

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :
N° de série :

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département de Biologie

Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention du diplôme de

LICENCE

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie végétale

Thème

**Impact des activités agricoles sur la salinité du sol
dans la région de Ghardaïa (cas de Zelfana)**

Par :

FENNICHE Faiza

KETILA Sara

Jury :

M. BENBRAHIM Fouzi

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

Encadreur

M^{elle}. DAREM Sabrina

Assistante

Univ. Ghardaïa

Co- Encadreur

M. AGOUN Mohamed Salah

Maître Assistant A

Univ. Ghardaïa

Examineur

Année universitaire 2013/2014

Dédicace

Je dédie ce travail à

Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :

A ma très chère mère et mon cher père, que j'aime beaucoup et qui m'ont encouragé, pour leur amour, leurs soutien et tendresse que dieu les garde

A mes frères Mohamed, Ibrahim, Ismaïl, Moussa, Hamza et Aïssa

A mes sœurs Meriem, Hadjer, Hadile, Sirine et Soundouss

A mon promoteur M. BEN BRAHIM Fouzi

A mon Co-promoteur Melle. DAREM SABRINE

A tout ma famille KETILA ET DAH MEN

A tout mes amis Abir ,Abdou et Mohamed

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon binôme Faïza

A tous ceux que j'aime

Sara

Dédicace

*Quoi que de plus que de pouvoir partager les meilleurs moments de sa vie
.avec les êtres qu'on aime*

*Arrivé au terme de mes études, j'ai le grand plaisir de dédier ce modeste
travail :*

*A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais
.cessé de prier pour moi*

*A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien, surtout pour son
amour et son sacrifice afin que rien n'entrave le déroulement de mes études*

A mes frères Ahmed, Adel, Aïssa

A mes sœurs Amína, Omkeltuom

A mon promoteur Mc.BEN BRAHIM .F

A mon Co- promoteur Melle. DAREM SABRINE

A tout ma famille FENNICHÉ et BOUCHÉNGA

A tout mes amis Mohamed, Bachir et Nassir

A la fin je dédie très chaleureusement ce mémoire à mon binôme Sara

A tous ceux que j'aime

Faiza

Avant-propos

Au terme de ce modeste travail, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour accomplir ce travail.

Mes remerciements vont d'abord à M. BENBRAHIM Fouzi Maître Assistant au département de biologie de l'Université de Ghardaïa, pour l'aide qu'il nous a apportée, la patience et pour l'encadrement qui nous fait profiter de sa riche expérience et a bien voulu diriger de ce travail.

Notre grand respect à Melle. DAREM Sabrina, co-encadreur pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa confiance et ses encouragements.

M. AGOUN Salah Maître Assistant au département sciences et technologies de l'Université de Ghardaïa, vous qui me faites le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent à tous le personnel du laboratoire et d'administration du département de biologie de l'Université de Ghardaïa.

A toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin, tout au long de mes études, qu'ils trouvent ici mes profondes reconnaissances et sincères remerciements.

Avant-propos

Au terme de ce modeste travail, nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour accomplir ce travail.

Mes remerciements vont d'abord à M. BENBRAHIM Fouzi Maître Assistant au département de biologie de l'Université de Ghardaïa, pour l'aide qu'il nous a apportée, la patience et pour l'encadrement qui nous fait profiter de sa riche expérience et a bien voulu diriger de ce travail.

Notre grand respect à Melle. DAREM Sabrina, co-encadreur pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa confiance et ses encouragements.

M. AGOUN Mohamed Salah Maître Assistant au département sciences et technologies de l'Université de Ghardaïa, vous qui me faites le grand honneur de présider le jury de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent à tous le personnel du laboratoire et d'administration du département de biologie de l'Université de Ghardaïa.

A toutes les personnes qui m'ont aidée de près ou de loin, tout au long de mes études, qu'ils trouvent ici mes profondes reconnaissances et sincères remerciements.



Impact des activités agricoles (phoeniciculture) sur la salinité du sol dans la région de Ghardaia (cas de Zelfana)

Résumé-

Le suivi de la qualité des sols dans les périmètres irrigués est nécessaire pour la mesure de la durabilité des systèmes de production. A ce titre, la variabilité spatiale des propriétés des sols irrigués est un moyen pour connaître l'évolution de ces derniers.

Notre travail réalisé dans la région de Zelfana (Ghardaïa) à porter sur la caractérisation de la salinité par un échantillonnage systématique sur une maille régulière de 8x8m dans deux parcelle l'une cultivée (phoeniciculture) et l'autre non cultivée (témoin).

Les résultats analytiques montrent que le sol est non à extrêmement salé dans la parcelle cultivée et extrêmement salé dans toute la parcelle témoin

L'étude de la variabilité spatiale de la conductivité électrique a montré l'existence d'une variation extrêmement élevée dans la parcelle cultivée et modérée dans la parcelle non cultivée, or que celle du pH est faibles dans toutes les parcelles étudiées

La modélisation géostatistique à montrer, à partir de l'analyse des variogrammes expérimentaux, l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi.

Mots clés : Salinité, pH, Zelfana, variabilité spatiale, géostatistique.

Impact of agricultural activities (date palm) on soil salinity in the region of Ghardaia (case Zelfana)

Abstract-

Controlling soils quality in irrigated areas is an indispensable process to measure the sustainability of production system, as such the spatial variability of irrigated soils, is a way to know the evolution of the quality.

Our work done in the area of Zelfana (Ghardaia) to focus on the characterization of salinity by systematic sampling on a regular grid of 8x8m plot in the two cultivated (date palm) and the other uncultivated (control).

The analytical results show that the soil is not extremely salty in the cultivated plot and extremely salty throughout the control plot.

The study of the spatial variability of electrical conductivity showed the existence of extremely high in the cultivated plot and moderate in the uncultivated land, or change as the pH is low in all plots studied

Geostatistical modeling to show, from the analysis of experimental variogramms, the effectiveness of "not" chosen sampling.

Keywords: Salinity, pH, Zelfana, spatial variability, geostatistics

Impact des activités agricoles (phoeniculture) sur la salinité du sol dans la région de Ghardaia (cas de Zelfana)

Résumé-

Le suivi de la qualité des sols dans les périmètres irrigués est nécessaire pour la mesure de la durabilité des systèmes de production. A ce titre, la variabilité spatiale des propriétés des sols irrigués est un moyen pour connaître l'évolution de ces derniers.

Notre travail réalisé dans la région de Zelfana (Ghardaïa) à porter sur la caractérisation de la salinité par un échantillonnage systématique sur une maille régulière de 8x8m dans deux parcelle l'une cultivée (phoeniculture) et l'autre non cultivée (témoin). Les résultats analytiques montrent que le sol est non à extrêmement salé dans la parcelle cultivée et extrêmement salé dans toute la parcelle témoin

L'étude de la variabilité spatiale de la conductivité électrique a montré l'existence d'une variation extrêmement élevée dans la parcelle cultivée et modérée dans la parcelle non cultivée, or que celle du pH est faibles dans toutes les parcelles étudiées

La modélisation géostatistique à montrer, à partir de l'analyse des variogrammes expérimentaux, l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi.

Mots clés : Salinité, pH, Zelfana, variabilité spatiale, géostatistique.

Impact of agricultural activities (date palm) on soil salinity in the region of Ghardaia (case Zelfana)

Abstract-

Controlling soils quality in irrigated areas is an indispensable process to measure the sustainability of production system, as such the spatial variability of irrigated soils, is a way to know the evolution of the quality.

Our work done in the area of Zelfana (Ghardaia) to focus on the characterization of salinity, by systematic sampling on a regular grid of 8x8m plot in the two cultivated (date palm) and the other uncultivated (control).

The analytical results show that the soil is not extremely salty in the cultivated plot and extremely salé dans all the control plot.

The study of the spatial variability of electrical conductivity showed the existence of extremely high in the cultivated plot and moderate in the uncultivated land, or change as the pH is low in all plots studied

Geostatistical modeling to show, from the analysis of experimental variogramms, the effectiveness of "not" chosen sampling.

Keywords: Salinity, pH, Zelfana, spatial variability, geostatistics

أثر النشاط الزراعي (النخيل) على ملوحة التربة في منطقة غرداية (حالة زلفانة)

ملخص

من الضروري مراقبة نوعية التربة في المساحات المسقية وذلك من أجل قياس مدى استمرارية الانتاج. ولهذا فان التباين المكاني لخصائص التربة المسقية هو وسيلة لمعرفة تطور نوعية التربة. تعتمد الدراسة الحالية المنجزة في منطقة غرداية وبالأخص منطقة زلفانة على تقييم مدى تأثير زراعة النخيل على بعض خصائص التربة مثل درجة الحموضة والملوحة , لذلك تم أخذ عيناتان (مساحة مزروعة, و مساحة غير مزروعة تماما). أظهرت النتائج التحليلية أن التربة تحتوي على نسبة معتدلة الى عالية من الملوحة , مع درجة حموضة قاعدية. التباين المكاني للملوحة هو متوسط في المساحة المزروعة ومرتفع في المساحة الاخرى, أما بالنسبة لدرجة الحموضة فهو منخفض في كل المساحات المدروسة. أثبتت الدراسة النموذجية الجيوإحصائية بواسطة الفاريوجرام التجريبي, على صحة المسافة المعتمدة في أخذ العينات. أثبتت التكتيف الزراعي في منطقة زلفانة على التغير الأفقي والعمودي للملوحة ودرجة الحموضة .

الكلمات البالة : الملوحة, ودرجة الحموضة, زلفانة, التغير المكاني, الجيوإحصائية

Liste Titre des tableaux

| N° | Titer | Page |
|---------------------|--|-----------|
| Tableau 01 : | Superficie et répartition de palmiers dattiers dans le monde..... | 05 |
| Tableau 02 : | nombre de palmiers dattiers en Algérie | 06 |
| Tableau 03 : | Position systématique du palmier dattier..... | 07 |
| Tableau 04 : | Superficie affectée par la salinité dans le monde..... | 14 |
| Tableau 05 : | Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (U.S.S.L., 1954)..... | 22 |
| Tableau 06 : | Echelle salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 | 22 |
| Tableau 07 : | Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols..... | 23 |
| Tableau 08 : | Classes du sol selon le pH de pâte saturée..... | 24 |
| Tableau 09 : | caractéristiques des différent catégorie de sol salé..... | 25 |
| Tableau 10 : | la solubilité des principaux sels..... | 36 |
| Tableau 11 : | Solubilité maximum des principaux sels dans l'eau en g/1000cm ³ ... | 38 |
| Tableau 12 : | Superficie par communes de la Wilaya de Ghardaïa..... | 41 |
| Tableau 13 : | Répartition des communes par daïra..... | 41 |
| Tableau 14 : | Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa..... | 47 |
| Tableau 15 : | Occupation du sol de la Wilaya de Ghardaïa..... | 58 |
| Tableau 16 : | Répartition du cheptel (Têtes/sujets)..... | 59 |
| Tableau 17 : | Productions Animales dans la région de Ghardaïa..... | 60 |
| Tableau 18 : | Production végétale..... | 60 |
| Tableau 19 : | Composition minérale des eaux thermales de Zelafana..... | 67 |
| Tableau 20 : | Statistiques descriptives de la salinité dans le site étudié..... | 72 |
| Tableau 21 : | Statistiques descriptives du pH dans le site étudié..... | 73 |

Liste des figures

| N° | Titer | Page |
|-------------------------|---|-----------|
| + Figure 01 : | Propagation de la culture du palmier dattier dans l'ancien continent..... | 03 |
| Figure 02 : | Schéma d'une palme..... | 08 |
| Figure 03 : | Morphologie du palmier dattier..... | 09 |
| Figure 04 : | Evolution des superficies, de la production et des rendements de la phoeniciculture en Algérie | 13 |
| Figure 05 : | Carte Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie..... | 15 |
| Figure 06 : | Principaux modes de salinisation des sols | 19 |
| Figure 07 : | Mécanisme du phénomène de la salinisation du sol..... | 20 |
| Figure 08 : | Type de profils salins | 26 |
| Figure 09 : | Photo de l'accumulation saline à la surface des sols de la palmeraie de Mékhadma..... | 29 |
| Figure 10 : | La variabilité de niveau de production des cultures par rapport à l'augmentation de la salinité des sols..... | 32 |
| Figure 11 : | Situation géographique de la Wilaya de Ghardaïa..... | 40 |
| Figure 12 : | Limite administrative de la Wilaya de Ghardaïa..... | 42 |
| Figure 13 : | Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa..... | 45 |
| Figure 14 : | Diagramme Ombrothermique de Gaussen..... | 48 |
| Figure 15 : | Climagramme d'Emberger de la région de Ghardaïa..... | 49 |
| Figure 16 : | Ressources en eau souterraines..... | 51 |
| Figure 17 : | Escalier de la vieille ville de Ghardaïa et minaret de la vieille ville de Ghardaïa LE FIEF DU..... | 52 |
| Figure 18 : | Coupe géologique schématique de la région du M'zab..... | 53 |
| Figure 19 : | Bassin versant de l'oued M'zab..... | 56 |
| Figure 20 : | Répartition de la population par sexe et par âge de la vieille ville de Ghardaïa..... | 56 |
| Figure 21 : | Répartition de la population occupée de la vieille ville de Ghardaïa | 62 |
| Figure 22 : | Localisation géographique de la zone d'étude (Zelfana)..... | 63 |
| Figure 23 : | image satellitaire land SAT (multi spectral) les zones palmiers de la région de zelfana..... | 64 |
| Figure 24 : | Parcelles étudiées..... | 68 |
| Figure 25 : | Localisation du site d'étude..... | 69 |
| Figure 26 : | Plan d'échantillonnage..... | 74 |
| Figure 27 : | Vraiogramme de la salinité dans la parcelle cultivée..... | 76 |
| Figure 28 : | Vraiogramme de la salinité dans la parcelle témoin..... | 78 |
| Figure 29 : | Vraiogramme du pH dans la parcelle cultivée..... | 80 |
| Figure 30 : | Vraiogramme du pH dans la parcelle non cultivée..... | 82 |

Liste des cartes

| N° | Titer | Page |
|------------------|--|-----------|
| Carte 1 : | Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle cultivée..... | 77 |
| Carte 2 : | Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle témoin..... | 79 |
| Carte 3 : | Répartition spatiale du pH dans la parcelle cultivée..... | 81 |
| Carte 4 : | Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée..... | 83 |

INTRODUCTION

Introduction

Les sols sont des réacteurs biologiques qui assurent de nombreuses fonctions environnementales ainsi qu'ils maintiennent le développement des êtres vivants (NOOMENE, 2011).

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde (CHERBUY, 1991 in MADANI, 2008). Ils se différencient naturellement sous les climats plus ou moins aride, mais aussi tempérés, maritimes ou continentaux, là où l'évaporation excède, les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire (BOUTEYRE et LOYER, 1992 in MADANI, 2008).

Les sols salés couvrent environ un milliard d'hectares dans le monde, ils sont situés principalement dans les régions arides et semi-arides (GHASSIMI et *al.*, 1995 ; HAMDY, 1995). En Algérie, la salinité constitue un problème majeur qui affecte les terres agricoles et qui concerne de grandes étendues (BOULAIN, 1957 ; AUBERT, 1975 ; HALITIM, 1985 in CHENINI, 2013). En effet, les grandes potentialités en terres agricoles qu'on dispose exigent une bonne connaissance de ce patrimoine en vue de le préserver et le mieux gérer (KHEMGANI, 2010 in DAREM, 2013).

La salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (AL-KARAKI, 2000; BAATOUR et *al.*, 2004), et le rendement agricole (ZID et GRIGNON, 1991; ZHU, 2001 in BABA SIDI-KACI, 2010). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (MUNNS et *al.*, 2006) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (MEZNI et *al.*, 2002). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (BEN NACEUR et *al.*, 2001 in BABA SIDI-KACI, 2010). Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (CHEVERRY., 1995 in BABA SIDI-KACI, 2010). Selon SZABOLCS(1994), un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en Algérie (BELKHODJA et BIDAI., 2004 in BABA SIDI-KACI, 2010).

La qualité du sol est un élément essentiel pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole intensive. Un aménagement du sol ne peut être durable que s'il maintient ou améliore les qualités des sols et des eaux (LARSON et PIERCE, 1992 in DAREM, 2013).

Dans les régions sahariennes, l'agriculture n'est possible que grâce à l'irrigation. Cependant cette technique qui modifie considérablement les propriétés du sol, peut être dangereuse car les eaux d'irrigation qui sont très chargées de sels peuvent aggraver le problème de salinité (BEN BRAHIM, 2001).

La salinité du sol constitue aussi un facteur de désertification qui ne cesse d'intéresser les chercheurs (DURAND, 1983 ; HALITIM, 1988 ; GHASSIMI, 1995 in DAREM, 2013). La phoeniciculture par la place qu'elle occupe dans l'agriculture saharienne constitue la principale ressource des 2,2 millions d'habitants des régions sahariennes de l'Algérie (MESSAR, 1996 in DAREM, 2013). Le patrimoine phoenicicole de l'Algérie est estimé à plus de 12 millions de palmier dattiers (ALLAM, 2007 in DAREM, 2013). Cependant, les statistiques et la position de la phoeniciculture ne révèlent pas la situation réelle de ce secteur dans la mesure où cette phoeniciculture, depuis l'indépendance, se trouve dans un stade de dégradation continue à tous les niveaux.

En effet, la production des dattes reste corrélée à la situation et au nombre de palmiers productifs et les rendements obtenus sont très faibles (35 kg/ pied). Ce dernier reste faible par rapport à ceux enregistrés aux U.S.A avec 80 à 100 kg/ arbre, l'Egypte avec 70 à 80 kg/ arbre et la Tunisie avec 40 kg/ arbre (DJERBI, 1992 in DAREM, 2013).

De nombreuses recherches ont été effectuées sur le problème de salinité en zone aride. Nous citons : MESKINE (1992), BOUZID (1993), BENZAHY (1994), OMEIRI (1994), OUSTANI (1994), TRAORE (1995), BENBRAHIM (2001) et BENBRAHIM (2006). C'est dans ce contexte que s'insère notre travail qui a pour but principalement de diagnostiquer l'état de la salinité dans une palmeraie à Zelfana et d'étudier la dynamique des sels dans deux parcelles différentes, l'une cultivée et irriguée et l'autre non cultivée.

Afin de répondre à cet objectif, nous avons articulé ce mémoire en trois parties :

- La première est réservée à la synthèse bibliographique sur la salinité des sols et le palmier dattier.
- La deuxième partie prendra en compte le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail, ainsi qu'une présentation de la région d'étude.
- La troisième partie traitera les résultats et qui seront suivis d'une discussion et enfin une conclusion générale.

*Première partie : synthèse
bibliographique*

Chapitre I. Généralités sur le palmier dattier

1. Historique

Le palmier dattier est l'un des arbres fruitiers le plus anciennement cultivé. Les documents les plus anciens en Mésopotamie (Irak actuellement) montrent que sa culture se pratique depuis 3500 ans avant J.C. Dans la même époque, les dattiers étaient cultivés en Irak occidental, à travers l'Arabie et jusqu'en l'Afrique du Nord.

Ce n'est qu'au milieu du XIX^{ème} siècle que les plantations furent établies dans les vallées chaudes de Californie et dans l'Arizona méridional. Au cours des siècles et au Maghreb, le palmier a fait l'objet de différentes plantations réparties dans des lieux disposants relativement d'eau. Le palmier dattier permet une pérennité de la vie dans les régions désertiques. Ses fruits sont un excellent aliment grâce à leurs effets toniques et légèrement laxatifs (MUNIER, 1973, in BESSAS et *al.*, 2008).

2. Origine

Les palmiers les plus anciens remontent au miocène. Le palmier dattier a été cultivé dans les zones chaudes entre l'Euphrate et le Nil vers 4500 ans avant J.C. De là, sa culture fut introduite en Basse Mésopotamie vers l'an 2500 ans avant J.C. Depuis, elle progressa vers le Nord du pays et gagna la région côtière du plateau Iranien puis la vallée de l'Indus (MUNIER, 1973 ; in MATALLAH ; 2004). Depuis l'Egypte, les techniques culturales du dattier gagnèrent la Libye puis se propagèrent d'abord vers les autres pays du Maghreb comme la Tunisie, l'Algérie et le Sud Marocain et arrivèrent ensuite dans l'Adrar Mauritanien (MATALLAH, 2004).

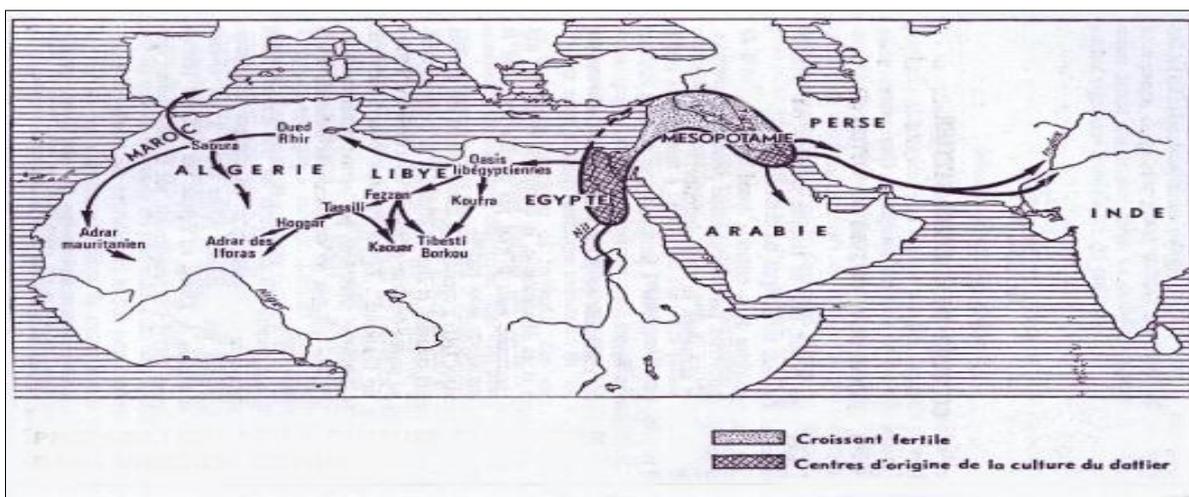


Figure 01: Propagation de la culture du palmier dattier dans l'ancien continent (MUNIER, 1973 ; in MATALLAH, 2004)

3. Définition

Le palmier dattier : *Phoenix dactylifera* L. provient du mot « *Phoenix* ». Qui signifie dattier chez les phéniciens et *dactylifera* dérive du terme grec « *dactulos* » signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (DJERBI, 1994 in NOUI, 2006).

Le dattier est un arbre probablement originaire du golfe persique, cultivé dans les régions chaudes et humides, c'est une espèce dioïque, monocotylédone arborescente, appartenant à une grande famille d'arbres à palmes et produit des dattes (MAZOYER, 2002 ; GILLES, 2000 in NOUI, 2006).

Le palmier est une composante essentielle de l'écosystème oasien (TOUTAIN et al. 1990 in BOUSDIRA, 2006) ; grâce à sa remarquable adaptation aux conditions climatiques, la haute valeur nutritive de ses fruits, la multiple utilisation de ses produit (BOUSDIRA et al., 2003 ; BAKKAYE, 2006) et sa morphologie favorisant d'autre cultures sous-jacentes (EL-HOMAIZI, 2002 in BOUSDIRA, 2006).

4. Répartition géographique du palmier dattier

4.1. Dans le monde

Le palmier dattier fait l'objet d'une plantation intensive en Afrique méditerranéenne et ou Moyen-Orient. L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche (TOUTAIN, 1996in NOUI, 2006).

Aux Etats-Unis d'Amérique, le palmier dattier fut introduit au XVIII^{ème} siècle. Sa culture n'a débutée réellement que vers l'année 1900 avec l'importation variétés irakiennes (MATALLAH, 2004 ; BOUGUEDOURA, 1991 ; HILGEMAN, 1972 in NOUI, 2006).

Le palmier dattier est également cultivé à plus faibles échelle au Mexique, en Argentine et en Australie (MATALLAH, 2004 in NOUI, 2006).

Tableau 01.Superficie et répartition de palmiers dattiers dans le monde (BOUSDIRA, 2006)

| pays | Nombre de palmiers par (1.000) | Proportion par rapport l'effectif mondial(%) | Superficie par (1.000 ha) | Proportion par rapport l'effectif mondial(%) | Densité de plantation (nombre de palmier ha) |
|------------------------|---------------------------------------|---|----------------------------------|---|---|
| Iraq | 22.30 | 22.30 | 125 | 16.32 | 178 |
| Iran | 21.00 | 21.00 | 180 | 23.38 | 116 |
| Arabie saoudite | 12.00 | 12.00 | 45 | 5.84 | 148 |
| Alegria | 9.00 | 9.00 | 45 | 5.84 | 200 |
| Libye | 7.00 | 7.00 | 27.5 | 3.57 | 254 |
| Pakistan | 4.38 | 4.38 | - | - | - |
| Maroc | 4.25 | 4.25 | 84.5 | 10.97 | 50 |
| Tunisie | 3.00 | 3.00 | 22.5 | 2.92 | 133 |
| Soudan | 1.33 | 1.33 | - | - | - |
| Mauritanie | 1.00 | 1.00 | - | - | - |
| Oman | 1.00 | 1.00 | - | - | - |
| Yémen | 0.80 | 0.80 | 6.4 | 0.83 | 125 |
| U.A.E | 0.36 | 0.36 | 3.44 | 0.45 | 105 |
| Somalie | 0.20 | 0.20 | 0.35 | 0.05 | 577 |
| Bahreïn | 0.20 | 0.20 | 3.7 | 0.48 | 50 |
| Syrie | 0.12 | 0.12 | - | - | - |
| Palestine | 0.06 | 0.06 | 0.25 | 0.03 | 200 |
| Kuwait | 0.04 | 0.04 | - | - | - |
| Egypte | 7.00 | 7.00 | 45 | 5.84 | 155 |
| Israël | 0.20 | 0.20 | 1.6 | 0.21 | 125 |
| Autre pays | 4.93 | 4.93 | - | - | - |
| Total mondial | 100 | 1000 | 770 | 100 | 173 |

4.2. En Algérie

En Algérie la répartition du dattier est essentiellement localisée dans le sud du pays (au sud de l'atlas saharien). Car les conditions écologiques sont favorables pour son développement (SAGGAI, 2001 in DAOUADI, 2013).

Le palmier dattier est cultivé au niveau de 17 wilayas seulement, pour une superficie de 120 830 hectares. Cependant, quatre principales wilayas représentent 83,6 % du patrimoine phoenicicole national : Biskra 23 %, Adrar 22 %, El-Oued 21 % et Ouargla 15 % (NOUI ,2006).

Tableau 02. nombre de palmiers dattiers en Algérie (NOUI ,2006)

| wilayas | Deglet-nour (dattes fines) | Ghars et analogues (dattes molle) | Degla-beida et analogues (dattes sèches) | Total palmier dattier | Nombre de palmier en rapport |
|--------------|-------------------------------|---|---|--------------------------|------------------------------------|
| Adrar | 0 | 0 | 2150904 | 2904150 | 2860071 |
| Laghouat | 8470 | 7650 | 11580 | 27700 | 12580 |
| Batna | 700 | 3900 | 21270 | 25870 | 25330 |
| Biskra | 1964460 | 436530 | 748200 | 3149190 | 5802012 |
| Bechar | 5650 | 0 | 0 | 770030 | 360156 |
| Tamanrasset | 2940 | 0 | 0 | 417140 | 167760 |
| Tbessa | 49550 | 49550 | 10650 | 68970 | 25200 |
| Djelfa | 2610 | 860 | 210 | 3680 | 1610 |
| M'sila | 0 | 0 | 18000 | 18000 | 14000 |
| Ouargla | 1092330 | 783850 | 193130 | 2 310 069 | 1130667 |
| El-Bayad | 0 | 45900 | 0 | 193130 | 22500 |
| Illizi | 2250 | 16340 | 73030 | 91620 | 49930 |
| Tindouf | 350 | 24250 | 0 | 24600 | 3200 |
| El-Oued | 1884030 | 703330 | 296300 | 2660883 | 2580238 |
| Khenchela | 21290 | 44800 | 7370 | 73460 | 51040 |
| Naama | 0 | 19600 | 2600 | 22200 | 15250 |
| Ghardaïa | 377100 | 154400 | 378900 | 910400 | 631600 |
| Total | 3559930 | 1660761 | 4048710 | 13505880 | 9300370 |

5. Position systématique

Le palmier dattier a été dénommé *Phoenix dactylifera* par Linné en 1753 (MUNIER, 1973 in A. ACHOURA, M. BELHAMRA ; 2010). Ce même auteur indique que le mot Phoenix est le nom de dattier chez les Grecs de l'antiquité qui le considéraient comme l'arbre des Phéniciens, alors que *dactylifera* est dérivé du mot latin *dactylus* qui signifie doigt, en raison de la forme du fruit. (ACHOURA, BELHAMRA ,2010).

Tableau 03. Position systématique du palmier dattier (ZAID, 2002)

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Groupe | <i>Spadiciflora</i> |
| Ordre | <i>Palmea</i> |
| Famille | <i>Palmaceae</i> |
| Sub-famille | <i>Coryphoideae</i> |
| Tribus | <i>Phoeniceae</i> |
| Genre | <i>Phoenix</i> |
| Espèce | <i>P. dactylifera</i> |

Le genre *Phoenix* comporte au moins douze espèces, la plus connue est la *dactylifera*, dont les fruits « dattes » font l'objet d'un commerce international important (ESPIARD, 2002 in NOUI ,2006).

6. Morphologie du palmier dattier

Le palmier est une plante monocotylédone dioïque de la famille des Palmacées. Son système racinaire est fasciculées, les racines ne se ramifient pas et n'ont relativement que peu de radicelles (MUNIER, 1973 in ACHOURA, BELHAMRA , 2010).

6.1. Système racinaire

Le système racinaire du palmier dattier est fasciculaire, les racines ne se ramifient pas et n'ont relativement que peu de radicelles. Le bulbe ou plateau racinal est volumineux et émerge en partie au-dessus du niveau du sol. Le système présente quatre zones d'enracinement :

- Zone 1: Ce sont les racines respiratoires, localisées à moins de 0,25 m de profondeur qui peuvent émerger sur le sol.
- Zone 2 : Ce sont les racines de nutrition, allant de 0,30 à 0,40 m de profondeur.
- Zone 3 : Ce sont les racines d'absorption qui peuvent rejoindre le niveau phréatique à une profondeur varie d'un mètre à 1,8 m.

- Zone 4 : Ce sont les racines d'absorption de profondeur, elles sont caractérisées par un géotropisme positif très accentué. La profondeur des racines peut atteindre 20 m (Fig.2) (MUNIER, 1973 ; DJERBI, 1994 in BESSAS et al., 2008).

6.2. Système végétative

6.2.1. Tronc

C'est un stipe, généralement cylindrique, son élongation s'effectue dans sa partie coronaire par le bourgeon terminal ou phyllophore (Munier, 1973, in BESSAS, BENMOUSSA, KERARMA, 2008).

6.2.2. Couronne

À couronne ou frondaison est l'ensemble des palmes vertes qui forment la couronne du palmier dattier. On dénombre de 50 à 200 palmes chez un palmier dattier adulte. Les palmes vivent de trois à sept ans, selon les variétés et le mode de culture. Elles sont émises par le bourgeon terminal ou « phyllophore » pour cela, on distingue : la couronne basale, la couronne centrale et les palmes du cœur (PEYRON, 2000 in BESSAS et al., 2008).

6.2.3. Palme

La palme ou « Djérid » est une feuille pennée dont les folioles sont régulièrement disposées en position oblique le long du rachis. Les segments inférieurs sont transformés en épines, plus ou moins nombreuses, et plus ou moins longues (MUNIER, 1973 in BESSAS et al., 2008).

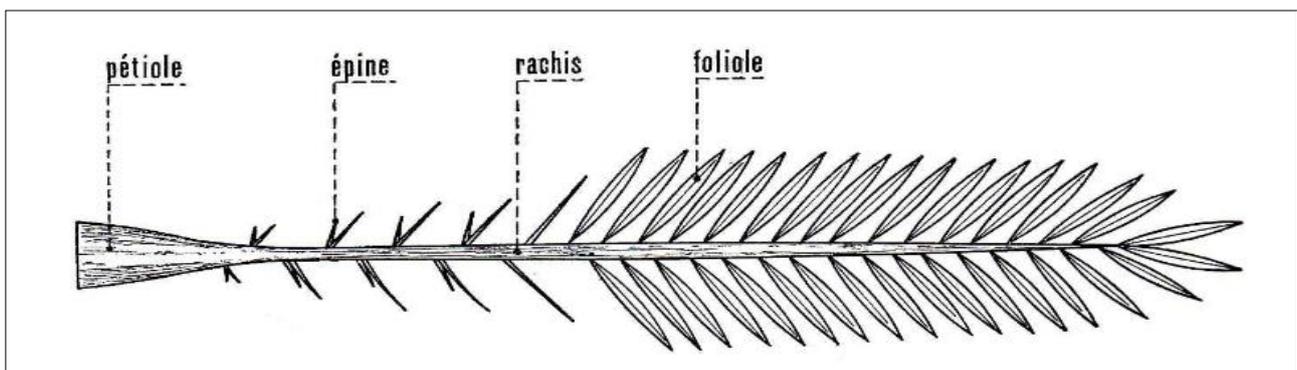


Figure 02. Schéma d'une palme (MUNIER, 1973 in BESSAS et al., 2008).

6.2.4. Fleurs

Le dattier est une plante dioïque, c'est-à-dire qu'il existe des dattiers mâles (*Dokar*) et des dattiers femelles (*Nakhla*). Seuls les dattiers femelles donnent des fruits, donc elles sont à l'origine des multiples variétés des dattes. De façon générale deux des trois carpelles, uniovulés, avortent et les fruits sont monospermes ce qui peut s'expliquer par la grande densité des inflorescences. Les

7. Exigences pédoclimatiques

7.1. Exigences climatiques

Le palmier dattier offre de larges possibilités d'adaptation, c'est une espèce thermophile ayant une activité qui se manifeste à partir d'une température de + 7 à + 10°C selon les cultivars et les conditions climatiques locales. La température de 10°C est généralement considérée comme le zéro de végétation. (MUNIER, 1973 in ABDALLAH, 1990), L'intensité maximale de végétation est atteinte à des températures dépassant 30°C se stabilise ensuite et commence à décroître vers 38-40°C (NIXON *et al.*, 1978 in BEN ABDALLAH, 1990).

La floraison du dattier se déclenche lorsque la température moyenne journalière remonte après une période froide ou fraîche, et atteint un seuil considéré comme le zéro de floraison, compris entre 17 et 24 °C selon la région phoenicicole (MUNIER, 1973 in DAOUADI, 2013).

Le dattier est aussi une espèce héliophile. Il est cultivé à forte luminosité. L'action de lumière favorise la photosynthèse et la maturation des dattes, mais elle ralentit et arrête la croissance des organes végétatifs. (MUNIER, 1973 in DAOUADI, 2013).

Les faibles humidités de l'air stoppent l'opération de fécondation et provoquent le dessèchement des dattes au stade de maturité, au contraire les fortes humidités provoquent des pourritures des inflorescences et des dattes, respectivement au printemps et à l'automne. Donc le dattier est sensible à l'humidité de l'air (Munier, 1973]. Les meilleures dattes sont récoltées dans les régions où l'humidité de l'air est moyennement faible (40%) (BOUGUEDOURA, 1991 in BESSAS *et al.*, 2008).

Les vents ont une action mécanique et un pouvoir desséchant. Ils augmentent la transpiration du palmier, entraîne la brûlure des jeunes pousses et le dessèchement des dattes. Les vents ont aussi une action sur la propagation de quelques prédateurs des palmiers dattiers comme *Ectomyelois cératoniae* (HADDAD, 2000 in BESSAS *et al.*, 2008).

Le problème du climat se résume donc, comme pour beaucoup d'autres espèces fruitières, au choix ou à la création des variétés adaptées aux conditions locales et présentant des qualités suffisantes pour satisfaire le consommateur (CROSSA, 1969 in BEN ABDALLAH, 1990).

7-2- Exigences édaphiques

Le palmier dattier s'accommode aux sols de formation désertique et subdésertique très divers, qui constitue les terres cultivables de ces régions. Il croît plus rapidement en sol léger qu'en sol lourd, où il entre en production plus précocement. Il exige un sol neutre, profond, bien drainé et assez riche, ou susceptible d'être fertilisés (TOUTAIN, 1979 in BESSAS *et al.*, 2008).

7-3- Exigences hydriques

Les besoins en eau d'irrigation dépendent de la nature des sols, la profondeur de la nappe et du climat. La fréquence d'irrigation sera d'environ:

- 7 jours en été (mai, septembre)
- 20 jours en hiver (octobre, avril). On estime ces besoins en eau de 50 l/mn/ha en été et 40
- 1/mn/ha en hiver. (TAMRA, 2001 in DAOUADI , 2013)

8. Ennemis de la phoeniciculture

Le palmier dattier a des nombreux ravageurs et parasites, nous ne citerons ici que les plus importants en Algérie et qui causent le plus de problèmes.

8.1. Pourriture de l'inflorescence (Khamedj)

La pourriture est connue dans presque toutes les zones de cultures du dattier, c'est une maladie grave qui sévit dans les régions de phoeniciculture les plus humides ou pendant les années très humides. Elle est causée par un champignon imparfait de l'ordre des Hyphales, à chaînes de conidies hyalines, fragmentés en articles mono ou bicellulaires *Mauginiel lascaeta*, c'est une maladie externe qui ne nécessite pas de blessure préalable (BOUNAGA, DJERBI, 1990). On lutte contre cette maladie par des produits cupriques (BENABDALLAH, 1990).

8-2 Pourriture du Cœur à *Thielaviopsis*

Le dessèchement noir des palmes, appelée aussi *Mejnoun* (palmier fou). Elle a été observée dans différentes régions du Maghreb, en Mauritanie, en Egypte, en Arabie Saoudite, en Irak, aux Emirats et à Bahreïn ainsi qu'aux Etats-Unis. Être très importante, elle peut être grave et entraîne la mort des sujets atteints. Certaines variétés seraient très sensibles. L'agent causal est la forme imparfaite *Thielaviopsis paradoxa* (Des Seynes) Sac. Le champignon peut envahir aussi bien les parties aériennes que les racines du dattier. Les moyens de lutte consistent à détruire les feuilles et les inflorescences malades puis à traiter avec un fongicide (BOUNAGA, DJERBI, 1990).

8-3 Pourriture du bourgeon à *Phytophthora*

Elle est appelée « belaat » qui signifie « étouffement », c'est une maladie peu fréquente, surtout signalée en Afrique du Nord. Elle est souvent liée à de mauvaises conditions de drainage. La maladie se caractérise par un blanchissement des palmes du cœur et par une pourriture humide à progression rapide. Elle est généralement mortelle. Comme moyens de lutte on recommande le drainage, la destruction par le feu des sujets malades (BOUNAGA, DJERBI, 1990).

8-4 Maladie des fruits

Durant les années humides au cours de la maturation, différentes pourritures peuvent se rencontrer : de nombreux champignons ont été incriminés *Alternaria*, *Sfernphyliurn*, *Helminthosporium*, *Penicillium* et *Aspergillus*. Les moyens de lutte sont difficiles et essentiellement préventifs : protections des régimes par ensachage, limitation des régimes et ciselage. (BOUNAGA, DJERBI, 1990).

8.5. Maladies à dépérissement

Une maladie déjà signalée depuis quelques années provoquant une brûlure des feuilles qui se recroquevillent, se sèchent et des déformations, semble se développer de façon plus ou moins épidémique en Tunisie et en Algérie. Elle ne semble due ni à un champignon, ni à une bactérie. Takrouni et Allouchi (1988) l'appellent « maladie des feuilles cassantes ». Ils parlent aussi d'une maladie causant un dessèchement apical. D'autres maladies à *Diplodia*(taches brunes), *Omphalia* (sur racines), *Graphiola* ont été signalées, mais elles sont peu importantes ; jusqu'à présent pratiquement aucune de ces maladies ne présentant de caractère épidémique (BOUNAGA, DJERBI, 1990).

8.6. Bayoud

La maladie cryptogamique la plus grave du palmier dattier, le bayoudes causé par un champignon *Fusariumoxysporum*. Le premier signe de la maladie s'observe sur la couronne moyenne qui prend un aspect plombé. Elle se dessèche et blanchit progressivement. Une coupe longitudinale d'un arbre, permet d'observer le cheminement du champignon, car son passage dans les tissus vasculaires provoque une coloration brune-rougeâtre, très typique (DJERBI, 1988 in IDDER-IGHILI, 2008). Quelques variétés seulement de dattier résistantes à cette maladie, peuvent donner l'espoir de trouver des remèdes. BOUDFER (2000), note les variétés Takerboucht, Agaz et Tinasser comme résistantes à la maladie.

9. Situation de la phoeniculture

La phoeniculture occupe une superficie totale 160 000 ha, avec un nombre total de 17 millions de palmiers dont 10,5 millions en rapport, avec un nombre de cultivars estimé actuellement à environs 1 millier.

La production totale en 2007 atteint 5,5 millions de quintaux toutes variétés confondues, dont 1,8 millions de quintaux en Deglet-Nour (MADR, 2008).

9.1. Evolution des superficies, de la production phoenicicole et des rendements par palmier

Les superficies récoltées ont augmentées d'environ 60% durant la décennie 1996 – 2006, la production de 36% et les rendements de 7% environ par palmier (MADR, 2008).

Le rendement de la phoeniciculture en Algérie a suivi presque les mêmes fluctuations que la superficie cultivée entre 1996 et 2006 (Fig. 04). En revanche la production phoenicicole (1996-2006) suit des fluctuations importantes. Elle atteint son maximum en 2005 avec 5162934 qx.

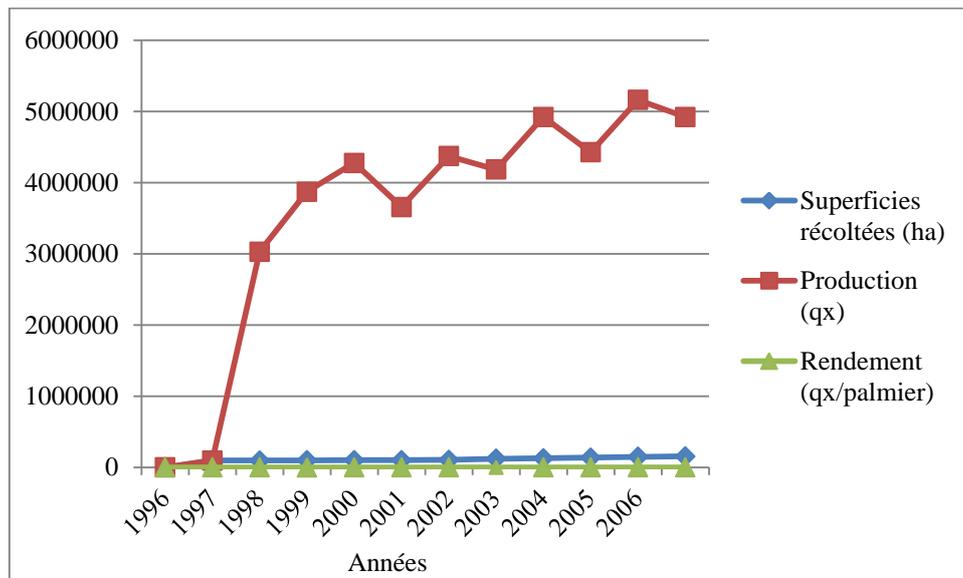


Figure 04. Evolution des superficies, de la production et des rendements de la phoeniciculture en Algérie (MADR, 2008).

Chapitre II. Salinité du sol

I. Salinité du sol

D'après HALITIM (1988), les sels au sens large du terme, constituent les traits caractéristiques des paysages aride d'Algérie, plus de 95 % des sols de ces régions sont en effet soit calcaires, soit gypseux soit salsodique. Au niveau de la couverture pédologique, ils sont en général de formation superficielle ou sub-superficielle et sont le résultat de processus anciens et plus récents.

I.1. Répartition des sols salés

I.1.1. salinisation de sol Dans le monde

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon les estimations les plus récentes de la FAO en 2008, elle affecte déjà au moins 954,8 millions d'hachards, soit 23% des terres cultivées (BENZELLAT, 2012).

Les régions arides et semi arides sont les plus favorables au développement des sols salins ou alcalin. Mais on peut les rencontrer aussi dans les régions tempérées soumises à des conditions spéciales (estuariers, marais salants;...) (BAZZINE, 2009).

Tableau 04. Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)

| Région | Superficie (millions d'hectares) |
|----------------------------|----------------------------------|
| Afrique | 80,5 |
| Europe | 50,8 |
| Amérique du Nord | 15,7 |
| Amérique du Sud | 129,2 |
| Australie | 357,3 |
| Mexique et Amérique centre | 2 |
| Asie du Sud Est | 20 |
| Asie du centre et du Nord | 211,7 |
| Asie du sud | 87,6 |
| Total | 954,8 |

I.1.2. salinisation de sol dans Algérie

L'Algérie est l'un des pays où la salinisation des sols concerne de très importantes surfaces, notamment dans les périmètres agricoles et irrigués de l'ouest Algérien (DURAND, 1983 ; HALITIM, 1985).

Ce problème est lié le plus souvent à des processus naturels tels que les conditions arides où l'évaporation est considérable, et les précipitations sont limitées, à la présence fréquente des dépôts géologiques salifères, par exemple du Trias, du miocène, du pliocène ou même du quaternaire, et de

nappes phréatiques ou artésiennes salées, à la succession des événements, variations climatiques et phénomènes de sédimentation, au cours des Temps quaternaires (AUBERT, 1976 in BENZELLAT, 2012).

Les sols salins sont très répartis dans les basses plaines et vallées d'Oranie, vallée de la Mina, près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme le Chott Melhrir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions Sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (DURAND, 1983 ; BAZZINE, 2009). Leur conductivité électrique est supérieure à 7 dS/m et le pourcentage de sodium échangeable sur la capacité d'échange cationique (C.E.C.) est variable de 5 à 60% (AUBERT, 1975 in BOUTELLI, 2012).

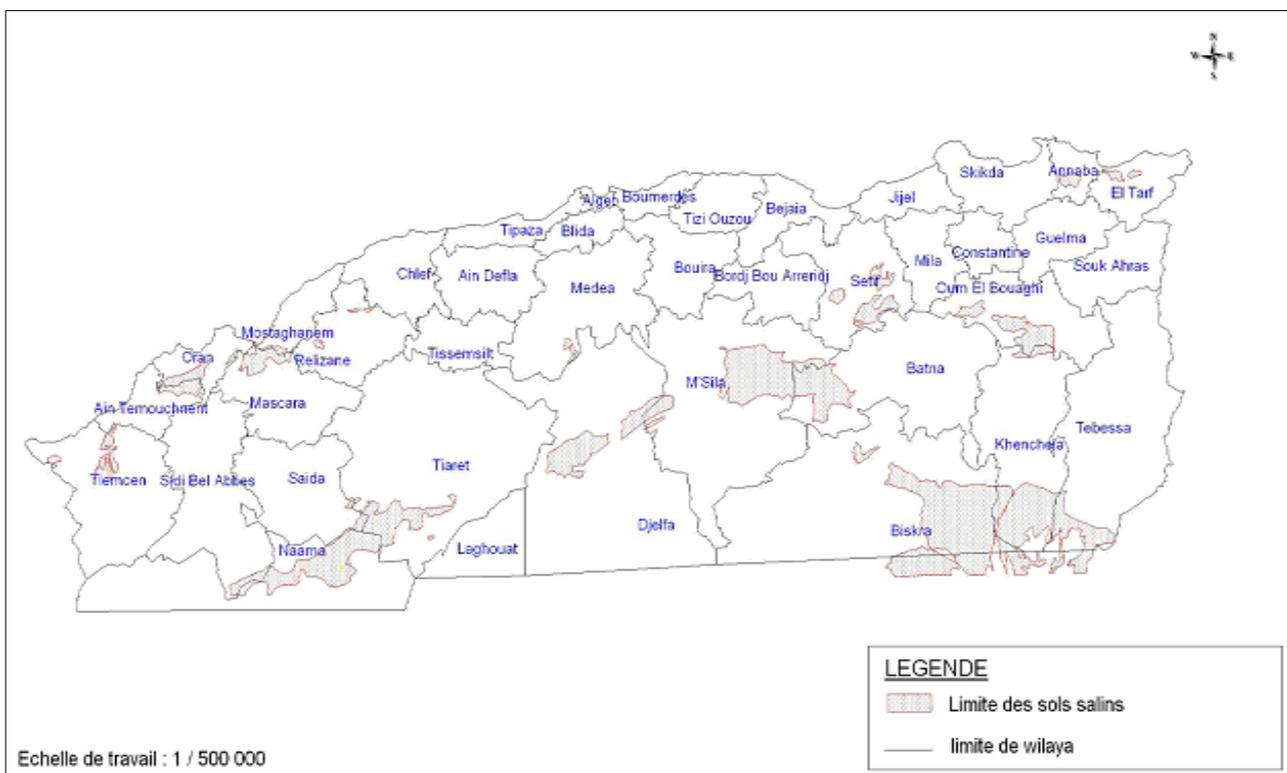


Figure 05. Carte. Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie (BENZELLAT, 2012)

Dans les régions arides, les sols salés représentent environ 25% de la surface cartographiée (HALITIM, 1988 in CHENINI, 2013), soit 3,2 millions d'hectares (HAMDY, 1995 ; BAZZINE, 2009). D'après DJILI et DAOUD (1999) les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord.

I.1.1.3. salinisation de sol dans la région Ghardaïa

Dans la région de Ghardaïa, la majorité des terres attribués à la mise en valeur, ne sont pas dotés d'étude pédologique, pour cela il est nécessaire, d'avoir des études de diagnostics, afin de faire sortir les manques et les problèmes qui peuvent bloquer le développement des cultures (BENDEKEN, 2012), aucune étude cartographique sur les sols affecté par la salinité dans cet région sauf quelque études de synthèse sur l'effet de salinité sur la palmeraie et la végétation.

I.2. Définition de la salinité

La salinité d'un sol peut être définie d'une manière simple, précise et rapide par la mesure de la conductivité électrique sur l'extrait de pâte saturée ou l'extrait diluée. Elle est exprimée en mmhos/cm ou en dS/m à 25°C (BENBRAHIM, 2001).

D'après GUPTA et ABROL (1990) ; BENNABI (2005), la salinité est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole, ces charges en sels soumettent les plantes à un stress permanent. La liste des sels en cause varie selon le cas de salinité, le plus fréquent en zone aride et semi-aride est d'avoir des chlorures, des sulfates de sodium ou de magnésium (FORAGES, 1972 in BOUTELLI, 2012).

I.3. Origines des sols salés

I.3.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire provient de l'altération en place des roches salifères primaires (GAUCHER et al. (1974) in BENBRAHIM, 2001), mais celle d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux (SERVANT, 1975).

I.3.2. Salinisation secondaire

D'après GAUCHER et *al.* (1974) ; HULLIN(1983), la salinisation secondaire est un processus indépendant de la roche mère, le sel trouvé dans le sol provient de la redistribution des sels accumulés précédemment. Ce type de salinisation est favorisé par les facteurs climatiques et hydrogéologiques ainsi que par l'activité humaine.

Dans les zones arides et semi-arides et en période sèche, l'évaporation et la remonté capillaire de l'eau à partir de la nappe phréatique provoquent généralement la formation d'efflorescences en surface (GAUCHER et *al.*, 1974). Les vents provoquent également des déshydratations des couches superficielles du sol et le transport des particules fines et salées (BENBRAHIM, 2001).

L'irrigation a un effet souvent défavorable sur le plan de la salinisation notamment dans les zones arides où les eaux d'irrigation sont chargées de sels (AUBERT, 1975 ; HULLIN, 1983). Elle peut être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines salines (IPTRID, 2006 in CHENINI, 2013).

I.4. Facteurs de la salinisation des sols

I.4.1. Climat

Dans les régions à climat humide, les sols salins sont pratiquement inexistantes ; la profonde percolation des eaux de pluie permet le lessivage des sels solubles. Dans les régions semi-arides, le lessivage et le transport des sels solubles sont faibles (BENZELLAT, 2012).

L'évapotranspiration entraîne une concentration des sels dans la zone racinaire et dans la couche superficielle. Dans ce cas, la masse totale des sels reste constante dans le profil du sol et le volume d'eau diminue ce qui implique une augmentation de la concentration des sels. Un paramètre qui rend compte de l'intensité de l'évapo-concentration est le FL (Fraction Lessivée) (LAHLOU et al., in BENZELLAT, 2012).

$$FL = \frac{V_{\text{eau de drainage}}}{V_{\text{eau d'irrigation}}} \approx \frac{V_{\text{eau d'irrigation}}}{V_{\text{eau de drainage}}}$$

Les fonds de dépressions salées d'Afrique du nord sont nettement hydro-halomorphes. La concentration en sel est principal facteur qui y limite la croissance des végétaux. Pendant l'hiver, quand les oueds amènent de l'eau à ces dépressions, le sel descend mais au cours de l'été, il revient en surface (BENZELLAT, 2012).

L'explication proposée par KOVDA et SAMOILOVA (1969) réside dans la solubilité différentielle des ions et même sur l'alternance saisonnière qui jouent un rôle prépondérant dans la dynamique des ions (BENZELLAT, 2012).

- En saison humide

L'altération des minéraux primaires et la libération des ions Na^+ , Mg^{+2} et Ca^{+2} , les uns et les autres sont entraînés vers le bas mais ne peuvent être éliminés en raison de l'insuffisance ou de l'absence de drainage.

- En saison sèche

La remontée par capillarité des solutions du sol sous l'influence de l'évaporation la concentration des solutions augmente, la précipitation des sels intervient, ce qui permet la saturation par le sodium d'une fraction de l'humus et des argiles, qui pourront être entraînés à la période humide suivante (DUCHAUFFOUR .PH, 1983 in BENZELLAT, 2012).

I.4.2. Source de sels

Le sel provient des minéraux de la croûte terrestre. Les agents atmosphériques décomposent les minéraux et libèrent le sel sous une forme soluble. L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, donne des sels souvent solubles, en particulier carbonates et bicarbonates, parfois silicates, de ces métaux. En région aride ceux-ci se concentrent sur place ou dans les dépressions et les zones basses du paysage. Parfois en zone endoréique, ils peuvent être apportés par les rivières qui viennent s'y jeter (DURAND, 1983 in BENZELLAT, 2012).

Les régions humides ; ont généralement une pluviosité suffisamment forte pour lessiver le sel à travers le sol et dans la nappe phréatique qui l'entraîne vers les cours d'eau. Ces derniers le transportent dans les Océans (DURAND, 1983 in BENZELLAT, 2012).

L'irrigation apporte au sol de grandes quantités de sels L'utilisation d'eaux contenant 1g de sels solubles au litre apporte, en culture maraîchère, utilisant 8000 m³/ha tonnes de sels à l'hectare (DURAND, 1983 in BENZELLAT, 2012).

I.4.3. Drainage

La nécessité du drainage des sols irrigués apparaît dans les conséquences de l'engorgement par l'eau des sols lourds pour lesquels l'équilibre hydrique naturel est rompu par l'apport des irrigations (BENZELLAT, 2012).

Le drainage est l'unique solution durable pour maintenir la production agricole .on le pratique pour lessiver les sels en excès et pour abaisser le niveau de la nappe, pour limiter l'effet du sel sur les plantes (ECHEVARRIA in BENZELLAT, 2012), seuls les sols bien drainés, à texture plus grossière, sont non salins. Bien que les eaux fluviales utilisées pour l'irrigation n'aient que des teneurs assez faibles en sels, on considère que c'est le manque de drainage qu'a provoqué la salure des sols, dans l'antiquité comme de nos jours (BENZELLAT, 2012).

I.4.4. Intrusion d'eau de mer

L'intrusion de l'eau de mer dans la nappe près des côtes est due à une inversion du gradient hydraulique à cause de la surexploitation des nappes souterraines. L'utilisation de l'eau de cette nappe à des fins d'irrigation entraîne l'intrusion de l'eau saline près de la zone racinaire. L'effet est amplifié par la présence d'une surface évaporatrice. Dans ce cas le volume de l'eau et la masse des sels augmentent donc la concentration en sels augmente ou diminue en fonction de la salinité initiale de la zone racinaire. Mais en général le résultat final est une augmentation (BENZELLAT, 2012).

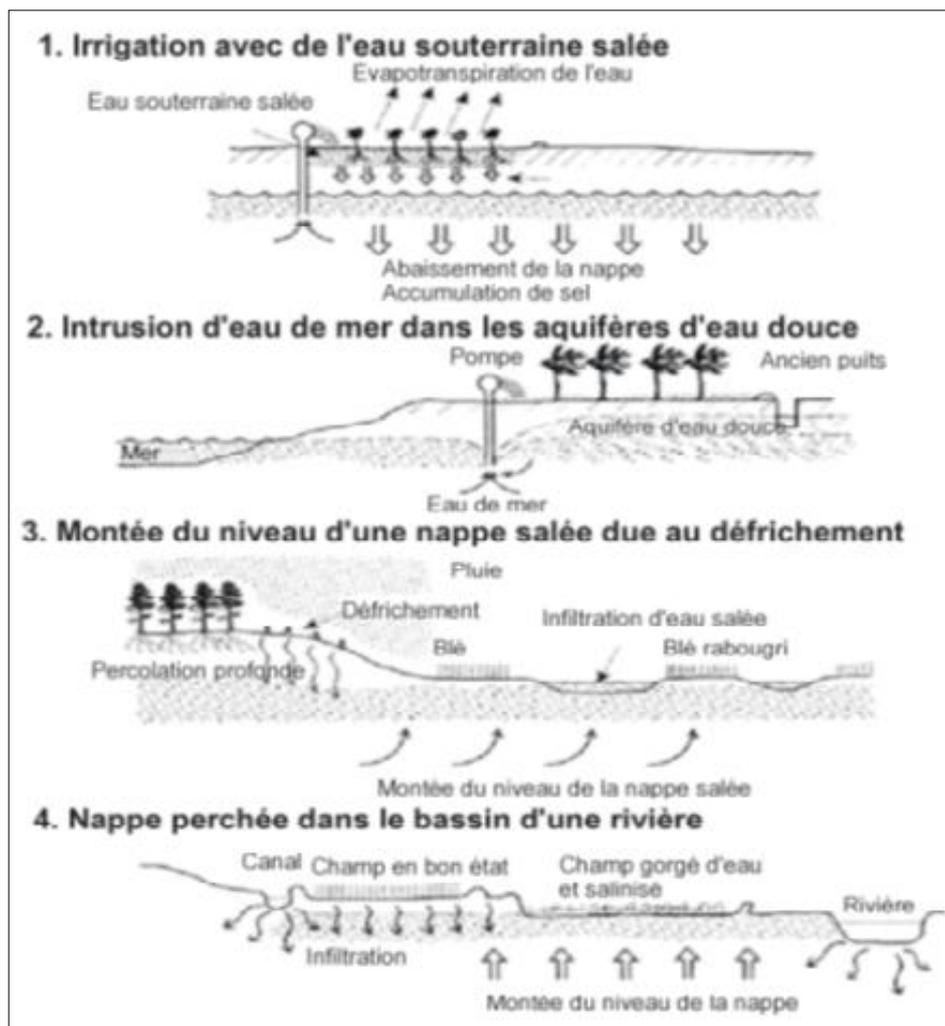


Figure 06. Principaux modes de salinisation des sols (MIDDLETON et al, 1997 in ANTIPOLIS, 2003)

I.5. Mécanismes de la salinisation

D'après LEGRO (2007) la salinisation, la sodisation, l'alcalinisation et l'acido-sulfatation sont des phénomènes différents essentiels de la salinité :

I.15.1. Salinisation

La salinisation est un processus d'accumulation de sels à la surface de sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur la végétation et le sol, il s'en suit une diminution des rendements, et à long terme, une stérilisation de sol (MERMOUDE, 2006 in BOUTELLI, 2012). Les sels dominants dans la solution du sol salin sont Na Cl, Na₂SO₄ et parfois NaNO₃ (LEGROS, 2007).

Selon RENGASAMY (2002), la salinisation correspond à l'apparition des sels dans la solution de sol. Ce dernier est considéré comme salé plus exactement un horizon est de type salé quand l'extrait de pâte saturé a une conductivité électrique (CE) supérieure à 15 dS/m à certains moments de l'année. Le seuil est abaissé à 8 dS/m si le pH est supérieur à 8,5, d'autre pays abaissent le seuil à 4dS/m (LEGROS, 2007).

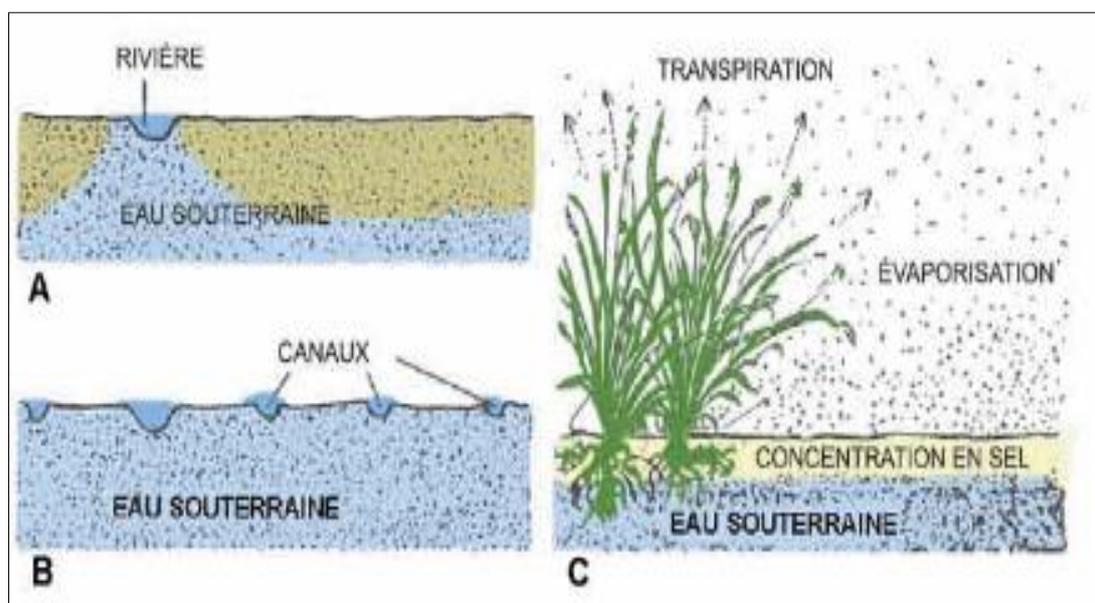


Figure 07. Mécanisme du phénomène de la salinisation du sol (FRANÇOIS, 2008 in NOOMENE, 2011).

La figure au-dessus, illustre le mécanisme du phénomène de salinisation des sols dont l'irrigation (A) entraîne une stagnation de l'eau dans les sols (B) due au manque de drainage d'où résulte l'accumulation des sels en surface suite à l'évaporation (C).

I.5.2. Sodisation

C'est l'enrichissement du complexe absorbant en sodium échangeable, le sol sodique lorsque le pourcentage de Na est supérieur à 15. mais des phénomènes de dégradation de la structure interviennent parfois pour des valeurs plus faibles (LEGROS, 2007).

I.5.3. Alcalinisation

C'est le processus d'augmentation du pH liée à la présence de carbonates ou bicarbonates en excès, en particulier Na_2CO_3 et NaHCO_3 . Ce sont des sels de base forte et d'acide faible dont la dissociation dans l'eau se traduit donc par une réaction alcaline. Les calculs théoriques montrent que le pH peut monter jusqu'à 12 (LEGROS, 2007).

I.5.4. Acido-sulfatation

C'est un phénomène d'acidification intense que l'on peut considérer comme un cas très particulier de salinisation. Il conduit à l'accumulation de différents types de sulfates de fer, d'aluminium, sodium, etc. (LEGROS, 2007).

I.6. Paramètres de caractérisation des sols salés

L'étude d'USSL en 1954 des sols salés se base essentiellement sur :

- La mesure sur un extrait du sol de la conductivité électrique à 25°C.
- La caractérisation de l'alcalinité ou la sodicité à l'aide de l'E.S.P. (taux de sodium échangeable) ou la mesure du S.A.R. (sodium adsorption ratio) sur l'extrait de sol.
- La mesure sur un extrait du sol de la réaction du sol (pH).

I.6.1. Mesure de la salinité

La salinité se mesure par la conductivité électrique en siemens S ou mhos/m. Sachant que $1 \text{ S/m} = 1 \text{ mhos/m}$ et $1 \text{ mhos} = 1 / \text{ohm}$ unité de résistance électrique. La conductivité de l'eau peut être rapidement convertie en mg de sel par litre par la formule (MARC, 2001 in BOULTELLI, 2012):

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mS/cm} = 640 \text{ mg/l de sels}$$

D'une manière simple, précise et rapide la salinité d'un sol peut être définie par la mesure de la conductivité électrique sur l'extrait de pâte saturée ou l'extrait diluée. Elle est exprimée en mmhos/cm ou en dS/m à 25°C (BEN BRAHIM, 2001).

I.6.1.1. Extrait de pâte saturée

Afin de pouvoir mesurer la salinité dans des conditions standards pour ensuite comparer les résultats entre eux, la pâte saturée s'avère le moyen le plus adéquat, car elle se rapproche des solutions existantes dans le sol en place. La préparation de la pâte saturée est difficile à réaliser pour

un échantillon sableux par ce qu'elle demande une attention particulière du manipulateur (SERVANT *et al.*, 1966 in BEN BRAHIM, 2001).

D'après l'U.S.S.L. (1954), un sol est considéré salé lorsque la conductivité électrique de son extrait de pâte saturée est supérieure ou égale à 4 dS/m à 25°C (Tabl.05). Au Nord de l'Afrique cette limite peut être élevée à 7 dS/m à 25°C (DURAND, 1958 ; AUBERT, 1975).

Tableau 05. Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (U.S.S.L., 1954)

| C.E. (dS/m à 25 °C) | Degré de salinité |
|---------------------------|----------------------|
| ≤ 2 | Sol non salé |
| $2 < \text{C.E.} \leq 4$ | Sol faiblement salé |
| $4 < \text{C.E.} \leq 8$ | Sol moyennement salé |
| $8 < \text{C.E.} \leq 20$ | Sol fortement salé |
| > 20 | Sol extrêmement salé |

I.6.1.2. Extraits dilués

Les extraits dilués sont au 1/1, au 1/5 et au 1/10 du rapport sol/eau distillée. Par cette méthode l'extraction est rapide mais les solutions sont moins représentatives de la solution du sol (HULLIN, 1983). Un sol est considéré salé lorsque la conductivité électrique de son extrait dilué 1/5 est supérieur ou égale à 2 dS/m (AUBERT, 1978 in BEN BRAHIM, 2001).

Tableau 06. Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (AUBERT, 1978)

| C.E. (dS/m à 25 °C) | Degré de salinité |
|----------------------------|----------------------|
| $\leq 0,6$ | Sol non salé |
| $0,6 < \text{C.E.} \leq 2$ | Sol peu salé |
| $2 < \text{C.E.} \leq 2,4$ | Sol salé |
| $2,4 < \text{C.E.} \leq 6$ | Sol très salé |
| > 6 | Sol extrêmement salé |

Selon HALITIM (1973), cette classification basée sur la C.E. est critiquable pour plusieurs raisons dont :

- La résistance des plantes aux sels dépend d'autres facteurs tels que la texture du sol.
- La conductivité électrique ne donne qu'une somme approximative des ions, alors que chaque cation ou anion à une action spécifique.

I.6.2. Sodicité

I.6.2.1. Pourcentage de sodium échangeable (E.S.P)

Le pourcentage de sodium échangeable est en fonction de la capacité d'échange cationique (C.E.C.), il est déterminé par la formule suivante (U.S.S.L., 1954):

$$E.S.P. (\%) = ([Na^+] / C.E.C.) \times 100$$

- $[Na^+]$: Concentration de Na^+ échangeable en $cmol^+/100g$.
- C.E.C. : capacité d'échange cationique exprimé en $cmol^+/100g$ de terre sèche.
- E.S.P. est un paramètre de caractérisation de la sodicité du sol, la structure est détruite à partir d'un seuil souvent fixé à 15% de la C.E.C. (U.S.S.L., 1954).

I.6.2.2. Sodium adsorption ratio (S.A.R.)

Il s'agit également d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalinisation (BEN BRAHIM, 2001).

Tableau 07. Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols (SERVANT et al., 1966 in BENBRAHIM, 2001).

| S.A.R. | Degré d'alcalinisation |
|-----------------------|------------------------|
| ≤ 4 | Pas d'alcalinisation |
| $4 < S.A.R. \leq 8$ | Faible alcalinisation |
| $8 < S.A.R. \leq 12$ | Alcalinisation moyenne |
| $12 < S.A.R. \leq 18$ | Alcalinisation forte |
| > 18 | Alcalinisation intense |

Le S.A.R. est déterminé par la relation suivante (GAPON, 1933 in DURAND, 1958):

$$S.A.R. = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{++} + Na^{++})/2}}$$

Sachant que Na^+, Ca^{++}, Mg^{++} sont exprimés en $cmol^+/l$.

I.6.3. pH du sol

Le pH permet de définir, d'une manière approximative, l'état du complexe adsorbant, notamment au niveau du taux de saturation S/T% (S=somme des bases échangeables). Globalement le taux S/T augmente corrélativement avec le pH (CAMUZARD, 2000).

Dans les régions arides, la gamme relative aux sols s'étend d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 (BUCKMAN *et al.*, 1965 in BENBRAHIM, 2001).

D'après FIREMAN *et al.*, (1951), le pH peut être un paramètre de classification. Il est classé en fonction de la pâte saturée (Tabl.08).

Tableau 08. Classes du sol selon le pH de pâte saturée (FIREMAN *et al.*, 1951 in U.S.S.L., 1954)

| pH | Classe du sol |
|------------|---|
| $\geq 8,5$ | Indiquent souvent un pourcentage de Na^+ échangeable supérieur ou égale à 15% et la présence des carbonates alcalino-terreux |
| $< 8,5$ | Les pourcentages de Na^+ échangeable peuvent ou ne peuvent pas dépasser 15% |
| $\leq 7,5$ | Ces sols ne contiennent jamais de Ca^{++} et Mg^{++} |
| < 7 | Ces sols contiennent des quantités significatives d'ion H^+ échangeable |

I.7. Classification des sols salés

Il existe plusieurs classifications des sols dans le monde, la classification Américaine, Française, RUSSE, F.A.O. (1975) révisé en 1989 (LOZET *et al.*, 1990). Parmi ces classifications celle proposé par le laboratoire de salinité des Etats Unis (U.S.S.L., 1954 in BEN BRAHIM, 2001) :

- Sols salins
- Sols salins à alcalis
- Sols à alcalis

I.7.1. Sols salins

Ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 ds/m, un pH inférieur à 8.5 et un pourcentage de sodium échangeable inférieur à 15%. Selon (HULLIN, 1983), ce sont des sols qui contiennent des sels solubles en quantité telle que la croissance de la plupart des plantes y est freinée (BEN BRAHIM, 2001).

Ces sols présentent aussi une perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaires non salés. Cela est dû à l'action flocculant des sels (DAOUD, 1993 in BEN BRAHIM, 2001).

I.7.2. Sols salins à alcalis

Ils sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation supérieur à 4 ds/m et un pH supérieur à 8.5. Par définition, ce sont des sols qui contiennent suffisamment des sels solubles et de sodium échangeable (HULLIN, 1983).

La perméabilité de ses sols dépend du rapport entre CE - ESP, de la teneur et nature de la fraction argileuse des sols. (DAOUD, 1993 in BEN BRAHIM, 2001).

I.7.3. Sols alcalis

D'après HULLIN 1983, ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation inférieur 4 ds/m, un pH compris entre 8.5 et 10 et un pourcentage de sodium échangeable supérieur à 15%. Ces sols contiennent suffisamment de sodium échangeable mais ils ne contiennent pas des quantités excessives de sels solubles.

Ses sols présentent une faible perméabilité (DAOUD, 1993 in BEN BRAHIM, 2001).

Tableau 09 : Caractéristiques des différentes catégories de sols salés
(MERMOUDE, 2006)

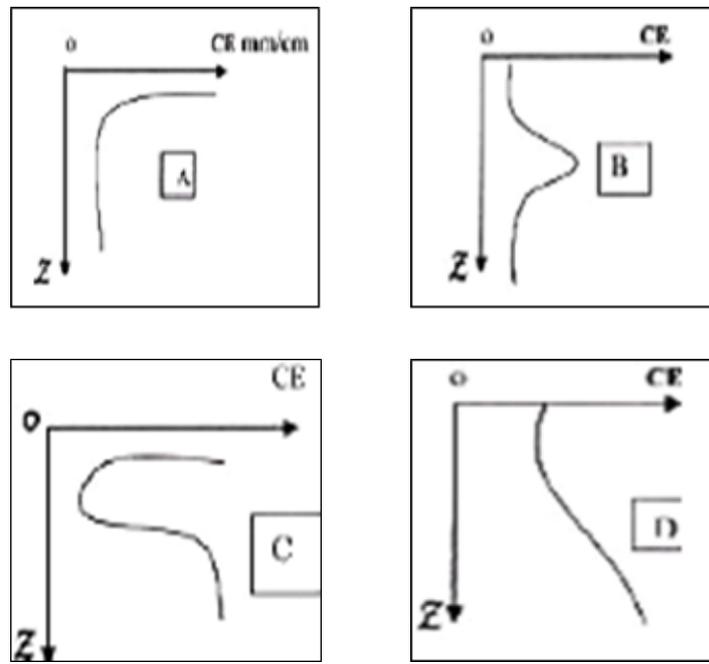
| Catégorie | CE à 25°C (Ms.mc ⁻¹) | ESP (%) |
|-----------------------|----------------------------------|---------|
| Sols salins | >4 | <15 |
| Sols salins à alcalis | >4 | >15 |
| Sols alcalis | <4 | >15 |

I.8. Type de profils salins

La distribution quantitative de la salinité peut dans tous les cas revêtir plusieurs modalités dans le sol SERVANT (1976), il est possible de distinguer quatre formes principales (Fig.08).

- La forme A, est une salinisation.
- La forme B, est une désalinisation temporaire.
- La forme D, est une désalinisation permanente
- La forme C, est une ré-salinisation

Figure 08 : Type de profils salins (SERVANT, 1976).



Z : profondeur du sol centimètre **CE :** conductivité électrique en mmhos/cm

I.9. Mise en valeur des sols salés

- Indépendamment du facteur économique qui doit nécessairement être pris en compte, la mise en valeur des sols salés va dépendre des processus physico- chimiques qui les affectent (GIRARD et *al.*, 2005 in CHENINI , 2013).

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

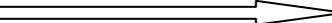
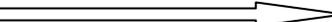
- L'élimination des sels en excès (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en Ca^{+2} échangeable.
- Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (GIRARD et al, 2005 in CHENINI , 2013).

I.10. Normes d'interprétation de la salinité du sol

En ce qui concerne le sol, le paramètre majeur retenu pour interpréter la qualité saline d'un sol est celle de la conductivité électrique.

La conductivité permet d'obtenir rapidement une estimation de la teneur globale en sels dissous ; en plus la connaissance de la conductivité est nécessaire pour l'étude du complexe absorbant des sols salés (Aubert. G, 1986 in BENZELLAT, 2012).

On mesure alors la conductivité électrique de la solution extraite du sol à 1/5. On utilisera l'échelle suivante ($\mu\text{S}/\text{cm}$):

| | | |
|------------------------|---|------------------|
| - sol non salin |  | CE < 2000 |
| - sol légèrement salin |  | 2000 < CE < 4000 |
| - sol salin |  | 4000 < CE < 8000 |
| - sol très salin |  | CE > 8000 < XB |

I.11. Utilisation agricole des sols salés

L'utilisation agricole des sols salés est rendue malaisée par la présence de sels solubles en quantité importante ou d'un horizon sodique à structure dégradée, caractères qui ont une influence néfaste sur le développement de la végétation ou des cultures (BENZELLAT, 2012).

A. Leur mise en valeur dépend de nombreux facteurs:

- Intensité et nature de la salure, type de profil salin, degré de dégradation de la structure et des autres propriétés physiques (perméabilité),
- Caractères du sol: profil, texture, structure, richesse en ions Ca solubles (gypse – sa cristallinité),
- Conditions topographiques et hydrologiques (nappe d'eau: profondeur et mouvement saisonniers, caractères chimiques),
- Type de cultures : résistance à la salinité, à l'alcalinisation; rapports entre le cycle de développement et le cycle climatique saisonnière; nature du système racinaire.

L'utilisation des sols salés, par la méthode habituelle, permet d'obtenir certaines récoltes, mais très diminuées par la teneur en sels ou par les mauvaises propriétés physiques. Cette diminution des rendements devient très importante à partir de certaines teneurs en sels solubles dans le sol. Elles ne peuvent pas avoir une même signification pour toutes les cultures; certaines la présentent pour un assez grand nombre (BENZELLAT, 2012).

B. L'utilisation en sec (pluviale) de ces sols est assez limitée. Par eux-mêmes ils s'étendent surtout en zone aride; la présence des sels en excès augmente le caractère sec du sol et la difficulté pour les cultures d'obtenir de celui-ci l'eau dont elles ont besoin; l'alcalinisation du complexe et la dégradation de la structure augmentent la rétention de l'eau par le sol, diminuent sa pénétration et le développement du système racinaire en profondeur (BENZELLAT, 2012).

Un certain aménagement est possible par une préparation du sol facilitant la pénétration ou la circulation de l'eau, par exemple en le disposant en larges ados très travaillés en surface et en utilisant des cultures à système racinaire fasciculé, abondant et peu profond: céréales telles qu'avoine, orge par exemple (BENZELLAT, 2012).

Ce système cultural doit permettre un certain dessalement de l'horizon supérieur par les eaux de pluie pendant la saison des cultures, mais ne peut empêcher la remontée de la salure en été (BENZELLAT, 2012).

C. Leur utilisation en. Culture irriguée est beaucoup plus fréquente. Elle dépend des caractéristiques et des quantités d'eau d'irrigation utilisée; des possibilités de drainage; ainsi que d'une bonne adaptation du cycle d'apport d'eau, avec ceux, saisonniers du climat et du développement des plantes (en particulier espérance pluviométrique thermique) (BENZELLAT, 2012).

La quantité d'eau à apporter en plus de celle qui couvre l'évapotranspiration est d'autant plus élevée que la salure du sol l'est aussi. Si le sol n'est pas gypseux, l'emploi d'amendements calciques suffisamment solubles est presque toujours indispensable, surtout si l'eau d'irrigation est très pure (BENZELLAT, 2012).

En milieu salé sous irrigation qui n'est pas toujours suffisante à certaines périodes chaudes des cultures à enracinement profond apparaissent préférables. En milieu alcalisé seulement en surface, il en est de même. Si la dégradation structurale touche l'ensemble du profil, des cultures à faible système racinaire conviendront mieux, mais l'irrigation devra être très régulière (AUBERT, 1976 in BENZELLAT, 2012).

I.12. Signes d'un sol salé

D'après BENZELLAT, 2012 Les principaux signes de la salinité des sols sont :

- Croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plantes.
- Apparition d'une croûte blanchâtre en surface
- Apparition des mauvaises herbes tolérantes aux sels, comme : *Spergularia Salina*, *Atriplexhalimus*, *Suaedafructicosa*, *Salicorniafructicosa*.



Figure 09.Photo 1. Accumulations salines à la surface des sols de la palmeraie de Mékhadma (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2012)

I.13. Effet de salinité

D'après BENZELLAT, 2012 la salinité est un des processus de dégradation des sols les plus largement répandus sur la Terre. Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-arides, ou de désastre sur de grandes surfaces en agriculture pluviale, sont l'engorgement, la salinisation et la sodication. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que :

Bien que de nombreux pays utilisent les terres salinisées en raison de leur proximité aux ressources en eau et de l'absence d'autres contraintes environnementales, il y a un besoin clair d'une base Scientifique solide afin d'optimiser leur utilisation, de déterminer leur potentiel, productivité et durabilité pour cultiver diverses cultures, et d'identifier les pratiques de gestion intégrées appropriées.

En Europe, on trouve des sols à forte teneur saline en Hongrie, en Roumanie, en Grèce, en Italie et dans la péninsule ibérique. Dans les pays nordiques, le déverglaçage des routes en utilisant du sel peut provoquer une salinisation localisée.

On estime que la salinisation du sol affecte 1 à 3 millions d'hectares de terres en Union Européen (UE). Cette salinisation est considérée comme une cause majeure de désertification et constitue donc une forme grave de dégradation des sols. Ce problème de la salinisation en Europe s'accroît du fait de l'augmentation des températures et de la réduction des précipitations, caractéristiques du climat de ces dernières années (BENZELLAT, 2012).

Lorsque le sodium domine dans l'eau, on parle de « salinité » et lorsqu'il domine accroché à l'argile on parle de « sodicité » (LEGROS, 2009).

La salinisation entraîne:

- Un accroissement de la pression osmotique qui rend l'eau plus difficilement mobilisable par les plantes;
- Une toxicité de certains ions pour les végétaux (Cl⁻, Na⁺, etc.);
- Une dégradation du sol (modifications de l'état structural, diminution de la conductivité hydraulique, etc.).

I.13.1. Effet de la salinité sur les végétaux

Les grandes concentrations en sels dissous dans la solution du sol ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et de l'oxygène. Elles ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes. Les effets néfastes des sels sur les végétaux ont plusieurs causes dont aucune ne semble être dominante:

- La pression osmotique élevée de la solution du sol qui limite la biodisponibilité de l'eau.
- La pression osmotique intracellulaire élevée due à l'absorption des sels et qui aurait des effets inhibiteurs sur la croissance (CALVET, 2003 in CHENINI, 2013).
- La toxicité propre de certains éléments chimiques liée à leur quantité excessive, comme le bore et surtout l'anion chlore (AYERS, 1978 ; CALVET, 2003 in CHENINI, 2013).

Au Maghreb plus de 30% des eaux destinées à l'irrigation sont chargées en sel, et elles induisent, à la longue, une accumulation de toxines aussi bien dans la rhizosphère que dans les différentes parties de la plante. Ces toxines engendrent des dégâts au niveau des ultra structures cellulaires contribuant, à la fois, à la réduction de la croissance et des rendements des variétés sensibles (RAHMOUNE et al., 2008 in BOUZID, 2010)

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na⁺ et Cl⁻ cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie

ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (HAYASHI et MURATA, 1998 in BOUZID, 2010), l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (PARIDA et DAS, 2005 in BENZELLAT, 2012). La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité (PARIDA et DAS, 2005 in BOUZID, 2010).

Durant le début du développement de stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress. (PARIDA et DAS, 2005 in BENZELLAT, 2012).

L'effet défavorable d'une trop forte quantité de sel sur les plantes est de deux ordres ; le sel empêche les plantes de recevoir suffisamment d'eau, même lorsque le sol est bien arrosé, Les plantes sont alors rabougries et ont fréquemment une couleur caractéristique bleu-verdâtre. Si le sel est réparti également dans le champ, toutes les plantes seront rabougries. La baisse des rendements peut atteindre jusqu'à 25% ; le sel a un effet toxique direct sur les plantes. La plupart des arbres fruitiers sont sujet à des dégâts lorsque la quantité de sel est élevée. Il en résulte des brûlures caractéristiques des feuilles qui ensuite tombent. Les arbres peuvent mourir lorsque se fait une accumulation d'une quantité de sel nocive de sodium ou de chlorure (BENZELLAT, 2012).

I.13.2. Impact de la salinité sur les palmiers dattier

La croissance est normale à une teneur en sel de la solution du sol de 10 % (10g/l), il peut tolérer une concentration du 15%. Au-delà de cette dernière valeur, le pied commence à flétrir. A 30‰, il n'y aurait pas de production, le flétrissement continue et à 48‰, le dattier meurt. (DAOUADI, 2013).

La salinisation des sols mal drainés, par les eaux d'irrigation et les eaux phréatiques chargées en sels, provoque la diminution des rendements du palmier dattier. La mauvaise gestion des eaux d'irrigation et de drainage présente des conséquences préjudiciables sur l'environnement phoenicicole dans les régions sahariennes. Elle a entraîné dans les régions du Sud Est algérien, notamment dans l'Oued Righ et dans la cuvette d'Ouargla la salinisation des sols et la chute des rendements.

I.13.3. Impact des sels sur la faune du sol

La pression osmotique de la solution des sols salés augmente en fonction de la richesse en sels et sa conductivité ce qui rend l'alimentation en eau des plantes et celle des micro-organismes plus difficiles (AUBERT, 1988 in BENZELLAT, 2012).

Une forte salinité exerce également une action d'inhibition de l'activité des microorganismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la dégradation de la matière organique. Donc le sel influe sur l'activité biologique du sol et la nature des produits humiques formés ainsi que le cycle biochimique des éléments minéraux (GALLILI 1980 in BENZELLAT, 2012).

I.14. Tolérance des cultures à la salinité du sol

La sensibilité des cultures au stress salin se traduit par une réduction du rendement. Le seuil de tolérance à la concentration de sel dans la zone racinaire est propre à chaque culture. Le plus souvent le seuil de tolérance des cultures est exprimé par la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol (CEe) (NOOMENE, 2011).

La figure ci-dessous montre la variabilité de niveau de production des différentes cultures par rapport à l'augmentation de la conductivité électrique de la pâte saturée. Nous remarquons que les cultures maraîchères et arboricoles sont généralement les plus sensibles à la concentration de sel dans la zone racinaire, tandis que les céréales et la culture fourragères supportent une concentration plus élevée sans perte significative de rendement (NOOMENE, 2011).

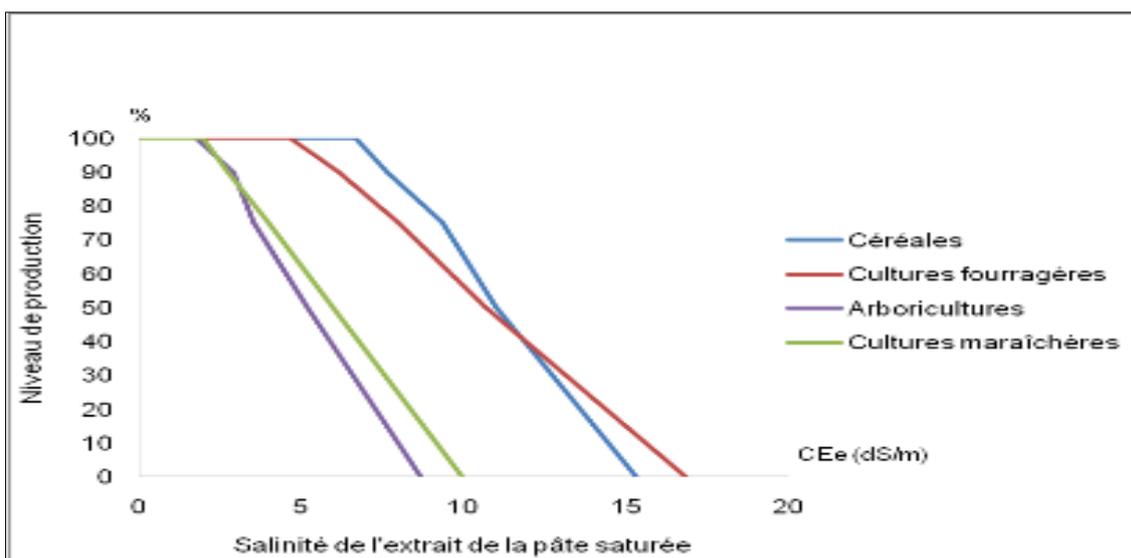


Figure 10. La variabilité de niveau de production des cultures par rapport à l'augmentation de la salinité des sols (NOOMENE, 2011)

I.15. Accroissement de la salinité par l'agriculture

La salinisation du sol est, on l'a vu, un phénomène naturel. Mais l'homme l'accroît souvent pour trois raisons principales que nous allons examiner (LEGROS, 2009).

- Mauvaise qualité de l'eau.
- Intensification agricole
- Remontée de la nappe

*Deuxième partie : matériels
et méthodes d'étude*

Chapitre III. Présentation de la région de Ghardaïa

1. Situation géographique

La ville de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. Elle est issue du découpage administratif du territoire de 1984. L'ensemble de la nouvelle Wilaya dépendait de l'ancienne Wilaya de Laghouat. Il est composé des anciennes daïrates de Ghardaïa, Metlili et El-Menia (ASWG, 2011).

La Wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 84660,12 km², elle est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200Km) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300Km) ;
- A l'Est par la Wilaya de Ouargla (200Km) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1470Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400Km) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350Km).

La wilaya comporte actuellement 13 communes regroupées dans 9 daïra (Tabl.12) pour une population de 387 880 habitants, soit une densité de peuplement de 4,48 habitants/ km² (ANSWG, 2011).

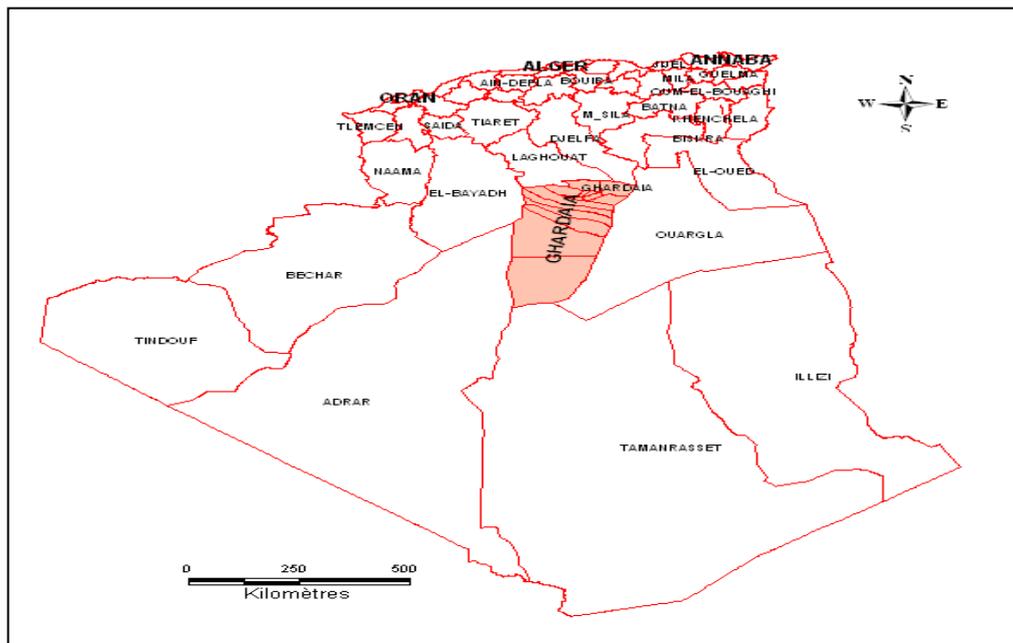


Figure 11. Situation géographique de la Wilaya de Ghardaïa (A.N.R.H., 2011)

Tableau 12. Superficie par communes de la Wilaya de Ghardaïa (ANSWG, 2011)

| Communes | Superficies (km²) |
|-----------------|-------------------------------------|
| Ghardaia | 306,47 |
| El-Ménéa | 23920,68 |
| Daya | 2234,94 |
| Berriane | 2609,80 |
| Metlili | 5010,12 |
| Guerrara | 3382,27 |
| El-Atteuf | 717, 01 |
| Zelfana | 1946, 23 |
| Sebseb | 4366, 82 |
| Bounoura | 778,92 |
| Hassi-El-F'hel | 6875,39 |
| Hassi-El-Gara | 27698,92 |
| Mansoura | 4812,55 |
| Total | 84660,12 |

Tableau 13. Répartition des communes par daïra (ASWG, 2011)

| Daïra | Communes |
|----------------|--------------------------|
| GHARDAIA | GHARDIA |
| EL MENEA | EL MENEA, HASSI EL GARA |
| METLILI | METLILI, SEBSEB |
| BERRIANE | BERRIANE |
| DEYA BENDAHOUA | DEYA BENDAHOUA |
| MANSOURA | MANSOURA, HASSI EL-F'HEL |
| ZELFANA | ZELFANA |
| GUERRARA | GUERRARA |
| BOUNOURA | BOUNOURA, EL ATEUF |

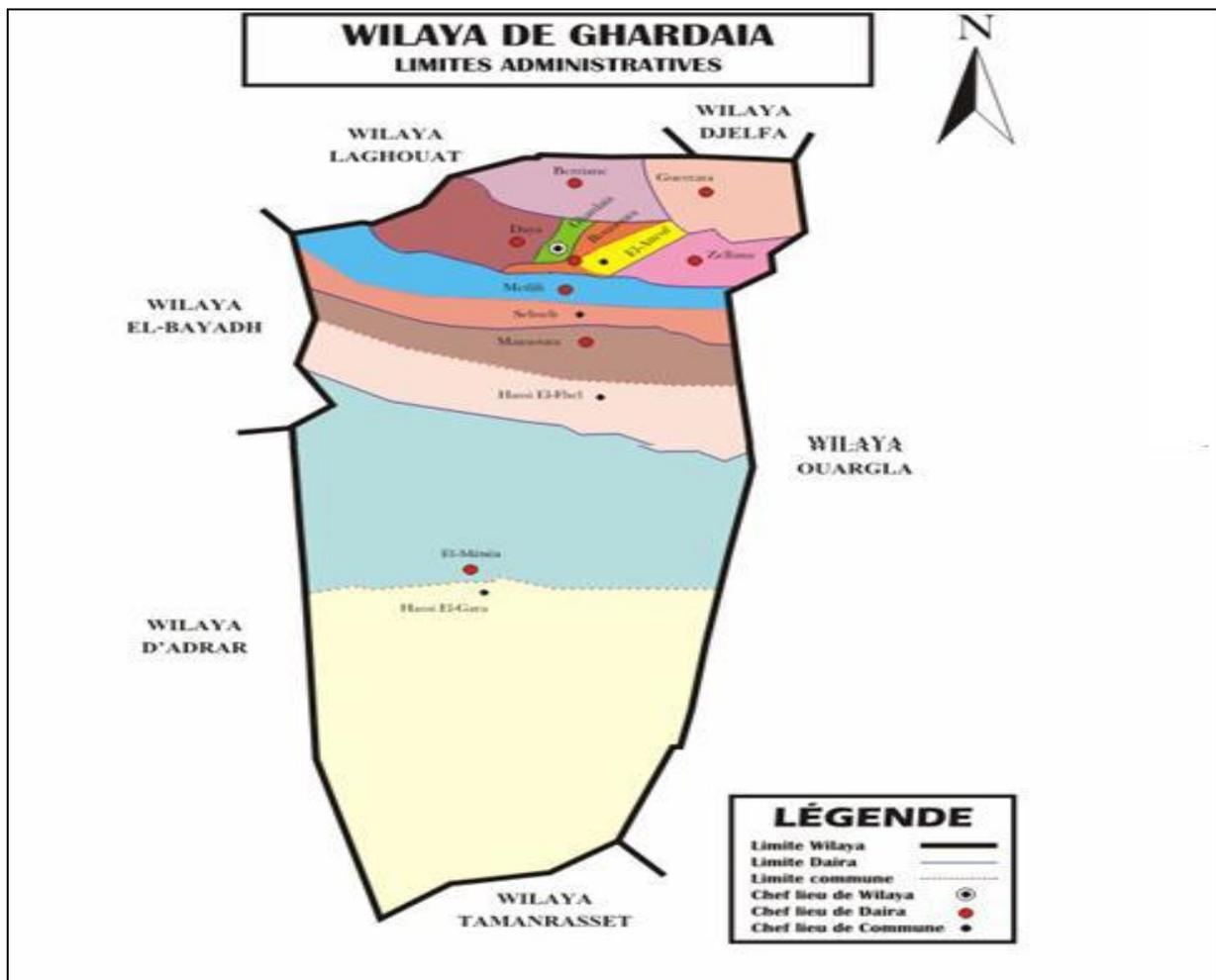


Figure 12 – Limite administrative de la Wilaya de Ghardaïa (ANSWG, 2011).

2. Caractéristiques de la ville

Elle est caractérisée par des plaines dans le Continental Terminal, des régions ensablées, la Chebka et l'ensemble de la région centrale et s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km et d'Est en Ouest sur environ 200 km (ANSWG, 2011).

Les Escarpements rocheux et les oasis déterminent le paysage dans lequel sont localisées les villes de la pentapole du M'Zab et autour duquel gravitent d'autres oasis (Berriane, Guerrara, Zelfana, Metlili et beaucoup plus éloignée au Sud El-Ménéa) (ANSWG, 2011).

L'appartenance au milieu saharien et aride contrait fortement l'occupation de l'espace. L'implantation des villes s'est faite par rapport aux grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat, relief ...) (ANSWG, 2011).

Le couvert végétal est pauvre. La structure et la nature du sol ne sont pas favorables à l'existence d'une flore naturelle riche. La verdure est plutôt créée par l'homme. Cependant la région n'est pas dépourvue de végétation naturelle ; elle est rencontrée dans les lits d'oueds (ANSWG, 2011).

Du point de vue urbain, les agglomérations sont classées selon leur statut administratif, la taille (nombre d'habitants) et la localisation, par rapport aux axes principaux (la hiérarchie fonctionnelle). De ce fait on a:

- Ville d'importance nationale : GHARDAIA
- Villes d'importance régionale : GUERRARA, EL-MENEA, METLILI ET BERRIANE.
- Centres urbains d'importance locale : BOUNOURA, EL-ATTEUF, HASSI EL-GARA(ANSWG, 2011).

Ghardaïa est une région très active où le secteur tertiaire est prépondérant avec le commerce, le tourisme et l'artisanat mais aussi l'agriculture (phoenicicole) et l'industrie. Dans la Wilaya de GHARDAIA le niveau de l'emploi est meilleur que le niveau national (ANSWG, 2011).

3. Aperçu géographique

Le désert se présente sous des formes diversifiées :

- Les ergs, étendus massifs de dunes.
- Les regs, plaines caillouteuses qui courent vers l'horizon sans que le moindre relief vienne accrocher le regard(ANSWG, 2011).

Les sols pierreux recouvrent une partie importante des déserts. La vie y est pratiquement inexistante. La nature du sol et le climat jouent un rôle primordial dans la désertification. La température des déserts n'est donc qu'un phénomène secondaire (ANSWG, 2011).

4. Milieu physique

Le milieu physique comporte l'ensemble des formes géo morphogénétiques hérités du quaternaire, et constituant la géomorphologie de cette région.(MAHMA, 2012).

.1. Géomorphologie

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (D.P.A.T., 2005).

-La Chabka du M'Zab.

-La région des dayas.

-La région des Ergs (BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012)

4.1.1. Chabka

La chabka est un plateau crétaé rocheux et découpé en tous les sens par de petites vallées irrégulières, qui semblent s'enchevêtrer les unes des autres. Ces vallées sont plus ou moins parallèles et leur pente dirigée vers l'Est. (D.P.A.T., 2012 in DAOUADI,2013)

La hauteur des vallées du M'Zab est assez variable, et n'atteint pas les cent mètres. Leur largeur est parfois de plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes comprennent des calcaires, et au-dessous des marnes ; les calcaires généralement dolomitiques constituent le plateau et le haut des berges (D.P.A.T., 2012 in DAOUADI,2013).

Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km², représentant 21 % de la région du M'Zab (COYNE, 1989). Vers l'Ouest, il se lève d'une manière continue et se termine brusquement à la grande falaise d'El loua, qui représente la coupe naturelle et oblique de ce bombement. Mis à part, Zelfana et Guerrara, les neuf autres communes (Ghardaïa, Berriane, Daïa, Bounoura, El Ateuf, Metlili, Sebseb, Mansoua et Hassi -Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau (BEN SEMAOUNE, 2007;MAHMA, 2012 ; DAOUADI, 2013).

4.1.2. Région des dayas

Au sud de l'Atlas saharien d'une part et d'autre part du méridien de Laghouat s'étend une partie communément appelée «plateau des dayas» en raison de l'abondance de ces entités physiologiques et biologiques qualifiées des dayas.

Dans la région de Ghardaïa seule la commune de Guerrara, située au nord-est, occupe une petite partie du pays des dayas.

Le substratum géologique miopliocène, les dayas sont des dépressions de dimensions très variables, grossièrement circulaires. Elles ont résulté des phénomènes karstiques de dissolution souterraine qui entraînent à la fois un approfondissement de la daya et son extension par corrosion périphérique (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT-MAHMA., 1997). La région des dayas par sa richesse floristique offre par excellence les meilleures zones de parcours.(BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012).

4.1.3. Région des Regs

Elle est située à l'Est de la région de Ghardaïa, et de substratum géologique pliocène, cette région est caractérisée par l'abondance des Regs, qui sont des sols solides et caillouteux. Les Regs

sont le résultat de la déflation, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf. (BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012 ; DAOUADI, 2013).

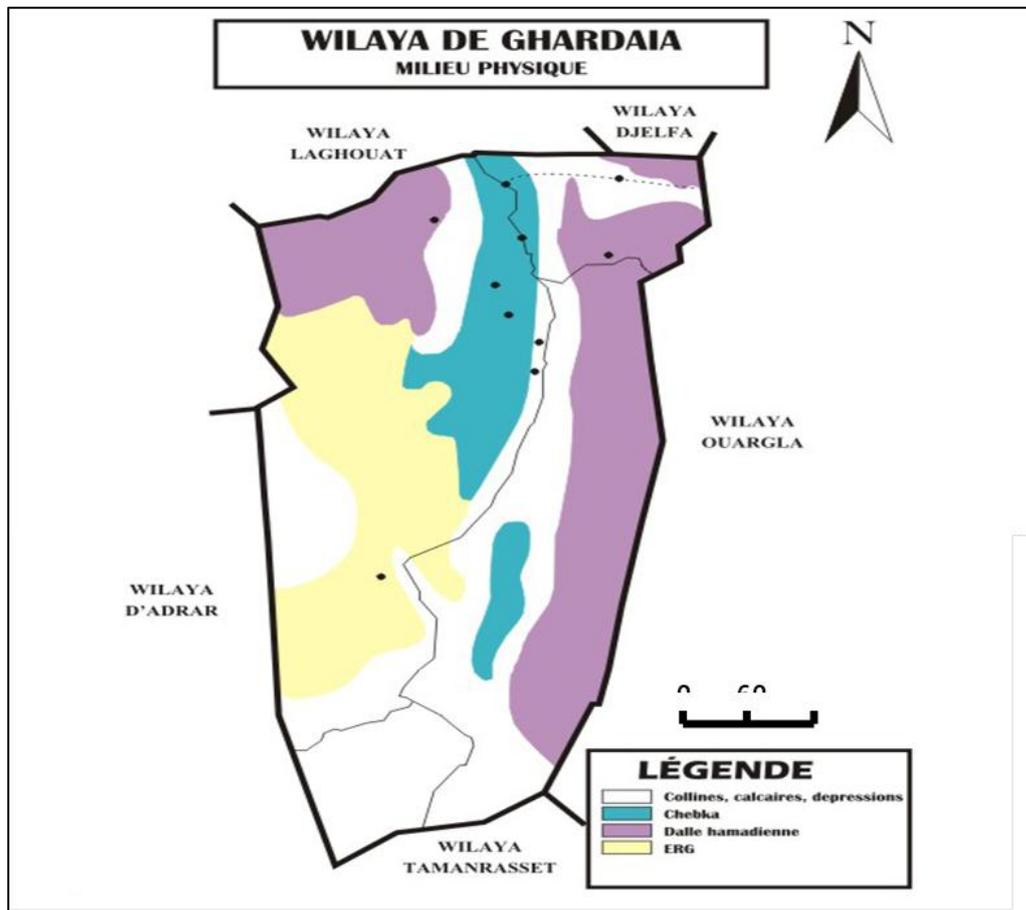


Figure 13- Milieu physique de la wilaya de Ghardaïa (ATLAS, 2005 ; ASWG, 2011).

5. Climatologie

Le caractère fondamental du climat Saharien est la sécheresse de l'air, mais l'existence des micros - climats jouent un rôle considérable dans les milieux désertiques. Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques (microclimat). Au sein d'une palmeraie on peut relever un degré hygrométrique élevé, le degré hygrométrie modifie les effets de la température pour l'homme (ASWG, 2011).

Les éléments qui viennent modifier considérablement les effets de la température par les êtres humains et sur la végétation :

- L'Humidité
- Le Rayonnement
- La composition des sols
- Le relief,.....

Il faut tenir compte également du fait que les moyennes de températures sont relevées à l'ombre. et celle-ci est rare au Sahara où la température au sol peut dépasser 60 °C .

Le climat Saharien se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée (ASWG, 2011).

5.1. Pluviométrie

Les précipitations sont très faibles et irrégulières. A Ghardaia, elles varient entre 13 et 68mm sur une durée moyenne de quinze (15) jours par an. A El-Ménéa, elles varient entre 0,4mm et 147,5mm avec une moyenne annuelle de 41,5mm; le nombre de jours de pluie ne dépasse pas onze (11) jours (entre les mois de Janvier et Mars). Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf cas exceptionnels (ASWG, 2011).

5.2. Température

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 36,3 °C, le maximum absolu de cette période a atteint 47 °C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 9,2 °C, le minimum absolu de cette période a atteint -1 °C (ASWG, 2011).

5.3. Vents

Il n'y a pas de désert sans vents. Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en Mars et Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut (ASWG, 2011).

5.4. Evaporation

L'évaporation est très intense ; elle est de l'ordre 527.62 mm /an, avec un maximum 76.97 mm au Juillet et un minimum de 17.62 mm au mois de Janvier (ASWG, 2011).

5.5. Insolation

L'ensoleillement est considérable à Ghardaïa, car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année. La durée moyenne de l'insolation est de 70.71heures/mois avec un maximum de 74,42heures au mois d'Avril ; et un minimum de 46.39 heures au mois de février. La durée moyenne annuelle est de l'ordre 699.42heures/an. (O.N.M., 2013 in DAREM, 2013).

5.6. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est très faible, elle est de l'ordre de 21,98% en juillet et atteignant un maximum de 53,81% en janvier et une moyenne annuelle de 37,77%.(O.N.M., 2013 in DAREM, 2013).

Tableau 14. Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa (1996-2012) (O.N.M., 2013 in DAOUADI, 2013)

| | T. (°C) | P (mm) | H% | I (heure) | E (mm) | V.V (m/s) |
|------------------|---------|--------|-------|-----------|---------|-----------|
| Janvier | 12,34 | 5,05 | 53,81 | 50.74 | 17.62 | 5,91 |
| Février | 14,38 | 3,06 | 44,21 | 46.39 | 25.97 | 7,69 |
| Mars | 16,66 | 8,23 | 38,38 | 52.87 | 33.58 | 6,9 |
| Avril | 21,3 | 11,23 | 38,63 | 74,42 | 43.18 | 7,75 |
| Mai | 26,11 | 2,62 | 28,34 | 62.64 | 50.18 | 7,09 |
| Juin | 30,99 | 2,12 | 24,87 | 67 | 75.04 | 7,08 |
| Juillet | 33,41 | 1,17 | 21,98 | 70.60 | 76.97 | 6,11 |
| Aout | 33,63 | 9,96 | 25,61 | 65.93 | 71.15 | 5,63 |
| Septembre | 29,16 | 15,85 | 35,30 | 54.18 | 51.47 | 6,17 |
| Octobre | 23,88 | 8,2 | 42,74 | 54.5 | 33.07 | 7,82 |
| Novembre | 16,6 | 3,46 | 46,94 | 50.63 | 24.57 | 5,29 |
| Décembre | 12,51 | 6,06 | 52,47 | 49.52 | 24.82 | 6,16 |
| Moyenne | 22,58 | 77,01* | 37,77 | 699.42* | 527.62* | 6,63 |

H.Humidité relative

P. Pluviométrie

E. Evaporation

I. Insolation

V.V. Vitesse de vent

T.Température moyenne

*cumulés annuelle

5.7. Synthèse des données climatiques

La Synthèse climatique est basée sur le diagramme Ombrothermique de Gaussen et le Climagramme d'Emberger(MAHMA, 2012).

5.7.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

D'après BAYGNOLS et *al.*(1970), le mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviométrique sur lequel les températures sont portées à une échelle double que celle des précipitations (MAHMA, 2012).

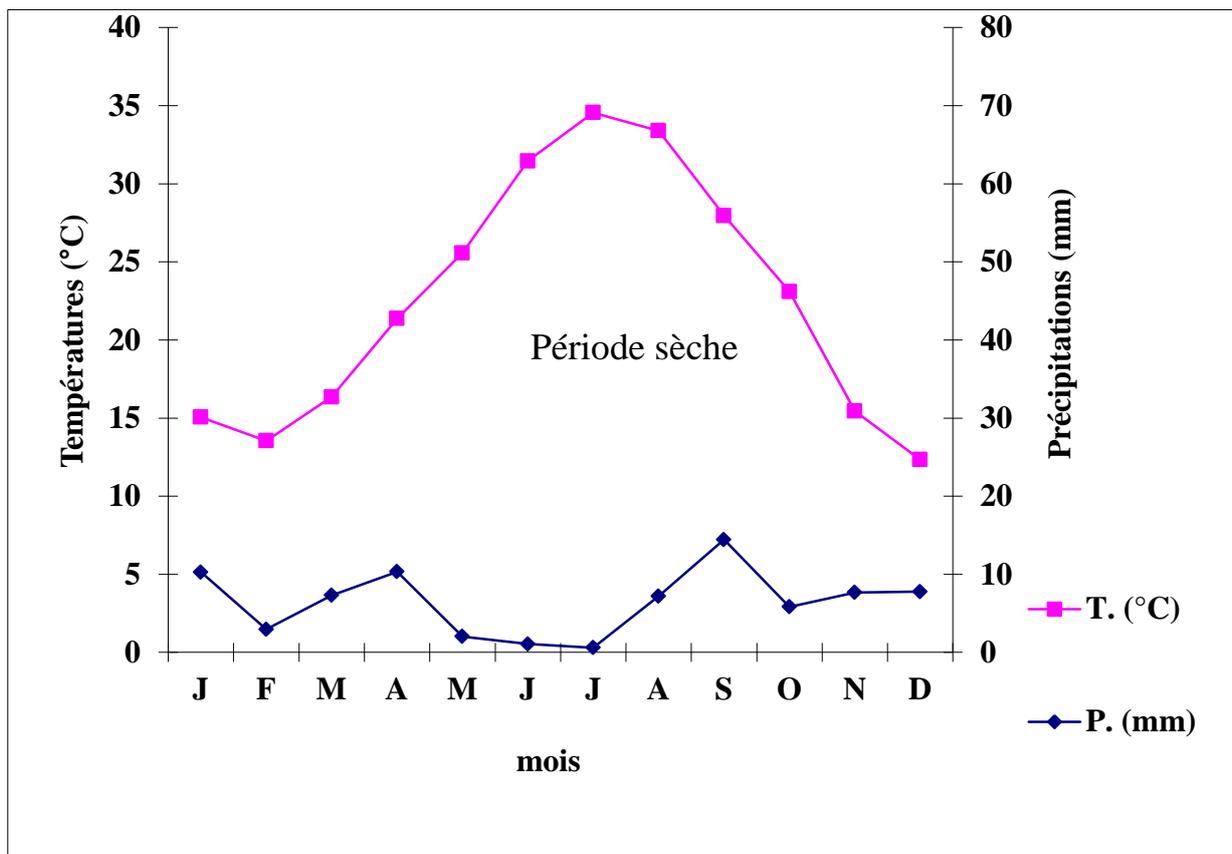


Figure 14.Diagramme Ombrothermique de Gaussen (BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012 ; DAOUADI,2013)

5.7.2. Climagramme pluviothermique d'Emberger

Selon STEWART, (1969) le Climagramme d'Emberger permet de savoir à quel étage bioclimatique se situe notre région: l'indice est égal au quotient pluviométrique d'Emberger, qui peut s'écrire (MAHMA, 2012) :

$$Q_2 = 3,43 \times P / (M-m)$$

Où :

Q : est le facteur de précipitations d'Emberger.

P : est les précipitations annuelles.

m : est la température du mois le plus chaud.

M : est la température minimale du mois le plus froid.

L'étage bioclimatique de la région de Ghardaïa est de type saharien frais, à hiver frais et son quotient thermique $Q_2 = 6,78$.

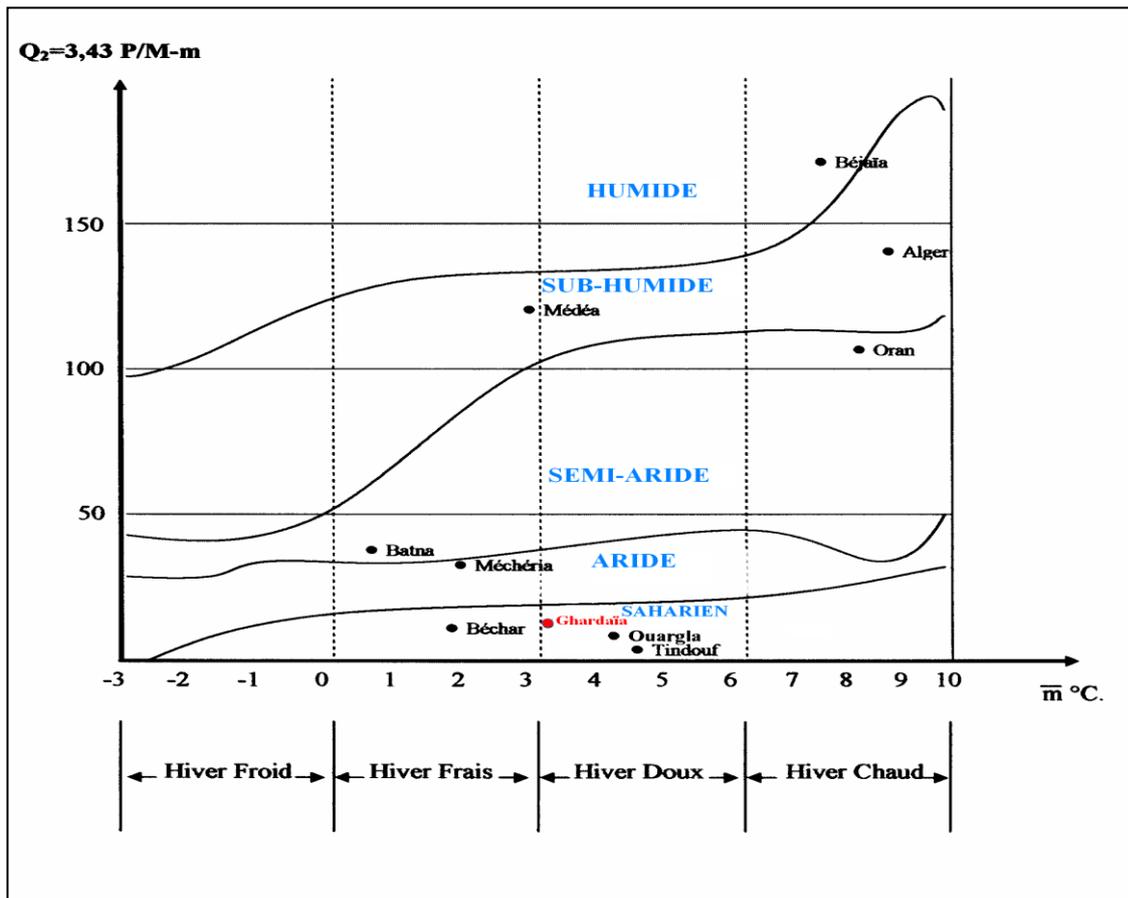


Figure 15. Climagramme d'Emberger de la région de Ghardaïa(BEN SEMAOUNE, 2007 ; MAHMA, 2012 ;DAOUADI,2013)

6. Ressources hydriques

Selon l'ABHS (2005), les ressources hydriques sont caractérisées par plusieurs types de nappes et se résument principalement à travers :(A.N.R.H., 2011).

6.1. Nappes aquifères

Les nappes aquifères comportent :

6.1.1. Nappe du continental intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grès-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique (A.N.R.H., 2011).

La nappe du CI, selon l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au CI, elle est :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana. Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia) (A.N.R.H., 2011).

6.1.2. Nappe phréatique

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des dattiers L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie (A.N.R.H., 2011).

La qualité chimique des eaux est comme suit :

- A l'amont, elle est bonne à la consommation.
- A l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (A.N.R.H., 2011).

6.1.3. Complexe terminal

Cette nappe n'a pas l'importance du Continental Intercalaire (CI) ; elle n'en est pas moins présente dans tout le bas-Sahara où elle procure des ressources hydriques non négligeables notamment dans les Oasis de Ouargla, Oued-Righ et Zibans. La région de Ghardaïa à cause de son altitude, ne bénéficie pas des eaux de cette nappe (A.N.R.H., 2011).

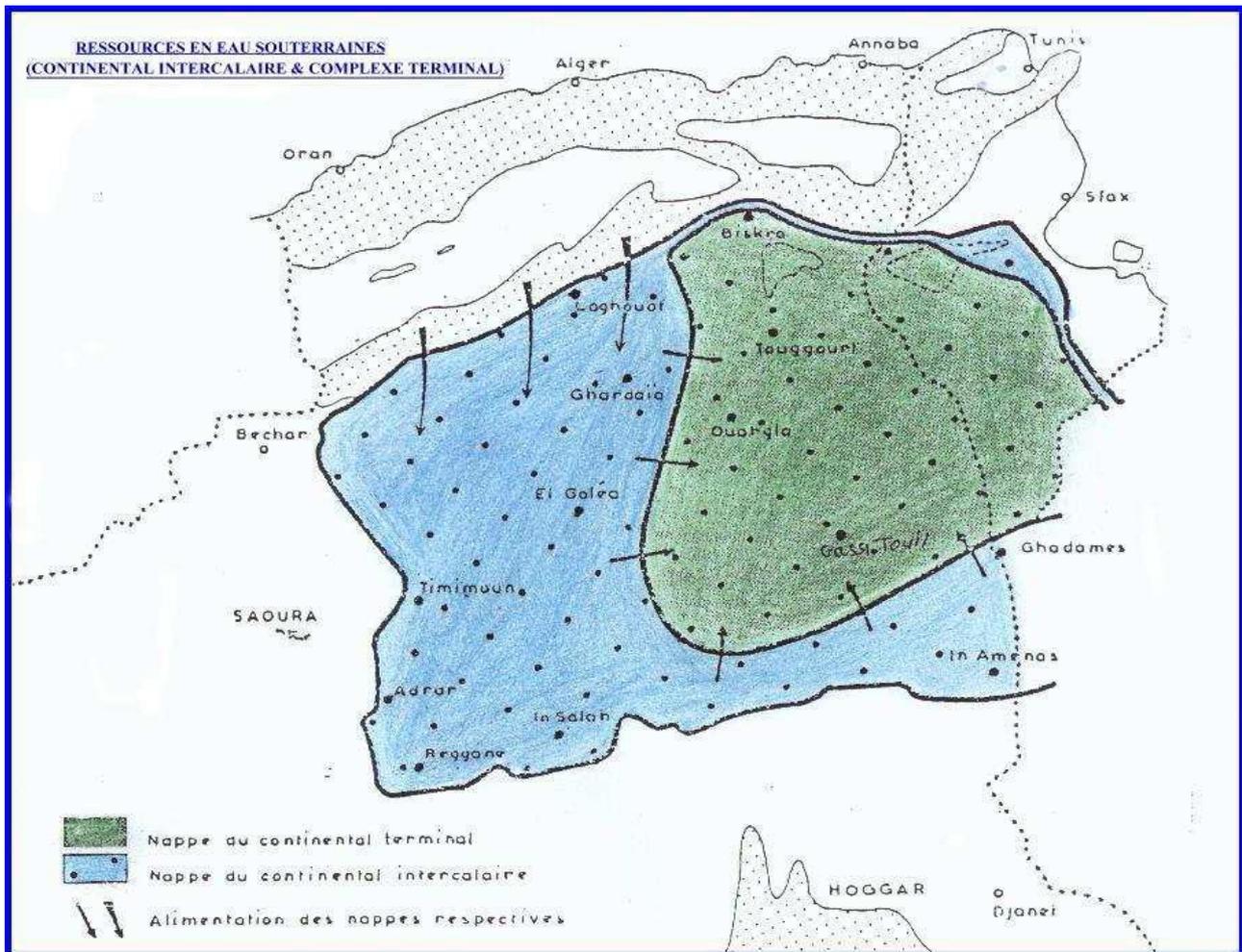


Figure 16. Ressources en eau souterraines (A.N.R.H., 2011)

7. Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment " la dorsale du M'Zab". L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres (A.N.R.H., 2011).

Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres (A.N.R.H., 2011).

Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Infero-flux (nappes phréatiques) (A.N.R.H., 2011).

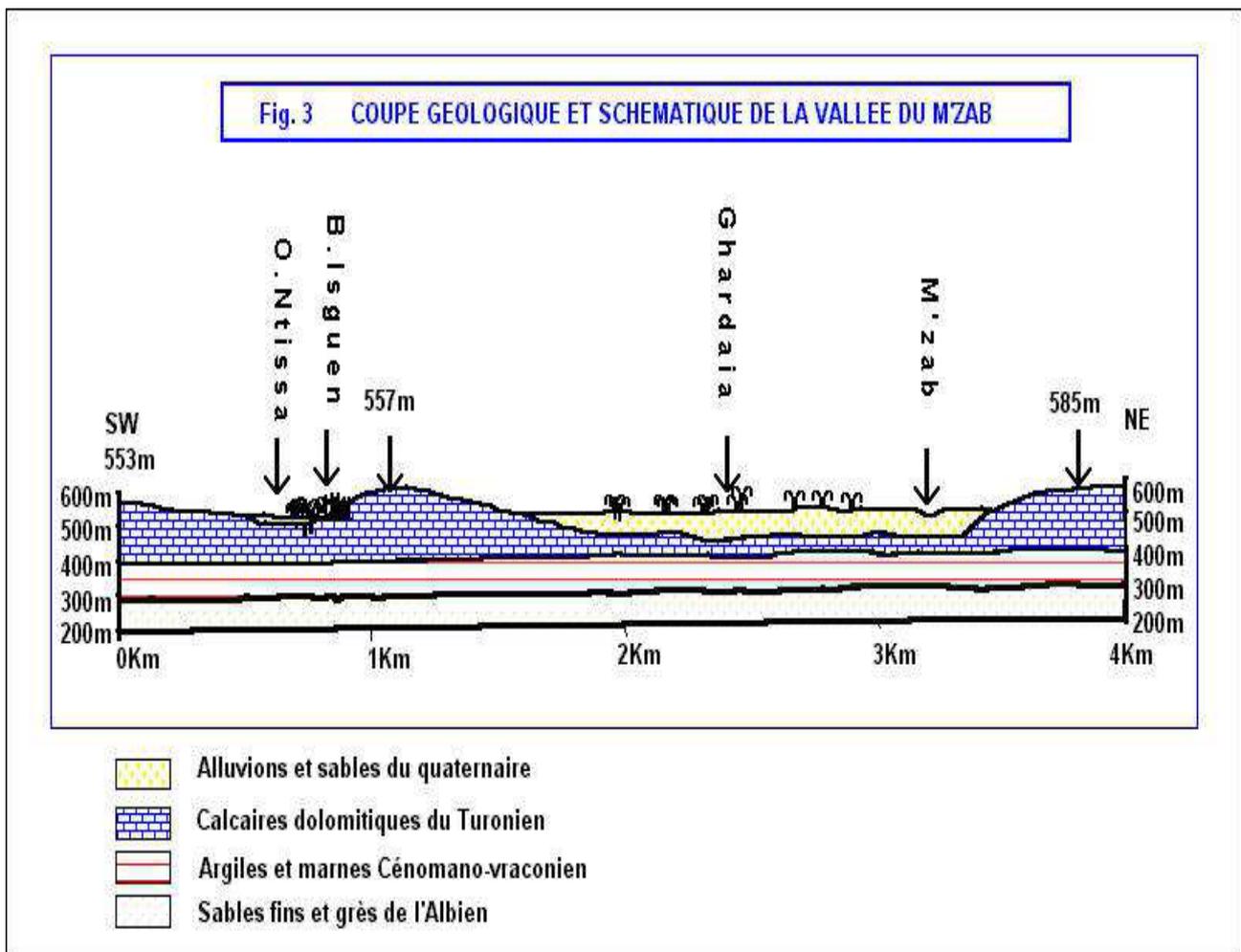


Figure.17- Coupe géologique schématique de la région du M'zab (A.N.R.H., 2011).

8. Hydrologie

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir (A.N.R.H., 2011).

L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig.18), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région (A.N.R.H., 2011).

Exceptionnellement, quand les pluies sont importantes, surtout au Nord-Ouest de la région de Ghardaïa, ces oueds drainent d'énormes quantités d'eaux. Une étude des crues de l'oued Mzab (ANRH, 1994) a estimé les débits de crue décennale et centennale à 205 et 722 m³/s. (A.N.R.H., 2011).

Les conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables, notamment pour l'oued M'Zab, et Metlili où à chaque pluie exceptionnelle cause beaucoup de dommages principalement dans les agglomérations (A.N.R.H., 2011)

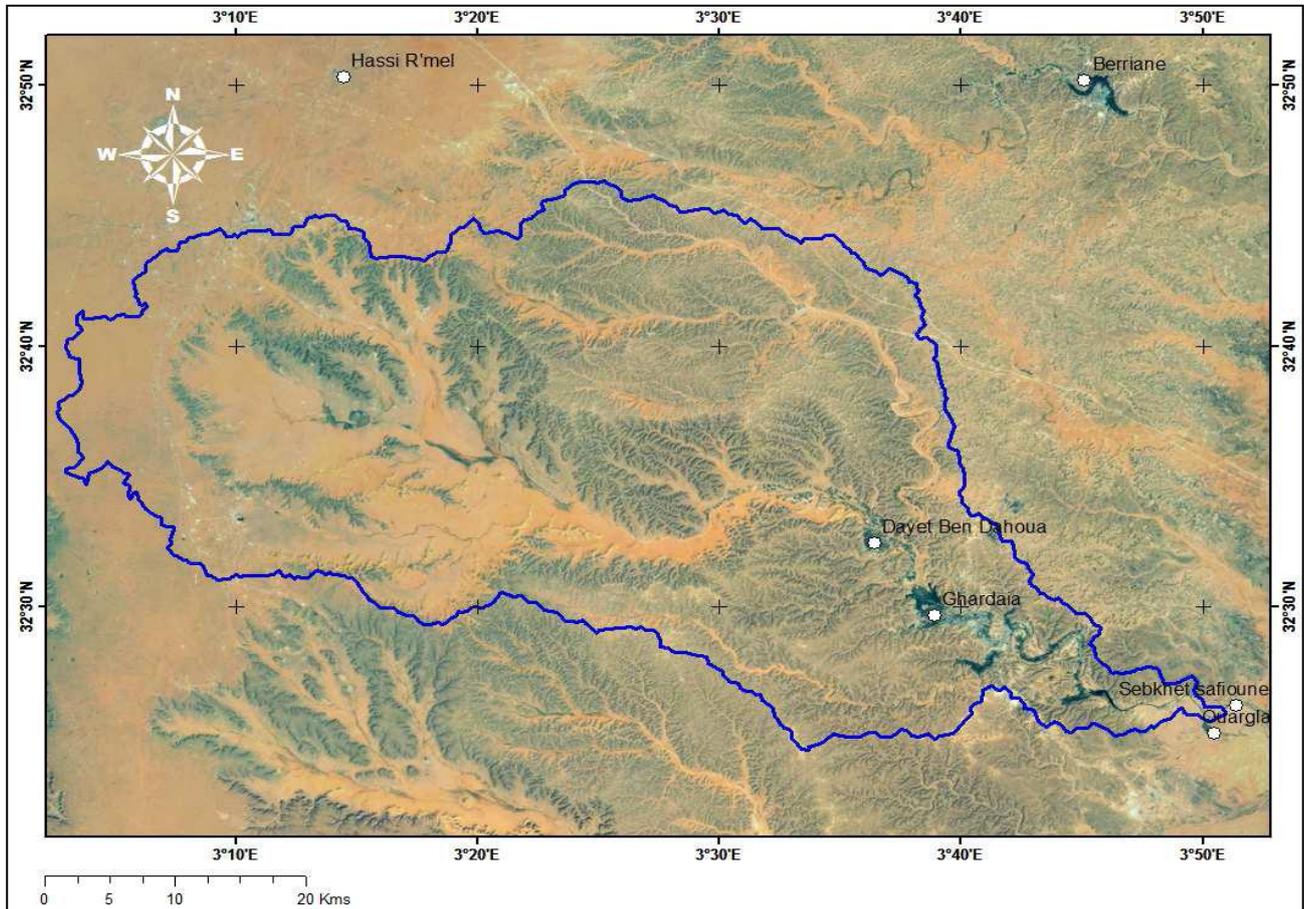


Figure 18. Bassin versant de l'oued M'zab (A.N.R.H., 2011)

Dans le désert non seulement les précipitations sont rares et irrégulières mais l'évaporation est considérable et plus importantes que le niveau de précipitations.(A.N.R.H., 2011).Actuellement on utilise, sans compter les réserves d'eau fossile situées dans la couche géologique du continent intercalaire (nappe albienne 1/41/) (A.N.R.H., 2011).

Les forages vont chercher l'eau à de grandes profondeurs. On parle d'une fabuleuse réserve de 800000 m² située en dessous du grand Erg Oriental mais quelques soient les estimations, il n'y a qu'une certitude : ces réserves ne sont pas réalimentées et donc limitées dans le temps (A.N.R.H., 2011).

L'exploitation de l'eau dans la vallée du M'Zab s'opérait le creusement progressif de certains puits traditionnels atteignant la nappe phréatique. Actuellement, l'alimentation en eau s'effectue par des forages de profondeur variable de 350 à 500 mètres puisant l'eau fossile de la nappe albienne (Continental intercalaire) dont les réserves sont estimées à 15000 milliards de mètres cubes (A.N.R.H., 2011).

9. Hydraulique

- * Nombre de réservoirs et châteaux d'eau : 106 avec une capacité de : 117170M³.
- * 122 digues de retenus avec une capacité de 671575M³
- * Nombre de forages exploités : 360 pour un débit total de : 811772,81M³ /j
- * Longueur du réseau d'AEP : 1315309ml
- * Longueur du réseau d'assainissement : 906562 ml.(ASWG, 2011).

L'origine des ressources hydriques de la Wilaya est essentiellement souterraine (nappe du complexe terminal et nappe du complexe intercalaire). Néanmoins les réserves sont méconnues (ASWG, 2011).

- Disponibilités hydrauliques : 2.178 L/S.
- Nombre de réservoirs et de châteaux d'eau : 84 avec une capacité de 91 915 m³.
- 43 digues de retenues avec une capacité de : 258.000 m³.
- Nombre de forage exploités : 286 pour un début total de 612.197m³/j.
- Longueur du réseau AEP : 794 886 km.
- Longueur du réseau assainissement : 699.591 km(ASWG, 2011).

- Les eaux sont captées au moyen de :
 - forages
 - Puits

Les capacités hydriques annuellement mobilisées s'élèvent à 360,05hm³ et sont affectées aux différents pôles d'utilisation (AEP, AEI, Irrigation). La dotation moyenne en AEP est de 180 litres / jour / habitant. La part affectée à l'industrie est de 4,15 % du volume global mobilisé, alors que 54,24 % le sont pour l'agriculture (ASWG, 2011).

10. Pédologie

Au Sahara, la couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes : sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols halomorphes et sols hydromorphes.

La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible (inférieur à 1%) et ne permet pas une bonne agrégation. Ces sols squelettiques sont très peu fertiles car leur rétention en eau est très faible, environ 8% en volume d'eau disponible (DAOUD et HALITIM, 1994 in CHENINI, 2013).

La région du M'zab est caractérisée par des sols peu évolués, meubles, profonds, peu salés et sablo-limoneux. Elle possède une texture assez constante qui permet un drainage naturel suffisant. Par contre la dorsale du M'zab qui entoure la vallée appartient aux regs autochtones (BENZAYET, 2010 in CHENINI, 2013).

En plus de l'existence de 11 exploitations minières (carrières), la Wilaya de GHARDAIA est dotée d'un potentiel minier appréciable(ASWG, 2011).

Les substances existantes :

- Les calcaires et dolomie (industrie des liants)
- Les argiles (céramique, produits rouges, ciment)
- Le gypse (liants, additifs)
- Sables et graviers (matériaux de construction, routes)(ASWG, 2011).

11. Population

La population totale de la Wilaya de Ghardaia est estimée à la fin de l'année 2011 à 413560habitants contre 405015 en 2010, soit une augmentation absolue de 8545 et un taux d'accroissement démographique dégressif de l'ordre de 2,11 % en 2011. La Wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 84660,12km², soit une densité de peuplement de 4,88habitants/ km² (ASWG, 2011).

Cette densité moyenne de peuplement de la Wilaya est très faible. L'analyse des densités par commune montre le caractère inégal de la répartition de la population à travers le territoire de la Wilaya (ASWG, 2011).

- Les plus fortes densités sont observées dans les communes :
 - Ghardaïa 379,83habitants / km²
 - Bounoura 49,24habitants / km²
 - El-Atteuf23,87Habitants / km²
 - Guerrara 19,56 habitants / km² (ASWG, 2011).
- Les plus faibles densités sont enregistrées au niveau des communes suivantes :
 - Sebseb 0,74habitants / km²

- Hassi El- Gara 0,69habitants / km²
- Mansoura 0,67habitants / km²
- Hassi El-F'hel 0,62 habitants / km² (ASWG, 2011).

11.1. Répartition de la population par sexe et par âge

La population ayant un âge inférieur à 15 ans représentant 34% du total de la population, constitue dans les années à venir une importante ressource humaine (ASWG, 2011).

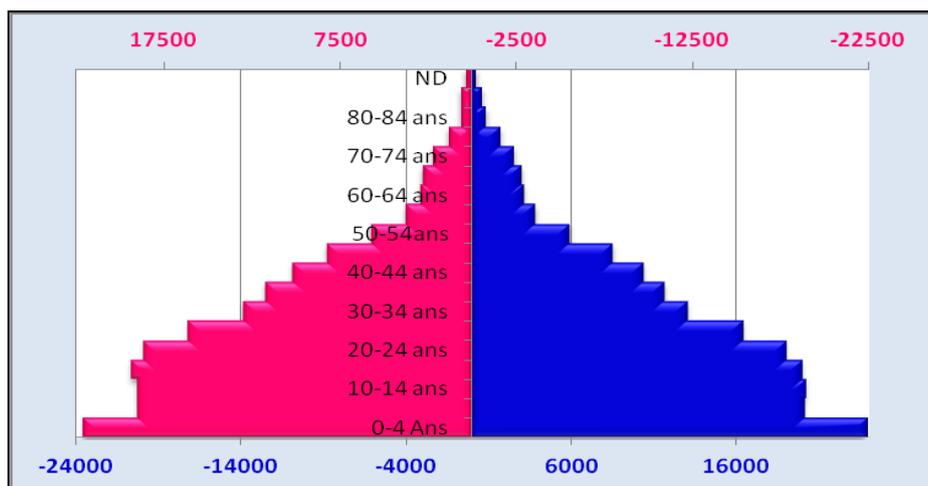


Figure 19. Répartition de la population par sexe et par âge de la vieille ville de Ghardaïa(A.N.D.I.W.G.2013)

11.2. Répartition de la population occupée

La population totale de la wilaya est estimée à 363 598 habitants, soit une densité de 4.3 habitants par Km².

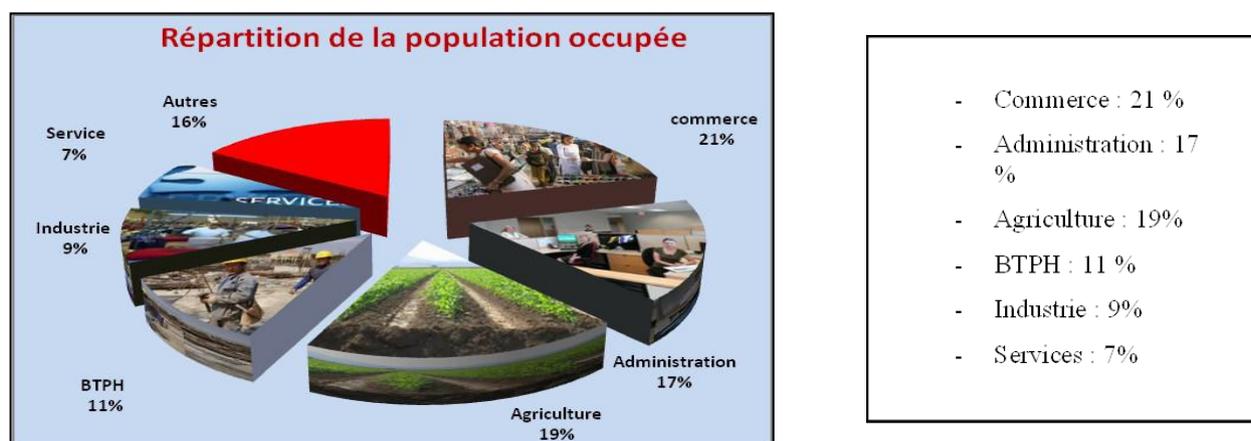


Figure 20. Répartition de la population occupée de la vieille ville de Ghardaïa (A.N.D.I.W.G.2013)

12. Infrastructure de Basse

12.1. Réseau routier

Un réseau routier important : 751 kms de routes nationales, 257,7 Kms de chemins de wilaya et 166,5 Kms de chemins communaux (ASWG, 2011).

12.2. Réseau Aéroportuaire

La wilaya dispose de deux aéroports : Ghardaïa – Noumérat et El Ménéea(ASWG, 2011).

12.3. Réseau électrique

La wilaya dispose d'un un réseau électrique puissant

- Taux d'électrification urbain: 98 %
- Taux de couverture en gaz de ville: 69 %(ASWG, 2011).

13. Ecoles Primaires Publiques (EPP) et assainissement

La wilaya de Ghardaïa dispose d'un réseau collectif d'assainissement de 825 km en bon état. Les eaux usées rejetées ne subissent aucun traitement et la totalité est déversée dans les oueds de la région et ce par manque de stations d'épuration. Cette situation néfaste peut engendrer des risques de pollution, des nappes superficielles qui sont souvent utilisées pour l'irrigation des palmeraies limitrophes et qui sont proches de la surface du sol (ASWG, 2011).

- Taux de raccordement réseau A.E.P : 89.4%
- Taux de raccordement réseau assainissement : 86.4% (ASWG, 2011).

14. Industrie

Le tissu industriel de la Wilaya est composé de 196 unités industrielles dans les branches d'activité :

- ISMME : 27 unités dont : 25 unités du secteur privé
- Matériaux de construction, céramique et verre : 58 unités dont : 58 unités du secteur privé
- Textile : 58 unités dont : 58 unités du secteur privé
- Agroalimentaire : 10 unités dont : 10 unités du secteur privé
- Chimie, caoutchouc et plastique : 24 unités dont : 24 unités du secteur privé

- Bois, liège, papier et impression : 19 unités dont : 19 unités du secteur privé (ASWG, 2011).

15. Répartition des terres

La wilaya de Ghardaïa s'étend sur une superficie totale de 8.656.000 hectares, et qui se répartit en (MAHMA, 2012) :

15.1. Terres utilisées par l'agriculture (ou SAT : Surface agricole Totale)

Elles se répartissent essentiellement à travers:

- Surface Agricole Totale : 1.370.911 has
- Superficie agricole utile (SAU) : 30.200 Ha
- Pacages et parcours : 1.330.539 Ha
- Terres improductives des exploitations agricoles : 172 Ha (MAHMA, 2012).

15.2. Terres improductives non affectées à l'agriculture

D'une superficie de 7.285.089 ha, les terres improductives non affectées à l'agriculture concernent les superficies couvertes par les agglomérations, bâtiments divers, voies de communications et les terres non susceptibles d'être cultivées ou transformées en parcours(MAHMA, 2012).

| Superficie totale de la Wilaya | superficies Agricola utile (S.A.U) | Pacages et parcours | Terres improductives des exploitations | Forêt et alfa | Terres improductives |
|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|--|---------------|----------------------|
| 8.656.000 ,00 | 300.200,00 | 1.340.539 ,00 | 172,00 | - | 7.065.101,00 |

Tableau 15.Occupation du sol de la Wilaya de Ghardaïa (MAHMA, 2012)

16. Flore

La flore Saharienne est considérée comme pauvre si l'en compare le petit nombre d'espèces qui habitent ce désert comparativement à l'énormité de la surface qu'il couvre (OZENDA, 1983). Au Sahara, la culture dominante est le palmier dattier ; l'Oasis est avant tout une palmeraie, entre ces palmiers dattiers on trouve les arbres fruitiers et les cultures sous-jacentes.

En dehors des palmeraies, on peut rencontrer des peuplements floristiques halophiles constituant un cas particulier important dans cette zone subdésertique. (MAHMA, 2012)

17. Potentialités agricoles

Les terres utilisées par l'agriculture couvrent 1370911ha.dont :

- Surface agricole utile (S.A.U) : 32745ha.en irrigué en totalité
- Pacages et parcours : 1337994ha.
- Terres improductives des exploitations agricoles : 172ha.(ASWG, 2011).

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation :

- Oasien de l'ancienne palmeraie
- La mise en valeur (ASWG, 2011).

Le patrimoine phoénicicole de la Wilaya compte 1214110palmiers dont 979500 palmiers productifs pour une production annuelle moyenne de 47000tonnes dont 19000tonnes de type Deglet-Nour. Avec l'extension des surfaces, le secteur de l'agriculture offre de grandes perspectives de développement (ASWG, 2011).

18. Répartition du cheptel

Les systèmes d'élevages sédentaire et nomade sont importants dans la Wilaya de Ghardaïa, surtout l'élevage familial de l'espèce caprine est très répandu dans la wilaya, afin de satisfaire les besoins de la famille en lait et produits laitiers. Le cheptel se répartit par espèce et nombre de têtes sont résumés dans le (Tabl.16) (MAHMA, 2012).

| Espèces | Ovins | Bovins | Caprins | Camelins | Poulets de chaires | Ruches |
|-----------|--------|--------|---------|----------|--------------------|--------|
| Effectifs | 356000 | 2988 | 152000 | 11060 | 135000 | 1430 |

Tableau 16. Répartition du cheptel (Têtes/sujets) (ASWG, 2011)

19. Productions Animales

La production animale dans la région de Ghardaïa est importante, si l'élevage camelin fournit une grande quantité de viande, l'élevage bovin fournir une grande quantité de lait (Tabl.17) (MAHMA, 2012).

| | Viandes | | Lait (10 ³ litres) | Miel | Laine |
|--------------------|---------|----------|-------------------------------|------|-------|
| | Rouges | Blanches | | | |
| Productions | 46400 | 2025 | 19286 | 43 | 5340 |

Tableau 17. Productions Animales dans la région de Ghardaïa (ASWG, 2011)

20. Production végétale

Les cultures pratiquées au niveau de la wilaya de Ghardaïa, sont la céréaliculture, le maraîchage, les cultures fourragères et industrielles en plus de l'arboriculture fruitière. Les superficies affectées à chaque culture, les quantités récoltées et les rendements sont détaillées dans le (Tabl.18) (MAHMA, 2012).

| Cultures | Herbacées | | | | Phoeniculture | Arboriculture fruitière |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------------------|
| | maraîchères | céréalières | fourragères | industrielles | | |
| Quantités récoltées (Qx) | 545000 | 86161 | 390880 | 7990 | 470000 | 138048 |

Tableau 18. Production végétale (ASWG, 2011)

Chapitre IV. Méthodologie du travail

La salinité constitue la teneur de tous les sels solubles d'un sol ou d'une solution. (BENZELLAT ; 2012). Elle constitue un problème majeur des sols cultivés au Sahara Algérien surtout dans les dépressions par la suite d'irrigation continue accompagnée par un mauvais drainage.

La connaissance du niveau de salinité des sols est indispensable afin de déterminer leurs aptitude à la mise en valeur et de prendre les précautions nécessaire en vue d'une bonne pratique d'irrigation et de drainage.

Plusieurs éléments visibles à l'œil nu ou après analyses permettent l'identification d'un sol atteint de salinité. La mesure de la salinité se fait :

- Par l'observation de la surface du terrain : la surface est blanche (couleur de cristaux), apparition de cercles de sel brisés au voisinage des plans d'eau, formation de points et de stries de couleur blanche sur le sol, même en l'absence de croûtes en surface, indiquent que la salinité est très élevée. (BENZELLAT ; 2012)
- Par la présence de plantes indicatrices dites halophytes on obtient une idée de la quantité de sel du terrain. Ce dernier sur la base d'observations faites dans les sols salés des plaines sublittorales d'Oriane, a déterminé une correspondance entre halophytes et plantes cultivées. (BENZELLAT ; 2012)
- Au laboratoire ou sur terrain, on peut estimer le degré de salinité par la détermination de la conductivité électrique d'un extrait du sol ou de l'eau d'irrigation. Cette méthode est plus rapide que la précédente sera adoptée pour l'analyse. En outre, d'autres critères permettent de faire l'évaluation de la salinité tels que : la sodicité (S. A. R), le taux de sodium échangeable (E. S. P) et le pH. (BENZELLAT ; 2012)

1. Approche méthodologique

L'approche méthodologique choisie permet de caractériser la salinité d'un sol cultivé, et un sol non cultivé (témoin) dans la région de Zelfana afin de déduire l'impact de l'irrigation sur l'évolution des profils salin dans cette région.

Les critères d'évaluation étant la salinité exprimée par la conductivité électrique à 25°C et représenté par le profil salin.



Figure 21. Parcelles étudiées

2. Choix de site d'étude

Nous avons sélectionné le site de KHARNEG situé à Zelfana pour le déroulement de notre travail expérimental. Ce choix est fait pour les raisons suivantes :

- Le nombre important d'année de culture, ce qui est recherché pour estimer l'évolution annuelle des paramètres étudiés.
- Utilisation de l'irrigation traditionnelle par submersion, ce qui permet de déduire l'impact de l'irrigation.

3. Présentation de la région de zelfana

3.1. Histoire

Avant son urbanisation, la région de Zelfana était pratiquement le seul point de rencontre reliant le sud-est, au sud-ouest et le centre. Elle était le carrefour de toutes les caravanes se dirigeant vers n'importe quelle direction. Après le forage du premier puit en 1947, Zelfana a connu une grande activité urbaine, où se sont fixés les habitants venus des villes avoisinantes : Metlili, Ghardaïa et Ouargla, composés surtout de fellahs et d'éleveurs pour s'adonner à leurs fonctions dont la principale est la culture des palmiers (A.P.S., 2011).

La réputation de Zelfana s'est faite en grande partie autour de ses sources thermales et de leurs eaux hautement curatives. La ville de Zelfana a été promue au rang de commune en 1985, et au rang de daïra en 1991 (A.P.S., 2011).

3.2. Situation

La vallée de zelfana se situe à 56 Km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa, et à 40 Km à l'est de la route l'union africaine. Elle se situe à 60 Km au sud de Guerraraat à 665 Km au sud-est de la capitale Alger (A.P.S., 2011).

Les villes limitrophes de la commune de Zelfana sont :

- ❖ Au Nord : commune de Guerrara
- ❖ Au Sud : commune de métilichaamba
- ❖ Au L'est : wilaya de ouargla.
- ❖ A l'ouest : commune d'el Atteuf.

La ville de Zelfana est à 43 Km seulement de l'aéroport international Moufdi Zakaria. La ville est composée quatre grands quartiers : Zefana centre, Gouifla, Zelfana Oued, Hassi Nour(A.P.S., 2011).

3.3. Sites historiques

Zelfana contient plusieurs sites historiques, principalement :

- La grotte « Debbai »
- Le mausolée de cheikh Bienfaiteur Sidi M'ohamed Bourekba à 60 Km, sur la route de Gherrara.
- Le mausolée de cheikh Bienfaiteur Sidi Bouhafs Bouguefala.
- Le monticule « Kerrath » (A.P.S., 2011).

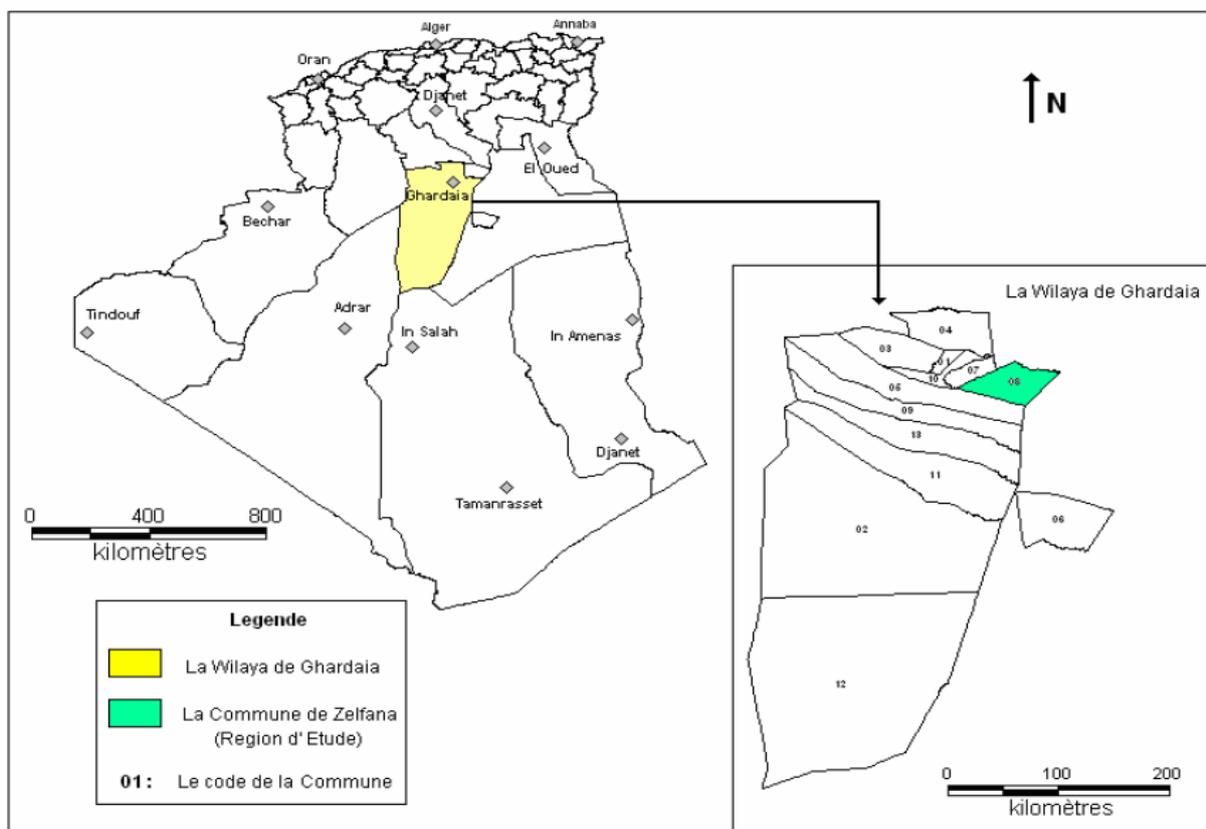


Figure 22. Localisation géographique de la zone d'étude (Zelfana) (KOUZMINE, 2003 in DAREM ; 2013)

La ville de Zelfana se situe à 65 Km du Chef-lieu de la wilaya (Ghardaïa), et à 40 Km à l'Est de la route de l'Unité Africaine, et à 5,5 Km au R.N 49. Elle couvre une superficie de 2220 Km² Elle est limitée :

- Au nord : Par la commune de Guerara
- Au sud : Par la commune de Metlili
- A l'ouest : Par la commune d'El Ateuf
- A l'est : Par la commune d'Ouargla (KOUZMINE, 2003 in DAREM ; 2013).

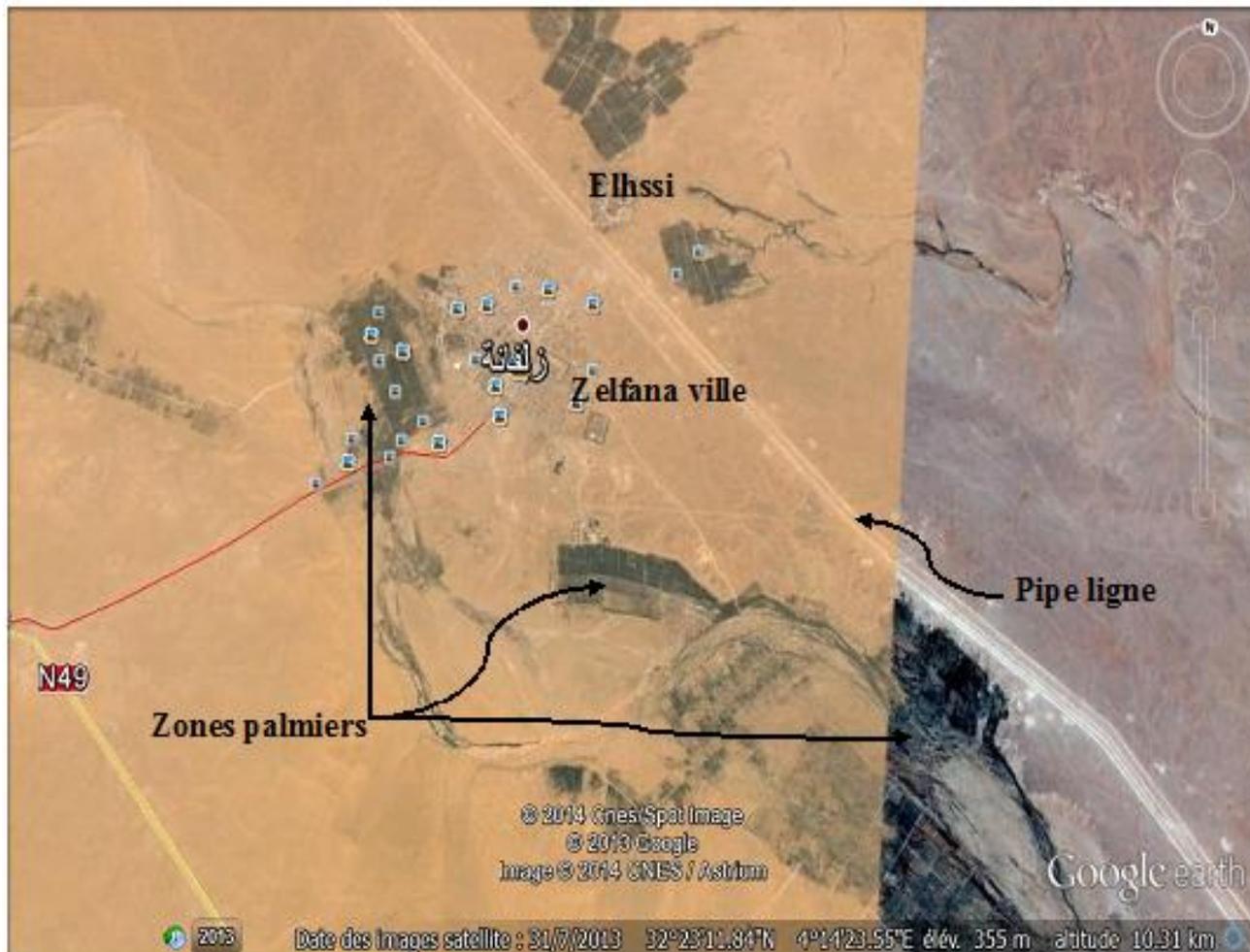


Figure 23. image satellitaire land SAT (multi spectral) les zones palmiers de la région de zelfana. (Google earth ;2013)

3.4. Climat

Le climat de Zelfana est de types saharien, sec en été, froid en hiver, Les hivers sont courts et rigoureux et les étés sont longs et chauds (O.N.M., 2013 in DAREM, 2013).

Les précipitations annuelles sont faibles allant de 100 à 200 mm/an et les températures extrêmes peuvent atteindre 50°C.(O.N.M., 2013 in DAREM, 2013).

Ces caractéristiques climatiques se répercutent directement sur l'hydrographie saharienne entraînant la rareté des eaux superficielles et l'importance des eaux souterraines (KOUZMINE, 2003 in DAREM, 2013).

3.5. Géologie de la région

La région de Zelfana appartient structurellement au domaine de la plate-forme saharienne, elle est recouverte en majeure partie par des formations récentes d'âges Néogène (Moi-Pliocène) et Quaternaire, qui reposent en discordance sur les formations carbonatées du Crétacé supérieur. (D.P.A.T., 2005 in DAREM, 2013)

3.5.1. Quaternaire

Le Quaternaire est largement répandu à travers toute la région, il est représenté par des encroûtements gypseux calcaires et des dépôts alluvionnaires (sable graveleux-caillouteux, limoneux et argileux)(D.P.A.T., 2005 in DAREM, 2013).

3.5.2. Néogène

Le Néogène est très développé dans la région, il est représenté par des formations continentales à faciès variables (complexe argilo-gypseux, argiles, conglomérats et microconglomérat)(D.P.A.T., 2005 in DAREM, 2013).

3.5.3. Crétacé supérieur

Il est caractérisé par des formations sub-affleurantes marines et lagunaires tabulaires, représentés par :

- ✓ Un Cénomaniens calcaire, dolomies marnes et roches argileuses gypsifères.
- ✓ Un Turonien calcaro-dolomitique à bancs de marnes et de grès.

Un Sénonien constitué par des alternances de calcaires et marnes dolomitisées et argiles gypsifères. Du point de vue sédimentologique, la région de Zelfana présente une lithologie étagée (D.P.A.T., 2005 in DAREM, 2013)

3.6. Hydrogéologie

La région de Zelfana est caractérisée par le développement d'une nappe phréatique essentiellement alimentée par des rejets des eaux domestiques, l'irrigation intensive des périmètres agricoles et les pertes dans les forages. Durant l'opération des sondages aucune nappe n'a été détectée du moins jusqu'à 6.00 mètres de profondeur (D.P.A.T., 2005 in DAREM, 2013).

3.6.1. Fissures

Le phénomène de fissuration du sol est observé dans la ville de Zelfana, il affecte la proximité des endroits humides. L'origine de ce phénomène est liée à la présence d'un complexe argilo gypseux sensible aux départs et arrivées des eaux.(D.P.A.T., 2005 in DAREM, 2013).

3.7. Hydrologie

La seule ressource de l'eau dans la commune de Zelfana est la nappe albienne, cette nappe est caractérisée par une salinité moyenne qui varie de 1,65 à 2,35 dS/m à 25°C avec une moyenne de $1,96 \pm 0,25$ dS/m à 25°C (OUALI et al. 2007 in DAREM, 2013).

Selon le diagramme de REVERSIDE modifié par DURAND (1958), les eaux albienne de Zelfana appartiennent aux classes C3 et C4 caractérisés par :

➤ Classe C3

C.E. à 25°C comprise entre 0,75 et 2,25 dS/m : eaux à forte salinité, inutilisables même avec un bon drainage ; il faut des pratiques spéciales de contrôle de salinité, et seules les plantes tolérantes peuvent être cultivées.

➤ Classe C4

C.E. à 25°C comprise entre 2,25 et 5 dS/m : eaux à très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation ; exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels. Les eaux thermales de cette nappe se caractérisent par une température moyenne de plus de 46 °C et une salinité moyennede 1 g/l(OUALI et al. 2007 in DAREM, 2013).

3.8. Tourisme

La ville de zelfana, dans la wilaya de Ghardaïa, compte un grand nombre de sources thermales avec des qualités assez spéciales aussi bien pour les soins médicaux. L'exploitation de ces ressources se fait actuellement par une intense activité agricole, et les thermes réalisés suivant des techniques et des structures modernes(A.P.S.2012).

Les eaux thermales de zelfana jaillissent du sous-sol, avec un puissant débit et à une température de 45°. Elles sont très riches en sels minéraux surtout le Chlorure et le sodium; elles se caractérisent par des soins spécifiques de grande valeur, surtout en ce qui concerne les maladies neurologiques, respiratoires, rhumatismales et quelques maladies de la peau. Zelfana est riche en structure

touristiques d'accueil de haut niveau : les bains thermaux, les hôtels, les piscines et différents lieux de repos et de villégiatures(A.P.S.2012).

- 09 hôtels sous forme de bungalows (studios d'habitation)
- 06 piscines collectives
- 05 bassins thermaux (A.P.S.2012).

Tableau 19. Composition minérale des eaux thermales de Zelafana(A.P.S.2012)

| Débit | P.d'H | T | R.S(mg) | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO ₄ | HCO ₃ | NO ₃ |
|-------|-------|------|---------|-----|----|-----|----|-----|-----------------|------------------|-----------------|
| Fort | 6.5 | 41.5 | 18.10 | 163 | 61 | 518 | 22 | 497 | 518 | 165 | 15 |

P.d'H : potentiel d'Hydrogène / T : Température / R.S : Résidu sec (mg)

3.9. Artisanat

- Tissage (tapis)
- Fabrication de tentes traditionnelles (Kheimas)
- Fabrication de nattes pour Kheimas(A.P.S.2012).

3.10. Industrie

L'industrie la plus importante à Zelfana est celle du pétrole et Gaz dans les champs de la région d'Oued Noumer.

- Champs d'Oued Noumer : Gaz, Gaz liquéfié, pétrole.
- Champs Dayet El Khir Gaz.
- Champs Bekouchette Gaz (A.P.S.2012).

3.11. Commerce

Zelfana possède un secteur commercial adapté aux exigences de la commune, ce qui couvre amplement les besoins des habitants et des visiteurs en vêtements et produits alimentaires. Il s'y trouve aussi un marché hebdomadaire (Mardi)étalant différentes marchandises et produits destinés à la vente (A.P.S.2012).

Zelfana, de par son caractère essentiellement touristique, connaît un développement durable et soutenu dans le domaine du transport (A.P.S.2012).

La ferme de KHARNAG a été créée en 1956 par les français dans la région de Ghardaïa, dans le périmètre Hassi Sud, commune de Zelfana (Fig.24). Elle couvre une superficie totale de 1,14 ha.

Cette ferme spécialisée en phoeniciculture avec un effectif de 90 pieds, comprenant deux variétés Deglat Nour et Ghars. Le rendement est de 65qx/ha.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent d'un forage collectif. Les palmiers sont irrigués chaque 9 jour, la fertilisation est limitée au fumier organique.



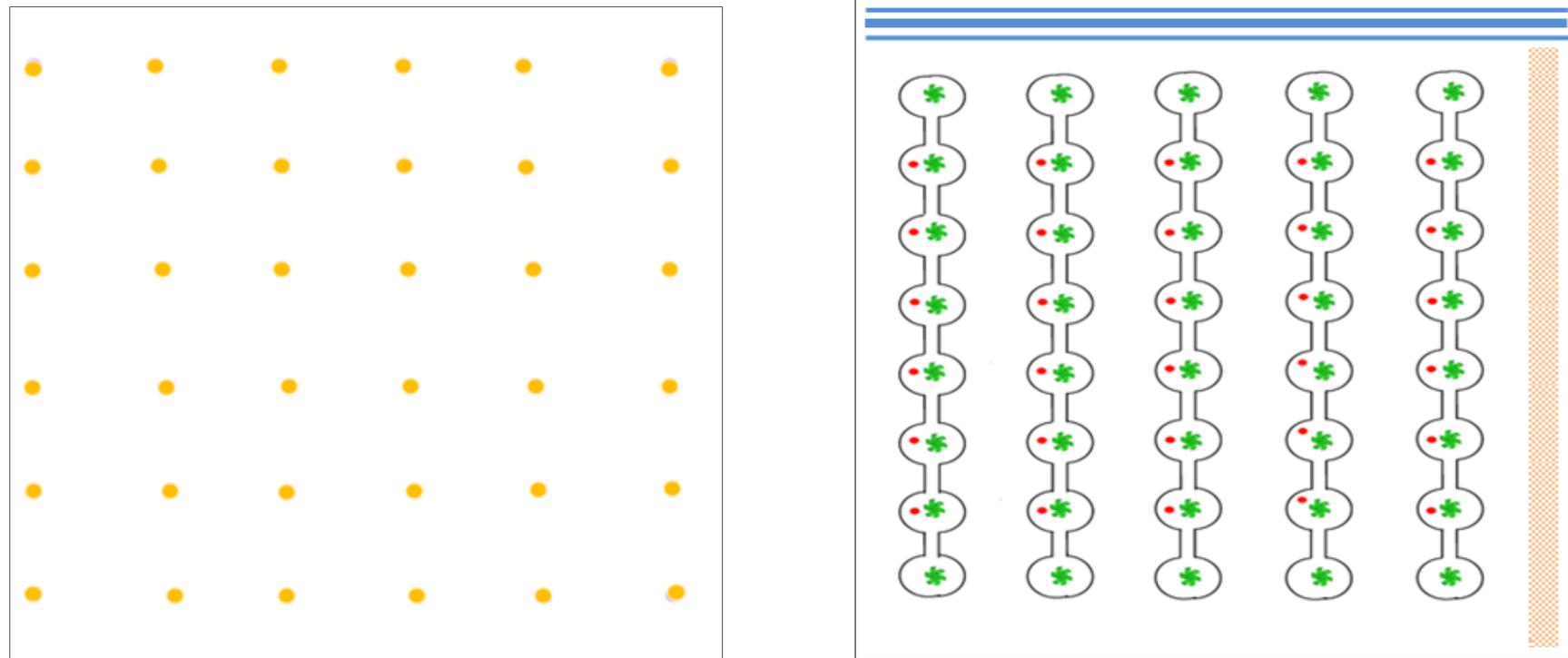
Figure 24. Localisation du site d'étude

4. Echantillonnage

Les sols des 2 parcelles sont échantillonnés à la tarière sur une profondeur de 0-30 cm pour les 36 prélèvements. La parcelle échantillonnée a été irriguée pendant 57 ans. La parcelle non irriguées (témoins), est échantillonnées aussi de la même méthode.

Nous avons procédé à un échantillonnage systématique sur une maille régulière de 8x8m en fonction de l'écartement entre les palmiers (ROSSI et LAVELLE, 1993 in DAREM, 2013)

La figure (25), montre la répartition des échantillons sur les parcelles étudiées.



| | |
|--|---|
| ● Plan d'échantillonnage de la parcelle cultivée |  <i>Phoenix dactylifera L.</i> |
| ● Plan d'échantillonnage de la parcelle non cultivée (témoin) |  Drain fonctionnel |
|  Brise vent | |

Figure 25. Plan d'échantillonnage (DAREM, 2013)

5. Analyse au laboratoire

Les échantillons de sol prélevés sont séchés à l'air libre dans un laboratoire bien aéré, tamisés à l'aide d'un tamis à mailles carrées de 2 mm. La fraction < 2mm a ensuite été envoyée au laboratoire. Les analyses des échantillons prélevés concernent, la Conductivité électrique et le pH.

- Conductivité électrique (C.E.) à 25°C : mesuré au conductimètre, avec un rapport sol/eau de 1/5.
- pH : mesuré au pH mètre à électrode en verre, avec un rapport sol/eau de 1/5.

6. Analyses statistiques

6.1. Coefficient de variation

Le coefficient de variation est obtenu par le rapport entre l'écart type (σ) et la moyenne (m), a été utilisée pour comparer la variabilité des descripteurs (BECKETT et WEBSTER, 1971).

Le coefficient de variation représente le rapport de l'écart type à la moyenne, et il est une statistique utile pour comparer le degré de variation par rapport à une série de données à l'autre, même si les moyennes sont considérablement différentes l'une de l'autre (BECKETT et WEBSTER, 1971 in DAREM ; 2013)

$$CV (\%) = 100. \sigma / m$$

Tous les résultats sont présentés synthétiquement de la façon suivante :

$$N ; \pm sd (\text{min} - \text{max})$$

Dont :

- N : nombre d'observation
- M : moyenne
- sd : écart type
- min : minimum
- max : maximum (DAREM ; 2013)

7. Réalisation de cartes thématiques

Les cartes thématiques de différents paramètres étudiés sont tracées par le logiciel SURFER afin de mettre en évidence la répartition spatiale de la salinité et du pH.

Le SURFER est un programme servant à la réalisation des présentations graphiques en deux et trois dimensions. Il peut convertir toutes informations numériques où data en représentation graphique « out standing contour », image, surface,... dont tous les aspects virtuels peuvent être personnalisées pour produire exactement la représentation qu'on veut réaliser (DAREM ; 2013)

*Troisième partie : Résultats
et Discussions*

Chapitre V. Caractéristiques du sol

Supportant des conditions sévères des zone aride, les sols présentent un certain nombre de caractères constants ; des éléments solubles concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés, à un niveau ou à un autre du profil, jusqu'à donner naissance à des nodules ou à des croûtes calcaires, gypseuses ou salines. Très souvent calcaires, ces sols sont aussi fréquemment salés (AUBERT, 1970).

1. Résultats analytiques de la salinité

L'analyse statistique consiste essentiellement à la détermination de la loi de distribution des variables non uniforme et homogènes et de leurs principaux paramètres statistiques, à savoir la moyenne, l'écart type et le coefficient de variation (ODOUX, 1984 et VOLTZ, 1986 in HAMOUNI, 2006).

La salinité du sol exprimé par la conductivité électrique est élevée dans le site étudié ($0,37 \text{ dS/m} \leq CE \leq 48,21 \text{ dS/m}$), le sol est non à extrêmement salé pour l'horizon superficielle de la parcelle cultivée ($0,37 \text{ dS/m} \leq CE \leq 7,88 \text{ dS/m}$), et extrêmement salé pour l'horizon de la parcelle témoin ($6,37 \text{ dS/m} \leq CE \leq 48,21 \text{ dS/m}$). Cela est dû à l'action de l'irrigation qui provoque la lixiviation des sels (AUBERT, 1975 ; SERVANT, 1998 ; DAOUD et HALITIM, 1994). Les statistiques descriptives des résultats d'analyse sont présentées dans le tableau 20.

Tableau 20. Statistiques descriptives de la salinité dans le site étudié

| | Moyenne | Minimum | Maximum | Ecart-type | CV |
|--------------------------|---------|---------|---------|------------|--------|
| Parcelle cultivée | 0,85 | 0,37 | 7,88 | 1,22 | 143,14 |
| Parcelle témoin | 31,56 | 6,37 | 48,21 | 9,75 | 30,91 |

Le coefficient de variation est le rapport entre l'écart type de la variable et sa moyenne. Il s'agit d'une mesure de la dispersion relative de celle-ci. IL est supérieur à 100 (CV=143,14 %) dans la parcelle cultivée ce qui signifie que la moyenne n'est pas un bon indicateur de la réalité du terrain (COLIN et LAMBERT, 2012). En revanche, il égale à 30,91% dans la parcelle témoin ce qui montre une intensité modérée de la variabilité spatiale du sol (NOLIN et al, 1997 in MATHIEU, 2009).

2. Résultats analytiques de la réaction du sol

Dans les régions arides, la gamme relative aux sols s'étend d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 (BUCKMAN *et al.*, 1965 in BENBRAHIM, 2006).

Dans l'horizon superficiel des parcelles étudiées, le pH est alcalin ($8 \leq \text{pH} \leq 9,6$). Le tableau ci-dessous illustre que les mesures de pH varient entre 8 et 8,6 avec une moyenne de $8,32 \pm 0,13$ dans la parcelle cultivées ce qui indique que le sol est modérément alcalin or que le sol de la parcelle témoin est modérément à fortement alcalin dont le pH varie entre 8,49 et 9,6 avec une moyenne de $8,81 \pm 0,22$.

Tableau 21. Statistiques descriptives du pH dans le site étudié

| | Moyenne | Minimum | Maximum | Ecart-type | CV |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-----------|
| Parcelle cultivée | 8,325 | 8 | 8,605 | 0,1364 | 1,63 |
| Parcelle témoin | 8,81 | 8,49 | 9,6 | 0,22 | 2,55 |

Le coefficient de variation du pH égale à 1,63% dans la parcelle cultivée et 2,55% dans la parcelle non cultivée ce qui signifie une faible variation entre les échantillons analysée (NOLIN *et al.*, 1997 in MATHIEU, 2009) et que ces derniers ont des valeurs concentrées autour de la moyenne (COLIN *et* LAMBERT, 2012).

3. Etude de la variation spatiale des paramètres étudiés

3.1. Modélisation géostatistique

Le mot géostatistique est un néologisme forgé à l'école de Mines. La géostatistique est née des problèmes rencontrés dans le secteur de la mine : contrôle des teneurs, optimisation de maille, cartographie des ressources, prévision des réserves récupérables, étude de scénarios d'exploitation...etc. (GASCULEL *et al.*, 1991).

La géostatistique est un outil d'analyse de la structure de variation et d'organisation spatiale de l'information géographique, comme les propriétés des sols (fertilité, texture...). Elle regroupe un ensemble de techniques statistiques permettant aux pédologues et aux scientifiques du sol de mieux comprendre et de reproduire le modèle de la variabilité spatiale des sols (TRANGMAR *et al.*, 1985 in MATHIEU, 2009).

Ces techniques reposent sur l'analyse numérique de la dépendance des échantillons dans l'espace. En d'autres termes, cela signifie que « plus les échantillons sont rapprochés dans l'espace, plus ils se ressemblent jusqu'à une certaine distance au-delà de laquelle ils deviennent indépendants les uns des autres » (NOLIN, 2000 in MATHIEU, 2009).

3.2. Variogramme

Le variogramme est un outil permettant de connaître la structure spatiale d'une variable donnée (AZZOUG, 1993 in DAREM, 2013).

Le problème consiste à rechercher une fonction caractéristique de la structure de la variable étudiée à partir de l'analyse du variogramme. Si l'hypothèse de stationnarité ne peut être posée, l'utilisation du variogramme est recommandée, car elle suppose seulement que les accroissements ($Z(x) - Z(x + h)$) sont stationnaires.

➤ Z : est une constante quelle que soit la proposition x (AZZOUG, 1993 in DAREM, 2013).

Le variogramme qui est l'outil généralement utilisé pour analyser la dépendance spatiale d'une propriété du sol, donne des informations sur la nature des processus spatiaux à l'origine d'un variable observé (WALTER, 2002 ; MATHIEU, 2009), il est ensuite ajusté à un modèle théorique qui sera utilisé lors de l'interpolation par Krigeage (NOLIN et al, 1991 ; DAUPHINE et VOIRON-CANICIO, 1988 in GODARD, 1994 in GABANI, 2013).

Selon GODARD (1994), plusieurs modèles d'ajustement (linéaire, sphérique, exponentiel,...) ont été déjà testés par différents auteurs sur des données de terrain (BURGESS et *al.*, 1981 ; MCBRATNEY et WEBSTER, 1986 ; WEBSTER et *al.*, 1989).

La distribution des points de mesures à un effet sur le modèle de variogrammes, qui sont influencés par le mode d'échantillonnage (sphérique pour le variogramme tiré de l'échantillonnage aléatoire et linéaire pour celui issu de l'échantillonnage régulier) (LAURENT et ROSSI, 1997).

3.3. Réalisation des cartes thématiques

La cartographie thématique fait partie de ce qu'on appelle plus généralement la représentation cartographique. Elle permet la réalisation d'images graphiques particulières qui traduisent les relations spatiales d'un ou plusieurs phénomènes, d'un ou plusieurs thèmes. Qu'on les définit comme carte d'inventaire, d'analyse, statique ou dynamique (BURNET, 1990).

La carte thématique est consacrée à la représentation de la distribution spatiale d'un phénomène, d'une variable (exemple cartes de la population, de la végétation, de l'industrie, etc.) (BOSSON et EVRARD, 2005 in DAREM, 2013).

Le terme de krigeage désigne un ensemble de méthodes d'interpolation linéaire basées sur l'expression de la dépendance spatiale par le semi-variogramme. Les deux types de krigeage les plus communs sont le krigeage ponctuel et le krigeage par blocs (BURGESS et WEBSTER, 1980 in DAREM, 2013).

Les deux types de Krigeage les plus communs sont le Krigeage ponctuel correspond à l'estimation de la valeur d'une variable en un point non échantillonné et le Krigeage par blocs estimant la valeur moyenne de cette variable sur une surface déterminée (LAURENT et ROSSI,1994 ; DESPAGNE, 2006).

3.4. Caractérisation de la salinité du sol

3.4.1. Parcelle cultivée

Dans ce travail, l'échantillonnage est régulier (systématique à maille régulière) donc on a adopté l'ajustement du variogramme expérimental au modèle linéaire.

La figure (27) laisse apparaître que le variogramme théorique de la parcelle cultivée est de type linéaire.

Le variogramme expérimental de la salinité s'ajuste au modèle linéaire avec une pente de 0,0362, sa variation fluctue entre quatre points qui possèdent une relation dépendante. La valeur minimale est de 8m et la maximale atteint 17,88m, tandis que les deux points intermédiaires sont d'ordre 11,31m et 16m respectivement.

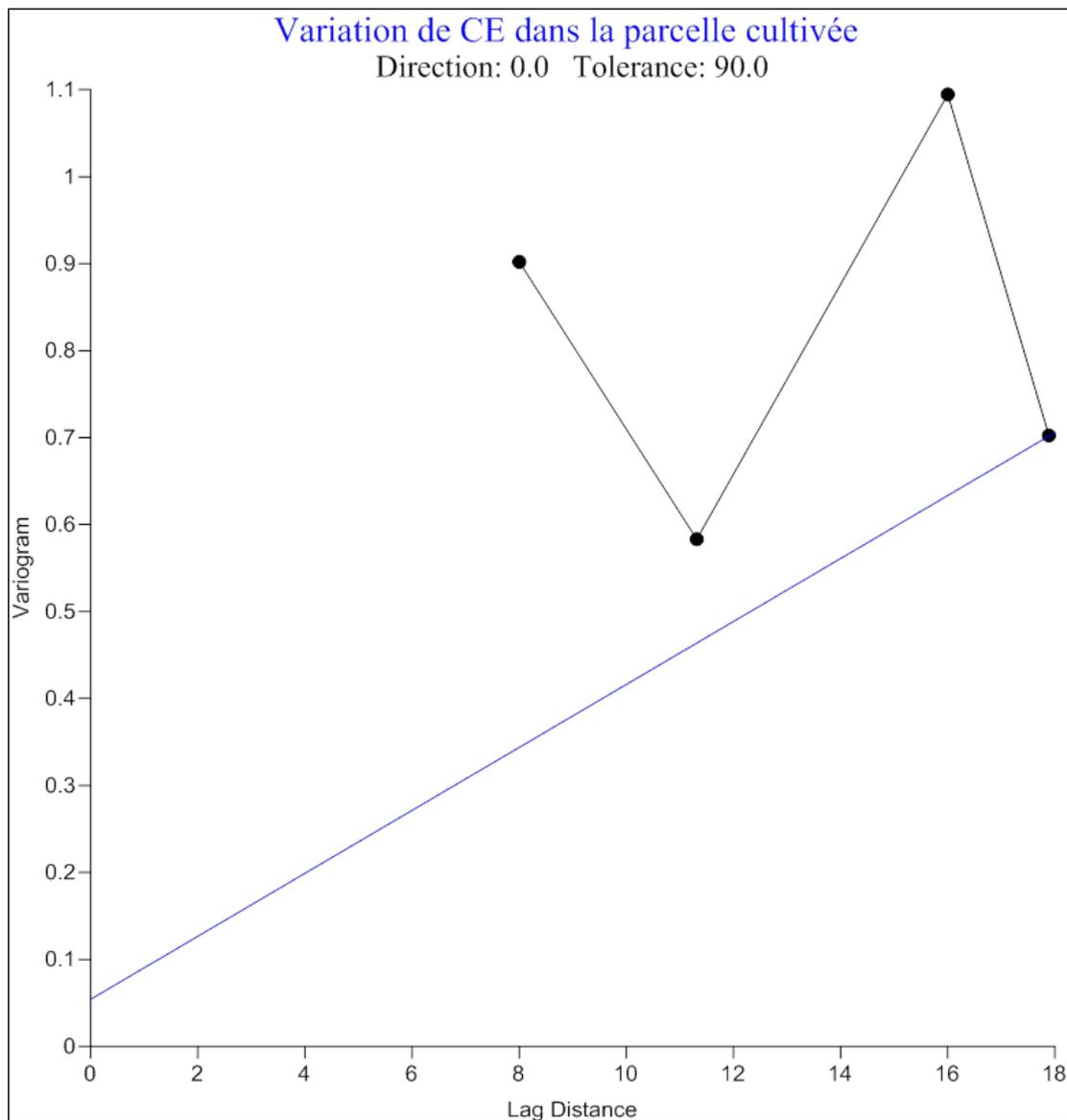
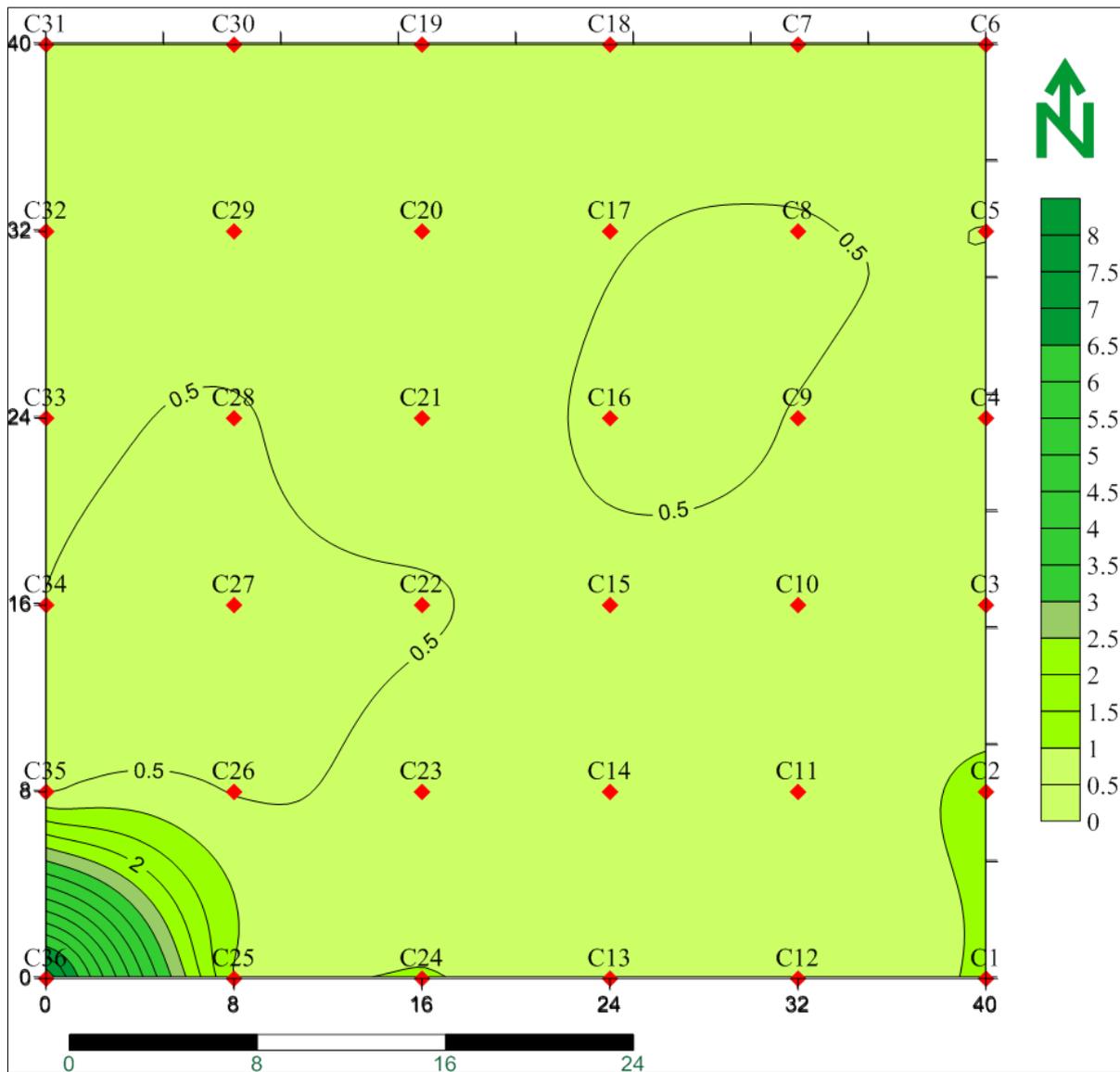


Figure 27. Vraiogramme de la salinité dans la parcelle cultivée

Au vu des résultats de la carte (1), il ressort que la variation spatiale de la salinité est claire dans la parcelle cultivée. Les teneurs varient entre 0,37 et 7,88 dS/m.

Le sol est non à extrêmement salé, les valeurs maximales se concentrent dans le côté sud-ouest notamment au point C36, or que les valeurs minimales s'étalent sur toute la surface de la parcelle avec un minimum de 0,37dS/m au point C35.



Carte 1. Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle cultivée

3.4.2. Parcelle non cultivée

D'après la figure (28), le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales de la salinité dans la parcelle témoin avec un effet de pépite faible et caractérisé par une pente égale à 6,68.

Ce variogramme présente les mêmes points essentielles que celui de la parcelle cultivée, à des valeurs successivement 8m, 11,31m, 16m, 17,88m. La variation spatiale de la salinité augmente avec la distance

Au-delà de 17,88 m, la variation spatiale du calcaire du sol dans la parcelle non cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

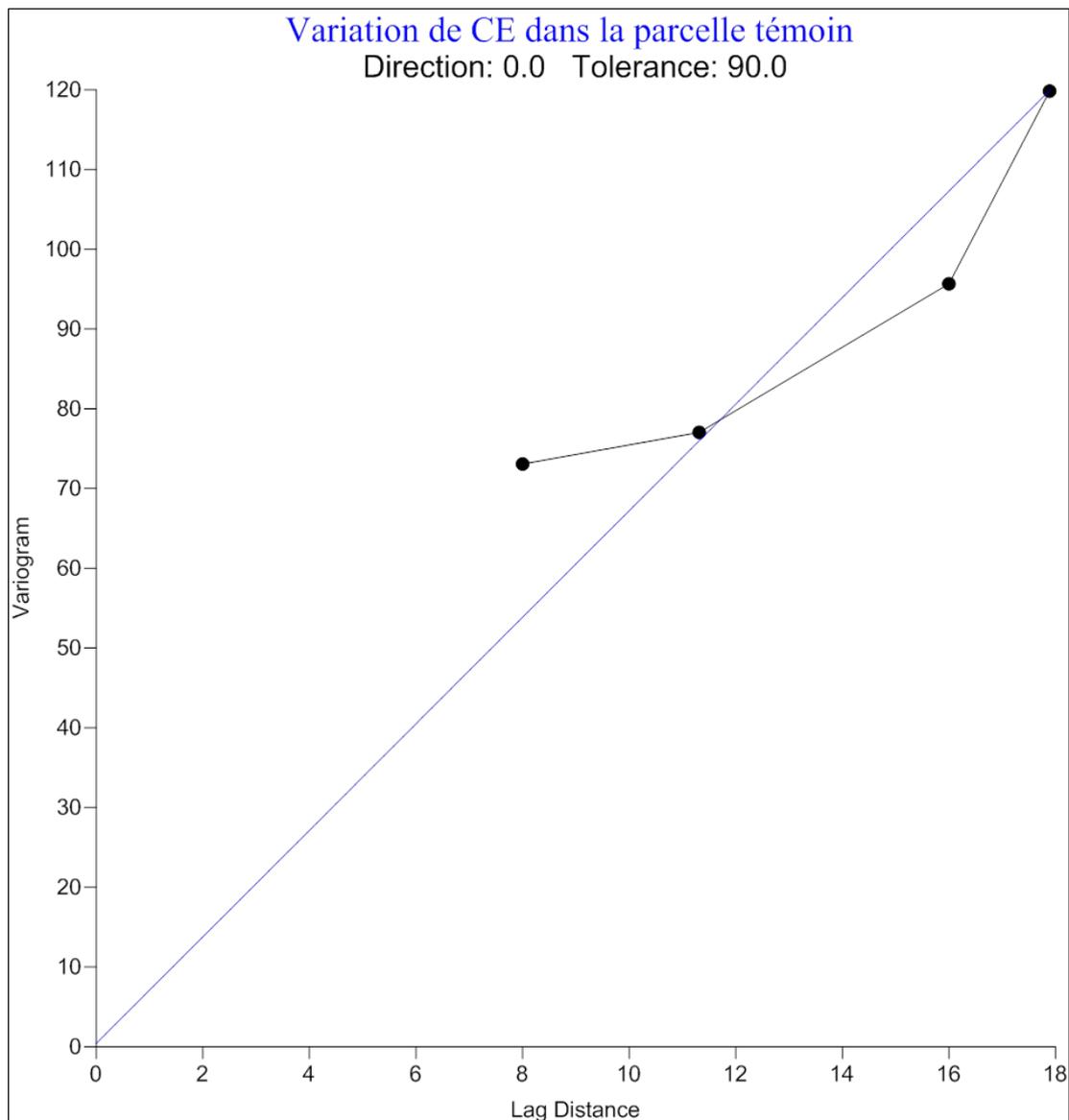
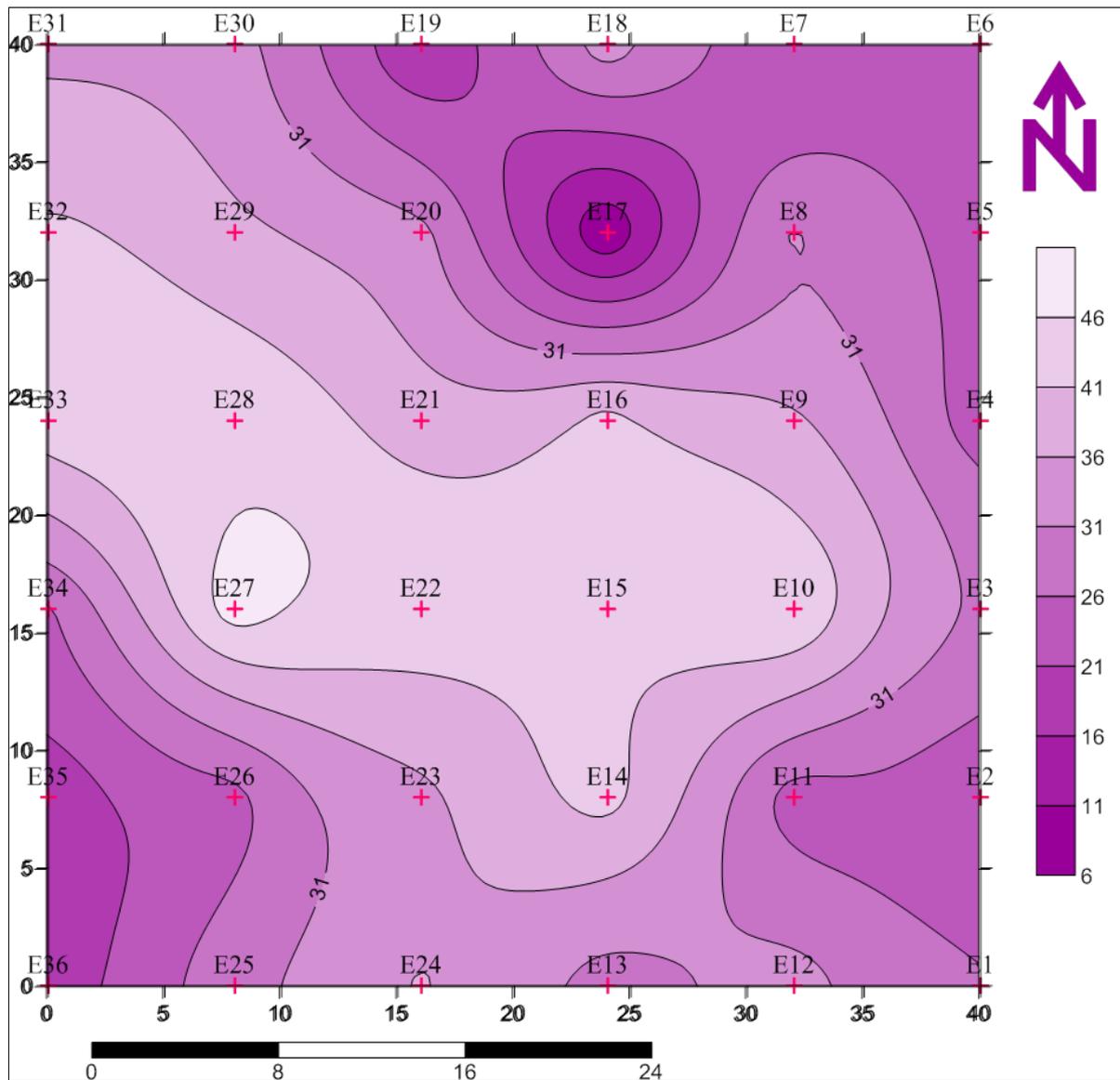


Figure 28. Vraiogramme de la salinité dans la parcelle témoin

A partir de la carte thématique (carte 2), la teneur de salinité dans le sol de la parcelle non cultivée est représentée par plusieurs classes, le sol est extrêmement salé.

La variation la plus importante de la salinité est localisée au centre de la palmeraie dont la valeur la plus élevée est enregistrée au point E27, tandis que les valeurs faibles sont réparties à la périphérie de la parcelle.

Les distances entre chaque courbe de niveau sont homogènes (presque même distance), ce qui signifie la répartition homogène du taux de calcaire dans les deux parcelles étudiées. Cela confirme le calcul du coefficient de variation 30,91% qui représentent une variation modérée selon l'échelle de NOLIN et al (1997) in MATHIEU (2009).



Carte 2. Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle témoin

3.5. Caractérisation du pH de sol

3.5.1. Parcelle cultivée

La figure (29) montre que le variogramme théorique de la parcelle cultivée est de type linéaire.

Le variogramme expérimental du pH s'ajuste au modèle linéaire avec une pente de 0,001, sa variation fluctue entre quatre points qui possèdent une relation dépendante. La valeur minimale est de 8m et la maximale atteint 17,88m, tandis que les deux points intermédiaires sont d'ordre 11,31m et 16m respectivement.

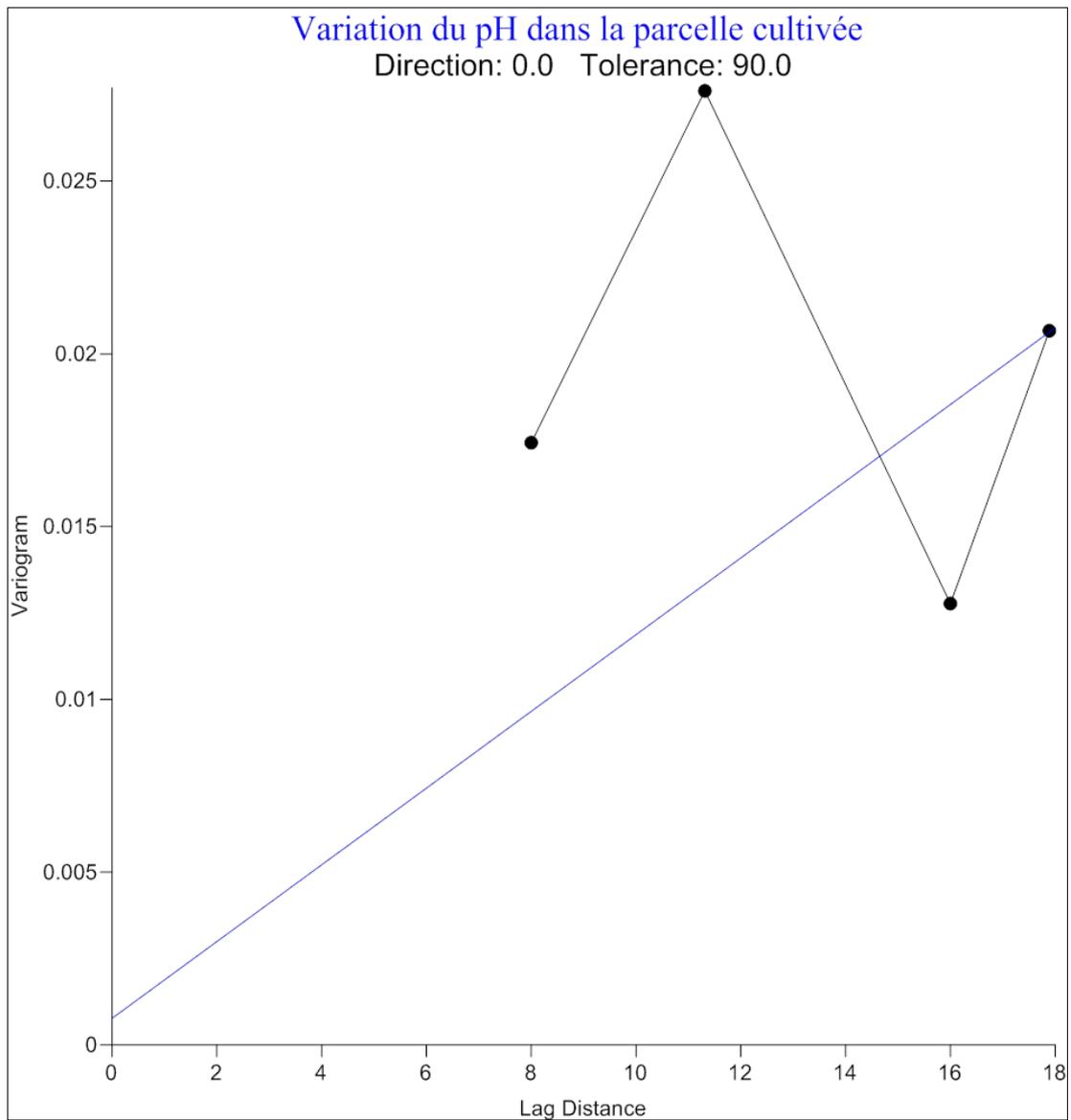
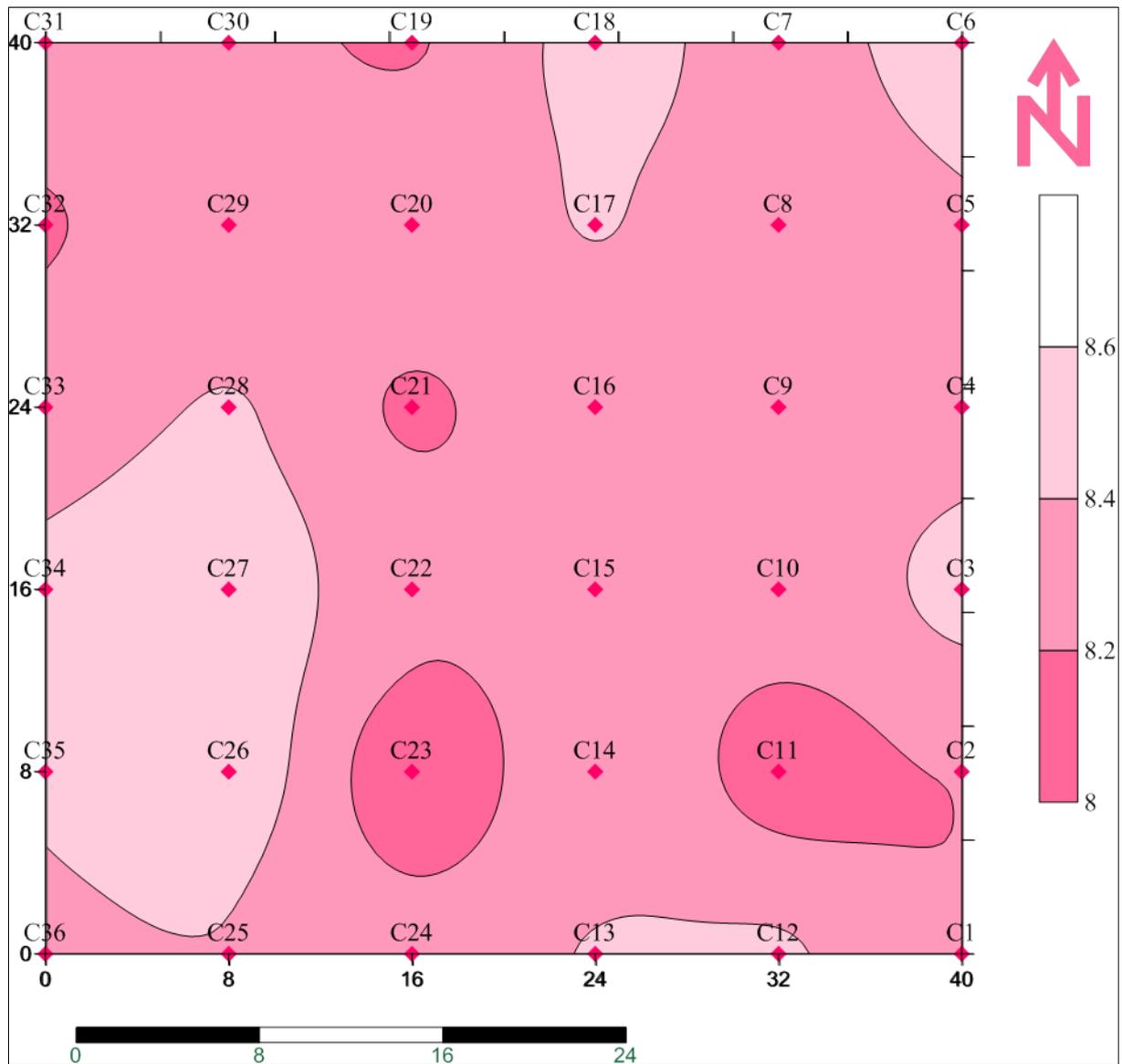


Figure 29. Vraiogramme du pH dans la parcelle cultivée

D'après la carte (3), le pH présente une variation spatiale claire à l'intérieur de la parcelle cultivée qui varie entre 8 et 8,60. Les valeurs qui présentent une alcalinité sont situées au milieu de la palmeraie, or que les valeurs très alcalin sont situées à la périphérie, avec une valeur maximale au point C27 ensuite C6.



Carte 3. Répartition spatiale du pH dans la parcelle cultivée

3.5.2. Parcelle non cultivée

D'après la figure (30), le variogramme expérimental s'ajuste au modèle linéaire qui explique les variations spatiales du pH dans la parcelle non cultivée avec un effet de pépité faible. Il est caractérisé par une pente égale à 0.0021.

Ce variogramme prend quatre points essentiels à des valeurs successivement de 8m, 11,31m, 16m et 17,88m. La variation spatiale du pH augmente avec la distance. Au-delà de 17,88m, la variation du pH du sol dans la parcelle non cultivée est indépendante de la distance entre les échantillons.

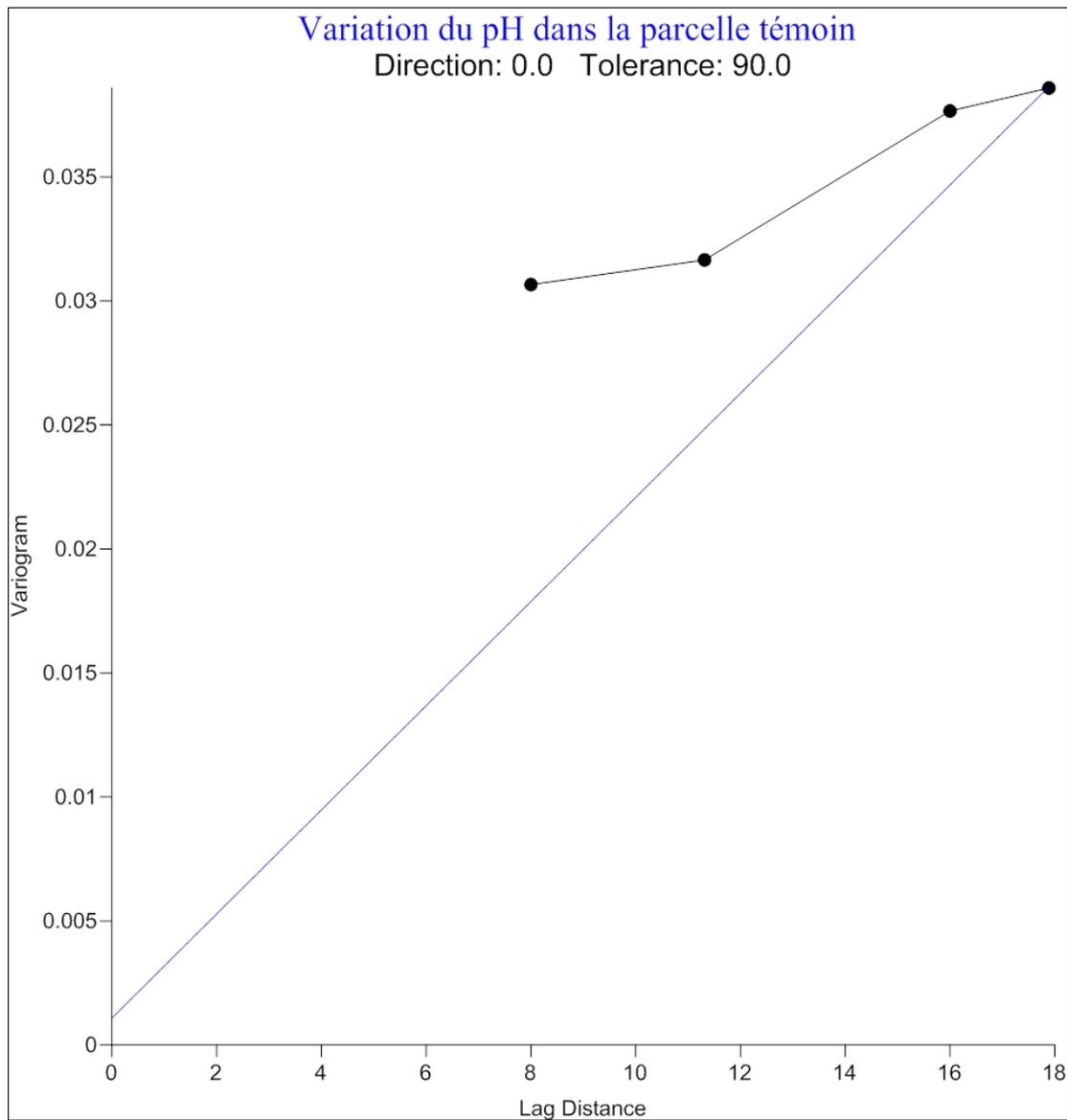


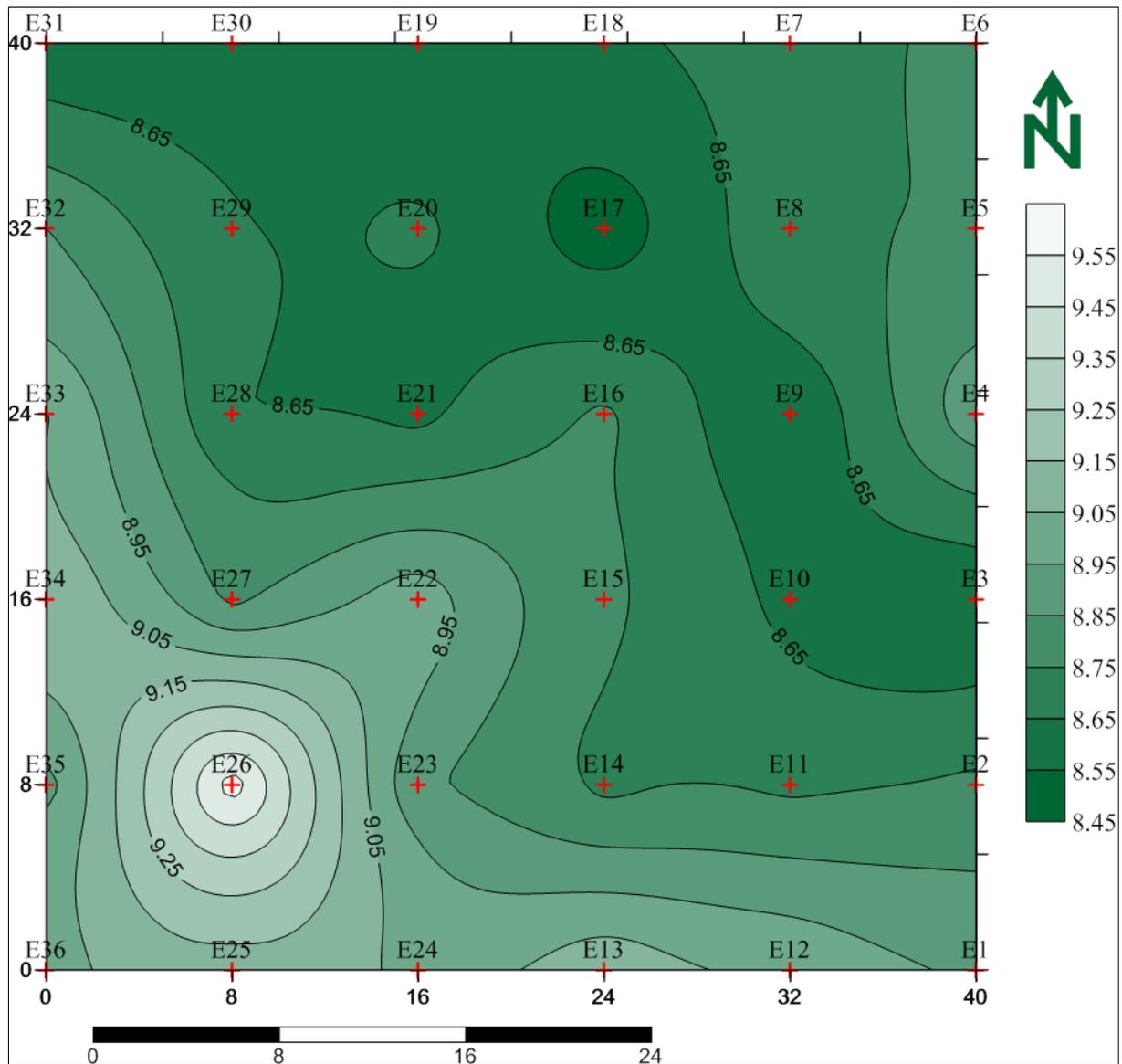
Figure 30. Vraiogramme du pH dans la parcelle non cultivée

La carte 04, illustre que le pH de la parcelle non cultivée présente une variation claire et homogène, le sol est modérément à fortement alcalin.

La variation la plus importante est située au sud-ouest de la palmeraie avec une valeur maximale au point C26 (9,60), or que la variation faible est mise au milieu de la parcelle.

Le coefficient de variation est faible 2,55% ce qui signifie une variation faible selon l'échelle de NOLIN et al (1997) in MATHIEU (2009).

D'après COLIN et LAMBERT (2012), la valeur faible du CV, signifie que les observations ont des valeurs concentrées autour de la moyenne.



Carte 4. Répartition spatiale du pH dans la parcelle non cultivée

2. Discussion

Les résultats laissent apparaître que le sol est non à extrêmement salé. La salinité de l'horizon superficiel étudié varie de 0,37 à 7,88 dS/m pour la parcelle cultivée, tandis qu'elle oscille entre 6,37 et 48,21 dS/m pour la parcelle témoin.

D'après CHIKHI *et al.* (2013), le profil salin de la parcelle cultivée est de (D) caractérisé par un maximum en profondeur, ce qui signifie une désalinisation permanente, due à l'entraînement des sels solubles en profondeur par l'eau d'irrigation (lixiviation), ce qui explique la diminution de la conductivité électrique dans l'horizon superficiel.

Les sels accumulés dans le sol proviennent probablement de l'eau d'irrigation sachant que la salinité de l'eau d'irrigation de la région de Zelfana varie de 1,65 à 2,35 dS/m à 25°C avec une moyenne de $1,96 \pm 0,25$ dS/m à 25°C (DAOUADI et OULAD SIDI OMAR, 2011). Ces eaux appartiennent à la classe C3, caractérisées par une forte salinité. Elles sont inutilisables même avec un bon drainage ; il faut des pratiques spéciales de contrôle de salinité, et seules les plantes tolérantes qui peuvent être cultivées (DURAND, 1958).

On note au côté sud-ouest de la parcelle cultivée que le sol est extrêmement salé ce qui met en évidence le taux élevé d'argile ou le rôle d'une couche argilo-limoneuse dans l'infiltration de l'eau et le transfert des sels (KANZARI et *al.*, 2012).

La parcelle témoin est caractérisée par un sol extrêmement salé et un profil salin de forme A (CHIKHI et *al.*, 2013), sur laquelle se greffe un maximum superficiel de salinité suite à la remontée capillaire des sels des horizons sous-jacents, ce phénomène se produit suite à une évaporation élevée provoquant une augmentation du pF des horizons de surface déclenchant ainsi la dynamique ascendante de la solution du sol par succion.

Nous pouvons expliquer la variabilité de la salinité des sols par plusieurs facteurs notant par importance : la topographie, la texture des sols, le drainage et la salinité des eaux d'irrigation (NOOMENE, 2011).

La réaction du sol a subit une évolution presque similaire à celle de la salinité, avec une diminution du pH après l'irrigation, due à l'entraînement en profondeur des sels alcalinisants par l'eau d'irrigation, et une augmentation du pH dans la parcelle témoin, due à une remontée capillaire des sels alcalinisants provenant de la nappe phréatique.

À n'importe quel pH supérieur à 7,5, les éléments nutritifs essentiels sont moins disponibles et des symptômes de déficience peuvent se manifester. Il peut en résulter une croissance ralentie et des plantes rabougries, un jaunissement des feuilles et une faible croissance des tiges.

Un pH nettement supérieur à 7,3 est le signe de la présence, soit de carbonates libres générateurs de chlorose ferrique, soit plus souvent de sodium fixé sur le complexe absorbant (BOYER, 1978).

DJILI (2000), a montré que le pH est l'une de ces principales caractéristiques du sol qui est fortement influencée par la teneur en carbonate de calcium mais certains sol ont un pH élevé avec une faible salinité, ce qui signifie que d'autres carbonates tel que carbonates de magnésium

(MgCO_3), Carbonates de sodium (Na_2CO_3), Carbonates de potassium (K_2CO_3) sont responsables de l'alcalinisation du sol (FAO-UNESCO, 1967 in BENBRAHIM, 2001).

L'analyse variographique par l'ajustement des variogrammes expérimentaux aux modèles théoriques linéaires, montre que la variabilité spatiale du pH et du calcaire totale est dépendante de la distance parcourue jusqu'à 17,88m ; au-delà de cette distance, les valeurs des paramètres étudiés sont indépendantes. L'absence d'effet de pépite, montre l'efficacité du pas d'échantillonnage choisi.

La variation spatiale de la salinité dans le sol est extrêmement élevée dans la parcelle cultivée (CV=143,14%), ce qui explique aisément que la moyenne n'est pas un bon indicateur de la réalité du terrain (COLIN et LAMBERT, 2012), et modéré dans la parcelle non cultivée (CV=30,91%), cela est dû à l'homogénéisation de la variabilité de ce paramètre suite à l'impact des pratiques agricoles surtout l'irrigation.

La variation spatiale du pH dans le sol est faible dans toutes les parcelles étudiées avec un CV de 1,63% pour la parcelle cultivée et de 2,55% dans la parcelle non cultivée (témoin) ce qui est supérieur à celui de la parcelle cultivée. La variabilité spatiale dans la parcelle non cultivée reflète l'état de l'écosystème naturel. Dans la parcelle cultivée la variabilité faible est expliquée par l'impact de l'irrigation et l'action de la végétation sur la distribution des sels alcalinisant. Dans la parcelle non cultivée, l'accumulation des sels alcalinisant dans l'horizon de surface suite à la remonté capillaire à provoquer une légère augmentation du CV, sachant que la remonté capillaire est fonction de la texture, ce qui implique que cette remonté est hétérogène dans la parcelle et par conséquence, la distribution des sels alcalinisant est hétérogène, ces sels proviennent en fait de la lixiviation provoquée par l'irrigation.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude de l'impact de l'intensification agricole (phoeniculture) sur le pH et la salinité du sol dans la région de Zelfana (Ghardaïa) permet d'étudier l'évolution de ces deux paramètres dans deux parcelles l'une cultivée et l'autre non cultivée.

Les analyses de salinité dans le site étudié ont montré que le sol est non à extrêmement salé tandis que le pH du sol des deux parcelles est modérément à fortement alcalin avec des valeurs plus élevées dans la parcelle témoin par rapport à celle cultivée.

La variation spatiale de salinité est extrêmement élevée dans la parcelle cultivée (CV=143,14%) et modérée dans la parcelle et non cultivée (témoin) (CV= 30,91%), tandis que celle du pH est faible dans toutes les parcelles étudiées avec un CV de 1,63% pour la parcelle cultivée, et de 2.55% dans la parcelle non cultivée.

La modélisation géostatistique a montré, à partir de l'analyse des variogrammes expérimentaux, l'efficacité du « pas » d'échantillonnage choisi (8m), sachant que les valeurs de salinité dépendent de la distance parcourue jusqu'à une distance de 17,88 m. Au-delà, la variation de la salinité du sol ne dépend pas de la distance parcourue.

Le problème de salinisation et d'alcalinisation constitue un danger réel sur l'agriculture en irriguée. Cependant il est souhaitable de poursuivre ce travail dans le but de mieux cerner ce problème, et de préconiser des techniques susceptibles de limiter l'accumulation du calcaire, donc de dégradation et de stérilisation des sols.

Enfin, ce travail sur la salinité du sol dans la région de Zelfana reste insuffisant et mérite d'être complété en tenant compte des éléments suivants :

- L'étude pédologique détaillée en vue d'une bonne interprétation des résultats d'analyses
- Le suivi de la variation saisonnière de la salinité afin de bien cerner son évolution.

Le suivi de la salinisation des sols dans la région sera un moyen très efficace pour prévoir toute augmentation de cette dernière.

Références bibliographiques

A.N.D.I.W.G.2013 ; LE FIEF DU TOURISME ET DE L'INVESTISSEMENT *WILAYA DE GHARDAIA* ; Agence Nationale de Développement de l'Investissement.

A.N.R.H., 2011 ; INVENTAIRE DES FORAGES D'EAU ET ENQUETE SUR LES DEBITS EXTRAITS DE LA WILAYA DE GHARDAIA ; Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr ; 15P.

ABED LALI B et BOUKHARI H ,2012 : Diagnostic de l'état de la salinité dans un sol cultivé dans la région de zelfana (Ghardaïa) , PROJET DE FIN D'ETUDES,33 p

ACHOURA A. et BELHAMRA M.,2010 : Aperçu sur la faune arthropodologique des palmeraies d'El-kantara. Courrier du Savoir N°10, Avril 2010, Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, pp.93-101.

AUBERT G., 1970-Transformations des sols de la zone aride sous l'influence des irrigations, O.R.S.T.O.M.n° 14266, Paris, pp 75-82.

AUBERT G., 1975 - Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annale de l'I.N.A., Alger, 6 (1), pp. 185-195

AUBERT G., 1978 - Méthodes d'analyse des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 189 p.

BAZZINE M., 2009- contribution à l'étude des croutes biologiques de quelques sols gypseux et salins du milieu saharien (cas de la cuvette de Ouargla).Mém. Mag. Univ, Ouargla, 106 p.

BEN ABDALLAH A., 1990 : La phoeniciculture « Les systèmes agricoles oasiens », options méditerranéennes, Sér. A n°11 Montpellier, France, pp.105-120.

BEN BRAHIM. F, 2001,Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dans la cuvette de Ouargla Cas de l'exploitation de l'I.A.S.) Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en agronomie saharienne Ouargla, centre universitaire de Ouargla institut d'agronomie saharienne, 2001,119.

BEN SEMAOUNE. Y, 2007 ; Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale : contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace (S.A.G.E.)(cas de la région de Ghardaïa) ; Mémoire *MAGISTER* ; UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA ;96 P

- BENBRAHIM F., 2006**-Evolution de la durabilité de céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla (Cas De Hassi Ben Abdellah), Thèse Mag. Univ Ouargla ,111p.
- BENNABI F., 2005**- Métabolisme glucidique et azote chez une halophyte (*Atriplexhalimus L.*) stressée à la salinité.Mém. Mag. Univ, Oran, 49-50 p.
- BENZELLAT ; 2012**, Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés ; Mémoire Magister ; Université de Tlemcen ; 140P.
- BENZELLAT ; 2012**, Contribution à l'amélioration des rendements des plantes cultivées en sols salés ; Mémoire Magister ; Université de Tlemcen ; 140P.
- BESSAS. A, BENMOUSSA.L, KERARMA.M ;2008**: Dosage biochimique des polyphénols dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien ; **Mémoire de fin d'étude.**, Université Djillali Liabes -Sidi Bel Abbes,P 81.
- BOUNAGA N. et DJERBI M., 1990** : Pathologie du palmier dattier « Les systèmes agricoles oasiens », options méditerranéennes, Sér. A n°11 Montpellier, France, pp.127-132.
- BOUSDIRA.K, 2006** ; contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pure une meilleure gestion et une valorisation de la biomasse : caractérisation morphologique et biochimique es dattes de cultivars les plus connus de la région de Mzab, classification et évaluation de la qualité ; MEMOIRE DE MAGISTER ; Université de Boumerdes ; 146P
- BOUTELLI M , 2012** : salinité des eaux et des sols au niveau de la Sebkhha de Bamendil , caractérisation et conséquences sur l'environnement , Mémoire *MAGISTER* ; UNIVERSITE KASDI MERBAH –OUARGLA- , 90 p.
- BURGESS T.M., WEBSTER R., 1980**- Optimal interpolation and isarithmic mapping soil of properties. The semi-variogram and punctual kriging. Soil Sci. 31, 331p.
- BYE P., 1999**- La truffe, la terre, la vie. I.N.R.A., 207p.
- CHENINI. M, 2013** ; Impact de l'intensification agricole(céréaliculture sous pivot) sur la variation de la salinité du sol dans la région de GHARDAIA(cas de HASSI EL F'HEL) ; Mémoire MASTER ; Université de Ghardaïa ;70 P.
- COLIN A., LAMBERT P., 2012**- Analyse de la ressource forestière actuelle en Lorraine Résultats statistiques et Représentations cartographiques. Institut national de l'information géographique et forestière. 129p.
- D.P.S.B, 2011**- Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa. Ed.Dir. prog.sui. Bud.,2012. 141p.

DADDI BOUHOUN M, SAKER M, BOUTOUTAOU D, BRINIS L, KEMASSI A et OULD EL HADJ M ,2012 ,vol. 2, n° 2,: 71-77 IMPACT DES EAUX PHRÉATIQUES SUR LA SALINITÉ ET LE RENDEMENT DU PALMIER DATTIER À OUARGLA .

DAOUADI. A, 2013 ; Etude phytoécologique des adventices de la région de Ghardaïa (Cas de l'Oasis de Metlili) ; Mémoire MASTER ; Université de Ghardaïa ; P 91.

DAOUD Y., 1993- Contribution à l'étude des sols des plaines de Cheliff, le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèses doctorat d'état.INA. Alger, 193 p.

DAOUD Y., HALITIM A., 1994 - Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse 5 (3), pp. 151-160.

DAREM. S, 2013 ; Impact de l'intensification agricole (phoeniciculture) sur la variation du pH et du taux de calcaire total dans la région de Ghardaia (cas de Zelfana) ; Mémoire MASTER ; Université de Ghardaïa ; 76 P.

DESPAGNE W., 2006- Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. Mém Master., Univ Bretagne Sud, 68 p.

DJILI K., 2000- Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat. INA, Alger, 243 p.

DJILI K., DAOUD Y., 1999- Distribution latérale et verticale de l'ESP des sols du Nord de l'Algérie compte rendu du séminaire national sur la salinisation des terres agricoles. CRSTRA. Chélif. Le 01 et 02 juin, n° 99, pp. 25- 44.

DURAND J.H., 1958- Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190p.

DURAND J.H., 1983- Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses fonctionnement physiologique et microbiologique en conditions salines. Thèse d'Etat, Ed. Imprimerie Boudin, Paris.

GASCUL- ODOUX Ch., GRIMALDI M., VEILLON L., 1991- Apport de la géostatistique à l'analyse morphologique du sol : cas d'un transect représentatif de la plaine côtière guynaise. Science du sol. Vol. 29, 3, 189-209 p.

GAUCHER G., BURDIN S., 1974 - Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains salés. Ed. P.U.F., Paris, 231 p.

GODARD V., 1994 - Apport de l'analyse variographique pour déterminer la taille et l'espacement des unités d'échantillonnage lors d'un inventaire d'occupation du sol en milieu naturel tropical. Bul. SFPT, 1994-4 (136). France. Pp 33-44.

- HALITIM A., 1973** - Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Rennes, 176 p.
- HALITIM A., 1985**- Contribution à l'étude des sols des zones arides
- HALITIM A., 1988**, Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384 p. r mise en culture. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Rennes, 176 p.
- HAMDY A., 1995** -les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. C.R.Acad.Agric.fr., 81 n° 2, pp 47-60.
- HAMOUNI M., 2006** - Contribution à la détermination des unités homogènes du sol par différentes approches de cartographie numérique .Mém Magister. Université Hassiba BENBOUALI .EL Harrach .Alger.132p.
- HULLIN, 1983** : Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours photocopié, Vol. 3,I.N.A., Alger, 139 p
- KANZARI S., HACHICHA M., BOUHILA R., 2012.** Caractérisatiouprt modélisation de la dynamique de l'eau et des sels. ED. Univers. Europeennes. 96p.
- LAURENT J-Y ., ROSSI J-P., 1997**- Stratégies d'échantillonnage au champ : détermination du nombre et de la disposition spatiale des points de prélèvements. Paris, pp.43-52.
- LEGROS J, 2007** : les grandes sols du monde , première Ed , presses polytechnques et universitaires romandes ,Espagne , p 574
- MADANI D.,2008** – RELATION ENTRE LE COUVERT VEGETAL ET LES CONDITIONS EDAPHIQUES EN ZONE à deficit hydrique . Mém. Mag. Univ Batna ,119 p.
- MADR, 2008** ; MADR / Programme d'Intensification de la Phoeniciculture / Décembre 2008.
- MAHMA. S, 2012.** ; Effet de quelques bio-agresseurs du dattier et impact des méthodes de lutte sur la qualité du produit datte. (Cas de la région de Ghardaïa) ; Mémoire *MAGISTER* ; UNIVERSITE KASDI MERBAH –OUARGLA- ; 123 P.
- Marlet, S., et J.O. Job, 2006. Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R.*
- MATALLAH. Med; 2004.** Contribution à l'étude de la conservation des dattes de la variété *Deglet-Nour* : Isotherme d'adsorption et de désorption, Mémoire de fin d'études, INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE (I.N.A) El Harrach –Alger,75P

MATHIEU Q., 2009- cartographie à l'échelle de la parcelle agricole de variables indicatrices de la capacité des sols à fixer le phosphore à l'aide de la télédétection et des nouvelles technologies. Thèse doctorat, Institut national de la recherche scientifique Eau, Terre et Environnement, Québec, 234 p.

MERMOUDE A., 2006 cours physique du sol , Maitrise de la salinité des sols . pp 1-14

NOOMENE, 2011 : *Etude de la salinite des sols par la methode de detection electromagnetique dans le perimetre irrigue de Kalàcat Landelous en Tunisie : cas d'une parcelle de courge , memoireonline .*

NOUI. Y ,2006 ; Caractérisation physico-chimique comparative des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de datte Mech-Degla ; MEMOIRE DE MAGISTER ; UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES ; 61 P.

SERVANT J.M., 1975 -Etude pédologique des sols halomorphes.Thèse. Doct. Uni, Montpellier, 194p.

SERVANT J.M., 1976 - Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne Française. Ann. de l'INRA.vol. VI.n° 1, pp. 225-245.

SERVANT J.M., 1976 - Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne Française. Ann. de l'INRA.vol. VI.n° 1, pp. 225-245.

Sophia Antipolis, 2003 ; Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens (Etude bibliographique), Plan Bleu Centre d'activités régionales , © Plan Bleu, 2003, ISBN : 2-912081-13-0 , p 70.

U. S. S .L ,1954 in DELLAL A., 1994 - Réactivité physico-chimique .

U. S. Salinity Laboratory, 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.

U.S.D.A, Handbook N° 60, Washington, 160 p.

UNEP/GRID 1991 dans WRI(United Nations Environnent Programme)Universitaire de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338 p.

WEBSTER R., 1985- Quantitative spatial analysis of soil in the field. Adv. SoilSci. 3:2-70p.

ANNEXES

Annexe 1. Distribution des sols salés en Afrique

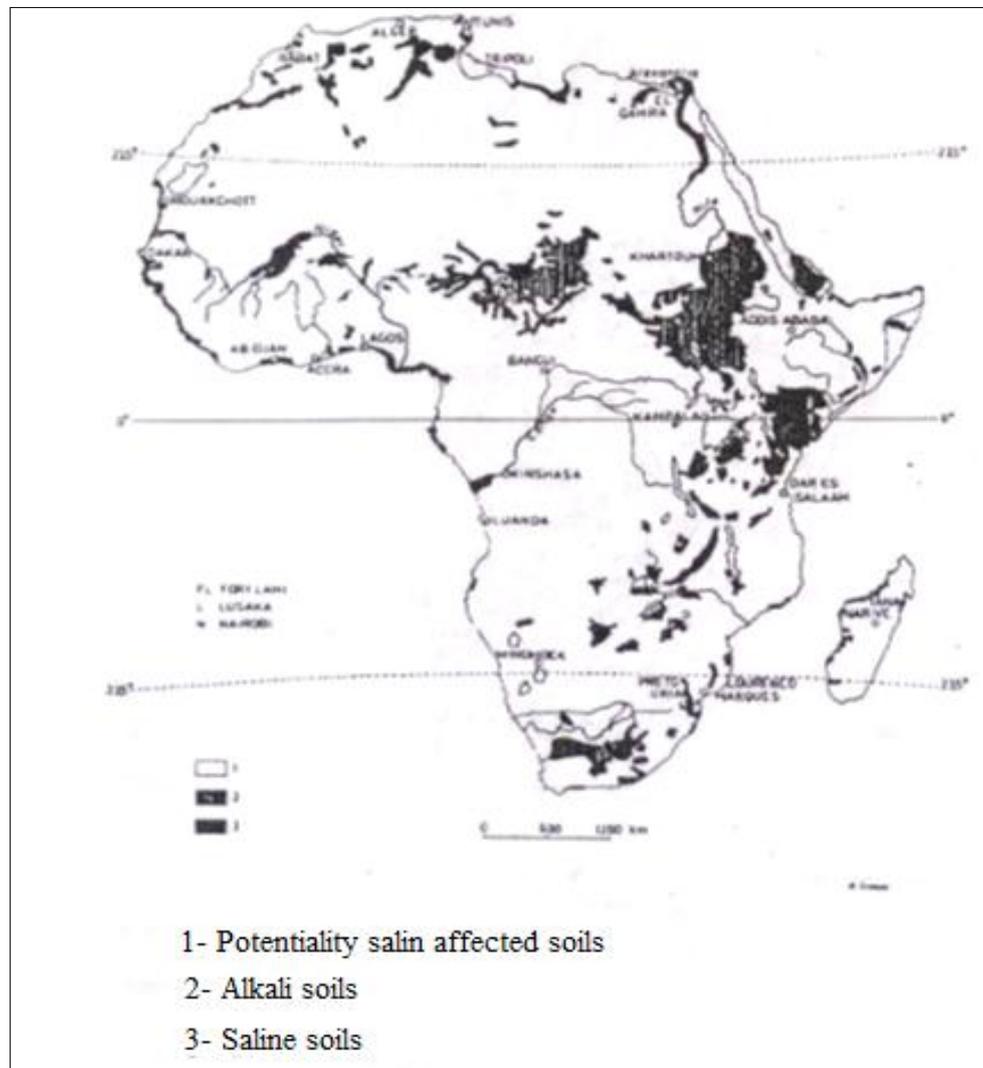


Figure 01 : Distribution des sols salés en Afrique selon la classification de Aubert en 1970 (CHERBUY, 1991 in SERVANT, 1976)

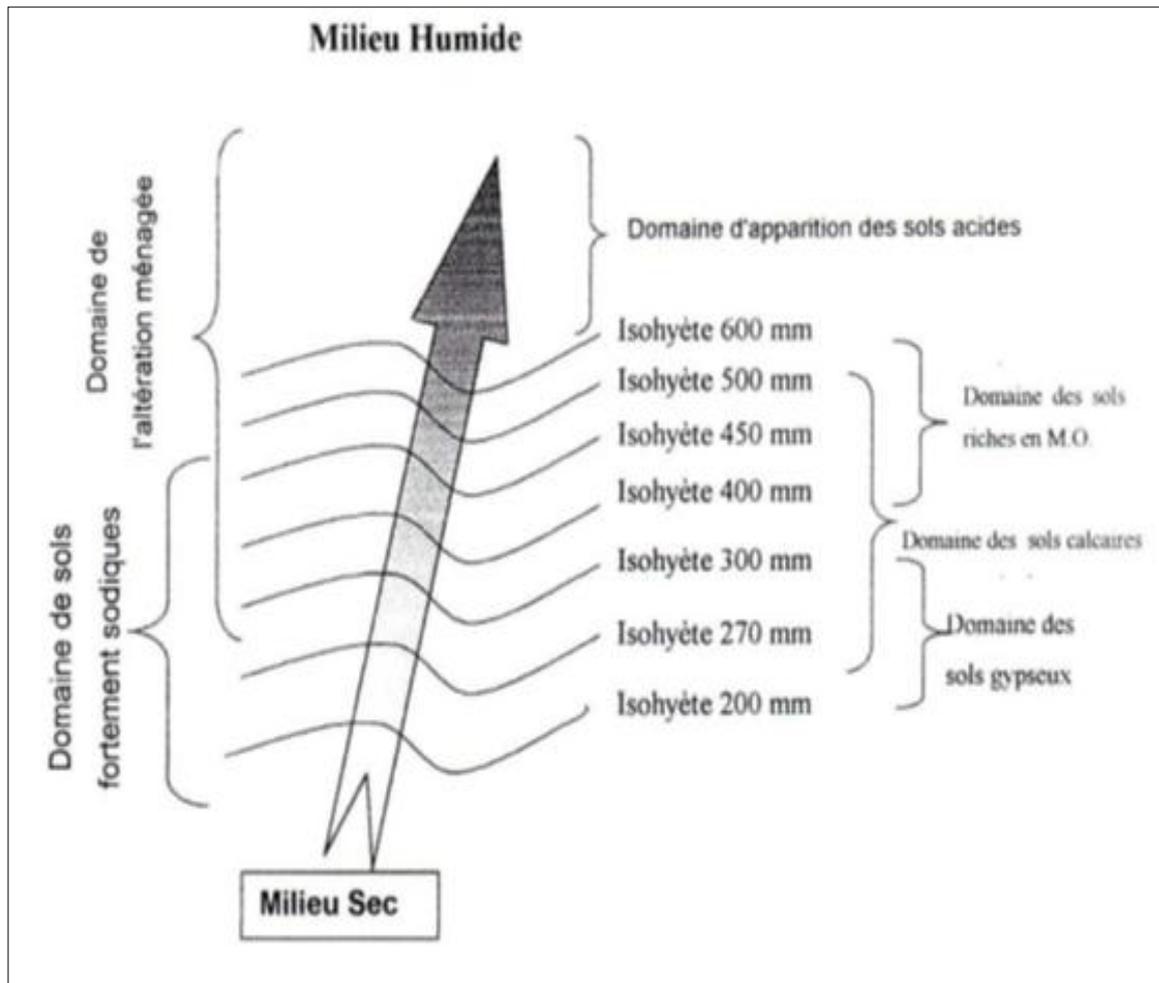
Annexe 2. Représentation schématique de quelques domaines pédologiques

Figure 2. Représentation schématique de quelques domaines pédologiques dans le nord de l'Algérie (DJILI, 2000)

Annexe 3. Type de sol en Algérie

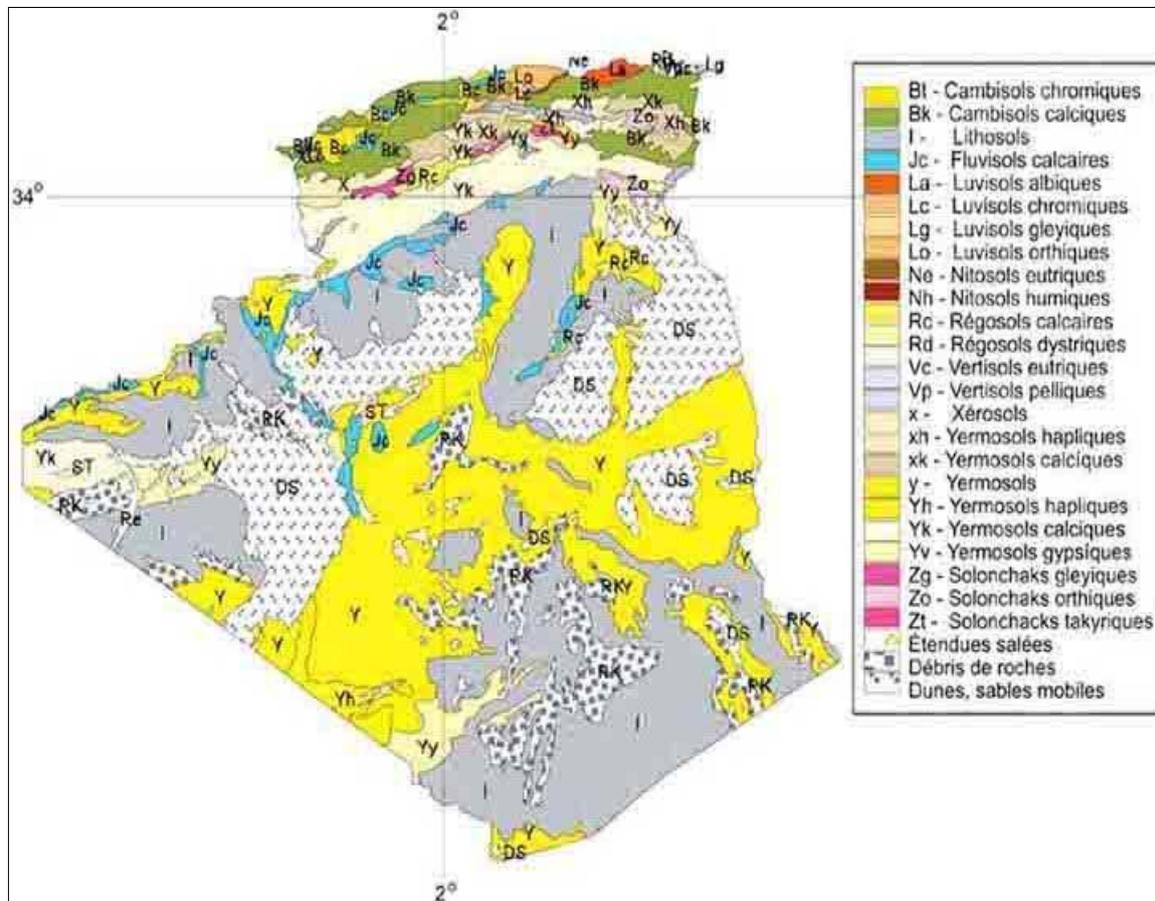


Figure 6. Type de sol en Algérie (FAO, 2005 in SERVANT, 1976)

Annexe 4. Evolution de la phoeniciculture

Tableau 1. Evolution des superficies, de la production phoenicicole et des rendements par palmier

| Année | Superficies récoltées (ha) | Production (qx) | Rendement (qx/palmier) |
|-------|----------------------------|-----------------|------------------------|
| 1996 | 96560 | 3606370 | 0,44 |
| 1997 | 96520 | 3029930 | 0,35 |
| 1998 | 97990 | 3873130 | 0,44 |
| 1999 | 100120 | 4275830 | 0,48 |
| 2000 | 101820 | 3656160 | 0,41 |
| 2001 | 104390 | 4373320 | 0,48 |
| 2002 | 120830 | 4184270 | 0,45 |
| 2003 | 128800 | 4922170 | 0,51 |
| 2004 | 136774 | 4426000 | 0,44 |
| 2005 | 147906 | 5162934 | 0,49 |
| 2006 | 154372 | 4921880 | 0,47 |

Annexe 5. Echelle d'interprétation du coefficient de variation

Tableau 08. Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et *al*, 1997 in MATHIEU, 2009)

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

Table de matière

Dédicace

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste de figures

Liste des cartes

Introduction 01

Première partie : synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le palmier dattier

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Historique | 03 |
| 2. | Origine | 03 |
| 3. | Définition..... | 04 |
| 4. | Répartition géographique du palmier dattier | 04 |
| 4.1. | Dans le monde..... | 04 |
| 4.2. | En Algérie..... | 06 |
| 5. | Position systématique..... | 07 |
| 6. | Morphologie du palmier dattier | 07 |
| 6.1. | Système racinaire | 07 |
| 6.2. | Système végétative | 08 |
| 6.2.1. | Tronc | 08 |
| 6.2.2 | Couronne | 08 |
| 6.2.3 | Palme | 08 |
| 6.2.4 | Fleurs | 08 |
| 6.2.5 | Fruits | 09 |
| 7. | Exigences pédoclimatiques | 10 |
| 7.1 | Exigences climatiques | 10 |
| 7.2 | Exigences édaphiques | 10 |
| 7.3 | Exigences hydriques | 11 |

| | | |
|------|--|----|
| 8. | Ennemis de la phoeniciculture | 11 |
| 8.1. | Pourriture de l'inflorescence (Khamedj)..... | 11 |
| 8.2 | Pourriture du Cœur à <i>Thielaviopsis</i> | 11 |
| 8.3 | Pourriture du bourgeon à <i>Phytophthora</i> | 11 |
| 8.4 | Maladie des fruits | 12 |
| 8.5 | Maladies à dépérissement | 12 |
| 8.6 | Bayoud | 12 |
| 9. | Situation de la phoeniciculture | 12 |
| 9.1 | Evolution des superficies, de la production phoenicicole et des rendements par palmier | 13 |

Chapitre II- Salinité du sol

| | | |
|--------|--|----|
| I.1. | Répartition des sols salés | 14 |
| I.1.1 | salinisation de sol Dans le monde | 14 |
| I.1.2 | salinisation de sol dans Algérie | 14 |
| I.1.3 | salinisation de sol dans la région Ghardaïa | 16 |
| I.2. | Définition de la salinité | 16 |
| I.3. | Origines des sols salés | 16 |
| I.3.1. | Salinisation primaire | 16 |
| I.3.2 | Salinisation secondaire | 16 |
| I.4. | Facteurs de la salinisation des sols | 17 |
| I.4.1. | Climat | 17 |
| I.4.2. | Source de sels | 18 |
| I.4.3. | Drainage | 18 |
| I.4.4. | Intrusion d'eau de mer | 19 |
| I.5. | Mécanismes de la salinisation | 19 |
| I.5.1 | Salinisation | 20 |
| I.5.2. | Sodisation | 20 |
| I.5.3. | Alcalinisation | 21 |
| I.5.4. | Acido-sulfatation | 21 |
| I.6. | Paramètres de caractérisation des sols salés | 21 |
| I.6.1. | Mesure de la salinité | 21 |

| | | |
|-----------|---|----|
| I.6.1.1 | Extrait de pâte saturée | 21 |
| I.6.1.2 | Extraits dilués | 22 |
| I.6.2. | Sodicité | 23 |
| I.6.2.1 | Pourcentage de sodium échangeable (E.S.P)..... | 23 |
| I.6.2.2 | Sodium adsorption ratio (S.A.R.) | 23 |
| I.6.3. | PH du sol | 24 |
| I.7. | Classification des sols salés | 24 |
| I.7.1. | Sols salins | 25 |
| I.7.2. | Sols salins à alcalis | 25 |
| I.7.3. | Sols alcalis | 25 |
| I.8. | Type de profils salins..... | 25 |
| I.9. | Mise en valeur des sols salés | 26 |
| I.10. | Normes d'interprétation de la salinité du sol..... | 27 |
| I.11. | Utilisation agricole des sols salés..... | 27 |
| I.12. | Signes d'un sol salé..... | 28 |
| I.13. | Effet de salinité..... | 29 |
| I.13.1. | Effet de la salinité sur les végétaux..... | 30 |
| I.13.2. | Impact de la salinité sur les palmiers dattier..... | 31 |
| I.13.3 | Impact des sels sur la faune du sol..... | 32 |
| I.14. | Tolérance des cultures à la salinité du sol..... | 32 |
| I.15. | Accroissement de la salinité par l'agriculture..... | 33 |
| II | sels solubles | 34 |
| II.1. | Principaux sels solubles | 34 |
| II.1.1. | Chlorure | 34 |
| II.1.2. | Carbonate | 34 |
| II.1.3. | Sulfate | 35 |
| II.2. | principaux caractères des sels dans le sol | 35 |
| II.2.1. | Solubilité | 35 |
| II.2.2. | Mobilité | 36 |
| II.2.2.1. | mouvements descendants | 37 |
| II.2.2.2. | mouvements ascendants | 37 |
| II.2.2.3. | mouvements verticaux et obliques | 37 |

| | | |
|---------|---|----|
| II.3. | Paramètres influençant la solubilité des sels | 37 |
| II.3.1. | Température | 38 |
| II.3.2. | Force ionique | 38 |
| II.3.3. | pH | 39 |
| II.3.4. | Présence d'autre sel | 39 |

Deuxième partie : Matériels et méthodes

Chapitre III. Présentation de la région de Ghardaïa

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | Situation géographique..... | 40 |
| 2. | Caractéristiques de la ville | 42 |
| 3. | Aperçu géographique..... | 43 |
| 4. | Milieu physique | 43 |
| 4.1 | Géomorphologie..... | 43 |
| 4.1.1. | Chabka..... | 44 |
| 4.1.2. | Région des dayas..... | 44 |
| 4.1.3. | Région des Regs | 44 |
| 5. | Climatologie..... | 45 |
| 5.1. | Pluviométrie..... | 46 |
| 5.2. | Température | 46 |
| 5.3. | Les vents | 46 |
| 5.4. | Evaporation | 46 |
| 5.5. | Insolation | 47 |
| 5.6. | Humidité relative | 47 |
| 5.7. | Synthèse des données climatiques | 48 |
| 5.7.1. | Diagramme Ombrothermique de Gaussen | 48 |
| 5.7.2. | Climagramme pluviothermique d'Emberger | 48 |
| 6 | Ressources hydriques | 49 |
| 6.1 | Nappes aquifères | 49 |
| 6.1.1. | Nappe du continental intercalaire | 50 |

| | | |
|--------|--|----|
| 6.1.2. | Nappe phréatique | 50 |
| 6.1.3. | Complexe terminal | 50 |
| 7. | Géologie | 51 |
| 8. | Hydrologie | 52 |
| 9. | Hydraulique | 54 |
| 10. | Pédologie | 54 |
| 11. | Population | 55 |
| 11.1 | Répartition de la population par sexe et par âge | 56 |
| 11.2 | Répartition de la population occupée | 56 |
| 12. | Infrastructure de Basse | 57 |
| 12.1 | Réseau routier | 57 |
| 12.2 | Réseau Aéroportuaire | 57 |
| 12.3 | Réseau électrique | 57 |
| 13. | Ecoles Primaires Publiques (EPP) et assainissement | 57 |
| 14. | Industrie. | 57 |
| 15. | Répartition des terres | 58 |
| 15.1. | Terres utilisées par l'agriculture (ou SAT : Surface agricole Totale)..... | 58 |
| 15.2 | Terres improductives non affectées à l'agriculture | 58 |
| 16. | Flore..... | 58 |
| 17. | Potentialités agricoles | 59 |
| 18. | Répartition du cheptel..... | 59 |
| 19. | Productions Animales..... | 59 |
| 20. | Production végétale | 60 |

Chapitre IV : Méthodologie du travail

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Approche méthodologique | 61 |
| 2. | Choix de site d'étude | 62 |
| 3. | Présentation de la région de zelfana | 62 |
| 3.1 | Histoire | 62 |
| 3.2 | Situation | 62 |
| 3.3 | Sites historiques | 63 |
| 3.4 | Climat..... | 64 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.5 | Géologie de la région | 65 |
| 3.5.1 | Quaternaire | 65 |
| 3.5.2 | Néogène | 65 |
| 3.5.3 | Crétacé supérieur | 65 |
| 3.6 | Hydrogéologie | 65 |
| 3.6.1 | Fissure | 66 |
| 3.7 | Hydrologie | 66 |
| 3.8 | Tourisme | 66 |
| 3.9 | Artisanat | 67 |
| 3.10 | Industrie | 67 |
| 3.11 | Commerce | 67 |
| 4. | Echantillonnage | 68 |
| 5. | Analyse au laboratoire | 70 |
| 6. | Analyses statistiques | 70 |
| 6.1. | Coefficient de variation | 70 |
| 7. | Réalisation de cartes thématiques | 70 |

Troisième partie : Résultats et discussion

Chapitre V. Caractéristiques du sol

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | Résultats analytiques de la salinité | 72 |
| 2. | Résultats analytiques de la réaction du sol | 73 |
| 3. | Etude de la variation spatiale des paramètres étudiés | 73 |
| 3.1. | Modélisation géostatistique | 73 |
| 3.2. | Variogramme | 74 |
| 3.3. | Réalisation des cartes thématiques | 74 |
| 3.4. | Caractérisation de la salinité du sol | 75 |
| 3.4.1. | Parcelle cultivée | 75 |
| 3.4.2. | Parcelle non cultivée | 77 |
| 3.5. | Caractérisation du pH de sol | 79 |
| 3.5.1 | Parcelle cultivée | 79 |
| 3.5.2. | Parcelle non cultivée | 81 |

| | | |
|----|----------------------------------|----|
| 2. | Discussion | 83 |
| | Conclusion | 86 |
| | Références bibliographiques..... | 91 |
| | Annexe..... | 95 |