin de préconiser des solutions pour ces milieux et mettre également en valeurs d'autres périmètres.

## **Références bibliographiques**

### ***Les organismes***

**A.N.R.H.(2010)** –Agence Nationale des Ressources Hydriques.

**2-C.D.R.S. (2010)**-Commissariat au Développement de l'Agriculture des régions Sahariennes.

**3-O.N.M(2010) (a)**– Office Nationale de Météorologie .données climatiques de la région d'Ouargla.

**4-O.N.M(2010) (b)**– Office Nationale de Météorologie .données climatiques de la région de Ghardaïa.

### ***Les auteurs***

**1-AIDOU A.,2005**-fonctionnement des écosystèmes méditerranéens conférences, Université de Rennes.

**2-BAAMEUR M., 2006** –Contribution à l'étude de la répartition biogéographique de la flore spontanée de la région de Ouargla (Sahara septentrional Est Algérien). Mém. Magi option protection des écosystèmes en zones arides. Univ. Ouargla, 100p.

**3-BARRY et FAUREL., 1974**- Carte de végétation de l'Algérie , feuille de Ghardaïa 1/500000 et notice .Inst. de l'Univ. D'Alger.

**4-BENSETTI S et HACINI H ., 2005** –contribution à l'étude phytoécologique des plantes médicinales dans la région de Ouargla . Mém. Ing . Eco., Univ . de Ouargla, 106p.

**5-BOUDET G., 1978**- Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. IEMVT., Ministère de la coopération. 258 pages.

**6-BOUDY P., 1950** - Economie forestière Nord-africaine, I, II, III, Edition Larose, Paris.

**7-BRAUN BLANQUET J., 1952** - Phytosociologie appliquée .S.I.G.M.A.1966.

**8-CAPOT-REY R., (1952)**. Les limites du Sahara français. Ed: Inst. Rech. Sah., Alger.TomeVIII. pp. 23-47.

**9-CHAHMA A ., 2005**- Etude floristique et nutritive des parcours camelins , de Sahara septentrional Algérien cas des régions de Ouargla et Ghardaïa . Ins. Biologie. Univer Annaba, thèse doctorat, 178p.

**10-CHAHMA A., 2006**- Catalogue des plants spontanés dans le Sahara septentrional, 148 p.

**11-CLAUDE F., CHRISTIANE F., PAUL M., JEAN D., 1998**-Ecologie approche et pratique. 4ème édition, paris, 190p.

**12-DUBIEF., 1953**- Essai sur hydrologie superficielle en sahara, Ed, Inst, Météo, Phys, Glob, Alg, Alger, 457p.

**13-DUBIEF., 1959**- Le climat du Sahara. Ed : Inst. Rech. Saha., Alger. Mémoire h.s. TomeI. 307 pages.

- 14-EMBERGER L., 1955**-une classification biologique des climats. Trav. Inst. Montpellier 721p.
- 15-EMBERGER et GODRON., 1983**- code le relevé méthodique de la végétation et du milieu –C.N.R.S. paris .160p.
- 16-GARDI R., 1973**- Sahara. Ed: Kummerly et Frey, Paris, 3ème edition. pp. 49-51.
- 17-GOUNOT ., 1969** – Méthode d'étude quantitative de la végétation. Ed. Masson et Cie, Paris, 314 p.
- 18-KAABECHE M., 1990**-les groupements végétaux de la région de Bou Saada (Algérie). Essai de synthèse sur la végétation steppique du maghreb. thèse doctorat,132p.
- 19-LACOSTE A .et SALANO R., 2001** – Elément de biogéographie et d'écologie .2 édition, Ed. NATAN université, parie, 318 p.
- 20-LE HOUEROU H. N., 1990** – Définition et limites bioclimatiques du Sahara. Sécheresse, 246.
- 21-LE HOUEROU H. N., 1995** - Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique. In cahier option méditerranéenne, série B, N° 10, Ed : C.I.H.E.A.M., Montpellier. pp. 15-31.
- 22-MONOD, 1992**-Du désert. Sécheresse,pp.7-24.
- 23-NEGGAZ., 2001**-Séminaire national sur la problématique de l'agriculture des zones arides de la reconversion, direction des services agricole. p 174.
- 24- OZENDA P., 1978** – Flore du Sahara septentrional et central. Ed. CNRS, paris, 486 p.
- 25-OZENDA P., 1964**- Biogéographie végétales .Ed. DOIN, Paris, 374p.
- 26- OZENDA P., 1983**- flore du Sahara 2ème Edition .Ed. CNRS, paris, 622 p.
- 27-OZENDA p., 1991**-Flore de Sahara (3 édition mise à jour et augmentée) Paris, Editions du CNRS. 662 pages. + Cartes.
- 28- OZENDA P., 2004**- flore du Sahara 3ème Edition .Ed. CNRS, paris, 666p.
- 29-QUEZEL P., et SANTA., 1962**- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. CNRS., T.2, Paris ,558p.
- 30- QUEZEL P. ,1965**- Végétation du Sahara du Tchad à la Mauritanie .Gustav Fischer verlag .Stuttgart . Ed Masson et Cie paris p.
- 31-RAMADE F., 1984** : Eléments d'écologie
- 32-RAUNKIAER.C., 1934**-The life forms of plant and statistical Plant geography. Ed. Collected papers, Clarendon press, Oxford, 632p.

**33-ROSELT/OSS., 2004-** Fiches techniques pour la construction dans ROSELT/OSS de quelques indicateurs écologiques et de la biodiversité végétale. Collection scientifique et technique ROSELT/OSS, C T n°14, Montpellier, 63 p.

**34-ROSELT/OSS., 2004-** Etude de la biodiversité dans l'observatoire pilote de Haddej – Bou Hedma (TUNISIE), collection ROSELT / OSS,CT n°7, Montpellier, 110 p.

**35-ROSELT/OSS., 2008-**Guide méthodologique pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation, Collection Roselt/OSS, CT n° 1, Tunis, 175 p.

**36-SCHIFFERS, 1971-**Die Sahara und ihre randgebiete. Ed Weltforum Verlag-Munchen. 674 pages.

**37-TEOFILW.,1985-** Guide de l'excursion internationale de phytosociologies , Algérie de Nord , Ed. Inst. INA. EL-Harrach, Alger, 274p.

## Références bibliographiques

- **A.N.R.H., 2000** : Note relatives à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla, 11p.
- **BENBRAHIM F., 2001** : Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivée et non cultivée dans la cuvette de Ouargla (cas de l'exploitation de l'I.T.A.S), Mém., Ing., IAS, Ouargla, 115p.
- **BENBRAHIM F., 2009** : Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région de Ouargla (Cas de Hassi Ben Abdellah). Mém., Mag., I.T.A.S., Ouargla, 111p.
- **BENZAHI Y., 1994** : Contribution à l'étude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué sous palmeraie. Mém., Ing., INFS/AS, Ouargla, 111p.
- **BERKAL I., 2006** : Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. De la base de données à la valorisation des paramètres pédologiques. Mém., Mag., INA, EL Harrach, 121p
- **BERRABAH F., 2009** : Recensement des sels sur les différents horizons, mode de leurs formations : cas d'un sol nu et d'un sol cultivé dans la région de Ouargla. Mém., Ing., I.T.A.S, Ouargla, 89p.
- **CORWIN D.L., Rhoades J.D., 1990**: Establishing soil electrical conductivity-depth relations from electromagnetic induction measurements. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 21, 871-901.
- **D.P.A.T, 2008** : Annuaire statistique 2009 de la wilaya de Ouargla, 138p.
- **DAOUD Y., et HALITIM A., 1994** : Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse* 5(3), pp. 151-160.
- **DE JONC E., BALLANTYNE A.K., Cameron D.R., Read D.W., 1979**: Measurement, of apparent electrical conductivity of soil s by an electromagnetic probe to aid salinity surveys. *Soil S c i. Soc. Am. J.* 43: 819-812.
- **DURAND J.H., 1983** : Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. presse universitaires de France, 339 p.

- **HAMDI-AÏSSA B. et GIRARD M.C., 2000** : Apport des données satellitales pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement du risque salinisation dans l'écosystème désertique (cuvette de Ouargla, Algérie), p1.
- **IDDER M<sup>ed</sup> A., 2006** : Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région de Ouargla. Mém., mag., I.N.A. El Harrach, 100p.
- **JOB J.O., HACHICHA M., Loyer J.Y., 1990**: Conductivité électromagnétique et cartographie de la salinité des sols. Rapport Ministère de l'agriculture et centre ORSTOM. pp.4,5.
- **MAHDI H., 2008** : Cartographie de la salinité d'un sol sableux par la conductivité électromagnétique. Mém., Ing., INA, EL Harrach, 104p.
- **Mc Neill J.D., 1980**: Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction Tec et Doc, 275p.
- **MCKENZIE R.C., Chomistek W., Clark N.F., 1989**: Conversion of electromagnetic inductance readings to saturated paste extract values in soils for different temperature, texture, and moisture conditions. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 25-32.
- **MESSAITFA Z., 2002** : Impact de la salinisation du sol sur la nutrition azotée du palmier dattier dans la région de Ouargla (cas de l'exploitation de l'ex-I.T.A.S), Mém., Ing., I.T.A.S, Ouargla, 69p.
- **MONTOROI J.P., 1997**: Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol. Application à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal). *Etude et Gestion des Sols*, 4 (4), 279-298.
- **NEZLI I.Edd., 2009**: Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de l'oued M'ya (Ouargla). Mém., Doc., Univ, Biskra, 115p.
- **OULED SIDI BELA M., 2001** : Dynamique de sels solubles dans un sol irrigué et leurs impacts sur la composition minérale du palmier dattier dans la région de Ouargla, Mém., Ing., ITAS, Ouargla, 85p.
- **BRABANT P., 1992** : Pédologie et système d'information géographique Comment introduire les cartes de sols et les autres données sur les sols dans les SIG, *Cah. Orstom, sér. Pédol.*, vol. XXVII, no 2, : 315-34.5

- **ROUVILOIS-BRIGOL M., 1975** : Le pays de Ouargla (Sahara Algérien), variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Edit Université de la Sarbonne, Paris, 316p.
- **WOLLENHAUPT N.C., Richardson J.L., Foss J.E., Doll E.C., 1986**: A rapid method for estimating weighted soil salinity from apparent soil electrical conductivity measured with an aboveground electromagnetic induction meter. *Can. J. Soil Sci.*, 66, 315-321.
- WADE Mohamed El Abass., 1998** : Cartographie de la salinité dans la zone de Ngnith (Delta de fleuve Sénégal) Utilisation de la conductivité électromagnétique EM.38, Rapport de stage, I.ST DAKAR, p21.
- **ONM., 2010**: Office National des Météorologie.

### **Etalonnage du 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 à les étapes suivant :

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.

Étape 6 :

- 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.

**Echelle de l'interprétation de CE sur extrait de patte saturée à 25°C (DURAND, 1983):**

$CE_{\text{patte saturée}}$	Classe de sol
$CE \leq 2 \text{ dS/m}$	Non salin
$2 \text{ dS/m} < CE \leq 4 \text{ dS/m}$	Légèrement salin
$4 \text{ dS/m} < CE \leq 8 \text{ dS/m}$	Salin
$8 \text{ dS/m} < CE \leq 16 \text{ dS/m}$	Très salin
$CE > 16 \text{ dS/m}$	Extrêmement salin

**Données climatiques de la station de Ouargla, période 1997- 2009**

Mois	Tempiratures (°C)			Précipitation (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Insolation (heure)
	Min.moy	Max.moy	Moyenne					
Janvier	4.9	18.5	11.7	7.9	2.8	102.0	60.1	246.3
Février	6.6	20.9	13.7	1.0	3.2	128.2	52.4	240.3
Mars	10.1	25.5	17.8	4.0	3.8	218.2	41.9	248.1
Avril	14.9	29.9	22.4	1.6	4.4	289.7	35.3	281.4
Mai	20.0	34.8	27.4	1.2	4.8	343.2	32.2	275.2
Juin	25.0	39.4	32.2	0.3	4.6	431.9	26.2	299.2
Juillet	25.9	43.7	34.8	0.5	4.2	484.1	24.6	337.3
Aout	27.3	42.9	35.1	1.4	4.0	451.8	25.4	320.3
Septembre	23.7	37.6	30.6	3.6	4.1	315.9	38.0	254.4
Octobre	17.8	31.8	24.8	8.3	3.5	239.6	46.4	259.9
Novembre	10.1	23.9	17.0	7.0	2.8	137.3	56.5	246.6
Décembre	5.9	20.5	13.2	1.9	2.7	95.2	60.5	201.3
Moyenne	16.0	30.8	23.4	3.2	3.7	269.8	41.6	267.5
				38,7*		3237,2*		

\* Cumule annuel

( O.N.M. Ouargla, 2010 )

## Données climatiques de la station de Ouargla, période 1997- 2009

Mois	Tempiratures (°C)			Précipitation (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Insolation (heure)
	Min.moy	Max.moy	Moyenne					
Janvier	4.9	18.5	11.7	7.9	2.8	102.0	60.1	246.3
Février	6.6	20.9	13.7	1.0	3.2	128.2	52.4	240.3
Mars	10.1	25.5	17.8	4.0	3.8	218.2	41.9	248.1
Avril	14.9	29.9	22.4	1.6	4.4	289.7	35.3	281.4
Mai	20.0	34.8	27.4	1.2	4.8	343.2	32.2	275.2
Juin	25.0	39.4	32.2	0.3	4.6	431.9	26.2	299.2
Juillet	25.9	43.7	34.8	0.5	4.2	484.1	24.6	337.3
Aout	27.3	42.9	35.1	1.4	4.0	451.8	25.4	320.3
Septembre	23.7	37.6	30.6	3.6	4.1	315.9	38.0	254.4
Octobre	17.8	31.8	24.8	8.3	3.5	239.6	46.4	259.9
Novembre	10.1	23.9	17.0	7.0	2.8	137.3	56.5	246.6
Décembre	5.9	20.5	13.2	1.9	2.7	95.2	60.5	201.3
Moyenne	16.0	30.8	23.4	3.2	3.7	269.8	41.6	267.5
				38,7*		3237,2*		

\* Cumule annuel

( O.N.M. Ouargla, 2010 )

