

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université de Ghardaia**



**Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre**

**Département de Biologie**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**Filière : Science biologiques**

**Spécialité : Ecologie et environnement**

**Par :**

**BENSAHA Samia**

**GEURBATI Safaa**

**Thème**

**Variabilité spatiale de la salinité du sol dans les  
palmeraies de la région de Zelfana  
(Ghardaïa-Algérie)**

Soutenu publiquement, le / / , devant le jury composé de :

M. BENSLAMA Abderraouf	Maitre-Assistant B	Univ. Ghardaia	Président
M. BENBRAHIM Fouzi	Maitre de conférences A	ENS-Ouargla	Directeur de mémoire
Mme. HAMEL Imane	Assistant	Univ. Ghardaia	Co-Directeur de mémoire
Mme. Mebarek Oudina Asmahane	Maitre-Assistant A	Univ. Ghardaia	Examineur

**Année universitaire : 2021 / 2022**

# Remercîments

*Parce que personne n'arrive jamais seul :*

*Avant tout, je remercie DIEU le tout puissant qui m'a donné la santé, la volonté, le courage et La patience afin de mener à bien ce travail.*

*Tout d'abord on Tient surtout à adresser nos plus vifs remerciements à mon encadrant M. **BENBRAHIM .F.** Maitre de conférences A ; ENS-Ouargla*

*. Qui Nous a permis de réaliser ce travail sous sa direction. Nous ne saurons jamais oublier sa disponibilité, son assistance et ses conseils judicieux durant la réalisation de ce travail.*

*Je tiens à remercier sincèrement ma chère Co-encadrante Melle HAMELI, pour son aide et ces conseils.*

*Mes remerciements vont aussi aux membres du jury, qui nous ont fait honorer d'examiner ce travail :*

*MEBAREK OUDINA Asmahane, maître –assistant A à l'université de Ghardaia.*

*BENSLAMA Abderraouf, maître-assistant B à l'université de Ghardaia.*

*Je remercie particulièrement mes enseignants, BENSAMOUNE .Y, KHALEF K, AWADI A ,GEUGEUB E , KRIMATE M, BOUNABE.*

*Je remercie sincèrement tous mes enseignants pour leurs efforts et leurs disponibilités tout au long de mes cursus de master.*

*Mes vifs remerciements vont aussi au personnel du du laboratoire et d'administration du département de biologie de l'université de Ghardaïa.*

*J'exprime mes gratitudes à toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cette mémoire.*



# Dédicace

*J'ai le grand plaisir de dédier ce modeste travail :*

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

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

*À mon frère : Ahmed Yacine.*

*À Mes sœur : Khouloud et Rehab .*

*À mes grandes-mères : Sasia et El Aliaa*

*À toute la famille BENSAHA et BELLAOUAR.*

*À mes meilleurs amis : Faiza , Nadjwa, Hadjer, Messaouda .B, Messaouda.S , Saida, Safaa, Ma Tente Hadjira, Mon Oncle Kaouther*

*En fin, je dédier À tous ceux qui m'ont aidé dans ce modeste travail.*

**SAMIA**



# Dédicace

Al'aide de dieu le tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie à :

- A celle qui m'a attendu avec patience pour les fruits de sa Bonne Éducation,...

A ma Mère. LAOUAR Yamina

- A celui qui m'a indiqué la bonne voie et m'ont soutenu financièrement et moralement que dieu les protégée ...

A mon Père. GUERBATI Ahmed

- A ceux qu'ont fait preuve de soutiens et qui m'ont donné une Motivation sans prix

- A mes Chères frères
- Et mes chères sœurs
- A tout Ma Famille «Guerbati »
- A mes chères Amis

- À tous ceux qui ont contribué de près ou de bion à la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici la traduction de notre gratitude et de notre reconnaissance.



Dédicace

## Table Des Matières

.....	II
Dédicace.....	III
Table Des Matières .....	IV
Liste des Tableaux.....	VI
Liste Des Figures .....	VII
Liste Des Cartes .....	VIII
Liste Des Abréviations.....	IX
1. Introduction :.....	1
<b>Chapiter I: Présentation de la région de ghardaia</b>	
1. Situation géographique.....	4
2. Climat de la région d'étude .....	5
2.1. Température .....	5
2.2. Pluviométrie .....	6
2.3. Vents .....	6
2.4. Insolation :.....	6
2.5. Synthèseclimatique .....	6
2.6. Climagramme d'EMBERGER.....	7
3. Pédologie.....	8
4. La végétation de la région d'étude .....	9
5. Géomorphologie.....	10
5.1. Chabka du M'Zab .....	10
5.2. Région des dayas.....	11
5.3. Région des Regs.....	11
5.4. L'erg: .....	11
6. Hydrogéologie.....	11
6.1. Continental intercalaire .....	12
6.2. Nappe phréatique .....	12
7. Agriculture .....	13
7.1. Ressources hydriques et infrastructures hydro agricoles .....	13
7.2. Potentiel productif de la Wilaya.....	13
7.2.1. Production végétale .....	13

7.2.2. Productions animales :.....14

## **Chapitre II: Matériels et méthode d'étude**

1. Matériels d'étude :.....21

1.1. Au terrain : .....21

1.2. Au laboratoire : .....21

1.3 Présentation du site d'étude :.....22

1.4 Choix du site d'étude :.....22

2. Méthodes d'études .....23

2.1. Approche méthodologique :.....23

2.2. Méthode d'échantillonnage :.....24

2.3. Analyse au laboratoire : .....24

2.3.1. Conductivité électrique et pH :.....24

2.3.2. Dosage du calcaire total.....26

2.4. Analyses Statistiques : .....27

2.4.1. Statistiques descriptifs .....27

2.4.2. Coefficient de variation .....27

2.4.3. Géostatistiques.....28

2.4.4. Krigeage .....28

## **Chapitre III: Résultats et discussion**

1. Résultats .....31

1.1. Résultats analytiques de Calcaire totale.....31

1.2 Résultats analytiques de la salinité du sol .....31

1.3. Résultats analytiques de pH .....32

2. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage .....32

3. Discussion : .....38

Conclusion .....42

**Références Bibliographiques**.....43

### **Annex**

### **Abstract**

## Liste des Tableaux

<b>Tableau N° 01:</b> Données climatique de la région pendant l'année 2020 (O.N.M, 2020).....	5
<b>Tableau N° 02:</b> Répartition générale des terres agricole (D.S.A, 2021).....	13
<b>Tableau N° 03:</b> Production végétale (D.S.A 2021) .....	13
<b>Tableau N° 04:</b> Productions animales. (D.S.A 2021).....	14
<b>Tableau N° 05:</b> Petits élevages(D.S.A 2021).....	14
<b>Tableau N° 06:</b> Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et <i>al.</i> , 1997 in MATHIEU, 2009). .....	28
<b>Tableau N° 07:</b> Statistiques descriptives du Calcaire total dans le site d'étude. ....	31
<b>Tableau N° 08:</b> Statistiques descriptives de la salinité dans le site d'étude. ....	31
<b>Tableau N° 09:</b> Statistiques descriptives du pH dans le site d'étude.....	32

## Liste Des Figure

<b>Figure N° 01:</b> Limites géographiques de la région de Ghardaïa (OUALI, 2007).....	4
<b>Figure N° 02:</b> Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2010-2019).....	7
<b>Figure N° 03:</b> Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (2003 – 2014). .....	8
<b>Figure N° 04:</b> Présentation du site d'étude .....	23
<b>Figure N° 05:</b> Plan d'échantillonnage.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
<b>Figure N° 06:</b> Analyses du pH et de la conductivité électrique .....	25
<b>Figure N° 07:</b> Analyses du calcaire total. ....	26

## Liste Des Cartes

<b>Carte N° 01:</b> Répartition spatiale du CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle aval .....	33
<b>Carte N° 02:</b> Répartition spatiale du CaCO <sub>3</sub> dans la parcelle amont .....	34
<b>Carte N° 03:</b> Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle aval. ....	35
<b>Carte N° 04:</b> Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle amont. ....	36
<b>Carte N° 05:</b> Répartition spatiale du pH dans la parcelle aval. ....	37
<b>Carte N° 06:</b> Répartition spatiale du pH dans la parcelle amont. ....	38

## Liste Des Abréviations

<b>A.B.H.S</b>	Agence du bassin hydraulique de Sebou
<b>A.N.R.H</b>	Agence National des Ressources Hydriques.
<b>C.E</b>	Conductivité Electrique.
<b>cm</b>	Centimètre
<b>CO3</b>	Carbonate
<b>CV</b>	Coefficient de variation
<b>D.P.A.T</b>	Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
<b>D.S.A</b>	Direction des Services Agricoles.
<b>dS/m</b>	Decisiemens par mètre
<b>GPS</b>	Global positioning system
<b>m</b>	Mètre
<b>O.N.M</b>	Office National de Météorologie.
<b>s</b>	Seconde
<b>U.S.D.A</b>	United states Department of Agriculture.
<b>°C</b>	Degré Celsius

---

# Introduction

---

---

### Introduction :

Le sol est une ressource naturelle à préserver pour l'agriculture et l'environnement. Il est soumis dans les régions du sud du globe à une dégradation, de type physique et chimique, naturel et anthropique, notamment un déficit et un excès d'eau, la compaction, la diminution de la fertilité et la salinisation. Ces situations de stress peuvent conduire à la dégradation biologique des sols et à la désertification (ROBERT, 1992).

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).

Les sols cultivés dans les régions arides, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (BENBRAHIM, 2001; BENBRAHIM, 2006 ; MADANI, 2008 ; FERROUKHI, 2010).

En Algérie, les sols calcaires se distribuent sur l'ensemble du Nord de l'Algérie, particulièrement dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides. Ils peuvent se trouver sous trois formes principales : diffuses, en concentrations ou discontinues (MADANI, 2008).

La présence du calcaire confère au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et influe sur son activité biologique. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique (MIHOUB, 2008).

D'Est en Ouest, de la côte au Sahara, les sols agricoles sont au plus forts. La plupart sont affectés par la salinité ou éventuellement (DURAND, 1958 ; HALITIM, 1973).

Dans la région saharienne, l'agriculture n'est possible que par l'irrigation. Cependant cela les techniques qui modifient considérablement les propriétés du sol peuvent être dangereuses car l'eau les systèmes d'irrigation riches en sel peuvent exacerber le problème du sel (BENBRAHIM, 2001).

Dans les zones arides et semi-arides, les plantes doivent être irriguées pour assurer les cultures et augmenter les rendements. La mauvaise qualité de l'eau d'irrigation s'accompagne d'un drainage inadéquat conduit souvent à l'accumulation de sel dans le sol. Par conséquent, les plantes poussant dans des sols salins sont altérées, ce qui réduit leur croissance et leur rendement (MUNNS et al, 2006).

La variabilité spatiale des propriétés du sol est un peu inhérente à la nature, en raison des variations dans les matériaux parentaux du sol et de l'interface microclimatique (ZHAO et al., 2007). La distribution spatiale des propriétés du sol n'est pas uniforme. Cette répartition inégale des caractéristiques du sol peut refléter les processus qui se produisent dans l'écosystème plus large (CORSTANJE et al., 2006).

Dans cette optique, l'objectif de notre travail portera spécialement sur la variation spatiale de trois paramètres du sol (calcaire total, salinité et pH) dans des palmeraies situées au niveau de la région de Zelfana (Ghardaïa) à différentes altitudes (amont, aval).

- La première partie, consacrée à la présentation de la région d'étude.
- La deuxième partie, consacrée au matériel et méthodes d'étude.
- La troisième partie, consacrée aux résultats obtenus et leurs interprétations à travers l'analyse des données, et discussions.
- Enfin, nous terminons ce travail par une conclusion générale qui met en valeur l'essentiel des résultats obtenus et dans laquelle nous proposons des perspectives et recommandations d'entreprendre pour une durabilité des systèmes agricoles aux générations futures.

---

# CHAPITRE 1

Présentation de la région de GHARDAIA

---

## Présentation de la région de GHARDAIA

### 1. Situation géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara Algérienne. Les coordonnées géographiques du chef-lieu de la wilaya sont 32° 30' de latitude Nord à 3° 45' de longitude Est (fig.1). La wilaya comporte actuellement 10 communes regroupées en 8 daïras avec une superficie de 26.165 Km<sup>2</sup> (D.P.A.T, 2021).

La wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km).
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km).
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km).
- Au Sud- par la Wilaya Meniaa (270 Km).
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350 Km).

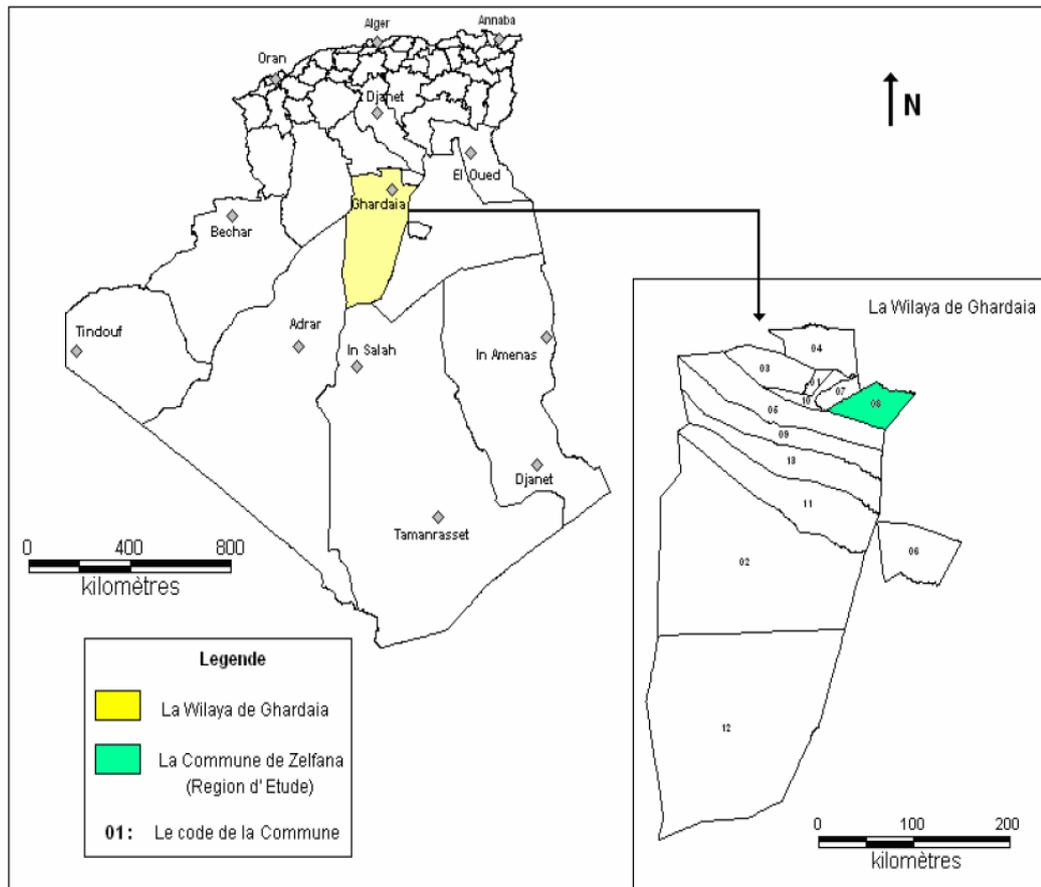


Figure N° 01: Limites géographiques de la région de Ghardaïa (OUALI, 2007)

## 2. Climat de la région d'étude

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement Saharien, se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'Avril à Septembre) et une autre tempérée (d'Octobre à Mars) et une grande différence entre les températures de l'été et de l'hiver (A.N.R.H, 2007).

**Tableau N° 01:** Données climatique de la région pendant l'année 2020 (O.N.M, 2020).

Mois	Température			H%	P%	Insolation
	Min	Max	Moy			
Janvier	4,78	21,5	13,14	45.3	0	250.1
Février	5,93	23,02	14,475	38.98	0	238.6
Mars	9,22	28,29	18,755	34.9	3,3	277.8
Avril	13,15	33,67	23,41	30.12	9,4	295.3
Mai	17,8	37,69	27,745	26.05	5,4	338.7
Juin	23,08	42,58	32,83	22.57	0	341.2
Juillet	27,74	45,65	36,695	19.26	0	344.8
Aout	26,63	43,6	35,115	24.35	0	288.5
Septembre	21,7	38,79	30,245	32.11	4,6	267.1
Octobre	16,59	34,38	25,485	38.62	0	253.4
Novembre	8,93	26,96	17,945	45.1	0,1	246.5
Décembre	5,49	21,29	13,39	51.83	0	289.0
Moyenne	15,09	33,12	24,10	34,01	22,8*	3431*

### 2.1. Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métabolique et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés des êtres vivants dans la biosphère. (RAMADE, 2003).

Elle est marquée par une grande amplitude entre le jour et la nuit, l'été et l'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 27.6°C, le maximum absolu de cette période atteint 49°C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 4.9 °C, le minimum absolu de cette période atteint 11.3 °C. (O.N.M ,2020)

## 2.2. Pluviométrie

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, elles varient entre 13 et 68 mm sur une durée moyenne de quinze jours par an. Le nombre de jours de pluie ne dépasse pas 11 jours (entre les mois de Janvier et Mars). Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps sauf dans des cas exceptionnels. (O.N.M, 2020)

## 2.3. Vents

Pendant certaines périodes de l'année, en général en Mars et Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trombes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut. Les vents dominants d'été sont forts et chauds, tandis que ceux d'hiver sont froids et humides. Pour ce qui est du Sirocco, dans la zone de Ghardaïa on note une moyenne annuelle de 11 jours/an pendant la période qui va du mois de Mai à Septembre (O.N.M, 2020)

## 2.4. Insolation :

La durée moyenne de l'insolation est de 281.3heures/mois, avec un maximum de 344.8 heures en juillet et un minimum de 238.6 heures en mois de février. La durée d'insolation moyenne annuelle (2009 et 2018) est de 3467.1heures /an, soit approximativement 9 heures / jour (O.N.M, 2019).

## 2.5. Synthèseclimatique

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN permet de déterminer les périodes sèches et humides de n'importe quelle région à partir de l'exploitation des données des précipitations mensuelles et des températures moyennes mensuelles (DAJOZ, 2003).

D'après FRONTIER et *al.* (2004), les diagrammes ombrothermiques de GAUSSEN sont constitués en portant en abscisses les mois et en ordonnées, à la fois, les températures moyennes mensuelles en (°C) et les précipitations mensuelles en (mm). L'échelle adoptée pour les pluies est double de celle adoptée pour les températures dans les unités choisies ( $P = 2T$ ).

La méthode de construction du diagramme consiste à porter les courbes représentant les précipitations mensuelles moyennes et les températures mensuelles moyennes  $(M+m) / 2$ .

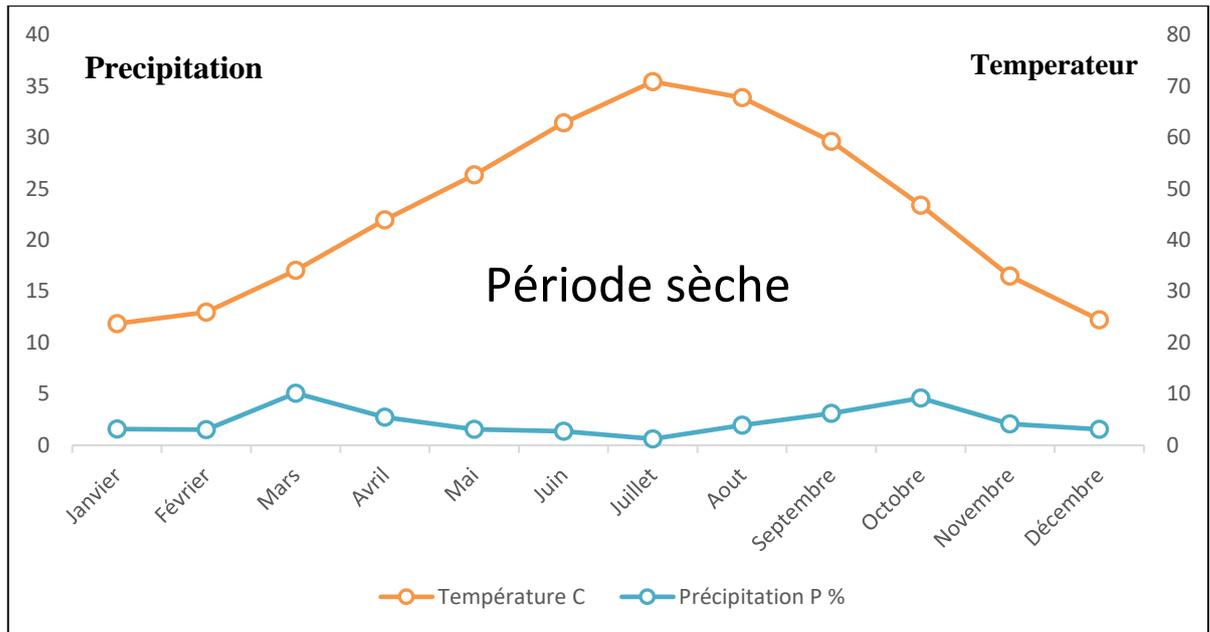


Figure N° 02: DiagrammeOmbrothermique de la région de Ghardaïa (2010-2019)

Selon le diagramme ombrothermique, les régions de Ghardaïa est caractérisées par une période de sècheresse pendant l’année,

Cette sécheresse estivale particulièrement importante peut aussi perturber les phénomènes de régénération en bioclimat aride et provoque des variations marquantes dans la répartition de certaines espèces végétales. (QUEZEL, 2000).

### 2.6. Climagramme d’EMBERGER

Elle permet de connaître l’étage bioclimatique de la région d’étude. il est représenté par :

- La moyenne des minima du mois le plus froid est portée dans l’axe des abscisses.
- Le quotient pluviométrique (Q2) d’EMBERGER est représenté dans l’axe des ordonnées.

On a utilisé la formule de STEWART adapté pour l’Algérie, qui se calcule comme suit :

$$Q2 = 3,43 (P/M * m)$$

- Q2 : Quotient thermique d’EMBERGER

- P : Précipitations moyennes annuelles en mm
- M : La température maximale du mois le plus chaud en °C
- m : La température minimale du mois le plus froid en °C .

D'après la formule, la Wilaya de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à Hiver doux et son quotient thermique (Q2) est de 7,76.

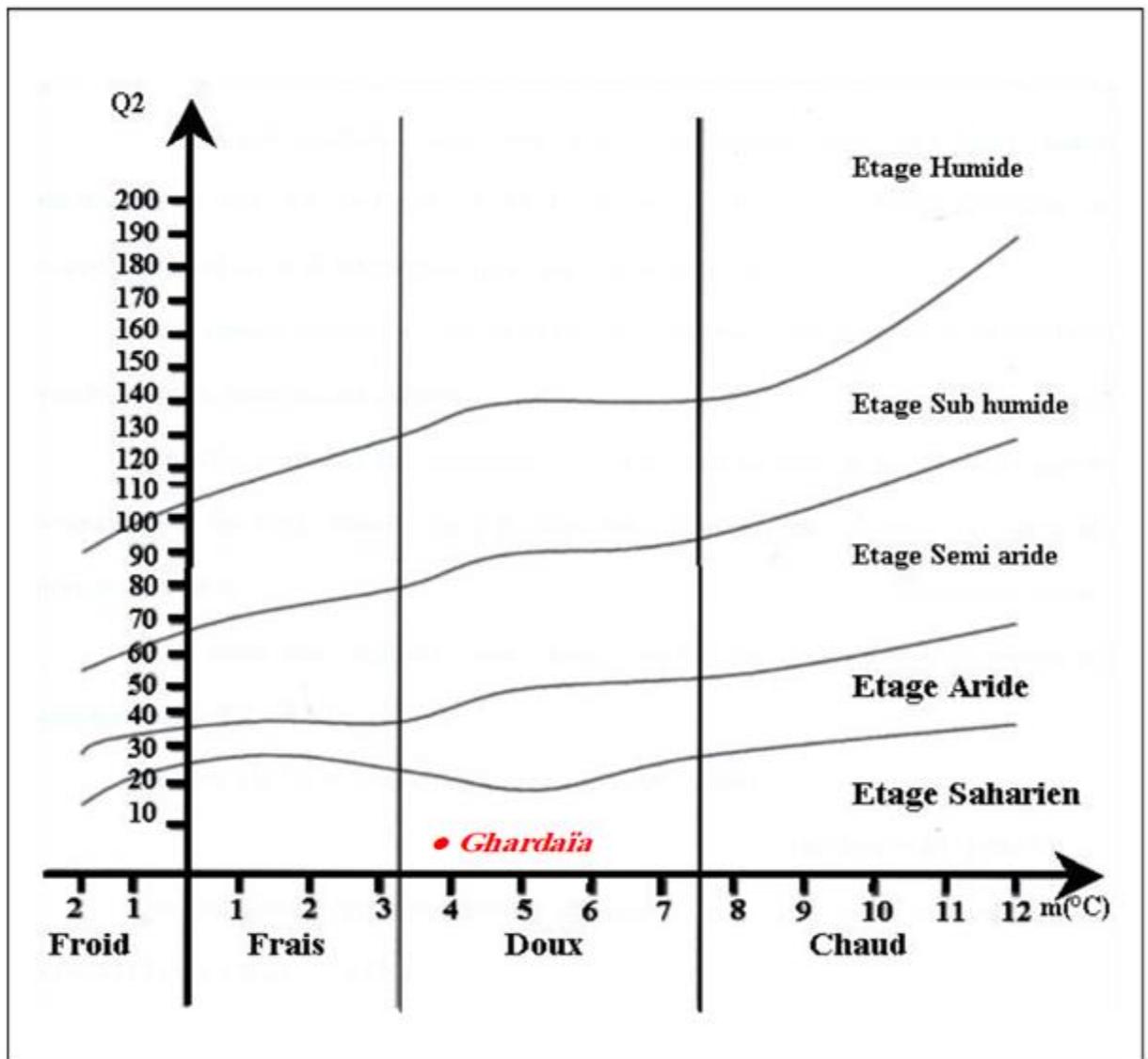


Figure N° 03: Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (2003 – 2014).

### 3. Pédologie

Le sable ne domine pas dans le Sahara, les sols désertiques sont surtout pierreux. Les sols argileux couvrent une grande partie des déserts. La surface d'un sol argileux se dessèche

très rapidement après une pluie. Cependant la dessiccation pénétrant de plus en plus profondément, la zone de départ de l'évaporation devient de plus en plus profonde et la zone d'évaporation de plus en plus basse au niveau de la région de Ghardaïa, les sols sont squelettiques suite à l'action de l'érosion éolienne et souvent marqué par la présence en surface d'un abondant argileux, type « Hamada ». Dans les dépressions, les sols sont plus riches grâce à l'accumulation des dépôts alluviaux. (DUBOST, 1991).

#### 4. La végétation de la région d'étude

La flore saharienne est considérée comme pauvre si l'on compare le petit nombre d'espèces qui habitent ce désert à l'énormité de la surface qu'il couvre (OZENDA, 1983)

En dehors des palmeraies on peut rencontrer des peuplements floristiques halophiles constituant un cas particulier important dans cette zone sub-désertique.

CHEHMA et al, (2005), ont constaté que la distribution spatiale de la flore spontanée du Sahara septentrionale (Ouargla et Ghardaïa) est inégale. Les lits d'oued sont les plus riches, suivi respectivement des dayas, des sols rocaillieux, des sols sableux, des regs et enfin des sols salés. Les espèces les plus abondantes de ces différents milieux sont:

- Sols sableux : *Aristidapungens* (Poaceae), *Retamaretam* et *Astragalus gombo* (Fabaceae)
- Regs: *Ephedraalata* (Ephedraceae), *Cornulacamonocantha* (Chenopodiaceae)
  - *Zygophyllum album* (Zygophyllaceae)
- Hamadas : (Chenopodiaceae) *Traganumnudatum* et *Salsolatetragona*,
- Dépressions : *Randoniaafricana* (Resedaceae), *Retamaretam* et *Astragalusgombo* (Fabaceae)
- Sols salés : *Tamarixaphylla* (Tamaricaceae), *zygophyllum album* (Zygophyllaceae)
- Lits d'oued: *Anabasisarticulata* (Chenopodiaceae), *Retamaretam* (Fabaceae), *Ephedraalata* (Ephedraceae), *Aristidapungens* (Poaceae), *Artemisia herba alba* (Asteraceae)

La flore des palmeraies est caractérisée par la prédominance du palmier dattier *Phoenixdactylifera*. L'oasis est avant tout une palmeraie dans laquelle, sous les arbres ou au

voisinage sont établies accessoirement des cultures fruitières et maraîchères (OZENDA, 2004).

Le couvert végétal de la région de Ghardaïa est caractérisé par une diversité d'espèces arborescentes, arbustives et herbacées selon l'altitude, En effet, l'espèce la plus dominante dans cette région est *Phoenixdactylifera*, Sous ces arbres ou /et au voisinage sont établies des cultures fruitières, maraichères et condimentaires (QUEZEL et SANTA ,1962 ; OZENDA, 1983 et ZERGONE, 1994). La flore de la région de Ghardaïa regroupe une gamme d'espèces représentées par 25 familles et 73 espèces, la liste des espèces végétale récentes dans la région sont illustré par (BEN MAZOUZ et SEBGAG, 1993).

## 5. 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

### 5.1. Chabka du M'Zab

C'est un plateau crétaqué 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. (2005).

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., 2005).

Le plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 Km<sup>2</sup>, 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 et Mansoura) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau.

## 5.2. 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.

De 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 (LEBATT-MAHMA., 1997). La région des dayas par sa richesse floristique offre par excellence les meilleures zones de parcours.

## 5.3. Région des Regs

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 (D.P.A.T., 2005).

Les Regs sont le résultat de la déflation, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf.

## 5.4. L'erg:

Sont les sols sableux qui renferment les cordons dunaires, ce sont les plus représentés dans les régions sahariennes (CHEHMA, 2006).

## 6. Hydrogéologie

La région d'étude est alimentée par deux nappes : celle du intercalaire et la nappe phréatique (A.B.H.S., 2005).

La caractéristique de profondeur, de température et de salinité sont spécifiques au type de la formation géologique du Continental Intercalaire dans la région d'étude (A.B.H.S., 2005).

### **6.1. Continental intercalaire**

Sa profondeur varie entre 1600 et 2000 m, l'épaisseur utile peut atteindre 900 m (VOISIN, 2004).

Cette nappe couvre une surface de 600.000 m<sup>2</sup> et renferme 50000 milliards de m<sup>3</sup> en réserve. Elle occupe la totalité du Sahara septentrional algérien, et se prolonge dans le sud de la Tunisie et le Nord de la Libye. Selon l'A.N.R.H. de Ghardaïa, le premier ouvrage qui exploite la nappe albienne dans la région de Ghardaïa date du 01/05/1891 situé dans la vallée d'El Meniaa ; il s'agit du forage de Bel-Aid, il avait 55,15 m de profondeur, il a été bouché en 1949 suite à la détérioration de son équipement.

Dans la région de Ghardaïa, cette profondeur augmente, en allant du Sud vers le Nord ; elle est d'environ 250 m à HassiFhel, 350 m à Mansoura, 400 m à 500 m dans la vallée du M'Zabet autour de 900 m et plus à Guerrara et Zelfana. Cette nappe couvre l'ensemble du territoire de la région ; l'artesianisme est rencontré à Guerrara, Zelfana, Mansoura, et HassiFhel. Tandis que dans la vallée du M'Zab, Berriane, Metlili, et Sebseb l'eau est pompées eaux thermales de la nappe sont chlorurées sodiques, elles se caractérisent par une température moyenne de plus de 46 °C et une salinité moyenne de 1g (OUALI, 1996).

### **6.2. Nappe phréatique**

La nappe phréatique est un aquifère superficiel dont les eaux sont généralement exploitées par des puits. Elle est alimentée par les pluies et surtout par les crues. La nappe phréatique de Ghardaïa, a été la ressource hydrique qui a permis aux anciennes populations de se maintenir dans la Chabka. Elle permet aussi l'alimentation des puits des parcours, qui assurent l'abreuvement des troupeaux et leurs possesseurs. Dans cette région, la nappe se trouve à des profondeurs considérables (de 10 à 50m et plus), contrairement à la partie orientale où elle affleure, causant parfois l'asphyxie de palmiers (A.N.R.H.2005).

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±0,25 dS/m à 25°C (OUALI, 2007).

## 7. Agriculture

**Tableau N° 02:** Répartition générale des terres agricole (D.S.A, 2021).

Superficies		Exploitations agricoles	
Superficie Totale de la Wilaya	2.616.522 ha	E.A.I	626
Superficie Agricole Totale (SAT)	724.612 ha	APFA	2.856
Superficie Agricole Utile (SAU)	23.946 ha -100 % en irrigué	Privées	5.126
Parcours	700.541 ha.	Eleveurs sans terres	2.231

### 7.1. Ressources hydriques et infrastructures hydro agricoles

- Forages réalisés : 259 pour un débit de 53.085 l/s
- Puits : 6.052 pour un débit de 10.465 l/s.
- Réseaux d'irrigation :
  - Goutte à goutte : 8777.50 ha soit:50 %
  - Pivots :2051 ha soit:11.9 %
  - Aspersions : 18 ha Asperseurs soit: 0.1 %
  - Gravitaire :6669 ha soit:38 %

### 7.2. Potentiel productif de la Wilaya

#### 7.2.1. Production végétale

**Tableau N° 03:** Production végétale (D.S.A 2021)

Spécifications	Superficie Totale (Ha)	Production(Qx)Année 2020
Phoeniculture	8379	481 466
Noùbre de palmier dattier	955 445	
Agrumes	1001	51 789
Viticultures	260	21 776
Oléicultures	1 614	25 114 d'huile590 Hl
AutresArboricultures	974	51 397
Cultures maraîchères	2115	340 045
Dont pomme de terre	31	6121
Cultures fourragères	2067	257 573
Maïs Ensilé	/	/
Céréales	661	23 940
Arachides	400	7 600

**7.2.2. Productions animales :****7.3.2.1 Gros élevages :****Tableau N° 04:** productions animales. (D.S.A 2021).

<b>Espèce r</b>	<b>Effectif</b>	<b>Production annuelle de Viande rouge Qx Année 2020</b>	<b>Production de lait en10<sup>3</sup> litres année 2020</b>	<b>Collecte annuelle de lait en 10<sup>3</sup>litres année 2020</b>
Bovine	4117	1.573	/	/
Dont vaches laitières	2647	/	16.868	11924
Ovine	295157	19.644	/	/
Dontbrebis	148670	/	4.779	/
Caprine	132216	7395	/	/
Dont chèvres	79622	/	4118	390
Cameline	7559	6489	/	/
Dont chamelles	3642	/	1.413	/
Total		35101	27178	12314

**7.3.2.2 Petits élevages :****Tableau N° 05:** Petits élevages (D.S.A 2021).

<b>Espèces</b>	<b>Effectifs</b>	<b>Œufs(Unités)</b>	<b>Viandes blanches QX</b>
Poulet de chair	94184	/	1409
Poule pondeuse	4933	486	/

**7.3.2.3. Apicultures :**

Nombre de ruches : 2.065 productions 6.000 Kg. (D.S.A 2021).

---

# CHAPITRE 2

Matériels et méthode d'étude

---

## Matériels et méthodes d'étude

L'étude de la couverture pédologique commence par le choix d'une zone d'étude, qui répond aux exigences des grands axes de thème de recherche, suivie par des travaux préliminaires déterminant le plan d'échantillonnage, en suite l'étude morphologique et analytique ainsi que la classification des sols, et enfin la réalisation d'esquisse d'une carte des sols (MESSEN et al 2004 inDJILI, 2004).

Le principal objectif de cette étude est l'impact de l'intensification agricole sur la variation du taux de la salinité ; calcaire ; pH du sol dans deux parcelles cultivées par palmerais dans deux station expérimentale situé à ZELFANA (ferme de NOUACER et BENBADA).

### 1. Matériels d'étude :

Pour effectuer ce travail, nous avons utilisés le matériel suivant :

#### 1.1. Au terrain :

- Piquets
- Cordes
- GPS
- Décamètres
- Tarière

#### 1.2. Au laboratoire :

- Balance de précision
- Tamis 2mm
- Un conductimètre
- pH mètre
- Calcimètre de Bernard
- Agitateur magnétique

### 1.3. Présentation du site d'étude :

Le terrain expérimental est situé au niveau de la Ferme de Nouacer, qui a été créé en 1990 à Zelfana (Fig. 04) à une distance d'environ 65 Km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa. Elle couvre une superficie totale de 5 ha, avec une superficie exploitée 5 ha, Cette parcelle spécialisée en phoeniciculture avec un effectif de 600 pieds. En plus, la culture maraîchère trouve sa place avec 300 arbres fruitiers distribués sur les oranges, les poires, les citrons, les figues, les olives et la grenade. Tandis que la deuxième palmeraie (BENBADA) a été créée en 1958 par les français dans la région de Ghardaïa, dans le périmètre Hassi Sud, commune de Zelfana. Elle couvre une superficie totale de 1, 9684 ha. La superficie exploitée est estimée à 1,95 ha. La ferme dispose de 200 palmiers dattiers et 70 arbres fruitiers. Les ressources hydriques au niveau du site proviennent d'un forage collectif, la fertilisation est limitée au fumier organique.

### 1.4. Choix du site d'étude :

Notre choix s'est porté sur deux palmeraies, elles sont réparties selon l'altitude ; une palmeraie de BENBADA en amont et en aval une palmeraie de NOUACER. Le choix est aussi fait à cause de l'utilisation de l'irrigation traditionnelle par submersion, ce qui permet de déduire l'impact de l'irrigation.

**Parcelle amont****Parcelle aval****Figure N° 04 :** Présentation du site d'étude.

## **2. Méthodes d'études**

### **2.1. Approche méthodologique :**

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).

Pour évaluer la qualité du sol, l'U.S.D.A. (1999) a proposé deux manières d'évaluation:

- Soit par la prise de mesures périodiquement dans le temps pour surveiller les changements ou les tendances de qualité de sol.
- Soit par la comparaison des valeurs mesurées à un état de sol de référence ou à l'écosystème naturel.

## 2.2. Méthode d'échantillonnage :

L'étude de l'évolution de la salinité dans la zone de ZELFANA a été réalisée à l'aide d'un échantillonnage systématique d'une grille régulière de 8 x 8 m. Le nombre d'échantillons dans les deux parcelles cultivées était de 36 échantillons.

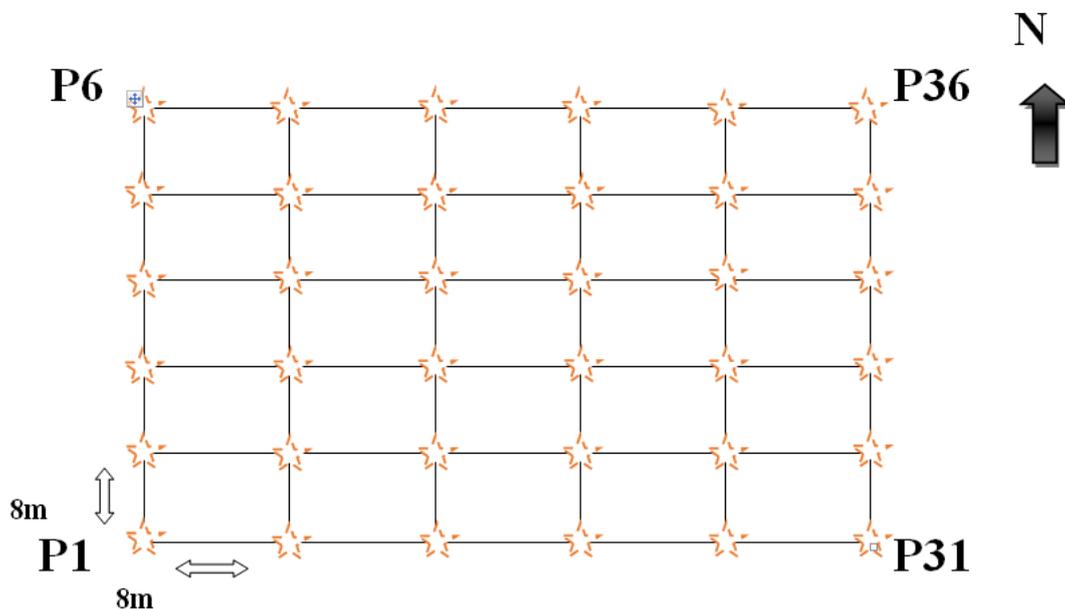


Figure N° 05: Plan d'échantillonnage.

## 2.3. Analyses au laboratoire :

### Analyse de sol :

- Les échantillons collectés ont été séchés à l'air libre puis tamisés à 2 mm.

### 2.3.1. Conductivité électrique et pH :

- Nous avons dilué des extraits de sol/l'eau en laboratoire, chacun dans un rapport de 1/5.
- Échantillon (10 g de sol et 50 ml d'eau). L'analyse porte sur :

- Utiliser un conductimètre pour mesurer la conductivité du sol (C.E à 25°C).
- Le pH à l'aide d'un pH mètre à électrode.

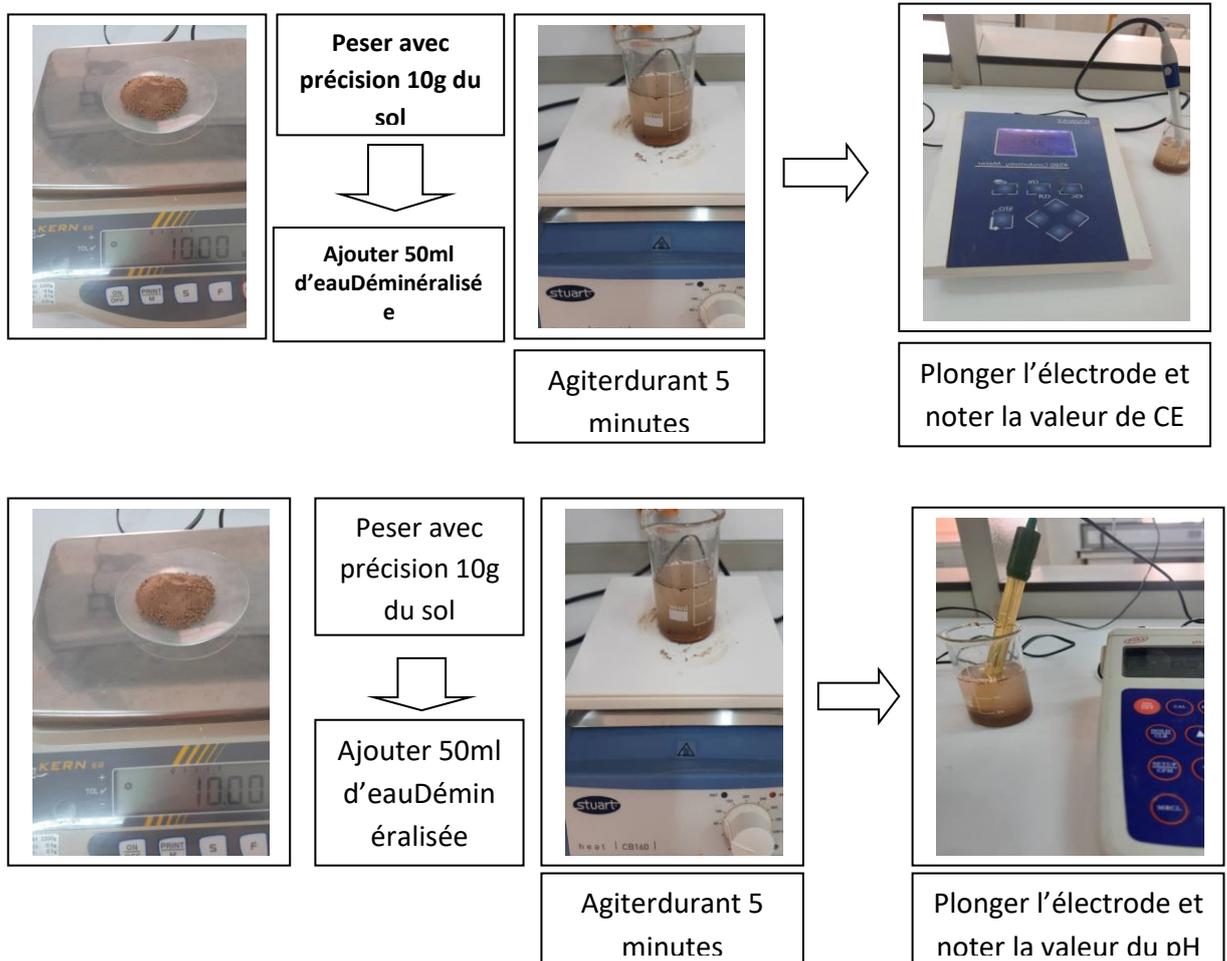


Figure N° 06: Analyses du pH et de la conductivité électrique

- **Mesure**
  - Peser 10 g de terre dans un bécher.
  - Ajouter 50 ml de solution d'eau déminéralisée.
  - Agiter durant 5 minutes.
  - Plonger l'électrode dans le liquide et effectuer la mesure.
  - Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.

### 2.3.2. Dosage du calcaire total

- Peser 0,3 g de carbonate de calcium et verser dans le flacon
- Rassembler au fond à l'aide de 5ml d'eau déminéralisée, introduire l'acide chlorhydrique dans le flacon à l'aide d'une pince.
- Vérifier que le niveau du liquide dans le tube gradué est au zéro et adapter le flacon au calcimètre.
- Egaliser les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre.
- Fermer le tube à l'aide de la pince de Mohr.
- Prendre le flacon par son bouchon et renverser l'acide dans le flacon, agité.
- Attendre la réaction soit complète : 1 min suffit pour le sel pur.
- A l'aide du niveau, égaliser à nouveau les pressions d'air de part et d'autre de la colonne liquide du calcimètre.
- Lire le volume dégagé :  $V_3$ .
- Noter la température de l'air ambiant.

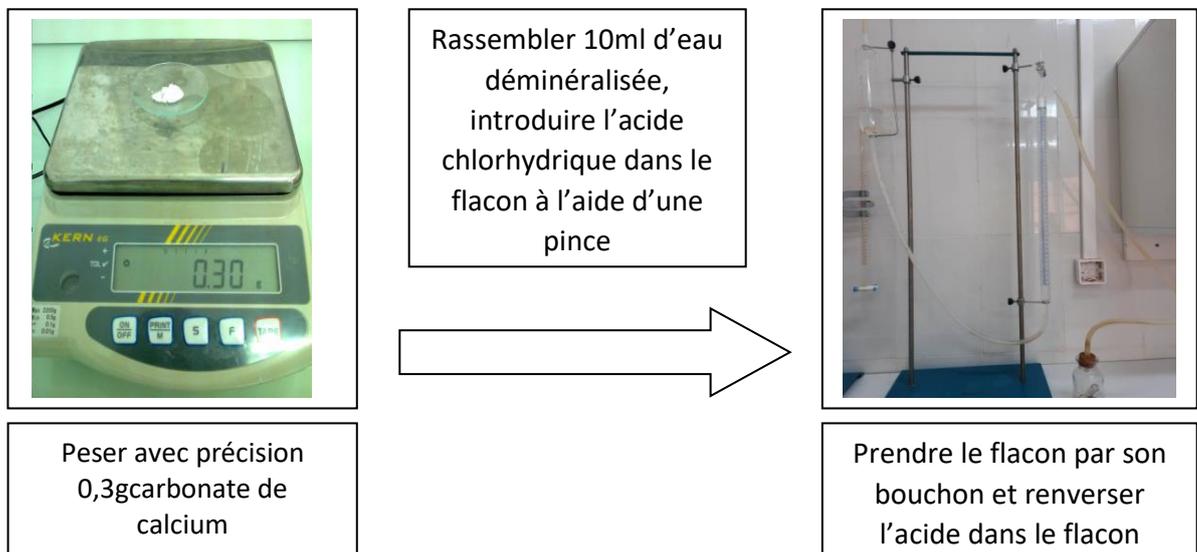


Figure N° 07: Analyses du calcaire total.

- **Mesure**

Le pourcentage du calcaire est alors calculé d'après la relation suivante :

Avec :

$$x (\%) = 30 V4 / V3P$$

- x: pourcentage de carbonate de calcium
- P : prise d'essai en gramme
- V3 : volume de CO<sub>2</sub> en ml dégagé par le carbonate de calcium contenu dans la prise de terre P
- V4 : volume de CO<sub>2</sub> en ml dégagé par 0,3 g de carbonate de calcium.

## 2.4. Analyses Statistiques :

### 2.4.1. Statistiques descriptifs

- Cet outil d'analyse génère un rapport statistique uni varié pour les données de la plage d'entrée, fournissant des informations sur la tendance centrale et la dispersion des données.
- Dans notre cas, les statistiques descriptives impliquent la moyenne, l'écart type, le minimum et le maximum.

### 2.4.2. Coefficient de variation

Le coefficient de variation (CV) a été utilisé pour comparer la variabilité des descripteurs de sol. Il est calculé par le rapport entre l'écart type (s) et la moyenne arithmétique (m) (CHENINI et *al.*, 2013)

$$CV (\%) = 100 S/m$$

Cinq classes, basées sur la valeur du CV, sont proposées par (NOLIN et al, 1997 in MATHIEU, 2009) pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols.

**Tableau N° 06:** 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

### 2.4.3. Géostatistiques

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).

C'est une méthode couramment utilisée pour étudier la dépendance spatiale des observations est d'analyser le semi-variogramme (appelé couramment variogramme), un graphique qui présente la variation de la demi-variance  $\gamma(h)$  en fonction de la distance (h) entre les échantillons (MATHIEU, 2009).

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).

### 2.4.4. Krigeage

Le krigeage est une technique géostatistique de modélisation spatiale qui permet d'obtenir une représentation uniforme de l'information étudiée à partir de données dispersées

(HENNEQUI, 2010) basée sur des méthodes d'interpolation linéaire, basée sur l'expression de la dépendance spatiale des variogrammes (NOLIN et al, 1991) Les deux krigeages les plus courants sont le krigeage ponctuel qui correspond à une estimation de la valeur d'une variable en un point non échantillonné et un krigeage qui estime la valeur moyenne de cette variable sur une surface donnée par bloc (DESPAGNE, 2006). La précision de l'estimation par krigeage dépend d'un certain nombre de facteurs (MYERS, 1994; SULLIVAN et al, 2005; LIU et al, 2006; RIVERO et al, 2007 in MATHIEU, 2009) soit :

- le nombre d'échantillons et la qualité des données à chaque point ;
- la localisation de l'échantillon sur le site étudié, car un échantillon uniformément réparti permet une meilleure couverture et donc renseigne davantage sur le site qu'un échantillon groupé ;
- la distance entre l'échantillon et le point dont on veut estimer la valeur ;

Étudier la continuité spatiale des variables : la valeur d'une variable assez régulière est plus facile à estimer que la valeur d'une variable qui varie aléatoirement.

---

# CHAPITRE 3

Résultats et Discussions

---

## Résultats et Discussions

Malgré les conditions difficiles des régions arides, les sols présentent un certain nombre de caractéristiques constantes : les éléments solubles sont concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés, à un niveau ou à un autre du profil, jusqu'à la formation de nodules ou de croutes calcaires, gypseuses ou salines, Souvent calcaires, ces sols sont aussi souvent salés(AUBERT, 1975).

### 1. Résultats

#### 1.1. Résultats analytiques de Calcaire totale

**Tableau N° 07:** Statistiques descriptives du Calcaire total dans le site d'étude.

	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	CV%
<b>Aval</b>	3	24	11,67	5,32	45,65
<b>Amont</b>	1,5	23,25	5,47	4,43	80,98

**Moy:** moyenne, **Min** : minimum, **Max** : maximum, **CV** : coefficient de variation, **N** : nombre d'échantillon.

Les résultats analytiques du calcaire total des 36 échantillons prélevés de l'horizon de surface sous une profondeur de 0 à 30 cm, selon un maillage systématique de 8mx8m dans deux parcelles cultivée, ont montrés que la teneur en calcaire total dans les échantillons étudiés varié entre 3 % à 24% (peu à modérément calcaire) avec une moyenne de  $11,67 \pm 5,32$  % dans la parcelle cultivée Aval et de 1,5 % à 23,25%(peu à modérément calcaire) avec une moyenne de  $5,47 \pm 4,43$  % dans la parcelle cultivée Amont. Le coefficient de variation montre que le calcaire a une variabilité élevée(CV=45,65%) dans la parcelle cultivée (aval) et une variabilité très élevée (CV=80,98%) pour la Parcelle cultivée (amont).

#### 1.2. Résultats analytiques de la salinité du sol

**Tableau N° 08:** Statistiques descriptives de la salinité dans le site d'étude.

	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	CV%
<b>Aval</b>	1,14	3,83	2,62	0,65	25,02
<b>Amont</b>	1,13	6,26	3,21	1,37	42,90

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée (Aval), la salinité varie de 1,14 à 3,83 dS/m Avec une moyenne de  $2,62 \pm 0,65$  dS/m (sol salé).

Dans l'horizon superficiel de la parcelle cultivée (amont), la salinité varie de 1,13 à 6,26 dS/m avec une Moyenne de  $3,21 \pm 1,37$  dS/m (sol très salé).

Le coefficient de variation montre que la conductivité électrique(CE) a une variabilité modérée (CV=25,02%) dans la parcelle cultivée (aval) et une variabilité élevée (CV=42,90%) pour la Parcelle cultivée (amont) (Tab.8) (NOLIN et al, 1997 in MATHIEU, 2009).

### 1.3. Résultats analytiques de pH

**Tableau N° 09:** Statistiques descriptives du pH dans le site d'étude.

	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	CV%
<b>Aval</b>	7,75	8,63	8,21	0,26	3,21
<b>Amont</b>	7,6	8,48	7,96	0,25	3,16

A partir de l'analyse de 36 échantillons de chaque parcelle étudiée, le pH des parcelles amont variait de 7,6 à 8,48 (alcaline) avec une moyenne de  $7,96 \pm 0,25$  et de la zone aval 7,75 (alcaline) à 8,63 (très alcaline) avec une moyenne de  $8,21 \pm 0,26$ .

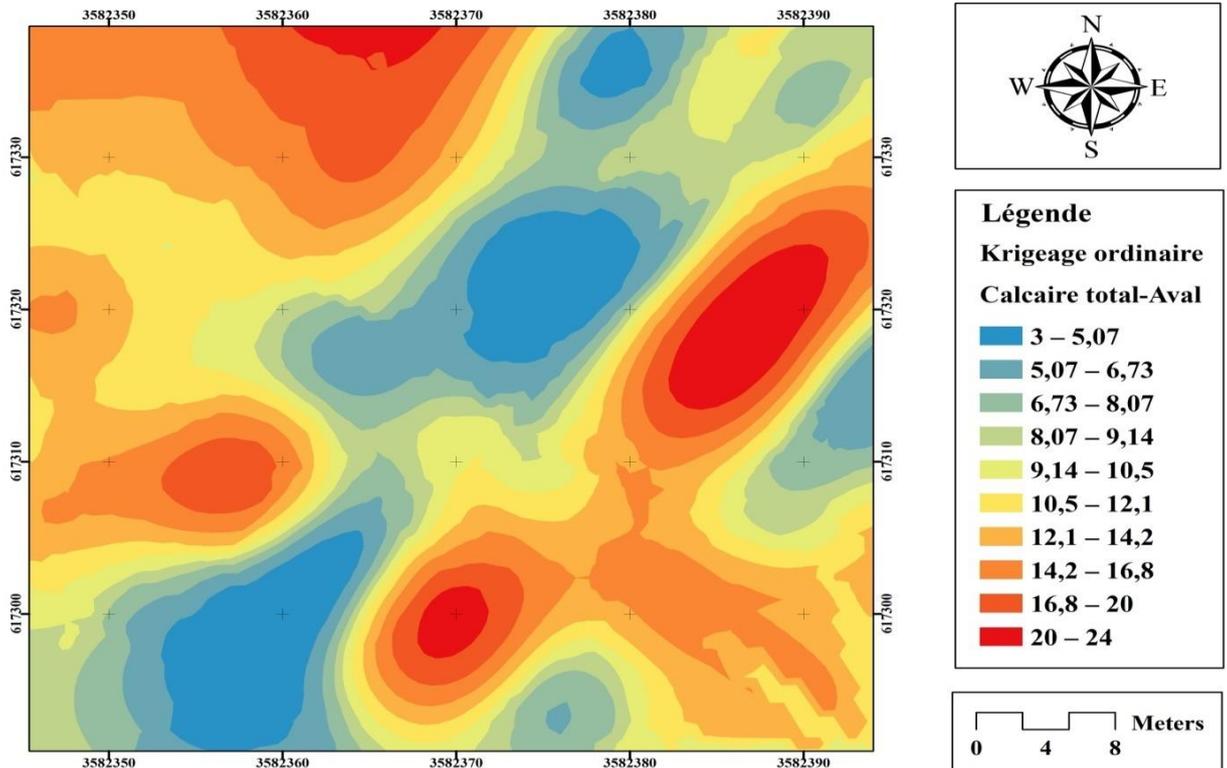
Le coefficient de variation montre que la conductivité électrique(CE) a une variabilité faible(CV=3,21%) dans la parcelle cultivée (aval) et une variabilité faible (CV=3,16%) pour la parcelle cultivée (amont) (Tab.9)

## 2. Réalisation des cartes thématiques par Krigeage

Les cartes thématique sont été réalisées en adoptant le Krigeage ; une technique géostatistique de modélisation spatiale qui permet d'obtenir une représentation uniforme de l'information étudiée à partir de données dispersées (HENNEQUI, 2010) Basée sur des méthodes d'interpolation linéaire, basée sur l'expression de la dépendance spatiale du variogramme(BURGESS et WEBSTER, 1980 in LAURENT et ROSSI, 1994).

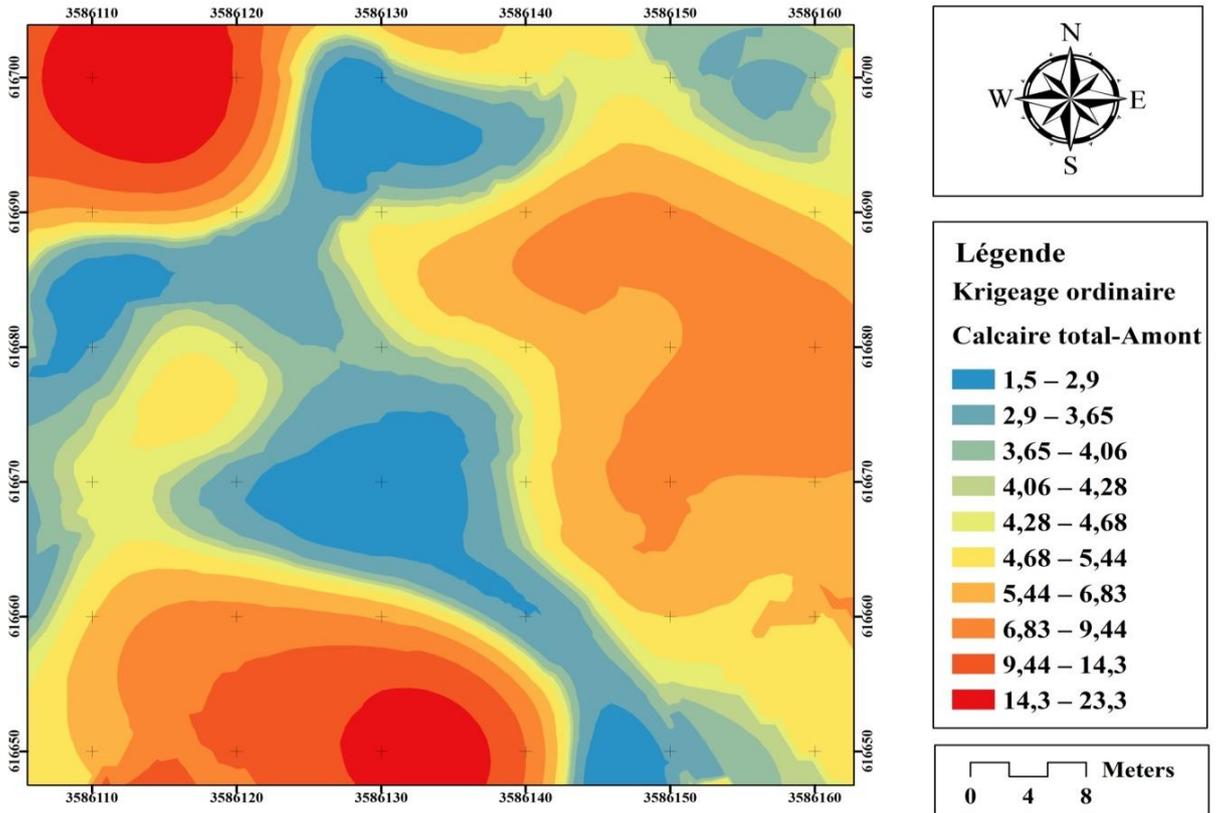
La carte thématique est une représentation de la distribution spatiale d'une variable (exemples de cartes de population, de végétation, d'industrie, etc.)(BOSSON et al, 2001).

La carte (01), illustre la distribution spatiale du taux de calcaire total du sol dans la parcelle *aval*. On note que le taux de calcaire total varie de 3 à 24 % peu à modérément calcaire .La variation spatiale est élevée dans la parcelle aval avec un coefficient de variation de 45,65%. Le calcaire total se concentre essentiellement dans Nord-Ouest et au nord-est, et Sud-Est.



Carte N° 01: Répartition spatiale du CaCO<sub>3</sub> dans la parcelle aval

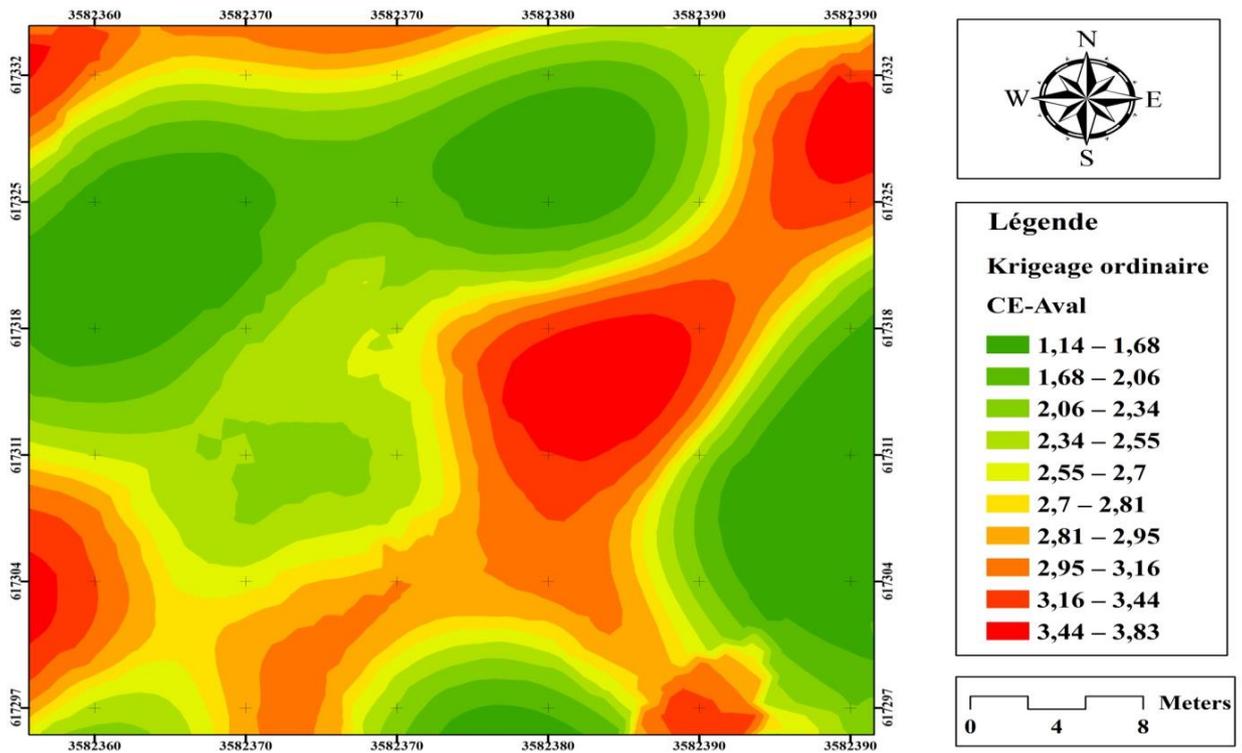
Par ailleurs, on constate que les valeurs les plus faibles du calcaire total sont enregistrées dans le centre de la parcelle amont (carte 02) avec une variation entre 1,5% à 4,28%, le sol demeure peu calcaire. Le calcaire total se concentre essentiellement au Nord-ouest, Sud-Ouest de la parcelle avec des teneurs supérieures à 4,28% jusqu'à 23,3% (modérément calcaire). Le coefficient de variation est de l'ordre de 80,98% dans la parcelle amont, ce qui montre une variation spatiale très élevée.



Carte N° 02: Répartition spatiale du CaCO<sub>3</sub> dans la parcelle amont

La carte (3), représente la variabilité spatiale de la salinité du sol dans la parcelle aval avec un coefficient de variation modérée (25,02%) entre les points d'échantillonnage. Cette carte montre que la variation de la salinité est orientée centre, et Nord-Est, et au Nord-Ouest et Sud-Ouest, et Sud-Est pour des salinités variant de 1,14 à 3,83dS/m à 25°C.

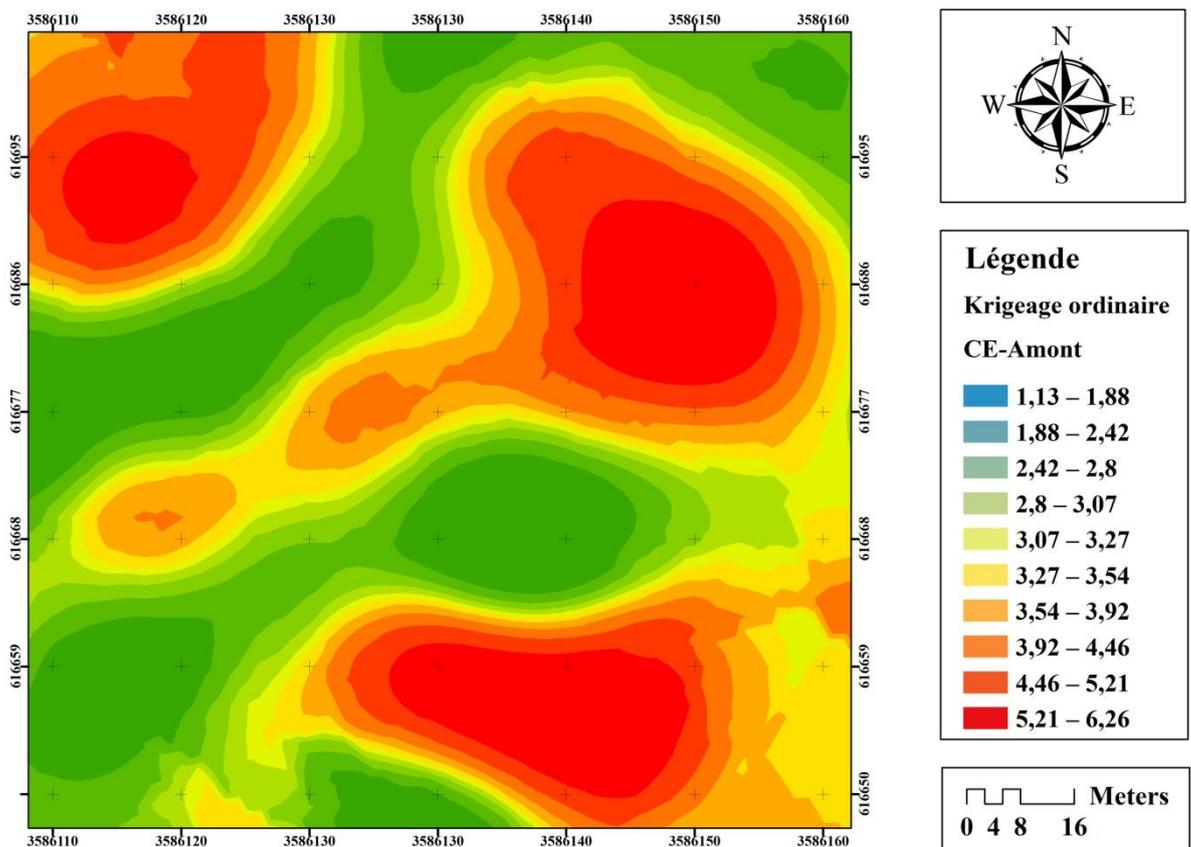
Le sol de la parcelle aval est peu salé à salé (CE à 25°C comprise entre 1,14 et 2,7 dS/m) à très salé (CE à 25°C comprise entre 2,7 et 3,83dS/m) selon l'échelle d'AUBERT (1978).



Carte N° 03: Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle aval.

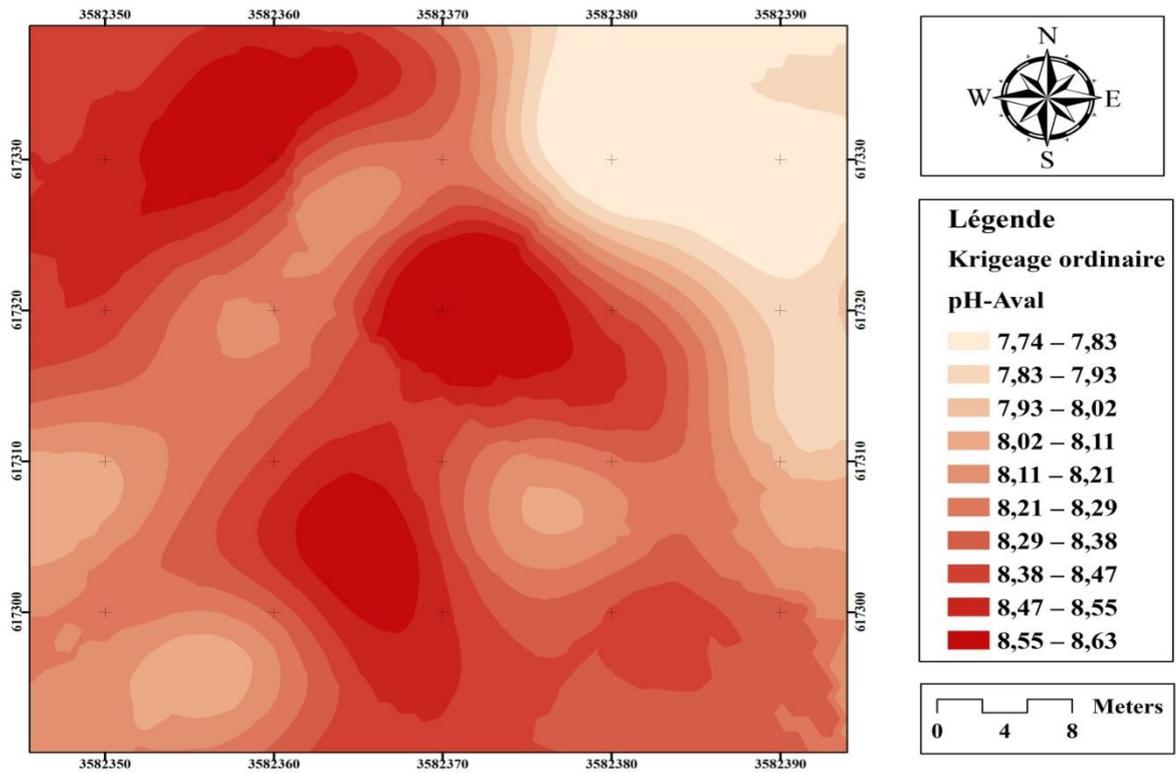
La carte (4), représente la variabilité spatiale de la salinité du sol dans la parcelle amont avec un coefficient de variation élevée (42,90%) entre les points d'échantillonnage. Cette carte montre que la salinité est orienté Nord-Ouest, et Nord-Ouest et Sud-Est pour des salinités variant de 1,14 à 6,26dS/m à 25°C.

Le sol de la parcelle amont est peu salé à très salé (CE à 25°C comprise entre 1,14 et 3,07dS/m) et très salé à extrêmement salé (CE à 25°C comprise entre 3,07 et 6,26dS/m) selon l'échelle d'AUBERT (1978).



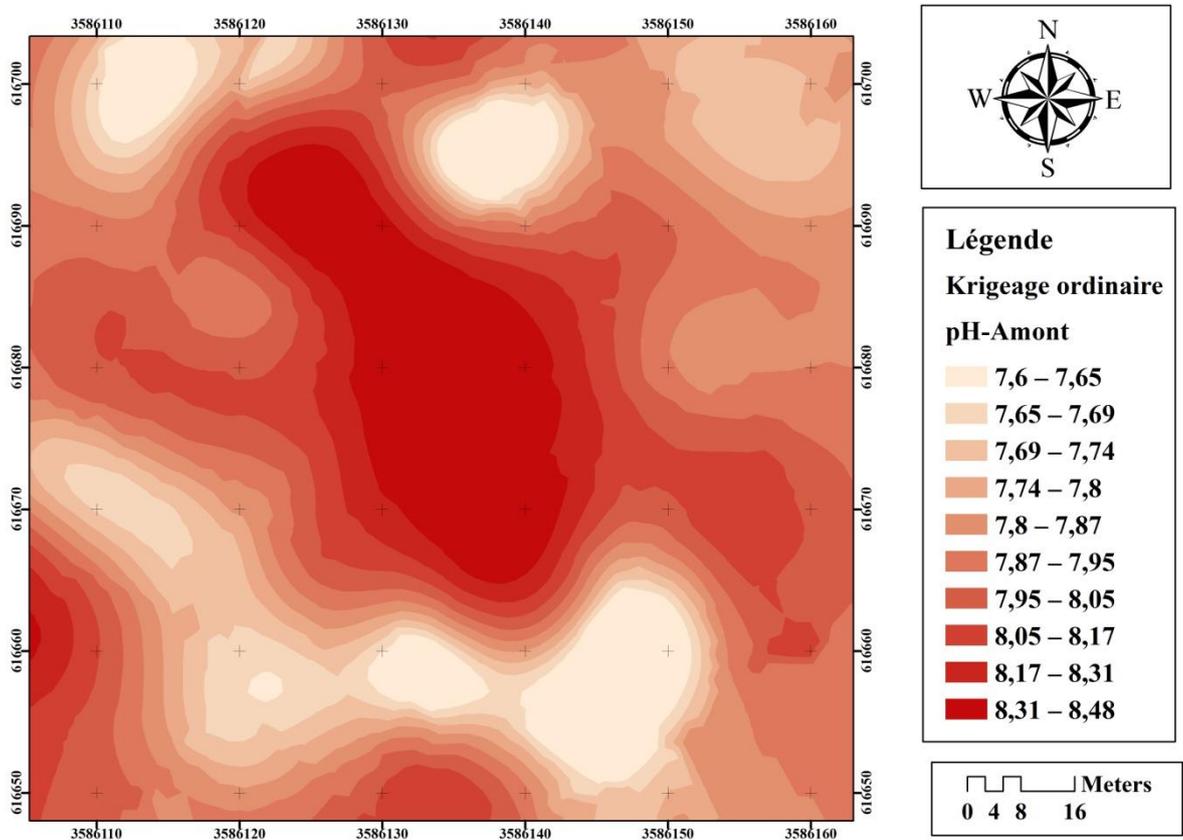
Carte N° 04: Répartition spatiale de la salinité dans la parcelle amont.

La carte (05), illustre la variation spatiale du pH dans la parcelle aval qui varie entre 7,74 à 8,63. Le sol demeure alcalin à très alcalin. Cette variation est considérée comme faible avec un coefficient de variation de 3,21 %. La variation du pH est surtout concentrée dans le nord-ouest, et au centre et au sud.



Carte N° 05: Répartition spatiale du pH dans la parcelle aval.

D’après la carte (06), le pH varie entre 7,6 à 8,48 dans la parcelle amont. Le sol demeure alcalin à très alcalin. Cette variation est considérée comme faible avec un coefficient de variation de 3,16 %. La variabilité de sol est élevée dans le centre.



Carte N° 06: Répartition spatiale du pH dans la parcelle amont.

### 3. Discussion :

L’étude de la variation spatiale des propriétés du sol dans la région de ZELFANA a permis de caractériser trois (3) paramètres à savoir : le calcaire total, la conductivité électrique et le pH, d’étudier leur variabilité spatiale à travers la réalisation des cartes thématiques de ces propriétés du sol.

Les résultats d’analyses ont montrés que le sol est modérément calcaire dans les deux parcelles cultivées amont et aval.

Le calcaire occupe une place importante dans les sols. En effet il se rencontre non seulement dans les sols des régions arides et semi-arides, mais aussi dans les régions à climat humide et sub-humide. Le calcaire du sol provient essentiellement de la roche mère, en particulier dans les régions arides, dont les roches sont fréquemment carbonatées (calcaire et dolomie), ou simplement riche en calcium, c'est le cas du basalte (Ruellan, 1976 ; Djili et

Daoud, 1999 ; Djili, 2000). Un sol calcaire est un sol qui contient surtout ou une partie de son épaisseur, du carbonate de calcium libre dans la terre fine ou pour le moins dans la fraction grossière, le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) doit être en quantité suffisante pour présenter une effervescence visible, sous l'action de l'acide chlorhydrique à froid (Lozet et Mathieu, 1990). Les statistiques descriptives ont révélé qu'il y a une différence entre les deux palmeraies où les valeurs de calcaire totale dans la palmeraie de NOUACER (aval) est élevée par rapport à la palmeraie de BENBADA (amont) ce qui signifie que le carbonate de calcium a été lessivé par l'eau d'irrigation avec une pente de terrain. L'humidification du sol après irrigation favorise l'écoulement (dissolution, formation d'une suspension de fines particules) du calcaire. La phase sèche favorise la précipitation, puis la consolidation, et enfin la cristallisation sous forme de calcite de calcaire coulant ; c'est donc la forte évaporation qui se produit dans la deuxième étape (DUCHAUFOR, 2001).

Les résultats obtenus montrent que la salinité du sol dans la parcelle aval varie de peu salé à très salé avec des valeurs de conductivité électrique oscillant entre 1.14 et 3.83 dS/m avec une moyenne de  $2.62 \pm 0.65$  dS/m. Dans la parcelle amont, la salinité varie de peu salé à extrêmement salé avec des valeurs de la conductivité électrique variant de 1.13 à 6.26 dS/m avec une moyenne de  $3.21 \pm 1.37$  dS/m. Ces résultats reflètent l'impact de l'irrigation avec une eau saline sur la salinité du sol témoignant ainsi d'un phénomène de salinisation secondaire (BENBRAHIM, 2001).

En ce qui concerne le pH, les résultats d'analyses indiquent que le sol est alcalin à très alcalin dans les deux parcelles amont et aval.

Le pH est l'une des propriétés les plus instructives du sol et exerce une profonde influence sur la croissance des plantes. Les valeurs moyennes de pH du sol des deux palmeraies étudiées sont entre 7,96 et 8,21, qualifiant le sol alcalin. Ces valeurs appartiennent à la gamme relative aux sols des régions arides qui s'étend d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 (DURAND, 1958 ; BUCKMAN et BRADY, 1965 ; HALITIM, 1988 ; BOUZID, 1993 ; DAOUD et HALITIM, 1994 ; DJILI *et al.*, 2003 ; BENBRAHIM, 2001 ; BENBRAHIM, 2006 ; BENBRAHIM *et al.*, 2016). Le pH élevé est dû à la présence de calcaire, et on sait qu'en milieu carbonique, le pH des solutions de sol peut atteindre localement des valeurs élevées autour de 9-10 unités (JAILLARD, 2010). Un pH nettement supérieur à 7,3 indique la présence de carbonate libre, qui produit du chlorure ferrique (BOYER, 1978 in GABANI, 2013). Les statistiques descriptives ont révélé qu'il n'y a pas une

différence significative entre les valeurs de pH dans la palmeraie de BENBADA (amont) et la palmeraie de NOUACER (aval), ces deux stations appartiennent au même groupe, ce qui signifie que le pH évolue d'une manière semblable dans les deux palmeraies (GUESSOUM,2020).

L'étude de la variabilité spatiale par grille d'échantillonnage systématique dans le cas du calcaire totale ont montré qu'il existait une variabilité élevée(CV%=45,65) dans la parcelle aval, tandis qu'une variabilité très élevée (CV%=80,98) dans la parcelle amont. L'étude de la variabilité spatiale de la salinité montrée qu'il existait une variabilité modérée (CV%=25,02) dans la parcelle aval, et dans la parcelle amont à une variabilité élevée (CV=42,90). Enfin la variabilité spatiale de pH varie à faible variabilité (CV%=3,21) (CV%=3,16) dans les deux parcelles aval et amont. Cela peut être dû à l'homogénéisation du sol due aux pratiques agricoles intensives (irrigation et travail du sol) (NOLIN et *al.*, 1991 ; WALTER et *al.*, 2002).

Les cartes réalisées par krigeage montrent la distribution spatiale des paramètres étudiés et offrent les valeurs de ces propriétés aux endroits non échantillonnés.

L'étude de la variabilité de la salinité, du pH et du calcaire total a permis de diagnostiquer l'état actuel des teneurs de ces variables et de modéliser leurs distribution spatiale avec une approche combinée analytique, statistique et géostatistique.

---

# Conclusion

---

---

## Conclusion

L'étude de la variation spatiale du calcaire total, de la salinité et du pH du sol dans les palmeraies de la région de ZELFANA (Ghardaïa) permet d'étudier la distribution spatiale de ces trois paramètres dans deux parcelles l'une en amont et l'autre en aval.

Les résultats obtenus ont révélés que le sol analysé dans la parcelle aval est peu à modérément calcaire avec des valeurs variant de 3 % à 24%, et de 1,5 % à 23,25% dans la parcelle amont (peu à modérément calcaire).

Les résultats d'analyse montre que le sol est peu salé à très salé pour la parcelle aval avec des valeurs de conductivité électrique variant de 1,14 à 3,83 dS/m à 25°C, et peu salé à extrêmement salé dans l'amont avec des valeurs de CE qui varient entre 1,13 à 6,26 dS/m à 25°C.

Le pH est alcalin à très alcalin dans les deux parcelles amont et aval.

La variation spatiale du calcaire total est élevée dans la parcelle aval (CV=45,65%) et très élevée dans la parcelle amont (CV=80,98%), tandis que celle de la salinité est modérée dans la parcelle aval, et élevée dans la parcelle amont (CV=42,90%). Par contre la variation spatiale du pH est faible dans toutes les parcelles étudiées avec un CV de 3,21% pour la parcelle aval et de 3,16 % dans la parcelle amont.

Les cartes réalisées par krigeage montrent la distribution spatiale des paramètres étudiées et offre les valeurs de ces propriétés aux endroits non échantillonnée.

L'étude de la variation spatiale de calcaire totale, la salinité et de pH du sol dans les palmeraies de région de Zelfana, demeure insuffisante et mérite d'être poursuivi en tenant compte de :

- La caractérisation morpho- analytique total du sol afin de mieux interpréter les résultats des analyses.
- Le suivi de la variation saisonnière des paramètres du sol afin de bien cerner son évolution.
- L'analyse complète de l'eau d'irrigation afin de déterminer le faciès géochimique et par conséquent confirmé l'origine de l'augmentation des paramètres étudiés.

---

# Références Bibliographiques

---

---

# Références Bibliographique

**ABHS** étude comparative de la richesse floristique en fonction des différentes formations géomorphologiques du Sahara Septentrional cas de la région de Ghardaïa Agence de bassin hydrographique Sahara.

**ANRH** Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Direction Générale)

**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.

**BENBRAHIM F., 2001.** Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique de sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dans la région d'Ouargla (cas l'exploitation de IAS). Mém. ING Ouargla. p 115.

**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), Th. Magister. Univ. Ouargla ,111p.

**BENBRAHIM F., BENSLAMA M., KEMASSI A., DAREM S., HAMEL I., CHIKHI F., HALILAT M. T., 2016-** Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla. Ciência e Técnica Vitivinícola, 31(5),pp.107-123.

**BEN MAZOUZ A et SEBGAG A,** Contribution à l'étude des rongeurs dans quelques palmeraies à Ghardaïa (commune de Guerrara), Sciences agronomiques, Mémoire Master en Protection des végétaux, Université de Ghardaïa, 11p.

**BOSSON L., EVRARD C., GOBERT O., JACQUES C. & LOTHER P. (2001),**Géographie. Des savoirs pour comprendre les territoires-sociétés, De Boeck, Bruxelles.

**BOUZID H., 1993** – Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité dans un sol sableux sous irrigation par pivot (Gassi-touil). Thèse Ing., I.N.F.S.A.S., Ouargla, 46 p.

**BOYER, 1978-** le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides. Initiations - documentations techniques N° 35. Edit O.R.S.T.O.M. Paris. France.173p.

**BUCKMAN H.O., BRADY N.C., 1965-** The nature and properties of soils. The Macmillan

Company, New York, U.S.A., 653p.

**BURGESS T. M., WEBSTER R., McBRATNEY A. B., 1981-** Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. IV Sampling strategy. Journal of Soil Science, 32, pp.643-659.

**DUBOST D., 1991** - Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes Thèse Doct. Université François Rabellais, Tours, 549 p.

**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). Mém. Master. Univ, Ghardaïa, 47 p.

**CHEHMA A .2005-**Etude floristiques et nutritionnelle des parcours camelin du Sahara septentrional Algérien .cas de la région Ouargla et Ghardaïa Thèse Doctorat. Univ. Annaba.140p.

CHEHMA A, Catalogue des plantes spontanées du Sahara septentrional algérien, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Université KasdiMerbah, Ouargla ,Avril 2006, 4p.

**CORSTANJE R., GRUNWALD S., REDDY K.R., OSBORNE T.Z., NEWMAN S., 2006-** Assessment of the spatial distribution of soil properties in a northern. Everglades's marsh. Journal of Environmental Quality, 35(3), pp.938-49.

**COYNE A., 1989-** Le M'Zab. Ed. Adolphe Jourdon, Algérie, 41p.

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

**Dajoz, R. (2003)** Précis d'écologie. Paris, France, Dunod, 615 p.

**DESPAGNE, 2006.** Méthodes géostatistique pour l'interpolation et la modélisation en 2D/3D des données spatiales. Rapport de stage, Université de Bretagne Sud. p 68.

**DJILI, B., 2004-**Etude des sols alluviaux en zones arides : cas de la Daya d'El-Amied. (région de Guerrara), essai morphologique et analytique. Mém.Mag. Univ, Ouargla,p. 81.

**DJILI K., DAOUD Y, 1999-** Distribution latérale et verticale de l'ESP dans les sols du Nord d'Algérie. Séminaire Nationale sur la salinisation des terres Agricole en Algérie Chcliff Edit. C.R.S.TRA.25 42.

**DJILI K., 2000-** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Création d'une banque de données informatisées et utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et nvalorisation des données podologiques. ThèseDoct d'état. INA (El Harrach). 243p.

**D.P.A.T., 2005** - Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, 142 P.

**DSA, 2021-** Direction des services agricoles, rapport des cultures en wilaya.

- DUBOST D., 1994.** Pratique de l'irrigation au Sahara. Documentation CIHEAM-IAMM Montpellier, 73 p.
- DUCHAUFOR PH., 1977-** Pédologie., Pédogenèse et classification. Ed MASSON,Paris. 477p.
- DURAND J.H., 1958** - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
- FERROUKHI A, 2010,** Perception de la pauvreté par les agriculteurs bénéficiaires des soutiens publics FNRDA ,Revue Economie & Management, Université de Blida, 69-78p.
- FRONTIER S., PICHOD-VIALE D., LEPRÈTRE A., DAVOULT D. et CH. LUCZAK, 2004-** Ecosystèmes, Structure, Fonctionnement, Evolution. 3ème édition,Ed. DUNOD, Paris, 549 p.
- GABANIN, 2013.** Impact de l'intensification agricole (céréaliculture sous pivot) sur la variation du pH et du taux de calcaire total du sol dans la région de Ghardaïa (cas de HASSI EL F'HEL). Mém de Master Sciences de l'environnement. Univ. de Ghardaïa. p 101.
- GUESSOUM H., 2020** - Relation qualité des eaux et propriétés des sols dans les palmeraies de la région de Ghardaïa (cas de Sebseb). Thèse de doctorat, universite badji mokhtar Annaba,136p.
- HALITIM A., 1973** - Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie envue de leu
- HALITIM A., 1988** - Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p.
- HENNEQUI M., 2010.** Spatialisation des données de modélisation par Krigeage. Master statistique et applications stage de 1ère année. ASPA-ID.74p.
- JAILLARD M., 2010.** Relation entre dynamique de l'eau et organisation morphologique d'un sol calcaire. ED ; I.N.R.A., C.R.A.M.-E.N.S, A.M. p 22.
- LARSON W.E., PIERCE F.J., 1992** - Conservation and enhancement of soil quality In: Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand: International Board for Research and Management. IBSRAM Proceedings No. 12(2). pp. 175-203.
- LEBATT A., MAHMA A., 1997** - Contribution à l'étude d'un système agricole oasien cas de la région du M'Zab INFS/AS, 92 P.
- LOZET J., MATHIEU C., 1990-** Dictionnaire de science du sol. Ed technique dedocument. Lavoisier. 384p.
- LIU D.W., WANG Z.M., ZHANG B., SONG K.S., LI X.Y., LI J.P., LI F., DUAN H.T., 2006-** Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China. Agriculture Ecosystems and Environment, 113,pp.73–81.

- 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.
- MADANI D., 2008.** Relation entre le couvert végétale et les conditions édaphiques en zone a déficit hydrique. Mém. de Magistère. Univ. Batna. p 165.
- 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 Doct , Institut national de la recherche scientifique Eau ,Terre et Environnement ,Québec, 234p.
- MATHIEU C., FRANCOISE P., 2009.** Analyse chimique des sols. ED ; TEC et DOC. p 321.
- MESSEN N. GAOUAR A. HAMDI-AISSA B. HACINI M. YUCEF-ETTOUMI F., 2004-** Etude du climat paléolithique dans un bassin sédimentaire du sud algérien .Journal Algérien pour les Zones Arides.
- MUNNS R, Richard A. ,Läuchli A, 2006,** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals,Journal of Experimental Botany, Volume 57, Mars 2006,1025–1043p.
- MIHOUB A., 2008.** Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (triticum dureiml.varcarioca) dans la région d'El Goléa Ghardaïa. Mém. Ingénieure. Univ. KasdiMerbah Ouargla. Algerie. p 123.
- MYERS D. E., 1994-** Spatial interpolation: an overview. Geoderma, 62, pp.17-28
- NOLIN M.C., CAILLER M.J., WANG C., 1991-** Variabilité des sols et stratégie d'échantillonnage dans les études pédologiques détaillées de la plaine de Montréal.Can. J. soilSci. 71 .pp. 439-451.
- ONM.-**donnée météorologique de la wilaya de Ghardaïa,
- OUALI S ,M Bensalem . 1996,** Etude anatomo-structurale du rein de deux Rongeurs désertiques: Gerbillusgerbillus et Psammomysobesus, Université des Sciences et de Technologie Houai Boumediene USTHB, Alger.
- OUALI S., MEHMAH B., MALEK A. 2007.** Etude de faisabilité d'utilisation des eaux thermalesdeZelfana dans la Production d'Hydrogène, 2IWH 2007, 27-29 October 2007, Ghardaïa – Algeria9p.
- OZENDA P., (1983).** Flore du Sahara .Ed. Centrenati.rech. sci. (C.N.R.S), -Paris. 62 p
- OZENDA P, (2004),** Flore et végétation du Sahara,Ecologiamediterranea, Paris tome 30 n°2,. p. 247.

- P.A.T. (2005).** Direction de la planification et de l'Aménagement du territoire (DPAT) (Tissemsilt).
- Quezel, P. (2000).** Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris, 117 p.
- QUEZEL et SANTA., 1962** - Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Édit CNRS. Paris. tomes2. Pp 565- 605.
- Ramade, F. (2003)** Eléments d'écologie: écologie fondamentale. 3ème édition, Dunod, Paris, 690 p.
- ROBERT M., 1992** - Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahiers Agricultures*, 1(1): 20-34.
- Ruellan, A. 1976.** Caractéristiques morphologiques des sols calcaires Ann.Agro.INA, El-Harrach. Vol.IV, n°1, pp : 31-54.
- SULLIVAN D.G., SHAW J.N., RICKMAN D., 2005-** IKONOS imagery to estimate surface soil property variability in two Alabama physiographies. *Soil Science Society of America Journal*, 69, pp.1789-1798.
- U.S.D.A., 1999-** Soil Quality Test Kit Guide.Pub.united States Département of Agriculture, Agricultural, Research Service, Natural Resource Conservation Service, Soil Quality Institute, 82p.
- VOISIN A R, 2004,** LE SOUF MONOGRAPHIE, Ed. El Walid, El-oued, 2004.
- WALTER CH., 2002** - Analyse spatiale des sols en vue de leur gestion précise et de leur surveillance. Mém. Scientifique. Univ. Henri-poincaré de Nancy. 265 p.
- WALTER C, CHAUSSOD R, CLUZEAU D, CURMI P, HALLAIRE V., 2002** - Caractérisation, déterminisme et surveillance de la qualité des sols en milieux limoneux acides. Rapport Final Programme de Recherche GESSOL, Fonctions environnementales des sols. 177 p.
- ZHAO Y., PETH S., KRÜMMELBEIN J., HORN R., WANG Z., STEFFENS M., HOFFMANN C., PENG X., 2007-** Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecological modelling*, 205, pp.241-254.

---

# Annexes

---

---

# Annexe 01

Echelle d'interprétation des résultats de Calcaire total (BAIZE, 1988).

<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>Horizon</b>
$\leq 1$	Non calcaire
$1 < \text{CaCO}_3 \leq 5$	Peu calcaire
$5 < \text{CaCO}_3 \leq 25$	Modérément calcaire
$25 < \text{CaCO}_3 \leq 50$	Fortement calcaire
$50 < \text{CaCO}_3 \leq 80$	Très calcaire
$> 80$	Excessivement calcaire

## Annexe 02

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

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

## Annexe 03

Normes d'interprétation du pH-eau du sol (MATHIEU et *al*, 2009).

<b>pH</b>	<b>Normes</b>
0 à 3	Extrême acide
3 à 4	Très fort acide
4 à 5	Forte acidité
5 à 6	Modérée acidité
6 à 7	Faible acidité
7 à 8	Faible alcalinité
8 à 9	Modérée alcalinité
9 à 10	Fort alcalinité
10 à 11	Très fort alcalinité

## **Résumé**

### **Variation spatial de la salinité du sol dans les palmeraies de la région de ZELFANA (GHARDAIA-ALGERIE)**

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 caractériser ces derniers.

Notre travail s'intéresse à une caractérisation de la distribution spatiale des trois paramètres du sol à savoir le calcaire total, la salinité et le pH avec une étude comparative entre deux palmeraies l'une en amont et l'autre en aval.

Cette étude a été réalisée dans la région de Zelfana (GHARDAIA). Les deux palmeraies ont été échantillonnées selon une grille systématique de 8m x8m.

Les résultats analytiques montrent que le sol est peu à modérément calcaire, alcalin à très alcalin et salé à très salé.

La variation spatiale du calcaire total est élevée dans la parcelle aval et très élevée dans la parcelle amont, tandis que celle de la salinité est modérée dans la parcelle aval et élevée dans la parcelle amont. Par contre la variabilité spatiale du pH est faible dans les deux parcelles étudiées.

La variation spatiale des paramètres étudiés est influencée par l'intensification agricole dans la région de Zelfana.

**Mots clés:** variabilité spatiale, calcaire totale, salinité, pH, Zelfana.

## **Abstract**

### **Spatial variability of soil salinity in the palm groves of the Zelfana region (Ghardaïa-Algeria)**

Monitoring soil quality in irrigated areas is necessary to measure the sustainability of production systems. As such, the spatial variability of irrigated soils properties is a way to characterize them.

Our work focuses on a characterization of spatial distribution of three soil parameters namely: total limestone, salinity and pH with a comparative study between two palm groves, one upstream and the other downstream.

This study was carried out in the region of Zelfana (GHARDAIA). The two palm groves were sampled using a systematic 8m x 8m grid.

The analytical results show that the soil is slightly to moderately calcareous, alkaline to very alkaline and saline to very saline.

The spatial variation of total limestone is high in the downstream plot and very high in the upstream plot, while that of salinity is moderate in the downstream plot and high in the upstream plot. On the other hand, the spatial variability of the pH is low in the two plots studied.

The spatial variation of the parameters studied is influenced by agricultural intensification in the Zelfana region.

**Key words:** spatial variability, total limestone, salinity, pH, Zelfana

## المخلص

### التباين المكاني لملوحة التربة في بساتين النخيل بمنطقة زلفانة (غرداية - الجزائر)

يعد رصد جودة التربة في المناطق المروية أمراً ضرورياً لقياس استدامة أنظمة الإنتاج. على هذا النحو، فإن التباين المكاني لخصائص التربة المسقية هو وسيلة لتوصيفها.

يركز عملنا على توصيف التوزيع المكاني لثلاثة معايير للتربة وهي: الحجر الجيري الكلي، والملوحة، ودرجة الحموضة مع دراسة مقارنة بين بستان نخيل، أحدهما في المنبع والآخر في اتجاه مجرى النهر.

أجريت هذه الدراسة في منطقة زلفانة (غرداية). تم أخذ عينات من بساتين النخيل باستخدام شبكة منتظمة 8 م ×

8 م.

أظهرت النتائج التحليلية أن التربة جيرية إلى متوسطة الجيرية، قلوية إلى شديدة القلوية، مالحة إلى شديدة الملوحة.

يكون التباين المكاني للحجر الجيري الكلي مرتفعاً في مخطط المصب ومرتفع جداً في مؤامرة المنبع، بينما تكون الملوحة معتدلة في مؤامرة المصب ومرتفعة في مؤامرة المنبع. من ناحية أخرى، فإن التباين المكاني للأس الهيدروجيني منخفض في المخططين المدروسين.

يتأثر التباين المكاني للمعلمات المدروسة بالتكثيف الزراعي في منطقة زلفانا.

**الكلمات الدلالية:** التباين المكاني، إجمالي الحجر الكلسي، الملوحة، درجة الحموضة، زلفانة