

**UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA**  
**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**  
**DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**



**Mémoire Master ACADEMIQUE**

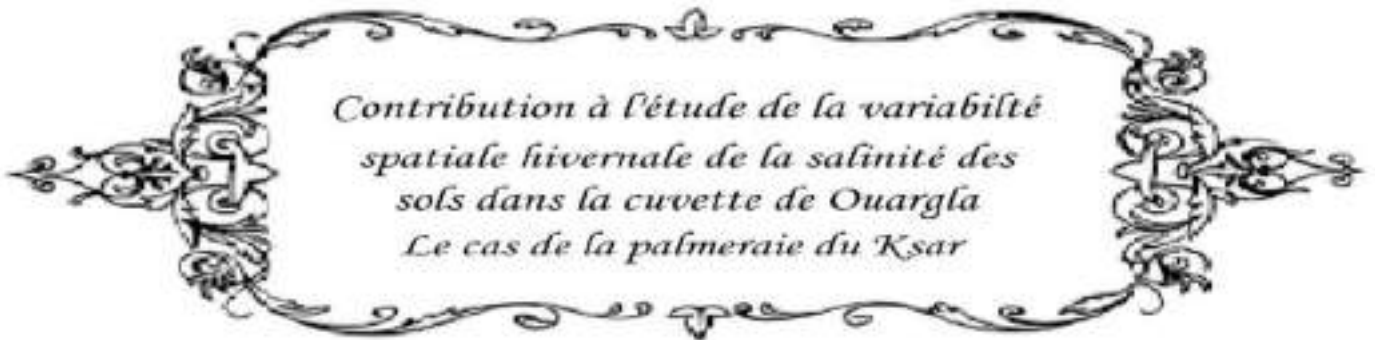
**Domaine** : Sciences de la nature et de la vie

**Filière** : Sciences Agronomiques

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

**Présenté par** : BEGGARI Zineb et BEN MAZOUZIA Messaouda

***Thème:***



**Soutenu publiquement le** : 08/06/2017

**Devant le Jury :**

Mr. BERKAL Ismaïel

Mr. DADDI-BOUHOUN Mustapha

Mr. SIBOUKEUR Abdellah

Mr. IDDER Mohamed Abdelhak

M.C.B U.K.M.Ouargla

Professeur U.K.M.Ouargla

Doctorant U.K.M.Ouargla

M.A.A U.K.M.Ouargla

Président

Promoteur

Co-promoteur

Examineur

**Année Universitaire : 2016/2017**



## *Remerciements*

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

*En premier lieu, nous remercions notre promoteur Monsieur **DADDI BOUHOUN Mustapha**, professeur à l'Université **KASDI MERBAH** de Ouargla pour nous avoir proposé ce thème et pour son encadrement.*

*Nous devons une mention particulière à Monsieur **SIBOUKEUR Abdallah** nos Co-promoteur qui nous aidés beaucoup pour terminer ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent également à Monsieur **BERKAL Ismaïel**, maître de conférences B à l'Université **KASDI MERBAH** de Ouargla pour avoir accepté de présider le jury de soutenance,*

*Nos remerciements vont aussi à Monsieur **IDDER Mohamed Abdelhak**, maître assistant A à l'Université **KASDI MERBAH** de Ouargla pour avoir accepté de juger le présent travail.*

*Un gros merci à nos entourages, plus spécifiquement nos parents pour leur soutien aussi bien moral que financier et pour leurs sacrifices. Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, puissent trouver ici, toute notre reconnaissance.*



Ce travail est

## *Dédié*

A mes chers parents,

Benzair Djamila & Ben mazouzia Mohamed

pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien  
et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs, Khadija et Rayane

pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,

A mes chers frères, Abderahman, Atman, Abdallah, Mabrouk, Maher et Fares

pour leur appui et leur encouragement,

Mon neveu et ma nièce, Achraf et, Rofida

A mes amies, Nesrine, Nour Elhouda, Khouloud, Fatima zohra, Khawla

A ma binôme, Zineb Beggari

A mon fiancé Tobchi. A.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours  
universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués,

et le fruit de votre soutien infailible,

Merci d'être toujours là pour moi.

*Ben Mazouzia Messaouda*



*Ce travail est*

## *Dédié*

*A ma très chère mère Fatiha Chemse ddïne Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices*

*A mes très cher frères Hichem, Younes et Tarek  
Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous.*

*A ma très chère sœur Meriem et son fils Sif El Islem  
En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.*

*Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.*

*A mon très cher oncle Beggari Brahim et Beggari El Aich et mes tentes Idder Saïda et Chemse Ddïne Saïda  
Vous avez toujours été pour les bons conseils.*

*Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle.*

*Veillez trouver dans ce modeste travail ma reconnaissance pour tous vos efforts.*

*A ma binôme , Ben mazouzïa messaouda*

*A mes chères ami (e) s*

*Baza Insaf, Sedouki Fatima ,Troudï Mohemed Islem, Mochton  
Messaouda,*

*A mes chers collègues*

*Kemiss Rezka , Ben amour Mounira , Soumaa Hocine,*

*Benai Fetïha et Hamddi Aïssa Mohamed*

*Merci pour tout*

*Beggari Zineb*

## **Résumé**

La cuvette de Ouargla souffre d'un problème de gestion des eaux qui a des effets néfastes sur l'environnement agricole, notamment l'hydro-holomorphie. Notre travail se base sur l'étude de la variabilité spatiale de la salinité du sol en hiver au niveau des palmeraies du Ksar de Ouargla. Des échantillons ont été pris en utilisant la méthode d'échantillonnage aléatoire systématique, où on a prélevé 89 échantillons du sol et 49 échantillons des eaux phréatiques.

Les résultats ont montré que la salinité du sol mesurée depuis l'extrait du sol (1:5) est très élevée surtout dans la couche superficielle qui peut atteindre 15,9 dS/m avec une moyenne de  $4,54 \pm 3,45$  dS/m et un taux de variation de 76 %. L'étude a montré aussi que 45% des échantillons sont très salés. L'étude de la nappe phréatique a montré que les eaux sont excessivement salines avec une moyenne de  $79,1 \pm 29,49$  dS/m et un faible niveau statique ce qui empêche le développement des racines du palmier dattier et par conséquent la chute de rendement.

La variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphiques montre qu'il y a une forte dégradation des palmeraies du Ksar, due à la salinisation du sol et à la remontée des eaux phréatiques salées. Cette situation exige une nouvelle politique d'aménagement pour assurer un développement durable de celle-ci.

**Mots clé :** variabilité spatiale, hivernale, salinité, palmeraie, Ksar, Ouargla.

## **Abstract**

Ouargla basin suffers from a water management problem which has negative effects on the agrarian environment, notably hydro-halomorphy. Our work is based on the study of the spatial distribution of soil salinity in winter at the palm plantations of the Ouargla Ksar. Samples were taken using the systematic random sampling method, where 89 soil samples and 49 groundwater samples were collected.

The results showed that the soil salinity measured from the soil extract (1:5) is very high, especially in the surface layer, which can reach 15,9 dS/m with an average of  $4,54 \pm 3,45$  dS / m and a variation of 76%. The study also showed that 45% of the samples are severely salted. The study of the water table showed that the waters are severely saline with an average of  $79,1 \pm 29,49$  dS/m low static level which prevents the development of the roots of the date palm and consequently the drop in yield.

The spatial variation of the hydro-edaphic stresses shows that there is a strong degradation of the Kars palm groves due to the salinization of the soil and the rise of saline groundwater. This situation requires a new development policy to ensure Sustainable development.

**Key words:** spatial variability, winter, salinity, palm, Ksar, Ouargla.

## ملخص

حوض ورقلة يعاني من مشكلة إدارة المياه بها و التي تؤثر على البيئة الزراعية بالتحديد على مستوى المياه و التربة. ويستند عملنا على دراسة التوزيع المكاني لملوحة التربة في الفترة الشتوية على مستوى بساتين القصر بورقلة . تم أخذ عينات عشوائية بحيث تحصلنا على 89 عينات من التربة و 49 عينة من المياه الجوفية. و أظهرت النتائج أن ملوحة التربة المقاسة اعتمادا على مستخلص التربة (1:5) عالية خاصة على مستوى الطبقات السطحية بحيث يمكن أن تبلغ 15,9 ديسيمنس.م<sup>-1</sup> بمتوسط  $3,45 \pm 4,54$  و بمعدل تباين يقدر بـ 76% . الدراسة أظهرت أيضا أن 45 % من العينات شديدة الملوحة .

دراسة المياه الجوفية أظهرت أنها شديدة الملوحة بمعدل  $29,49 \pm 79,1$  ديسيمنس.م<sup>-1</sup> بمستوى منخفض يعيق نمو جذور النخلة و بالتالي تدهور الإنتاج.

التغيرات المكانية لمعيقات التربة المائية أظهرت التدهور الشديد للبساتين القصر، الناتج عن ملوحة التربة و صعود المياه الجوفية المالحة . هاته الحالة تتطلب اعتماد سياسة إعادة تهيئة من اجل ضمان تطور مستدام لها

**كلمات المفتاحية :** تغير مكاني ، شتوي، ملوحة ، بساتين ، القصر ، ورقلة

## Liste des abréviations

BB: Beni Brahim

BO: Beni Ouaguine

BS: Beni Sissine

CE<sub>e1:5</sub>: Conductivité électrique de l'extrait 1:5 des sols

CE<sub>n</sub>: Conductivité électrique des eaux phréatiques

DREW: Directions Des Ressources En Eau Des Wilayas

FAO: Food and Agriculture Organization

i: irrigué

ISO: International Organization for Standardization

ni : non irrigué

ONA : Office National de l'Assainissement

ONM : Office National de la Météorologie

pH<sub>e1:5</sub> : pH de extrait 1:5 des sols

pH<sub>n</sub> : pH des eaux phréatiques

SAO: Subdivision Agricole Ouargla

UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

USSL: United State Salinity Laboratory



## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Carte topographique de la cuvette de Ouargla (IGN, 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010)	10
<b>Figure 2</b>	Diagramme Ombrothermique de la région Ouargla 2007-2016	13
<b>Figure 3</b>	Situation de la région de Ouargla au niveau du climagramme d'EMBERGER.	14
<b>Figure 4</b>	Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972)	16
<b>Figure 5</b>	Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette de Ouargla (LELIEVRE, 1969 in HAMDI-AÏSSA, 2001)	17
<b>Figure 6</b>	Les limites foncières du ksar de Ouargla et sa palmeraie. (Rouvillos-Brigol, 1975. Modifiée in IDDER, 2005)	20
<b>Figure 7</b>	Approche méthodologique	21
<b>Figure 8</b>	Carte de localisation des points d'échantillonnage	23
<b>Figure 9</b>	Niveau statique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar	27
<b>Figure 10</b>	Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar	30
<b>Figure 11</b>	Classe salinité des eaux de la nappe phréatique	32
<b>Figure 12</b>	Carte de la salinité des eaux de la nappe phréatique dans les palmeraies du Ksar	33
<b>Figure 13</b>	Variation spatiale de pH de la nappe phréatique dans la palmeraie du Ksar	34
<b>Figure14</b>	Fréquences de différentes classes de salinité dans la couche superficielle (0-40 cm)	36
<b>Figure 15</b>	Carte de la variabilité spatiale de la conductivité électrique de la couche superficielle (0-40 cm) dans la palmeraie de Ksar	37

<b>Figure 16</b>	Fréquences de différentes classes de salinité de sols dans la couche médiane (40-80 cm)	38
<b>Figure 17</b>	Carte de la variabilité spatiale de la conductivité électrique de la couche médiane 40-80 cm dans la palmeraie de Ksar	39
<b>Figure 18</b>	Fréquences de différentes classes de salinité de sols dans la couche profonde (80-120 cm)	40
<b>Figure 19</b>	Carte de la variabilité spatiale de la conductivité électrique de la couche profonde 80-120 cm dans la palmeraie de Ksar	41
<b>Figure 20</b>	Fréquences de classes de salinité de sols dans la palmeraie de Ksar	42
<b>Figure 21</b>	Types de profils salins dans les jardins irrigués et non irrigués au Ksar	44
<b>Figure 22</b>	Taux des types de profils salins	45
<b>Figure 23</b>	Variation spatiale de pH dans la couche (0-40 cm) au Ksar	46
<b>Figure 24</b>	Variation spatiale de pH dans la couche (40-80 cm) au Ksar	47
<b>Figure 25</b>	Variation spatiale de pH dans la couche (80-120 cm) au Ksar	47
<b>Figure 26</b>	Effet de la salinité du sol sur le rendement relatif de Deglet Nour au Ksar	48

**Introduction ..... 1**

**Partie 1: Synthèse bibliographique**

**Chapitre I : Salinité du sol**

**I.1. Définitions ..... 4**

- I.1.1. Salinité.....4
- I.1.2. Salinisation .....4
- I.1.3. Sols salins .....4
- I.1.4. Sels solubles .....4

**I.2. Origines et types de la salinité..... 5**

- I.2.1. Salinisation primaire ..... 5
- I.2.2. Salinisation secondaire ..... 5

**I.3. Paramètres de caractérisation des sols salés ..... 5**

- I.3.1. Conductivité électrique ..... 5
- I.3.2. pH..... 6
- I.3.3. Composition ionique de la solution du sol ..... 6
- I.3.4. SAR ..... 6
- I.3.5. Taux de sodium échangeable ..... 7

**I.4. Effets de la salinité sur les sols et sur les plantes..... 7**

- I.4.1. Sols ..... 7
- I.4.2. Plantes ..... 8

**I.5. Mise en valeur des sols salés..... 8**

- I.5.1. Elimination des sels solubles ..... 8
- I.5.2. Amendements..... 9

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

**II.1. Situation géographique ..... 10**

**II.2. Climat ..... 11**

- II.2.1 Précipitations ..... 12
- II.2.2. Températures..... 12
- II.2.3. Evaporation ..... 12
- II.2.4. Humidité de l'air ..... 12
- II.2.5. Insolation ..... 13
- II.2.6. Vents ..... 13

**II.3. Classification climatique ..... 13**

- II.3.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS ..... 13
- II.3.2. Climagramme d'EMBERGER..... 14

<b>II.4. Hydrogéologie</b> .....	15
II.4.1. Nappe phréatique .....	15
II.4.2. Nappe du Miopliocène .....	15
II.3.3. Nappe du Sénonien .....	15
II.3.4. Nappe de l'Albien .....	15
<b>II.4. Géomorphologie</b> .....	16
<b>II.5. Pédologie</b> .....	18

## **Partie 2: Matériel et méthodes**

### **Chapitre III: Matériels et méthodes d'études**

<b>III. 1. Matériel d'étude</b> .....	19
III.1.1. Choix de site d'étude.....	19
III.1.2. Présentation du site d'étude .....	19
<b>III.2. Méthodes d'étude</b> .....	20
<b>III.2.1. Approche méthodologique</b> .....	20
<b>III.2.2. Echantillonnage</b> .....	22
III.2.2.1. Méthode d'échantillonnage .....	22
III.2.2.2. Points d'échantillonnages.....	22
III.2.2.3. Echantillonnage du sol .....	23
III.2.2.4. Echantillonnage de la nappe phréatique.....	24
<b>III.2.3. Méthodes d'analyses</b> .....	24
III.2.3.1. Analyses des sols.....	24
III.2.3.2. Analyse des eaux phréatiques .....	25
<b>III.2.4. Cartographie</b> .....	25
III.2.4.1. Cartographie au niveau de la nappe phréatique .....	25
III.2.4.2. Cartographie de la salinité des sols .....	25

## **Partie 3: Résultats et discussions**

### **Chapitre IV: Etude de la variabilité spatiale des eaux phréatique**

<b>IV.1.1. Niveaux de la nappe phréatique</b> .....	26
IV.1.1.1. Niveau statique de la nappe phréatique.....	26
IV.1.1.2. Niveau piézométrique .....	28
<b>IV.1.2. Qualité des eaux phréatiques</b> .....	31
IV.1.2.1. Degrés de salinité .....	31
IV.1.2.2. pH nappe phréatique (pH <sub>n</sub> ) .....	34

### **Chapitre V: Etude de la variabilité spatiale de la salinité du sol**

<b>V.1. Variabilité spatiale de la salinité du sol</b> .....	35
V.1.1. Variabilité spatiale dans la couche superficielle (0-40 cm) .....	35
V.1. 2. Variabilité spatiale dans la couche médiane (40-80 cm).....	38

V.1.3. Variabilité spatiale dans la couche profonde (80-120 cm).....	40
<b>V.2. Dynamique des sels</b> .....	43
<b>V.3. pH<sub>e1:5</sub></b> .....	46
<b>Chapitre VI: Impact de la salinité du sol sur le rendement du palmier dattier</b>	
<b>VI. Impact de la salinité du sol sur le rendement du palmier dattier</b> .....	48
<b>Conclusion</b> .....	50
<b>Références bibliographiques</b> .....	52
<b>Annexe</b> .....	58

A highly decorative, symmetrical floral frame in black ink. The frame features intricate scrollwork, acanthus leaves, and floral motifs, creating a classic, ornate border. The word "INTRODUCTION" is centered within the frame.

**INTRODUCTION**



### **Introduction**

Les sols sont une ressource limitée, ce qui signifie que leur perte et leur dégradation ne sont pas récupérables au cours d'une vie humaine (FAO, 2015). Ils sont soumis à une dégradation, de type physique et chimique, naturel et anthropique, notamment le déficit et l'excès d'eau, la compaction, la diminution de la fertilité et la salinisation (DADDI BOUHOUN, 2010).

Les estimations mondiales actuelles révèlent une superficie de milliard ha affectée à divers degrés de salinisation du sol (SHABBIR *et al.*, 2013). Dans les régions arides et semi-arides du monde, la salinisation des sols est l'un des problèmes environnementaux les plus importants à cause de ses effets néfastes sur la productivité agricole et le développement durable (GORJI *et al.*, 2015).

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 (BOIVIN *et al.*, 1988). Le contrôle de la salinité du sol, par la connaissance de sa distribution spatiale et de son évolution dans le temps, devient nécessaire en vue d'aboutir à des stratégies de développement agricole durable (DAKAK *et al.*, 2011).

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affecté par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958 ; DURAND, 1983, HALITIM, 1988). Les périmètres irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique. Ils sont largement affectés par la salinisation secondaire. Cette dernière participe aux chutes des rendements agricoles (DJILI *et al.*, 2003).

Les sols de la région d'Ouargla, sont parmi les sols affectés par les sels. Cette salinité est due à de multiples facteurs : l'aridité du climat, l'importance de l'évapotranspiration la remontée de la nappe phréatique qui nécessite une bonne gestion de l'irrigation-drainage (HAMDI AISSA, 2001).

Les palmeraies de la cuvette de Ouargla semblent souffrir d'une dégradation de leur environnement hydro-édaphique, due à la salinité des eaux d'irrigation et des eaux phréatiques. Les sols de l'oasis de Ouargla sont de prédominance sableuse, présentant des degrés de salinités variables dus aux contraintes hydromécaniques, et probablement à la conduite culturale et la gestion de l'irrigation-drainage (DADDI BOUHOUN, 2010).

## *Introduction*

---

La palmeraie du ksar de Ouargla considérée par le passé comme un des groupes d'oasis les plus prospères du Ouargla. Aujourd'hui, avec les changements des pratiques, les changements climatiques et leurs incidences majeures sur le milieu, l'ensablement, la remontée de la nappe phréatique salée, la perte considérable de la fertilité de ses sols, sont en partie à l'origine de son déclin (OMEIRI, 2016).

L'étude de SIBOUKEUR (2016) a montré que, la palmeraie du Ksar souffre de plusieurs problèmes qui ont conduit à des situations de dégradation variable de ses jardins. L'avancement de l'urbanisme, les problèmes socio-économiques et la mauvaise gestion des eaux ont conduit à des pertes énormes en terres phoenicicoles.

Dans ce contexte que s'intéresse notre travail de recherche. Il a pour but de contribuer à la cartographie de la salinité des sols dans la région de Ouargla. L'étude spatiale saisonnière de la salinité des sols permet d'évaluer le niveau de salinisation par rapport à la saison.

Notre travail de recherche a été proposé pour étudier la variabilité spatiale hivernale de la salinité des sols dans la palmeraie du Ksar de Ouargla, par une caractérisation spatiale de la salinité au niveau du sol et de la nappe phréatique. Cela va nous déterminer les zones les plus affectées par le phénomène de salinisation et les causes probables qui ne cessent de progresser dans la cuvette de Ouargla et les causes probables de celle-ci.

Cette étude comporte trois parties :

- Première partie : c'est une synthèse bibliographique qui est divisée en deux chapitres, le premier chapitre sur la salinité du sol, et la deuxième présentation de la région d'étude ;
- Deuxième partie : est consacrée au matériel et méthodes d'étude, en expliquant le site d'étude, l'approche méthodologique et les méthodes de travail sur terrain et en laboratoire
- Troisième partie : dévoile et interprète les résultats sur la dégradation hydro-édaphique au ksar et se termine par une conclusion qui intègre l'essentielle des résultats et recommandations d'aménagement.



## **Chapitre I : Salinité du sol**

Dans ce chapitre nous rappellerons quelques définitions de termes, avant d'exposer les principaux contextes de salinisation des sols permettant de jauger de l'importance du sujet, et de quantifier l'importance bibliométrique des recherches sur le sujet.

### **I.1. Définitions**

#### **I.1. 1. Salinité**

La salinité se réfère à la quantité des sels solubles qui se trouve dans le sol (CHESWORTH, 2008). Elle est mesurée à l'aide de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (MATHIEU et LOZET, 2011).

#### **I.1.2. Salinisation**

La salinisation est le processus qui accroît la quantité de sels dans les sols (GRÜNBERGER, 2015). Elle se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol (MERMOUD, 2006).

#### **I.1. 3. Sols salins**

Les sols sont dits salins lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, sous forme dissoute, échangeable ou précipitée. Ils comprennent plusieurs types de sols qui se sont formés à partir de trois processus physicochimiques: la salinisation, la sodisation et l'alcalisation (GIRARD *et al.*, 2005).

Selon MATHIEU (2009), un sol est dit salin dès que la conductivité de l'extrait saturé d'un de ses horizons est supérieure à  $4 \text{ dS.m}^{-1}$ .

#### **I.1.4. Sels solubles**

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 électrolytique (HALITIM., 1988).

Selon MATHIEU et LOZET (2011), les sels solubles sont un ensemble des anions et des cations présents dans le sol soit sous forme solide cristallisée soluble, soit sous forme dissoute dans la solution du sol, à l'exclusion des matières organiques solubles.

## **I.2. Origines et types de la salinité**

La présence des sels solubles dans les sols se justifie par diverses causes. Deux processus sont signalés :

### **I.2.1. Salinisation primaire**

C'est un processus lié à la pédogenèse, en autre terme à l'altération des roches salifères qui libèrent des sels sous l'effet de différents facteurs géologiques, géomorphologiques et climatiques (GUCHER et BRUDIN, 1974 *in* MISSAOUI, 1991).

### **I.2.2. Salinisation secondaire**

La salinisation d'origine secondaire est induite par l'activité humaine, liée fréquemment à des pratiques agricoles inappropriées. Les principales causes de la salinisation secondaire sont (GUCHER et BRUDIN, 1974 *in* MISSAOUI, 1991) :

- La remontée de la nappe souterraine à proximité de surface et transport de sels par remontées capillaires (LACHARME, 2001)
- Le mauvais fonctionnement des systèmes de drainage/assainissement lorsqu'il existe;
- La remontée de la nappe phréatique salée et la forte évapotranspiration;
- L'irrigation avec des eaux à forts risques de salinisation et de sodification ;
- L'absence d'exutoire naturel pour l'évacuation des excès d'eau de drainage et d'assainissement (BADRAOUI *et al*, 2000).

## **I.3. Paramètres de caractérisation des sols salés**

Le diagnostic de la salinité des sols se base sur un ensemble de mesures physicochimiques (CE, pH et CEC) et chimiques (cations solubles, anions solubles et sodium échangeable). Ces paramètres nous permettent d'apprécier le degré et la charge saline ainsi que le faciès chimique des sels et le taux de sodium échangeable. La mesure de la conductivité électrique et du pH nous permettons d'estimer la salinité globale dans le sol (HADDAD et ABBES, 2015).

### **I.3.1. Conductivité électrique**

La salinité du sol est généralement définie et mesurée sur des extraits aqueux de pâtes de sol dites saturées (USSSL, 1954), ou l'extrait diluée avec un rapport eau/sol variable (ex :

$CE_{e1:5}$ ) du sol (MATHIEU et PEILTAIN, 2009). Elle est exprimée en millimhos/cm, en siemens/m, ou en déci Siemens/m (MATHIEU et LOZET, 2011).

L'échelle agronomique mise au point par United State Salinity Laboratory (USSL) 1954 est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 mmhos/cm. Un sol considéré salé lorsque la CE est supérieure à 4 millimhos /cm (4 dS/m) à 25°C (USSL, 1954 ; CALVET, 2003).

### I.3.2. pH

La notion de pH du sol permet de façon commandée et précise de désigner la réaction du sol en condition saline (SOLTNER, 1989 *in* HADDAD et ABBES). La mesure du pH du sol s'effectue dans une suspension de l'échantillon de sol dans l'eau ( $pH_{eau}$ ) ou dans l'eau plus de chlorure de potassium ( $pH_{KCl}$ ) dans laquelle on mesure la concentration en ions  $H^+$  et  $OH^-$  à l'état dissocié, dans le liquide surnageant. Le rapport sol/eau étant généralement de 1/2,5. Aussi dans le sol, le pH de la solution varie habituellement de 4,5 à 9,5 (MATHIEU et LOZET, 2011).

### I.3.3. Composition ionique de la solution du sol

Afin de connaître la concentration en anions solubles ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^-$ ) et en cations solubles ( $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ), une analyse chimique est effectuée sur extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à classer le type de faciès salin selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport  $Cl^-/SO_4^{2-}$  pour classer les solutions du sol (SERVANT et SERVAT, 1966).

### I.3.4. SAR

D'après MATHIEU (2009), Dans l'étude de mécanisme de sodisation, l'Ecole de Riverside aux Etats-Unis utilise depuis 1969 un paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées ; il s'agit de SAR « Sodium Adsorption Ration » ou taux de sodium adsorbé :

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

Les cations sont exprimés en  $mol.L^{-1}$ .



### I.3.5. Taux de sodium échangeable

Il exprime le taux de saturation du complexe absorbant en sodium échangeable par rapport à tous autres cations échangeables. En effet, il exprime la sodicité édaphique. Or, le sodium échangeable peut détruire la structure à partir d'un seuil qui est souvent fixé à 15 % de la CEC (USSSL, 1954).

De nombreuses recherches ont essayé d'établir une relation entre le SAR et ESP, celle de l'USSSL (1954) s'écrit de la façon suivante :

$$ESP = (100 * (-0.0126 + 0.0147 * SAR)) / 1 + (-0.0126 + 0.0147 * SAR)$$

$$\text{Où } SAR = Na / ((Ca+Mg) 0,5)^{0,5}$$

### I.4. Effets de la salinité sur les sols et sur les plantes

La salinité du sol peut affecter d'une manière négative sur le sol comme sur les plantes, ces effets sont sur :

#### I.4.1. Sols

- **Propriétés physiques du sol**

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols en plus la stabilité structurale disparaît complètement à un ESP égale à 15 % (DIARRA, 1991).

- **Propriétés physico-chimiques du sol**

La présence d'un taux élevé de sels peut entraîner une augmentation de la CE qui dépasse 4 dS/m. La salinité peut augmenter le pH dans le cas du sol sodique qui dépasse 8,5 (MATHIEU *et al.*, 2007, in KEMASSI, 2015).

Selon DIARRA (1991), une élévation du pH peut créer des problèmes de fertilité par :

- le blocage du phosphore sous des formes non ou peu assimilables ;
- l'évolution de l'azote tout à fait particulière (volatilisation) ;
- les carences induites de certains éléments minéraux (Zn, Mn, Fe, Cu) ;
- la dispersion de la matière organique.

### **I.4.2. Plantes**

Les sels dissous ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes (CALVET, 2003), provoquant ainsi son flétrissement « sécheresse physiologique » (DIARRA, 1991).

### **I.5. Mise en valeur des sols salés**

Les sols salés présentent une évolution par la présence de forte quantité de sels, notamment le sodium, les chlorures et les sulfates. Pour faire face à la croissance démographique, il s'avère nécessaire d'exploiter les terres salées qui sont parfois très riches en éléments nutritifs (MISSAOUI, 1991).

La réhabilitation des terres salinisées est coûteuse : elle peut représenter de 65% à 100% des coûts d'investissement. Elle est parfois impossible techniquement (IPTRID, 2006).

Selon AUBERT (1982), la mise en valeur des sols salés dépend de nombreux facteurs:

- l'intensité et nature de la salure, type de profil salin, degré de dégradation de la structure et des autres propriétés physiques (perméabilité) ;
- les conditions topographiques et hydrologiques (nappe d'eau: profondeur et mouvement saisonniers, caractères chimiques) ;
- les types de cultures : résistance à la salure, à l'alcalisation ; rapports entre le cycle de développement et le cycle climatique saisonnier ; nature du système racinaire.

La mise en valeur des sols consiste à faire diminuer la conductivité électrique et de la maintenir à un niveau acceptable par l'élimination des sels solubles et les accumulations minérales.

#### **I.5.1. Elimination des sels solubles**

Selon MASSOUMI (1968), ce processus consiste à éliminer les sels solubles par lessivage des sels en excès.

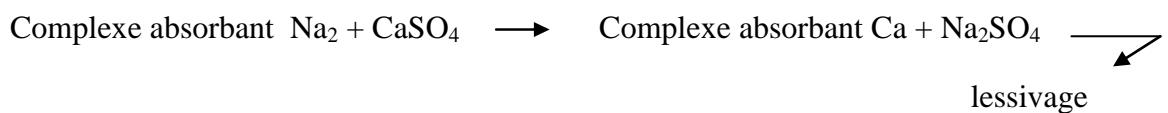
- il est essentiel d'appliquer une quantité suffisante d'eau aux sols salins et de la laisser s'infiltrer dans le sol dans le but de lessiver les sels en excès ;

- le maintien d'un équilibre favorable de sels dans le sol nécessite des méthodes d'irrigation appropriées et efficaces. L'irrigation doit fournir l'eau pour la croissance des cultures et en même temps fournir assez d'eau pour lessiver les sels en excès par drainage. La quantité d'eau nécessaire pour le lessivage dépend de la profondeur du sol qui doit être améliorée, de la quantité initiale, et de la quantité admissible des sels dans le profil du sol, des conditions climatiques, et de la concentration des sels dans l'eau d'irrigation.

### I.5.2. Amendements

Les amendements peuvent apporter au sol des éléments capables de réduire la salinité (MISSAOUI, 1991). Ils sont de type amendement sableux, organique et gypseux pour corriger la conductivité du sol.

- Les amendements sableux, sont destinés à modifier la texture et la structure des sols tout en augmentant leur perméabilité. Ils permettent d'abaisser la concentration en sels dans le sol par la diminution de la remonté capillaire et de refouler la nappe superficielle par rapport au niveau du terrain naturel (HAMOUDA, 2017).
- la matière organique diminuait la quantité de sodium échangeable, non seulement en solubilisant le calcium de la chaux, mais encore en éliminant le sodium sous forme d'humate (MISSAOUI, 1991).
- amendement gypseux, sous forme de gypse ou de plâtre, et la réaction sera la suivant (GUCHER ,1967 *in* MISSAOUI ,1991) :



- autres amendements chimiques, il s'agit d'apporter des éléments minéraux solubles, on utilise parfois le nitrate de chaux qui, en même temps que le Ca, donne du nitrate dont le déficit est noté en sols salins.

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

## II.1. Situation géographique

Au nord du Sahara, à 800 km au sud-est d'Alger, la cuvette de Ouargla (Fig. 1) occupe le fond d'une cuvette de 1 000 km<sup>2</sup> dans la basse vallée de l'oued Mya (134 m d'altitude) qui s'étend sur une soixantaine de kilomètres du sud au nord (HAMDI-AISSA et GIRARD, 2000). Les coordonnées géographiques : de 31°54' à 32°1' N, et de 5°15' à 5°27' E (HAMDI-AISSA *et al.*, 2004).

La wilaya de Ouargla est limitée :

- Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued ;
- Au Sud, par Illizi et Tamanrasset ;
- A l'Est, par la Tunisie et la wilaya d'El Oued ;
- A l'Ouest, par Ghardaïa.

La distance du Sud au Nord est de 70 km, celle de l'Est à l'Ouest de 20 km.

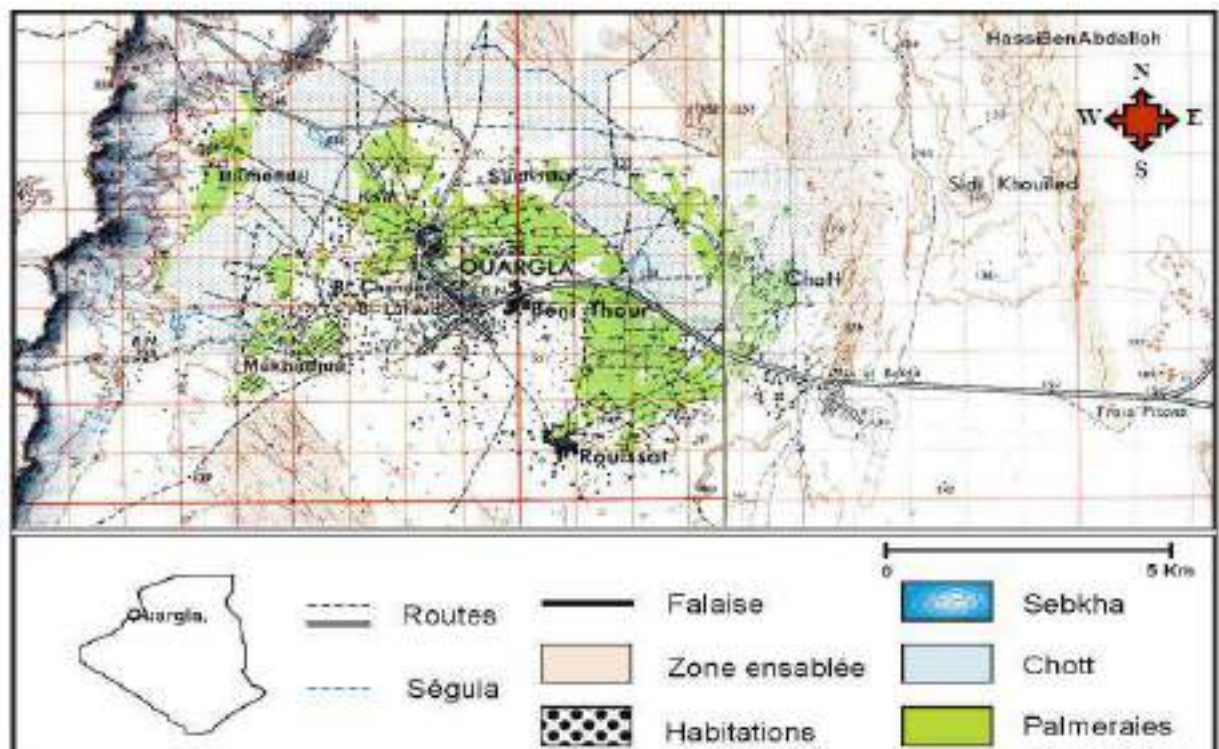


Figure 1: Carte topographique de la cuvette de Ouargla (IGN, 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010).

## II.2. Climat

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

L'étude du climat de la région d'Ouargla, a été faite sur une période de 10 ans (2007-2016), les paramètres utilisés pour cette étude proviennent des données recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM) d'Ouargla.

**Tableau 1: Données climatiques de la région de Ouargla (2007-2016).**

Mois	Température (°C)			Précipitation (mm)	Vitesse du vent (Km/h)	Evaporation (mm)	Humidité (%)	Insolation (h)
	Min. moy	Max. moy	Moyen					
janvier	4,7	20,5	12,6	8,5	56	91,8	59	248,2
Février	6,4	21,8	14,1	3,2	49	123,7	50	242,8
Mars	9,8	26,3	18,0	3,1	56	184,0	45	268,6
Avril	14,4	31,7	23,0	1,8	66	234,3	39	281,8
Mai	19,4	36,0	27,7	1,6	63	302,8	33	303,4
Juin	24,3	41,1	32,7	0,8	51	373,1	29	240,8
Juillet	27,5	44,1	35,8	0,4	58	429,8	25	323,9
Aout	27,2	43,2	35,2	0,6	53	392,3	29	335,2
Septembre	23,3	39,1	31,2	3,9	51	284,0	37	264,5
Octobre	16,9	32,9	24,9	4,1	47	212,6	44	264,1
Novembre	9,8	25,1	17,5	1,2	43	121,6	53	253,4
Décembre	5,6	20,1	12,8	4,2	42	86,3	60	229,6
Moyenne	15,76	31,8	23,8	33,2*	53	236,4	42	3256,2*

\*cumul

**II.2.1 Précipitations**

Selon DUBIEF (1953), les précipitations sahariennes sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares.

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, elles sont de l'ordre de 33,2 mm par an pour la période étudiée. Les pluies se produisent essentiellement au printemps et en automne. La répartition est marquée par trois mois de sécheresse quasi absolus de mai à septembre, par un maximum en Janvier avec 8,5 mm. La pluviométrie est importante entre l'automne et l'hiver.

L'impact des pluies sur le lessivage des sels dans le sol est faible et ne peut pas satisfaire les besoins des cultures. L'irrigation dans ces conditions est obligatoire.

**II.2.2. 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 (2007-2016) (Tab.1) permettent de constater que la température moyenne annuelle est de 23,8°C. Le mois le plus chaud est le mois de juillet avec un maximum en juillet de 35.8°C et le mois le plus froid est celui de janvier avec minimum en janvier de 12,6°C.

**II.2.3. Evaporation**

L'évaporation est un paramètre climatique important à connaître dans la mesure où elle permet d'apprécier les pertes en eau dans l'atmosphère. La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation très importante, son intensité étant renforcée par les vents, notamment par ceux qui sont chauds, elle est de l'ordre de 236,4mm/an, avec une valeur maximale de 429,8mm au mois de juillet (Tab.1).Ce niveau d'évaporation favorise l'accumulation des sels à la surface du sol par remontée capillaire.

**II.2.4. Humidité de l'air**

Le taux d'humidité relative est variable en fonction des saisons, il atteint son maximum au mois de décembre avec un taux de 60%, et une valeur minimal au mois de juillet avec un taux de 25% avec une moyenne annuelle de 42% (Tab.1).Le niveau d'humidité faible notamment en été contribue à augmenter le potentiel de l'évapotranspiration.



### II.2.5. Insolation

La région de Ouargla est caractérisée par une forte insolation. L'insolation correspond à la durée d'éclairement du sol par le soleil. La durée moyenne d'insolation dans la cuvette d'Ouargla est de 271,35 h/mois, avec un maximum de 335,2 heures en août et un minimum de 229,6 heures en décembre.

### II.2.6. Vents

Dans la région de Ouargla, les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vents soufflent du Nord-Sud ou Nord-est /Sud-ouest. D'après les données de l'ONM, dans la période d'observation (2007-2016) la vitesse moyenne annuelle des vents est de 53 km/h. La valeur maximale est enregistrée au mois d'avril avec 66km/h. La vitesse de vent peut contribuer notamment en été à transporté les accumulations salines à la surface des sols.

## II.3. Classification climatique

### II.3.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec  $P=2T$ .

Le Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla établit à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 10 ans, et montrent que la période sèche s'étale sur tout l'année ce qui favorise la salinisation (Fig.2).

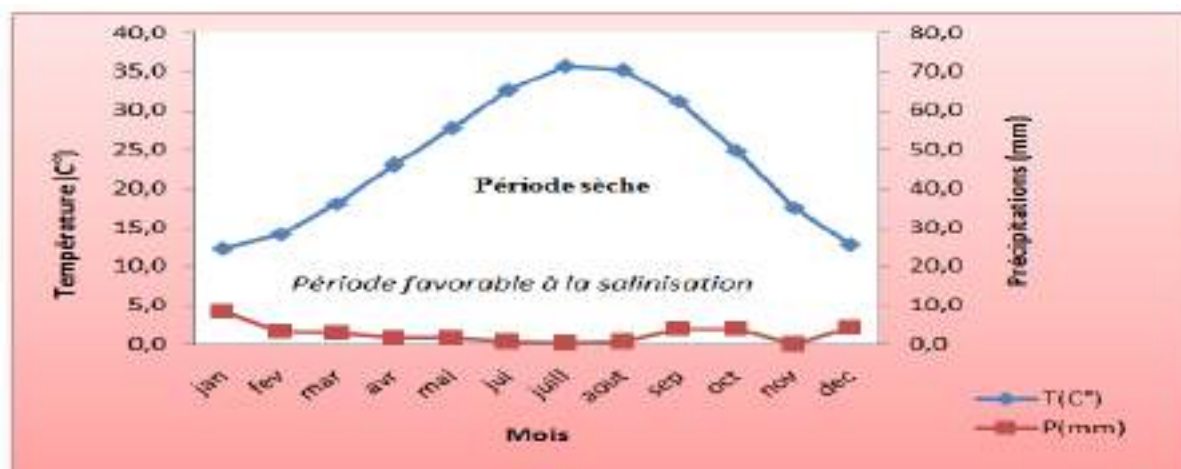


Figure 2: Diagramme Ombrothermique de la région Ouargla 2007-2016.

II.3.2. Climagramme d'EMBERGER

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q<sub>2</sub>) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Ce quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé comme suit : Formule de STEWART :

$$Q_2 = 3,43 \times \frac{P}{M-m}$$

- ✚ Q<sub>2</sub> : le quotient pluviométrique d'EMBERGER ;
- ✚ P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm = à 33,2 mm ;
- ✚ M : Moyenne maximale du mois le plus chaud = à 41,1°C ;
- ✚ m : Moyenne minimale du mois le plus froid = à 4,7°C.

Après application de la formule, nous obtenons la valeur de Q<sub>2</sub> égale à 2,88 ce dernier situe Ouargla dans l'étage saharien à hiver doux (Fig.3).

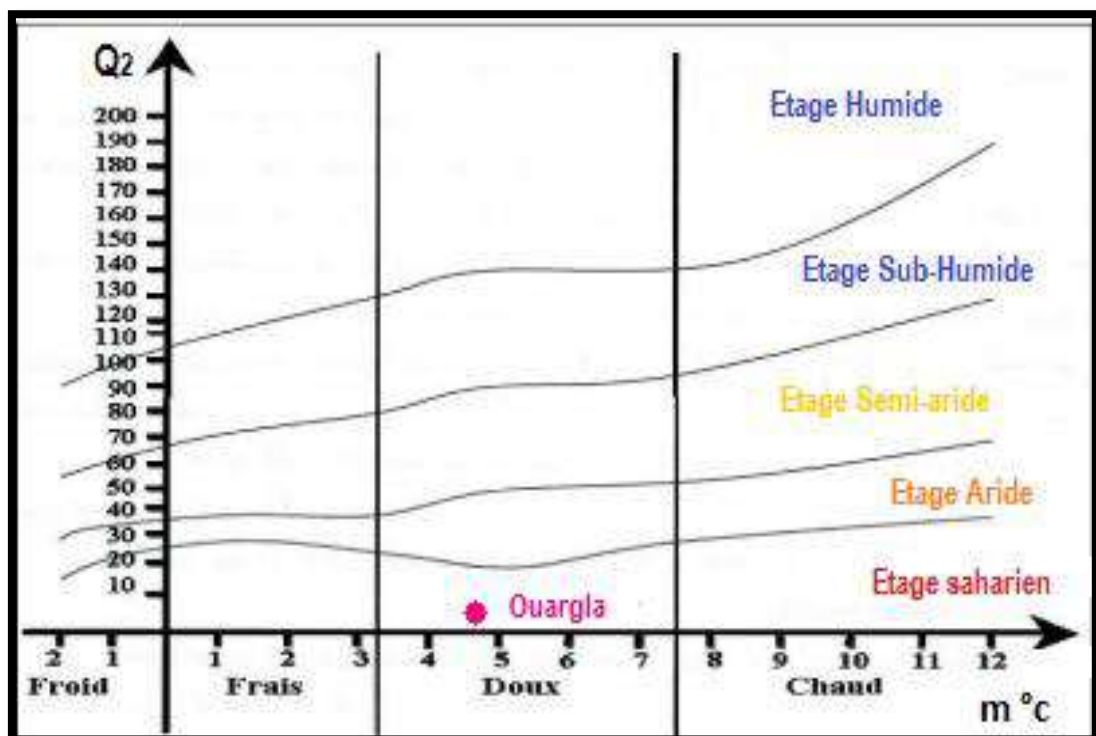


Figure 3: Situation de la région de Ouargla au niveau du climagramme d'EMBERGER.

**II.4. Hydrogéologie**

Au Sahara septentrional, le bassin sédimentaire constitue un vaste bassin hydrogéologique (Fig.4) d'une superficie de 780 000 Km<sup>2</sup>, avec un maximum d'épaisseur de 4000 à 5000 m, où les potentialités du Sahara algérien en termes de ressource en eau, sont évaluées à 5 milliards de m<sup>3</sup> (CASTANY, 1982 *in* CHEHMA, 2011).

Selon ROUVILLOIS BRIGOL (1975), Quatre ensembles aquifères de plus ou moins grande importance existent dans le sous-sol de la région de Ouargla :

**II.4.1. Nappe phréatique**

A une profondeur variant de 1 à 8 m selon les lieux et la saison. Elle s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée. Son alimentation est complexe et varie selon les points de la vallée. La plus important, vient des excédents d'irrigation et des eaux de lessivage des palmeraies de Ouargla et de Ngoussa.

**II.4.2. Nappe du Miopliocène**

L'exploitation de la nappe du Miopliocène est extrêmement ancienne. La nappe s'écoule du SSW vers le NNE en direction du chott Melrhir.

**II.3.3. Nappe du Sénonien**

La seconde nappe artésienne du sous-sol de la vallée de l'Oued Mya est encore très mal connue. Le débit de cette nappe Sénonien-Eocène reste ainsi très faible et sans commune mesure avec les possibilités de la nappe albienne.

**II.3.4. Nappe de l'Albien**

Le dernier niveau aquifère est celui des argiles sableuses et des grès du Continental Intercalaire. Le toit en est formé par les marnes et argiles gypsifères du Cénomaniens dont la base se situe entre 1000 m et 1100 m de profondeur. Les niveaux aquifères s'étagent entre 1120 m et 1380 m de profondeur avec un écoulement générale du sud vers le nord. L'énorme réservoir alimenté par l'infiltration des eaux dans l'Atlas Saharien et suralimenté par les eaux circulant sous la hamada Sud-Oranienne et sous l'Erg Occidental à une très forte charge à l'altitude de Ouargla.

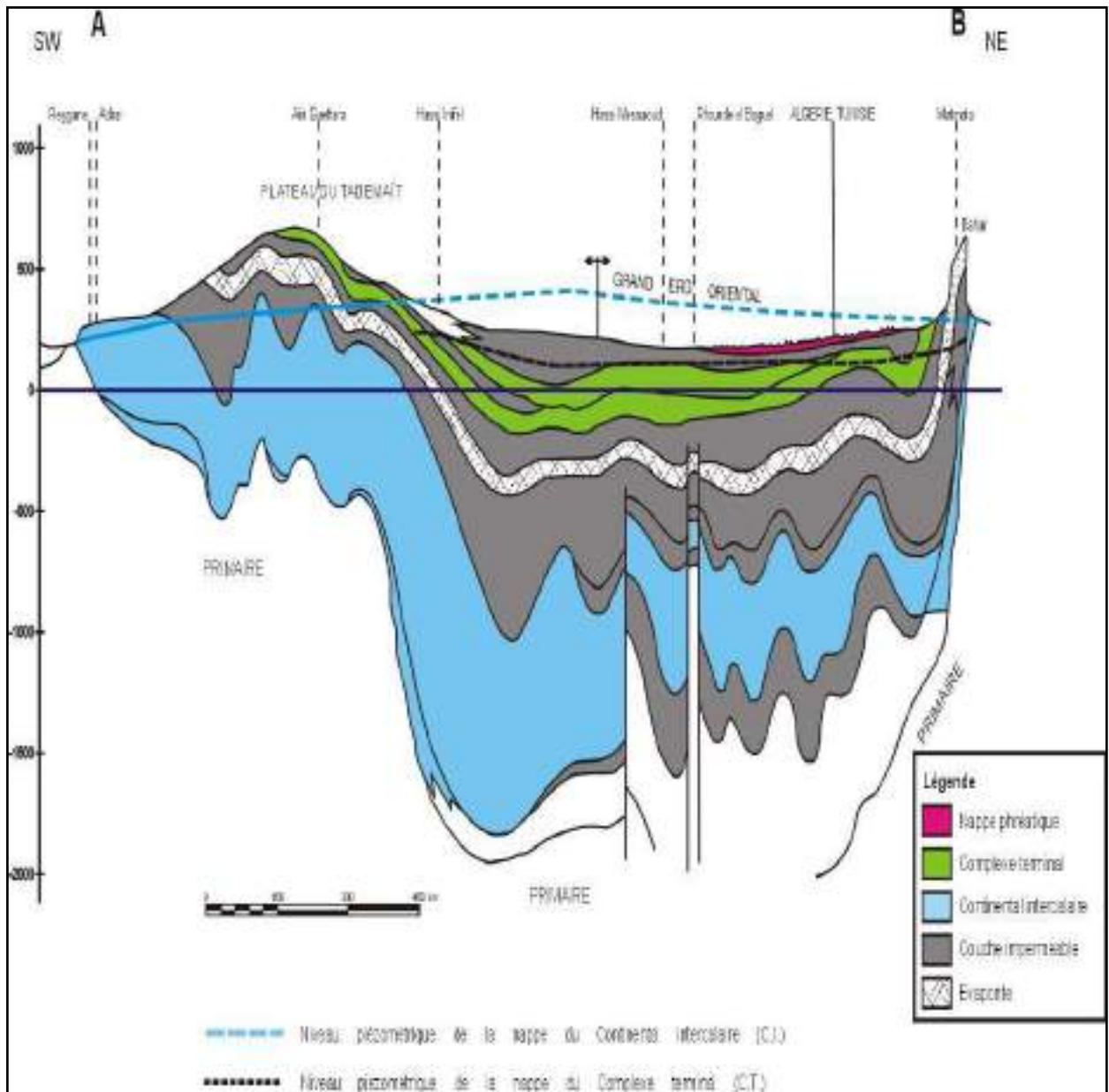


Figure 4: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (UNESCO, 1972).

#### II.4. Géomorphologie

Sur le plan morphologique la cuvette de Ouargla correspond à la basse vallée fossile de l'oued Mya qui descend en pente douce (1 %) du plateau de Tadmaït et se termine à 20 km au nord de Ouargla. La vallée atteint alors près de 30 km de large. D'ouest en est (Fig.5) on distingue quatre ensembles géomorphologiques (HAMDI-AISSA et GIRARD, 2000) :

- ❖ **Plateau** de la Hamada pliocène, à l'ouest de Ouargla, s'abaisse légèrement d'ouest en est. Il est à 220 m au-dessus de la vallée. À l'est, il est fortement érodé, laissant dans le paysage une série de buttes témoins ou Goure.
- ❖ **Glacis** : selon ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), le versant Ouest de la cuvette de Ouargla présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques :
  - Le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau et des buttes ;
  - Le second glacis est beaucoup plus visible et se développe au Nord de la route de Ghardaïa, à une altitude de 180 m environ ;
  - Le troisième niveau, à 160 m d'altitude, est recouvert de sable et de graviers gréseux plus ou moins encroûtés de gypse et sa pente est faible ;
  - Le dernier glacis, développé à 140 m d'altitude environ, a donné naissance à des formes de relief originales.
- ❖ **Chott et la sebkha**, constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond à la bordure de la sebkha est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et de sols gypseux à croûte gypseuse de surface et de subsurface. Le bas-fond se caractérise par la présence d'une nappe phréatique permanente, très peu profonde (1 à 5 m) dans le chott, qui affleure en surface au centre de la sebkha. En aval de Ouargla (136 m d'altitude), en direction SSE-NNO, diverses sebkhas alternent avec les massifs dunaires jusqu'à la sebkha Safioune (103 m d'altitude).
- ❖ **Dunes**, formations éoliennes récentes en petit cordons, d'environ 150 m d'altitude, occupent l'Est et le Nord-Est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued Mya.

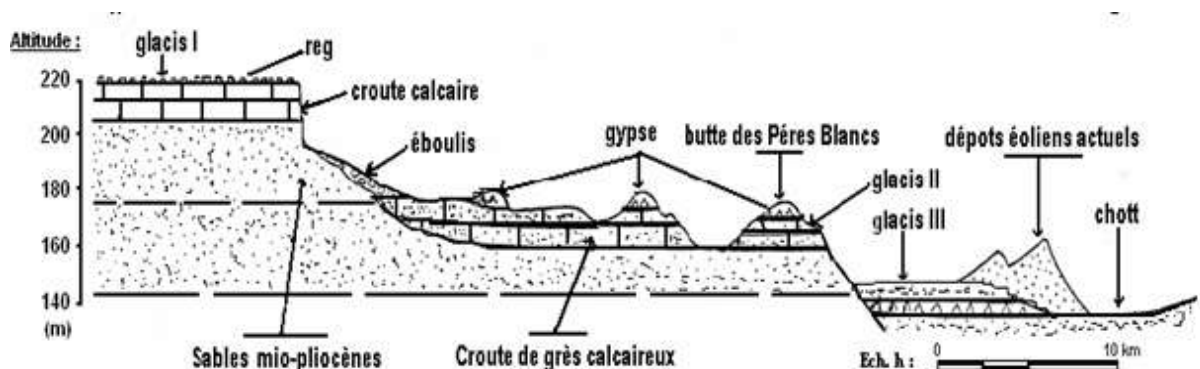


Figure 5: Coupe géomorphologique schématique Ouest-Est de la cuvette de Ouargla (LELIEVRE, 1969 in HAMDIAÏSSA, 2001).

La pente générale de la vallée est légèrement inférieure à 1 ‰ (52 m de dénivelée par 55 Km) mais elle n'est pas constante. Nous pouvons isoler trois tronçons (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975) :

- Du pied du Djebel Abbad à la rive de la sebkha de Ouargla, la pente est de 2% ;
- Du nord de la sebkha jusqu'à la palmeraie de N'Goussa, nous notons une pente régulière de 1,8 ‰ ;
- Après le seuil de N'Goussa, la topographie devient pratiquement plane jusqu'aux rives Sebkhats Safioune où la pente est réduite à 0,6 ‰.

### **II.5. Pédologie**

Du point de vue pédologique, la région de Ouargla est caractérisée par des sols légers à prédominance sableuse et à structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une activité biologique faible, une forte salinité et une bonne aération (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

D'après l'étude de HAMDY AÏSSA et GIRARD (2000), la région de Ouargla est caractérisée par les 5 pédopaysages suivants d'Ouest en Est :

- ✚ **Sur le plateau** : *LITHOSOL* pétrocalcaire de Hamada à encroûtement gypseux en profondeur ;
- ✚ **Sur le glacis** : *REGOSOL* sableux à graviers, saliques ;
- ✚ **Dans le chott**, *SALISOL* chloruré sulfaté à horizon gypseux et pétrogypsiqne de surface ;
- ✚ **Dans la sebkha**, il s'agit d'un *SALISOL* chloruré sulfaté, avec ou sans horizon gypseux et/ou calcaire ;
- ✚ **Les dunes**, sont des *REGOSOLS* sableux .Il existe aussi des cordons dunaires. Enfin dans les talwegs et sur les versants rocheux, on trouve en surface des affleurements de grès rouge du Mio-pliocène.



**DEUXIÈME PARTIE**  
**MATÉRIEL**  
**ET**  
**MÉTHODES**



**Chapitre III. Matériel et méthodes d'étude****III. 1. Matériel d'étude****III.1.1. Choix de site d'étude**

Dans le but de la cartographie des sols salins dans les régions Sahariennes, notre travail s'intéresse de déterminer l'état de dégradation hydro-édaphique dans la cuvette de Ouargla.

Les sites d'étude choisis sont les palmeraies du Ksar (Fig.8). Ils ont été retenus dans notre étude à cause de leur patrimoine phoenicicole dans la cuvette d'Ouargla qui est en voie de dégradation. Elles connaissent une situation hydro-édaphique alarmante, sous l'effet de plusieurs facteurs, sociologiques, économiques et environnementaux.

**III.1.2. Présentation du site d'étude**

La palmeraie du ksar de Ouargla est l'une des vieilles palmeraies de la cuvette de Ouargla, datant de l'époque colonial dont l'âge dépasse la cinquantaine (SAO, 2013). Elle s'étend sur 623 ha, avec un nombre de palmiers qui atteint les 112 815 palmiers (IDDER, 2005).

Coordonnée géographiques du Ksar:

Ymin= 3538000

Ymax= 3541500

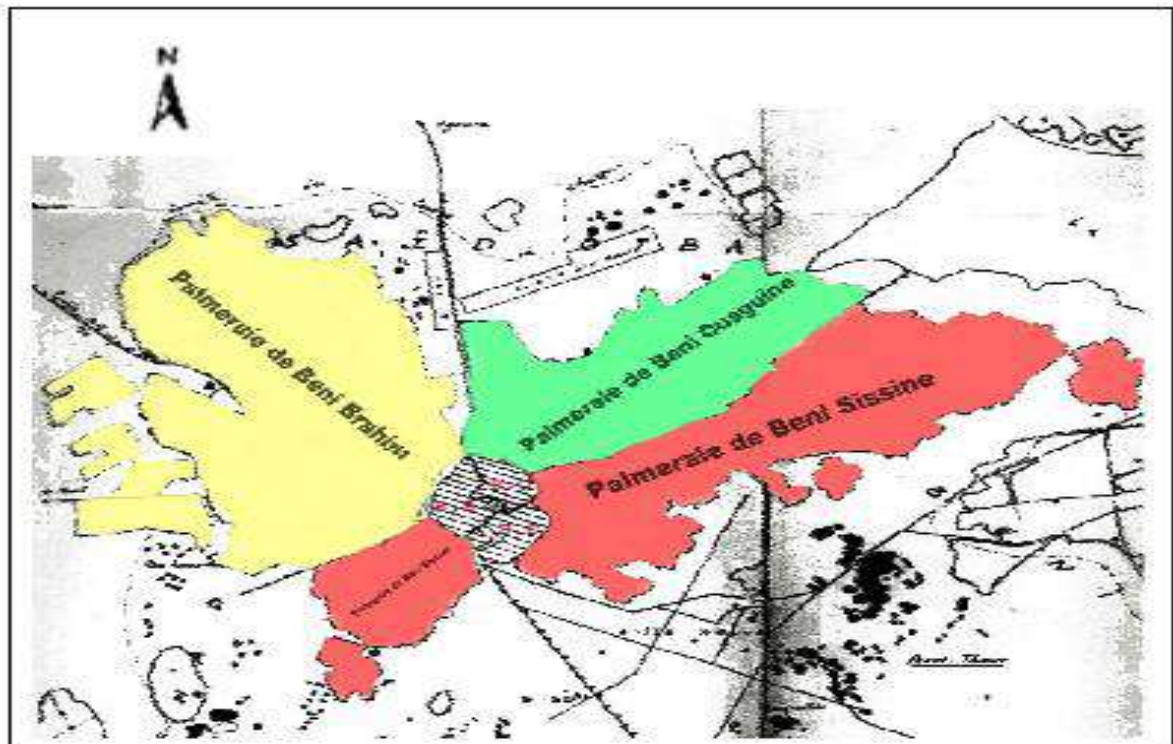
X min = 718500

Xmax= 723500

La palmeraie du ksar de Ouargla (Fig.6) est située au centre de la commune de Ouargla. Elle entoure le ksar de Ouargla. Cette palmeraie est formée de deux parties :

- **Partie est** : c'est la zone de Beni Ouaguine qui couvre une superficie de 105 ha (SIBOUKEUR, 2016), et une partie de la palmeraie de Beni Sissine (SEDAT, 2004 in IDDER, 2005).
- **Partie ouest** : former par deux zones. La zone de Beni Brahim; qui est la plus grande (SEDAT, 2004 in IDDER, 2005), elle couvre une superficie de 259 ha. L'autre zone est celle de Beni Sissine qui couvre une superficie de 197 ha (SIBOUKEUR, 2016), elle vient en deuxième position du point de vue superficie après la zone de Beni Brahim (SEDAT, 2004 in IDDER, 2005).





**Figure 6: Les limites foncières du ksar de Ouargla et sa palmeraie.**  
(Rouvillois-Brigol, 1975. Modifiée *in* IDDER, 2005).

## III.2. Méthodes d'étude

### III.2.1. Approche méthodologique

Notre étude consiste à étudier la variation spatiale de la salinité des sols pour déterminer le niveau de dégradation hydro-édaphique dans les palmeraies du Ksar de Ouargla. L'approche méthodologique (Fig.7) choisie consiste à déterminer la méthode et délimité les points d'échantillonnage, et d'effectuer des mesures spatiale au niveau de la nappe phréatique et sa salinité ainsi que des mesures spatiales de la salinité des sols. Ces données traitées par un logiciel de géostatistique « Surfer11 ».

La collecte des données quantitatives, vont nous permettre de connaître les niveaux et les origines de la dégradation de la palmeraie du ksar de Ouargla et de proposer des recommandations d'aménagements et de recherche.

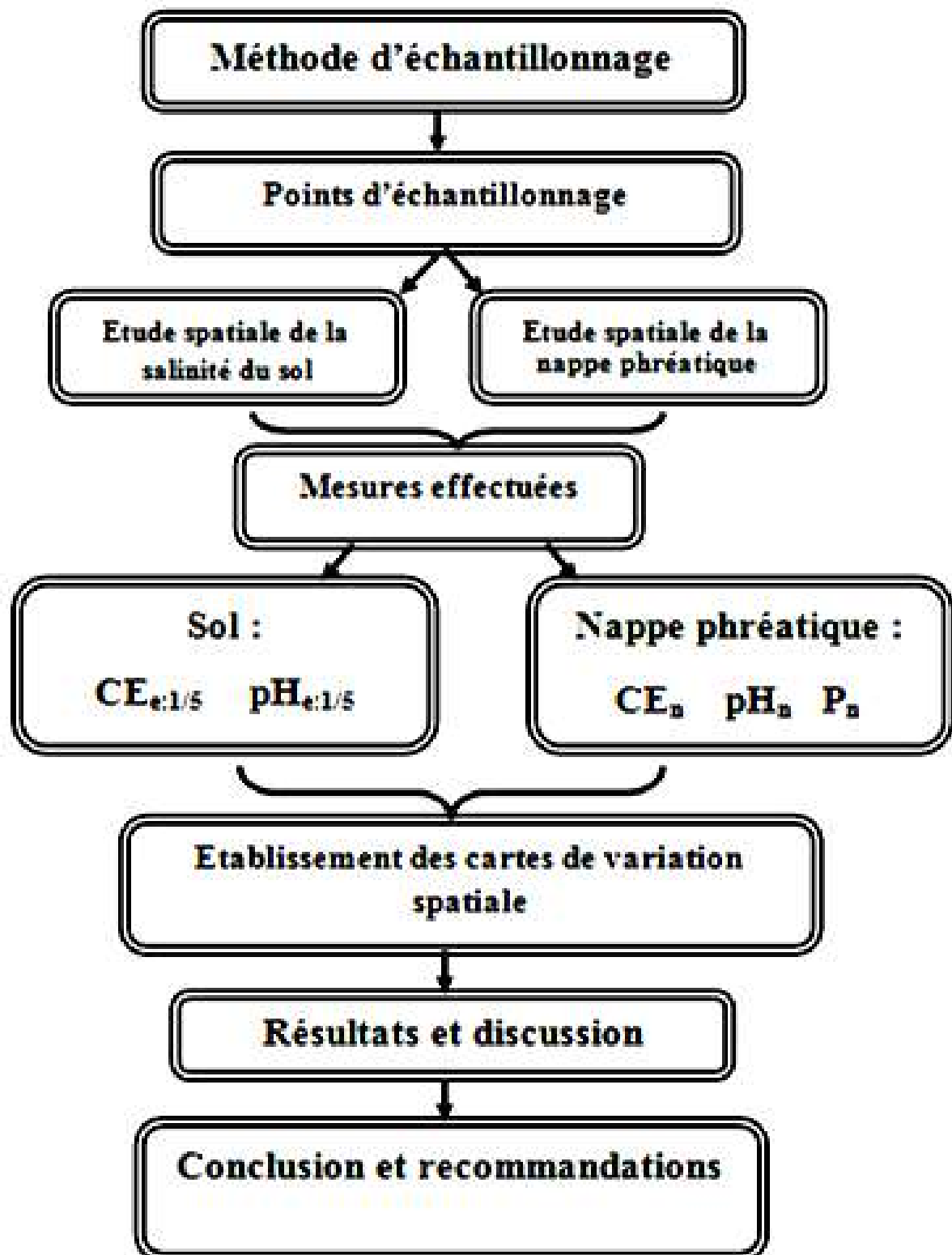


Figure 7: Approche méthodologique

**III.2.2. Echantillonnage****III.2.2.1. Méthode d'échantillonnage**

La méthode d'échantillonnage choisie dans notre étude est « l'échantillonnage aléatoire systématique » (CEAEQ, 2008), elle facilite la cartographie des données au niveau de la palmeraie du Ksar.

L'échantillonnage aléatoire systématique consiste à prélever des échantillons selon une structure régulière. Il existe différentes configurations de maillage mais celle faite à partir d'un maillage carré est la plus courante. Les échantillons sont prélevés à chacune des intersections du maillage, au centre de celui-ci ou au hasard à l'intérieur de chacune des mailles. Le point de départ et l'orientation du maillage peuvent être choisis au hasard ou en tenant compte des renseignements disponibles (obstacles, sens de migration soupçonnée, etc.). La détermination de la dimension des mailles est un élément de décision important dans l'élaboration d'un plan d'échantillonnage systématique (CEAEQ, 2008).

Nous avons opté pour une dimension de maille de 250 m × 250 m, qui permet un sondage pour chaque 6,25 ha. Le maillage est effectué par le logiciel ArcGIS version 10.2.2 sur la carte de la palmeraie du Ksar, où au centre de chaque maille il y a un point de sondage.

On procède à l'élimination des points qui sont en dehors de la palmeraie du Ksar.

**III.2.2.2. Points d'échantillonnages**

Nous avons transférées les coordonnées des points d'échantillonnages (Fig.8) (système de coordonnées WGS 1984, UTM zone 31N) vers un appareil GPS (Marque : Garmin, Modèle : GPSmap76CSx). Nous avons aussi modifié la position de certains points de sondage en fonction des contraintes du terrain et nous avons effectué des prélèvements des eaux phréatiques en parallèle de l'échantillonnage du sol.

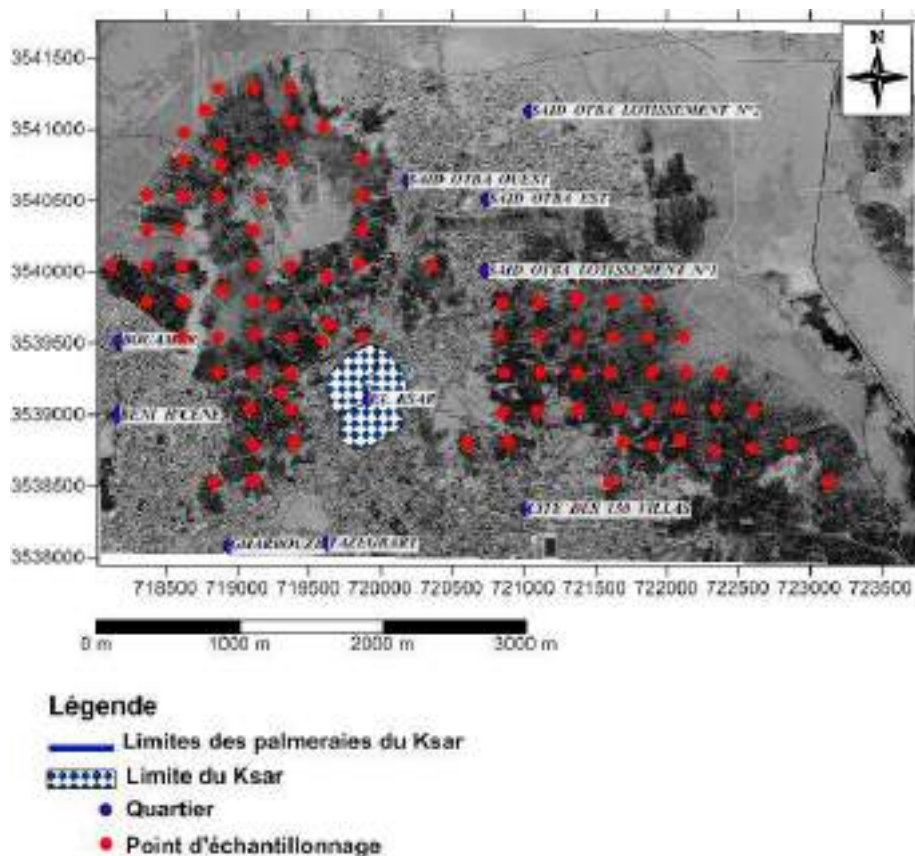


Figure 8 : Carte de localisation des points d'échantillonnage.

### III.2.2.3. Echantillonnage du sol

L'échantillonnage a été menée durant le 17 décembre 2016 à 23 janvier 2017, dans la période hivernale qui correspond à la période des hautes eaux, durant laquelle le niveau de la nappe atteint sa position la plus élevée.

La méthode utilisée pour les prélèvements d'échantillons des sols est celle du sondage à la tarière de 2 m de longueur, on a prélevé des échantillons du sol dans une parcelle (photo 1) à trois profondeurs différentes (0- 40 cm, 40- 80 cm et 80 -120 cm) et on signale la présence d'une croute gypseuse. Les échantillons sont mis dans des sachets en plastique pour les sécher à l'air libre. Le nombre total des échantillons est de 89.



**Photo : Point de sondage.**

#### **III.2.2.4. Echantillonnage de la nappe phréatique**

La mesure du niveau de la nappe est réalisée en parallèle de l'échantillonnage du sol à l'aide d'une sonde électrique et le prélèvement des 49 échantillons se fait à l'aide d'un tube de petit diamètre, puis elles sont mises dans des bouteilles et analysées au laboratoire.

#### **III.2.3. Méthodes d'analyses**

Les analyses de nos échantillons ont été effectuées au niveau du laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'université Kasdi Merbah de Ouargla.

##### **III.2.3.1. Analyses des sols**

Avant d'analyser le sol il faut le tamiser à 2 mm ensuite analyser au laboratoire où on a utilisées les méthodes d'analyses suivantes (MATHIEU et PIELTAIN, 2009):

##### **❖ Conductivité électrique ( $CE_{e1:5}$ ) à 25°C**

La détermination de la conductivité électrique (CE) des sols a été réalisée par la méthode d'un extrait aqueux de rapport sol/eau de 1/5<sup>ème</sup>, On a pesé 50 mg de sol sec (émiété et tamisé à 2 mm pour obtenir la terre fine) que l'on disperse dans 250 ml d'eau distillée. L'échantillon est alors agité pendant deux heures puis transvaser le liquide surnageant dans un bécher. Les mesures sont pris par un conductimètre étalonné par une solution de KCl (0,1 mol.L<sup>-1</sup>). Pour chaque profondeur on a fait trois répétitions (trois solutions du sol), et nous avons effectué trois lectures pour chaque mesure.

**❖  $pH_{e1:5}$** 

Est mesuré dans l'extrait aqueux sol / eau (1:5), au pH-mètre étalonné avec des solutions tampon de pH connu. Et nous avons effectué trois lectures pour chaque mesure

**III.2.3.2. Analyse des eaux phréatiques**

Les méthodes d'analyses des eaux utilisées au cours de travail de recherches sont (RODIER *et al.*, 2005) :

- ❖ **Conductivité électrique ( $CE_n$ ) à 25°C** : est mesurée au conductimètre.
- ❖  **$pH_n$**  : est mesuré au pH-mètre étalonné.

**III.2.4. Cartographie****III.2.4.1. Cartographie au niveau de la nappe phréatique**

Nous avons mesurés le niveau statique, le niveau piézométrique, le degré de salinité par la conductivité électrique  $CE_n$  et le  $pH_n$ . Nous permet de tracer des cartes pour les différentes mesures à partir d'un logiciel de géostatistique Surfer 11.

**III.2.4.2. Cartographie de la salinité des sols**

Nous avons mesurés le degré de salinité par la conductivité électrique ( $CE_{e1:5}$ ) et le  $pH_{e1:5}$ . Les différentes valeurs de mesures ont permis de tracer des cartes de la variabilité spatiale à partir d'un logiciel de géostatistique Surfer 11.

A highly decorative, symmetrical floral border in black ink. It features intricate scrollwork, acanthus leaves, and central floral motifs at the top and bottom. The border frames the central text.

**TROISIÈME PARTIE**  
**RÉSULTATS**  
**ET**  
**DISCUSSIONS**



**Chapitre IV. Etude de la variabilité spatiale des eaux phréatique**

L'étude de la variabilité spatiale dans la palmeraie du ksar a été basée sur l'étude de niveau statique et piézométrique des eaux phréatiques et de leurs salinités et pH.

**IV.1. Niveaux de la nappe phréatique**

Le niveau de la nappe phréatique est réglé par un équilibre entre les entrées et les sorties. Les entrées des eaux sont principalement constituées par les eaux pour l'irrigation et les fuites de l'AEP, des rares crues des oueds M'Zab et N'Sa et des arrivées d'eau pluviale provenant des flancs de la vallée. Les sorties sont essentiellement dues à l'évapotranspiration de la végétation, à l'évaporation des eaux de la nappe remontant par capillarité et par l'écoulement vers les points bas constitués par le Chott et les Sebkhats (BELKHIRA, 2008).

**IV.1.1. Niveau statique de la nappe phréatique**

D'après EDMONDS *et al.*, 1998 in DADDI BOUHOUN, 2010, les niveaux statiques des eaux phréatiques (Fig.9) sont évaluées en trois groupes en fonction de leurs actions limitatives sur l'enracinement des arbustes et des arbres : sévère, modéré et insignifiant, avec les groupes de profondeurs respectives : 0 - 45,7 cm, 45,7- 91,4 cm et supérieurs à 91,4 cm. Notre étude montre que 13% des points échantillonnés, la nappe phréatique à un effet sévère sur la croissance des arbres et des arbustes et un taux de 51% pour un effet modéré, cependant, 28 % des palmeraies présentent des nappes avec une action insignifiante sur la croissance des arbustes et des arbres.

Selon DADDI BOUHOUN (2010), l'action limitative racinaire et de rendements des palmiers dattiers dépend des biotopes oasiens. Il propose une classification de performance racinaire dans les biotopes oasiens où l'action limitative des nappes et des croûtes sur l'enracinement est : sévère, modérée et insignifiante correspondant à trois groupes de profondeur : superficielle, moyenne et profonde, avec les groupes de profondeurs respectives : 0-1,5 m, 1,5-3 m et supérieures à 3 m.

On utilisant l'échelle établit par DADDI BOUHOUN (2010), 55 % des points échantillonnés présentent une nappe phréatique superficielle, avec une profondeur comprise entre 20 et 140 cm, leurs enracinements sont limités par un obstacle hydrique de nappe phréatique qui à un effet sévère sur la croissance du palmier dattier. Cela montre qu'ils souffrent d'un problème de remontée de nappe, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation et de drainage. Cependant 45%, des points échantillonnés présentent une nappe phréatique moyenne à profond.



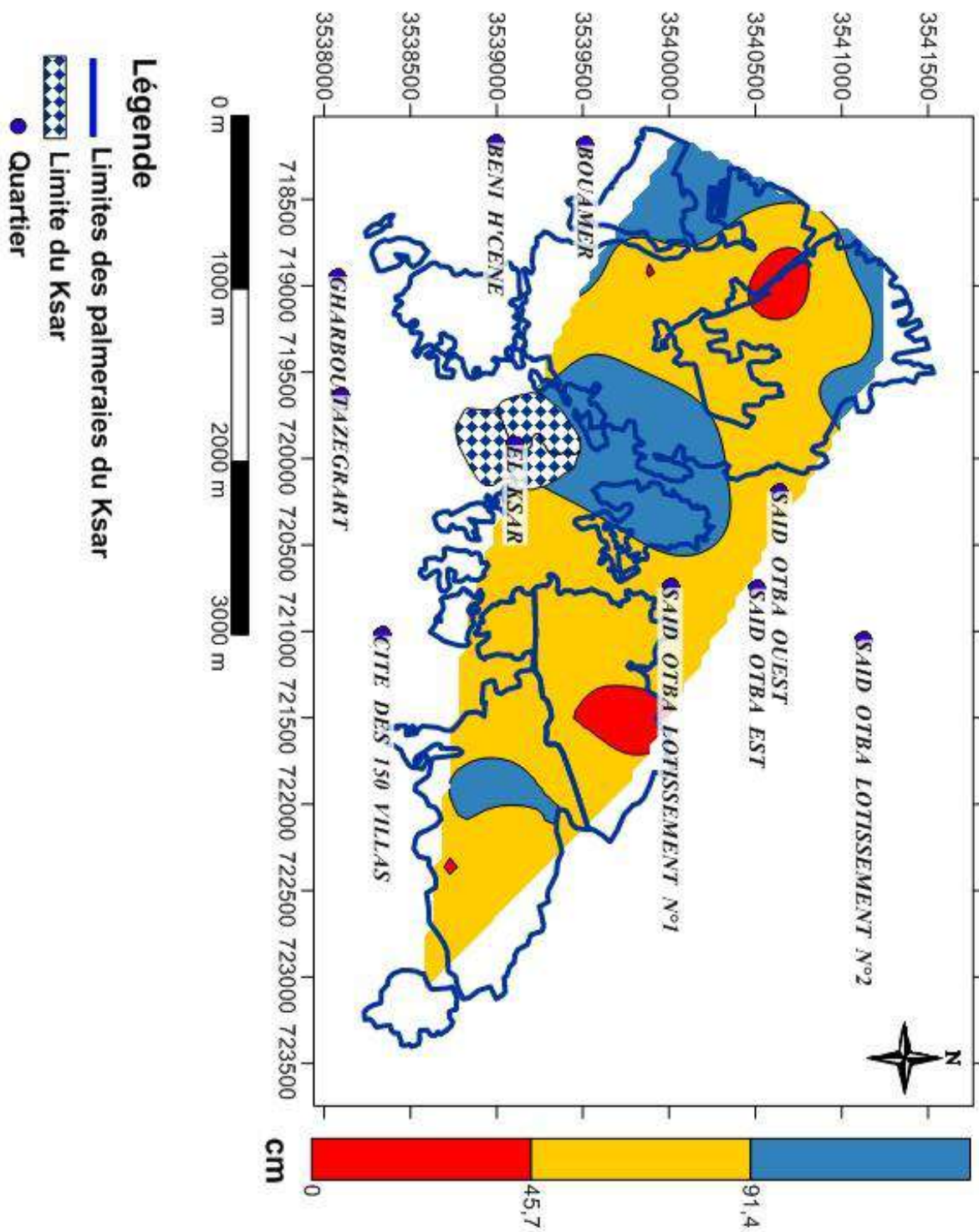


Figure 9 : Niveau statique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar.

**IV.1.2. Niveau piézométrique**

Niveau piézométrique ou niveau hydrostatique, mesuré dans de petits ouvrages appelés piézomètres (LUZOLO LUTETE, 2012).

La carte de la surface piézométrique d'une nappe représente l'outil d'étude et d'exploitation de cette nappe. Elle permet de définir directement les conditions d'écoulement des filets liquides qui circulent à la surface de la nappe. Elle permet également l'étude de la fluctuation dans le temps des niveaux piézométriques et donc l'évaluation de la réserve de la nappe et des conditions d'alimentation (AMRAOUI, 1997).

Le niveau piézométrique au Ksar varie entre 128,79 et 150,19 m. Nous avons enregistré dans ces palmeraies aussi des valeurs variables comprises entre 133,02 et 149,18 m à Beni Ouaguine, entre 133,31 et 150,20 m à Beni Brahim et entre 128,79 et 146,28 m à Beni Sissine (annexe 2).

Nous remarquons que la zone Sud-Ouest de la palmeraie de Beni Brahim est la zone la moins affectée par la remontée de la nappe phréatique avec les altitudes les plus élevées comprises entre 133,31 m et 150,20 m (Fig.10). Ces zones où la nappe est profonde correspondent à des points hauts de la topographie (BELLAOUEUR, 2008).

Suivant la carte de niveau piézométrique, le sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique à quatre directions (Fig.10) :

1. vers les zones de dépressions à l'intérieur de la palmeraie, s'effectue selon trois directions:
  - Prés de Bouameur nommée « Ourir » dans la palmeraie de Beni Brahim;
  - Nord ouest de Beni Ouaguine ;
  - Conjointement dans la palmeraie de Beni Ouaguine et celle Est de Beni Sissine ;
2. vers le Nord et le Nord-Ouest de la palmeraie du Ksar où existe un drain principal et en direction de Sebkhet Safioune qui est parmi les points les plus bas dans la cuvette de Ouargla;
3. vers le Nord-Est en direction du chott d'Aïn Beïda ;
4. vers le sud et sud-est de la palmeraie du Ksar.

Selon BONARD et GARDEL 2004, les points les plus bas sont situés dans la Sebkhet Safioune, tout au nord, avec des cotes comprises entre 102,19 m et 102,95 m, inférieures de 32 m à celles des points les plus hauts et 25 m plus bas qu'au Chott. La nappe s'écoule

librement des points hauts vers les points bas. D'après BELLAOUEUR 2008, la nappe présente une direction d'écoulement générale du Sud vers le Nord Nord-Est avec une pente fiable ne dépassant pas 2 ‰.

Les fluctuations du niveau de la nappe phréatique sont étroitement liées à l'histoire des palmeraies, à l'exploitation des ressources en eau artésienne et aux efforts d'assainissement consentis pour lutter contre les nuisances qui en ont résulté, dont le niveau de la nappe phréatique est réglé par un équilibre entre les entrées et les sorties (BELKHIRA, 2008).

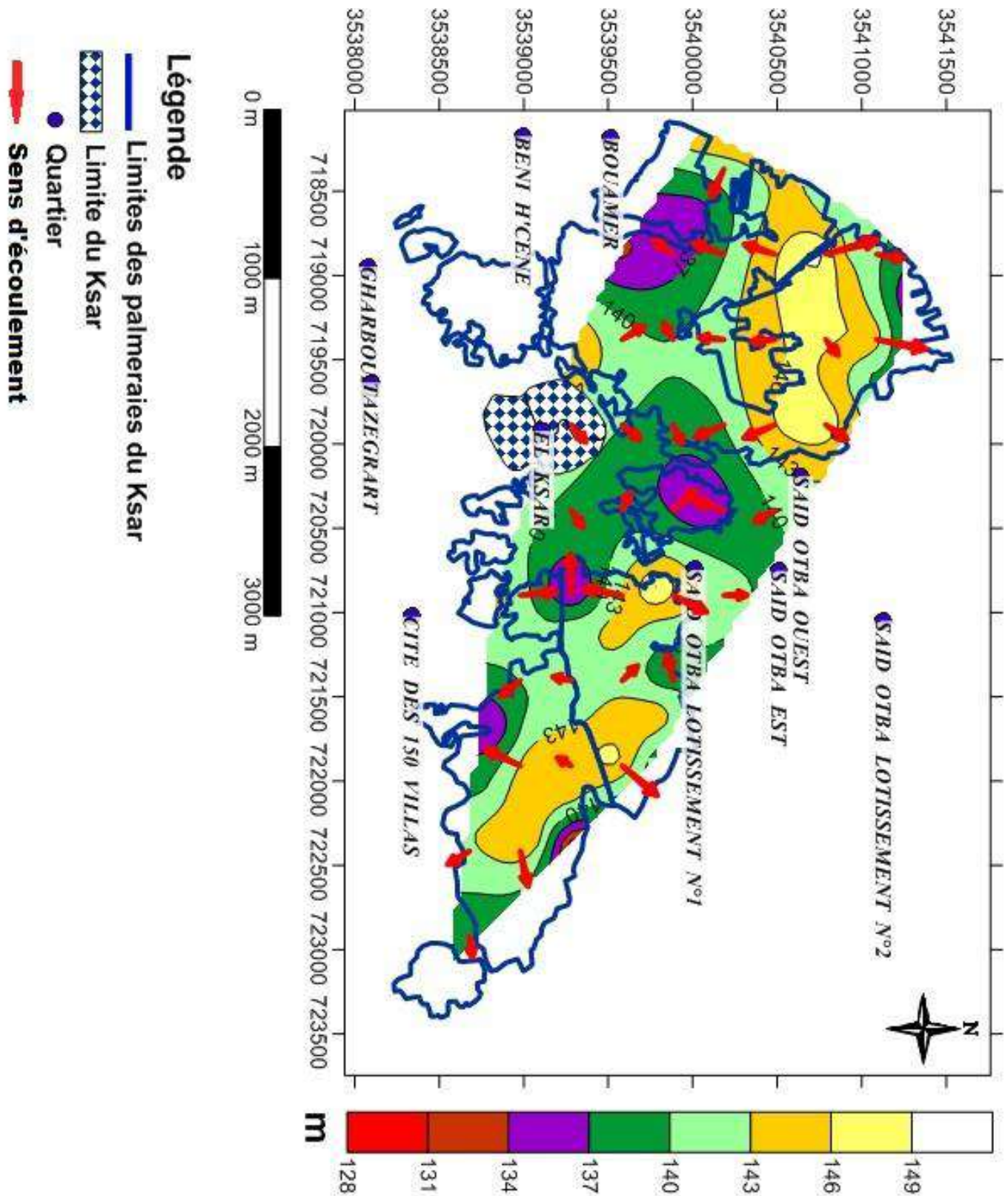


Figure 10 : Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar.

## IV.2. Qualité des eaux phréatiques

### IV.2.1. Degrés de salinité

La mesure de la conductivité fournit une indication de la concentration ionique et apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, donc de sa minéralisation. Il dépend de la température, de la concentration et types d'ions présents (HEM 1985 et HCEFLCD, 2006 in EL OUMLOUKI *et al.*, 2014).

La salinité de la nappe, exprime un équilibre ou un bilan salin entre les apports par l'irrigation et les prélèvements par drainage artificiel et écoulement latéral (ASKRI et BOUHLILA, 2010).

Les valeurs de salinité des eaux phréatiques au Ksar établie à partir des résultats relatifs à la conductivité électrique, indique que la salinité varie de 7,82 à 90,65 dS.m<sup>-1</sup>, avec une moyenne de  $29,91 \pm 17,73$  dS.m<sup>-1</sup>, Ces résultats traduisent une forte minéralisation des eaux de la palmeraie selon les normes ISO 1994(annexe.4). Avec un coefficient de variation de 59% ce qui indique qu'il ya une variabilité. Elle exprime une variabilité moyenne de la salinité de la nappe phréatique dans la palmeraie du Ksar (annexe.1). Les valeurs élevées de la conductivité sont localisées surtout dans les palmeraies non irrigués (13,41 à 90,64 dS.m<sup>-1</sup>).

Parmi les résultats d'analyse de la conductivité électrique des 49 points pour les eaux de la nappe phréatique dans la palmeraie de Ksar, 65% sont excessivement salin, 29% très salin et seulement 6% sont salin (Fig.11).

Le degré de salinité des eaux phréatiques au niveau de la palmeraie de Beni Brahim, compris entre 7,82 à 90,65 dS.m<sup>-1</sup>, est le plus important. Dans la palmeraie de Beni Ouaguine la salinité, compris entre 14 à 74,01 dS.m<sup>-1</sup>. Cependant, dans la palmeraie de Beni Sissine, le degré de salinité est compris entre 9,78 à 58,03 dS.m<sup>-1</sup> (Annexe.2).

En remarque que la distribution de la degrés de salinité des eaux phréatique suit le sens d'écoulement de la nappe phréatique des points le plus haut vert les points les plus bas et vers les zones de dépressions. Des études menées par DADDI BOUHOUN *et al.*, 2012 et IDDER *et al.*, 2011, montrent que les eaux phréatiques de Ouargla sont chargées en sels.

Les eaux de la nappe phréatique présentent une forte minéralisation en sels dissous, cette forte minéralisation est due au phénomène de dissolution des sels contenus dans les

sables gypso argileux du quaternaire et la concentration des sels par évaporation (BELKHIRA, 2008).

D'après BELLAOUEUR (2008), les eaux de lessivage des sols s'infiltrent et rejoignent la nappe dont elles font monter le niveau et augmenter la salinité.

### Classes salinité des eaux de la nappe phréatique

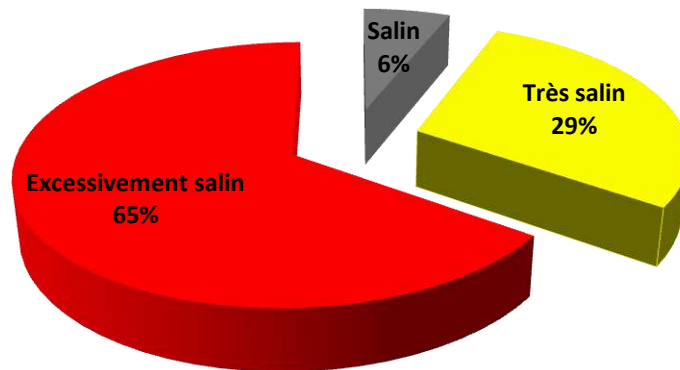


Figure 11 : Classe salinité des eaux de la nappe phréatique.

La carte de la conductivité électrique de la nappe phréatique présente une certaine homogénéité de salinité (Fig.12) :

- **les eaux salins** ( $5 \text{ dS/m} < CE_n \leq 10 \text{ dS/m}$ ) occupent une petite partie, située sur la partie sud-ouest de la palmeraie du Beni Brahim ;
- **les eaux très salins** ( $10 \text{ dS/m} < CE_n \leq 20 \text{ dS/m}$ ) sont représentés par des parties moyennes et se répartissent au niveaux des trois palmeraies (sud est de Beni Brahim, sud de Beni Ouaguine et sud de Beni Sessine du Ksar ;
- **les eaux excessivement salins** ( $CE_n > 20 \text{ dS/m}$ ) occupent tout l'espace de la palmeraie du Ksar ;



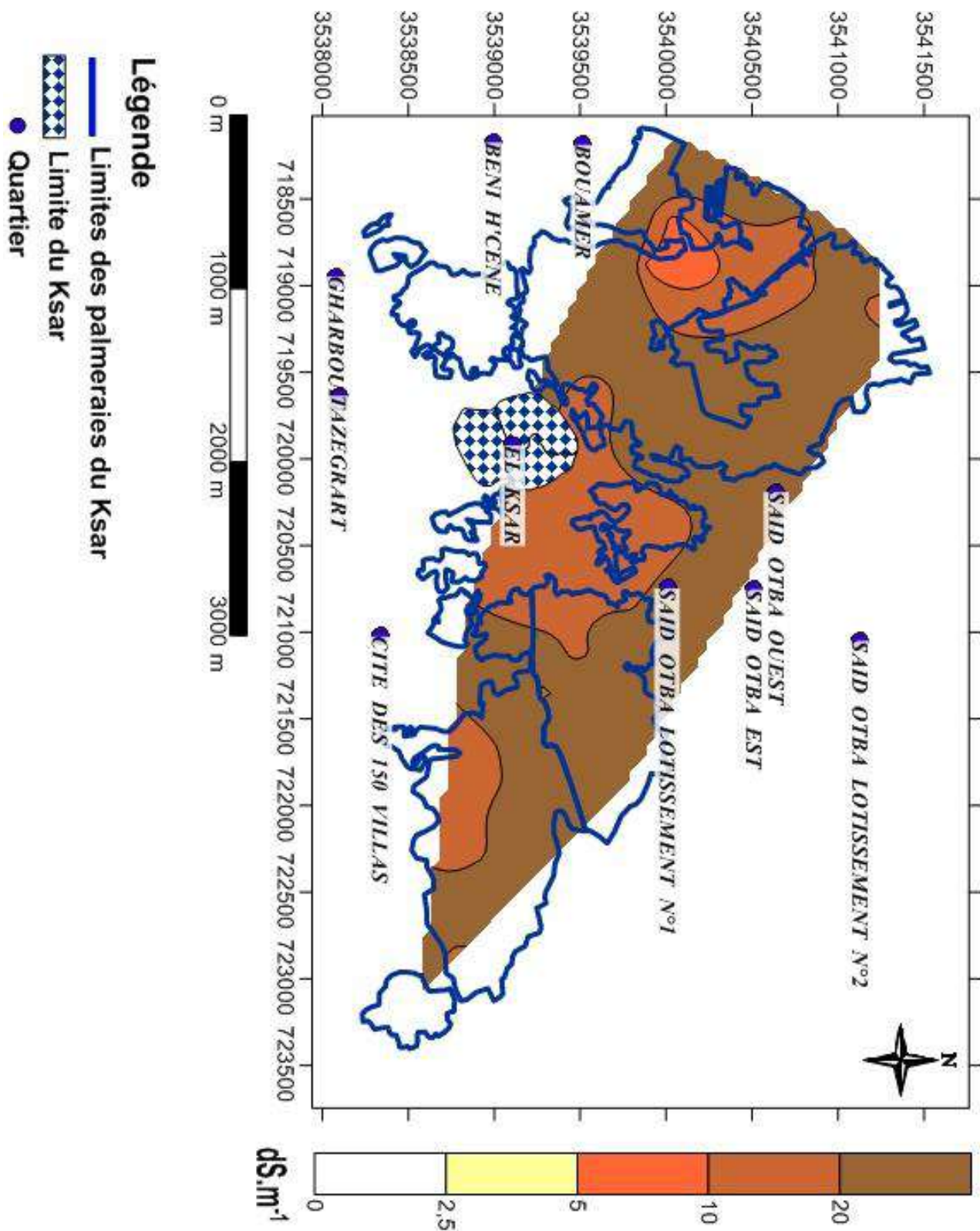


Figure 12 : Carte de la salinité des eaux de la nappe phréatique dans les palmeraies du Ksar.

### IV.2.2. pH nappe phréatique ( $pH_n$ )

Toutes les mesures recensées varient entre 7,1 et 8,1 et présentent une moyenne de  $7,6 \pm 0,23$  ce qui signifie que le pH des eaux phréatiques étudiés est homogène dans la palmeraie du Ksar (Fig.13). Ce résultat est confirmé par les CV qui sont tous très faibles ( $CV < 5\%$ ) (annexe.1). Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par SLIMANI ( $6,3 < pH < 9,2$ ) et HAMDIAISSA ( $6,3 < pH < 9,5$ ) (SLIMANI et GUENDOOUZ, 2015). Selon l'échelle de GUACHER (1968 in BERRAH, 2009) (annexe.3), on peut conclure que le pH des eaux de la nappe phréatique dans la palmeraie de Kar variées de neutre à alcalin.

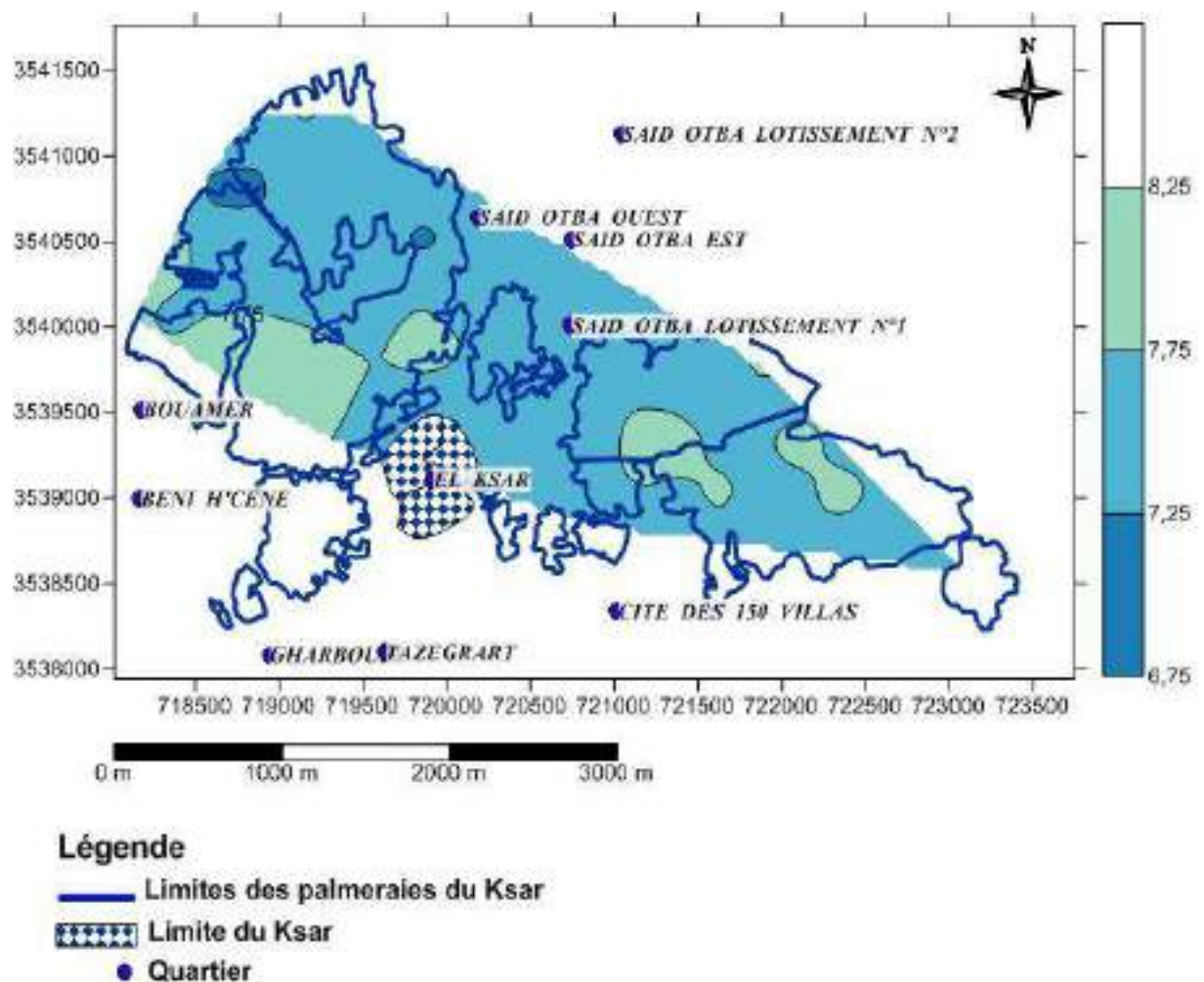


Figure 13 : variation spatiale de pH de la nappe phréatique dans la palmeraie du Ksar.



**Chapitre V. Variabilité spatiale de la salinité du sol**

L'étude de la variabilité spatiale au niveau de la palmeraie du Ksar est basée sur : la variabilité spatiale de salinité, dynamique des sels et la mesure du pH.

**V.1. Variabilité spatiale de la salinité du sol**

Les résultats portent sur la conductivité électrique (CE) mesurée au laboratoire sur des extraits aqueux ( $1/5^{\text{ème}}$ ) des 89 échantillons prélevés sur trois profondeurs :

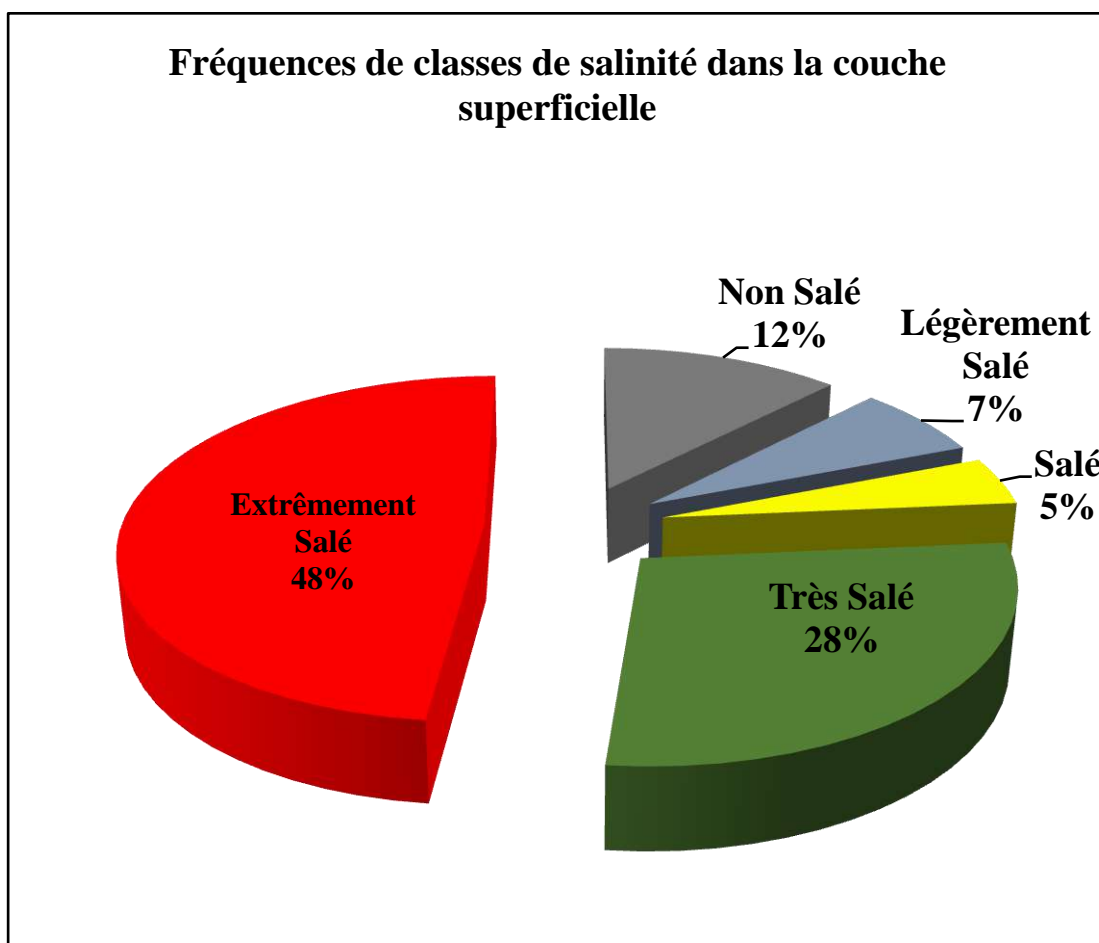
- couche superficielle (0-40 cm)
- couche médiane (40-80 cm)
- couche profonde (80-120 cm)

**V.1.1. Variabilité spatiale dans la couche superficielle (0-40 cm)**

Les résultats de la  $CE_{e1:5}$  dans cette couche sont situés entre 0,19 à 15,91  $dS.m^{-1}$ , avec une moyenne de  $(4,54 dS.m^{-1} \pm 3,45)$ , et un coefficient de variation de 76 %, elle exprime une forte variabilité de la salinité en surface (annexe. 1). Les fréquences de différentes classes de salinité de sols varient entre 48% et 5% (Fig. 14) dans cette couche, avec la prédominance de la classe des sols « extrêmement salé 48% ».

La carte de la conductivité électrique de la couche superficielle (Fig. 15) présente certaine hétérogénéité de salinité :

- **les sols non salés** ( $CE_{e1:5} \leq 0,6 dS/m$ ) occupent une petite partie, située sur la partie sud-ouest de la palmeraie du Ksar près de Bouameur ;
- **les sols légèrement salés** ( $0,6 dS/m < CE_{e1:5} \leq 1 dS/m$ ) sont représentés par des petites parties dans la palmeraie du Ksar ;
- **les sols salés** ( $1 dS/m < CE_{e1:5} \leq 2 dS/m$ ) sont assez bien représentés, situés surtout aux bordures et au centre de la palmeraie du Ksar ;
- **les sols très salés** ( $2 dS/m < CE_{e1:5} \leq 4 dS/m$ ) occupent une partie importante et se situent essentiellement au sud-est et nord-ouest de la palmeraie du Ksar ;
- **les sols extrêmement salés** ( $CE_{e1:5} \geq 4 dS/m$ ) sont très largement répandus dans la palmeraie du Ksar.



**Figure 14 : Fréquences de différentes classes de salinité dans la couche superficielle (0-40 cm).**

On peut constater que cet horizon est le plus dégradé qui peut être due à : la remontée de la nappe phréatique salé en hiver qui empêche le lessivage des sels et l'utilisation des eaux d'irrigation chargé en sels , où selon (DREW., 2015) les eaux d'irrigations sont pompée à partir de la nappe Miopliocène et Sénonien, ces eaux sont classées de fortement salées à très fortement salées avec un risque élevé de salinisation des sols.

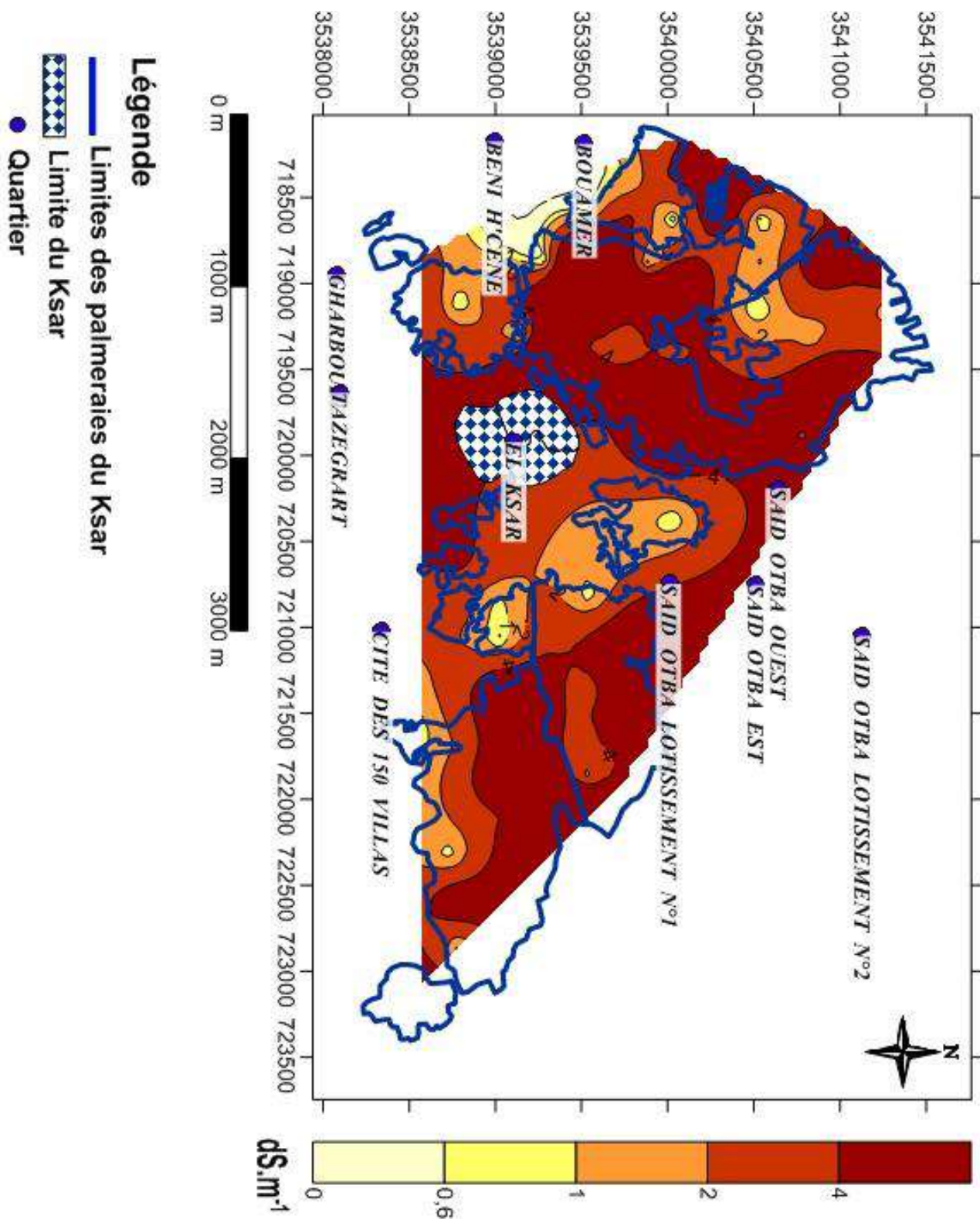


Figure 15: Carte de la variabilité spatiale de la conductivité électrique de la couche superficielle (0-40 cm) dans la palmeraie de Ksar.

### V.1.2. Variabilité spatiale dans la couche médiane (40-80 cm)

Les résultats de la  $CE_{e1,5}$  de la couche médiane (40-80 cm), sont situés entre 0,36 à 9,69  $dS.m^{-1}$ , avec une moyenne de  $(3,74 dS.m^{-1} \pm 1,74)$ , et un coefficient de variation de 46 %, cette variabilité est relativement faible (annexe 5).

Les fréquences de différentes classes de salinité varient entre 52% et 2% (Fig. 16) dans cette couche, avec la prédominance de la classe des sols « très salé 52% ».

La carte de la Conductivité électrique de la couche médiane (Fig. 17) indique que

- **les sols non salés** ne sont pas présentés ;
- **les sols légèrement salés** sont très rares et ne sont représentés que par une très petite plage située à l'ouest de la palmeraie du Ksar ;
- **les sols salés** sont représentés par petites plages, la majorité sont situées dans la partie ouest de la palmeraie du Ksar ;
- **les sols très salés** occupent la majeure partie à cette profondeur.
- **les sols extrêmement salés** occupent une grande partie moins importante que celle des sols très salés et se situent essentiellement près de Said Otba et sud-ouest de la palmeraie du Ksar ;

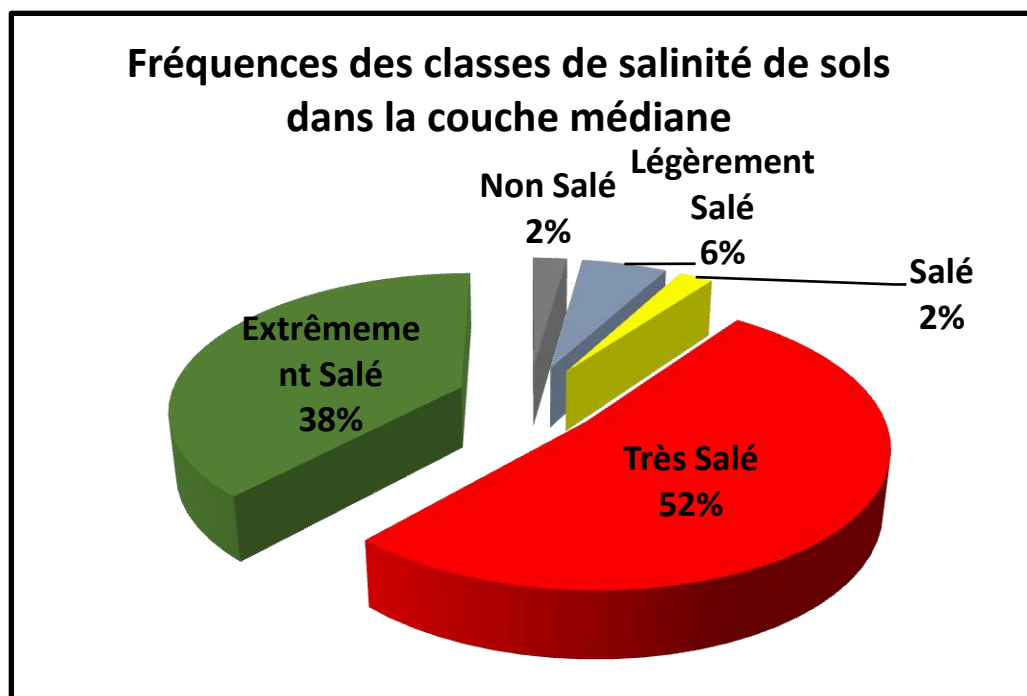


Figure 16 : Fréquences de différentes classes de salinité de sols dans la couche médiane (40-80 cm).

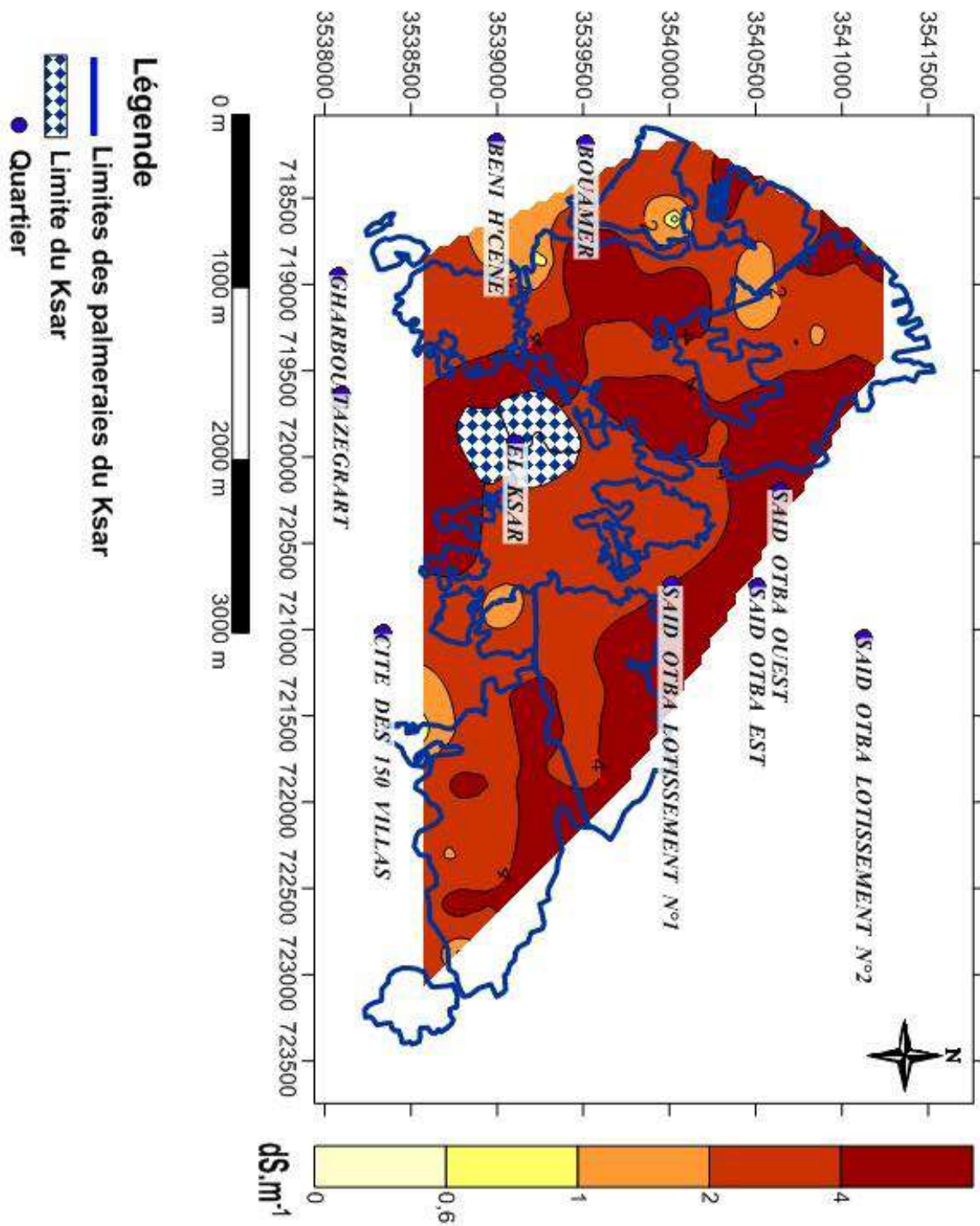


Figure 17: Carte de la variabilité spatiale de la conductivité électrique de la couche médiane 40-80 cm dans la palmeraie de Ksar.

### V.1.3. Variabilité spatiale dans la couche profonde (80-120 cm)

Les résultats de la  $CE_{e1:5}$  de cette couche profonde (80-120 cm) sont situés entre 0,26 à 9,17dS.m<sup>-1</sup>, avec un moyen de (3,87dS.m<sup>-1</sup>±1,69), et un coefficient de variation de 44 %, cette variabilité est relativement faible (annexe 5).

Les fréquences de différentes classes de salinité varient entre 55% et 1% (Fig. 18) dans cette couche, avec la prédominance de la classe des sols « très salé 55% ».

La carte de la CE de la couche médiane (Fig. 19) révèle un certain gradient de salinité orienté du sud-ouest vers nord-est le où :

- **Les sols non salés** ne sont pas présentés ;
- **Les sols légèrement salés** sont très rares et ne sont représentés que par une petite plage située au nord-ouest de la palmeraie du Ksar ;
- **Les sols salés** sont très rares et ne sont représentés que par deux petites plages situées au nord et une autre plage située sud-est de la palmeraie du Ksar ;
- **Les sols très salés** sont très largement représentés et se situent essentiellement au sud et l'ouest de la palmeraie du Ksar ;
- **Les sols extrêmement salés** occupent une partie moins important que celle des sols très salés et se situent surtout près de Said Otba et au sud de la palmeraie de Beni Brahim.

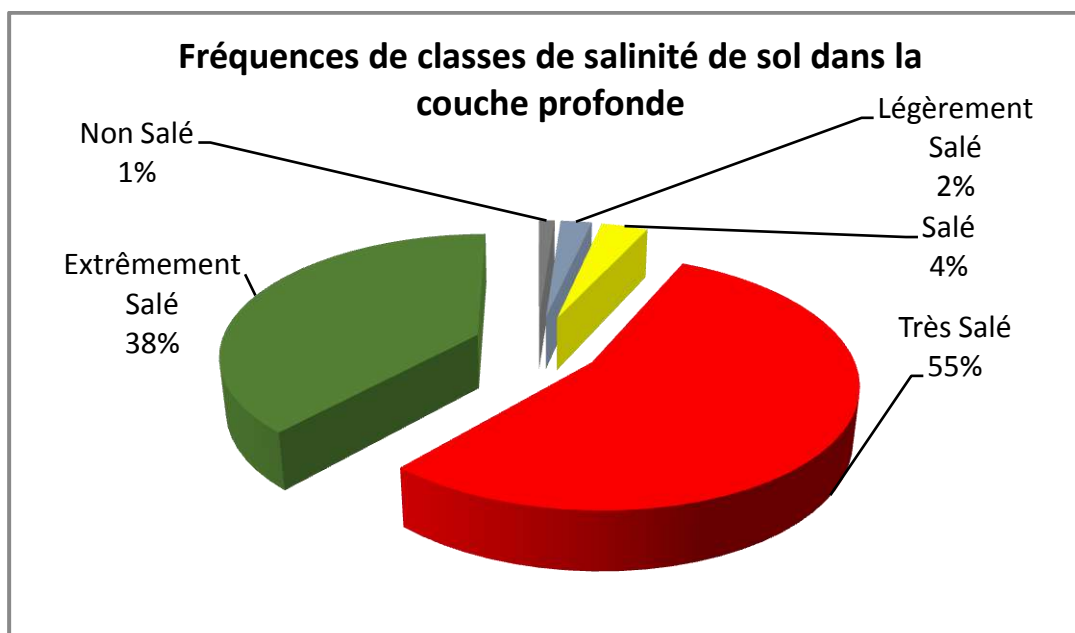


Figure 18 : Fréquences de différentes classes de salinité de sols dans la couche profonde (80-120 cm).



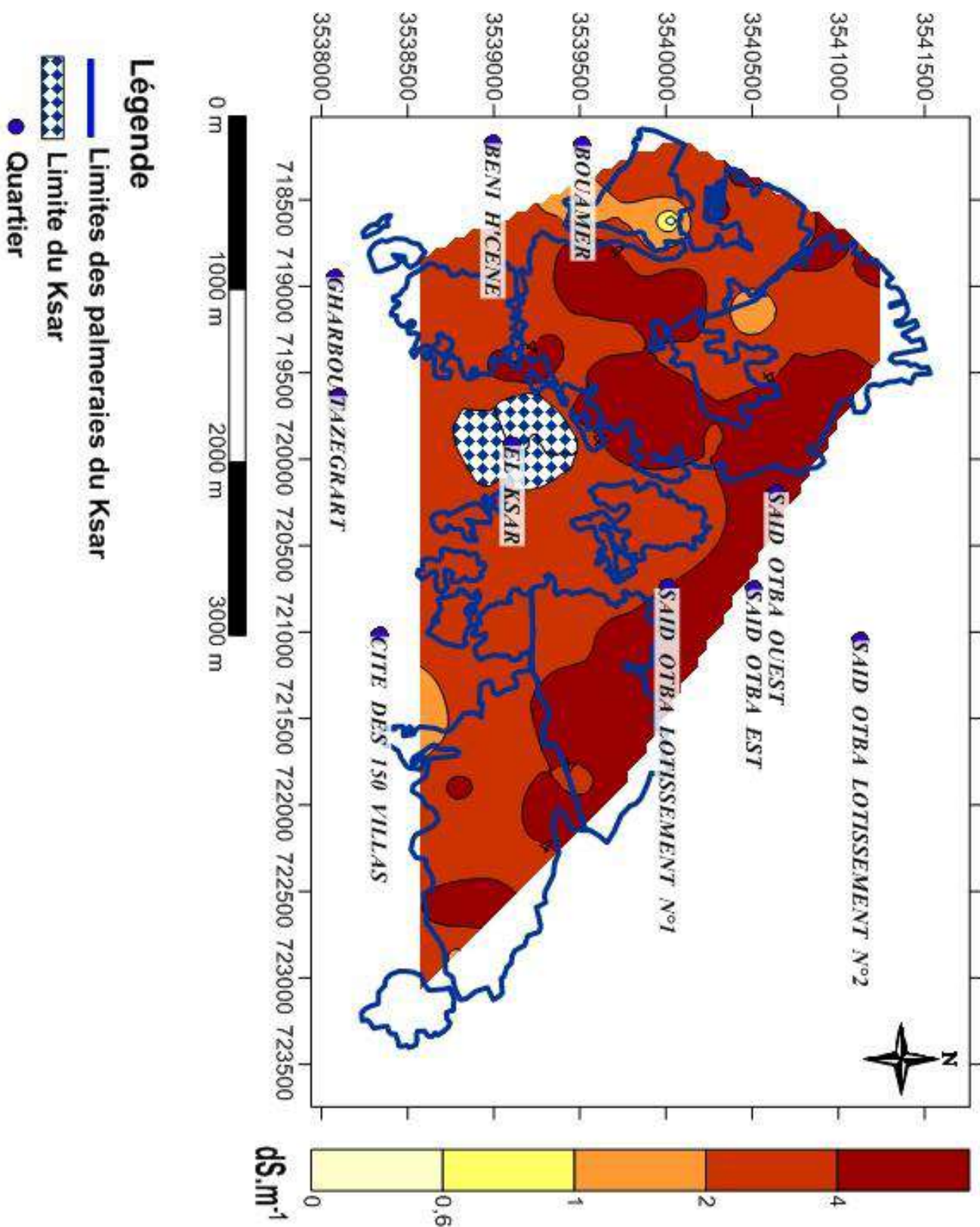


Figure 19 : Carte de la variabilité spatiale de la conductivité électrique de la couche profonde 80-120 cm dans la palmeraie de Ksar.

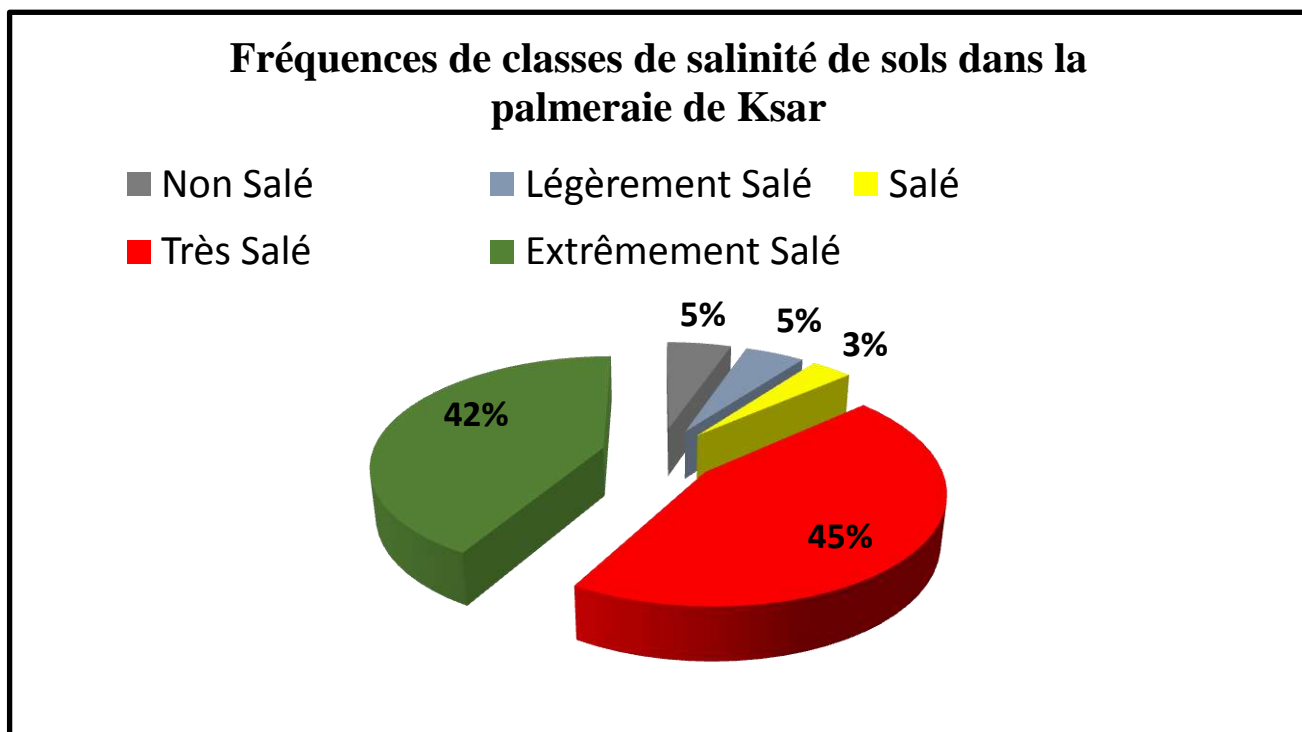
Les cartes obtenues ont permis de montrer l'ampleur de la salinisation des sols dans la palmeraie du Ksar, et montrant une grande variation de la salinité des sols sur le plan spatial.

L'étude de la variabilité spatiale de la salinité des différentes couches du sol dans la palmeraie du Ksar, à révélé une dégradation par salinisation variable, oscillant de 0,19 à 15,91 dS.m<sup>-1</sup>, où les sols sont « non salés » à « extrêmement salés » selon la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2009).

Nous avons regroupé les classes de salinité en deux catégories selon le niveau de dégradation, à savoir « sols non dégradés » et « sols dégradés ».

Les sols non dégradés comprennent les classes de salinité « non salés » et « légèrement salés », et ceux de la catégorie dégradés comprennent les classes « salés », « très salés » et «extrêmement salés ».

Nous remarquons que la majorité des couches des sols dans la palmeraie du Ksar sont « très salée» à « extrêmement salée » ce qui montre la prédominance des « sols dégradés » avec un taux qui 90 % et la catégorie des couches de « sols non dégradés » représentent un taux de 10% (Fig. 20).



**Figure 20: Fréquences de classes de salinité de sols dans la palmeraie de Ksar.**



La dégradation des sols dans la palmeraie de Ksar est peut être due à : la remontée de la nappe phréatique salée, la mauvaise gestion des eaux d'irrigation et l'état des drains (HAMDI-AISSA, 2001 ; IDDER, 2005 ; DADDI BOUHOUN, 2010 ; IDDER *et al* 2014 ; SIBOUKEUR 2016).

### **V.2. Dynamique des sels**

Dans les régions sahariennes, il est important de bien apprécier les risques de salinisation et la dynamique des sels dans le système eau-sol-palmeraie (DADDI BOUHOUN et BRINIS, 2006).

Les profils salins réalisés pour les 89 sondages présentent des allures diverses (Fig.22).

Les quatre profils salins (SERVANT, 1978) à savoir A, B, C et D existent au Ksar (Fig. 21). Ils montrent que les sols ont subi différentes dynamiques de sels suivant deux situations: sol irrigué et sol non irrigué.

Les profils salins des sols irrigués dans la palmeraie du Ksar, sont avec prédominance de type descendant « D » (27%), avec un maximum de salinité ( $3,41\text{dS/m} \pm 1,41$ ) (annexe.6) dans l'horizon profond 80-120 cm. Selon SERVANT (1975), ce type de profil à gradient de salinité dirigé vers le bas avec un maximum en profondeur serait le résultats d'une désalinisation du sol, et il indique en général que le sol a subi une phase de lixiviation des sels solubles sous l'effet des eaux d'irrigation.

Les profils salins des sols non irrigués dans la palmeraie du Ksar, sont de deux types :

- Type ascendant « A » (20%), avec un maximum de salinité ( $6,41\text{dS/m} \pm 3,76$ ) dans l'horizon de surface 0-40 cm (annexe.6). Selon SERVANT (1976), ce type de profil à gradient de salinité dirigé vers le haut avec un maximum en surface serait le résultats d'une salinisation ascendante du sol. dynamique des sels indique un effet de dominance de remonté capillaire à cause d'une nappe phréatique superficielle ;
- Type « C » (18%), Selon SERVANT (1976), ce type de profil a une forme intermédiaire entre les types A et D ou B. Il possède un maximum de salinité dans les couches de profondeur 0 – 5 cm ou 0 – 10 cm et un deuxième maximum situé à plus d'un mètre de profondeur. Il s'agit d'une ré-salinisation de l'horizon de surface. L'accumulation des sels par remontée capillaire à la surface est un signe de mauvaise gestion ou d'un arrêt d'irrigation après une période de

lixiviation apparente au fond de profil, et l'absence de nappe phréatique superficielle.

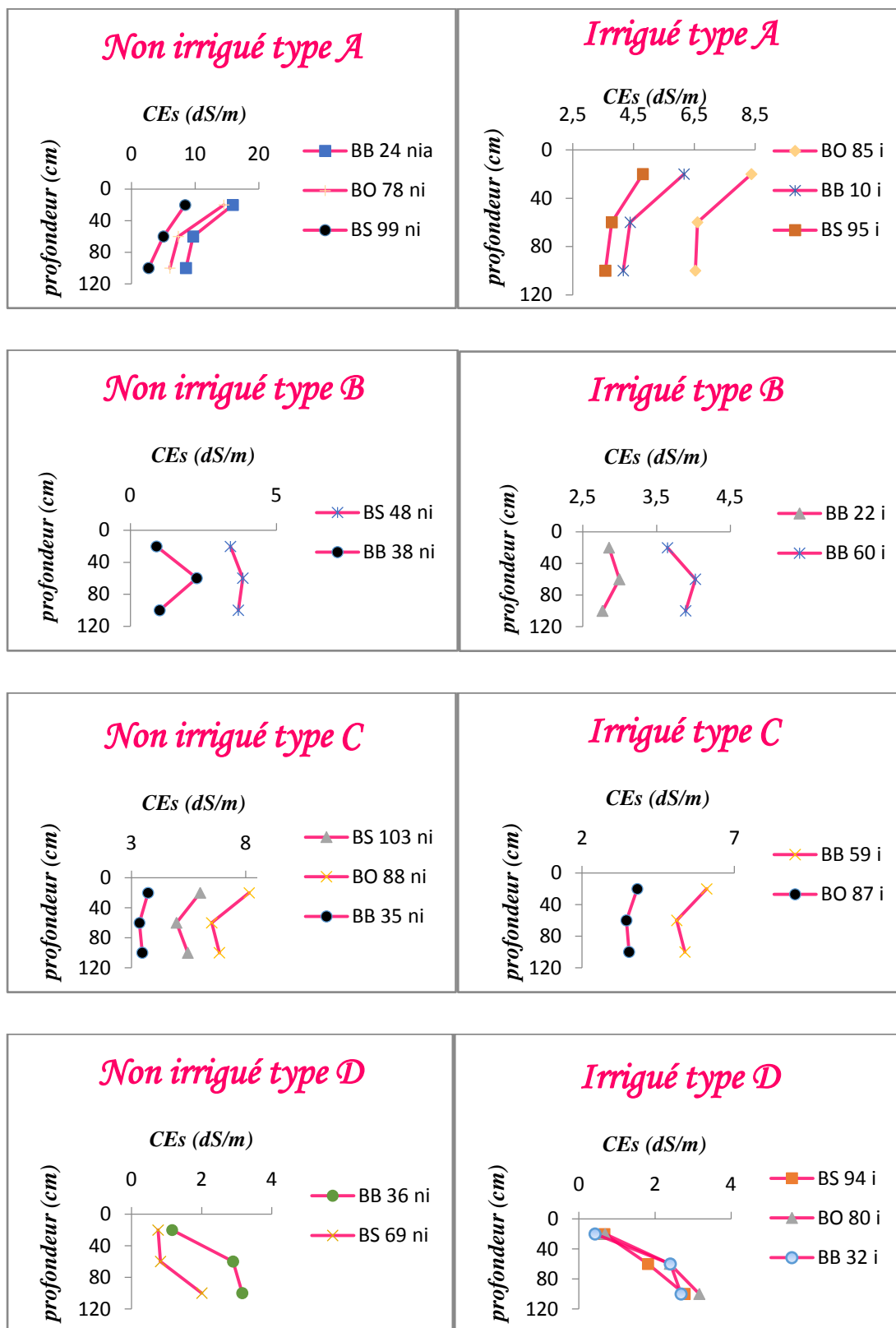
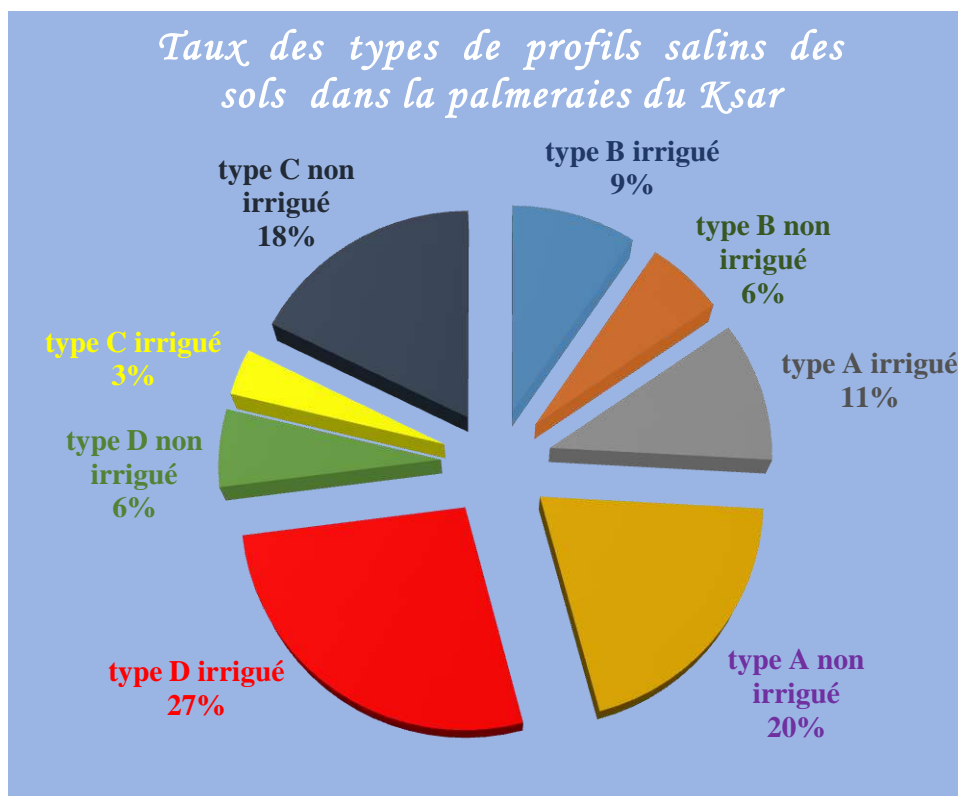


Figure 21 : Types de profils salins dans les jardins irrigués et non irrigués au Ksar.



**Figure 22 : Taux des types de profils salins.**

L'accumulation de sels est une des principales menaces physiologiques qui pèsent sur les écosystèmes. Le sel perturbe le développement des végétaux en limitant l'assimilation des éléments nutritifs et en réduisant la qualité de l'eau à disposition pour les végétaux. Un niveau de salinité élevé des sols provoque le flétrissement des plantes du fait d'une augmentation de la pression osmotique et des effets toxiques des sels (SOCO, 2009).

Toutefois, il est nécessaire d'assurer en plus une salinité au-dessous du seuil critique des cultures par une bonne conduite cultural, permettant la conservation du potentiel édaphique.

Le seuil critique de tolérance des palmiers dattiers à la salinité à Ouargla est estimé dans les modèles de DADDIBOUHOUN(2010) à  $1,2 \text{ dS.m}^{-1}$  pour l'extrait dilué 1/5. Les profils étudiés qui présentent une salinité de sol inférieure au seuil critique pour les palmiers dattiers sont estimés à 6% seulement et 94 % sont dégradés par salinisation ascendante et descendante.

### V.3. $pH_{e1:5}$

Les valeurs du pH dans la palmeraie de Ksar sont comprises entre 7,3 et 9,3, avec une moyenne de  $8,3 \pm 0,4$  (annexe.7), On peut conclure que le pH des sols dans la palmeraie de Ksar a une « alcalinité modérée », selon la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2009) (annexe.8).

- **Variations spatiales du  $pH_{e1:5}$  dans la palmeraie du Ksar**

La variabilité spatiale du  $pH_{e1:5}$  est très faible et presque homogène dans la palmeraie du Ksar (coefficient de variation = 5%).

A partir de carte pH du sol du couche de surface (Fig.23) , nous avons remarqué que le pH est a une alcalinité modérée dans tout la palmeraie avec une faible alcalinité dans le sud de la palmeraie, et une forte alcalinité dans la palmeraie de Beni Ouaguine.

Dans les deux autres couches (Fig.24 ; Fig.25), nous avons remarque que l'alcalinité modérée reste localisée dans tout la palmeraie, avec une peu d'extension de la faible alcalinité de sud vers l'ouest de la palmeraie du Ksar

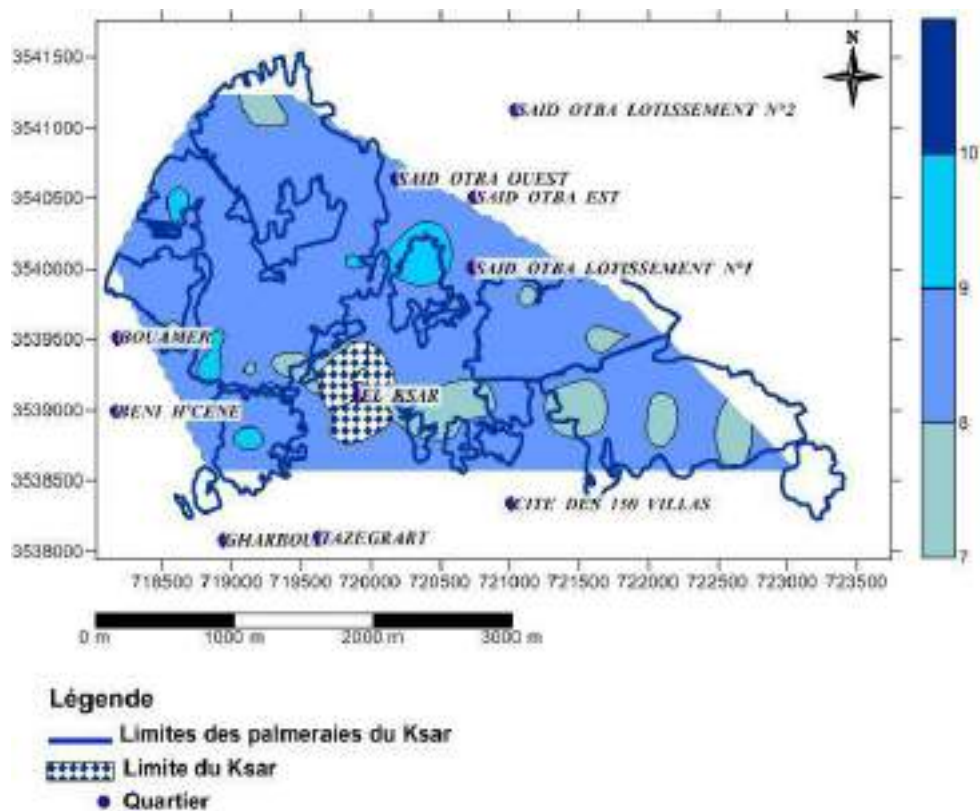


Figure 23 : Variation spatiale de pH dans la couche (0-40 cm) au Ksar.

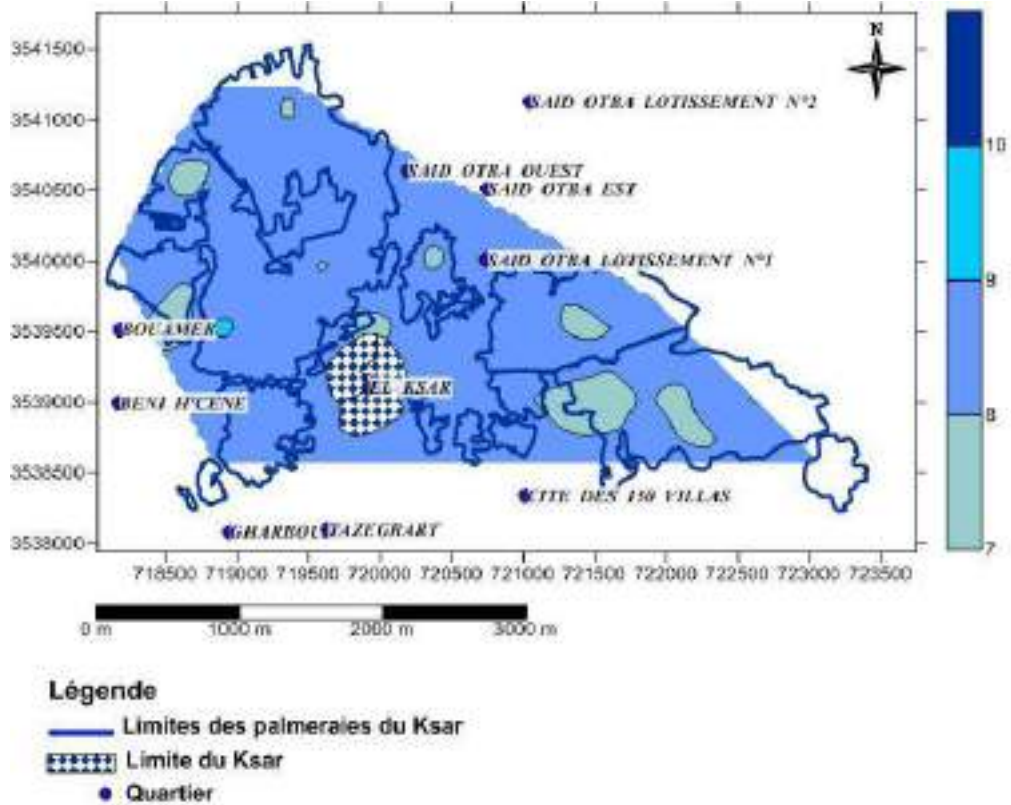


Figure 24 : Variation spatiale de pH dans la couche (40-80 cm) au Ksar.

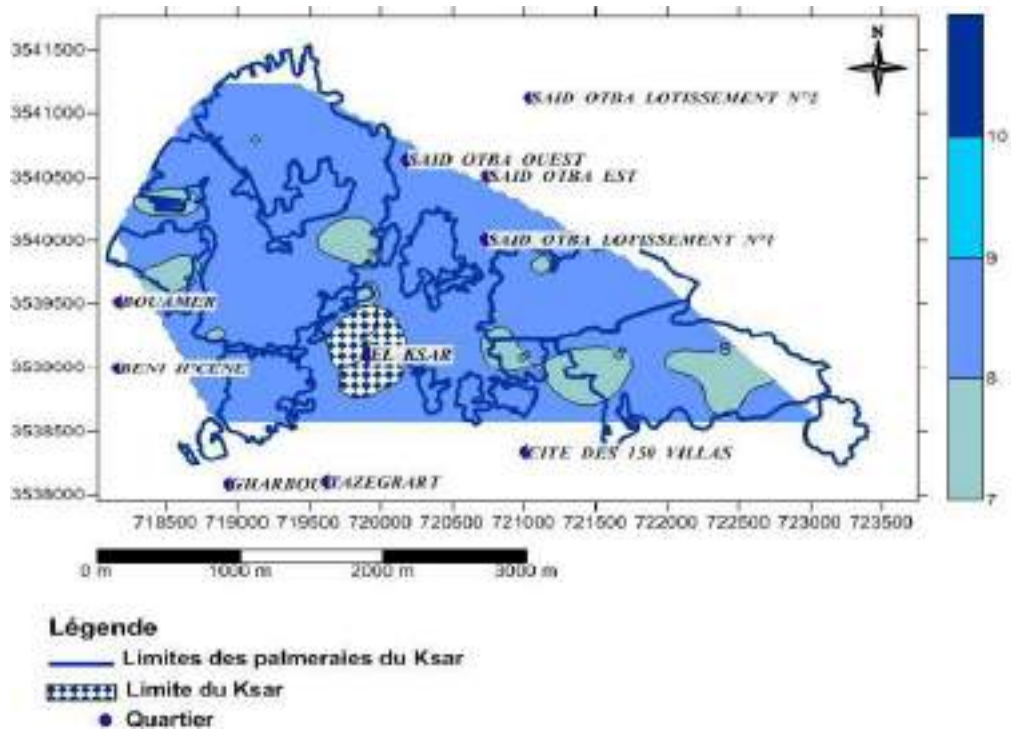


Figure 25 : Variation spatiale de pH dans la couche (80-120 cm) au Ksar.

## VI. Impact de la salinité du sol sur le rendement du palmier dattier

Le niveau des eaux phréatiques et de la croûte ont une grande influence sur le rendement du palmier dattier (DADDI BOUHOUN, 2010).

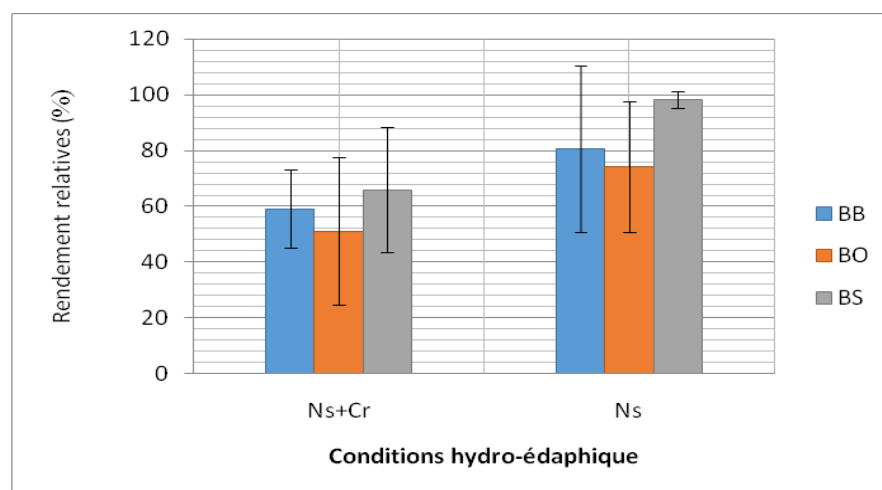
Nous avons utilisé le modèle de chute de rendement, relatives à la variété Deglet Nour, établies par le même auteur (annexe. 10). Pour ce faire, il faut classer nos données selon les conditions suivantes :

- 1- Si le niveau statique  $\leq 1,50$  m : c'est une nappe superficielle
- 2- Si le niveau statique  $> 1,50$  m : c'est une nappe profonde
- 3- Si la profondeur de la croûte  $\leq 1,50$  m nous signalons la présence de la croûte gypseuse
- 4- Si la profondeur de la croûte dépasse les 1,50 m : la présence de la croûte n'est pas signalée.

Les données sont classées selon quatre différents biotopes de jardins :

- Croûtes-nappes superficielles (Ns-C) ;
- Nappes superficielles (Ns) ;
- Nappes profondes (Np).

Cette modèle nous a permis d'estimer pour le biotope « nappe superficielle » avec le rendement moyen le plus élevé soit 89,25 %. Le rendement relatif moyen chute en présence de la croûte dans une nappe superficielle est estimé à 58,67% (Fig.26).



**Figure 26 : Effet de la salinité du sol sur le rendement relatif de Deglet Nour au Ksar.**

Selon DADDI BOUHOUN (2010) la chute de rendement dans les palmeraies de nappes profondes est moins importante par rapport à celles de nappes superficielles. Selon FURR (1975) et NIXON et CARPENTER (1978) lorsque la nappe phréatique est superficielle, elle augmente la salinité des sols, ce qui conduit à une réduction des rendements du palmier dattier.





**CONCLUSION**

### Conclusion

La salinisation est l'un des aspects de la dégradation des sols est l'un des problèmes les plus sérieux qui touche l'agriculture irriguée dans les régions semi-arides et arides.

Notre travail de recherche sur la variabilité spatiale hivernale de la salinité du sol dans la palmeraie du Ksar de Ouargla à permet de montrer que les sols sont en majorité dégradés par la salinisation .Cette dernière reste variable entre les jardins de la palmeraie, ainsi que les causes variables :

- le niveau élevé des eaux phréatique semble favorisé la remonté capillaire des sels en surface, notamment dans les jardins abandonnées ;
- l'irrigation des jardins contribue à la dynamique descendant de sels celle-ci reste liée au niveau de la nappe phréatique et la pratique de l'irrigation ;
- le niveau drainage reste insuffisant pour évacuer les eaux des jardins, ce qui risque d'asphyxié
- L'écoulement de la nappe semble favoriser l'évacuation des eaux de drainage des zones périphériques de la palmeraie toute fois il semble favoriser l'engorgement des zones internes de la palmeraie.

Les principaux résultats obtenus, indiquant que:

- La salinité des eaux de la nappe phréatique dans les points irriguées et supérieur à celle des non irriguées ;
- Niveau de la nappes dans les palmeraies non irriguée et plus profond par rapport au irriguée ;
- L'analyse des données piézométriques indique que la zone Sud-Ouest de la palmeraie de Beni Brahim est la zone la moins affectée par la remontée de la nappe phréatique ;
- 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 les 30 dS/m dans les palmeraies non irriguées, au contraire dans les palmeraies irriguées, elle est moins salés (7,82 dS/m), ce que supposerait un effet de l'évaporation et le niveau profond des nappes phréatiques ;
- L'écoulement de la nappe semble favoriser la dynamique du sel dans la nappe ;

## *Conclusion*

---

- Les cartes thématiques de la salinité, indiquant que le secteur de Beni Ouagguine est le plus dégradé ;
- Les profils étudiés qui présentent une salinité de sol inférieure au seuil critique pour les palmiers dattiers sont estimés à 6 % seulement et 94 % sont dégradés par salinisation ascendante et descendante ;
- la majorité des couches des sols dans la palmeraie du Ksar sont des sols dégradés avec un taux qui 90 % ;
- Les modèle du chute du rendement de palmier dattier, nous a permis d'estimer pour le biotope « nappe superficielle » le rendement moyen le plus élevé soit 89,25 % et il chute dans le même biotope en présence de la croûte soit un rendement de 58,67%.

Les résultats de ces études vont permettre d'établir une carte de niveau de dégradation par l'hydro-holomorphie et de proposer un plan d'aménagement pour la réhabilitation agricole de cette palmeraie.

Cette thématique aussi reste à développée dans l'ensemble des régions saharienne à fin de mesurer l'ampleur de phénomène de salinisation et de déterminer l'approche de mise en valeur adéquate pour chaque région.

Ces études dans l'ensemble permettent le développement durable des sols agricoles sahariens. Notre étude reste préliminaire elle est nécessaire d'effectuer d'autres études spatio-temporelles « hiver-été » pour déterminer des fluctuations de l'hydro-holomorphie dans le Ksar et les autres palmeraies de la cuvette de Ouargla. En tenant compte des obstacles hydriques de nappe phréatique, mécanique de croutes et la gestion de l'irrigation-drainage.

## Références bibliographiques

1. **AMRAOUI F., 1997** - Hydrogéologie. Fascicule de cours. Université Hassan II Ain Chock. département de géologie. CASABLANCA. 44p.
2. **ASKRI B., BOUHLILA R., 2010** - Évolution de la salinité dans une oasis moderne de la Tunisie étude et Gestion des Sols, Volume 17, 3-4,197 à 212p.
3. **AUBERT G., 1982** - Les sols sodiques en Afrique du nord, O.R.S.T.O.M, fond documentaire N<sup>o</sup> : 82/76/01402 .Côte :B. 185p.
4. **BADRAOUI M., AGBANI M., et SOUDI B., 2000** - Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc. Séminaire 'Intensification agricole et qualité des sols et des eaux'. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat. Maroc. 11p.
5. **BELKHIRA C., 2008** - Contribution à l'étude de la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région de Ouargla : Modélisation hydrodynamique de la remontée. Mémoire Magister en Hydraulique. Université Ouargla. 71p.
6. **BELLAOUEUR A., 2008** - Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-Est Septentrional - Algérie). Mémoire de Magister En Géologie du Génie Civil et des Milieux Aquifères. Université El-Hadj Lakhdar-Batna. 146p.
7. **BOIVIN P., BRUNET D., JOB J.O., 1988** - Conductivimétrie électromagnétique et cartographie automatique des sols salés : une méthode rapide et fiable. Cah. ORSTOM, série. Pédologie. 24 (1). 39-48.
8. **BONARD et GARDEL., 2004** - Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Lausanne SUISSE, 109 p.
9. **CALVET R., 2003** - Le sol : Propriétés et fonctions. édition France Agricole. 511p.
10. **CASTANY G., 1982** - Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed : DUNOD, Paris.233pages. in CHEHMA A.M., 2011- Le Sahara en Algérie, situation et défis. Revue .CMEP Tassili. Université de Ouargla. 14-21p.
11. **CEAEQ., 2008** - Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec. Cahier 5 échantillonnage des sols. Edition courante. 57 p.
12. **CHESWORTH W., 2008** - Encyclopedia of Soil Science, Ed. Springer Dordrecht, Berlin, 902 p.

13. **DADDI BOUHOUN M et BRINIS L., 2006** - Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué gypso-salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla. *Journal Algérien des Région Arides*, N° spécial. p: 17-20.
14. **DADDI BOUHOUN M., 2010** - Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien).Thèse de Doctorat. Université BADJI Mokhtar, Annaba. 365 p.
15. **DADDI BOUHOUN M., BRINIS L., SAKER M L., KEMASSI A., OULD EL HADJ M. D., BOUTOUTAOU D., OULD EL HADJ M D., 2012** - Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla. *Algerian journal of arid environment*. vol. 2, n° 2, 71-77.
16. **DAKAK H., SOUDI B., BEN MOHAMMADI A., DOUAIK A, BADRAOUI M, MOUSSADEK R., 2011-** Prospection de la salinité des sols par induction électromagnétique sur la plaine du Tadla (Maroc) : tentative d'optimisation par analyse géostatistique. *Secheresse*. vol. 22. 178-85 p.
17. **DIARRA L., 1991** - Contribution a l'étude de la résistance de quelques espèces fourragères aux phénomènes de salinisation – alcalinisation. Mémoire d'Ingénieur, Ministère de l'éducation Nationale du Mali. Sciences Appliquées de IIPR de Katibougou. spécialité Agriculture.63p.
18. **Direction des ressources en eau de la wilaya de Ouargla DREW., 2015** - Fichier Excel.
19. **DJILI K. DAUD Y. GAOUAR A. BELJOUZI Z., 2003** - La salinisation secondaire des sols au Sahara, conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*. 4: 241-6.
20. **DUBIEF J., 1953** - Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Service des études scientifiques, Alger, 457 p.
21. **DUBIEF J., 1963** - Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie. Alger. 384p.
22. **DURAND A., 1983** - Les sols irrigables. Presses universitaires de France. Paris. 322p.
23. **DURAND J. H., 1958** - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
24. **EDMONDS W.J., THOMAS P.J., SIMPSON T.W., BAKER J.C., 1998** - Land judging and soil evaluation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 26 p. in DADDI BOUHOUN M., 2010 - Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la

- nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien).Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar, Annaba. 365 p.
25. **FAO., 2015** - Les sols sont une ressource non renouvelable leur préservation est essentielle pour garantir la sécurité alimentaire et un avenir durable. Italie.
  26. **FURR J.R., 1975** - Water and salinity problems of Abadan Island date gardens. Rapport du 52ème annuel de l'institut des phoeniciculteurs. Etats-Unis. pp : 14 - 17.
  27. **GAUCHER G., BUBDIN S., 1974** - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Université de France. 230p .In **MISSAOUI Y., 1991**. Evolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation. Mémoire de Magistère. L'ITDAS de Biskra. 91p.
  28. **GIRARD J. F., LEGCHENKO A., BOUCHER M., 2005** - Stability of MRS signal and estimating data quality. Near Surface Geophysics. 187 -194p.
  29. **GORJI T., TANIK A., SERTEL E., 2015** - Soil salinity prediction, monitoring and mapping using modern technologies. Procedia Earth and Plantery Science. ELSEVIER. 507-212.
  30. **GRÜNBERGER O., 2015** - Dynamiques salines des sols des milieux arides et semi-arides. Sciences de la Terre. Université de Montpellier.
  31. **HADDAD S., ABBES K., 2015** - Etude de l'impact de l'irrigation-drainage sur la salinisation des sols à l'exploitation de l'université. Mémoire master agronomie. Université Ouargla. 42p.
  32. **HALITIM A., 1988** - Sol des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger. 384p.
  33. **HAMDI AISSA B., 2001** – Le Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique. Paris-Grignon. 310p.
  34. **HAMDI-AISSA B., GIRARD M.C., 2000** - Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. Sécheresse. Volume 11, Numéro 3, 179-88.
  35. **HAMDI-AISSA B., VALLES V., AVENTURIER A, RIBOLZI O., 2004** - Géochimie et minéralogie des sols et des saumures des sebkhas dans l'écosystème désertique. Exemple de la cuvette de Ouargla, Sahara algérien. Colloque International « TERRE et EAU » Annaba, 21, 22 & 23.
  36. **HAMOUDA A., 2017** - Amendement sableux dans les oasis continentales. École supérieure d'agriculture de MOGRANE. N° 60. Tunis. 14p.
  37. **HCEFLCD., 2006** - Etude sur la pisciculture au barrage Almassira, CR dar CHAFAAI, Cercle d'ELBROUGE, Province de Settat, 201p. In EL OUMLOUKI K.,

- MOUSSADEK R., ZOUAHRI A., DAKAK H., CHAT MI., EL AMRANI M., 2014 - Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss Massa, (Cas de périmètre Issen). *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S2).
38. **HEM JD., 1985** - Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, USGS Water Supply Paper, 2254, 117–120. In EL OUMLOUKI K., MOUSSADEK R., ZOUAHRI A., DAKAK H., CHAT MI., EL AMRANI M., 2014 - Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss Massa, (Cas de périmètre Issen). *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (S2).
39. **IDDER A., BERKAL I., IDDER T., 2011** - Effet de l'état de surface des sols arides sur la salinisation des eaux souterraines dans la cuvette de Ouargla (Sahara Algérien). 1<sup>er</sup> Séminaire Internationale sur la ressource en eau au Sahara : Evaluation, économie et protection. Université Ouargla .156-159t.
40. **IDDER. T, IDDER. A., TANKARI DAN -BADJO.A.A, BENZIDA. A, MERABET. S, NEGAIS. H, SERRAYE.A ,2014** - Les oasis du Sahara algérien, entre excédents hydriques et salinité. : L'exemple de l'oasis de Ouargla. *Revue des sciences de l'eau* 27(2).Volume 27, numéro 2. 155-164p.
41. **IDDER M.T., 2005** - Contribution à l'étude des principaux facteurs de dégradation de l'oasis du Ksar de Ouargla. Mémoire d'Ingénieur en agronomie Saharienne .Université de Ouargla. 93p.
42. **IGN., 1960** - Extrait de carte topographique de Ouargla. Echelle 1 : 100 000, Institut Géographique National .Paris. In DADDI BOUHOUN M.,(2010), Contribution a l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est Algérien). Université BADJI MOKHTAR Annaba. 365p.
43. **IPTRID., 2006** - Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation. IPTRID. Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage. Conférence électronique sur la salinisation CISEAU.12p.
44. **LACHARMEM., 2001** - Le contrôle de la salinité dans les rizières (Fascicule 9). Coopération Française du Développement Rural et de l'Environnement Direction de la Recherche Formation Vulgarisation. Sénégal.16p.
45. **LUZOLO LUTETE K., 2012** - Géographie Les eaux souterraines: captage, exploitation et gestion. Mémoire en ligne. Université de Kinshasa – Graduat. Disponible sur : [http://www.memoireonline.com/10/13/7528/Les-eaux-souterraines-captage-exploitation-et-gestion.html#\\_Toc333552490](http://www.memoireonline.com/10/13/7528/Les-eaux-souterraines-captage-exploitation-et-gestion.html#_Toc333552490).
46. **MASSOUMI A.M., 1968** - Caractérisation et amélioration des sols sales et a alcalis. O.R.S.T.O.M. Paris .39p.



47. **MATHIEU C et PIELTAIN F., 2009** - Analyse chimique des sols: méthodes choisies. 2<sup>ème</sup> édition. Edition Tec & Doc Lavoisier. 317 p.
48. **MATHIEU C., 2009** - Les principaux sols du monde .Lavoisier. 260p.
49. **MATHIEU C., AUDOYE P., CHOSSAT J.C., 2007** - Bases techniques de l'irrigation par aspersion. Edit TEC & DOC. Paris. 474 p. In KEMASSI S., 2015- Etude de l'impact des vers de terre sur l'évolution de la matière organique en régions sahariennes (Cas de la cuvette de Ouargla). Mémoire de Magister. Université de Ouargla. 127p.
50. **MATHIEU C., LOZET J., 2011-** Dictionnaire encyclopédique de science du sol. Lavoisier. Edition Tech&Doc. Paris. 733 p.
51. **MERMOUD., 2006** - Maitrise de la salinité des sols. Ecole ploytechnique fédérale de Lausanne.15p.
52. **MISSAOUI Y., 1991** - Evolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation. Mémoire de Magistère. L'ITDAS de Biskra. 91p.
53. **NIXON R.W., et CARPENTER J.B., 1978** - Growing dates in the United States. Agriculture information bulletin. Agricultural research service. U.S. department of agriculture (no. 207). 63 p.
54. **OMEIRI N., 2016** - Diagnostic des composantes de la salinité et de la fertilité des sols de la palmeraie du ksar de Ouargla. Revue des Bio-Ressources. Vol 5 N° 1. 58-68p.
55. **ONA., 2014** - Vallée de Ouargla « études d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation ». Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II. 29.01/RN097. 110p.
56. **ONM., 2016** - Données climatiques de la période (2007-2016) région d'Ouargla.
57. **RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., 2009** - L'analyse de l'eau. Paris : DUNOD.
58. **ROUVILOIS- BRIGOL M., 1975** - Le pays de Ouargla (Sahara Algérien). Université de SORBONNE. Paris. 389p.
59. **SAO., 2013** - Subdivision Agricole Ouargla. Fichier Excel
60. **SEDAT., 2004** - Etudes pour le rapprochement et l'aménagement du centre de production agricole (oasis palmiers et périmètres réhabilités), juin. pp. 6-7. In IDDER., 2005 - Contribution à l'étude des principaux facteurs de dégradation de l'oasis du Ksar de Ouargla. Mémoire d'Ingénieur .Université de Ouargla. 93p.
61. **SENNI R., 2015** - Etude de la diversité de la végétation des zones humides de Zahrez Chergui et Gharbi (Djelfa) et de Chott el Hodna (M'Sila). Thèse Doctorat. Ecole Nationale supérieur d'Agronomie. 145 p.

62. **SERVANT J., 1975** - Contribution à l'étude pédologique de terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-ouest de la France. Thèse d'état. Université de Montpellier, 200 p.
63. **SERVANT J., SERVAT E., 1966** - Introduction à l'étude des sols salés littoraux de Languedoc-Roussillon. Ann. Agro., 17(1), 53-73.
64. **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. 123-142pp.
65. **SHABBIR A. SHAHID, MAHMOUD A. ABDELFATTAH, FAISAL K. TAHA., 2013** - Developments in Soil Salinity Assessment and Reclamation: Innovative Thinking and Use of Marginal Soil and Water Resources in Irrigated Agriculture. Springer Science & Business Media. 808 p.
66. **SIBOUKEUR A., 2016** - L'eau et l'espace agricole dans la cuvette de Ouargla : cas de la palmeraie du Ksar. Mémoire de Magistère. Université de Ouargla. 91p.
67. **SLIMANI R., GUENDOUIZ A., 2015** - Etude du potentiel de contamination des eaux de la nappe phréatique de la région de Ouargla (Sahara Septentrional est Algérien). *Algerian journal of arid environment* 106 vol. 5, n° 1, 106-114
68. **SOCO « Soil Conservation », 2009** - Salinisation et sodification. Fiche technique n°4. Communautés européennes.
69. **SOLTNER D., 1989** - Les bases de la production végétal. Tome I: Le sol, 17ème Ed. C.S.T.A., Angers, 468 p. in HADDAD S., ABBES K., 2015- Etude de l'impact de l'irrigation-drainage sur la salinisation des sols à l'exploitation de l'université. Mémoire master agronomie. Université Ouargla. 42p.
70. **UNESCO, 1972** - Nappe de continental intercalaire. Modèle mathématique. Paris. 122p.
71. **USSL., 1954** - Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. U.S.A.D, Handbook. N°60. 160p.
72. **WIEBE B.H., EILERS R.G., EILERS W.D ET BRIERLEY J.A., 2005** - Salinité du sol. Série sur les indicateurs agroenvironnementaux. Canada. Rapport N° 2 121. 126p.

**Annexe 1 : Résultats des analyses des eaux phréatiques dans la palmeraie du Ksar**

	<b>Ns (cm)</b>	<b>Np (m)</b>	<b>CE<sub>n</sub> (dS/m)</b>	<b>pH<sub>n</sub></b>
<b>Min</b>	20	128,79	7,82	7,1
<b>Max</b>	140	150,19999	90,65	8,1
<b>Moyen</b>	79,1	141,02	29,91	7,6
<b>Ecart-type</b>	29,49	4,71	17,73	0,23
<b>Coefficient de variation</b>	37%	3%	59%	3%

**Annexe 2 : Résultats min/max des eaux phréatiques par palmeraie (jardins)**

		<b>Beni Brahim</b>	<b>Beni Ouaguine</b>	<b>Beni Sissine</b>
<b>CE<sub>n</sub></b>	min	7,82	14,00	9,78
	max	90,65	74,01	58,03
<b>pH<sub>n</sub></b>	min	7,1	7,5	7,5
	max	8,1	7,9	8,0
<b>Np</b>	min	133,30999	133,02	128,79
	max	150,19999	149,18	146,28

**Annexe 3 : Échelle de pH des eaux phréatiques (GUACHER, 1968 in BERRAH, 2009)**

6,75 < pH <sub>n</sub> < 7.25	Neutre
6.75 < pH <sub>n</sub> < 8.25	Alcalin
>8.5	Très alcalin

**Annexe 4:** Évaluation de la salinité des eaux de la nappe phréatique (la norme internationale ISO 11265:1994 *in* SLIMANI et GUENDOZ, 2015).

<b>CE</b>	<b>Salinité</b>
< 2,5 dS/m	Non salin
2,55 à 5 dS/m	Légèrement salin
5 à 10 dS/m	salin
10 à 20 dS/m	Très salin
>20 dS/m	excessivement

**Annexe 5:** Résultats de la salinité du sol selon la profondeur

<b>CE<sub>e1:5</sub></b>	<b>0-40 cm</b>	<b>40-80 cm</b>	<b>80-120 cm</b>
<b>Min</b>	0,19	0,31	0,26
<b>Max</b>	15,91	9,66	9,17
<b>Moyenne</b>	4,54	3,74	3,87
<b>Ecart-type</b>	3,45	1,74	1,69
<b>Coefficient de variation</b>	76%	46%	44%

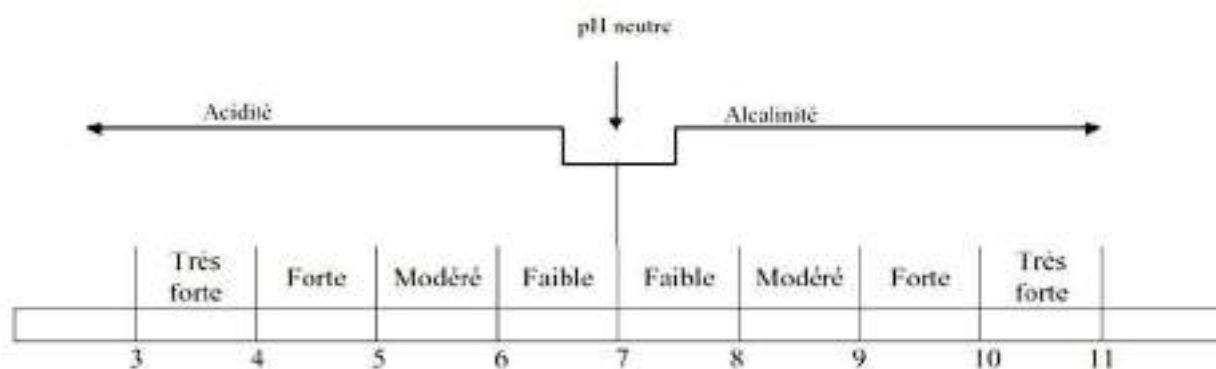
**Annexe 6:** Résultats de la salinité des palmeraies irrigués et non irrigués

	<b>irrigué</b>			<b>non irrigué</b>		
	0-40 cm	40-80 cm	80-120 cm	0-40 cm	40-80 cm	80-120 cm
<b>Moyenne CE<sub>e1:5</sub> (dS/m)</b>	2,80	3,11	3,41	6,41	4,41	4,35
<b>Ecart-type</b>	2,09	1,46	1,41	3,76	1,82	1,83

**Annexe 7:** Résultats du  $pH_{e1:5}$  dans la palmeraie

	min	max	moyen	Ecart-type	Coefficient de variation
pH	7,3	9,3	8,3	0,40	5%

**Annexe 8:** Normes d'interprétation du  $pH_{eau}$  du sol (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).



**Annexe 9:** Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 du sol à 25 °C (MATHIEU et PIELTAIN, 2009)

$CE_{e1:5}$ à 25 °C	Classe de salinité
$CE_{e1:5} \leq 0,6$	Non salé
$0,6 < CE_{e1:5} \leq 1$	Légèrement salé
$1 < CE_{e1:5} \leq 2$	Salé
$2 < CE_{e1:5} \leq 4$	Très salé
$CE_{e1:5} > 4$	Extrêmement salé

**Annexe 10** : Paramètres des modèles de rendements relatifs et régressions linéaires dans les zones hydro-édaphiques de la cuvette de Ouargla (DADDI BOUHOUN, 2010)

Types de zones	Paramètres	Paramètres des équations de rendements relatifs ( $Y_r$ )		Régressions par classes de salinités
		a'	b'	
Croûtes-nappes profondes	C.E <sub>d15</sub>	1,200	17,457	$Y_{ppp} = -24,315^{\circ}C.E_{d15} + 168,46 ; R^2 = 0,994$
	C.E <sub>i</sub>	1,124	33,223	$C.E_{d15} = 1,9631^{\circ}C.E_i - 0,9393 ; R^2 = 0,9939$
	P.c.	85,696	- 5,946	$C.E_{d15} = -0,3406^{\circ}P.c. + 30,388 ; R^2 = 0,948$
Nappes profondes	C.E <sub>d15</sub>	1,200	5,644	$Y_{pp} = -4,5337^{\circ}C.E_{d15} + 85,77 ; R^2 = 0,9384$
	C.E <sub>i</sub>	2,159	12,343	$C.E_{d15} = 2,1869^{\circ}C.E_i - 3,5222 ; R^2 = 0,7014$
Croûtes-nappes superficielles	C.E <sub>d15</sub>	1,200	14,468	$Y_{ps} = -12,156^{\circ}C.E_{d15} + 98,607 ; R^2 = 0,7736$
	C.E <sub>i</sub>	1,314	38,748	$C.E_{d15} = 2,6782^{\circ}C.E_i - 2,3198 ; R^2 = 0,9821$
	C.E <sub>a</sub>	10,193	7,852	$C.E_{d15} = 0,5427^{\circ}C.E_a - 4,3316 ; R^2 = 0,9351$
	P.n.	97,135	- 2,081	$C.E_{d15} = -0,1438^{\circ}P.n. + 15,168 ; R^2 = 0,9538$
	P.c.	91,859	- 2,747	$C.E_{d15} = -0,1899^{\circ}P.c. + 18,644 ; R^2 = 0,9999$
Nappes superficielles	C.E <sub>d15</sub>	1,200	9,948	$Y_{ps} = 8,0451^{\circ}C.E_{d15} + 90,53 ; R^2 = 0,9636$
	C.E <sub>i</sub>	1,291	18,108	$C.E_{d15} = 1,8203^{\circ}C.E_i - 1,1504 ; R^2 = 0,7999$
	C.E <sub>a</sub>	10,841	4,661	$C.E_{d15} = 0,4686^{\circ}C.E_a - 3,88 ; R^2 = 0,9419$
	P.n.	127,132	- 0,770	$C.E_{d15} = -0,0774^{\circ}P.n. + 11,04 ; R^2 = 0,9742$

## Résumé

La cuvette de Ouargla souffre d'un problème de gestion des eaux qui a des effets néfastes sur l'environnement agraire, notamment l'hydro-holomorphie. Notre travail se base sur l'étude de la variabilité spatiale de la salinité du sol en hiver au niveau de la palmeraie du Ksar de Ouargla. Des échantillons ont été pris en utilisant la méthode d'échantillonnage aléatoire systématique, où on a prélevé 89 échantillons du sol et 49 échantillons des eaux phréatiques.

Les résultats ont montré que la salinité du sol mesurée depuis l'extrait du sol (1:5) est très élevée surtout dans la couche superficielle qui peut atteindre 15,9 dS/m avec une moyenne de  $4,54 \pm 3,45$  dS/m et un taux de variation de 76 %. L'étude a montré aussi que 45% des échantillons sont très salés. L'étude de la nappe phréatique a montré que les eaux sont excessivement salines avec une moyenne de  $79,1 \pm 29,49$  dS/m et un faible niveau statique ce qui empêche le développement des racines du palmier dattier et par conséquent la chute de rendement.

La variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphiques montre qu'il y a une forte dégradation des palmeraies du Ksar, due à la salinisation du sol et à la remontée des eaux phréatiques salées. Cette situation exige une nouvelle politique d'aménagement pour assurer un développement durable de celle-ci.

**Mots clefs :** variabilité spatiale, hivernale, salinité, palmeraie, Ksar, Ouargla

## Abstract

Ouargla basin suffers from a water management problem which has negative effects on the agrarian environment, notably hydro-holomorphy. Our work is based on the study of the spatial distribution of soil salinity in winter at the palm plantations of the Ouargla Ksar. Samples were taken using the systematic random sampling method, where 89 soil samples and 49 groundwater samples were collected.

The results showed that the soil salinity measured from the soil extract (1:5) is very high, especially in the surface layer, which can reach 15.9 dS / m with an average of  $4,54 \pm 3,45$  dS / m and a Variation of 76%. The study also showed that 45% of the samples are severely salted. The study of the water table showed that the waters are severely saline with an average of  $79,1 \pm 29,49$  dS / m low static level which prevents the development of the roots of the date palm and consequently the drop in yield.

The spatial variation of the hydro-edaphic stresses shows that there is a strong degradation of the Kars palm groves due to the salinization of the soil and the rise of saline groundwater. This situation requires a new development policy to ensure sustainable development.

**Key words:** spatial variability, winter, salinity, palm, Ksar, Ouargla.

## ملخص

حوض ورقلة يعاني من مشكلة إدارة المياه بها و التي تؤثر على البيئة الزراعية بالتحديد على مستوى المياه و التربة. ويستند عملنا على دراسة التوزيع المكاني لملوحة التربة في الفترة الشتوية على مستوى بساتين القصر بورقلة .

تم أخذ عينات عشوائية بحيث تحصلنا على 89 عينات من التربة و 49 عينة من المياه الجوفية. و أظهرت النتائج أن ملوحة التربة المقاسة اعتمادا على مستخلص التربة (1:5) عالية خاصة على مستوى الطبقات السطحية بحيث يمكن أن تبلغ 15,9 ديسيسيمنس.م<sup>-1</sup> بمتوسط  $4,54 \pm 3,45$  و بمعدل تباين يقدر بـ 76%. الدراسة أظهرت أيضا أن 45 % من العينات شديدة الملوحة .

دراسة المياه الجوفية أظهرت أنها شديدة الملوحة بمعدل  $79,1 \pm 29,49$  ديسيسيمنس.م<sup>-1</sup> بمستوى منخفض يعيق نمو جذور النخلة و بالتالي تدهور الإنتاج.

التغيرات المكانية لمعوقات التربة المائية أظهرت التدهور الشديد للبساتين القصر، الناتج عن ملوحة التربة و صعود المياه الجوفية المالحة . هاته الحالة تتطلب اعتماد سياسة إعادة تهيئة من أجل ضمان تطور مستدام لها.

**كلمات المفتاحية :** تغير مكاني ، شتوي، ملوحة ، بساتين ، القصر ، ورقلة