

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

CENTRE UNIVERSITAIRE DE GHARDAIA



INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de Licence académique en Production
Végétale

Thème

***Diagnostic de l'état de la salinité dans un sol
cultivé dans la région de zelfana (Ghardaïa)***

-Présenté par :

- ABDE LALI Brahim**
- BOUKHARI Hamza**

Encadreur :

Mr. BENBRAHIM Fouzi

Examineur :

Mr. CHABBI Abdellah

JUIN 2012

Avant-propos

Nous tenant tout d'abord à exprimer nos remerciements et toute nos reconnaissance à l'égard de :

Monsieur BEBRAHIM F., maitre-assistant au centre universitaire de Ghardaïa Non seulement pour l'aide très précieuse qu'il nous à apporter, mais aussi pour son enthousiasme communicatif, sa patience et sa totale disponibilité, pour l'encadrement de ce travail.

Monsieur CHABBI A., maitre-assistant au centre universitaire de Ghardaïa d'avoir accepté d'examiner ce travail.

A tous les enseignants du Département des Sciences de la nature et de la vie.

A tous le personnel du laboratoire du département des Sciences de la Nature et de la Vie.

A tous le personnel de la direction de département des sciences de la nature et de la vie.

Nous remercions infiniment nos amis (es) qui n'ont économisés aucun effort pour nous aider et tous nos collègues de la 2^{eme} promotion de Licence « production végétale».

Enfin à tous ce qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture mondiale. En Algérie, sols agricoles sont, dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptible de l'être.

Notre travail réalisé dans la région de Zelfana, porte sur un facteur limitant le développement de l'agriculture en zones arides. Ce facteur est la salinité des sols qui à été juger responsable de chute des rendements de cultures.

L'étude à porter sur la caractérisation de la salinité dans cinq profils échantillonnés systématiquement a proximité des palmiers dattiers par l'analyse de la conductivité électrique et l'étude de l'allure du profil salin.

Les résultats d'analyses ont montrés que le sol est peu salé a très salé.

L'allure des profils salins à révélé deux type de profil salin, l'un caractéristique de l'état de la salinité après irrigation (profil de type A) pour les profils P1, P2 et P4 ; et l'autre caractéristique d'un appauvrissement due à la distance proche des profils au système de drainage (profil de type C) pour les profils P3 et P5.

Mots clés : Salinité, profil salin, sol cultivé, Zelfana.

Liste des abréviations

C.E.	: Conductivité Electrique
C.E.C.	: Capacité d'échanges cationiques
D.P.A.T.	: Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire.
FAO.	: Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
O.N.M.	: Office National de Météorologie
O.N.U.	: Office de Nations Unies
OSS.	: Observatoire de Sahara et de Sahel
pH.	: Potentiel Hydrogène
S.A.R.	: Sodium Adsorption Ratio (taux d'adsorption de sodium)

Liste Titre des tableaux

Tableau01	Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5	4
Tableau 02	Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols.....	5
Tableau03	Classes du sol selon le pH de pâte saturée	6
Tableau04	Tolérance et rendement relatif (Y) des cultures en fonction de la salinité du sol (C.E. _e) et de l'eau d'irrigation (C.E. _{iw}).....	13
Tableau05	Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa (2000-2010)	16
Tableau06	Nombre de jours de crue des oueds de la région de Ghardaïa	22

Liste Titre des figures

N°		Page
Figure1	Limites administratives de la wilaya de GHARDAIA (Atlas, 2004)	15
Figure 2	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa 2000-2010.....	17
Figure 3	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER.....	18
Figure 4	Milieu physique de la wilaya de GHARDAIA (D.P.A.T, 2004).....	20
Figure 5	Les oueds de la dorsale de m'zab.....	23
Figure 6	Croquis montrant la parcelle échantillonnée et l'emplacement des échantillons...	26
Figure 7	Profil salin P1.....	28
Figure 8	Profil salin P2.....	29
Figure 9	Profil salin P3.....	29
Figure10	Profil salin P4.....	30
Figure11	Profil salin P5.....	31

Sommaire

Introduction	01
Première partie : Synthèse bibliographique	
Chapitre Les sols salés I :	02
1- Répartition des sols salés dans le monde	02
2- Répartition des sols salés en Algérie	02
3- Origines des sols salés.....	02
3-1- Salinisation primaire.....	02
3-2- Salinisation secondaire.....	02
4- Paramètres de caractérisation des sols	03
4-1- Salinité.....	03
4-1-1- Extrait de pâte saturée	03
4-1-2- Extraits dilué.....	03
4-2- Sodicité.....	04
4-2-1- Pourcentage de sodium échangeable (E.S.P).....	04
4-2-2- Sodium adsorption ratio (S.A.R.).....	04
4-3 pH du sol.....	05
5- Classification des sols salés	06
Chapitre II : Les sels solubles	07
1- Principaux sels solubles.....	07
1-1- Chlorures.....	07
1-2- Carbonates.....	07
1-3- Sulfates.....	08
2- Mouvement des sels solubles dans le sol.....	08
2-1- Lixiviation.....	09
2-2- Remontée capillaire.....	09
2-3- Thermodialyse.....	09
3- Action des sels soluble.....	10
3-1- Action sur le sol.....	10
3-1-1- Structure.....	10
3-1-2- Perméabilité.....	10
3-1-3- Réaction du sol.....	10
3-2- Action sur le végétale.....	10
3-2-1- Pression osmotique.....	10
3-2-2- Effets spécifiques des ions.....	11
3-2-3- Tolérance des cultures à la salinité.....	12

Deuxième partie : Matériel et méthodes

Chapitre III : présentation de la région de Ghardaïa	14
1-situation géographique	14
2-climat	14
3- géomorphologie	19
4- géologie	21
5- hydrogéologie.....	21
6- réseau hydrographiques	22
7- pédologie.....	24

Chapitre IV: Matériels et Méthode.....	25
1- Approche méthodologique.....	25
2-Caractéristique du site d'étude.....	25
3- Méthode d'échantillonnage.....	26
4-Analyse au laboratoire.....	27
5- Représentation des résultats.....	27

Troisième partie : Résultats et Discussions

Chapitre V : Etude de la salinité du sol.....	28
1- Résultats	28
2- Discussion.....	31
ionConclus.....	33
Référence bibliographique.....	34

INTRODUCTION

Introduction

En Afrique du Nord, la combinaison entre un passé géologique favorable au stockage des sels, l'aridité du climat, l'hydrologie, et l'irrigation mal contrôlée font de la salinisation des sols une menace permanente (AUBERT, 1975 ; HULLIN, 1983). Les sols sodiques en Afrique du Nord proviennent de l'apport d'eaux salées aux nappes phréatiques, où à la surface des sols (AUBERT, 1975).

En Algérie, de l'est à l'ouest, et de la côte au Sahara, les sols agricoles sont dans leur forte majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958 ; HALITIM, 1973). 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.

De nombreuses recherches ont été effectuées sur le problème de salinité en zones arides d'Algérie. Nous citons : MESKINE (1992), BOUZID (1993), BENZAHY (1994), OMEIRI (1994), OUSTANI (1994), TRAORE (1995), BENBRAHIM (2001), mais peu de travaux sont réalisés dans la région de Ghardaïa, et c'est dans ce contexte que s'insère notre travail qui a pour but principalement de diagnostiquer l'état de la salinité du sol dans une parcelle irriguée dans la région de Zelfana.

Cette étude comporte Trois parties :

- La première est réservée à la synthèse bibliographique sur la salinité des sols et les problèmes liés à ce phénomène.
- 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 les discussions.

PREMIERE PARTIE

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Les sols salés

1. Répartition des sols salés dans le monde :

A l'échelle du globe terrestre, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture mondiale ; Ils occupent 24% environ des terres agricole (BOLYN, 1974 in BENZAHY, 1994). Leur distribution géographique se superpose presque entièrement à celle des zones semi-arides et arides du globe et des zones côtières (DURAND, 1983).

D'après les cartes publiées par l'UNESCO pour l'Afrique du Nord, on trouve pratiquement que des Solontchaks, parfois des sols peu salés à alcalis et rarement des Solonetz (AUBERT, 1975).

2. Répartition des sols salés en Algérie :

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

Les sols salins sont très répartis dans les basses plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Rélizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme chott Melrhir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà. Leur conductivité électrique est supérieure à 7 dS/m, sur l'ensemble du profil et le pourcentage de sodium échangeable variable de 5 à 60% (AUBERT, 1975; HALITIM, 1988).

3. Origines des sols salés :

3.1. Salinisation primaire :

D'après GAUCHER et al. (1974), la salinisation primaire provient de l'altération en place des roches salifères primaires.

3.2. Salinisation secondaire :

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 (GAUCHER et al., 1974 ; HULLIN, 1983).

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.

L'irrigation à un effet souvent défavorable sur le plan de la salinisation notamment dans les zones arides où les eaux d'irrigation sont chargées (AUBERT, 1975 ; HULLIN, 1983).

4. Paramètres de caractérisation des sols salés :

Selon U.S.S.L.(1954), l'étude 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).

4.1. 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.

4.1.1. Extrait de pâte saturée :

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 BOUHIHI, 1996).

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. Au Nord de l'Afrique cette limite peut être élevée à 7 dS/m à 25°C (DURAND, 1958 ; AUBERT, 1975).

4.1.2. 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). Selon AUBERT (1978), un sol est considéré salé lorsque la conductivité électrique de son extrait dilué 1/5 est supérieur ou égale à 2 dS/m (Tabl.01).

Tableau 01 : Echelle de 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
$0,6 < C.E. \leq 2$	Sol peu salé
$2 < C.E. \leq 2,4$	Sol salé
$2,4 < C.E. \leq 6$	Sol très salé
> 6	Sol extrêmement salé

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.

4.2. Sodicité :

4.2.1. Pourcentage de sodium échangeable (E.S.P.) :

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

$$\text{E.S.P. (\%)} = \left(\frac{[\text{Na}^+]}{\text{C.E.C.}} \right) \times 100$$

$[\text{Na}^+]$: Concentration de Na^+ échangeable en $\text{cmol}^+/100\text{g}$.

C.E.C. : capacité d'échange cationique exprimé en $\text{cmol}^+/100\text{g}$ de terre sèche.

L'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).

4.2.2. Sodium adsorption ratio (S.A.R.)

Il s'agit également d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalinisation (Tabl.02).

Tableau 02 : Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols (SERVANT et al., 1966 in BENZAHY, 1994)

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

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

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}} \quad \text{avec : Na}^+, \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++} \text{ Exprimés en cmol}^+ / \text{l}$$

Il existe plusieurs relations empiriques entre le S.A.R. et L'E.S.P., la relation la plus classique et la plus utilisée est celle proposé en 1954 par l'U.S.S.L. sur la base de mesures réalisées sur 59 types de sols différents :

$$\text{E.S.P. (\%)} = \frac{100 \times (-0,0126 + 0,01475 \text{ S.A.R.})}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \text{ S.A.R.})}$$

4.3. pH 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 BACI, 1982).

Le pH peut être un paramètre de classification, FIREMAN et al. (1951 in U.S.S.L., 1954), ont classé le sol en fonction du pH de pâte saturée (Tabl.03).

Tableau 03 : 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

5. Classification des sols salés :

Il existe plusieurs classifications des sols dans le monde, la classification Américaine, Française, Russe et 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) :

- **Sols salins (saline soils) :** Ces sols sont caractérisés par une conductivité électrique de l'extrait de saturation (C.E.e) supérieur à 4 dS/m à 25°C, 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.

Les sols salins présentent une perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaires non salés, cela est due à l'action flocculant des sels (DAOUD, 1993).

- **Sols salins à alcalis (saline-alkali soils) :** Ils sont caractérisés par une C.E.e supérieur à 4 dS/m à 25°C, un E.S.P. supérieur à 15%, et un pH supérieur à 8,5. Par définition, ce sont des sols qui contiennent suffisamment des sels solubles et de sodium échangeable pour réduire le rendement de n'importe quelle culture (HULLIN, 1983).

D'après DAOUD (1993), la perméabilité des sols salés à alcalis dépend du rapport entre la C.E. et l'E.S.P., de la teneur et de la nature de la fraction argileuse du sol.

- **Sols à alcalis (non saline-alkali soils) :** Ces sols sont caractérisés par une C.E.e inférieur à 4 dS/m à 25°C, un E.S.P. supérieur à 15%, et un pH compris entre 8,5 et 10. Ils contiennent par définition suffisamment de sodium échangeable pour freiner la croissance de la plupart des plantes ; mais ils ne contiennent pas de quantités excessives de sels solubles (HULLIN, 1983). Les sols à alcalis présentent une faible perméabilité (DAOUD, 1993).

Chapitre II. Les sels solubles

Tous les sels plus solubles que le gypse sont considérés des sels solubles. Leur concentration globale est estimée généralement par la conductivité électrique. Leur degré de toxicité est d'autant plus élevée pour les plantes que leur solubilité est supérieure à celle du gypse (HULLIN, 1983).

1. Principaux sels solubles :

D'après HULLIN (1983), nous distinguons trois grands groupes de sels solubles : les chlorures, les carbonates et les sulfates.

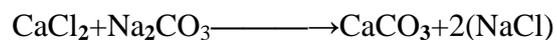
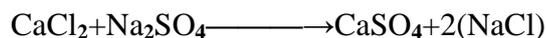
1.1. Chlorures :

Les chlorures et les sulfates sont les principaux responsables de la formation des sols salés. Généralement, ils ont une solubilité très élevée et donc une forte toxicité. Nous distinguons (HULLIN, 1983) :

- **Chlorure de sodium(NaCl)** : C'est le sel le plus répandu. Sa solubilité (300g/l) fait de lui un sel hautement toxique.

- **Chlorure de potassium(KCl)** : C'est un sel voisin du NaCl, mais peu répandu dans la nature.

- **Chlorure de calcium(CaCl₂)** : C'est un sel relativement rare dans les sols, car il réagit avec Na₂SO₄ ou Na₂CO₃ pour former du CaSO₄ ou CaCO₃ peu soluble, selon les réactions :



- **Chlorure de magnésium(MgCl₂)** : C'est un sel plus fréquent que le précédent, il est relativement rare sauf dans les cas de forte salinité. Sa solubilité de l'ordre de 350 g/l fait de lui un sel de toxicité extrêmement élevée.

1.2. Carbonates :

D'après FAO-UNESCO, (1967 in BENZAHI, 1994), les sels carbonatés sont très répandus dans les sols. Parmi ces sels :

- **Carbonates de magnésium ($MgCO_3$)** : Sa solubilité est plus élevée, il donne du $Mg(HCO_3)_2$ en présence de H_2CO_3 . La fertilité du sol est affectée par sa présence, mais vue sa mobilité le danger est réduit.

- **Carbonates de sodium (Na_2CO_3)** : C'est un sel très toxique par sa solubilité et son pouvoir alcalinisant.

- **Carbonates de potassium (K_2CO_3)** : Il est extrêmement rare de le trouver en grande quantité, car il est fixé par les argiles. Son effet est pratiquement comparable à celui de $NaCO_3$.

1.3. Sulfates :

Les sels sulfatés se trouvent en quantités variables dans les sols. La conséquence de ces sels sur l'agriculture et la mise en valeur varie beaucoup avec leur composition chimique (FAO-UNESCO, 1967 in OMEIRI, 1994). Nous pouvons citer :

- **Sulfates de calcium ($CaSO_4$)** : Le gypse ($CaSO_4, 2 H_2O$) est la forme la plus répandue, il est peu dangereux du fait de sa faible solubilité. Le gypse est utilisé comme un amendement sur certains sols alcalins.

- **Sulfates de magnésium ($MgSO_4$)** : C'est un composant typique des sols salés. On le trouve souvent dans les eaux souterraines, sa solubilité est très élevée ce qui le rend un sel toxique.

- **Sulfates de sodium (Na_2SO_4)** : C'est également un composant typique des sols salés, sa solubilité dépend de la température.

- **Sulfates de potassium (K_2SO_4)** : Il est très proche de Na_2SO_4 , il se trouve en très faible quantité dans le sol.

2. Mouvement des sels solubles dans le sol :

Les sels sont en mouvement grâce à l'eau qui circule dans le sol, ces mouvements peuvent être descendants (lixiviation), ascendants (remonté capillaire) ou avec un autre mécanisme de migration appelé thermodialyse.

2.1. Lixiviation :

D'après DUCHAUFOR (1977), la lixiviation est l'entraînement descendant des sels sous l'action des eaux de pluies, d'inondation ou d'irrigation. Ce processus intéresse surtout les cations alcalino-terreux dont leur entraînement provoque la dés-saturation du complexe adsorbant si le sol est dépourvu de calcaire actif.

Cette migration est fonction de la solubilité des sels ; les sels les plus solubles sont les plus mobiles dans le sol (DOGGAR, 1992 in BENZAHY, 1994). L'eau qui s'infiltré dans le sol dissout les sels par rapport à leur ordre de solubilité croissante, et il entraîne les sels en profondeur.

Pendant ce mouvement descendant, la solution du sol va se concentrer sous l'influence de l'évaporation et l'absorption racinaire. Quand la solution sera sursaturée, certains sels précipiteront et formeront les accumulations salines qui se rencontrent dans certains sols (DURAND, 1983).

2.2. Remontée capillaire :

La remontée capillaire est une migration ascendante des sels en solution dans un profil saturé à faible profondeur. Cette migration est très intense dans les régions soumises à une forte évaporation (DUCHAUFOR, 1977). La remontée capillaire des sels dépend beaucoup de profondeur de la nappe phréatique, la perméabilité, la granulométrie, et la structure (DURAND, 1983). La vitesse de remontée capillaire est plus élevée pour les solutions de sels neutres, et plus faible pour les solutions des sels carbonatés alcalins (JABER, 1970 in OMEIRI, 1994)

2.3. Thermodialyse :

Le thermodialyse est une migration des sels sous un gradient de température vers la partie chaude. Cette migration dépend de la texture de la terre, de son humidité et de la nature des sels (GURR et al., 1952 in DURAND, 1983).

D'après DURAND (1983), il existe d'autres phénomènes pouvant provoquer la migration des sels solubles, mais ils ne sont pas courants dans la nature.

3. Action des sels solubles :

3.1. Action sur le sol :

3.1.1. Structure :

C'est par leurs cations que les sels affectent les propriétés physiques du sol, en particulier par l'action dispersante du sodium échangeable, qui provoque la dispersion des colloïdes, cette action néfaste se manifeste lorsque le remplacement du calcium par le sodium dans le complexe adsorbant dépasse 15% de la capacité d'échange cationique (BOULAINÉ, 1974 in OMEIRI, 1994).

La stabilité structurale décroît dès que le sodium représente de 12 à 15% du complexe adsorbant (JOSEPH, 1927 et KELLY, 1948 in DERDOUR, 1981). D'après DABIN (1951 in DERDOUR, 1981), le rapport $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ influe sur la dispersion des colloïdes. Cette dispersion apparaît dès que la quantité de sodium échangeable dépasse celle du calcium échangeable, lorsque le rapport $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ dépasse la valeur de 1.

3.1.2. Perméabilité :

La perméabilité dépend essentiellement de la texture, la structure, le type de cations adsorbés et le taux de matière organique. La diminution de la perméabilité des sols salés à alcalis est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par l'ion Na^+ (DERDOUR, 1981). Cette perméabilité commence à augmenter avec la salinité du fait de la formation des agrégats par l'action floculante des sels, puis elle se maintient constante (DEMELON, 1966)

3.1.3. Réaction du sol :

La réaction du sol est affectée par la présence des sels solubles, cela est dû à l'existence des sels acidifiants (CaSO_4 , KCl , MgSO_4 , sulfures), et d'autres alcalinisant (NaHCO_3 , CaCO_3 , Na_2CO_3 ,...) (DEMELON, 1966).

3.2. Action sur le végétale :

Certains ions solubles ont des effets néfastes sur la croissance des végétaux. Ces effets peuvent être directs ou indirects (BOLYN, 1975 in BOUHADDA, 1988).

3.2.1. Pression osmotique :

La pression osmotique est proportionnelle à la conductivité électrique suivant l'équation (SERVANT, 1978) :

$$P_o = K C.E.$$

P_o : Pression osmotique en atmosphères.

C.E. : Conductivité électrique en dS/m.

K : Coefficient qui dépend de la nature du sel :

K= 0.85 pour NaCl

K= 0.30 pour Na₂SO₄

K= 0.28 pour MgSO₄

L'augmentation de la pression osmotique dans la solution du sol engendre une réduction du courant de l'eau du sol vers les racines. Il résulte de cela, si la résistance racinaire reste inchangé, une absorption limitée de l'eau d'où une réduction de la croissance végétale (ARAGUES, 1983). La sécheresse physiologique engendre le rabougrissement des sujets et l'absence de développement dans les cas extrêmes de salinité (AUBERT et al., 1963 in DADDI BOUHOUN, 1997)

HULLIN(1983), à signaler que l'action nocive des sels n'est pas toujours proportionnelle à la grandeur de la pression osmotique. En effet, divers expériences ont montré que l'augmentation globale d'un niveau de salinité, tout en provoquant un accroissement de la pression osmotique ne causent pas automatiquement une chute de rendement. Au contraire, chez certains plantes tel que la betterave, le rendement augmente nettement avant de chuter si la concentration des sels devient très importante.

3.2.2. Effets spécifiques des ions :

D'après l'U.S.S.L.(1954), certains ions existants dans la solution du sol peuvent exercer des effets spécifiques sur les végétaux pour ralentir leur croissance, parmi ces ions :

- **Chlorures** : Leur action se manifeste par l'apparition des brûlures à l'extrémité des feuilles. Ce sont les végétaux ligneux qui sont les plus sensibles (arbres fruitières).
- **Sulfates** : L'intoxication par les sulfates se marque par des marbrures jaunâtres ou bronzées dans les feuilles. Ils provoquent aussi une accélération de la chute des feuilles.
- **Bicarbonates** : Les manifestations extérieures sont celles d'une chlorose. Les pommiers semblent très sensibles.

- **Sodium** : Une intoxication par le sodium se marque surtout par des brûlures aux feuilles.
- **Calcium** : Son action n'affecte les rendements qu'à une forte teneur.
- **Magnésium** : Seules certaines cultures sont sensibles. Les sols possédant une teneur élevée en magnésium échangeable (Mg^{++}) présentent des problèmes d'infiltration. Mais le rôle du magnésium n'est pas bien déterminé ; son action ressemble beaucoup à l'action du calcium qu'à celle du sodium. Il est plus adsorbé par le sol que le sodium mais légèrement moins que le calcium (AYERS et al., 1988).
- **Bore** : C'est un oligo-élément indispensable aux cultures, mais également très toxique si sa quantité dépasse 250 ppm. Les seuils de carence et de toxicité son voisins, pour cela il faut toujours vérifier sa teneur dans le sol. L'excès de bore est plus à craindre que son déficit (DURAND, 1958)

3.2.3. Tolérance des cultures à la salinité :

Certains plantes sont sensibles à la salinité, mais d'autres sont résistantes. MAAS et al., (1977 in ARAGUES, 1983) après avoir passé en revue la tolérance des cultures à la salinité, ont conclu que le rendement relatif des cultures (Y en %) peut être calculé par l'équation suivante :

$$Y = 100 - B (C.E._e - A)$$

A : Le seuil de salinité toléré en dS/m. Il représente une salinité où le chlore prédomine, mais dans le cas des sols gypseux, il faut approximativement 2 dS/m à **A**.

B : Pourcentage de rendement diminué par unité de salinité augmentée (en % par dS/m). MAAS (1985 in DADDI BOUHOUN, 1997) a donné **A** et **B** pour 71 cultures agricoles.

C.E._e : Conductivité électrique de l'extrait à saturation en dS/m est égale à 1,5 C.E._{iw} (MAAS, 1985 in DADDIBOUHOUN, 1997)

C.E._{iw} : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (dS/m).

AYERS et al (1988), on se basant sur les travaux de MAAS et al. (1977), publient un tableau (Tabl.04) qui donne la tolérance et le rendement relatif des cultures en fonction de la

salinité du sol (C.E._e) et de l'eau (C.E._{iw}). Quand Y=100 % la croissance végétale est normale, mais par contre si Y=0 % cela correspond à un arrêt de la croissance des plantes.

Certaines cultures sont sensibles à la salinité à un certain stade de leur développement qu'à un autre. Ainsi, l'orge est sensible au stade de la levée, la betterave sucrière au moment de la germination et le riz à la floraison (J.W.VAN HOORN, 1970 in OMEIRI, 1994).

Tableau 04. Tolérance et rendement relatif (Y) des cultures en fonction de la salinité du sol (C.E._e) et de l'eau d'irrigation (C.E._{iw}) (MAAS et al.,1977 in AYERS et al.,1988)

Cultures et tolérances :	Y = 100%		Y = 50%		Y = 0%	
	C.E. _e	C.E. _{iw}	C.E. _e	C.E. _{iw}	C.E. _e	C.E. _{iw}
Cultures de plains champs :						
Orge (T.)	8,0	5,3	18	12	28	19
Gros fève (M.S.)	1,5	1,1	6,8	4,5	12	8,0
Cultures maraîchères :						
Betterave rouge (M.T.)	4,0	2,7	9,6	6,4	15	10
Tomate (M.S.)	2,5	1,7	7,6	5,0	13	8,4
Poivron (M.S.)	1,5	1,0	5,1	3,4	8,6	5,8
Laitue (M.S.)	1,3	0,9	5,1	3,4	9,0	6,0
Radis (M.S.)	1,2	0,8	5,0	3,4	8,9	5,8
Oignon (S.)	1,2	0,8	4,3	2,9	7,4	5,0
Carotte (S.)	1,0	0,7	4,6	3,0	8,1	5,4
Navet (M.S.)	0,9	0,6	6,5	4,3	12	8,0
Cultures fruitières :						
Palmier dattier (T.)	4,0	2,7	18	12	32	21
Pamplemoussier (S.)	1,8	1,2	4,9	3,3	8	5,4
Oranger (S.)	1,7	1,1	4,8	3,2	8	5,3
Vigne (M.S.)	1,5	1,0	6,7	4,5	12	7,9

T. : Tolérante, **M.T.** : Moyennement tolérante, **S.** : Sensible, **M.S.** : Moyennement sensible

DEUXIÈME PARTIE

MATERIELS & METHODES

Chapitre III : Présentation de la région de Ghardaïa

1. Situation géographique :

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. À environ 600 Km de la capitale Alger. Ses coordonnées géographiques sont (BICHI et BEN TAMER, 2006) :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.
- Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km², elle est limitée (Fig.01) :

- 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 de Tamanrasset (1.470Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'el-Bayadh (350 Km) .

La wilaya comporte actuellement 11 communes regroupées en 8 daïras pour une population 396.452 habitants, soit une densité de 4,68 habitants/ km² (D.P.A.T., 2009).

2. Climat :

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).

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 10 ans entre 2001-2010 ; à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie (Tabl.05).

2.1. Température :

La température moyenne annuelle est de 22,28°C, avec 34,1°C en Août pour le mois plus chaud, et 11,2°C en janvier pour le mois plus froid.

2.2. Précipitation :

D'une manière générale, les précipitations sont faibles et d'origine orageuse, caractérisées par des écarts annuels et interannuels très importants et également. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 61,24 mm.

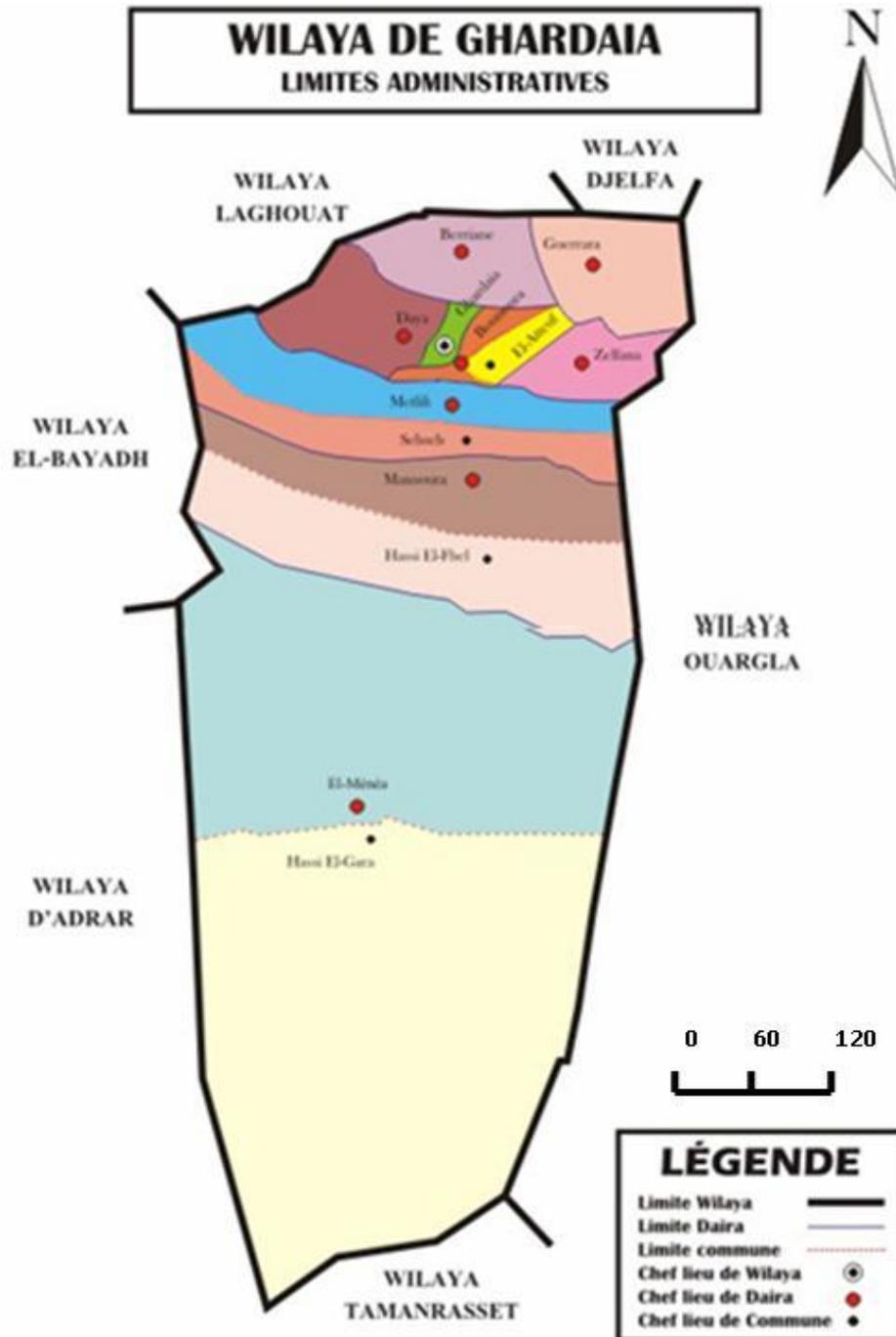


Figure 01 : Limites administratives de la wilaya de GHARDAIA (Atlas, 2004)

Tableau 05 : Données météorologique de la Wilaya de Ghardaïa (2000-2010) (O.N.M., 2011)

	T. (°C)	P. (mm)	I. (h)	E. (mm)	H. (%)	V.V (m/s)
Janvier	11,2	13,4	248	93	44	1,6
Février	13,4	1,94	240	112	37	1,64
Mars	17,9	6,16	275	178	30	1,45
Avril	21,4	8,38	292	224	29	1,79
Mai	26,0	1,36	314	279	24	1,68
Juin	31,5	1,83	334	344	20	1,74
Juillet	31,0	3,18	337	392	18	1,86
Août	34,1	9,46	322	351	21	1,61
Septembre	28,6	2,24	271	239	31	1,39
Octobre	23,9	9,55	256	174	33	1,2
Novembre	16,2	5,12	251	113	37	1,08
Décembre	12,2	7	235	157	44	1,34
Moyenne	22,28	61,24*	3375*	2656*	30,66	1,53

H. : Humidité relative T. : Température P. : Pluviométrie I. : Insolation V.V. : Vitesse de vent
E. : Evaporation * : Cumule annuel

2.3. Humidité relative :

L'humidité relative de l'air est très faible, elle est de l'ordre de 18% en juillet, atteignant un maximum de 44% en mois de décembre et janvier et une moyenne annuelle de 30,66%.

2.4. Evaporation

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds. Elle est de l'ordre de 2656 mm /an, avec un maximum mensuel de 392 mm au mois de Juillet et un minimum de 93 mm au mois de Janvier.

2.5. Insolation :

La durée moyenne de l'insolation est de 281,85 heures/mois , avec un maximum de 337 au mois Juillet ; et un minimum de 235 au mois de Décembre. La durée moyenne annuelle est de l'ordre 3375 heures/an, soit approximativement ? heures/jour.

2.6. Vent :

Ils sont de deux types :

- Les vents de sables en automne, printemps et hiver de direction nord –ouest.

- Les vents chauds (Sirocco) dominent en été, de direction sud nord ; sont très sec et entraînent une forte évapotranspiration (BENSEMAOUNE, 2007).

D'après les données de l'O.N.M. (2011) pour la période de 2000-2010, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 1.53 m/s.

2.7. Classification du climat :

2.7.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN :

Selon le tableau (05) qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 10 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche.

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté (Fig.02) :

- en abscisse par les mois de l'année.
- en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- une échelle de $P=2T$.
- L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ghardaïa, nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année.

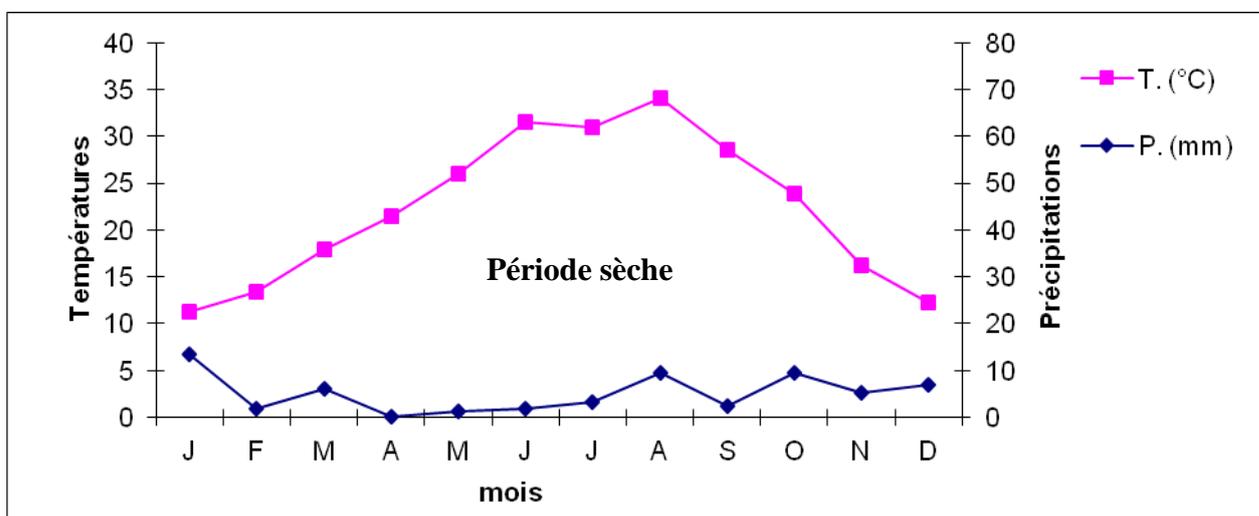


Figure 02 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa 2000-2010

2.7.2. Climagramme d'EMBERGER :

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté :

- en abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid.

- en ordonnées par le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER (1933 in LE HOUEROU, 1995).

Nous avons utilisés la formule de STEWART (1969 in LE HOUEROU, 1995) adapté pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q2 = 3,43 P/Mm$$

Q2 : quotient thermique d'EMBERGER

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm $Q2 = 3,43 P/Mm$

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C

m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C

D'après la figure (3), Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q2) est de 7,57.

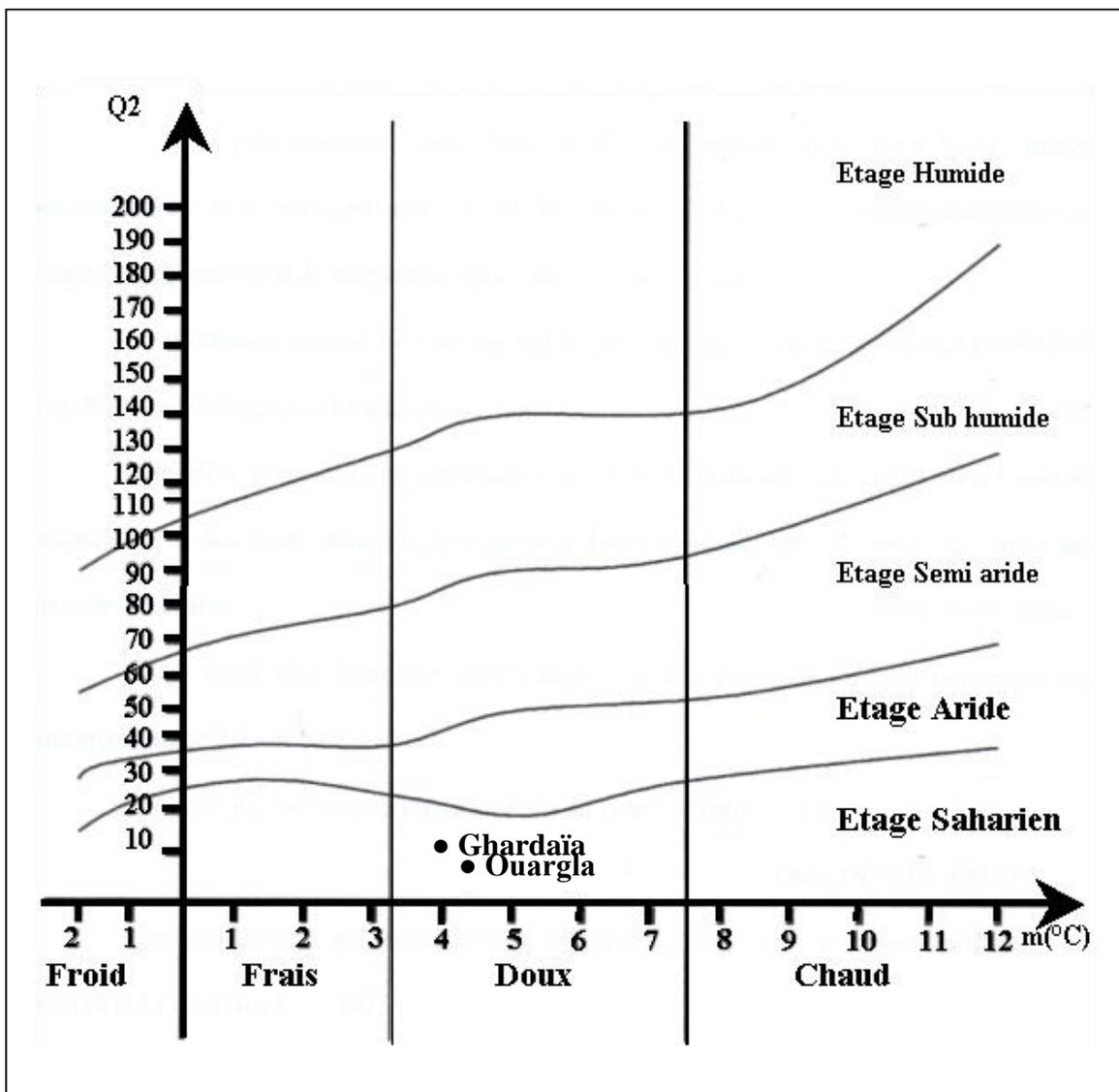


Figure 03. Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER

3. Géomorphologie :

Dans la région de Ghardaïa, on peut distinguer trois types de formations géomorphologiques (fig.04). (D.P.A.T., 2005)

- La Chabka du M'Zab.
- La région des Dayas.
- La région des Ergs.

3.1.1. Chabka du M'Zab :

C'est un plateau créacé 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. Leur pente est 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 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, Mansoura et Hassi L'Fhel) sont situées en tout ou en partie sur ce plateau.

3.1.2. 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.

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 (BARRY et FAUREL, 1971 in LEBATT et MAHMA, 1997).

3.1.3. 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.

Les Regs sont le résultat de la déflation éolienne, cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf. (BELERAGUEB, 1996 in MIHOUB, 2008)

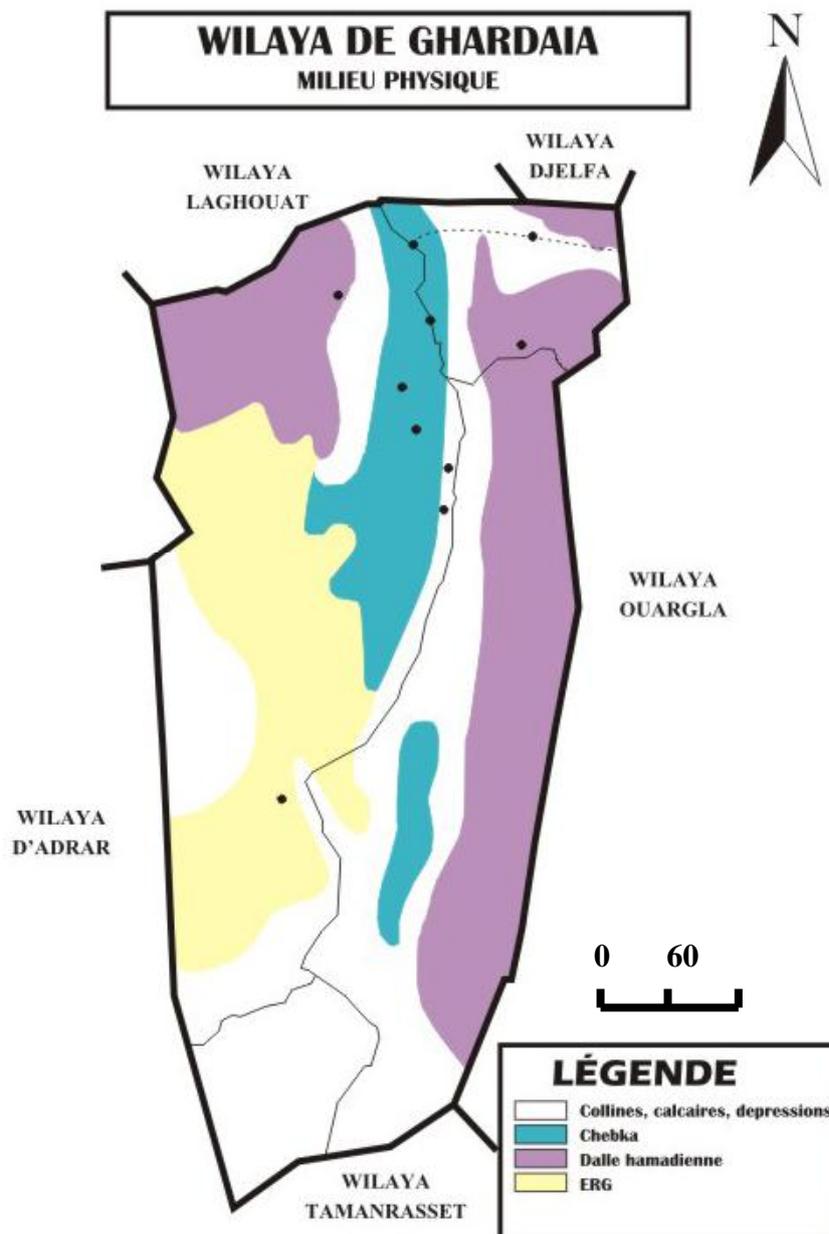


Figure 04. Milieu physique de la wilaya de GHARDAIA (D.P.A.T, 2004).

4. Géologie :

Du point de vue géologie, 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. 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.

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'Inféro-flux (nappes phréatiques) (ANRH, 2007).

5. Hydrogéologie :

5.1. Nappes phréatiques :

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège des 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., 2007).

La qualité chimique des eaux est comme suit :

- à l'amont, elle est bonne à la consommation.
- à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (A.N.R.H., 2007).

5.2. Nappe du Continental Intercalaire :

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000 m.

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.

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

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

Les eaux, à l'exception de celles d'El Menia qui sont extrêmement douces ne sont pas trop chargés (résidus sec variant entre 1 et 1,8g/l) (A.N.R.H., 2007).

6. Réseau hydrographique

Dans la région de Ghardaïa, les Oueds sont très abondants (fig.12), ils représentaient au passé la ressource hydrique des oasis de la région (UNESCO, 1972 in BALLAIS, 2010).

Dans le tableau (06), nous présentons les caractéristiques des Oueds les plus importants.

Tableau 06. Nombre de jours de crue des oueds de la région de Ghardaïa (DUBOST, 1991)

Nom	Superficie du bassin versant en Km ²	Jours de crue total par période	
		1921-1937	1950-1961
Oued Zegrir	4100	18	27
Oued Ballon	16	15
Oued N'Sa	7800	15	24
Oued Soudan	13	21
Oued Metlili	400	12	13
Oued M'Zab	5000	9	36

DUBIEF (1953 in BENSEMAOUNE, 2007) a cité les caractéristiques de quelques Oueds de la région de Ghardaïa comme suite (Fig.05):

6.1. Oued Zegrir

Il traverse un bassin de 4100 Km², il coule sur une longueur qui varie entre 270 Km et 300 Km, selon l'importance de la crue ; des dayas pullulent sur son cours. Il prend sa source à l'Oued Ajerma au Nord-ouest, à une altitude de 850 m, il passe au Nord de Berriane pour atteindre Guerrara en aval et se dirige vers le Sud-est afin de terminer son parcours à la vallée du Zgaa.

6.2. Oued N'Sa :

La superficie de son bassin est environ de 7800 Km², il se situe au sud du Zegrir, il prend sa source à Tilghemt qui culmine à cet endroit à 750 m d'altitude et passe au Nord-est de Berriane,

enfin il se dirige vers le Sud où il reçoit l'apport des deux affluents, Soudan et Ballouh qui traversent la palmeraie de Berriane. Il continue son chemin vers le Sud-est pour atteindre la Sabkhet Safioune, au Nord de Ouargla. Sur cet endroit il atteint une longueur de 320 Km. Comme le Zegrir, nous pouvons observer sur son cours de nombreuses dayas.

6.3. Oued M'Zab :

La superficie du bassin du M'Zab est environ de 5000 Km². Il traverse la vallée de M'zab, se dirige du Nord-ouest vers le Sud-est, sur un itinéraire de 350 Km. Il atteint une altitude de 500 m au niveau de Ghardaïa. Lorsque la crue est assez importante, il termine son parcours comme le Zegrir à la Sabkhat Safioune. En amont de Ghardaïa se trouvent ces deux principaux affluents, les Oueds Labiod et Touzouz. Il est rejoint par d'autres en aval, particulièrement par le N'Tissa, qui traverse la palmeraie de Ben-Isguen et débouche sur le M'Zab sur sa rive droite. Plus loin sur sa rive gauche, c'est l'Azouil qui vient à sa rencontre après sa traversée des jardins de Bounoura.

6.4. Oued Metlili :

La superficie du bassin du Metlili ne dépasse pas 400 Km², elle est limitée à l'Oasis du Metlili. Il est mal délimité dans sa partie orientale, et passe complètement au sud de la vallée du M'Zab .Il est d'une longueur totale de 214 Km. plus en aval, son lit est parsemé de dayas qui absorbe une partie des eaux de ruissellement, dont la plus importante est la daya Guemta. En amont, à 134 km de son origine ; l'Oued Metlili est barré par le cordon dunaire de l'Erg Ghanem.

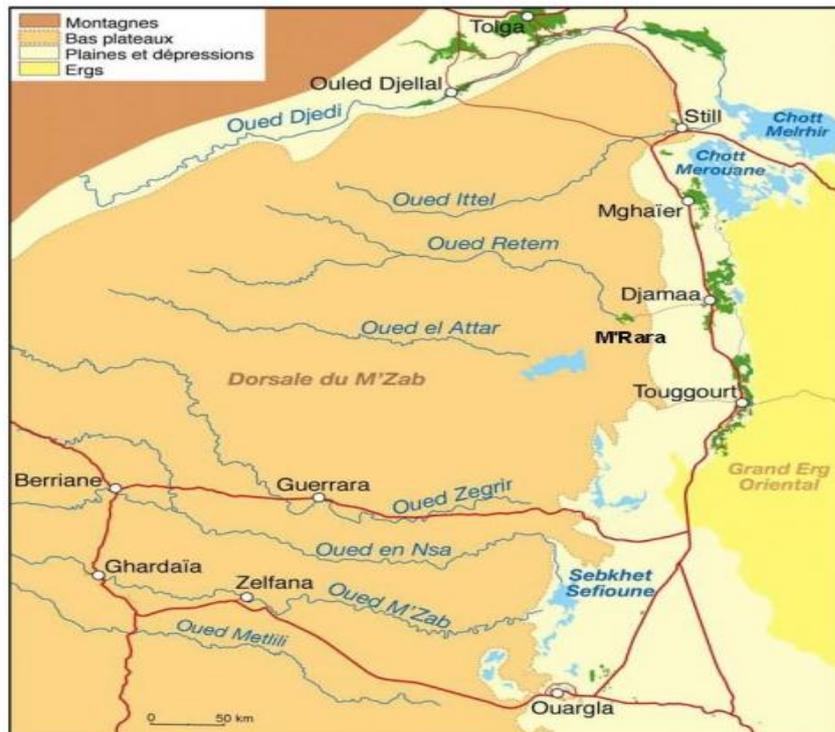


Figure 05. Les oueds de la dorsale de m'zab

7. 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. (D.P.A.T, 2004).

D'après D.P.A.T (2004), en surface, sous l'ardeur du soleil, l'évaporation peut donc appeler l'eau souterraine salée dont les sels imprégneront l'argile. Sols salins et sols argileux vont donc souvent de pair.

Selon BELERAGUEB (1996 in MIHOUB 2009) Les sols peuvent être classés grossièrement en trois groupes :

- Les sols désertiques (regs) : sols sablonneux et graveleux.
- Les sols limono-argileux : terrasses des vallées,...
- Les sols salés (halomorphe), sebkha,...

Généralement les sols sahariens ont une texture sablo limoneuse avec une faible teneur en phosphore, azote et oligo-éléments. Les sols sont aussi caractérisée par un pH élevé qui réduit la disponibilité des oligo-éléments et un taux de calcaire total élevé ayant un effet négatif sur l'assimilation du phosphore, potassium et l'azote par la plante au niveau du sol. On note aussi une faible teneur en matière organique d'où une faible capacité d'échange cationique (<5 méq/100g du sol) BELERAGUEB (1996 in MIHOUB, 2009).

Selon BELERAGUEB (1996 in MIHOUB, 2009) ; En dehors de la palmeraie, sur les plateaux, l'érosion éolienne a décapé les éléments fins, ne laissant en surface que les éléments grossiers (reg). Au niveau de la plaine alluviale (palmeraie), les apports sont assez homogènes et caractérisés par une granulométrie assez grossière : sable fins, sable fins légèrement limoneux. En profondeur la variabilité est plus grande, on observe des niveaux granulométrique caillouteux et des niveaux argileux.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

1. Approche méthodologique :

La salinité des sols constitue un problème majeur des sols cultivées 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 cultivés est indispensable afin d'améliorer la production par le biais de l'amélioration des pratiques culturales à savoir l'irrigation et le drainage ;

L'approche méthodologique choisie permet de caractériser la salinité du sol dans une palmeraie de la région de Zelfana.

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

2. Caractéristiques du site d'étude

La commune de Zelfana est située à 65,5 Km à l'Est du siège de la wilaya de Ghardaïa, Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude de 360 m.
- Latitude 35° 25' Nord.
- Longitude 4° 35' Est.

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.

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 (DAOUADI et OULAD SIDI OMAR, 2011).

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

- **La 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 qui peuvent être cultivées.

- **La 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 est une salinité moyenne de 1 g/l. (OUALI et al, 2007).

3. Méthode d'échantillonnage :

Le diagnostic de l'état de la salinité dans la région de Zelfana a été réalisé en faisant un échantillonnage systématique devant chaque palmier comme montre la figure (06). Le nombre de profil étant de cinq.

Nous avons prélevés un échantillon du sol chaque 20 centimètre, afin d'étudier la dynamique de la salinité dans chaque profil.

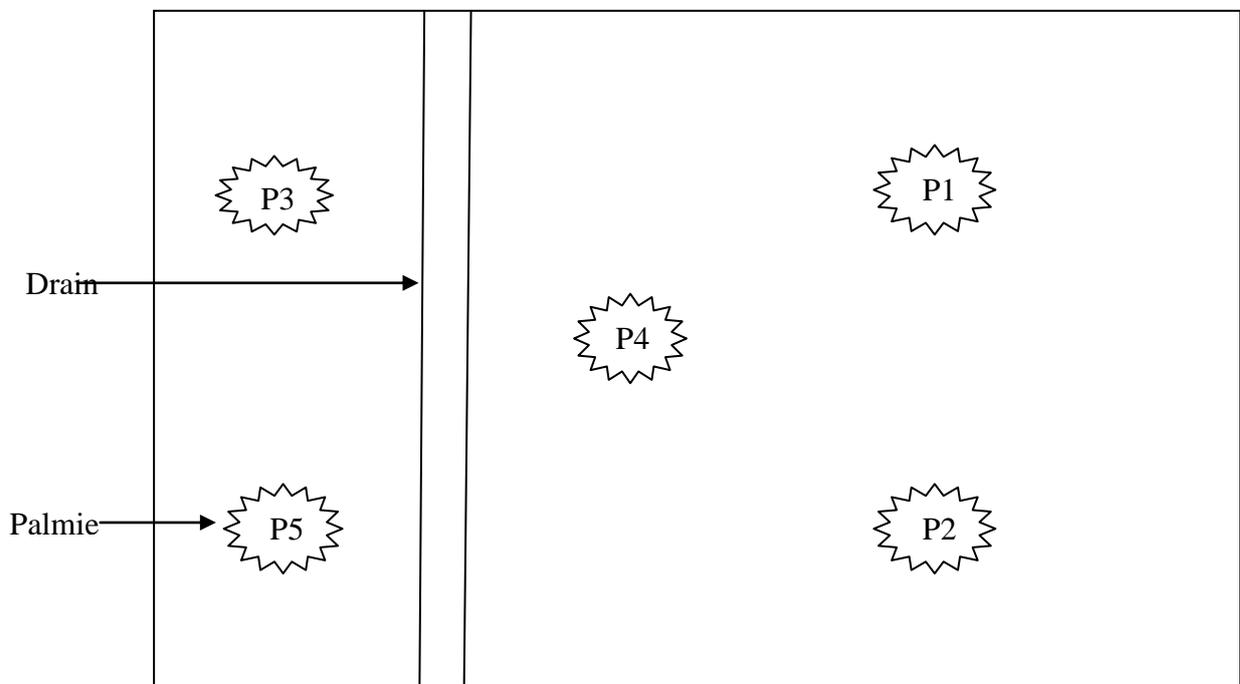


Figure 06. Croquis montrant la parcelle échantillonnée et l'emplacement des échantillons

4. Analyse au laboratoire :

Les échantillons prélevés sont séchés à l'air libre puis tamisés à 2 mm.

Nous avons réalisé au laboratoire un extrait dilué sol/terre avec un rapport 1/5 pour chaque échantillon. Les analyses ont portés sur :

- La Conductivité électrique (C.E à 25°C): mesurer au conductimètre

Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire du centre universitaire de Ghardaïa.

5. Représentation des résultats :

Les résultats sont présentés en profils afin d'étudier la dynamique des paramètres étudiés.

TROISIEME PARTIE

RESULTATS & DISCUSSION

Chapitre V : Etude de la salinité du sol

1. Résultats :

La classification de la salinité du sol a été réalisée en fonction de l'échelle d'AUBERT (1978) signalé dans la partie bibliographique du présent document.

1.1. Dynamique des sels dans le profil P1:

L'analyse de la conductivité électrique du sol des horizons du profil P1 a montré que la salinité du sol varie de peu salé avec une CE à 25°C de l'horizon P1H4 et P1H3 de 1,23 dS/m et 1,44dS/m respectivement, à très salé dans les horizons de surface P1H1 et P1H2 avec une CE à 25°C de l'horizon P1H1 de 3,75 dS/m et de 2,37 dS/m pour l'horizon P1H2.

L'allure du profil salin P1 est montrée dans la figure (07)

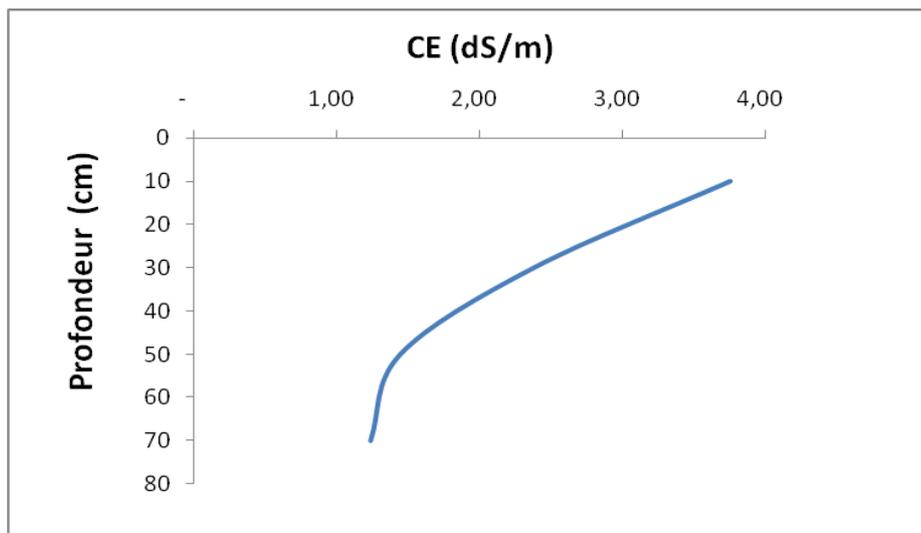


Figure 07. Profil salin P1

Selon la classification des profils salins de SERVANT (1978), le profil salin P1 est de type A, caractérisé par un maximum de salinité en surface.

1.2. Dynamique des sels dans le profil P2:

L'analyse de la conductivité électrique du sol des horizons du profil P2 a montré que la salinité du sol varie de peu salé pour les horizons P2H3 et P2H4 avec une CE à 25°C de 1,87dS/m et 1,72 dS/m respectivement à salé pour l'horizon P2H2 avec une CE à 25°C de 2,07 dS/m puis elle passe à extrêmement salé dans l'horizon de surface P1H1 avec une CE à 25°C de 9,41 dS/m.

L'allure du profil salin P2 est montrée dans la figure (08)

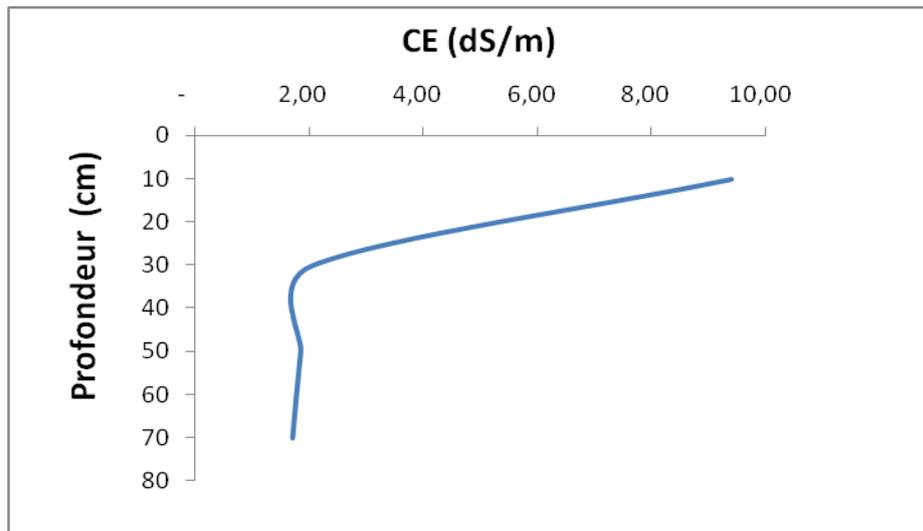


Figure 08. Profil salin P2

Selon la classification des profils salins de SERVANT (1978), le profil salin P2 est de type A, caractérisé par un maximum de salinité en surface.

1.3. Dynamique des sels dans le profil P3:

L'analyse de la conductivité électrique du sol des horizons du profil P3 a montré que la salinité du sol varie de peu salé pour les horizons P3H2 (CE à 25°C de 1,93 dS/m), P3H3 (CE à 25°C de 1,07 dS/m), P3H4 (CE à 25°C de 1,66 dS/m) et P3H5 (CE à 25°C de 1,63 dS/m) à très salé pour l'horizon de surface P3H1 avec une CE à 25°C de 3,21 dS/m.

L'allure du profil salin P3 est montrée dans la figure (09)

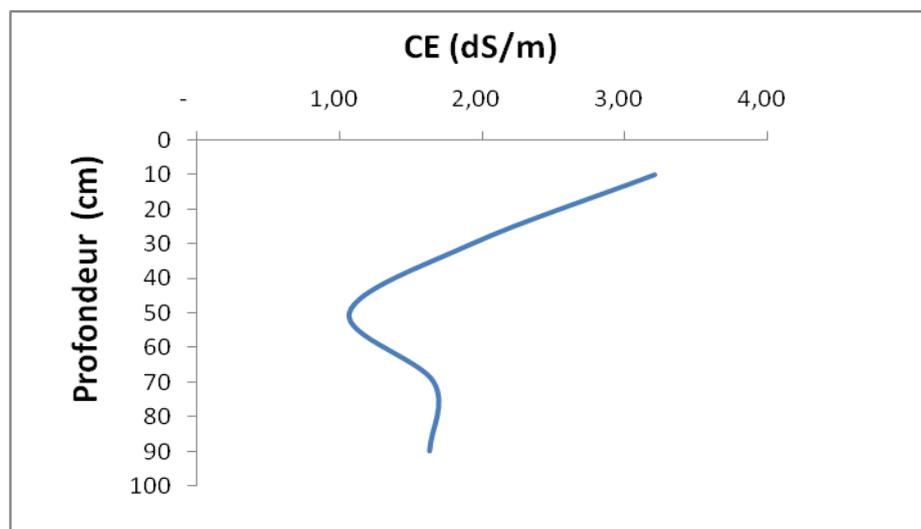


Figure 09. Profil salin P3

Selon la classification des profils salins de SERVANT (1978), le profil salin P3 est de type C, c'est une forme D (maximum en profondeur) sur la quelle se greffe un maximum superficiel de salinité.

1.4. Dynamique des sels dans le profil P4:

Dans le profil P4, nous avons enregistré trois classes de salinité à savoir :

- La classe peu salé dans les horizons : P4H2 (CE à 25°C de 1,71 dS/m), P4H4 (CE à 25°C de 1,99 dS/m) et P4H5 (CE à 25°C de 1,54 dS/m)
- La classe salée dans l'horizon P4H3 (CE à 25°C de 2,14 dS/m)
- La classe très salé dans l'horizon P4H1 (CE à 25°C de 3,99 dS/m).

L'allure du profil salin P4 est montrée dans la figure (10)

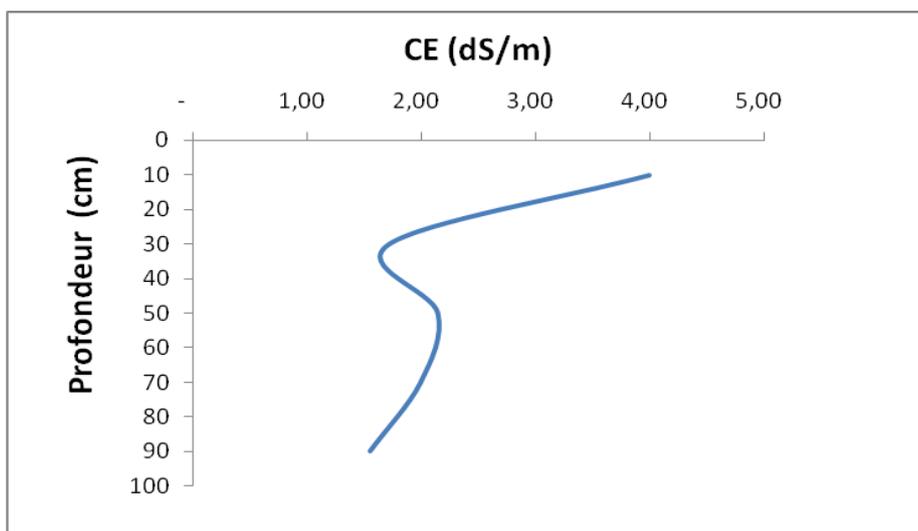


Figure 10. Profil salin P4

Selon la classification des profils salins de SERVANT (1978), le profil salin P4 est de type A, caractérisé par un maximum de salinité en surface.

1.5. Dynamique des sels dans le profil P5:

Dans le profil P5, nous avons enregistré trois classes de salinité à savoir :

- La classe peu salé dans les horizons : P5H3 (CE à 25°C de 1,13 dS/m), P5H4 (CE à 25°C de 1,38 dS/m)
- La classe salée dans l'horizon P5H2 (CE à 25°C de 2,35 dS/m)
- La classe Extrêmement salé dans l'horizon P5H1 (CE à 25°C de 6,42 dS/m).

L'allure du profil salin P5 est montrée dans la figure (11)

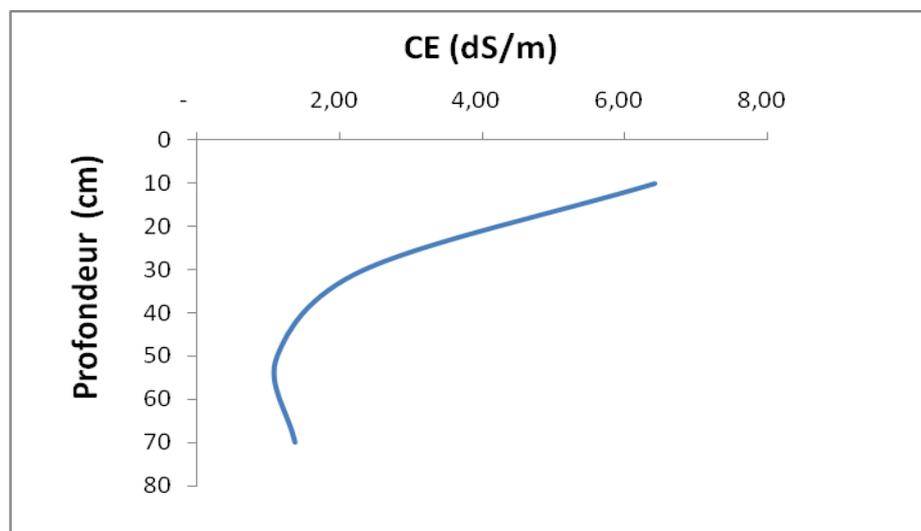


Figure 11. Profil salin P5

Selon la classification des profils salins de SERVANT (1978), le profil salin P5 est de type C, c'est une forme D (maximum en profondeur) sur la quelle se greffe un maximum superficiel de salinité.

2. Discussions :

Dans la parcelle étudiée la salinité moyenne du sol varie du peu salé pour les horizons H3 (CE_{moy} à 25°C de 1,53 dS/m), H4 (CE_{moy} à 25°C de 1,60 dS/m) et H5 (CE_{moy} à 25°C de 1,59 dS/m) à salé pour l'horizon H2 (CE_{moy} à 25°C de 2,09 dS/m) puis très salé pour l'horizon H1 (CE_{moy} à 25°C de 5,36 dS/m), cela est forcément due à l'irrigation par une eau chargée en sels, 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), appartenant ainsi aux classes C3 et C4 de salinité de l'eau d'irrigation définies par DURAND (1958) caractérisée par une salinité forte à très forte et provoquant ainsi une salinisation secondaire du sol surtout lors d'un mauvais drainage.

Les profils salin P1, P2 et P4 sont de type A, caractérisés par un maximum de salinité en surface, cela montre l'augmentation de la salinité de l'horizon de surface 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.

La dynamique ascendante des sels dans un sol cultivé se produit dans notre cas après les irrigations.

Les profils salins P3 et P5 sont de type C, c'est une forme D sur la quelle se greffe un maximum superficiel de salinité. Il s'agit dans notre cas d'un profil dont la dynamique des sels est caractérisée par une remontée capillaire (avant les irrigations) favorisé par une forte évapotranspiration, et une lixiviation des sels par l'eau d'irrigation (après les irrigations).

Les profils P3 et P5 sont proches du système de drainage, ce qui favorise l'appauvrissement des horizons de profondeur moyenne en sels d'où un minimum de salinité dans ces horizons.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude de la dynamique des sels dans un sol cultivé dans la région de Zelfana a été réalisée en faisant un échantillonnage systématique de cinq profils à proximité des palmiers. L'évaluation de la salinité a concerné la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5, ensuite la réalisation des profils salins.

Les résultats d'analyses ont montrés que le sol est peu salé à très salé avec une conductivité électrique à 25°C qui varie de 1,53 à 5,36 dS/m. Cela est due à l'accumulation des sels suite à l'irrigation par une eau saline de la nappe albienne (salinisation secondaire), accentué par un mauvais drainage.

L'allure des profils salins a révélé deux type de profil salin, l'un caractéristique de l'état de la salinité après irrigation (profil de type A) pour les profils P1, P2 et P4 ; et l'autre caractéristique d'un appauvrissement due à la distance proche des profils au système de drainage (profil de type C) pour les profils P3 et P5.

Enfin, ce travail sur la salinité du sol dans un sol cultivé de 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
- L'étude des sols non cultivés afin de confirmer ou nier l'hypothèse d'existence de salinisation primaire du sol.
- 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.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A.N.R.H., 2007-Inventaires Et Enquête Sur Les Débits Extraits De La Wilaya De Ghardaïa. Ed. A.N.R.H ,18 P

ARAGUES R., 1983 - The quality and availability of water used in irrigation systems. Porc.17th coll. Int., Potash Instituted Bern, pp. 315-323.

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

AUBERT, 1975 ; **HULLIN**, 1983 - Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annale de l'I.N.A., Alger, 6 (1), pp. 185-195

AYERS et al. 1988, **AYERS R.S.**, **WESTCOT D.W.**, 1988 - La qualité de l'eau en agriculture. Bull. F.A.O. Irrig. Drain., 29, Rome, 97 p.

BACI, 1982- Contribution à l'étude de la salinisation des sols du Hodna (Wilaya deM'Sila). Thèse Ing. I.N.A., Alger, 100 p.

BAGNOULS F., **GAUSSEN H.**, 1953 - Saison sèche et indice xéothermique, Volume I. Carte des productions végétales, art. 8, Toulouse, 47p.

BALLAIS J.L., 2010- Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du Bas-Sahara algérien volume VI .Ed. Physio –Géo, géographie, physique et environnement, pp 107-127.

BENSEMAOUNE, 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. Thèse. Mag. Univ, Ouargla .96p

BENZAHI Y., 1994 - Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmeraie. Mém. Ing. I.N.F.S.A.S., Ouargla, 111 p.

BOUHIHI, 1996 - Etude de la salinité d'un sol sableux sous l'influence de l'irrigation. Thèse Ing., I.N.F.S.A.S., Ouargla, 41

CÔTE M., 1998 - Des oasis malades de trop d'eau ?, Sécheresse, 9 (2), pp.123-130.

D.P.A.T., 2004 -Atlas de Ghardaïa ,132p

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

D.P.A.T., 2009- Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia,

DADDI BOUHOUN M., 1997 - Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région Saharienne: Cas de M'Zab, Thèse Magister, I.N.A., Alger, 178 p.

DAOUADI S. et OULAD SIDI OMAR H., 2011- Qualité des eaux d'irrigation dans la wilaya de Ghardaïa. Mém, licence, centre universitaire de Ghardaïa. 82 p.

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

DEMELON A., 1966 - Dynamique du sol. Tome I. 5ème Ed. Dund, Paris, 520 p.

DERDOUR H., 1981 - Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement au compactage. Thèse Magister, I.N.A., Alger, 146 p.

DOGGAR, 1992 in BENZAHY, 1994). Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmeraie. Thèse Ing. I.N.F.S.A.S., Ouargla, 111 p.

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

DUCHAUFOR P., 1977 - Pédologie. Pédogenèse et classification. Tome I, Ed. Masson, Paris, 477 p.

DURAND J.H., 1983 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin, Paris, 339 p.

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

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

HALITIM A., 1973 - Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse Doct. 3^{ème} cycle, Univ. Rennes, 176 p.

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

LE HOUEROU H. N., 1995 - Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique « diversité biologique développement durable et désertisation », Options méditerranéennes, Sér. B, N°10, Montpellier, 396p.

LEBATT A., MAHMA A., 1997 - Contribution à l'étude d'un système agricole oasisien cas de la région du M'Zab INFS/AS, 92 P.

MIHOUB A., 2008- Effet de la fertilisation phosphatée sur la nutrition azotée et la productivité d'une culture de blé dur (*triticum durum* l. var. *carioca*) (dans la région d'El-Goléa-Ghardaïa) .Mém. Ing. Univ .Ouargla .85p

O.N.M., 2011 - Données météorologique de la wilaya de Ghardaïa, 2p

OMEIRI N., 1994 - Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette d'Ouargla. Mém. Ing, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 72 p.

OUALI S., MEHMAH B., MALEK A., 2007-Etude de faisabilité d'utilisation des eaux thermales de Zelfana dans la Production d'Hydrogène, 2IWH 2007, 27-29 October 2007, Ghardaïa – Algeria 9 p.

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

U.S.S.L., 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A, Handbook N° 60, Washington, 160 p.

