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 saharienne

Option : Mise en valeur des sols sahariens

THEME

Etude de la variabilité spatio-temporelle de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla

Présenté et soutenu publiquement par :

Melle BENMOUAFFEKI Djemaa.

Devant le jury :

Président	***M^{r}. DADDI BOUHOUN .M***	***M.C.B Univ Ouargla***
Promoteur	***M^{r}. IDDER M^{ed} A.HK***	***M.A.A Univ Ouargla***
Co-Promoteur	***M^{r}. BERKAL. I***	***M.A.A Univ Ouargla***
Examinatrice	***Mme YOUCEF. F***	***M.A.A Univ Ouargla***
Examinatrice	***Mlle OMEIRI .N***	***M.A.A Univ Ouargla***

Année Uuniversitaire: 2010/2011

Remerciements

*Avant tous, nous remercions **Dieu** tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à monsieur **IDDER. A.** pour m'avoir proposé se thème et pour son encadrement.*

*Je dois une mention particulière à monsieur **BERKAL. I.** Co-promoteur pour son efficacité du point de vue méthodologie au niveau du thème.*

*Je remercie Mr **DADDI BOUHOUN M.** pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.*

*Mes remerciements s'adressent également à tous les membres de jury, composé de Mme **YOUCEF.F,** et Melle **OMEIRI. N.***

A tous le corps enseignants de l'Université Kasdi Merbah de Ouargla, particulièrement aux enseignants de la Faculte des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers.

Liste des Figures

N°	Titre de figure	Page
Figure 01	Types de sols en Algérie	04
Figure 02	Le Géonics EM38	12
Figure 03	Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux d'irrigation en fonction de CE 25°C et de SAR	22
Figure 04	Situation géographique de la wilaya de Ouargla	24
Figure 05	Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN de la région de Ouargla (2001-2010)	30
Figure 06	Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla	32
Figure 07	Délimitation du site expérimental	33
Figure 08	Localisation des points de mesures et d'échantillonnages	37
Figure 09	Classification des eaux d'irrigation dans le site d'étude selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par DURAND(1958).	40
Figure 10	Fluctuation hébdomadaire du niveau de la nappe phréatique	42
Figure 11	Moyenne et intervalle de confiance (95%) de chaque secteur	44
Figure 12	Moyenne et intervalle de confiance (95%) de $CE_{1:5}$ pour chaque secteur et pour les trois profondeurs	46
Figure 13	Les profils salins des sondages (secteur A2)	48
Figure 14	Les profils salins des sondages (secteur B1)	49
Figure 15	Les profils salins des sondages (secteur B2.1)	50
Figure 16	Les profils salins des sondages (secteur C2)	51
Figure 17	Les profils salins des sondages (secteur D1)	52
Figure 18	Les profils salins des sondages (secteur D2.1)	53
Figure 19	Régression entre la conductivité électromagnétique horizontale et la CE de trois profondeurs	55
Figure 20	Régression entre la conductivité électromagnétique verticale et la CE de trois profondeurs	56
Figure 21	Carte de la salinité en mode vertical (CEV)	58
Figure 22	Carte de salinité en mode horizontale (CEH)	60
Figure 23	Moyenne et Intervalle de Confiance (95%) (CE_aV et CE_aH) pour les compagnes considérés	61

Liste des abréviations

A.N.R.H.: Agence National des Ressources Hydriques.

C.E. : Conductivité électrique.

C.E.a. : Conductivité électrique apparente.

C.E.H: Conductivité électromagnétique horizontale.

$CE_{1:5}$: Conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1:5

$C.E._{h1}$: 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.V : Conductivité électromagnétique verticale.

O.N.M.: Office National des Météorologie.

S.A.R.: Sodium adsorption ratio.

pH : Potentiel Hydrogène.

CEC: Capacité d'échange cationique.

U.S.S.L:U.S Salinity Laboratory

FAO: Food and Agriculture Organization.

E.S.P: taux de sodium échangeable

B.G: Bureau d'étude International

Liste des Tableaux

N°	Titre du tableau	Page
Tableau 1	Couches géologiques salifères de l'Algérie	07
Tableau 2	Données climatiques de la station d'Ouargla, période (2001-2010)	28
Tableau 3	Les mesures de CE (ds/m) à 25°C d'eau de la nappe phréatique	41
Tableau 4	variabilité de CEa V et CEaH	43

Table du matière

Remerciements

Liste des Figures

Liste des abréviations

Liste des Tableaux

Introduction générale 01

CHAPITRE 1: BIBLIOGRAPHIE

1. Salinité des sols 03
    1.1. Définition 03
    1.2. Répartition des sols salés 03
        1.2.1. Répartition des sols salés dans le monde 03
        1.2.2. Les sols salés en Algérie 05
        1.2.3. Caractéristiques des sols sahariens en Algérie 05
    1.3. Origine de la salinité dans le sol 06
    1.4. Paramètres de caractérisation des sols salés 07
    1.5. Classification des sols salés 08
    1.6. Effet de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol 09
    1.7. Méthodes d'évaluation de la salinité des sols 10
        1.7.1. La mesure de la conductivité électrique sur l'extrait dilué1/5 11
        1.7.2. La méthode électromagnétique 11
    1.8. Mise en valeur des sols salés 15
        1.8.1. Les phases de la mise en valeur 15
        1.8.2. Les précautions post mise en valeur 16
2. Les sels et la nappe phréatique 16
    2.1. Les sels solubles 16
    2.2. La nappe phréatique 17
3. Irrigation et salinité 19
    3. 1. Processus de salinisation des eaux 19
    3.2. Classification des eaux d'irrigation 20

CHAPITRE 2: LE MILIEU D'ETUDE

1. Situation géographique et cadre physique 23
2. Le milieu physique 24

2.1. Géologie de la région 24
2.2. Géomorphologie de la région 25
2.3. Topographie de la région 26
2.4. Pédologie de la région 26
2.5. Hydrogéologie de la région 26
3. Climatologie de la région 27
3.1. Température 28
3.2. Précipitation 28
3.3. Evaporation 29
3.4. Insolation 29
3.5. Vents 29
3.6. Humidité relative 29
4. Synthèse climatique 30
4.1. Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN 30
4.2. Climagramme d'EMBERGER 31

CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES

1. Matériel d'étude 32
1.1. Présentation du site expérimental 32
1. 2. Choix du site expérimental 33
2. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol de l'exploitation 34
3. Méthode d'étude 34

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

1. Irrigation 39
2. Etude de la nappe phréatique 41
2.1. Caractéristiques chimiques des eaux de la nappe phréatique 41
2.2. Profondeur de la nappe phréatique 42
3. Variation spatiale de la salinité 43
3.1. Variabilité des paramètres mesurés 43
3.1.1. Variation de conductivité électromagnétique (CEa V et CEaH) pour chaque secteur 44
3.1.2. Variation de la conductivité électrique pour chaque secteur et pour les trois profondeurs 46

3.2. Etude des Régressions. 54
3.2.1. Relation entre la CEH et $CE_{1:5}$ 55
3.2.2. Relation entre la CEV et $CE_{1:5}$ 56
4. Les cartes thématiques de CE_a 57
4.1. La carte de CEV 58
4.2. La carte de CEH 60
5. Comparaison des résultats des deux compagnes de mesures 61
Conclusion générale 63
Références bibliographiques
Annexes

Introduction générale

Introduction générale

Les sols, utilisés par l'homme depuis des millénaires, reste cependant une formation naturelle peu connue des hommes, qu'ils en soient les utilisateurs (agriculteurs, pédologues, scientifiques). L'exploitation de cette couverture superficielle du globe, interface entre roches et l'atmosphère peut montrer tous les matériaux qu'elle peut endosser (RUELLAN et DOSSO, 1993 in IDDER, 2006).

Les sols salés constituent un trait caractéristique des paysages de la zone aride. Par les mécanismes de leur formation très divers. En Afrique de Nord, la combinaison entre un passé géologique favorable au stockage des sels, l'aridité du climat, l'hydrographie, l'hydrogéologie et l'irrigation mal contrôlée font de la salinisation des sols une menace permanente (AUBERT, 1976;HULIN, 1983).

En Algérie, de l'Est à l'Ouest, de la côte au Sahara les sols agricoles sont dans leur forte majorité, affectés par les sels ou susceptible de l'être (DURAND, 1958; HALITIM, 1973).

En l'occurrence, au Sahara, toutes les conditions sont réunies pour qu'il ait une forte concentration de sels (DUBOST, 1992). La région de Ouargla située à l'Est du Sahara Septentrional, est un exemple typique d'environnement salin résultant de plusieurs facteurs de salinisation: l'aridité du climat, une eau d'irrigation salée, un déficit de drainage et une remontée de la nappe phréatique. Le développement de l'agriculture irriguée dans cette zone importe donc dans ces conditions une caractérisation de l'état salin des sols et des eaux avant leurs exploitations, ainsi qu'un contrôle régulier de leur évolution saline

Les variations spatio-temporelles de la salinité des sols, déjà sensibles dans les systèmes naturels, sont accélérées sous irrigation en raison de la forte mobilité des sels. Les méthodes conventionnelles de mesure sur petits échantillons peuvent difficilement rendre compte d'un tel phénomène (BOIVIN et al, 1988).

Les méthodes développées *in situ* sont plus adaptées, en particulier la conductivimètre électromagnétique qui appréhende de façon sensible la salinité sur 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 (DIBA, 1995).

L'objectif de notre travail est double. Il s'agit dans un premiers temps de caractériser la distribution spatiale de la salinité dans la palmeraie de l'université de Ouargla par l'utilisation de l'induction électromagnétique EM 38. Dans un deuxième temps, on examinera l'évolution ou la diminution de la salinité dans le site d'étude à travers une comparaison entre deux compagnes de mesures de CEM. Il s'agit de comparer les mesures de la CEM d'Octobre (2009)- réalisées par MESSOUDI, (2009)- et nos propres mesures en Novembre (2010).

En fin nous essayerons de comparer nos résultats obtenus en Novembre (2010) avec ceux obtenus antérieurement sur le même site en Novembre (2009).

Cette étude comporte quatre chapitres :

- Première chapitre s’intéresse à la bibliographie.
- Deuxième chapitre pour la représentation de la région d’étude.
- Troisième chapitre prendra en compte le matériel et méthodologie de travail.
- Quatrième chapitre traitera les résultats obtenus. Enfin on terminera par une conclusion.

Chapitre 1

Bibliographie

Salinité des sols

Introduction

Le sol, est le milieu structuré de cette transition entre le monde inanimé et le monde vivant. En effet, le sol se fait à partir de la roche, il est le produit de la transformation de cette roche, sous les effets conjugués de l'eau, de l'air, des températures et des vies (végétale, animale et humaine):

En terme plus scientifique, on dit que le sol est la partie supérieure de la lithosphère transformée par la présence et les actions conjuguées de l'hydrosphère, et de la biosphère. (RUELLAN et DOSSO, 1993 in IDDER, 2006).

1.1. Définition

Les sols salés appelés aussi sols halomorphes caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles, plus solubles que le gypse dans l'ensemble ou dans une partie du profil, ou par la dégradation de la structure de l'un de leur horizons ou de tous les horizons sous l'influence de l'un des ions provenant de ces sels en particulier le sodium (AUBERT, 1983; BAIZE, 2000).

1.2. Répartition des sols salés

Dans ce volet nous allons voir, la répartition des sols salés dans le monde, en Algérie et plus particulièrement dans le Sahara et leur principales caractéristiques.

1.2.1. Répartition des sols salés dans le monde

Les estimations de la superficie totale représentée par les sols salsodiques dans le monde sont très variables d'un auteur à l'autre: pour Szablocs (1994) in **(**ROUAHNA, 2007), elle atteint 954832 millions d'hectare, pour Claud et al (2005) in **(**ROUAHNA, 2007), la superficie est estimée à environ 9.55 millions de Km2, soit 6.4 % des continents ou 19 fois le territoire français.

Selon FAO (2005) fig.1, on rencontre plusieurs type de sols salés en Algérie localisés surtout dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides.

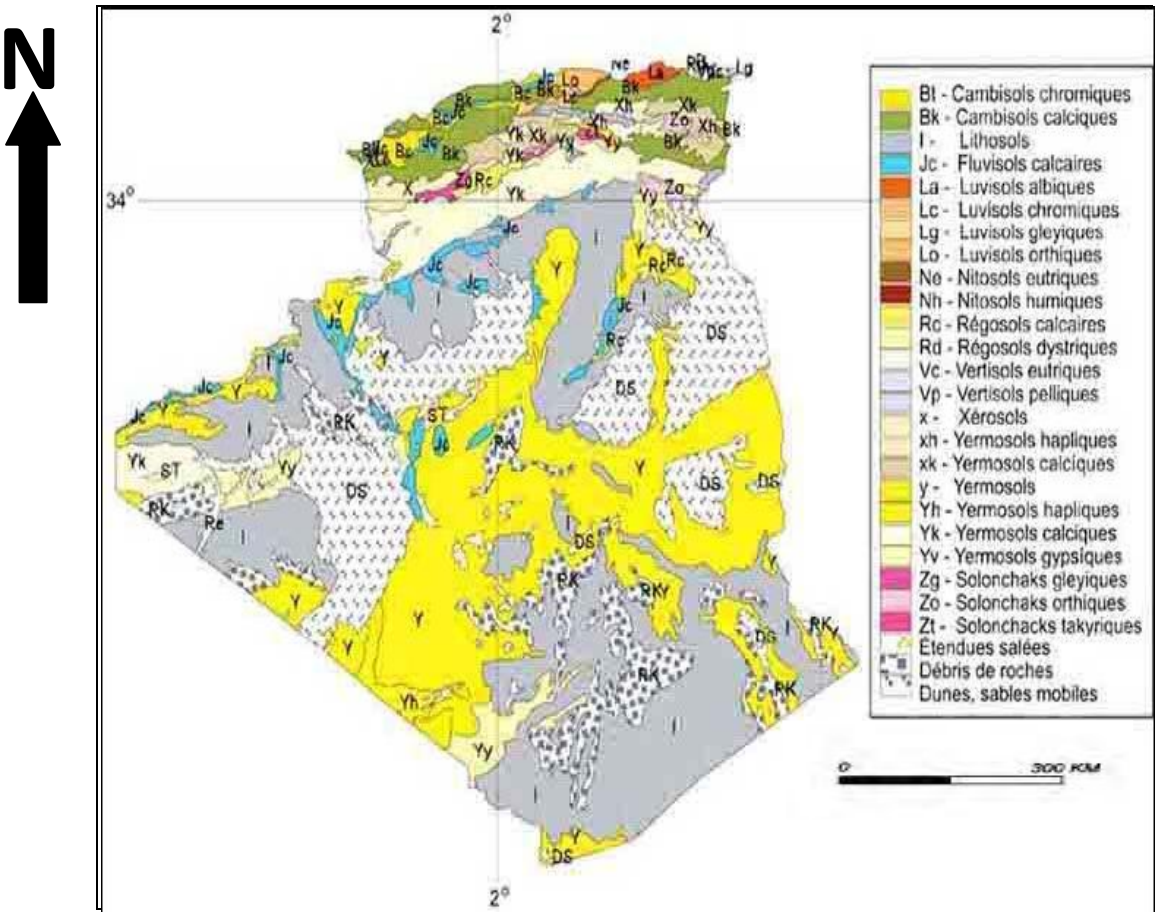


Figure 01: Types de sols en Algérie (FAO, 2005)

1.2.2. Les sols salés en Algérie

AUBERT (1976), signale deux types de sols en Algérie, qui sont les solontchaks et les solontchaks-solonetz.

***Les solontchaks:** sont caractérisé par l'accumulation des sels solubles à la surface à cause de la proximité de la nappe phréatique et de l'évaporation intense.

***Les solontchaks-solonetz :** sont les plus fréquents des sols salés ; caractérisés par une teneur en sels solubles et un taux élevé de sodium échangeable.

1.2.3. Caractéristiques des sols sahariens en Algérie

Selon DAOUD et HALITIM (1994) in IDDER, 2006, le type aridique est incontestablement la particularité des sols sahariens, cela se traduit par la réduction, si non l'impossibilité de cultiver à notre convenance. La violence des vents, l'agressivité des minéraux, la forte salinité et sodicité des sols, la pauvreté de la fraction organique et argileuse, l'halomorphie et l'hydromorphie, sont les caractéristiques physiques, morphologiques et chimiques des sols sahariens.

1.2.3.1. La région de Ouargla

La particularité des sols du Sahara est leur régime hydrique du type aride. La couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose de classes suivantes : sols minéraux bruts, sols peu évolués sols halomorphes et sols hydromorphes (DAOUD et HALITIM, 1994 in IDDER, 2006)

Ouargla est une région caractérisée par des sols légers à prédominance sableuse et à structure particulaire. Ils sont caractérisés également par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une faible activité biologique et une bonne aération (HALILAT, 1993)

Les sols de la cuvette de Ouargla sont caractérisés par l'excès d'eau et des sels lie à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol. Le caractère de salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau, la salinité des sols. Elle peut atteindre (50 dS/m) en surface et décroitre brusquement ou progressivement avec la profondeur. Cette concentration de sels dans les horizons de surface

s'explique par la remonter capillaire de la nappe phréatique salée, la manifestation la plus apparente est celle des néoformations d'efflorescence blanchâtres et parfois de croutes à la surface du sol. (KHADRAOUI, 2005).

Ce phénomène d'amorphisme dans les milieux saturés en eau connu par ces fluctuations à grandes amplitudes confirme la relation très étroite entre la nappe phréatique le sol, la salinité et l'évaporation. Dans la cuvette de Ouargla ce qui aggrave et encore plus le problème de salinité des sols c'est l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation avec un drainage défectueux (KHADRAOUI, 2005).

1.3. Origine de la salinité dans le sol

L'origine des sels solubles dans les sols est très variée. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, qui donnent des sels souvent solubles. En régions arides ceux-ci se concentrent sur place ou dans les dépressions et zones basses du paysage. Parfois en zone endoréïque, ils peuvent être apportés par les rivières qui viennent s'y jeter, provenant de régions bien plus humides. L'origine des sels peut aussi se trouver dans les dépôts lagunaires ou des matériaux salés plus ou moins récents (GAUCHER in AUBERT, 1976).

Le vent peut causer l'apparition de phénomènes de salure sur des sols qui étaient indemmes, en y déposant les éléments salés et les cristaux de sels formés à la surface de sols très salés.(BELKHODJA et BOULAINE, in AUBERT,1976), que les sels solubles soient ainsi mis en place à la surface du sol, dans son matériau d'origine , dans la nappe phréatique peu profonde ou dans la nappe artésienne sous-jacente, ils sont rapidement remis en mouvement dans l'ensemble du profil par remontée de la nappe ou par phénomènes de capillarité favorisés par l'évaporation directe ou par l'intermédiaire de la végétation. (AUBERT, 1976).

Suivant l'origine des sels deux processus sont à signaler:

- **Salinisation primaire:** cette salinisation se manifeste lorsque le sel trouvé provient de l'altération en place de roches salifères primaire.

Tableau 01 : Couches géologiques salifères de l'Algérie (d'après GAUCHER, 1947 in DURAND1958 in DJAMAI, 1993)

Couche géologique	Localisation
Trais	Partout
Albien	Hauts plateaux de Nord- Est Algérien
Turonien	Hauts plateaux de Nord- Est Algérien
Santonien	Hauts plateaux
Sénonien	Sud- Est Algérien
Suéssionien	Atlas tellien et hauts plateaux
Lutétien	Sud centre et Sud -Est algérien
Eocène supérieur	Algérois
Oligocène continental	Partout
Carténier	Mitidja, Nord -Est, Nord- Ouest algérien
Helvétien	Vallée du Cheliff et Nord- Ouest
Vindobonien	Nord -Est algérien
Sarmatien	Nord -Est algérien
Sahélien	Nord- Ouest algérien
Pliocène continental	Bassin fermés des Hauts plateaux et Sud algérien
Quaternaire	Plaines littoraux du Nord -Ouest algérien et dépression fermé

- **Salinisation secondaire**

C'est un processus indépendant de la roche mère. Les sels existants dans le sol proviennent de la redistribution de sels accumulés précédemment.

Généralement, elle se fait par le biais des eaux chargées en sels (irrigation, remontées des nappes, bordures des mères); mais souvent c'est le produit de l'irrigation qui constitue l'une des causes majeurs de l'extension des surfaces salées si les précautions d'aménagement ne sont prises (ROGNON et DEPLAHOL, 1970; HULIN, 1983 in BENZAHI, 1994).

1.4. Paramètres de caractérisation des sols salés

L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble de facteurs:

- **Conductivité électrique:** La salinité est mesurée par la CE de l'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué du sol. Elle est exprimée en en ds/m à 25°C. (tableau 1 Annexe I)
- **pH du sol:** La notion du pH du sol permet de façon commode et précise de designer la réaction du sol. Les sols salés ont un pH sensiblement égal à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport Na^+/CEC. (Tableau3 Annexe II).
- **ESP** (Le taux de sodium échangeable)**:** Ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange, l'ESP est en fonction de la CEC exprimée en (meq/l).

ESP= Na+/ Quantité totale des cations absorbées

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

$$SAR=\frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{2}}} \text{ (meq/l)}$$

1.5. Classification des sols salés

De grandes divergences existent encore entre les différents systèmes de classification. Les pédologues sont d'accord quant à l'existence de trois grands types de sols salés dont le caractère commun est de renfermer, généralement, a un moment ou à un autre de leur genèse de quantités de sels de sodium (HALITIM, 1973). Ces types sont :

1.5.1. Sols salins ou Solontchaks

Caractérisé par une richesse en sels solubles telle qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées. Le pH de ces sols est en général inférieur à 8.5. La conductivité électrique (CE) de l'extrait aqueux a saturation est supérieur à 4 dS/m a 25 °C, le pourcentage de sodium échangeable (ESP) est inférieur à 15%.

En Algérie ils sont abondants dans les basses plaines et vallées d'Oranais, vallée de Mina, prés de Relizane sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine aux bords de certaines Chotts comme le chott Melrhir

Ils ont aussi une grande existence dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et environ. (AUBERT, 1976).

1.5.2. Sols sals a alcali

Ils se caractérisent par un pourcentage de sodium échangeable (ESP) supérieur à 15 % et par une conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée supérieure à 4 dS/m à 25°C leur pH est inférieur a 8.5 (U.S.S.L, 1954). Ils se trouvent dans les Oasis du sud Algérien et aussi dans la vallée du Cheliff. (AUBERT, 1983) in OULD SIDI BELLA, 2001).

1.5.3. Sols à alcali

Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de la CEC la conductivité électrique (CE) ne dépasse pas 4 dS/m a 25°C et le pH dépasse 8.5. Ils s'observent dans les vallées du tell: Mina et Cheliff. (AUBERT, 1983).

1.6. Effet de la salinité sur les propriétés physiques et chimiques du sol

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

1.6.1. Effets de la salinité sur les propriétés physiques du sol

Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés Pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la hute de la perméabilité hydraulique (SERVANT, 1970; CHEVERRY, 1972;AUBERT 1983; HALITIM, et al, 1988).

1.6.2. Effet de la salinité sur les propriétés chimiques du sol

*pH (potentiel hydrogène)

La réaction du sol (pH) est influencée par la nature de sels .Alors que certains sels sont acidifiants ($CaSO_4$, KCl, $MgSO_4$) d'autres sont alcalinisants ($NaHCO_3$, $CaCO_3NA_2CO_3$)

*ESP (taux de sodium échangeable)

Le taux de sodium échangeable à une grande importance dans les sols alcalins, Vu que ces derniers retiennent de faible concentration en sels solubles et la grande quantité de sodium se trouve sous la forme échangeable. Tandis que dans les cas des sols salés la grande partie de sodium se trouve dans la solution du sol.

1.6.3. Effet de la salinité sur les plantes

La salinité pose un problème des l'instant ou l'accumulation de sel dans la zone racinaire atteint une concentration qui provoque une baise de rendement et ralentit la croissance des végétaux (BOULAINE, 1974; BOLYN, 1975 ; FAO, 1998 in MENACER,2009), il faut d'abord rappeler que sur les plantes spontanées ou cultivées la salinité à deux actions bien distinctes qui peuvent très souvent se produire simultanément.

L'intoxication par les sels qui provoque la décoloration (chlorose); les végétaux ne parviennent pas à absorber les quantités d'eau qui leur sont nécessaires par ce que les sels accumulés dans leur tissu ont tendance a se substituer aux substances organiques qui jouent un rôle dans le phénomène d'osmose c'est le flétrissement permaturé de la plante.

La sécheresse physiologique qui détermine la nanisassions des sujets (AUBERT, 1963in BENZAHI, 1994).

1.7. Méthodes d'évaluation de la salinité des sols

Elles peuvent être classées en deux grands groupes :

- **Analyses au laboratoire:**

Au laboratoire pour évaluer la quantité de sels contenue dans un échantillon de sol, il faut extraire ces sels de 1'échantillon. Pour cela différentes méthodes sont utilisées:

- ✓ Mesure de la conductivité électrique sur les extraits de pâte saturée.
- ✓ Mesure de la conductivité électrique sur les extraits dilués Le rapport sol/ eau est en général de 1/5

- ***Mesures in situ:***

Parmi ces méthodes on trouve:

- ✓ La conductivimètre électromagnétique.
- ✓ La résistivité du sol.

Dans notre étude, pour évaluer la salinité du sol nous avons utilisé ces deux méthodes:

1.7.1. La mesure de la conductivité électrique sur l'extrait dilué1/5

Cette méthode consiste à mélanger l'échantillon de sol avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport sol/ eau est en général de 1/5 ou 1/10. Ce rapport est le même quelque soit la texture de l'échantillon (WADE, 1998).

Les extraits sont plus faciles à réaliser et permettent ainsi de faire un grand nombre d'analyses, ce qui est au contraire difficile voire impossible par pâte saturée.

1.7.2. 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 intégrés 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).

La conductivité électrique apparente (CE_a) 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 l'utilisation (dipôle émetteur-récepteur, vertical ou horizontal, réponse…), et des caractéristiques physico-chimiques du sol (teneurs en eau et en argile, minéralisation de la solution du sol, compacité…) (MC NEILL, 1980).

Généralement utilisées en valeurs relatives, les mesures de CE a 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; 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).

- **La conductivimètre électromagnétique (Le Géonics EM38)**

L'appareil utilisé pour les mesures est un EM-38 de Géonics, qui considéré comme le condictivimètre électromagnétique le plus utile et le plus rapide pour l'identification et la cartographie des sols salés (JOB et al, 1990 in MESSOUDI, 2010). C'est un appareil facile à utiliser et nécessite une batterie de neuf volts pour fonctionner**.**

Figure 02: Le Géonics EM38

1. Principe de fonctionnement:

C'est un appareil constitué de deux bobines à axes parallèles et copianaires séparées d'un mètre. La bobine émettrice ou spire primaire SP parcourue par un courant électrique de fréquence f produit un champ magnétique primaire HP de même fiéquence qui induit des courants dans le sol supposé homogène. Ces courants produisent à leur tour un champ secondaire HS proportionnel à la conductivité du sol. Ce champ est capté par la bobine réceptrice ou spire secondaire SS. (WADE, 1998).

Le rapport entre les deux champs magnétique (Hs / Hp) est proportionnel à la conductivité électrique apparente CEa selon l'équation de (Mc NEILL, 1980)

$$\mathbf{CEa = 4(Hs/Hp)/2\pi f \mu s^2}$$

Avec

CEa: conductivité électrique apparente du sol en mho/cm
f: fréquence (Hz)
μ_0: perméabilité de l'espace libre ($4\pi.10^{-7}$ H/m)
Hs: champ magnétique secondaire au niveau de la bobine réceptrice
Hp : champ magnétique primaire au niveau de la bobine émettrice.

Celui que nous avons utilisé (fig.2) possède deux spires séparées de 1 m. La fréquence d'excitation est de 14, 6 kHz. Deux cadrans disposes perpendiculairement permettent la lecture des résultats jusqu'à 1000 mS/m lorsque l'axe des spires est maintenu soit horizontal soit vertical (JOB J.O., LOYER J.Y., AILOUL M., 1987).

2. Mesure de la conductivité électromagnétique:

Les mesures peuvent être effectuées de deux manières, soit en position verticale avec l'axe des spires perpendiculaire à la surface du sol, soit en position horizontale, l'axe des spires est parallèle à la surface du sol (WADE, 1998).

Le mode vertical 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).

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 (MATHERON, 1965 in MAHDI, 2008).

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

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

3.2. Le krigeage

Le Krigeage est la méthode optimale, au sens statistique du terme, d'estimation. On peut l'utiliser autant pour l'interpolation que l'extrapolation. Le Krigeage porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain D.G. Krige. Dans les années 50, Krige1 a développé une série de méthodes statistiques empiriques afin de déterminer la distribution spatiale de minerais à partir d'un ensemble de forages. C'est cependant le français Matheron2 qui a formalise l'approche en utilisant les corrélations entre les forages pour en estimer la répartition spatiale. C'est lui qui a baptisé la méthode « Krigeage ». (GRATTON, 2002). 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).

4. S.I.G. (Système d'information géographique)

Le développement des Systèmes d'information géographique (SIG) a débuté vers 1980, en relation directe avec les performances de l'informatique, S.I.G est un Système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler et d'organiser, de gérer,

d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion de l'espace. Les Systèmes d'information Géographique ont donné naissance à une discipline récente, la géomatique**,** combinant la géographie et l'informatique.

Les utilisations des Systèmes d'information Géographique sont multiples, 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).

1.8. Mise en valeur des sols salés

Le problème d'amélioration des sols salés, vu qu'ils occupent de grandes surfaces et donnent des rendements très bas a toujours constitué l'un des problèmes les plus difficiles mais les plus importants qui se pose à la science du sol et aux pédologues dans le monde entier (MIHAI et DINCU, 1976).

La misse en valeur des sols sol-sodiques à pour objectif de stopper l'extension des superficies salées également de récupérer dans la mesure où cela économiquement rentable, les terrains actuellement inutilisables.

1.8.1. Les phases de la mise en valeur

La mise en valeur des terrains salés peut être conçue de la manière suivante (NAHAL, 1975) in OULED SIDI BELA, (2001)

1.8.1.1. Etudes préliminaires

À la cour de cette phase le choix de terrains à mettre en valeur est d'une importance capitale. On est aussi appelé à une étude hydrologique qui devra être complété par l'étude de la nappe.

1.8.1.2. La désalinisation

Elle peut se réaliser principalement par :

- Lessivage: consiste à éliminer les sels solubles par un lavage en utilisant des doses d'irrigations majorées d'une fraction lessivant. L'installation d'un réseau de drainage s'avère indispensable;
- Des amendements : selon (DOGAR, 1980), l'élimination de sels solubles ne résout pas toujours le problème presque le Na^+ échangeable habituellement persiste, pour cela il faut penser à substituer les composants chimiques en question, fixée sur le complexe adsorbant. De ce fait des produits minéraux et organiques utilisés comme source de substituant peut donner des résultats encourageant;
- Techniques associées: il s'agit des techniques d'amélioration physique du sol (Exemple; labour profond, sous soulage etc.) dont le but est d'enlever les couches imperméables proches de la surface (croute gypseuse et dalle calcaire). Pour conséquence augmenter la couche exploitée par les racines de la plante.

1.8.2. Les précautions post mise en valeur:

La récupération des sols sal sodiques nécessite des investissements très importants afin d'éviter ressalinisation, il est nécessaire donc de prendre les précautions suivants (HULIN, 1983) in OULED SIDI BELA, (2001)

:

- Une bonne gestion de l'irrigation, en améliorant sa conduite d'où il semble que la méthode par submersion a un effet avantageux sur le lessivage des sels;
- Le maintien des opérations du drainage (entretien des réseaux et un contrôle permanent de la salinité des eaux et des sols);
- Le contrôle du niveau de la remonter de la nappe en surface pour éviter des accumulations salines après l'évaporation des eaux;
- Un choix adéquat de la culture à mettre en place;
- Apport éventuel d'amendement dans le cas où l'irrigation aurait tendance à favoriser une alcalinisation.

2. Les sels et la nappe phréatique

2.1. Les sels solubles

2.1.1. Définition:

Un sel est un produit de neutralisation d'un acide par une base (GAUCHER et BURDIN, 1974).

Les sels solubles sont tous les sels plus solubles dans l'eau que le gypse. Leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité eletrolytique (HALITIM, 1988).

Les plus fréquents dans les régions arides et semi- arides sont surtout les Chlorures et les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium (SERVANT, 1978; HALITIM, 1988). Ces résultats sont attestés par les travaux de M_r. BENZAHI, 1994, IDDER, 2006;BERRABAH, 2009 et NIBOUA, 2010, réalisés dans l'exploitation Agricole de Ex. ITAS.

2.1.2. Le profil salin:

Le profil salin est la séquence verticale d'information concernant la salinité dans le profil pédologique (SERVANT, 1978 in OMEIRI, 1994). Il constitue la résultant des actions antagonistes entre le processus de salinisation et celui de désalinisation les quels sont commandés par les caractéristiques du milieu et les techniques d'aménagement (SAFART, 1983).

2.1.2.2. Profil salin général

En ce qui concerne le profil salin général il est possible de distinguer quatre (04) formes principales (SERVANT, 1975 in SERVANT, 1978).

- ✓ **Forme A :** Distribution saline à maximum dans l'horizon superficiel correspondant à une salinisation ascendante
- ✓ **Forme B :** Distribution saline a maximum marqué moyennement profond (entre 30 et 80 cm de profondeur) correspondant à une désalinisation temporaire.
- ✓ **Forme C :** Distribution saline avec augmentation régulière de la salinité avec la profondeur. Le maximum est profond (>1m) cela correspond a une salinisation contrariée ou désalinisation permanente
- ✓ **Forme D :** Intermédiaire entre A et C/B c'est une forme C ou B sur laquelle se greffe un maximum superficiel de salinité.

2.2. La nappe phréatique

2.2.1. Définition

D'après GAUCHER et al. (1974), les nappes phréatiques sont des accumulations d'eau généralement superficielles possédant des réserves suffisantes pour se maintenir pendant la saison sèche, au cours des années dont la pluviométrie est moyenne.

2.2.2. Le phénomène de remontée des eaux phréatiques dans la région d'étude

La région d'Ouargla souffre depuis longtemps d'un problème d'excès d'eau, dont l'origine est la remontée des eaux de la nappe phréatique. Au niveau de cette Ville, la nappe phréatique est à un niveau très proche de la surface en général de 1 à 2 mètres, parfois même à moins de 1 mètre. Elle a une épaisseur qui varie de 1 à 8 m et elle repose sur un niveau imperméable et étanche qui occupe tout le fond de la vallée de Ouargla. La variation saisonnière du niveau d'eau par rapport à la surface est en moyenne d'une vingtaine de centimètres. (Bureau d'étude International, 2003)

Cette situation est à l' origine de grands problèmes écologiques dans les zones urbaines et agricoles, dans le domaine de l'agriculture, la nappe phréatique a crée un milieu anaérobique néfaste aux espèces cultivées.

Les effets nuisibles de la remontée des eaux dans la cuvette sont accentues par l'inexistence de réseaux de drainage dans les palmeraies, ainsi que d'un collecteur d'eaux (A.N.R.H, 2000).

2.2.3. Les causes de la remontée des eaux

Une des causes principales de la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla est d'ordre morphologique, une topographie très plane conjuguée à un manque d'exutoire naturel, cette situation est aggravée par une irrigation non contrôlée (submersion).

2.2.4. Modes d'alimentation des nappes phréatiques

Les régions à sols salés se rencontrent le plus souvent sous climats arides ou semi- arides dont les précipitations sont nettement inferieures à l'évaporation ou à l'évapotranspiration et pour que les réserves phréatiques puissent se créer, il est nécessaire qu'interviennent d'autres modes d'alimentation en eau.

D'après (GAUCHER et al, 1974), ces modes sont:

- ✓ Le rassemblement et l'accumulation des eaux de ruissellements dans les formes de reliefs en cuvette, où elles s'infiltrent vers les nappes.
- ✓ L es infiltrations qui se produisent dans le lit des cours d'eau principaux ou permanents.
- ✓ Les inondations qui recouvrent partiellement ou entièrement les zones basses lors des périodes de fortes précipitations.
- ✓ Dans les zones ou l'irrigation est pratiquée, il faut tenir compte des arrosages excessifs.

2.2.5. Méthodes d'étude des nappes phréatiques

D'après l'A.N.R.H. (2000), trois sortes de renseignements sont utiles dans l'élude des nappes en vue de l'amélioration des sols salés:

- ✓ La profondeur de l'eau par rapport au sol, qui permit de préciser les fluctuations des niveaux des nappes phréatiques.
- ✓ La piézométrie de la nappe, qui donne le sens d'écoulement des eaux.
- ✓ Les données des variations chimiques de l'eau.

3. Irrigation et salinité

Introduction

La nécessité d’irriguer les cultures dans certaines conditions climatiques et les diminutions des eaux disponibles pour l’irrigation rend impérative l’utilisation d’eaux même fortement salines . Le but de l’irrigation est de créer, pour la plante, un milieu adapté à son écologie par des apports d’eau aux moments où elle en a besoin. Ces apports massifs destinés à augmenter la capacité de production du sol, vont profondément modifier le milieu et son évolution par l’augmentation de son humidité et des apports de sel (AUBERT, 1963 in DURAND, 1983).

3. 1. Processus de salinisation des eaux

Selon SERVANT (1983) et la FAO (1988) in BENZAHI (1994), la contamination des nappes souterraines, ou superficielles aussi bien fleuves ou Oueds, se fait de diverse façon :

- Par le contact des sols solubles provenant soit de l'altération des roches mères ou dépôts lagunaires, ou encore des séries sédimentaires contenant des évaporites. Ces évaporites sont très abondantes dans certains faciès des tertiaires (Oligocène et Miopliocène). Elles constituent une très importante source de salinité des eaux en milieu continental. Ce genre de séries sédimentaire est très répondu en zone aride et subaride
- Par invasion marine en contribuant a rechargé les cours d'eau avec une eau salée
- Par débordement des affleurements salifères
- Par infiltration lors de leur passage dans les pores du sol les eaux entrainent certain éléments résultant par le phénomène d'échange ionique.

3.2. Classification des eaux d'irrigation

La classification des eaux d'irrigation, tient compte des conditions d'utilisation de ces eaux et des caractéristiques du sol telle que le taux d'infiltration, le drainage ainsi la tolérance des cultures (DURAND, 1983). Le diagramme de l'USSL (1954) modifier par DURAND (1958) en ajoutant une cinquième classe de salinité s'avère le plus pratique pour les eaux Algériennes.

Ce diagramme se base sur le paramètre de salinité de l'eau (CE à 25°C) et le danger d'alcalinisation des sols exprimé par le SAR.

3.2.1. Salinité de l'eau

D'après DURAND (1958), ce caractère permet et déterminer cinq classes d'eau d'après la relation entre la conductivité électrique a (25°c) de l'eau et le danger de salinisation du sol :

- (C1) : CE 25°C <0.25 dS/m : eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peut de chances d'apparition de salinité dans le sol.une légère lixiviation est nécessaire mais il se produit en irrigation normale sauf en sol peu perméable.
- (C2) : CE 25°C comprise entre (0.25) et (0.75) dS/m : eaux utilisables avec une légère lixiviation. Les plantes modérément tolérants aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité ;
- (C3) : Ce 25°c comprise entre 0.75 et 2.25 dS/m : eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint même avec un bon drainage des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaire et les plante ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;
- (C4) : CE 25°C comprise entre 2.25 dS/m et 5 dS/m : la salinité est qualifiée de très forte cette eau est inutilisable en conditions normales elle n'est autorisée que si en pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes
- (C5) : CE 25°C > 5 dS/m : cette eau est qualifiée d'inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures du genre palmier dattier.

3.2.2. Danger d'alcalinisation du sol

Les quatre classes de S.A.R distinguées par la classification d'U.S.S.L (1954) in KHADRAOUI, (2005) sont:

S1: eau faiblement sodique: utilisable pour l'irrigation de presque toutes les classes de sols, avec risque d'alcalinisation minimum. Toutefois à noyaux peuvent accumuler dans leur feuille des quantités de sodium.

S2: eau moyennement sodique: peut présenter un risque d'alcalisation modérée dans les sols a textures fine (argile) sauf si ces derniers contiennent du gypse utilisable dans les sols grossiers (sableux) ou organiques.

S3: eau fortement sodique: fort risque d'alcalisation dans la plupart des sols. Précaution particulière nécessaires: bon drainage, abondant lessivage et addition de matières organique. Dans les sols à forte teneur en gypse l'apparition des effets nuisibles du sodium sera retardée. En l'absence de gypse les sols surtout amendes à l'aide de ce dernier ou l'autre produits similaires.

S4: eau très fortement sodique: généralement inutilisable pour l'irrigation excepte à des niveaux de faible ou de moyenne salinité seulement après amendement des sols au gypse ou à d'autres additifs

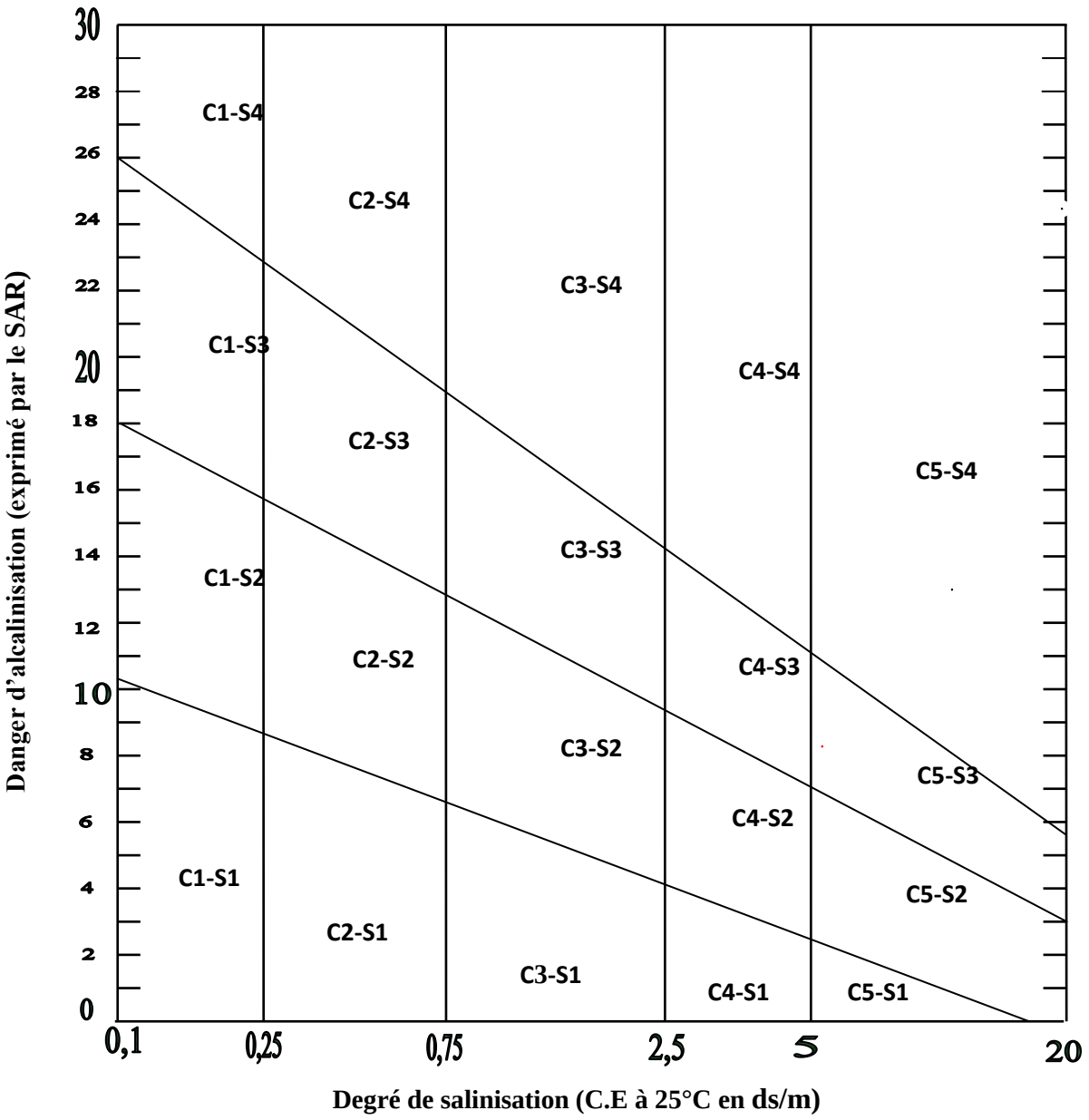


Figure 03: Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux d'irrigation en fonction de CE 25°C et de SAR. (DURAND, 1983)

Chapitre 2

Présentation de la région d'étude

1. Situation géographique et cadre physique

La ville de Ouargla chef lieu de la wilaya est située au Sud-est algérien au fond d'une cuvette très large de l'Oued M'YA, à environs 800 Km de la capitale Alger. Selon la Direction de Planification et d'Aménagement de Territoires de Ouargla (D.P.A.T, 2008), la wilaya de Ouargla est limitée par:

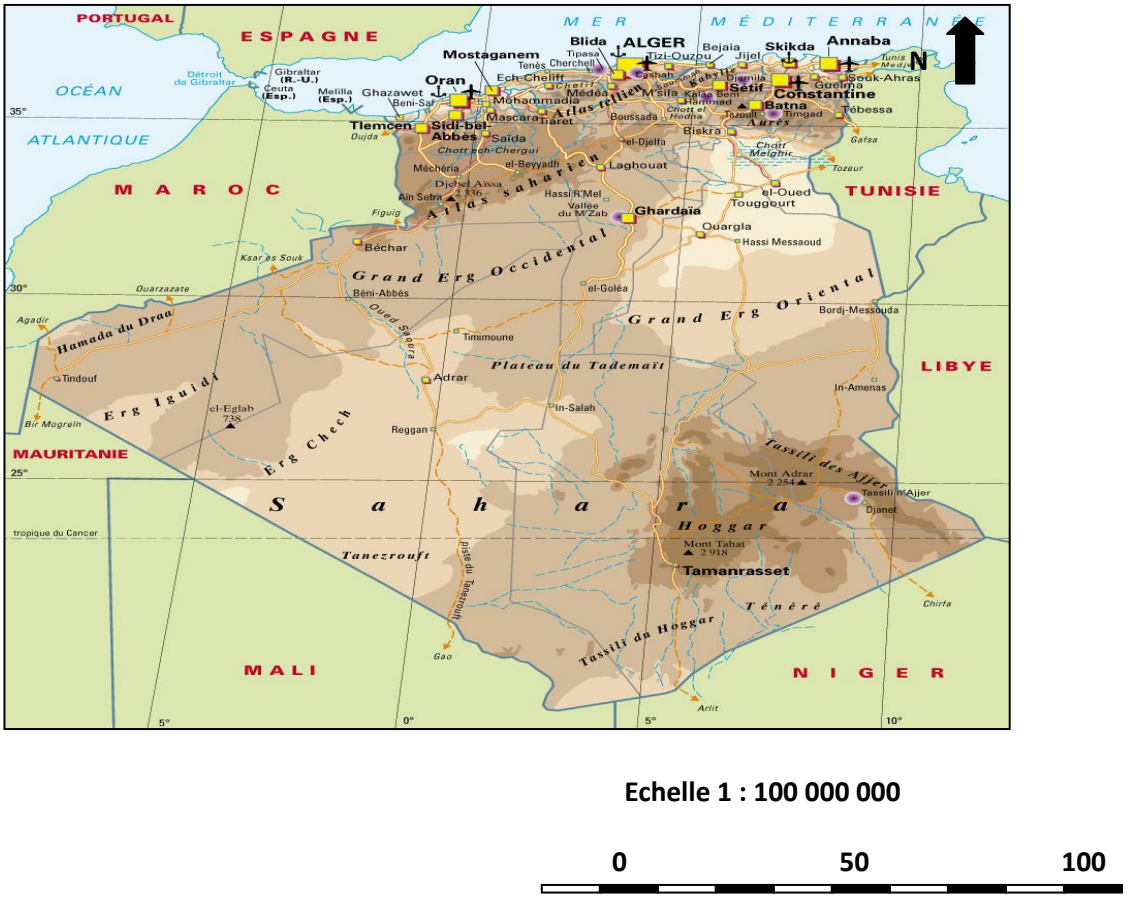
- Au nord: par les Wilayas de Djelfa, d'El-Oued et de Biskra;
- A l'Est: par la Tunisie;
- Au Sud: par les Wilayas de Tamanrasset et d'Illizi;
- A l'Ouest: par la Wilaya de Ghardaïa.

Ses coordonnées géographiques de la ville sont les suivantes:

-Altitude: 164 m

-Latitude: 28°34 nord

-Longitude: 6°19 est



Echelle 1 : 100 000 000

0 50 100

Figure 4: **Situation géographique de la wilaya de Ouargla (ROUVILOIS-BRIGOL, 1975)**

2. Le milieu physique

2.1. Géologie de la région

D'après la carte géologie de CONSTANTINE au 1/500 000 réalisée par les services géologiques de l'Algérie (1957) citée par LAHMAR (1992), le relief de Ouargla est constituée de roches sédimentaires, alluvions et colluvions dérivés des :

- Marnes jaunâtres plus ou moins gréseux, salées et gypseux.
- Argiles sableuses rouges à ocres, salées et gypseuses.
- Calcaires lacustres.
- Sables récents du quaternaire.

2.2. Géomorphologie de la région

D'Ouest en Est on distingue quatre ensembles géomorphologiques dans la cuvette (HAMDI AISSA, 2001)

2.2.1. Le plateau

A l'Ouest, la vallée est limitée par le plateau de la hamada pliocène de 200 à 250m d'altitude. Il s'abaisse dans le paysage une série de butte témoins.

2.2.2. Les glacis

Le versant Ouest de la cuvette, présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques, le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau en buttes, son altitude s'abaisse de 225m à l'Ouest jusqu'à 200m environ à l'Est.

Les glacis de 180m et 160m plus visible se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Miopliocène, le glacis de 160m a été fortement démantelé lors de la formation du dernier glacis de 140m d'altitude environ.

2.2.3. Le Chott et la Sebkha

Ils constituent les niveaux les plus bas du paysage (131m à 103m). Le chott qui correspond aux bordures de la Sebkha est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux à croûtes gypseuses de surface et de sub-surface. En aval de Ouargla, en direction SSE-NNO diverses Sebkhas alternant avec les massifs dunaires jusqu'à Sebkha Séfioune.

2.2.4. Les dunes de sables

Formation éoliennes récentes en petit cordes, d'environ 150m d'altitude. Elles occupent l'Est et Nord- Est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'Oued M'ya

2.3. Topographie de la région

La pente générale de la vallée est inférieure à 1‰.

- Du pied du Djebel Abbad à la rive de la Sebkha de Ouargla, la pente est 2‰

- Du Nord de la Sebkha jusqu'à la palmeraie de N'Goussa, la pente est régulière de l'ordre de 1. 8‰
- Après le seuil de N'Goussa, la topographie devient pratiquement plane jusqu'aux rives de la sebkha Safioune où la pente est réduite à 0.6‰.

2.4. 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).

2.5. Hydrogéologie de la région

Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. (2000), il existe trois aquifères dans la région d'Ouargla

2.5.1. 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, elle varie entre 9,81 à 31,51ds/m. (cas de l'exploitation de l'Université).

2.5.2. 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).

2.5.2.1. Nappe du Miopliocène

La nappe du Miopliocène dite nappe des sables fût à l'origine des palmeraies irriguées. La salinité de la nappe du Miopliocène dans le cas de notre site expérimental est de 5,40 ds/m.

2.5.2.2. 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, alors que dans l'exploitation de l'université, nous l'avons trouvée qu'elle est inférieure à cette gamme est de 3,70 ds/m.

2.5.3. La nappe Albienne

La nappe albienne est la nappe du continentale intercalaire. La profondeur moyenne d'un forage d'exploitation est comprise entre 1000 à 1500m (ANONYME, 1995).

L'exploitation de la nappe continentale intercalaire à Ouargla remonte à l'année 1960.Les forages atteignent la nappe entre 1100 et 1400m de profondeur, leur eau faiblement minéralisée (1,9g/l), sont à un débit de 250 à 400 l/s (HAMDI-AISSA, 2001).

3. Climatologie de la région

L'étude du climat de la région d'Ouargla, a été faite sur une période de 10 ans (2001-2010), les paramètres utilisés pour cette étude proviennent des données recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (O.N.M) d'Ouargla.

La région de Ouargla possède une aridité bien exprimée caractérisée par des précipitations rares et irrégulières et une sècheresse permanente. L'amplitude thermique est importante entre le jour et la nuit et entre l'été

Tableau 2: Données climatiques de la station d'Ouargla, période (2001-2010)

Mois	Temperatures (°C)			Precipitation (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Insolation (heure)
	Min.moy	Max.moy	Moyenne					
Janvier	5.28	18.9	12.09	17,06	3,27	109.6	59,3	249.9
Février	7.24	21.27	14.26	0,79	3,66	148.7	52	247
Mars	10.98	25.94	18.46	5	4,34	232.3	42,4	264.3
Avril	15.14	29.9	22.52	3	4,77	304.2	35,7	283.1
Mai	19.96	34.8	27.38	0,73	4,71	371.3	32,9	269.8
Juin	24.9	37.06	30.98	0,64	5,02	442.7	32,9	296.9
Juillet	28.28	43.71	36	0,2	4,42	500	24,8	335
Aout	27.7	43.37	35.53	1,84	3,78	468	27,7	322.6
Septembre	23.36	37.09	30.22	6,4	3,81	310	27,7	257.9
Octobre	17.95	32.26	25.1	11,63	3,76	245.8	45,6	256.8
Novembre	10.14	23.93	17.04	6,36	3,16	139	65,8	249
Décembre	6.13	19.24	12.69	2,66	3,01	95.5	60,3	202.2
Moyenne	16,42	30,62	16,42	56,31*	3,98	3367*	42,6	207

***Cumulé annuel** **(O.N.M. Ouargla, 2011)**

3.1. Les températures

La région de Ouargla est caractérisée par des températures très élevées qui peuvent dépasser les 40°C. Les températures moyennes enregistrées sur dix ans pour la période (2001-2010) (tableau 01) permettent de constater que la température moyenne annuelle est de 16.42°C. Le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec des températures maximales de 43.71°C et le mois le plus froid est celui de Janvier avec des températures minimales de 18. 9 °C.

3.2. Les précipitations

Les précipitations sont rares et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Leurs répartitions sont marquées par une sècheresse presque absolue du mois d'Avril jusqu'au mois d'Août et par un maximum au mois janvier (17.06 mm). Le cumul des précipitations annuelles sur 10 ans (2001-2010) est de 56.31mm.

3.3. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible avec une moyenne annuelle de 42.6%. Elle diminue au mois de janvier 59.3 % jusqu'au mois de Juillet 24.8%. Puis elle augmente pour atteindre une moyenne de 65.8 % au mois de Novembre (tableau 02).

3.4. L'évaporation

L'évaporation est un paramètre climatique important à connaitre dans la mesure ou elle permet d'apprécier les pertes en eau dans l'atmosphère et de déterminer éventuellement les apports d'eau à la plante.

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation très importante, son intensité étant renforcée par les vents, notamment par ceux qui sont chauds **(**TOUTAIN, 1979). Elle est de 280.58/an avec un minimum de 95.5mm au mois Décembre, le maximum enregistré est de 500.00mm au mois de juillet (tableau 02).

3.5. L'insolation

La région de Ouargla est caractérisée par une forte insolation. L'insolation correspond à la durée d'éclairement du sol par le soleil, elle conditionne l'activité photosynthétique des plantes. La durée d'insolation moyenne annuelle est de 269.54 heures/an avec un maximum de 335 heures au mois de Juillet et un minimum de 202.2 heures au mois de décembre (tableau 02).

3.6. Les vents

Les vents sont fréquents durant toute l'année, avec une vitesse moyenne qui varie entre 3.01 et 5.02m/s. Les vents soufflent du Nord-Sud ou Nord-est /Sud-ouest (vent chaud sirocco).La fréquence et la force des vents augmentent de fin Mars et s'atténuent durant l'été, pour revenir aux mois de Septembre-Octobre et parfois même Novembre.

4. Synthèse climatique

4.1. Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN

Le digramme Ombrothérmique de la région pendant la période 2001-2010, indique que la période sèche (P=2T) s'étale sur toute l'année avec un maximum en été (Fig.5)

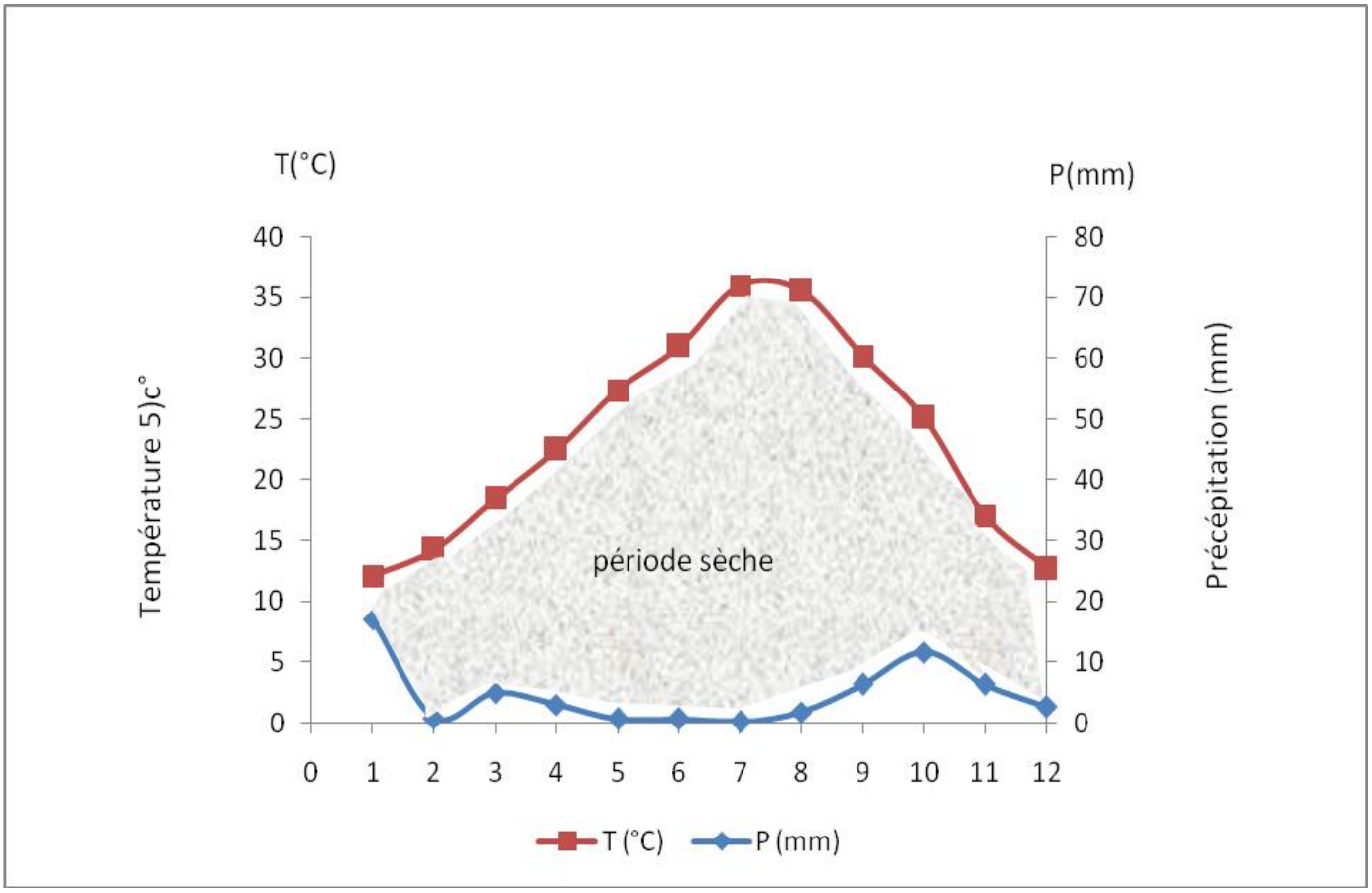


Figure 05: Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN de la région de Ouargla (2001-2010)

4.2. Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER (**Q2)** élaboré en 1930 modifié par STEWART, (1969) est spécifique au climat méditerrané et tient compte des précipitations et des températures. Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

$$\mathbf{Q2 = 3}, 43 \times \mathbf{P/ (M-m).}$$

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 fig. 6, la cuvette d'Ouargla est située dans l'étage saharien à hiver

Doux et son Q2 est égale à 5,02.

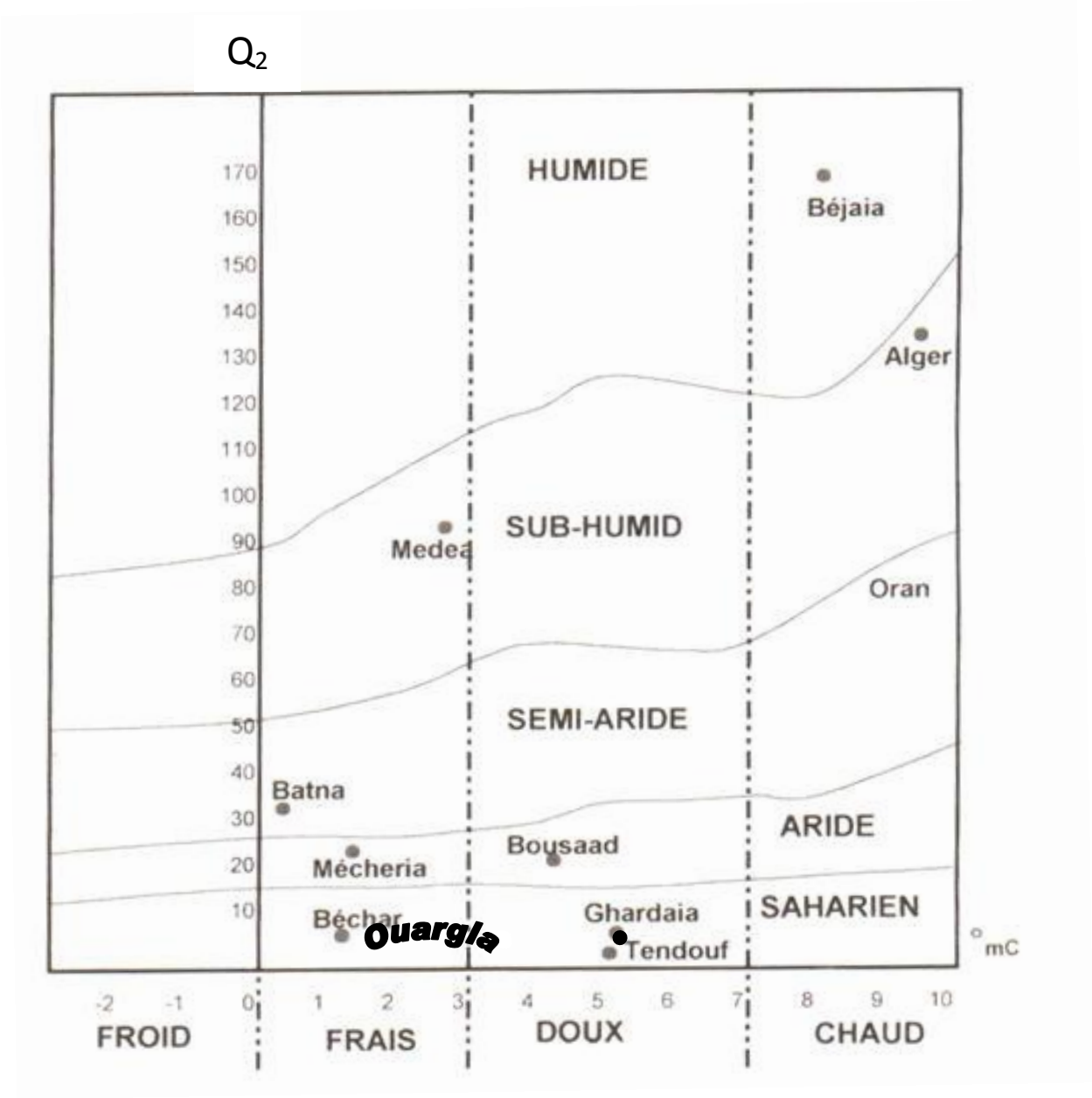


Figure 06: Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla

Chapitre 3
Matériels et méthodes

1. Matériel d'étude

1.1. Présentation du site expérimental

Notre expérimentation s'est déroulée dans l'exploitation de l'université de Ouargla.

Elle a été crée en 1959 par le service colonial pour sa mise en valeur. Elle fut confiée à l'I.TA.S en 1979 dans un but pédagogique et scientifique. Ses Coordonnée U.T.M, Fuseau 31 sont : X = 819,82 Km et Y = 3547,22Km.

L'exploitation s'étend sur une superficie de 32hectares dont les 16 hectares sont aménagés et repartis en quatre secteurs (A, B, C et D) chacun occupe 3,6 hectares, le reste de la superficie est occupé par les sols nus, les pistes et les drains. Le palmier dattier est la principale spéculation agricole. Un réseau d'irrigation par planche, est alimenté par les eaux de deux forages l'un Sénonien et l'autre Miopliocène. Le réseau de drainage est constitué de drains à ciel ouvert, débouchant sur un collecteur principal.

1.2. Choix du site expérimental

Dans niveau de cette exploitation notre choix s'est porté sur les demi-secteurs cultivés (A_2, B_1, B_{2-1}, B_{2-2} C_2, D_1 et D_{2-1}) el les deux demi-secteurs nus (E2 et F). (fig.7)

Ce périmètre soumis à l'influence de la culture et l'irrigation d'une part et à des facteurs climatiques et une nappe phréatique.

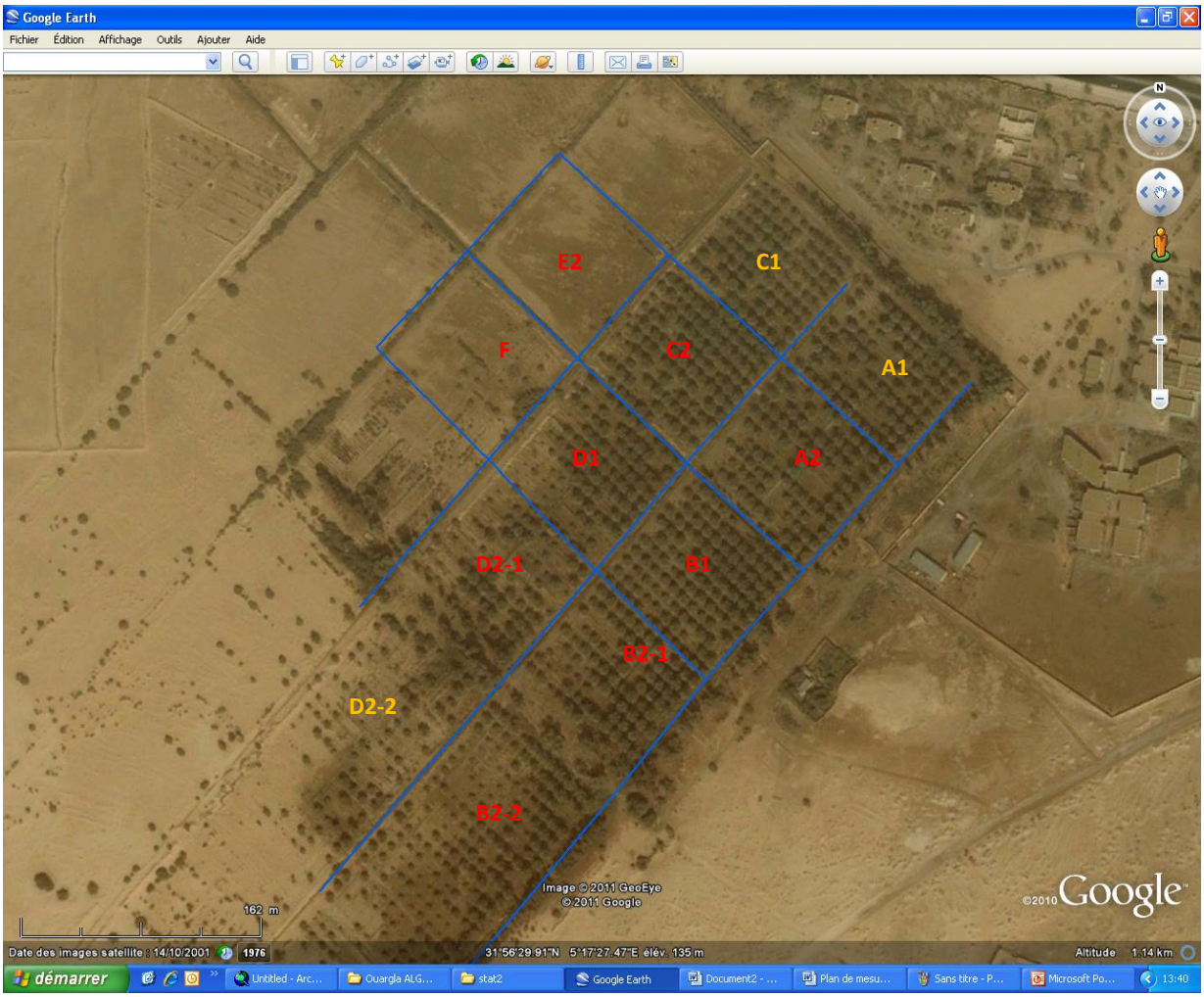


Figure 07: Délimitation du site expérimental (Google Earth, 2001)

2. Caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol de l'exploitation

Plusieurs études sont réalisées sur l'exploitation de l'Université a compté de l'année 1994 jusqu'à l'année 2010, d'après la synthèse des résultats obtenus par ces études, on peut résumer les principales caractéristiques chimiques et physico-chimiques du sol de ce périmètre**:**

Elle est caractérisée par une texture sableux-limoneuse, structure particulaire, avec une présence notoire à certains niveau des croûtes ou encroûtements gypseux. Les conductivités électriques sont élevées pour les secteurs cultivés (2.68 ds /m à 20.44 ds/m), et très élevés pour le sol hors palmiers (19,33ds/m à 21,50 ds/m). Et une teneur insignifiante

en matière organique de (0,8 et 2,4%) dans les sols cultivés et, il est toujours inferieur à 1% dans les sols non cultivés. il atteint des pH neutres à faiblement alcalin varié entre (7,73 à 8,70) pour les deux sols cultivés et non cultivé. Le sol de l'exploitation est non calcaire, et le gypse quant à lui, s'accumule dans les horizons de profondeur.

- **Production végétale**

1. Le palmier dattier

La phoeniciculture représente toujours la principale vocation de l'exploitation. Le nombre de palmier dattier est environ 1300 palmiers. L'âge des arbres varie entre 2 ans à 50ans. Les palmiers sont relativement entretenus.

2. Culture fourragère

Les cultures fourragères pratiquées sont:

L'orge, la luzerne, et le sorgho. Pratiqués en intercalaire avec le palmier dattier. Le choix des cultures fourragères se fait en fonction du plan de production de terrain des étudiants. L'irrigation, se fait par submersion rotation.

3. Méthode d'étude

3.1. Approche méthodologique

Notre travail est divisé en deux parties; il s'agit dans un premier temps de caractériser la distribution spatiale de la salinité dans la palmeraie de l'université d'Ouargla par l'utilisation de l'induction électromagnétique EM 38. Dans un deuxième temps, on examinera l'évolution ou la diminution de la salinité dans le site d'étude à travers une comparaison entre deux compagnes de mesures de CEM. Il s'agit de comparer les mesures de Novembre(2009)- réalisées par MESSOUDI, (2009)- et nos propres mesures en Novembre (2010).

3.2. Analyse bibliographique des documents de base:

Cette étape concerne l'examen des documents disponibles relatives à la zone d'étude, elle concerne notamment: les revues, mémoires, articles, cartes …etc.

3.3. Les travaux sur terrain:

3.2.1. Echantillonnage

Pour utiliser les mesures in situ, il faut étalonner les mesures prises en chaque point, CEH et CEV par rapport à la salure globale (CE ds/m 25°C) du sol en ce point.

La méthode utilisée pour les prélèvements d'échantillons des sols est celle du sondage à la tarière, des sondages au nombre de 30 ont été effectuées sur trois profondeurs (0-10;10-25;25-50) cm. La localisation des points d'échantillonnage est déterminée par un G.P.S de type GARMIN 72**.**

3.2.2. 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 entre deux points (figure 08).

En effet, dans l'appareil utilisé, les grands axes des bobines émettrices et réceptrices sont dans un même plan et parallèles. On peut les positionner horizontalement, on travaille alors en mode horizontal, dit CEH, ou verticalement, (mode CEV). Le champ secondaire produit dans les deux cas étant différent, la réponse variée l'épaisseur et la profondeur du sol. On obtient donc en un même point deux mesures distinctes, notées CEV et CEH.

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 655 points en mode vertical (CEV) et en mode horizontal (CEH)

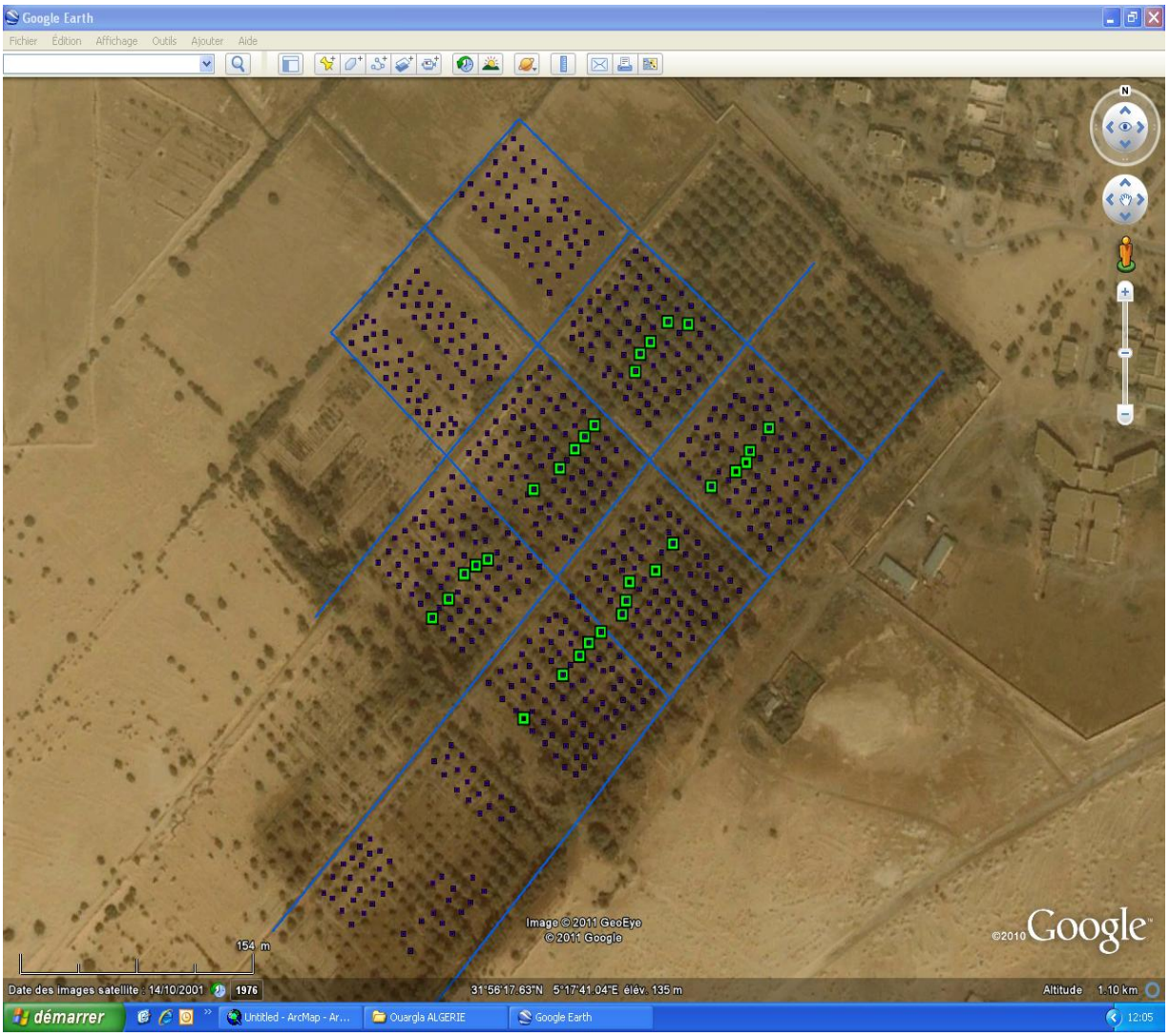
3.2.3. Cartographie de la salinité des sols

Le nombre de 655mesures en mode vertical (CEV) et en mode horizontal (CEH) ont été faites sur une surface d'environ 11 ha (fig.8), pour le but de cartographier de la salinité des sols du ce périmètre. La cartographie permet de caractériser la répartition spatiale de la salinité par évaluation les secteurs affectés par le phénomène de salinisation. La carte

d'estimation de la salinité présente des valeurs rapprochées de la salure des sols, par la méthode d'interpolation par krigeage.

Il existe différentes méthodes de cartographier la salinité des sols. Dans notre étude, nous avons utilisé le condictivimètre électromagnétique EM38 (de Géonics), car il répond à la question qui se pose sur la caractérisation et le fonctionnement du sol en place. En effet, la quantité de sels mesurée sur un échantillon ne peut pas être extrapolée à un grand volume de sol, la distribution spatiale des sels étant en général très hétérogène. De plus, si l'on considère la salinité comme une variable régionalisée (DELHOMME 1976 in JOB et al, 1987), on ne peut mettre en évidence une structure du phénomène qu'avec un nombre très élevé de prélèvements, pour étudier la répartition des sels à grandes échelles.

Le travail de terrain consistait à faire une cartographie de la salinité au sein de la zone d'étude. La localisation des points a été déterminée grâce à un GPS de type GARMIN 72. Chaque point de mesure, dispose alors, de coordonnées UTM, x et y, ainsi que de deux valeurs de conductivités électriques apparentes CEaV et CEaH, qui estiment par milli siemens/m. Durant cette campagne de mesures, nous avons choisi un pas de mesure10m, parce qu'il est suffisant pour détecter les variations latérales de la salinité, sauf dans la demi secteur D2.2 la règle n'est pas respectée parceque ce demi secteur a subit des travaux d'aménagement et la réponse de l'appareil peut être perturber par ces travaux (absence de nivellement du terrain). Comme matériels, nous disposions outre la condictivimètre EM38, d'un GPS de type GARMIN 72, une corde de 20m et des piques



Mesures EM38

Mesures EM38 et échantillonnages

Drains

Figure 08 : Localisation des points de mesures et d'échantillonnages

3.4. Etude au laboratoire:

Les analyses de l'humidité et de conductivité électrique ont été effectuées aux laboratoires de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers relevant de l'université Kasdi Merbah de Ouargla.

3.4.1. Humidité

Elle été mesurée juste après le prélèvement du sol. Elle est obtenue par perte de poids, après un passage à l'étuve pendant (24 heures) à 105°C.

3.4.2. Conductivité électrique

Elle est mesurée après que les échantillons sont séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm. Elle est mesurée au Conductimètre à partir de l'extrait aqueux de sol dont le rapport sol-eau est de 1/5, elle est exprimée en dS/m.

3.4.3. Les traitements statistiques

La réalisation des traitements statistiques des valeurs est effectuée par une logiciel STATISTICA 7 version française.

Ces traitements sont obtenus, à partir de descripteurs basés sur des représentations descriptives de tendance centrale (moyenne, médiane et mode) et de dispersion, (écart-type, variance).

3.4.4. Les cartes thématiques de la salinité

Les différentes valeurs de CEM recueillies avec le conductivimètre EM38 suivant le plan d'échantillonnage adopté nous ont permis de tracer la carte de salinité en deux modes vertical et horizontal du site étudié. Pour cela, un traitement des données à l'ordinateur a été effectué à partir du logiciel de cartographie en l'occurrence Arc GIS version 9.3, version françaises.

Ainsi nous avons réalisés deux cartes l'une de la salinité horizontal (CEH) et l'autre de la salinité vertical (CEV), de la conductivité électromagnétique, Ces cartes visualisent nettement la répartition et la variation de la salinité sur le site étudié.

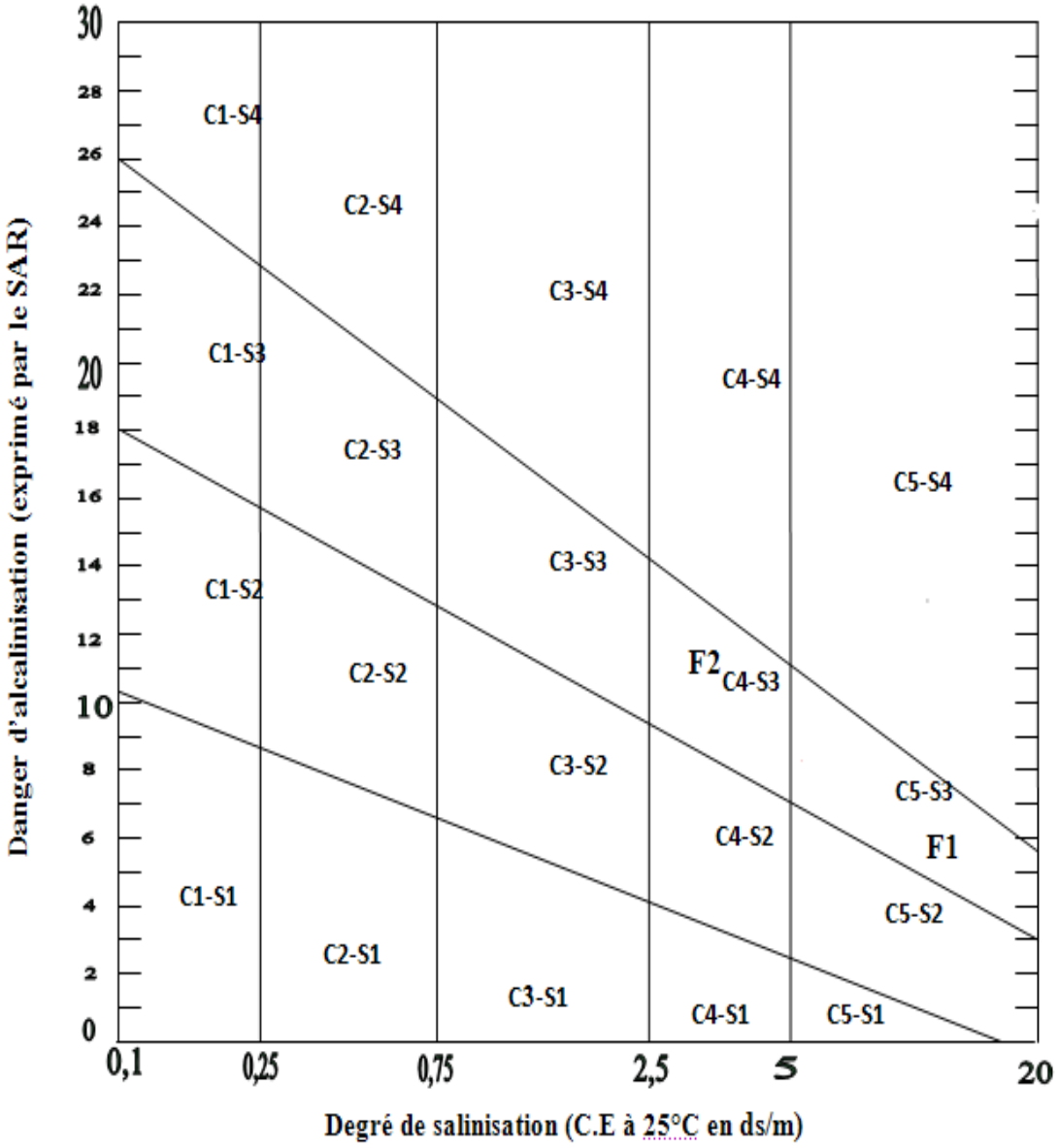
Chapitre IV
Résultats et discussion

1. Irrigation

La salinité des eaux d'irrigation

L'irrigation de la palmeraie est assuré par la disposition de deux forages: l'un Miopliocène et l'autre sénonien.

Le seul secteur irrigué est A2, ou l'eau utilisée pour l'irrigation provient de la nappe du Miopliocène, a une température de 24,30°C, cet eau est très salée (C.E à 25°C=5,4 dS /m). D'après la figure qui présente le diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après RIVERSIDE modifié par DURAND(1958) d'après les résultats obtenus par les analyses chimiques des eaux réalisés par NIBOUA, 2010, notre eau d'irrigation appartient à la classe C5-S3 (eau de mauvaise qualité pour l'irrigation), et le second forage sénonien est moins salé que le premier et il convient mieux à l'irrigation avec une C.E à 25°C=3,70 dS /m, et une forte alcalinisation (SAR=12,46), cet eau appartient à la classe C5S4



- F1: Forage Miopliocène,
- F2: Forage sénonien

Figure 09 : Classification des eaux d'irrigation dans le site d'étude selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par DURAND(1958).

2. Etude de la nappe phréatique

2.1. Salinité des eaux de la nappe phréatique

D'après l'A.N.R.H. (2000), 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 1à 8m selon les milieux et les saisons.

La minéralisation de la nappe, sa profondeur, la texture du sol soumis aux phénomènes de salinisation sont les facteurs dominants qui régissent les rapports existants entre le sol et la nappe associés sein à zone climatique donnée.

D'après le tableau 03, la nappe phréatique dans notre zone est une nappe qui caractérisée par une salinité excessive, elle a des conductivités électriques très élevées (9,81 ds /m à 31.51 ds/m) d'après

Tableau 03 : Les mesures de CE (ds/m) à 25°C d'eau de la nappe phréatique

Secteurs	CE (dS/m) à 25°C
B1	16.64
C2	13.91
A2	13.56
E2	31.51
D1	9.81
F	17.1

2.2. Profondeur de la nappe phréatique

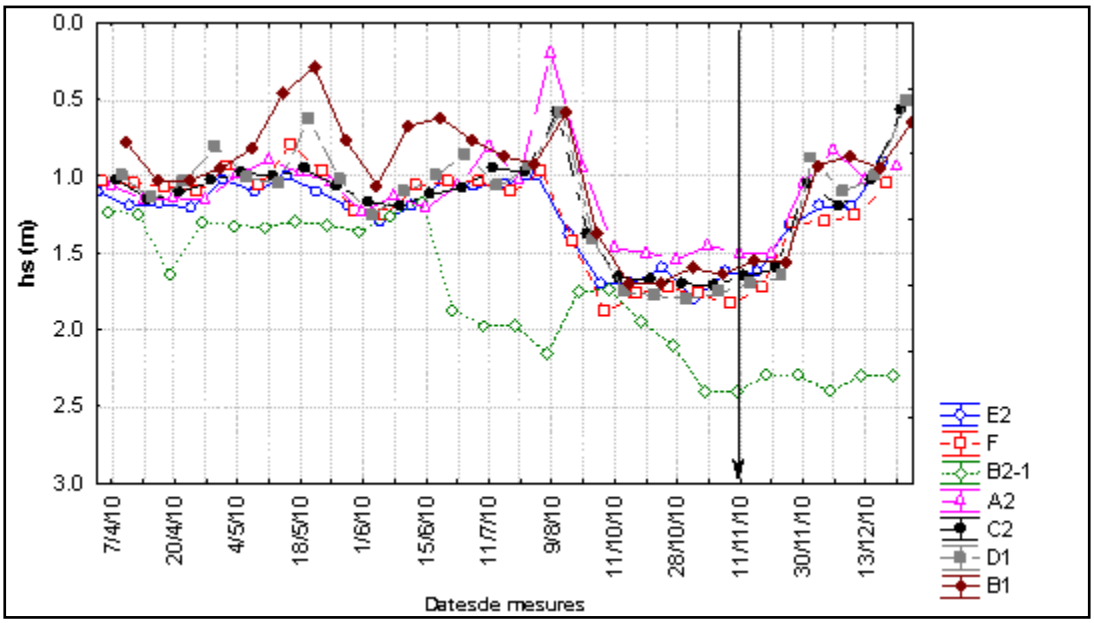


Figure 10 : Fluctuation hébdomadaire du niveau de la nappe phréatique

L'examen de cette figure ci-dessus, nous donne une appréciation sur la fluctuation du niveau piézométrique (hs) (mesuré par une sonde électrique), à travers son rabattement ou bien sa remontée. La même figure, indique que la nappe est proche de la surface pendant les Cinque (5) mois, qui précèdent la campagne de mesures, cette élévation du niveau de la nappe dans tous les piézomètres est causée par des apports d'eau d'irrigation, dans les mois de pointe qui sont caractérisés par l'agressivité des conditions climatiques suite à une élévation de la température donc de l'évapotranspiration et avec une présence d'un réseau de drainage défectueux et qui ne permet pas une bonne évacuation des eaux. Le niveau phréatique est inferieur à 1,5 m dans tous les secteurs. Il est à noter que la nappe s'éloigne de la surface du sol à partir du mois de septembre et se maintien à ce niveau pendant 3 mois, les causes principales sont liées a l'agressivité des conditions climatiques. Elle amorce un autre rapprochement de la surface au début du mois de décembre. L'élévation est par cause mauvaise drainage. Les fuites de canalisation et l'évapotranspiration sont faibles en cette période. On remarque également sur la figure, que le piézomètre du secteur B2-1, donne les niveaux (hs) les plus forts (nappe loin de la surface), pendant tout la période de mesures piézométriques.

Conclusion

La nappe phréatique, qui imprègne le matériau pédologique, se situe à faible profondeur sous la surface du sol, est joue, par son caractère fortement salin, un rôle très important dans le phénomène de salinisation. Cette nappe se comporte alors, sous l'effet des remontées capillaires et de l'évaporation, comme un véritable réservoir de diffusion de sels à travers tout le profil pédologique.

3. Variation spatiale de la salinité

A la lumière les résultats des conductivités électriques, toutes les mesures de CEM sont interprétées par l'échelle de salinité des sols de l'extrait de pâte saturée à 25°C cité par (DURAND, 1983)

3.1. Variabilité des paramètres mesurés

Les statistiques descriptives des mesures EM38, sont réalisées avec le logiciel Microsoft Excel.

Statistiques descriptives des mesures électromagnétiques (CEa V et CEaH)

Tableau 4:variabilité de CEa V et CEaH

	Moyenne	Médiane	Mode	Écart-type	Variance de l'échantillon	Minimum	Maximum	Nombre d'échantillons
CEa V	196.02	183	108	93.9	8816.92	29	573	655
CEaH	198.04	193	168	96.51	9314.65	13	557	655

Les statistiques descriptives du tableau ci-dessus, montrent une remarquable variabilité de la conductivité électromagnétique, aussi bien en surface qu'en profondeur. Cette variabilité est illustrée par les valeurs de l'Ecart-type.

3.1.1. Variation de conductivité électromagnétique (CEa V et CEaH) pour chaque secteur

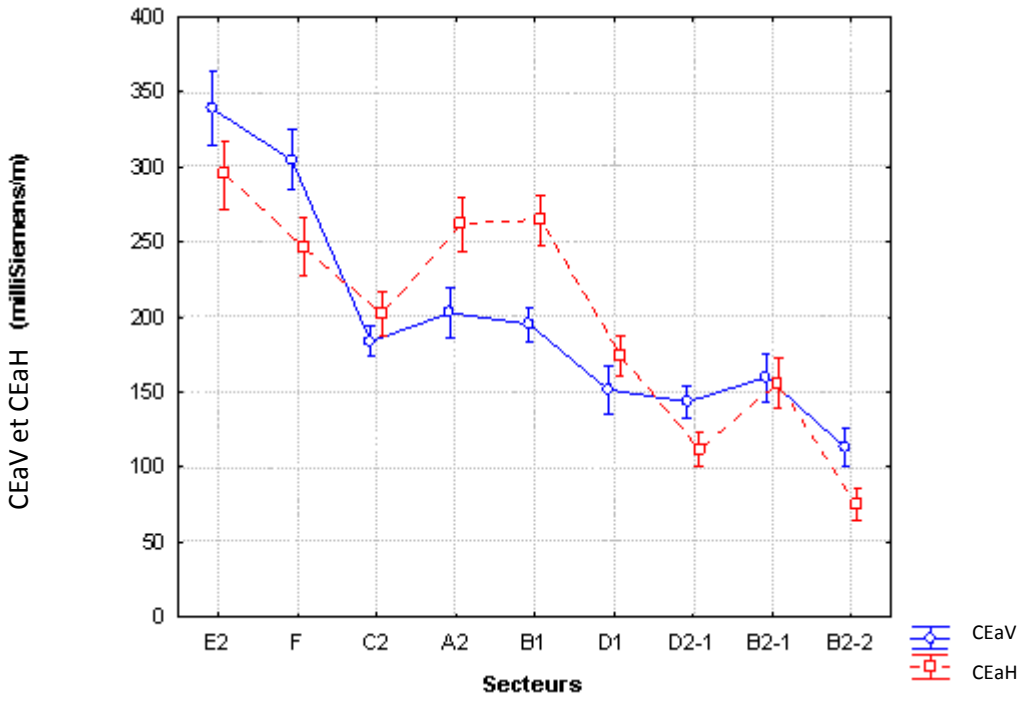


Figure 11: Moyenne et intervalle de confiance (95%) de chaque secteur

Selon la figure ci-dessus, on peut distinguer trois états pour les secteurs de l'exploitation: secteurs non irrigués, secteurs irrigués et secteurs peut irrigués.

❖ **Secteurs non irrigués (F et E2)**

Pour ces deux secteurs, on remarque que la conductivité électrique apparente en profondeur de profil (verticalement) est très importante par rapport la conductivité électrique apparente en surface (horizontal), et les valeurs des CEa V sont plus grandes que les valeurs CEaH (CEa V > CEaH), donc le profil est ascendant résulte de l'effet de la nappe seulement.

❖ **Secteurs irrigués (A2, B1, D1 et C2)**

Dans ces secteurs, on trouve que les valeurs de CEaH sont plus importantes que les valeurs des CEa V (CEaH > CEaV), donc le profil est descendant (effet d'irrigation et de la nappe).

❖ **Secteurs peu irrigués (B2.1, B2.2 et D2.1)**

On observe dans ces secteurs que les valeurs de CEa V et de CEaH sont voisines mais les couches profondes donneront une réponse relative plus grande que les couches superficielles (CEaV > CEaH), donc le profil est ascendant (l'effet d'évapotranspiration intense)

Conclusion

A partir de la figure ci-dessus, on peut tirer les remarques suivantes:

- La variabilité des mesures de la CEM en deux modes n'est pas la même, les mesures sont variées entre les secteurs, et en même secteur, les valeurs de CEH sont très importantes dans les secteurs irrigués que les secteurs non et peu irrigués, au contraire les valeurs de CEV sont très importantes dans les secteurs non irrigués
- lorsque CEaH > CEaV on se trouve au-dessus d'un profil salin décroissant avec la profondeur, situation indiquant une concentration des sels en surface. Dans le cas contraire il s'agit d'un profil salin croissant en profondeur, où les sels se sont accumulés

3.1.2. Variation de la conductivité électrique pour chaque secteur et pour les trois profondeurs

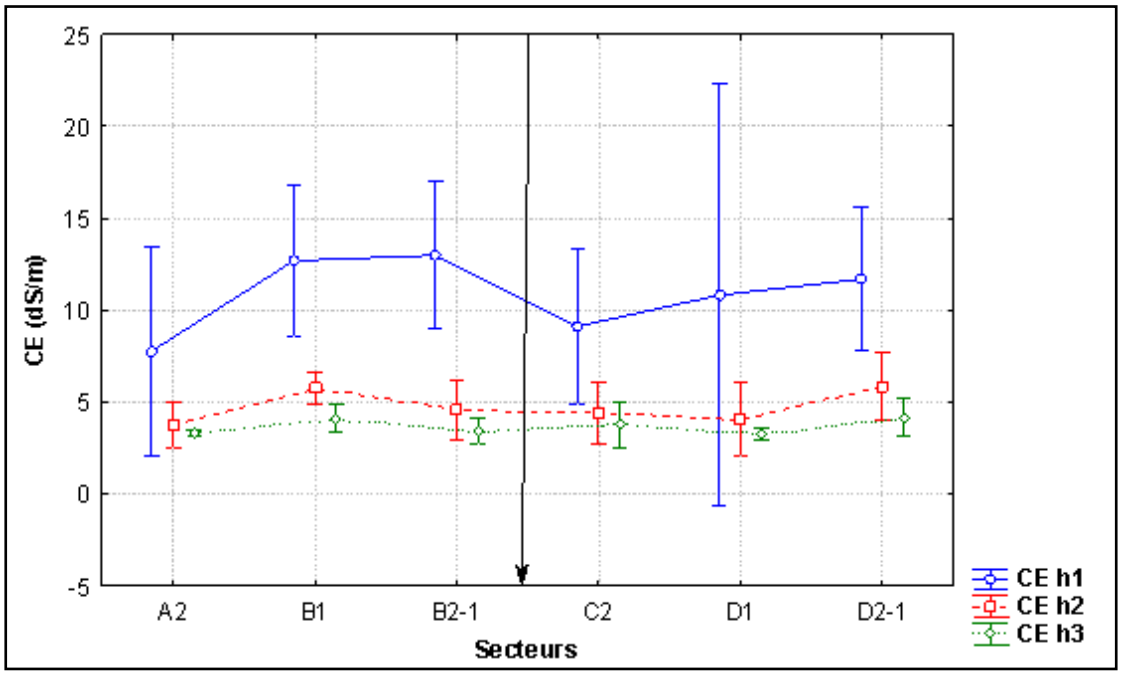


Figure 12: Moyenne et intervalle de confiance (95%) de $CE_{1:5}$ pour chaque secteur et pour les trois profondeurs

Commentaire

Le profil salin est non seulement considéré comme descripteur du niveau de salinité le long du profil pédologique, mais également comme indicateur de la dynamique des solutions. Il constitue la résultante des actions antagonistes entre le processus de salinisation et celui de déssalinisation.

La figure (11), permet de nous donner une idée sur la répartition de la salinité globale dans les différents secteurs et en différents horizons, on peut séparer la surface d'échantillonnage, en partie Ouest et Est (partie Est plus irriguée que la partie Ouest)

Partie Est (A2, B1 et B2.1)

Dans cette partie on peut distinguer que la répartition de la salinité n'est pas identique, elle varie entre ces secteurs, et les couches du même secteur :

- ✓ Ces secteurs sont caractérisés par une très importante salinité en surface, que les autres couches, le profil salin est de type A pour les secteurs B1 et A2 (le maximum de salinité en surface), et de type C pour le secteur B2.1 (le maximum de salinité en couche de surface et la couche médiane) (fig.13, 14 et 15)

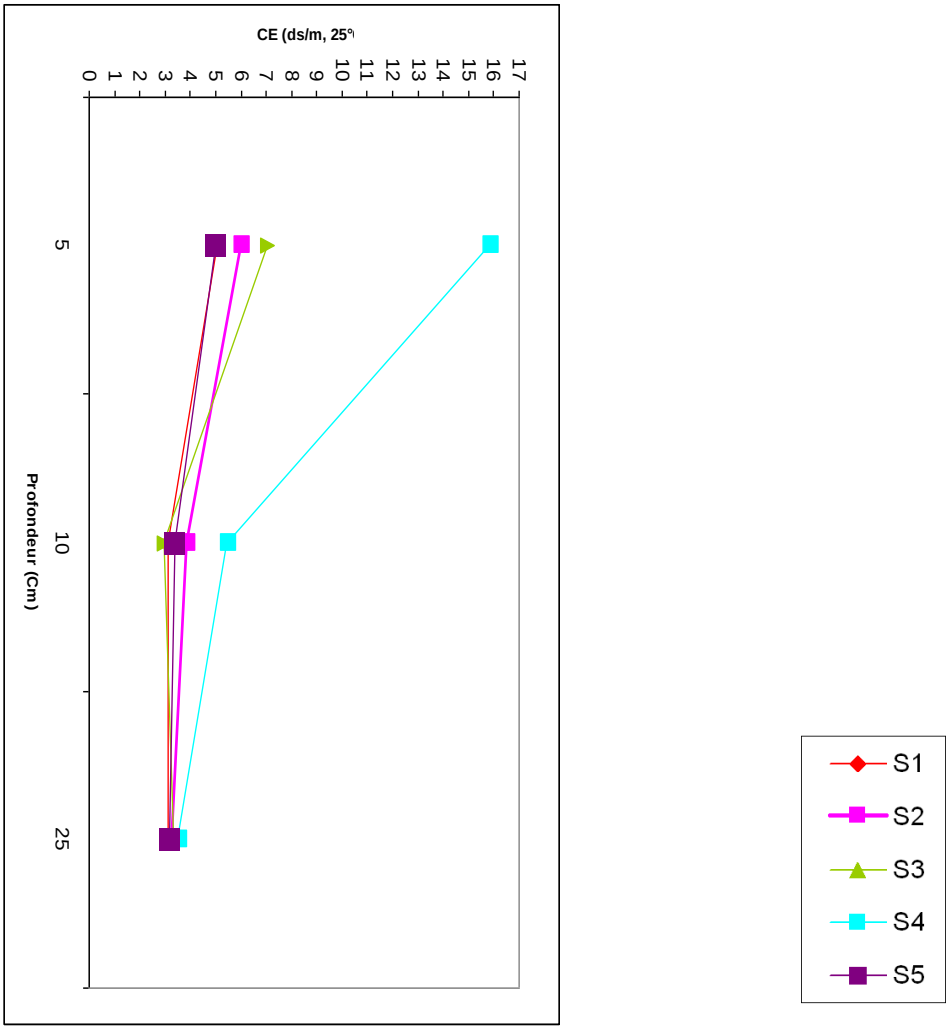


Fig.13: les profils salins des sondages (secteur A2)

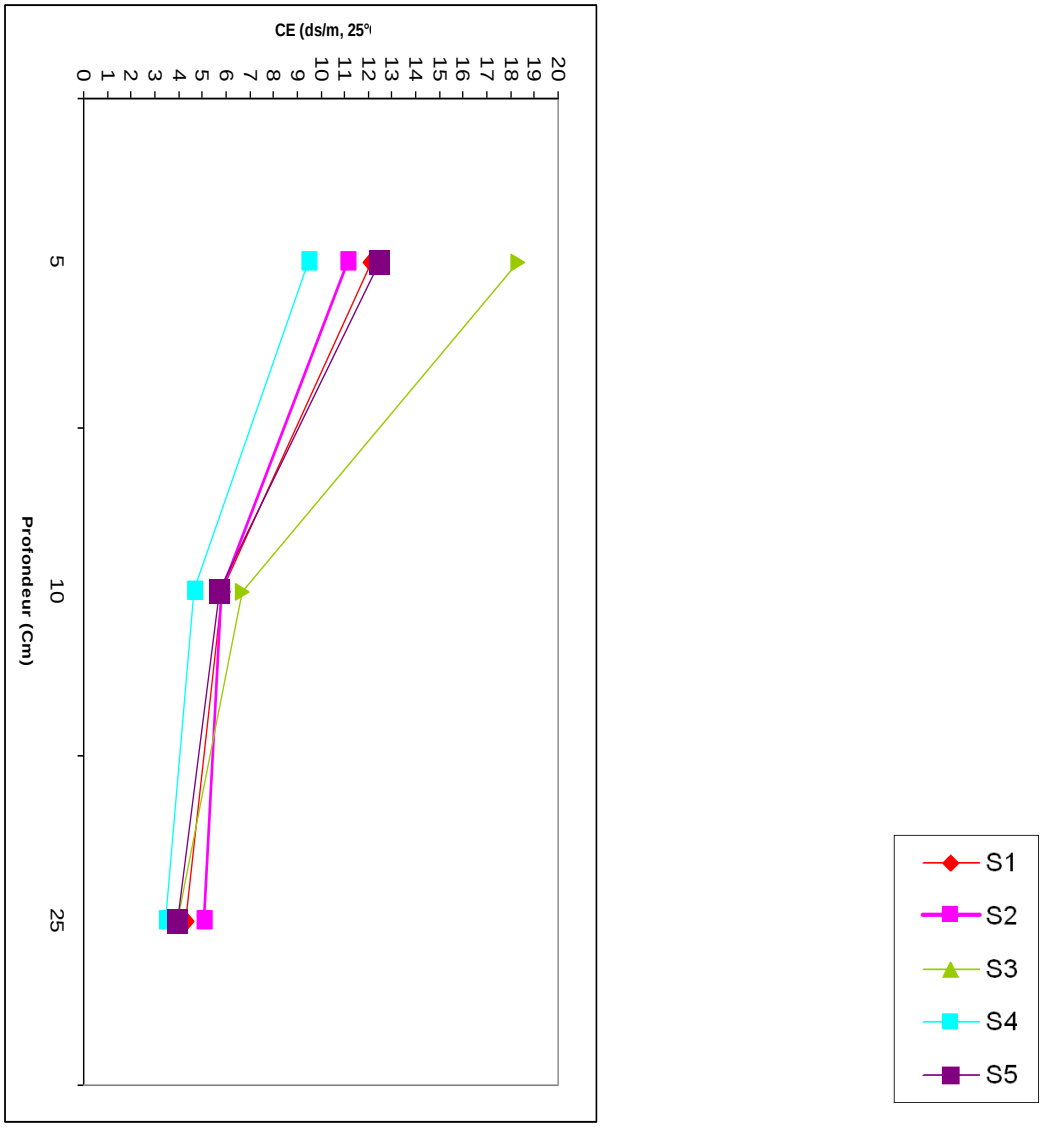


Fig.14: les profils salins des sondages (secteur B1)

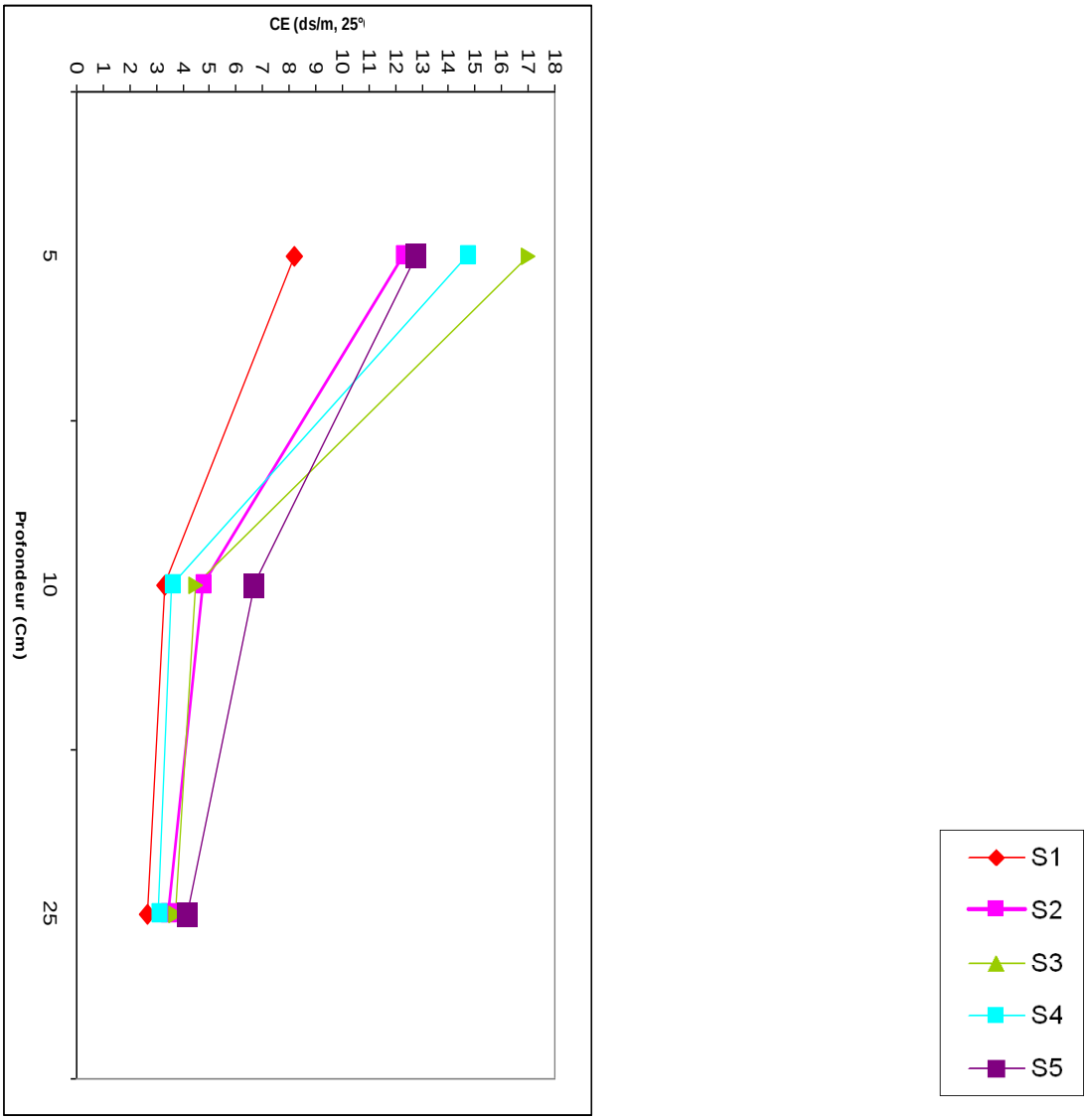


Fig.15: les profils salins des sondages (secteur B2.1)

- ✓ La variabilité spatiale de la salinité est très importantes surtout en surface par apport autres couches, et variée d'un secteur à un autre
- ✓ Les secteurs qui sont irrigués (A2, B1) sont les plus salés que le secteur B2.1 moins irrigué, donc la salinité est variée brusquement d'un secteur à une autre, et même dans les diverses couches de même profil

Partie Ouest (C2, D1 et D2.1)

- ✓ Les secteurs de ce coté sont moins irrigués que l'autre coté, et dans le même coté le secteur D1 est le plus irrigué, avec sa grande variabilité spatiale de salinité en surface comparé aux deux autres secteurs
- ✓ Les deux secteurs D1 et C2 sont plus salés que le secteur D2.1 non irrigué
- ✓ Ces secteurs sont caractérisés par leur accumulation saline au niveau de couche superficielle, qui caractérise le profil salin de type A (fig.16, 17 et 18)

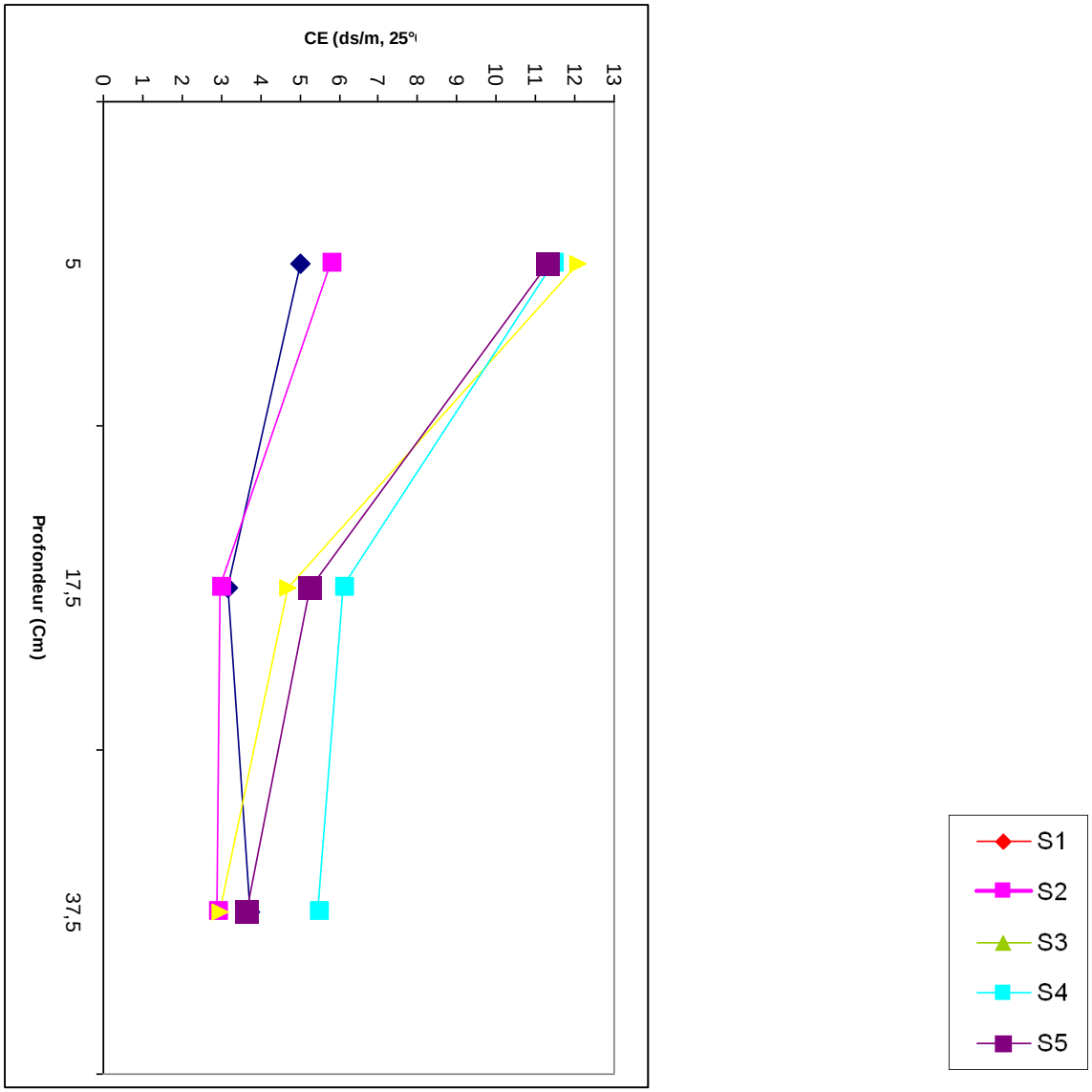


Fig.16: les profils salins des sondages (secteur C2)

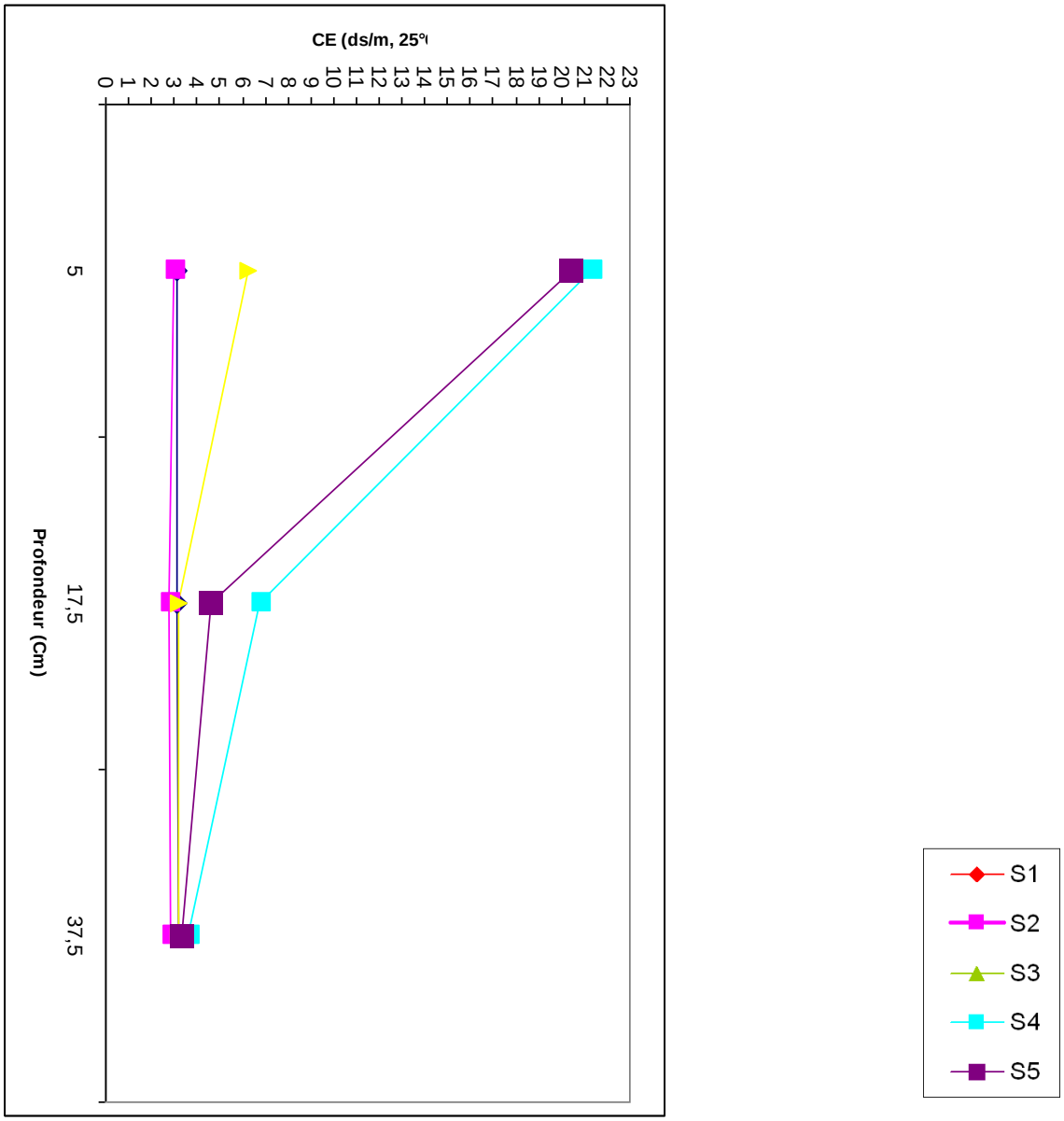


Fig.17: les profils salins des sondages (secteur D1)

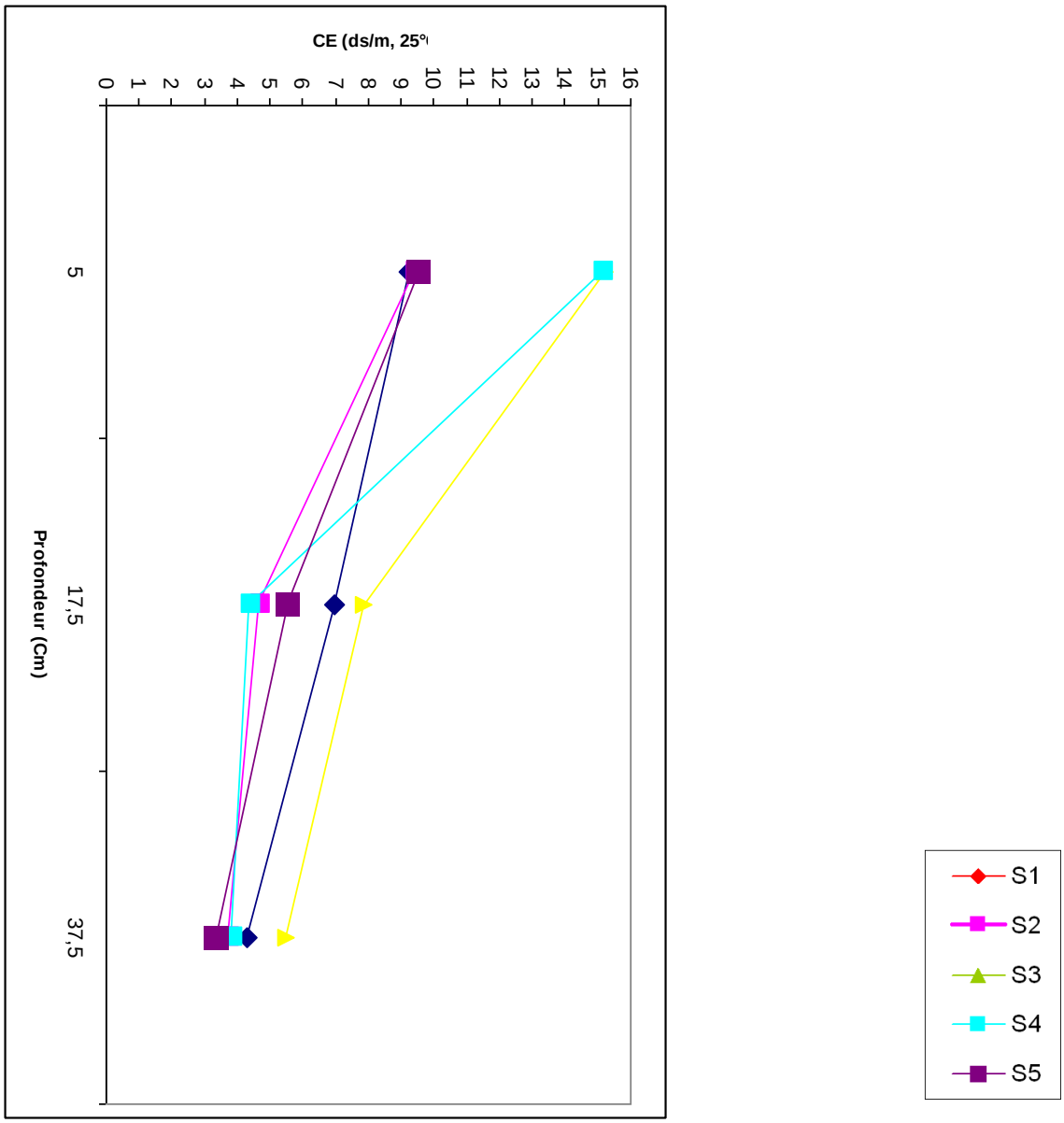


Fig.18: les profils salins des sondages (secteur D2.1)

Conclusion

A partir de la répartition de la salinité dans les différents secteurs, et différentes couches, on peut remarquer que:

❖ La concentration élevée de la salinité en surface dans les différents secteurs s'explique par:

- **Dans les secteurs irrigués A2, B1, C2 et D1**
  - ✓ Les mouvements ascendants de la nappe phréatique proche de la surface
  - ✓ L'irrigation par des eaux salés

- ✓ Le disfonctionnement du réseau de drainage dans certains endroits
- ✓ La présence des horizons d'accumulation gypseux qui forme un obstacle pour la migration descendante des sels en profondeur

- **Dans les secteurs B2.1 et D2.1**

Sont des secteurs moins irrigués et par fois absence d'irrigation durant une longue période

- ✓ La salinité est élevée en surface à cause de la sécheresse de climat, et à forte accumulation des sels sous l'effet d'une évapotranspiration intense et avec l'absence d'irrigation pour lixivier ces sels en profondeur
- ✓ Une concentration des sels remarquée dans les couches médianes et profondes, peut expliquer que ces secteurs sont passés par une phase de désalinisation dans le passé et avec l'absence d'irrigation. La nappe profonde favorise l'accumulation des sels, il faut signaler que le secteur D2.1 a subit des travaux d'aménagement l'année passé.

En fin, on conclue que la variation spatiale de la salinité dans l'exploitation, varie entre les différents secteurs, et dans le même secteur d'une couche à une autre.

3.2. Etude des Régressions

Une régression est un modèle mathématique linéaire reliant une variable aléatoire Y (à expliquer) à K variable (K ≥1) (explicative) aléatoire ou non, ce modèle étant construit pour prédire ultérieurement Y **(**TRANCHEFORT, 1974 in BERKAL, 2006).

« Un modèle consiste en la représentation formelle d'idée ou de connaissances relatives à un phénomène » (TRANCHEFORT, 1974 in BERKAL, 2006).

Il est cependant important d'avertir, qu'en aucun cas, on cherche à établir des relations causes-effets.

Dans cette partie nous avons fait une étude corrélative, entre les mesures de $CE_{1/5}$ pour les différents couches, avec la CEM (CEH, CEV). Les traitements sont appliqués sur les 30 couples de données.

3.2.1. Relation entre la CEH et $CE_{1/5}$

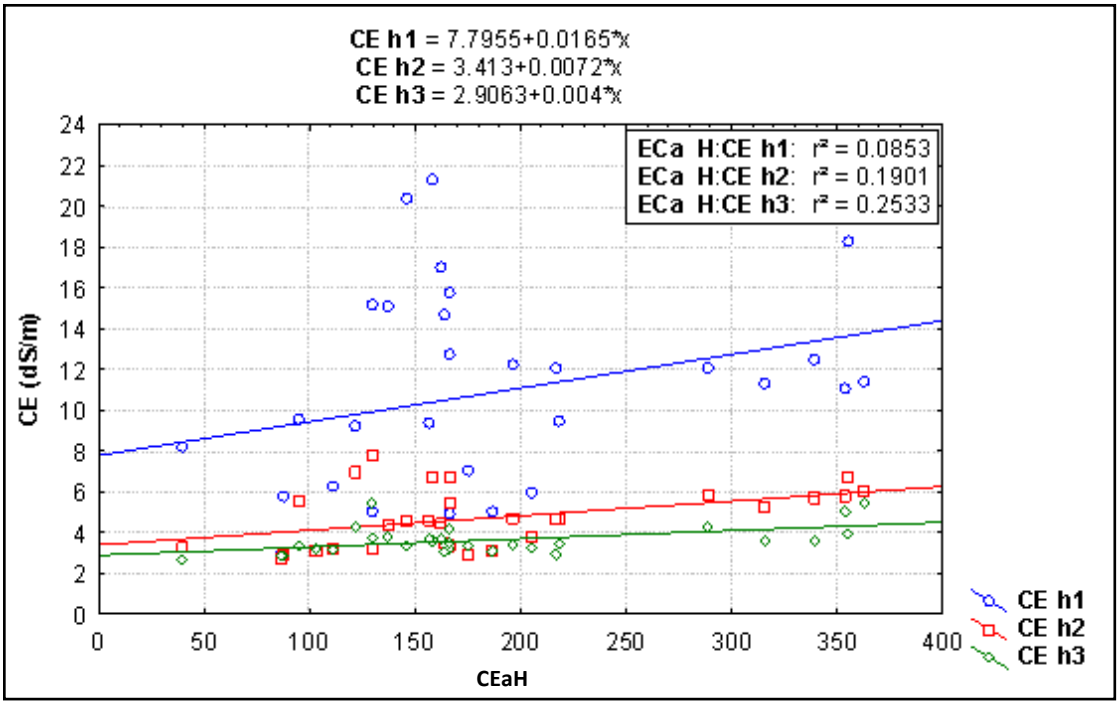


Figure 19: Régression entre la conductivité électromagnétique horizontale et la CE de trois profondeurs

La relation entre la CEH et $CE_{1/5}$ dans les trois profondeurs, détermine qu'elle existe une valeur de CE d'étalonnage pour les mesures de CEH qui varie entre ces trois couches

Cette figure, indique qu'il existe une faible corrélation entre ces deux variables dans la première couche avec R^2de 29%. Cette tendance est bien confirmée par ce nuage de points dispersé.

La figure illustrant la relation entre la CEa H et la $CE_{1/5}$ de la couche médiane (10cm – 25cm), montre une bonne relation entre ces deux variables. La corrélation est plus significative que la première couche avec R^2est environ 43%

Le bon ajustement de la relation entre ces deux paramètres dans la dernière couche, donne un coefficient positif et significatif de 50%.

3.2.2. Relation entre la CEV et $CE_{1/5}$

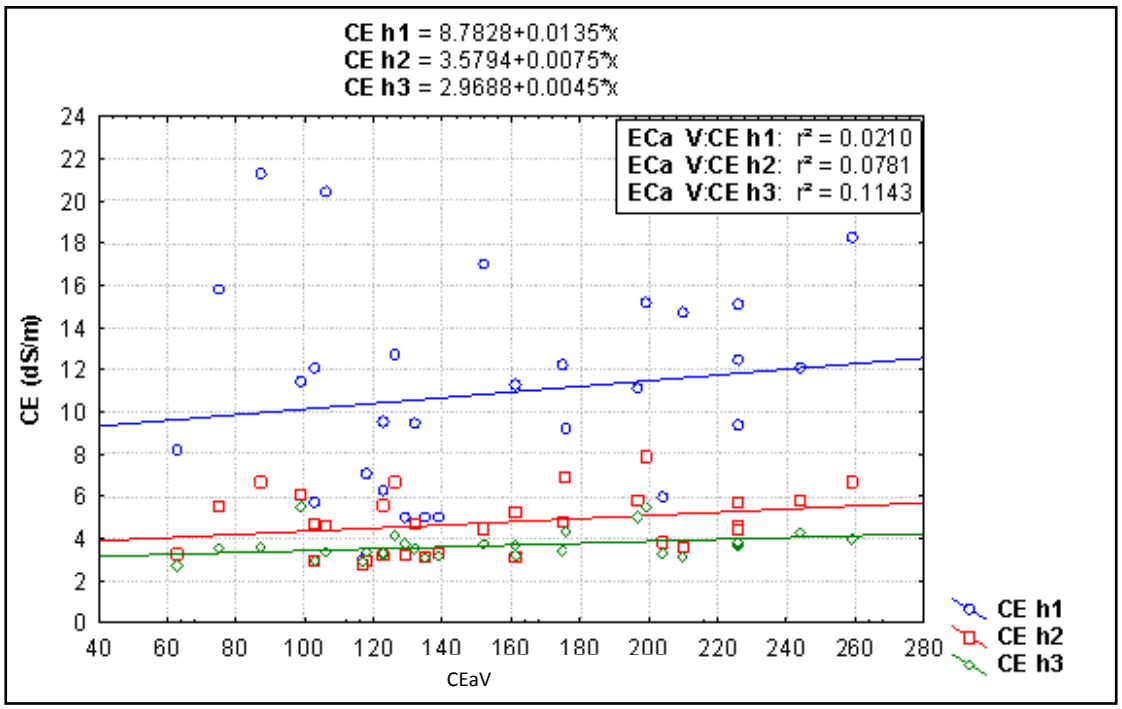


Figure 20: Régression entre la conductivité électromagnétique verticale et la CE de trois profondeurs

L'étude de la relation entre la CEV et $CE_{1/5}$ dans les trois profondeurs, montre qu'il existe une valeur de CE d'étalonnage pour chaque couche.

Dans la première couche, la régression entre la CEV et la $CE_{1/5}$ donne un coefficient de détermination de 0.14. Ce coefficient renseigne à lui seul que la corrélation est faible entre ces deux paramètres.

La figure 20, montre une bonne relation dans la seconde couche, entre ces deux variables. La corrélation s'avère positive avec un R^2 de 28%

Dans la couche de sol allant de 25cm à 50 cm, la relation entre les deux variables est positive. Un coefficient de détermination de 33%, confirme cette tendance.

D'après ces deux figures ci-dessus (fig.19 et fig.20), on peut noter ce qui suit :

- ✓ La relation entre la $CE_{1/5}$ et la CEM (CEH et CEV) est significative

- ✓ La réponse de la CEM dépend par la salinité propre de chaque couche de sol et en fonction de la profondeur de cette couche.
- ✓ La CEH est croissante avec la CE du sol, elle est importante en surface, au contraire la CEV est croissante avec la profondeur donc la réponse est plus importante en profondeur

Synthèse

Nous avons tenté d'expliquer la situation qui privant au niveau de l'exploitation de l'Université de Ouargla. Il est certain que les différents paramètres qui sont à première vue responsables directes de cette situation ne sont pas et de loin, les seules. Les réseaux d'irrigation et de drainage n'assurent pas leurs rôles respectifs, et si l'on ajoute la profondeur de la nappe et la constitution physique de notre sol, nous avons la des paramètres qu'il faudra étudier encore plus en détails si l'on veut réellement apporter une amélioration effective de ce sol salé.

4. Les cartes thématiques de CE_a

La cartographie de la salinité des sols de l'exploitation permet une caractérisation de l'état actuel de la salinité et d'évaluer les terres affectées par le phénomène de salinisation c'est-à-dire la distribution spatiale de la salinité dans ce périmètre.

Ces cartes (la carte de CEV, et la carte de CEH) d'estimation de la salinité présentent des valeurs rapprochées de la salure des sols, par la méthode d'interprétation par krigeage.

Ces cartes sont réalisées par l'utilisation d'un logiciel de cartographie en l'occurrence Arc GIS version 9.3, version française, les résultats de CEM sont interprétés par l'échelle de l'interprétation de la salinité en fonction de pate saturée.

4.1. La carte de CEV

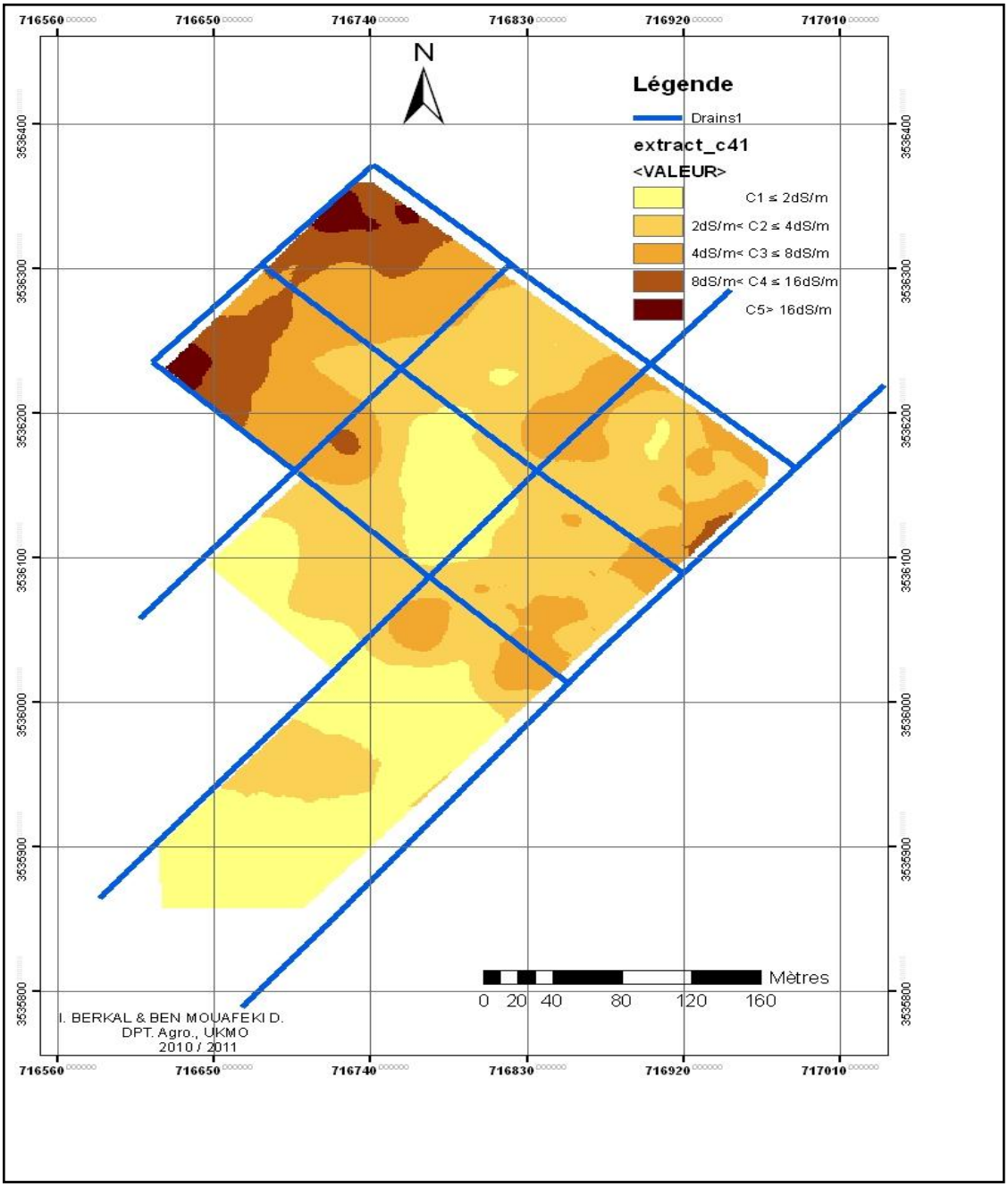


Figure 21 : Carte de la salinité en mode vertical (CEV) de l'exploitation agricole de l'Université de Ouargla

D'après la carte (fig. 21), on observe que les sols du l'exploitation d'ITAS, présentent une grande variabilité spatiale de la salinité en profondeur, dont on peut distinguer facilement Cinq classes de sols:

- **C1≤ 2 dS/m : sols non salins**

Leur localisation est au Sud de l'exploitation dans les secteurs B2.2, B2.1, petite surface en D2.1**,** et en D1. Se résultats seraient le fait que la nappe est loin de la surface et l'absence d'irrigation dans les secteurs B2.2, B2.1et D2.1**,** et a cause de la lixiviation des sels en profondeur par les doses non contrôlées des eaux d'irrigation dans le secteur D1.

- **2≤ C2 ≤ 4 dS/m : sols légèrement salins**

Ces sols occupent une grande surface de l'exploitation, elles caractérisent les secteurs cultivés.

- **4 ≤ C3 ≤ 8 dS/m : sols salins**

Se localisent particulièrement dans les secteurs A2 (à (côte des drains), E2, F et une petite surface à cote de drain en C2.

- **8 ≤ C4 ≤ 16 dS/m : sols très salins**

Caractérisent essentiellement les secteurs E2 et F, se localisent dans la zone de l'exutoire des drains et occupent une très petite plage dans le secteur A2 (côte de drain).

- **C5 ≥16 dS/m : sols extrêmement salins**

Occupent des très petites surfaces dans les secteurs nus E2 et F (en zone la plus proche des drains).

4.2. La carte de CEH

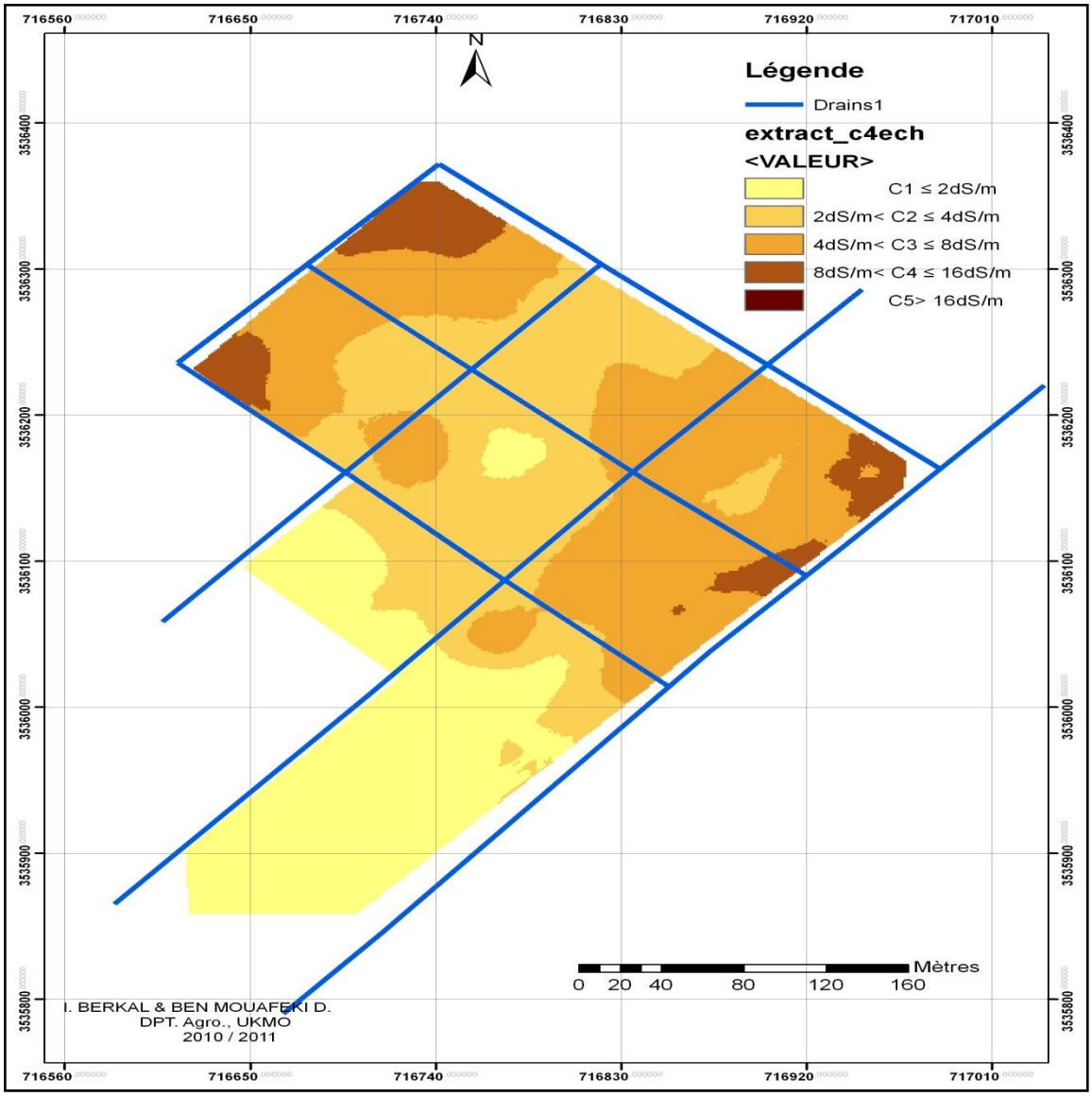


Figure 22 : Carte de la salinité en mode vertical (CEH) de l'exploitation agricole de l'Université de Ouargla

La carte de CEH (fig.22) montre une hétérogénéité de la salinité en surface dont on peut distinguer les classes suivantes:

- **C1≤ 2 dS/m : sols non salins**

Caractérisent le Sud de l'exploitation et occupent une grande surface dans les secteurs (B2.1 et D2.1)**,** la surface totale de secteur B2.2 et une petite surface au centre de secteur D1.

❖ **2≤ C2 ≤ 4 dS/m : sols légèrement salins**

Occupent le centre de l'exploitation (D1 et C2), et petites surfaces dans les secteurs D2.1 B2.1, E2 et F

❖ **4 ≤ C3 ≤ 8 dS/m : sols salins**

Caractérisent bien les secteurs A2, B1, une surface importante dans les secteurs nus E2, F et une petite surface dans le secteur C2, et une petite plage dans les secteurs D1, B2.1.

❖ **8 ≤ C4 ≤ 16 dS/m : sols très salins**

Observés dans les secteurs nus E2, F à coté des drains, une petite surface dans les secteurs A2 et B1.

❖ **C5 ≥16 dS/m : sols extrêmement salins**

La carte CEH caractérise, par l'absence totale de cette classe dans les sols de l'exploitation.

5. Comparaison des résultats des deux compagnes de mesures

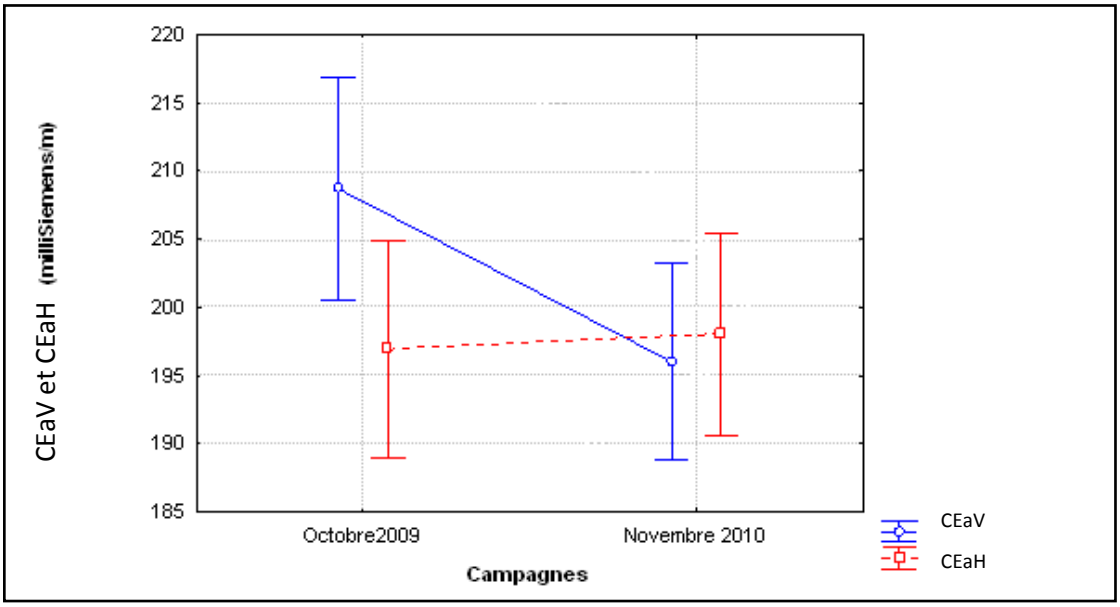


Figure 23. Moyenne et Intervalle de Confiance (95%) (CE_aV et CE_aH) pour les compagnes considérés

D'après la fig.23, on peut remarquer que la salinité apparente a une grande variabilité spatiale en profondeur (CEaV), et en surface (CEa H) en deux compagnes de mesures.

❖ **Première compagne de mesures**

Pour cette première compagne dont les mesures réalisées au cours de mois de Octobre (2009), les données statistiques de la salinité apparente (ECV et ECH), se traduisent généralement par une conductivité électrique élevée pour les deux modes, peut atteindre 685ms/m pour la CEV et 668ms/m pour la CEH

L'étude détaillée des données de la salinité apparente montre une grande variabilité de cette dernière en surface comme en profondeur (fig.23). Cette variabilité est confirmée par la valeur d'Ecart-type pour les deux modes de mesure

❖ **Deuxième compagne de mesures**

L'analyse des données statistiques de la salinité des sols mesurées au cours de la deuxième compagne de mesures (Novembre 2010), montre que la conductivité électrique apparente mesurée en vertical peut atteindre (573 ms/m), donc on observe une diminution de 112ms/m, par rapport à la première compagne, et la conductivité électrique mesurée en mode horizontal peut atteindre 557ms/m avec une diminution de l'ordre de 111ms/m par rapport à la première compagne (Tableau 3 et 4 Annexe I).

Durant cette deuxième compagne, on remarque une salinité relativement faible par rapport à la première. Cette différence de salinité entre les deux compagnes peut s'expliquer par différentes causes:

- ✓ La variation et les apports des doses d'irrigation durant la saison estivale, qui favorise la lixiviation des sels vers la profondeur
- ✓ Une désalinisation des sels en profondeur peut être due à la fluctuation de niveau de la nappe phréatique qui devient plus proche dans cette période
- ✓ La principale cause qui favorise ces deux phénomènes (infiltration des eaux d'irrigation et la remontée de la nappe phréatique), c'est la texture sableuse.

Compte tenu des résultats obtenus, nous remarquons une diminution assez nette de la salinité, comparé aux travaux antérieurs, cela est du visiblement aux aménagements récents effectués dans l'exploitation de l'université (ITAS).

Ces aménagements sont tributaires à une bonne mise en valeur en référence à une bonne conduite régulière d'irrigation additionnée à un meilleur drainage.

Conclusion Générale

Conclusion générale

La salinisation des sols constitue une menace permanante pour l'agriculture irriguée en zone aride et semi aride.

Cela vient du fait que les conditions nécessaires au développement de ce phénomène semblent être réunies.

- Climat aride très évaporant
- Eaux d'irrigation souvent chargées en sels
- Topographie défavorable au drainage des eaux
- Nappe phréatique proche de la surface du sol
- Présence d'un encroutement gypseux en sub-surface du sol

La lutte contre ce phénomène sera donc permanante, et ces problèmes méritent énormément d'attention.

Le travail que nous avons mené dans l'exploitation de l'Université de Ouargla, caractérisée par des sols sableux et en présence d'une nappe excessivement salée (CE : 9,81à 31,51 dS /m), à faible profondeur. Cette étude avait pour but principal de caractériser la répartition spatiale de la salinité à l'échelle de cette palmeraie irriguée, par l'utilisation de l'induction électromagnétique EM38, et de suivre la variation saisonnière de la salinité dans ce périmètre par une étude comparative entre de compagnes de mesures (2009) et (2010)

Les principaux résultats obtenus, indiquant que:

- ✓ La salinité du sol présente une grande variabilité en surface comme en profondeur, avec une variation de la salinité entre les secteurs et entre les couches de même profil
- ✓ La salinité est élevée surtout dans la partie Ouest (les sols nus) de l'exploitation, elle peut atteindre 16 dS/m. Ce résultat est valable aussi bien pour les couches de surface (CEH) que pour les couches profondes (CEV)
- ✓ Les cartes thématiques de la salinité, indiquant que les secteurs Sud de ce périmètre sont moins exposés à la salinité (CE≤ 2dS/m), que les secteurs Nord (CE>2dS/m).

- ✓ Les mesures de le CEM menées en 2010 comparées par les mesures de 2009, montre une diminution de la salinité entre les deux compagnes de l'ordre de 112ms/cm en profondeur et de 111ms/m en surface.
- ✓ L'eau d'irrigation apportée par deux forages Miopliocène et Sénonien, on signale que l'eau du Sénonien est moins salée que l'eau de Miopliocène classés (C5S3) et (C5S4).
- ✓ L'analyse des données piézométriques révèle l'existence d'une nappe phréatique, proche de la surface du sol notamment dans les secteurs du Nord (les plus bas du périmètre). Les variations des niveaux de nappe sont en étroite relation avec l'irrigation et les évaporations. La salinité de l'eau de la nappe est généralement très élevée et peut dépasser dans les secteurs nus les 30 ds/m, au contraire dans les secteurs cultivés, elle est moins salés (CE:9,81dS/m), ce que supposerait un effet de l'irrigation et de la texture sableuse du sol par le phénomène de lixiviation des sels
- ✓ La variable spatialisée que nous avons adopté, c'est à dire: la salure globale apparente mesurée par conductivimètre électromagnétique, a permis de nous affranchir de l'hétérogénéité de la répartition des sels dans le sol.
- ✓ La cartographie basée sur cette mesure et l'emploi d'un logiciel géostatistique (Boivin, 1988), permet de définir les tendances spatiales de variation et l'évolution de la salinité dans le temps

L'utilisation du conductivimètre électromagnétique EM3 8 pour l'évaluation de la salinité des sols apparaît comme une méthode rapide et fiable. En effet, sa facilite la mise en œuvre et sa rapidité d'exécution, tels font de l'EM38 un outil performant pour la caractérisation des sols salés. I1 permet ainsi de suivre l'évolution spatiale et temporelle de la salinité en temps réel et à moindre coût, ce qui justifie son utilisation de plus en plus fréquente pour la cartographie de la salinité des sols dans ces vastes périmètres.

Les sols salés et la dynamique des sels restent toujours présents avec ses spécificités d'évolution rapide. La caractérisation des sols irrigués en zone aride se le suivi et la prévision de leur évolution restent encore un problème sur lequel il faudra pencher dans les conditions hydro-pédologiques du Sahara en particulier dans l'espace Oasien pour mieux comprendre et cerner le phénomène, et préconiser des pratiques susceptibles de réduire son développement.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

A.N.R.H., 2000 : Note relatives à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla, 11p.

ANONYME, 1952. Etude pédologique et hydrologique de la haute vallée de la Medjerda, secteur 2, annexes du fascicule 1. H.A.R, Sect., Spec., Et., Pédo., Hydro, n° 113.

AUBERT, G.1976. Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annuaire de l'I.N.A El Harrach, Alger Vol VI, n°1, pp: 185-196.

AUBERT G., 1978 : Méthode d'analyse des sols. C.R.D.P., Marseille, 546p.

AUBERT, G. 1983: Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah. ORSTOM Ser. Péd., Vol. XX N°1, pp73-78.

BAISE, D.2000. Guide des analyses en pédologie. Ed .I.N.R.A. Paris, 257p.

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.

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 d'Ouargla. Mém., Ing., I.T.A.S, Ouargla, 89p.

BONNARD & GARDEL, 2003. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales d'irrigation, Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Thèse BG, vallée d'Ouargla mission III A. Lausanne.

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, *Ca* ORSTOM, sér. Pédol, vol. XXVII, no 2: 315-34.5.

CHEVERRY .CL., 1972. Contribution à L'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu aride continental et subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse doc., Univ. Louis Pasteur, Strasbourg, 275p.

CORWIN D.L., RHOADES J.D, 1990: Establishing soil electrical conductivity-depth relations form electromagnetic induction measurements. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 21, 871-901.

DE JONC E., BALLANTYNE A.K., CAMERON D.R ET 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.

DEPLANHOL, A et ROGNON, P., 1970. Les zones tropicales arides et subtropicales. Libraire Armand Colin, Paris.

DJAMAI R., 1993: Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du lac FETZARA (ANNABA). Thèse Magister, I.N.A. Alger, 78 pp.

DOGAR M A., 1980. Méthodes d'analyses des sols salés alcalins, Polycopie, I.N.E.S.A., Batna, 33p.

DUBOST, D.1992. Aridité, agriculture et développement: cas des oasis algériennes. Sécheresse, 3, pp.85-96.

DURAND J H., 1958. Recherche sur les sels apportés au sol par les pluies. Travaux des sections pédologie et agricole. Bull n° 5, SES, Birmouradrais

DURAND J.H., 1983: Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p.

FAO, 1988 : La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin d'irrigation et de drainage, 29 Revel, 181 p.

FAO. 2005: Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome, 61 p.

GAUCHER G., BURDIN S, 1974: Géologie, géomorphologie et hydrogéologie des terrains salés. P.U.F. Paris, 231p.

GRATTON Y., 2002. Le Krigeage : La méthode optimale l'interpolation spatiale. INRS-Eau-Terre-Environnement. Canada, 4p.

GREGORY B., 2005. Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizes en milieu

Salin et sodique. Thèse de Doc, en science forestières 190p.

HALILAT M.T., 1993: Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (Région de Ouargla). Mém. Mag, Univ. Batna, 132 pp.

HALITIM A, 1988: Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U., Alger, 384p.

HALITIM A., 1973. Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3 eme cycle. Univ de Renne, 176 p.

HAMDI AISSA, 2001. Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla). Approches micro morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale, Thèse doct, I.N.A-P.G, Paris, 310p.

HULIN.M., 1983. Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés .Cours polycopié, vol 3, I.N.A.Alger, 139p.

IDDER M^{ed} 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.

JOHNSTON M.A., SAVAGE M.J., MOOLMAN J.H., DU PLESSIS H.M., 1997. Evaluation of calibration methods for interpreting soil salinity from electromagnetic induction measurements. Soil Sci. Soc. Am. J., 61, 1627-1633.

JOB J.O, HACHICHA M et Loyer J.Y., 1990: Conductivité électromagnétique et cartographie de la salinité des sols. Rapport Ministère de l'agriculture et centre ORSTOM. pp. 4,5.

JOB J.O, LOYER J.Y., AILOUL M., 1987. Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure de la salinité des sols. Cah. Orstom, sér. Pédol. 23 (2), 123-131.

KHADRAOUI A., 2005. Eaux et sols en Algérie: gestion et impact sur l'environnement. Recueil de communications, Ouargla, 391p.

LAHMAR H. 1992. Cartographie des sols de l'exploitation de l'I.N.F.S.A.S., (Ouargla). Etude pédologique et thématique, Thèse. Ing. l'I.N.F.S.A.S., Ouargla.63p.

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 ET 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.

MENACER A., 2009. Essai de l'optimisation de la fertilisation organique de la culture de pomme de terre dans les conditions salines des régions sahariennes (Cas de Ouargla). Mém. Ing, Ouargla, 114p.

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.

MESSOUDI N., 2010. Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité en milieux sableux .Cas de la palmeraie de l'université de Ouargla. Mém. Ing, Ouargla, 37p.

MIHAI, GH.I. et DINCU, I., 1976. Influence des travaux d'amélioration des caractères des sols à excès de sels solubles. Ann., I.N.A. EL HARRACH, Vol.1, Alger, pp 195-215

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.

NIBOUA Y., 2010. Etude comparative de la salinité dans trois situations agricoles différentes. Application à la palmeraie de l'Université. Mém. Ing, Univ de Ouargla, 69p

N'ZI R., KOISSI C., 2010. Application des méthodes de krigeage à la prospection minéralogique: cas du permis d'exploitation artisanale de Djani-Yao (s/p Tanda). Diplôme Technicien supérieur. I.N.Polytechnique (Houphouet Boigny Yamoussoukro).

O.N.M, 2011. Données climatiques de la région de Ouargla, 4p.

OUMEIRI N., 1994. Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette d'Ouargla, Mém. Ing, Univ de Ouargla, 72p.

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.

ROUAHNA H., 2007. Relation entre les nappes et la salinité dans les sols gypseux de la région d'Ain Ben Noui. Biskra. Mém. Mag, Univ de Biskra, 83p.

ROUVILOIS- BRIGOL M., (1975). Le pays de Ouargla (Sahara Algérien)". Etc... Dép. Georg, université de SORBONNE, Paris, 389p.

SAFAR T, 1983. Pédologie et géochimie des milieux salés, Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans une plaine alluviale irriguée et non daignée. Thèse .Ing . , Univ. Alep, Nancy, 200 p.

SERVANT. J.M., 1970. Etude expérimentale des conditions salines sur la perméabilité des sols, conséquences pédologiques, science du sol. p.p.85.105

SERVANT. J.M. 1978. La salinité dans le sol et les eaux. Caractéristique et problème d'irrigation drainage. Bull. B.R.G.M., Sect. III, N°2, Paris, pp 123-142.

U.S.S.L., 1954. Diagnostic and improvement of saline and alckali soils, U.S.A.D, Handbook. N°60, 160p.

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.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Varigramme

ANNEXES

ANNEXE I

Tableau 01: Donnés climatique de l'année 2010 de la région de Ouargla

MOIS	Temperatures (°C)			Précipitation (mm)	Vitesse du vent (m/s)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Insolation (h)
	Moyenne	Max.moy	Min.moy					
Janvier	6,6	21,6	13,7	4,4	2,8	109	53	249
Février	9,6	25,4	17,5	TRC	3,6	131	46	198
Mars	12,9	28,1	20,5	TRC	4,0	186	39	219
Avril	17,9	31,3	24,5	0,7	4,7	211	39	263
Mai	18,7	33,6	26,6	1,7	4,6	279	35	311
Juin	25,3	41,3	33,9	3,0	5,5	410	30	219
Juillet	28,4	43,9	36,7	2,2	3,7	425	28	313
Aout	28,2	43,6	36,3	TRC	4,0	388	30	352
Septembre	22,8	36,9	30,0	7,7	3,8	221	44	274
Octobre	16,2	30,7	23,3	3,9	3,0	177	45	259
Novembre	9,7	24,9	16,9	NT	3,2	117	53	257
Décembre	6,6	21,3	14,0	NT	2,7	109	47	247
Moyenne annuelle	19,90	31,88	24,49	_	3,8	230.3	40.8	263,42

*** Cumule annuel** **(ONM, 2011)**

TRC: Pluie inférieur à 0,1mm

NT: Neant

Tableau (02): Résultats des mesures de conductivité électrique ds/m à 25°C

Demi- secteur	Horizons (cm)		
	0-10	**10-25**	**25-50**
A2	5.04	3.12	3.14
	5.98	3.81	3.25
	7.05	2.96	3.34
	15.82	5.46	3.51
	4.98	3.37	3.18
B1	12.12	5.84	4.32
	11.10	5.80	5.02
	18.28	6.69	3.97
	9.45	4.67	3.46
	12.48	5.71	3.65
B2.1	8.21	3.30	2.68
	12.28	4.73	3.43
	17.01	4.46	3.73
	14.69	3.56	3.09
	12.75	6.71	4.16
C2	5.00	3.18	3.75
	5.76	2.95	2.90
	12.09	4.69	2.96
	11.45	6.08	5.46
	11.30	5.26	3.64
D1	3.09	3.09	3.19
	3.01	2.75	2.87
	6.27	3.19	3.18
	21.29	6.72	3.60
	20.44	4.60	3.34
D1.2	9.22	6.95	4.31
	9.36	4.65	3.72
	15.19	7.84	5.49
	15.12	4.34	3.81
	9.54	5.55	3.37

Tableau 03: Statistiques descriptives des mesures électromagnétiques (Octobre 2009)

	ECa V	*ECa H*
Moyenne	208.71	196.90
Médiane	189	184.5
Mode	140	108
Écart-type	124.65	122.06
Variance de l'échantillon	15538.86	14897.85
Minimum	10	9
Maximum	685	668
Nombre d'échantillons	900	900

Tableau 04: Statistiques descriptives des mesures électromagnétiques (Novembre 2010)

	ECa V	*ECa H*
Moyenne	196.02	198.04
Médiane	183	193
Mode	108	168
Écart-type	93.90	96.51
Variance de l'échantillon	8816.92	9314.65
Minimum	29	13
Maximum	573	557
Nombre d'échantillons	655	655

ANNEXE II

Echelles utilisées à l'interprétation des résultats

Tableau 01: Echelle de la salinité en fonction de la CE de l'extrait aqueux 1/5

CE (ds/m) à 25°C	Degrés de salinité
CE < 0,6	Sol non salé
0,6 < CE < 1,2	Sol peu salé
1,2 < CE < 2,4	Sol Salé
2,4 < CE < 6	Sol très salé
CE > 6	Sol extrêmement salé

(AUBERT, 1978)

Tableau 02: Echelle de la salinité en fonction de la CE de l'extrait de patte saturée

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

(DURAND, 1983)

Tableau 03: Echelle de l'interprétation de pH du sol

pH	Sol
6.75< pH <7.25	Neutre
7.25< pH <8.5	Alcalin
pH > 8.5	Très alcalin

(GAUCHER, 1968)

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 à les étapes suivant :

Étape 01:

- 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.

Étape 02:

- 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 l lecture soit 0 mS/m.

Étape 03:

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

Étape0 4:

- Avec l'interrupteur «MODE» en position Q/P gauche, déplacer le dial «Q/P ZERO jusqu'a 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.

Étape 05:

- 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 06:

- 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.

Etude de la dynamique saisonnière de la salinité en milieux sableux. Cas de la palmeraie de l'Université de Ouargla

Résumé

Notre travail s'intéresse à une caractérisation de la distribution spatiale de la salinité avec une étude comparative entre deux compagnes (2009 et 2010), ce travail est réalisé au niveau de l'exploitation Agricole de l'université (Ex. ITAS), sur un sol sableux caractérisé par une aridité très exprimée.

Ce sol est soumis à l'influence d'une eau d'irrigation salée (CE : 3,70 à 5,40 dS /m), et d'une nappe phréatique excessivement salée (CE : 9,81à 31,51 dS /m) à faible profondeur.

A partir du profil salin des horizons examinés, les résultats indiquent que la salinité se masse en quantité importante surtout en surface, lui conférant ainsi le caractère salin de type A.

Les valeurs de CE de l'extrait aqueux 1/5sont très importantes, pouvant atteindre 21,29 dS/m en surface.

Les résultats de mesures de 655points avec l'utilisation de l'EM38, indiquent qu'il existe une grande variabilité spatiale de la salinité en surface (CEH) et en profondeur (CEV) avec des valeurs très importantes dans les sols nus de l'exploitation.

Par ailleurs la salinité est très importante dans les secteurs de Nord où la nappe est proche de la surface par rapport aux autres secteurs de Sud

L'étude comparative entre les deux compagnes indique une diminution relative de la salinité de l'ordre de 111 ms/m en surface et de 112 ms/m en profondeur due à la lixiviation des sels par les eaux d'irrigation.

Cette comparaison a montre à court terme une diminution assez significative au niveau de l'exploitation : un indice d'un meilleur résultat dans le long terme due à des travaux d'aménagements déjà installes dans le plan des perspectives de réhabilitation de 2010

Mots clés: Salinité, EM38, ITAS, nappe phréatique, sol sableux

دراسة الحركة الموسمية للملوحة في الأوساط الرملية (حالة مزرعة جامعة ورقلة)

ملخص

يرتكز عملنا على وصف التوزيع المكاني للملوحة مع دراسة مقارنة بين قياسات أجريت في عامين متتاليين (2009 و 2010)، أجري هذا العمل على مستوى مزرعة الجامعة (ITAS)،والتي تتميز بوسط جاف و رملي .

هذه التربة تخضع لتأثير مياه الري المالحة (CE : 3,70 à 5,40 dS /m)، والملوحة المفرطة لمياه الطبقة الفرياتكية (CE : 9,81à 31,51 dS /m) القريبة من السطح.

دراسة النتائج بينت أن قيم الملوحة كبيرة ، ولا سيما على السطح، بحيث قد تصل قيم *الناقلية الكهربائية* إلى 21,29 dS/m على السطح.

بينت التحاليل لـــ 655 نقطة قيست EM38 أن ملوحة التربة شهدت تغيرات مكانية كبيرة في السطح والعمق والنقالية الكهرومغناطيسية سجلت قيم مرتفعة خاصة في الجهة الغربية للمستثمرة (تربة عارية) .

القطاعات الجنوبية للمستثمرة أقل تعرض للملوحة بعكس القطاعات الشمالية أين توجد طبقة المياه الفرياتيكية قريبة من السطح .

دراسة المقارنة بين عامين من قياسات CEM أثبتت تناقص ملحوظ في الملوحة قدر بـــ 111 ds/m في العمق و 112 ds/m في السطح بسبب تأثير مياه السقي.

نتائج المقارنة تعتبر مؤشر إيجابي لنجاح مخطط إعادة اصلاح المزرعة 2010.

الكلمات الدالة: الملوحة، الطبقة الفرياتكية، EM38 ، تربة رملية.

Study of the seasonal dynamics of salinity in Sandy areas. Case of the Palmeral of the University of Ouargla

Summary

Our work focuses on characterization of the spatial distribution of salinity with a comparative study between two companions (2009 and 2010), this work is carried out at the level of the farm of the University (ITAS), on a sandy soil, characterized by a very expressed aridity. This soil is subject to the influence of saline irrigation water (this: 3.70 to 5.40 dS m), and an excessively salty groundwater (EC: 9, 81à 31, 51 dS /m) shallow. From the examined horizons saline profile, the results indicate that salinity mass in large amount, especially on the surface, giving it thus the salt type character has. The values of the aqueous extract 1/5sont very important CE, 21, 29 dS/m on the surface. The results of measurements of 655points with the use of the measured indicate that there is a large spatial variability of salinity surface (CEH) and depth (CEV) with very important values in bare soils of the operation. Also salinity is very important in northern areas where the water is close to the surface to the other areas of south comparative study between the two companions indicates a relative decrease in salinity of the order of 111 ms/m at the surface and 112 ms/m at depth due to leaching of salts by irrigation water. This comparison showed short term quite significantly decreased to the level of exploitation: an index to a better result in the long term due to work of facilities already installed in the plane of the prospects for rehabilitation of 2010.

Key words: salinity, measured, ITAS, water table, sandy soil