

§UNIVERSITE KASDI MERBEH– OUARGLA
FACULTE DE LA SCIENCE DE LA NATURE ET DE LA VIE
Département des Sciences Agronomiques
Master 1:Protection de ressource Sol-Eau et l'environnement



Mémoire de Fin d'Etudes en vue de l'obtention du diplôme de MASTER
Académique

Présenté par : - BELHADI Karima
-DAOUI Saida

Accumulation saline estivale dans les sols nus: l'exemple de
l'exploitation de SNV Ouargla

Soutenu publiquement le :

Devant le jury composé de :

Président :	Mr. DADA Moussa Mohammed Lakhdar.	M.C.A.	(U.K. M., Ouargla)
Examineur :	Mr. KARABI Mokhtar	M.C.A	(U.K. M., Ouargla)
Encadreur :	Mr. IDDER. Abdelhak.	M.A.A	(U.K. M., Ouargla)
Co-encadreur :	Mr. BELAROUSSI Med. E. H	M.C.B	(U.K. M., Ouargla)

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

*Avant tout, nous remercions **ALLAH**, le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et la volonté pour mener à terme ce travail.*

*Nous remercions également notre promoteur **M. IDDER. Mohammed Abdelhak** pour avoir proposé et dirigé ce travail.*

*Nous remercions également notre Co promoteur **M. BELAROUSSI Mohamed. Elhafdh**, à l'Université Kasdi Merbah-Ouargla*

*Nous remercions **M.DADA MOUSSA Mohammed Lakhdar**, Maître de Conférences A à*

l'Université Kasdi Merbah - Ouargla, pour l'honneur qu'il nous a fait de présider notre jury et d'évaluer ce travail.

*Merci à , **M. KARABI Mokhtar** Maître de Conférences A à l'Université Kasdi Merbah, en acceptant d'examiner ce travail et de faire partie du jury.*

*Merci également à tous les personnels des laboratoires pedarogiques : chef de laboratoire **Beggari El Aichs**, et techniciens de laboratoire **Iman,zainb,fatima,houda,amina,bahria,naoal,safia,amal,ibtisam,fatima***

Aussi nous remercions infiniment le personnel de la bibliothèque de la faculté des sciences de la Nature et de la Vie.

Un grand merci pour les ouvriers de l'exploitation de l'université d'Ouargla, pour leur accueil et leur patience

Dédicace

*Je rends grâce à Dieu et dédie ce modeste travail à tous ce qui sont
proches spécialement ;*

*A l'être la plus chère dans l'univers, ma source de tendresse, la femme la
plus patiente qui éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenue;
ma mère. HALIMA*

*A la personne qui m'a offre tout ce que je besoin toute au long de mes
études; mon cher père. SACI*

*A mon mari BADRI NOUR ALDEEN qui m'a donné l'aide et le soutien
moral.*

A mon fils :IBRAHIM KALIL et MEHAMED

A mon frère yousif ,ABDE AL REZAK

mes chères sœurs:fatna,souade,samia,zobida et Randa.

A tout la famille BELHADLet BADRI.

Dédicace

*Je rends grâce à Dieu et dédie ce modeste travail à tous ce qui sont
proches spécialement ;*

*A l'être la plus chère dans l'univers, ma source de tendresse, la femme la
plus patiente qui éclairé mon chemin et qui m'a encouragé et soutenue;
ma mère. Kheira*

*A la personne qui m'a offre tout ce que je besoin toute au long de mes
études; mon cher père.Mohamed*

*A mon mari Arif Khaled qui m'a donné l'aide et le soutien
moral.*

A mon fils :Marouane Abedeljalil et Iyad AbedRaouf

A mes frères

mes chères sœurs:Khdra et Radja et Mohamed.

A tout la famille DAOUI et ARIF .

Liste des abréviations

ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
T	Température
C	Concentration
P	Précipitation
SAR	Sodium Adsorption ration
ESP	Exchangeable Sodium Percentage
ONM	Office National de Météorologie

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'Ouargla	4
Figure 2 : Carte géologique du Bas-Sahara	5
Figure 3. Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla (2009 – 2018)	13
Figure 4 - Situation géographique du site expérimental.	26
Figure 5 - Profil.....	44
Figure 6 - Répartition des ions dans le profil 1.....	44
Figure 7 - Profil salin 2	46
Figure 8 - Répartition des ions dans le profil 2.....	46
Figure 9 - Profil salin 3	47
Figure 10 - Répartition des ions dans le profil 3.....	47
Figure 11- Répartition des sels dans le profil 1 horizon 0	53
Figure 12 - Répartition des sels dans le profil 1 horizon 1	53
Figure 13- Répartition des sels dans le profil 1 horizon 3	54
Figure 14 - Répartition des sels dans le profil 1 horizon 2	54
Figure 15 - Répartition des sels dans le profil 2 horizon 0	55
Figure 16- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 1	56
Figure 17- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 2	56
Figure 18- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 3	57
Figure 19- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 4	57
Figure 20- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 0	58
Figure 21- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 1	58
Figure 22- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 2	59
Figure 23- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 3	59

Liste des photos

Photo 1: Le site d'expérimentation	27
Photo 2-Etendue nue	27
Photo 3 - Mise en évidence des horizons.....	28
Photo 4 - Zone d'accumulation de sels	28

Liste des tableaux

Tableau 1. Les données climatiques de la station de Ouargla sur la période 2009- 2018	10
Tableau 2 - Influence de la texture et de la profondeur de la nappe sur la vitesse de la remontée capillaire.....	22
Tableau 3 - Caractérisation du terrain nu (profil 1)	36
Tableau 4 - Caractérisation du terrain nu (profil 2)	38
Tableau 5 - Caractérisation du terrain nu (profil 3)	40
Tableau 6 - Niveaux d'accumulations	42
Tableau 7- Classes des eaux phréatiques	48
Tableau 8 - Paramètres physico-chimiques du sol.....	49
Tableau 9 - Répartition des sels dans le profil 1	52
Tableau 10 - Répartition des sels dans le profil 2	55
Tableau 11 - Répartition des sels dans le profil 3	58

Sommaire

Remerciements.....	
Dédicace.....	
Liste des abréviations.....	
Liste des figures	
Liste des photos.....	
Liste des tableaux.....	
Sommaire	
Introduction.....	1

Chapitre I : Présentation de la région de Ouargla

1. Situation et limites géographiques	4
1.3. - Hydrogéologie	5
1.3.1.- Continental Intercalaire (CI) dit Albien.....	6
1.3.1.1. - Alimentation	6
1.3.1.2. –Exutoire.....	6
1.3.1.3. - Exploitation de la nappe dans la région de Ouargla	7
1.3.2. - Complexe Terminal (CT)	7
1.3.2.1. - Alimentation	7
1.3.2.2. - Exutoire	8
1.3.2.3. - Exploitation de la nappe dans la région de Ouargla	8
1.3.3. - Nappe superficielle ou nappe phréatique.....	8
1.4. - Géomorphologie	8
1.4.1. - Plateau	9
1.4.2. - Hydrographie	9
1.4.3.Sebkha.....	10
1.5-Donnees climatiques:.....	11
1.5.1-Temperature.....	11

1.5.2-Précipitation.....	11
1.5.3- Insolation	11
1.5.4- Vent	11
1.5.5-Evaporation.....	11
1.6 - Caractérisation du climat	12
1.6.1 -Indice d'aridité de De Martonne (I_M)	12
1.6.2 - Indice pluviothermique d'Emberger.....	12

Chapitre II - Généralités sur les sols nus salés

Introduction.....	16
2.1. - Répartition des sols salés.....	16
2.1.1. - Répartition des sols salés dans le monde.....	16
2.1.2. - Répartition des sols salés en Algérie	16
2.1.3. - Caractéristiques des sols sahariens en Algérie	17
2.2. - Source et nature de la salinité du sol	17
2.4. - Influence des facteurs physiques sur les sols salés.....	17
2.4.1- Influence du climat sur la nature des sols.....	17
2.4.2. - Influence du contexte géologique.....	18
2.4.3 - Influence de la nappe phréatique	18
2.5. - Influence des facteurs chimiques sur les sols salés	18
2.6. - Profil salin général pour sol nu.....	19
2.6.1. - Inventaire et classement des principales formes de profils salins	19
2.6.1.1. - Profil salin type A.....	20
2.6.1.2. - Profil salin type B	20
2.6.1.3. - Profil salin type D.....	20
2.6.1.4. - Profil salin type C	20
2.7. - Influence des accumulations salines dans le sol nu.....	20
2.7.1. - Horizons d'accumulation des chlorures	21

2.7.2. - Horizons d'accumulation du gypse	21
2.8. - Sol salin sous sol nu de Sansouire ou de tâche salée	21
2.8.1. - Remontée capillaire	21
2.8.2. - Evaporation.....	23
2.8.3. - Profil salin sous sol nu à différentes périodes	23

Chapitre III - Matériels et méthodologie de travail

3.1. - Choix du site expérimental	25
3.2. - Caractéristique du site expérimental.....	25
3.3. - Méthodologie.....	26
3.3.1. - Echantillonnage	26
3.3.2. - Caractérisation des eaux de la nappe	27
3.3.3. - Etude de la fluctuation de la nappe phréatique.....	28
3.3.4. - Etude de l'évolution de la salinité dans le terrain nu.....	29
3.3.5. - Méthodes d'analyses.....	29
3.3.5.1. - Analyses physiques.....	29
3.3.5.1.1. - Humidité	29
3.3.5.1.2. - Densité apparente	29
3.3.5.1.3. - Granulométrie.....	29
3.3.5.1.4. – Microscopie.....	29
3.3.5.2. - Analyses chimiques	30
3.3.5.2.1. - pH	30
3.3.5.2.2. - Conductivité Electrique (CE)	30
3.3.5.2.3. - Bicarbonates (HCO_3^-)	30
3.3.5.2.4. - Sulfates (SO_4^{2-})	31
3.3.5.2.5. - Chlorures (Cl^-)	31
3.3.5.2.6. - Dureté totale TH ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$).....	31
3.3.5.2.7. - Calcium (Ca^{2+}) , Sodium (Na^+) et le Potassium (K^+)	31

3.3.5.2.8. - Matière organique.....	31
3.3.5.2.9. - Gypse	32
3.3.5.2.10. - Calcaire total.....	32
3.3.5.2.11. - Azote total.....	32
3.3.5.2.12. - C.E.C. et Na ⁺ échangeable.....	32
3.3.6. - Méthodologie d'obtention des sels	32
3.3.6.1. - Hypothèse de la formation des sels	33
3.3.6.1.1. - Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	33
3.3.6.1.2. - Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	33
3.3.6.1.3. - Chlorures (Cl ⁻)	33

Chapitre IV - Résultats et discussion

4.1. - Caractérisation morphologique et analytique du sol	35
4.1.1. - Caractérisation morphologique et analytique du profil 1	35
4.1.2. - Caractérisation morphologique et analytique du profil 2	36
4.1.3. - Caractérisation morphologique et analytique du profil 3	39
4.2- Parcours ioniques.....	41
4.3 - Niveaux d'accumulations.....	42
4.3.1. - Profil 1	43
4.3.2. - Profil 2	44
4.3.3 - Profil 3	46
4.3.4. - Eau phréatique	47
4.5. - Typologie des sels et leurs répartitions.....	50
4.5.2- Répartition des sels dans les profils étudiés	52
4.5.2.1. - Profil 1	52
4.5.2.2. - Profil 2	54
4.5.2.3. - Profil 3	57
Conclusion générale.....	62

Références bibliographiques	66
-----------------------------------	----

INTRODUCTION

Introduction

La salinisation est un processus majeur de la dégradation des terres irriguées en zones arides et semi-arides. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables chaque minute, dont 3 hectares du fait de la salinisation. En effet, 10 à 15% des surfaces irriguées sont soumises au phénomène de salinisation à des degrés divers (MERMOUD, 2006).

Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (Zid et Grignon, 1991). L'introduction des espèces tolérantes au stress salin est l'une des techniques utilisées pour faire face à ce problème.

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

Les recherches actuelles s'orientent essentiellement vers une amélioration des qualités chimiques des sols et/ou l'adaptation des espèces aux caractéristiques bio-physico-chimiques des conditions édapho-climatiques des régions sahariennes.

L'objet de notre travail, s'articulant autour de la chimie des sols, vise l'étude d'accumulation saline estivale dans les sol nus l'exemple de l'exploitation de SNV adéquatement à l'identification des sels . Ce travail est devenu indispensable au vu des mutations qu'a connu la région en matière de mise en valeur des terres.

Le sol nu objet de cette étude n'a jamais connu d'actions anthropiques soit par sa mise en culture ou son irrigation ; l'humidité de ce milieu étant sous l'influence d'une nappe phréatique et de la très faible pluviométrie caractéristique de la région. Les possibilités de vidange dans le réseau de drainage sont inexistantes. Ce sol est soumis à l'influence du climat estival présentant un fort pouvoir évaporant en surface et une nappe phréatique à faible profondeur à la base.

De ce fait, nous avons mis en place un protocole expérimental au niveau de d'un sol nu situé dans exploitation de SNV où des profils pédologiques ont été réalisés et étudiés ; des investigations plus approfondies ont fait l'objet de mesures au niveau des laboratoires spécialisés.

Nous avons jugé nécessaire de présenter notre document sous une structure composée de quatre chapitres :

Le premier et le deuxième chapitre de ce travail concerne une étude bibliographique sur la présentation de la région et les généralités sur les sols nus salés.

Dans le troisième chapitre, nous décrirons le matériel et les méthodes adaptées à notre expérimentation, et les résultats obtenus, ainsi que la discussion des résultats constituant l'essentiel de ce mémoire. L'ensemble a été complété par une conclusion finale qui intègre nos principaux résultats finaux.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE LA

RÉGION D'ÉTUDE

Chapitre I : Présentation de la région de Ouargla

1. Situation et limites géographiques

Notre région d'étude est située dans la wilaya d'Ouargla. Elle s'étend sur une superficie de 163 238 km², et limitée au Nord-est par la wilaya d'El Oued, Nord-ouest par la wilaya de Ghardaïa, au Sud-est par la wilaya d'Ilizi. Ses coordonnées géographiques sont: les longitudes 5°25' Est et les latitudes 31°55' et 32°00' (figure 1) ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975; ANAT 1995).

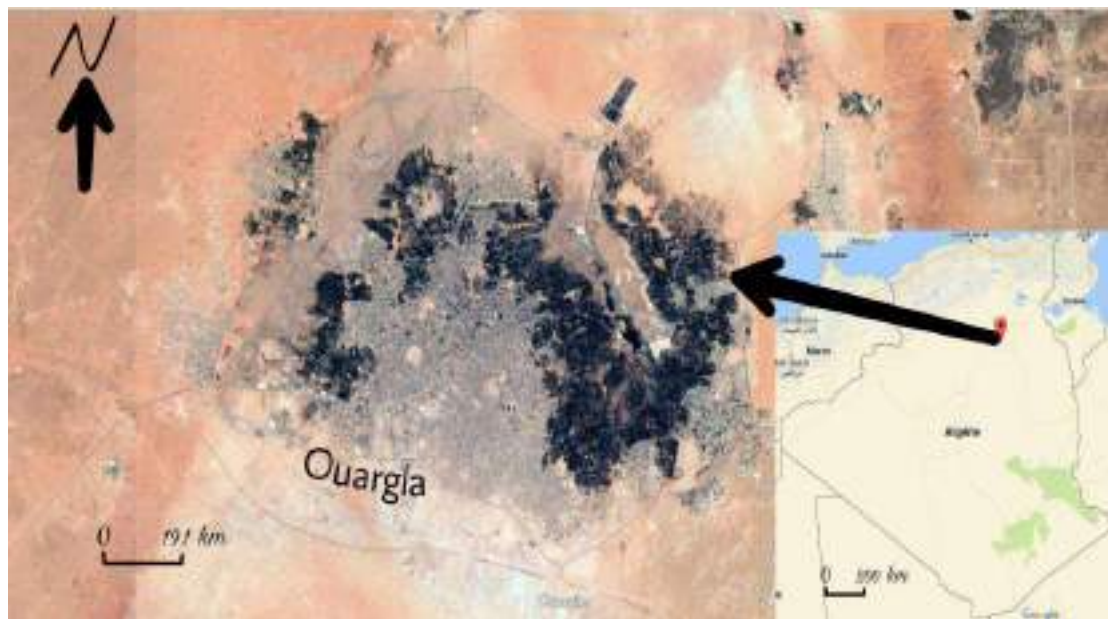


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'Ouargla (Google Earth, 2019).

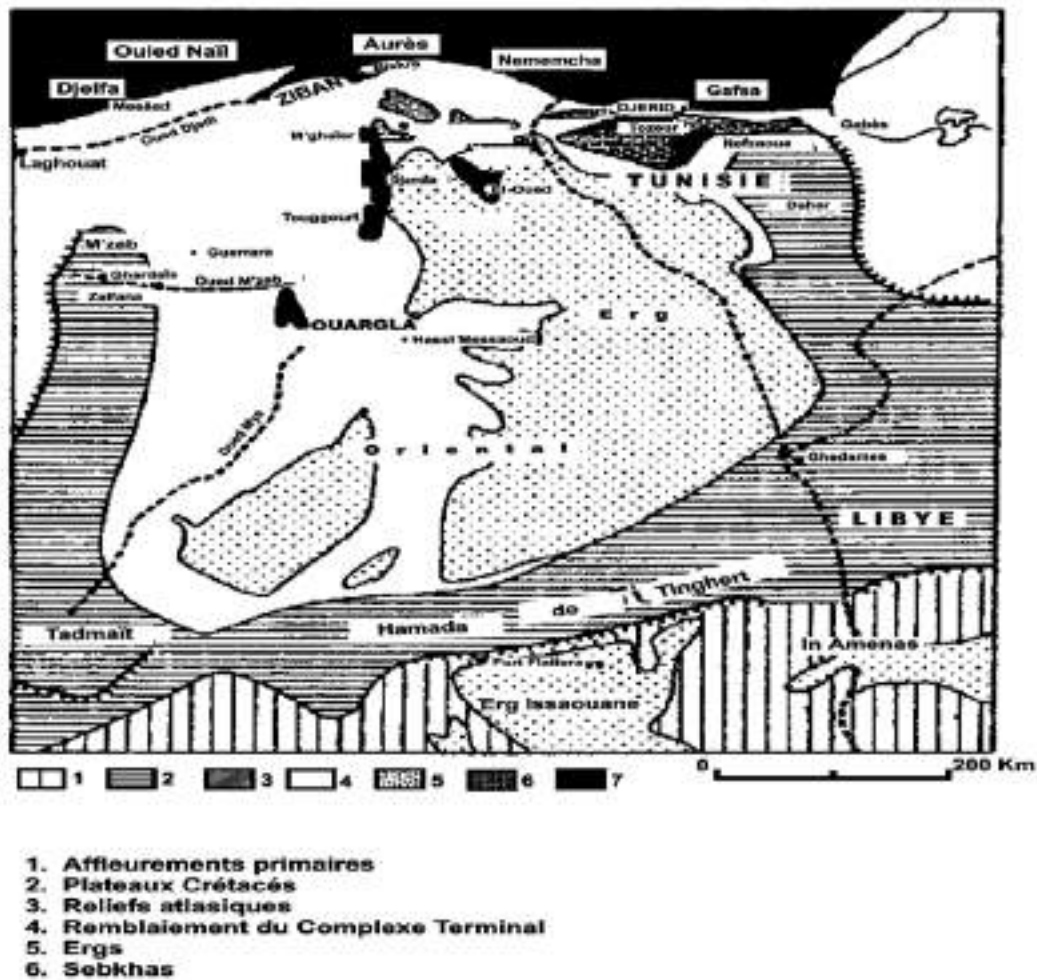


Figure 2 : Carte géologique du Bas-Sahara (D'après NESSON, 1978)

1.3. - Hydrogéologie

Dans le Sahara plus qu'ailleurs, l'eau constitue l'élément vital, sans le quel aucune forme de vie n'est possible. Toutes les oasis sahariennes doivent en effet leur existence à cette ressource.

A Ouargla, comme dans la plupart des oasis du Sahara, les seules ressources hydriques disponibles sont d'origine souterraine. Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent de grands ensembles de formations aquifères : le continental intercalaire à la base et le complexe terminal au sommet. Une troisième formation, d'importance plus modeste, s'ajoute aux deux précédentes : la nappe phréatique ou nappe superficielle, alimentée par les deux aquifères

1.3.1.- Continental Intercalaire (CI) dit Albien

La nappe du continental intercalaire couvre une superficie de 600 000 Km². Elle s'étend sur le long du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, de la vallée de l'Oued Es-Saoura à l'ouest, aux territoires tunisien et libyen à l'est (CORNET et GOUSCOV, 1952 ; CASTANY, 1978) Son volume est évalué à 50 000 milliards de mètres cubes (PNUD-UNESCO, 1972 ; MARGAT, 1990, 1992) La profondeur du toit de l'aquifère augmente du sud au nord. Les affleurements, apparaissant au pied des plateaux de Tadmait et de Tnighert, où la nappe est depuis longtemps exploitée par les Foggaras du Gourara, du Touat et de Tidikelt (DUBOST, 1992) Dans le bassin nord-est (Oued Rhir et Ziban) l'aquifère plonge à plus de 1500 m de profondeur (NESSON, 1978) Les eaux sont, par conséquent sous pression et artésiennes. L'eau des forages a une température de l'ordre de 60 °C et une pression de 25 Kg/cm². Le débit moyen des forages est de 50 ls⁻¹ (DAOUD et HALITIM, 1994) et les eaux possèdent une salinité moyenne de 2,4 dS.m⁻¹. (GUENDOZ et *al.*, 1992)

Cet aquifère est contenu dans les formations sablo-gréseuses et argilo-sableuses accumulées dans des niveaux d'âges variables selon les endroits, et compris entre le Trias et le Crétacé inférieur. Il porte souvent, de manière restrictive, le nom de la nappe Albien en référence à son étage supérieur, car les premiers jaillissements d'eau obtenus en provenance de cet aquifère ont été attribués aux grès de l'Albien.

A Ouargla, l'aquifère est situé entre 1000 et 1500 m de profondeur en moyenne, et son épaisseur dépasse plusieurs centaines de mètres.

1.3.1.1. - Alimentation

La nappe est alimentée à la périphérie du domaine par les eaux de ruissellements venant de l'atlas Saharien, de Tinrghert ; mais également par les pluies exceptionnelles qui s'infiltrant à travers le grand erg occidental (IDDER, 1998)

1.3.1.2. –Exutoire

L'exutoire principal de l'aquifère est situé au niveau du golfe de Gabès. Les autres exutoires sont constitués par les foggaras. A ces différents exutoires s'ajoutent les prélèvements effectués par forages (IDDER, 1998)

1.3.1.3. - Exploitation de la nappe dans la région de Ouargla

Le premier forage à l'Albien exécuté à Ouargla (Albien I) remonte à l'année 1957, mais il est aujourd'hui bouché (GUERRE, 1975) Actuellement il existe, dans l'ensemble de la wilaya de Ouargla, 30 forages du continental intercalaire, dont 4 à Ouargla même. Ils sont essentiellement utilisés pour l'irrigation, mais aussi pour couvrir les besoins domestiques et industriels.

1.3.2. - Complexe Terminal (CT)

Ce complexe s'étend sur une superficie d'environ 350 000 Km² (CASTANY, 1982) Dans le bassin occidental, il se confond avec le complexe intercalaire sous le grand erg occidental, alors que dans le bassin oriental, il forme un aquifère nettement distinct. Le complexe terminal regroupe des formations aquifères contenues dans les horizons perméables du Crétacé supérieur et du Tertiaire.

Sur le territoire Algérien, il existe en effet deux formations aquifères distinctes dans ce complexe terminal. La première est contenue dans les sables du Mio-pliocène, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur et l'Eocène inférieur (Sénonien pour Ouargla principalement). L'écoulement de ces deux aquifères s'effectue du Sud-Ouest au Nord-Est (CASTANY, 1982)

A Ouargla, la nappe du Mio-pliocène se trouve à une profondeur qui varie environ entre 30 et 65 m, alors que celle du Sénonien est située à une profondeur moyenne de 200 m. Elle alimente l'essentiel des palmeraies du Bas-Sahara (Ziban, Oued Rhir, Souf et Ouargla). L'exploitation en Algérie de cette nappe qui était de 9 m³ s⁻¹ en 1970, atteindrait aujourd'hui 15 m³ s⁻¹ (DUBOST, 1992) La salinité de la nappe est très variable (3 dS m⁻¹ et plus) ; généralement plus minéralisée que celle du continental intercalaire (NESSON, 1978, GUENDOZ *et al.*, 1992)

1.3.2.1. - Alimentation

Les nappes du complexe terminal sont essentiellement alimentées par les eaux de ruissellement qui proviennent des reliefs de la périphérie du bassin, ainsi que par les infiltrations qui s'effectuent à travers le grand erg oriental (CORNET, 1964 ; PNUD-UNESCO, 1972)

1.3.2.2. - Exutoire

Les principaux exutoires sont situés au niveau des chotts, où les nappes sont artésiennes sous couvertures semi-perméables peu épaisses. Les sources constituent également un autre exutoire. La plupart d'entre elles ont aujourd'hui disparu à cause de la baisse du niveau des nappes (IDDER, 1998)

1.3.2.3. - Exploitation de la nappe dans la région de Ouargla

L'exploitation de la nappe du Mio-Pliocène à Ouargla, remonte à un passé déjà lointain. Cette nappe a acquis une réputation légendaire, puisqu'elle a été à l'origine de la création de l'oasis et a permis sa prospérité. (MOULIAS, 1927)

1.3.3. - Nappe superficielle ou nappe phréatique

Cette nappe est contenue dans les alluvions de la vallée de Oued Mya. Sa profondeur varie en moyenne, entre 0,5 m et 1,5 m par rapport au niveau du sol (A.N.R.H., 1994) mais les zones les plus basses, elles se trouvent pratiquement à fleur de sol. Cette nappe est essentiellement alimentée, par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux urbaines. Elle reçoit également, en quantités non négligeables, les eaux provenant des nappes profondes, qui aboutissent en surface à travers les puits et forages défectueux.

Les précipitations, certes de faible intensité, peuvent participer aussi à l'alimentation de cette nappe, en particulier lors des événements pluviaux exceptionnels.

Les études de (LELIEVRE, 1969) de (NESSON, 1978) et de (GUENDOUZ et al. 1992) montrent d'une manière générale, comme d'ailleurs dans tout le Bas-Sahara, que le sens de l'écoulement des eaux de la nappe suit celui de la nappe du Complexe Terminal, c'est à dire du Sud vers le Nord.

Les eaux de la nappe sont hyper chargées en sel (50 g.l⁻¹), à faciès chimique chloruré sulfaté (HAMDI-AÏSSA et al., 1997)

1.4. - Géomorphologie

Dans cette partie, nous allons voir, le plateau, l'hydrographie et la Sebkhia.

1.4.1. - Plateau

Composé, essentiellement, de formation grésocalcaires d'âge Tertiaire, il est jalonné de dépressions fermées appelées Daïas, dont celle de Hassi-Mellala est la plus importante. Ce plateau porte une couverture de graviers ou de cailloux, associée à des sables siliceux rougeâtres (AUMASSIP et al., 1972)

A la limite occidentale de la cuvette d'Ouargla, ce plateau présente quatre niveaux d'érosion qui se présentent sous forme de paliers emboîtés.

Le premier niveau, qui prolonge la surface du plateau, se situe à une hauteur d'environ 200 m au dessus de la cuvette. Le second à 180 m environ, le troisième à 160 m et le dernier étage de l'érosion à 140 m de hauteur, raccorde l'étage précédent au fond de la cuvette.

1.4.2. - Hydrographie

Oued Mya est un Oued fossile, dont la source se situait au Sud dans les massifs montagneux du Tadmaït, traversait, autrefois, Ouargla, avant de recevoir, au niveau de la Sebkhâ Safioune, les apports de l'Oued M'zab et de l'Oued N'ssa. (ROUVILLOIS- BRIGOL, 1975)

Plus au Nord, aux environs de Touggourt, la vallée de l'Oued Mya converge avec celle de l'Oued Igharghar pour constituer la vallée de l'Oued Righ qui aboutit au Chott Melghir.

Dans la région de Ouargla, le lit de l'Oued Mya est d'une largeur variable mais toujours assez modeste. A 11 km au sud de l'agglomération, cette largeur est environ 4 km, elle atteint ensuite 12 km environ, au niveau de l'oasis, et à 7 km au Nord, elle se rétrécit à 6 km. La cuvette d'Ouargla présente une dissymétrie Est-Ouest assez nette. La limite vers l'Ouest est marquée par une falaise qui termine le plateau des Cantra et, qui domine la vallée à une altitude d'environ 220 mètres. La limite est moins élevée, est beaucoup plus diffuse. Elle est composée de formations dunaires, d'importance relativement modeste.

Le profil longitudinal de la vallée a une pente générale dirigée depuis le Sud - Ouest vers le Nord- Est et d'environ 0,1 %. Les bas-fonds de la cuvette sont coupés par des alluvions. Les jardins de l'oasis y sont implantés mais pour la plus grande partie, ce sont des terrains inondés ou inondables de la Sebka qui s'allongent en forme de croissant, au Nord de la vallée, depuis l'Est vers l'Ouest.

1.4.3.Sebkha

La Sebka couvre une surface très importante et constitue un élément déterminant dans le paysage morphologique de la cuvette. D'ailleurs, dans la région comprise entre Ouargla et la limite Nord de la Sebka Safioune, la superficie occupée par les zones humides (Sebka et Chott) s'élève à environ 25000 ha, tandis que celle occupée par les palmeraies ne dépasse pas 5000 hectares.(A.N.R.H., 1994)

Les Sebchas sont des formes typiques de lacs temporaires salés que l'on rencontre dans les régions arides et sub-arides. La Sebka de Ouargla est constituée de sols salés gypseux et encroûtés, ils contiennent des proportions importantes .

Tableau 1. Les données climatiques de la station de Ouargla sur la période 2009-2018 (O.N.M Ouargla, 2019)

	Température (°C)			Humidité (C%)	Vent (Km/h)	Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (h/mois)
	Minimal	Maximal	Moyenne					
Janvier	5,23	19,52	12,37	55,33	8,17	7,95	97,85	248,38
Février	6,97	21,19	14,08	47,96	9,20	3,69	120,69	237,43
Mars	10,68	25,67	18,17	42,26	9,74	5,08	180,62	266,82
Avril	15,35	30,76	23,06	36,21	10,26	1,48	231,34	285,33
Mai	19,99	35,34	27,67	30,69	10,56	2,07	302,61	316,25
Juin	24,81	40,42	32,61	26,97	9,96	0,77	366,88	229,30
Juillet	28,14	44,04	36,09	22,94	8,92	0,35	447,18	317,54
Août	27,26	42,42	34,84	26,79	8,95	0,38	388,00	341,44
Septembre	23,54	38,14	30,84	35,68	9,14	4,85	266,76	268,06
Octobre	17,15	31,83	24,49	41,47	7,87	3,81	207,61	270,72
Novembre	10,45	24,59	17,52	51,21	7,26	2,76	124,50	248,21
Décembre	5,87	19,83	12,85	58,09	6,93	3,74	86,17	238,98
Moyen	16,29	31,15	23,72	39,63	8,91	3,08	235,02	272,37
Cumul	/	/	/	/	/	36,92	2820,21	3268,46

1.5-Données climatiques:**1.5.1-Température**

A Ouargla, les températures sont en moyennes très élevées, le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température moyenne de 36,09°C et le mois le plus froid est le mois de janvier avec 12,37°C . La température moyenne maximale et de 31,15°C et la température moyenne minimale atteindra 16,29°C (Tableau.1).

1.5.2-Précipitation

Les précipitations dans la région d'Ouargla sont rares et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Leurs répartitions sont marquées par une période de sécheresse étalée sur toute l'année.

Les précipitations moyennes annuelles sont de 3,08mm/an., avec un cumul annuel de 36,92 mm : Janvier est le mois le plus pluvieux 7,95 mm, et Juillet est le mois le plus sec 0,35 mm (Tableau.1).

1.5.3- Insolation

La wilaya d'Ouargla est caractérisée par une forte insolation durant la journée où on enregistre une moyenne de 272,37 h/mois. Avec un maximum de 341,44 h au mois d'aout et un minimum de 229,6 h au mois de décembre (Tableau.1).

1.5.4- Vent

Ouargla en générale est caractérisée par des vents fréquents et soufflent durant toute l'année avec des vitesses qui varient d'un mois à un d'autre. La vitesse moyenne est de 8,91 m/s, la direction des vents dominants est de nord, nord- est et sud, sud-est (Tableau.1).

1.5.5-Evaporation

L'évaporation est très importante surtout pendant les mois chauds ou on note un maximum de 447,18 mm au mois de juillet, un minimum de 86,17 mm au mois de décembre (Tableau.1).

1.6 - Caractérisation du climat

Une caractérisation globale du climat peut être réalisée par l'emploi d'indices ou de diagrammes climatiques. Pour caractériser le climat de Ouargla, nous utiliserons les indices de DE MARTONNE (1926) et d'EMBERGER (1954), ainsi que le digramme ombrothermique de Gaussen.

1.6.1 -Indice d'aridité de De Martonne (I_M)

Celui-ci a pour expression :

$$I_{M=P/T+10}$$

P : représente la moyenne annuelle des précipitations, exprimée en mm,

T : la température annuelle moyenne en °C.

Cette formule permet de définir les intervalles climatiques suivants :

- Pour $0 < I_M < 5$: Climats désertiques aréiques.
- Pour $5 < I_M < 20$: Climats très secs à secs.
- Pour $I_M > 30$: Climates humides.

Nous trouvons une valeur de $I_M = 1,2$: cette valeur est très inférieure à 5, elle traduit donc une aridité nettement exprimée.

1.6.2 - Indice pluviothermique d'Emberger

Cet indice est surtout utilisé pour caractériser les climats méditerranéens. Partons du fait que les précipitations sont le moyen le plus simple pour caractériser la sécheresse et que la vie végétale se déroule entre deux pôles thermiques M et m définis ci- après, Emberger a proposé le quotient pluviothermique suivant :

$$Q=200P/M^2-m^2$$

- P: est la moyenne annuelle des précipitations (en mm),
- M: est la moyenne des maxima du mois le plus chaud (en degrés absolus),

- m : représente la moyenne des minima du mois le plus froid (en degrés absolus).

Le diagramme de (SAUVAGE , 1961), qui s'inspire des travaux d'Emberger et qui utilise l'indice Q en ordonnée et la valeur de m en abscisse, permet de classer le climat méditerranéen en plusieurs étages bioclimatiques, allant de l'étage humide à l'étage saharien. Le climat est d'autant plus sec que l'indice Q est petit.

$Q = 3,6$: Ouargla appartient à l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (Fig. 4).

1.6.3- Diagramme Ombrothermique

Selon (BAGNOULS et GAUSSEN, 1953), un mois est considéré biologiquement sec, lorsque le cumul des précipitations(P) exprimé en mm est inférieur ou égal au double de la température (T) exprimée en °C. Elle peut s'exprimer par $P < 2T$ (BAGNOULS et GAUSSEN, 1957). Sur la Figure 2 caractérisant la région d'Ouargla, il est remarqué que la courbe des précipitations est toujours inférieure à celle des températures. Ceci laisse apparaître une période sèche qui s'étale durant toute l'année (figure 2).

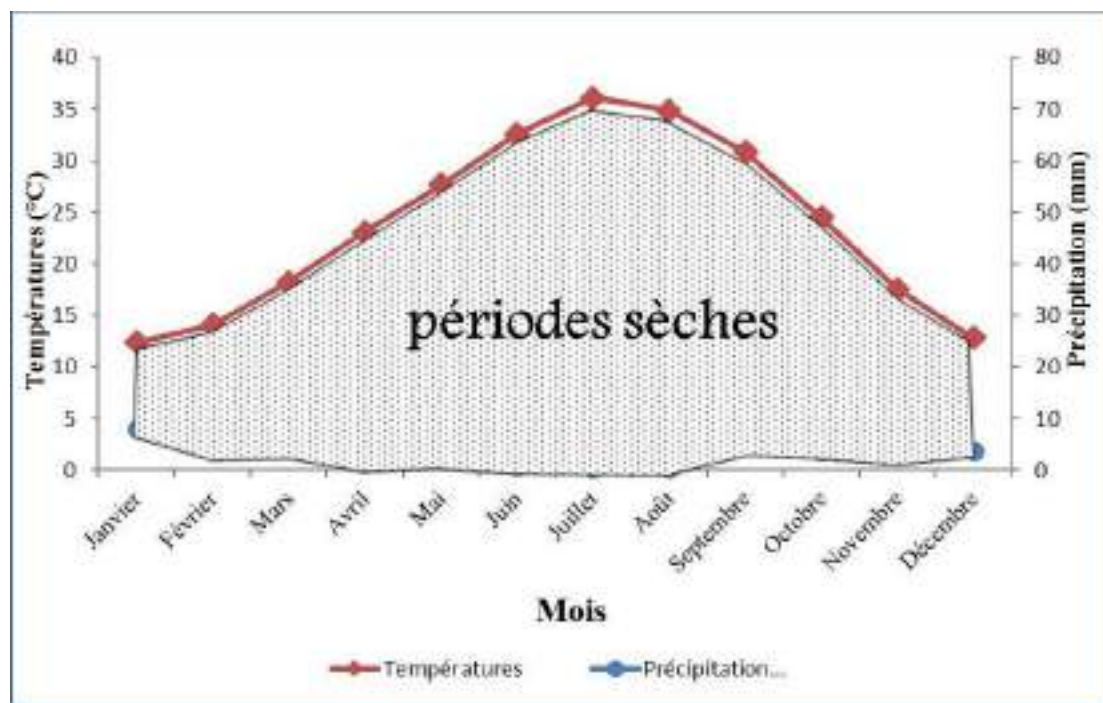


Figure 3. Diagramme Ombrothermique de la région de Ouargla (2009 – 2018)

1.7 - Sols de la cuvette d'Ouargla

Le paysage pédologique de la cuvette de Ouargla est dominé principalement par l'halomorphie. Cela n'est en effet pas surprenant dans la mesure où celui-ci est presque toujours associé, en milieu continental, aux zones endoréiques (FLORET et PONTANIER, 1982) Le second caractère qui prédomine à Ouargla est celui de l'hydromorphie. Notons que ces deux caractères sont souvent très présents dans toutes les oasis du bas sahara. La manifestation saline la plus visible dans la cuvette est celle de la Sebka, mais les sols irrigués de la palmeraie ne sont pas non plus épargnés. Ces sols sont le plus souvent très salés, ou, plutôt, ils le sont devenus à la suite de l'intervention anthropique : l'irrigation se faisait avec une eau relativement minéralisée, seule ressource disponible certes, et qu'elle est associée à un lessivage-drainage déficient.

Dans les zones périphériques de la cuvette, il existe cependant des sols relativement moins salés, appartenant à la classe des sols peu évolués, à apport éolien ou anthropique. Ces sols présentent cependant certains caractères d'halomorphie ou d'hydromorphie, mais à des degrés beaucoup moins importants que ceux de la cuvette. A la lumière de ce bref aperçu sur les principaux types de sols rencontrés à Ouargla, nous pouvons constater que la pédogenèse est principalement influencée par l'action de deux facteurs : le sel et l'eau.

CHAPITRE II
GÉNÉRALITÉS SUR LES
SOLS NUS SALÉS

Chapitre II - Généralités sur les sols nus salés**Introduction**

Le sol, est le milieu structuré de cette transition entre le monde inanimé et le monde vivant. En effet, le sol se fait à partir de la roche, il est le produit de la transformation de cette roche, sous les effets conjugués de l'eau, de l'air, des températures. et de la vie (végétale, animale et humaine micro-organismes) : les sols sont différents selon les roches, les climats, les végétations, les reliefs et les sociétés humaines qui y vivent. En termes plus scientifiques, on dit que le sol est la partie supérieure de la lithosphère transformée par la présence et les actions conjuguées de l'hydrosphère, de l'atmosphère et de la biosphère.(RUELLAN et DOSSO, 1993)

Les sols salés ne sont pas exclus de la description sur citée dans la mesure où ils sont répondus en proportions inquiétantes.

2.1. - Répartition des sols salés

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

2.1.1. - Répartition des sols salés dans le monde

Les sols salés dans le monde occupent environ 24 % des terres agricoles. Leur distribution géographique se superpose presque entièrement à celle des zones arides et semi-arides du globe (DURAND, 1983)

2.1.2. - Répartition des sols salés en Algérie

En Algérie, dans sa globalité, les sols agricoles sont, dans leurs majorités, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958) Ils trouvent aussi une grande extension dans les régions Sahariennes (Biskra, Touggourt, Ouargla et autres). Leur conductivité électrique est supérieure à 7 dS.m^{-1} sur l'ensemble du profil et le pourcentage du sodium échangeable sur la capacité d'échange cationique (C.E.C.) est variable de 5 à 60 % (AUBERT, 1975)

2.1.3. - Caractéristiques des sols sahariens en Algérie

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

2.2. - Source et nature de la salinité du sol

La salinité sera d'abord examinée du point de vue de ses origines : inondations marines, lessivage de formations salifères, eau salée souterraine, influence du vent.

Nous nous intéresserons principalement aux caractéristiques fondamentales des eaux souterraines peu profondes, dont la charge en sels peut être très élevée.

Il est à noter aussi d'après les travaux de SIMONNEAU et AUBERT (1963), qu'annuellement l'alimentation saline éolienne sous l'influence des vents marins est plus importante que celle d'origine lagunaire (39 g/m³ contre 27 g/m³). Comme il est aussi à noter que l'action éolienne peut toutefois se manifester au niveau du sol en agissant sur des horizons superficiels en entraînant des particules renfermant des sels qui peuvent s'accumuler en certains sites privilégiés.

2.4. - Influence des facteurs physiques sur les sols salés

Nous allons examiner les paramètres influant sur les sols salés à travers le climat, le contexte géologique et la nappe phréatique.

2.4.1- Influence du climat sur la nature des sols

Ce sont les facteurs climatiques qui vont entraîner le transfert et le stockage des éléments solubles dans le sol. La distribution des sels en solutions dans le sol résulte d'une part, de l'évaporation qui aura pour effet la concentration et l'accumulation des sels et d'autre part des précipitations qui vont favoriser le phénomène de lessivage (SERVANT, 1975) Pour notre zone d'étude, on constate

que, quel que soit le mois, l'évaporation est nettement supérieure aux précipitations et que la période favorable à la salinisation s'étale en conséquences tout au long de l'année. (Fig. 6)

Ceci est le cas dans toutes les villes du Sahara, où comme l'a indiqué (DUTIL ,1971) « le régime climatique est idéal à l'extériorisation des caractères de salinité des sols ».

2.4.2. - Influence du contexte géologique

La plate forme saharienne, d'une manière générale, et la région de l'Oued Mya en particulier, ont connu à plusieurs reprises la formation d'évaporites, en particulier au Trias mais aussi au Sénonien. Au cours des divers épisodes tectoniques qu'a connu la région, ces formations ont imprégné de sels et de gypse les terrains avec lesquels elles se sont trouvées en contact et ont provoqué une diffusion importante de sels. (GAUCHER et BURDIN, 1974)

Au Plio-quaternaire enfin, les dépressions fermées ont vu s'accumuler des dépôts contenant d'importantes concentrations de sel gemme provenant du lessivage des niveaux salifères plus anciens.

2.4.3 - Influence de la nappe phréatique

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

2.5. - Influence des facteurs chimiques sur les sols salés

Il est généralement admis que lorsqu'un sol contient un taux de sodium échangeable qui dépasse 15 %, ses propriétés physiques s'en trouvent sérieusement affectées. On peut alors assister à une dégradation de la structure, par défloculation des argiles, conduisant à l'imperméabilisation et à l'asphyxie du milieu. Mais le phénomène de dégradation de structure et d'imperméabilisation du sol ne dépend pas

uniquement du taux du sodium échangeable. Il dépend également de la présence plus ou moins importante de sels solubles, de la série neutre, dans le sol.

Les différents travaux effectués sur ce sujet s'accordent à dire que la perméabilité d'un sol a tendance à augmenter dans le même sens que la concentration de la solution qui l'imprègne. (ISRAELSEN et HANSEN, 1965 ; SERVANT, 1975 ; HALITIM, 1978 ; SOLTNER, 1990 ; BOUTEYRE et LOYER , 1992)

En effet, la présence de sels maintient l'argile flocculée en dépit de sa teneur élevée en sodium échangeable et la formation de cristaux de sels facilite la structuration du sol, alors que le lessivage des sels provoque la dispersion de l'argile et donc la dégradation rapide de la structure. (HENIN, 1968) On ne doit pas confondre l'action de la sodicité (présence de sodium échangeable en quantité importante) avec celle de la salinité (présence de sels solubles en quantité importante) car bien que ces deux facteurs soient le plus souvent génétiquement liés, leurs influences pédologiques ne sont pas comparables. (HENIN, 1968)

On appelle sols salins tous ceux qui contiennent assez de sels solubles. On appelle sols alcalins ceux dont la fertilité est amoindrie par une teneur élevée de sodium échangeable. Les propriétés des sols halomorphes apparaissent donc commandées non seulement par l'action spécifique de l'ion sodium mais également par l'action spécifique favorable des solutions salines concentrées qui imprègnent le sol. L'état physique d'un sol halomorphe va donc traduire la résultante de ces deux effets aux caractères opposés.

2.6. - Profil salin général pour sol nu

Il constitue une image globale de la salinité dans la tranchée de sol considéré. Sa lecture renseigne avec précision sur la distribution et sur la concentration des sels dans le profil. Son interprétation est agronomiquement immédiate.

2.6.1. - Inventaire et classement des principales formes de profils salins

Un classement proposé distingue quatre formes principales désignées par les lettres A,B,C et D.(SERVANT,1975)

2.6.1.1. - Profil salin type A

Il est caractérisé par une salinité augmentant de bas en haut, le maximum de salinité se situant dans les 10 ou 20 cm superficiels avec des valeurs très élevées par rapport aux horizons sous-jacents. Ce profil est typique pendant la saison sèche et parfois pendant la plus grande partie de l'année des sols nus ou à faible recouvrement végétal. Cette classe de sol est bien exprimée dans le cas des textures limoneuses ou limono-sableuses avec des efflorescences salines en surface.

2.6.1.2. - Profil salin type B

Le type B est caractérisé par l'existence d'un maximum de salinité bien différencié, apparaissant dans la partie moyenne du profil, ordinairement à moins d'un mètre de profondeur. On peut le rencontrer dans des sols nus (en hiver) où il dérive d'une forme A d'été.

2.6.1.3. - Profil salin type D

Il est caractérisé par une salinité augmentant avec la profondeur et présente un maximum de salinité pas toujours nette, situé ordinairement à plus de un mètre de profondeur.

2.6.1.4. - Profil salin type C

Il constitue une forme intermédiaire entre les types A et D ou B.

2.7. - Influence des accumulations salines dans le sol nu

L'étude des profils salins a mis en évidence deux grands types d'accumulations salines susceptibles de se produire dans les sols salés. Dans un premier cas, il s'agit d'accumulation chlorurée qui se développe essentiellement à la surface du sol, d'autant plus nettement que la nappe est salée, peu profonde et que le sol est nu. Dans un second cas, il s'agit d'accumulation sulfatée et précisément de gypse qui se développe plus profondément dans le profil. La présence d'horizons gypseux dépend de la richesse initiale du milieu en ions sulfatés.

2.7.1. - Horizons d'accumulation des chlorures

C'est le faciès le plus évident de la salinité. Il se manifeste par l'apparition d'efflorescences salines blanches à la surface. Les expériences ont montré que cette forme indique un profil salin de type A avec de très fortes précipitations de gypse à proximité de la surface et que le sel dominant à la surface est le chlorure de sodium.

2.7.2. - Horizons d'accumulation du gypse

Facilement décelable sur le terrain, les horizons d'accumulation du gypse se prêtent remarquablement bien à l'examen micro morphologique, le gypse y apparaissant en effet comme un minéral bien cristallisé, dont l'identification microscopique est aisée. Il se manifeste sous deux formes à savoir une distributions localisée au niveau du vide et une autre générale sur l'échantillon gypse intramatriciel

2.8. - Sol salin sous sol nu de Sansouire ou de tâche salée

Dans ces situations, le profil salin est toujours de type A pendant la période estivale. En l'absence de submersion par des eaux salées, qui pourraient expliquer un maximum superficiel de salinité, la genèse du profil salin de type A implique :

- Un processus de transfert des sels du bas vers le haut depuis la nappe phréatique source de sels solubles, jusqu'à la surface du sol ; c'est la remontée capillaire
- Un processus d'accumulation de sels dans la partie superficielle sous l'influence de l'évaporation des sols nus (SIMONNEAU et AUBERT ,1963)

2.8.1. - Remontée capillaire

La hauteur de la frange capillaire est fonction de la nature des matériaux et les expériences de(MASSOUMI ,1968) ont montré que le processus affectait une tranche de sol plus épaisse dans le cas des limons que dans les cas des sables. Plus la nappe est profonde et plus le débit d'ascension capillaire diminue. Cette variation de la

vitesse de remontée capillaire, en fonction de la distance à la nappe dans différents types de matériaux, est illustrée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2 - Influence de la texture et de la profondeur de la nappe sur la vitesse de la remontée capillaire (D'après MASSOUMI, 1968)

Distance de la nappe (cm)	Argile et argile limoneuse (mm/j)	Limon (mm/j)	Limons sableux (mm/j)	Sables (mm/j)
25	10	Elevée	Très élevée	Très élevée
40	4	10	Très élevée	Très élevée
50	2,5	3	Elevée	Elevée
75	1	1	Elevée	Elevée
100	0,5	-	10	10
150	0,2	-	1 - 4	1 - 4
200	-	-	0,5-1	0,5-1

Ce tableau nous montre que le phénomène présente un maximum de développement dans le cas des sols légers de type limon sableux où la remontée capillaire est encore importante avec une nappe située à 1.5 m de profondeur. La nature de la texture des matériaux apparaît donc très importante dans l'analyse des phénomènes d'ascension capillaire.

Les variations de texture au niveau d'un profil donné vont par conséquent intervenir dans le processus. C'est ainsi que (MASSOUMI ,1968) a établi expérimentalement que, par rapport à un sol uniformément limoneux, la superposition sable sur limon joue un rôle modérateur alors que par rapport à un sol uniformément sableux, la superposition limon sur sable joue un rôle accélérateur. Cet auteur constate que le front d'humidité capillaire ne présente pas la même allure dans le cas des sols hétérogènes que dans celui des sols homogènes.

JABER (1970) a d'autre part montré également par la voie expérimentale que la vitesse de la remontée capillaire est plus grande dans les profils homogènes (limon pur) que dans les profils non homogènes (limon enrichi en matière organique sur limon pur) .Il a montré que le débit de l'eau est plus fort dans un sol tassé que dans un sol agrégé sous-climat évaporant. A sa surface, le système sol nappe est donc

caractérisé par un certain potentiel de succion du sol qui est d'autant plus élevé que le matériau est plus conducteur et la nappe plus proche de la surface.

2.8.2. - Evaporation

Quand elle parvient à la surface, la solution saline imprégnant le sol se concentre par évaporation, ce qui provoque la cristallisation des sels. L'accumulation saline est alors épipédonique et le profil salin est de type A.

(HENIN ,1968) a mis expérimentalement en évidence la formation d'un profil salin de type A au cours de la dessiccation du sol nu. Le point le plus bas où les sels commencent à s'accumuler correspond à la base de la zone d'évaporation. En dessous de cette zone, le transfert d'eau et de sel s'effectue en phase liquide. Au dessus, le transfert d'eau s'effectue sous forme de vapeur. D'autre part, l'évaporation du sol nu peut se décomposer en deux phases :

- Première phase : quand la surface du sol reste humide, l'évaporation est forte
- Deuxième phase : quand la surface du sol s'assèche, il se crée une couche isolante et l'évaporation devient moins importante.

Ceci nous montre que l'évaporation et, par conséquent, l'accumulation saline à la surface du sol sont plus élevées tant que le sol reste humide. En saison sèche, cet état ne demeure que si les pertes par évaporation sont compensées par une ascension capillaire de l'eau salée dans le sol.

2.8.3. - Profil salin sous sol nu à différentes périodes

Dans le cas où le profil salin est resté de type A, la différence entre le profil d'été et les profils d'hiver et de printemps se caractérise par:

- Une diminution de la salinité en surface
- Une augmentation de la salinité dans l'horizon immédiatement sous-jacent

Une diminution de la salinité dans la partie profonde du profil

CHAPITRE III

MATÉRIELS ET

MÉTHODOLOGIE DE

TRAVAIL

Chapitre III - Matériels et méthodologie de travail

Pour les raisons sanitaires que traverse le pays nous avons utilisés les données de Monsieur Idder abdelak à sa demande et à le demande de Monsieur Bellaroussi.les donnés concernent le bilan ionique de trois profils creusés en 2012 dans le secteur E de l'exploitation de SNV.

Les analyses chimiques physico-chimiques et biologiques ont été effectuées précédemment voir 2012.

Nous nous sommes contentées de manipuler les résultats obtenus pour former les bilans ioniques et la formation des sels.

3.1. - Choix du site expérimental

Nos travaux ont été menés sur un demi secteur de l'exploitation de faculté SNV , soumis uniquement à l'influence des facteurs climatiques et à la remonté de la nappe phréatique. L'objectif visé est de :

- Suivre la dynamique des sels dans le sol et dans la nappe,

3.2. - Caractéristique du site expérimental

Le sol est nu, il présente des boursouflures à la surface, caractéristiques des sols halomorphes.

Les dites fosses, ou profils, sont creusées en diagonale (méthode d'échantillonnage). Les dimensions des profils sont de 1 mètre de côté, et atteignent en profondeur la nappe phréatique. Le matériau sol, extrait du profil est déposé en aval pour la reconnaissance rapide des principales variations photo2 (morphologiques et structurales). Nous rappelons que notre sol, de mémoire d'hommes, n'a jamais été cultivé, donc jamais irrigué et ne possède aucune possibilité de drainage.

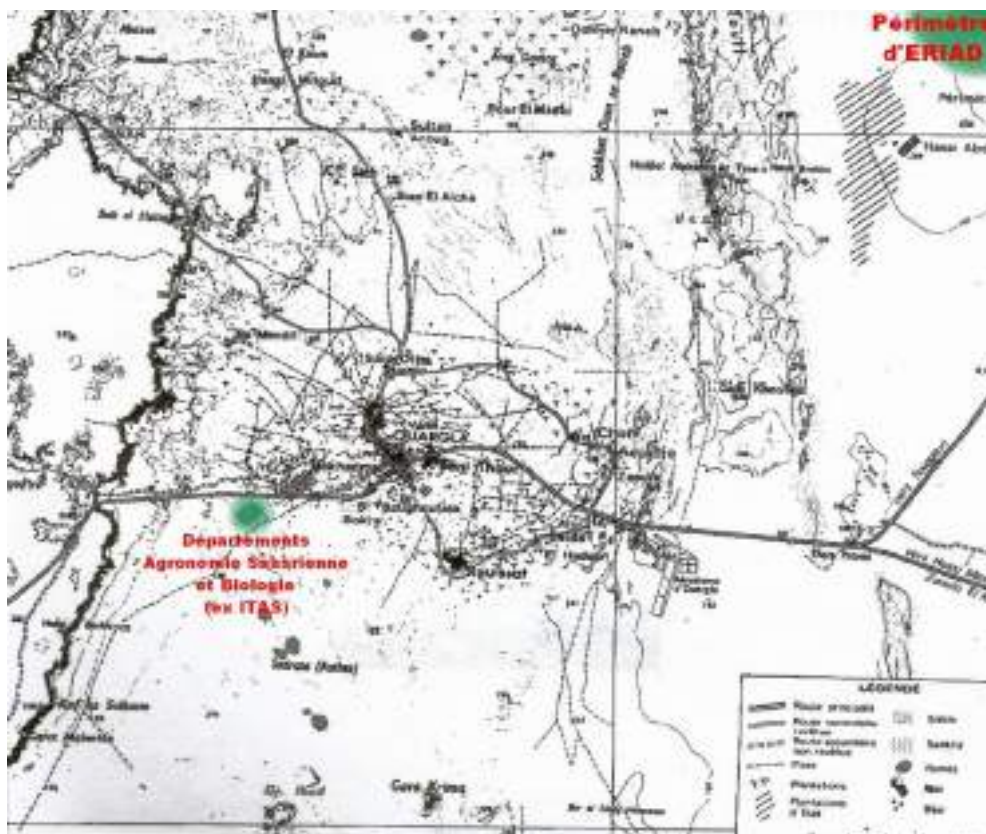


Figure 4 - Situation géographique du site expérimental.

(HAMDI-AÏSSA, 2001, Modifié)

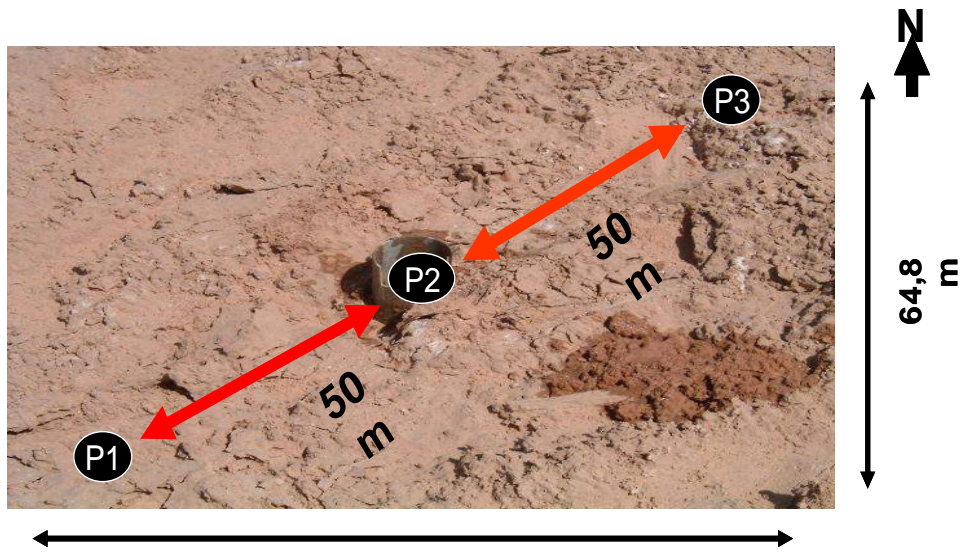
3.3. - Méthodologie

La méthodologie que nous avons adoptée passe par une caractérisation du sol nu et l'étude de la nappe phréatique à travers la détermination de la qualité chimique de ses eaux. Ensuite nous aurons à présenter une étude sur l'évolution de la salinité du sol sur le site expérimental en suivant :

- L'évolution des paramètres de la salinité dans le sol nu non cultivé comme le pH, la conductivité électrique et le SAR et d'autres paramètres.

3.3.1. - Echantillonnage

Sur le terrain non cultivé, trois profils sont creusés suivant la même diagonale et aussi suivant la plus grande pente et nous avons réalisé dans ces derniers une étude morphologique et analytique photo 1.



100 m
Photo 1: Le site d'expérimentation

3.3.2. - Caractérisation des eaux de la nappe

Les eaux de la nappe phréatique ont été caractérisées dans le soucis de connaître leurs compositions chimiques et leurs influences sur la dynamique de la salinisation des sols. L'étude de la qualité a porté surtout sur le suivi de quelques paramètres de salinité et ainsi du bilan des cations et des anions.



Photo 2-Etendue nue

Sol nu, soumis à deux facteurs : le climat fortement évaporant et l'eau de la nappe phréatique mais aussi un certain nombre de facteurs dégradants tels que:

- Absence de végétation.

- Des efflorescences blanches bien visibles qui peuvent correspondre probablement Au Na_2SO_4 ou NaCl et les efflorescences noires typiques du salant noir et correspondant à la présence des bicarbonates.

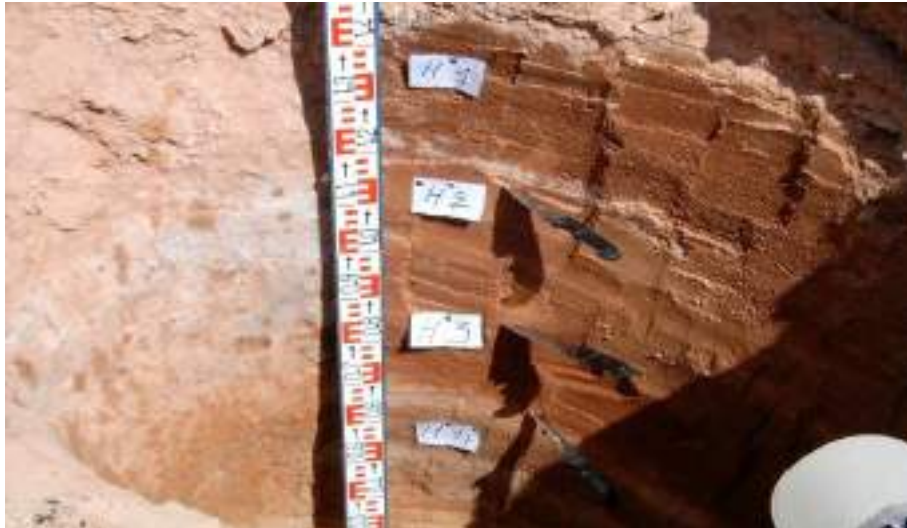


Photo 3 - Mise en évidence des horizons

Profil vertical du sol avec les horizons rajeunis, délimités, malgré les interpénétrations de couleur



Photo 4 - Zone d'accumulation de sels

Accumulation visible des sels au niveau de l'horizon médian.

3.3.3. - Etude de la fluctuation de la nappe phréatique

Pour chaque piézomètre, nous avons pris directement des les échantillons d'eau avec un récipient propre du fond du profil pour ensuite effectuer les analyses chimiques nécessaires. (Idder 2006)

3.3.4. - Etude de l'évolution de la salinité dans le terrain nu

A ce niveau les mesures du pH et de la conductivité électrique ont été effectuées à travers les différents horizons de ce terrain. De même on détermine l'humidité au champ qui permettra d'expliquer cette dynamique.

3.3.5. - Méthodes d'analyses

Le bilan ionique ainsi que la granulométrie ont été effectués à l'A.N.R.H. de Ouargla ; tandis que la mesure du gypse, du calcaire total et les autres analyses ont été effectués au niveau de la faculté SNV.

3.3.5.1. - Analyses physiques

3.3.5.1.1. - Humidité

L'humidité au champ a été mesurée au moment des prélèvements en saison estivale.

3.3.5.1.2. - Densité apparente

Méthode de cylindre : l'échantillon est prélevé à l'aide d'un cylindre. Il s'agit d'enfoncer verticalement le cylindre dans le sol. Le prélèvement doit être fait avec précaution pour que le volume soit exact, sans qu'il y est de rajouts ni de tassements. Une fois l'échantillon prélevé, on le fait passer à l'étuve à une température inférieure à 105 °C pendant 24 heures.

3.3.5.1.3. - Granulométrie

Application de la méthode internationale par l'utilisation de la méthode Grain-Test logiciel granulométrique.

3.3.5.1.4. – Microscopie

Microscope métallographique

Agrandissement x10

Marque : euromex

Objectif : prise de la surface des matériaux

3.3.5.2. - Analyses chimiques

3.3.5.2.1. - pH

La mesure a été effectuée par potentiomètre

Appareil : pH-mètre type 632 Swiss made (METLOOHM)

Réactifs: Solution tampons; pH = 4, pH = 9

3.3.5.2.2. - Conductivité Electrique (CE)

La mesure a été effectuée par un conductimètre

Appareil: Conductimètre type CO150 (HACH).

Réactifs: Solution de KCl à 0,02 N

H₂SO₄ à 0,02 N

3.3.5.2.3. - Bicarbonates (HCO₃⁻)

Les dosages ont été effectués par potentiomètre.

Appareil : pH-mètre type 632 Swiss made (METLOOHM)

Appareil de titrage automatique

Réactifs: H₂SO₄ à 0,02 N

3.3.5.2.4. - Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates ont été déterminés par spectrométrie

Appareil: Un spectrophotomètre type DR2000 (HACH)

Longueur d'onde de 450nm pour les sulfates

Réactifs: En gélules: pour les sulfates: Sulfaver 4

3.3.5.2.5. - Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures ont été déterminés par colorimétrie

Appareil: Colorimètre type DR2000 (HACH) de longueur d'onde 455 nm

Réactifs: Solutions étalons

3.3.5.2.6. - Dureté totale TH ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$)

La mesure a été effectuée par complexométrie, et par conséquent : $\text{Mg}^{2+} = \text{TH} - \text{Ca}^{2+}$

Réactifs: Sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (EDTA)

Noir d'iriochrome T (indicateur coloré)

Solution tampon pH = 10

3.3.5.2.7. - Calcium (Ca^{2+}), Sodium (Na^+) et le Potassium (K^+)

Les trois cations ont été déterminés par spectrophotométrie de flamme.

Appareil: Un spectrophotomètre à flamme type 410 CORNING (à une longueur d'onde de 422,50 nm pour le Na, de 585,00 nm pour le Ca et de 766,50 nm pour le K

Réactifs: Solutions étalent de chaque élément

3.3.5.2.8. - Matière organique

Elle a été déterminée par dosage du carbone organique (Méthode de Anne).

Le carbone est oxydé par du bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sels de MOHR, en présence de diphenylamine dont la couleur passe du bleu foncé au vert.

3.3.5.2.9. - Gypse

Méthode gravimétrique, précipitation des ions du sulfates par le chlorure de barium après l'attaque de la prise d'essai par HCl a chaud sous forme du sulfate de barium.

3.3.5.2.10. - Calcaire total

Utilisation de la méthode gazéométrique par le calcimètre de Bernard.

3.3.5.2.11. - Azote total

Azote total : Dosé par la méthode de KJELDHAL. L'azote des composés organiques est transformé en azote ammoniacal sous l'action sulfurique concentrée qui, porté à ébullition, se comporte comme oxydant. Ce dernier est fixé par l'acide sulfurique sous forme de sulfate d'ammonium qui est dosé par distillation, après l'avoir déplacée de sa combinaison par une solution de soude en excès.

3.3.5.2.12. - C.E.C. et Na⁺ échangeable

La C.E.C. et Na⁺ échangeable ont été dosé par la méthode de Bow-Toujan avec plusieurs lavages à l'alcool

- Na⁺ échangeable : déplacement à l'acétate d'ammonium et dosage par spectrophotomètre à flamme.
- Capacité d'échange cationique (C.E.C.) : déplacement du sodium par l'acétate d'ammonium après avoir saturé le complexe adsorbant avec l'acétate de sodium. Le dosage se fait par spectrophotomètre à flamme.

3.3.6. - Méthodologie d'obtention des sels

3.3.6.1. - Hypothèse de la formation des sels

La constitution des sels s'obtient, par la combinaison des cations et des anions, lesquels supposent la connaissance de leurs teneurs dans l'extrait de sol.

Nous avons choisi la méthode de (BAZILEVICH et PANKOVA ,1968 *in* DROUBI 1976) pour la formation de ces sels.

3.3.6.1.1. - Bicarbonates (HCO_3^-)

Les ions HCO_3^- peuvent provenir de NaHCO_3 , de $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, et de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dans la solution du sol. Au départ, on combine les ions HCO_3^- avec les ions Ca^{2+} , ensuite les ions HCO_3^- avec les ions Mg^{2+} , puis avec les ions Na^+ s'il reste des ions HCO_3^- en excès.

3.3.6.1.2. - Sulfates (SO_4^{2-})

Comme les ions HCO_3^- , les sulfates (SO_4^{2-}) peuvent être reliés avec les sels Na_2SO_4 , MgSO_4 et CaSO_4 . On commence à former le sel de sulfate de calcium (CaSO_4) en premier lieu en combinant les ions SO_4^{2-} avec l'ion Ca^{2+} (l'excès de Ca^{2+} restant de la combinaison $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, ensuite on passe à la constitution de Na_2SO_4 et de MgSO_4 si des ions SO_4^{2-} restent en excès.

3.3.6.1.3. - Chlorures (Cl)

Pour reconstituer les sels de chlorures, on commence par la formation de NaCl en combinant les ions Cl^- et Na^+ (éventuellement ceux qui sont en excès par rapport à (Na_2CO_3)). Ensuite on procède à la formation de (MgCl_2) puis de (CaCl_2) s'il reste des ions chlorures en excès et surtout des ions Mg et Ca non combinés aux carbonates et aux sulfates.

Remarque: Tous les résultats proviennent Mr. IDDER. Abdelhak 2006 à l'exception du bilan ionique et la formation des sels.

CHAPITRE IV

RÉSULTANTS ET

DISCUSSIONS

Chapitre IV - Résultats et discussions**4.1. - Caractérisation morphologique et analytique du sol**

Pour la caractérisation morphologique et analytique du sol objet de notre expérimentation, nous avons creusé trois profils. Nous présentons dans ce qui suit les principaux résultats obtenus.

4.1.1. - Caractérisation morphologique et analytique du profil 1

- Date de prélèvement et de description: 08/07/ 2012
- Topographie : Forme plane avec une pente faible (< 1 %)
- Situation : Secteur E1 de l'exploitation de SNV.
- Temps : Ensoleillé
- Végétation : inexistante
- Aspect de la surface : Encroûtement salin (boursouflures)
- Occupation du sol : sol nu sur 100 % de sa superficie.

Horizon H1 (5 – 20 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 6/6 (orange), taches peu abondantes et multiformes, marron foncé ; très salé ; pas d'éléments grossiers ; texture sableuse ; friable ; pores nombreux ; sans cavité ; cimentation faible ; non compact ; pas de racines ; activité biologique non décelable et une transition nette.

Horizon H2 (20 – 45 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 5/6 (bright brown) ; tâches abondantes, multiformes ; matière organique non décelable ; très salé avec présence de cristaux de sels ; pas d'éléments grossiers ; texture sableuse ; friable ; porosité très abondante ; sans fentes ; faible cimentation ; non compact ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; transition diffuse.

Horizon H3 (45 – 75 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 6/6 (orange) ; tâches peu abondantes de couleur blanchâtre et de forme arrondie; matière organique non décelable ; très salé; éléments grossiers inexistants ; texture sableuse et pores peu abondants ; sans fentes ni cavités ; peu compact ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; transition diffuse.(munsell Soil Color Charts) les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 5 qui suit :

Tableau 3 - Caractérisation du terrain nu (profil 1)

Caractérisation		Horizons		
		H1	H2	H3
Profondeur (cm)		5 - 20	20 - 45	45 - 75
Densité apparente (g/cm ³)		1,15	1,02	1,26
Calcaire total (%)		1,00	0,41	0,17
Gypse (%)		26,33	48,57	68,15
pH eau		7,5	8,2	7,9
pH KCl		7,48	8,2	7,89
C.E.(ds/ m) à 25 °C.		5,92	21,74	4,52
Caractéristiques biochimiques	C.O. (%)	0,23	0,17	0,19
	M.O. (%)	0,40	0,30	0,33
	N (%)	0,04	0,03	0,03
	C/N	5,75	5,67	6,33
Granulométrie	A (%)	3,28	1,74	4,14
	L.f. (%)	2,46	12	7,35
	L.g. (%)	8,58	27,34	27,81
	S.f. (%)	44,73	24	24,16
	S.g. (%)	40,95	34,92	36,54
Classe texturale JAMAGNE, 1967		Sableuse	Sableuse	Sableuse
Classe de sol (FAO 1998)		Solanchak gypsique		
Bilan ionique de l'extrait aqueux 1/5 (mé/l)	Na ⁺	30,60	326,73	7,65
	Ca ⁺⁺	17	73	12,5
	Mg ⁺⁺	20,91	41,25	34,41
	K ⁺	2,30	21,53	0,71
	Cl ⁻	30,73	174,64	21,69
	SO ₄ ⁻	33,81	154,45	26,64
	HCO ₃ ⁻	2	8,01	2
	CO ₃ ⁻	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	-	-	
Faciès chimique global		Sulfaté sodique.	Chloruré sodique	Sulfaté magnésien
S.A.R.		7,03	43,27	0,85
Na échangeable (mé/100g du sol)		0,39	0,39	0,35
CEC (mé/100g du sol)		5,12	3,51	5,38
ESP (%)		7,61	11,11	6,5
Humidité du champs (Hc en %)		29,06	28,04	35,62

4.1.2. - Caractérisation morphologique et analytique du profil 2

- Date de prélèvement et de description : 08 / 07 / 2012
- Topographie : Forme plane avec une pente faible (< 1%)

- Situation : Secteur E1 de l'exploitation de SNV.
- Temps : Ensoleillé
- Végétation : inexistante
- Aspect de la surface : Encroûtement salin (boursouflures)
- Occupation du sol : sol nu sur 100 % de sa superficie

Horizon H1 (5 - 15 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 6/6 (orange) ; tâches peu abondantes de forme arrondies ; matière organique très peu décelable ; très salé ; inexistence d'éléments grossiers ; texture sableuse ; friable ; porosité moyenne ; pas de cavités ; faible cimentation ; non compact ; absence de racines ; activité biologique non décelable ; transition nette.

Horizon H2 (15 – 35 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 5/6 (bright brown) ; tâches peu abondantes ; matière organique non décelable ; très salé avec présence de cristaux de sel ; inexistence d'éléments grossiers ; texture sableuse ; friable ; très poreux ; pas de cavité ; non compact ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; transition très nette.

Horizon H3 (35 – 45 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 6/6 (orange) ; tâches peu abondantes ; matière organique non décelable ; très salé avec présence de quelques cristaux de sel ; pas d'éléments grossiers ; texture sableuse ; porosité moyenne ; pas de cavités ni de fentes ; faible cimentation ; peu compact ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; transition nette.

Horizon H4 (45 - 75 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 6/6 (orange). Cet horizon est subdivisé en deux sous- couches:

- Sous-couche n°1 (45 – 55 cm) : tâches inexistantes ; matière organique non décelable ; salé ; éléments grossiers inexistants ; texture sableuse, porosité peu abondante ; pas de cavité ni de fonte ; faible cimentation ; compact ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; transition nette.
- Sous-couche n°2 (55 - 75 cm) : tâches inexistantes ; matière organique non décelable ; salé ; éléments grossiers inexistants ; texture sableuse, porosité peu abondante ; pas de cavités ni de fontes ; cimenté ; très ferme ; pas de racine ; activité biologique non décelable ; transition nette. (munsell Soil Color Charts)

Cet horizon a été subdivisé en deux sous horizons, pour des raisons morphologiques. Ultérieurement, il sera considéré comme unique.

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 6 qui suit

Tableau 4 - Caractérisation du terrain nu (profil 2)

Caractérisation		Horizons			
		H1	H2	H3	H4
Profondeur (cm)		5 - 15	15 - 35	35 - 45	45 - 75
Densité apparente (g / cm ³)		1,25	1,41	0,68	1,31
Calcaire total (%)		0,17	0,11	0,05	0,11
Gypse (%)		23,36	60,81	23,89	55,59
pH eau		8	7,95	7,95	7,2
pH KCl		7,95	7,9	7,94	7,1
C.E. (dS/ m) à 25°C.		5,07	13,26	5,2	3,58
Caractéristiques biochimiques	C.O. (%)	0,58	0,54	0,33	0,18
	M.O. (%)	1,00	0,93	0,57	0,31
	N (%)	0,10	0,09	0,06	0,03
	C/N	5,80	6,00	5,50	6,00
Granulométrie	A (%)	1,05	0,34	5,51	1,23
	L.f. (%)	5,63	11,93	21,40	8,33
	L.g. (%)	16,36	22,09	22,9	32,06
	S.f. (%)	45,42	9,6	32,57	21,81
	S.g. (%)	31,62	56,04	17,62	36,57
Classe texturale JAMAGNE, 1967		Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
Classe de sol (FAO 1998)		Solanchak gypsique			
Bilan ionique de l'extrait aqueux 1/5 (mél)	Na ⁺	18,39	76,76	20,39	10,82
	Ca ⁺⁺	15,50	34,5	15,50	12,00
	Mg ⁺⁺	24,83	39,5	24,66	17,25
	K ⁺	1,89	2,94	2,30	0,97
	Cl ⁻	25,12	72,44	24,88	16,47
	SO ₄ ⁻⁻	29,14	68,66	30,00	20,47
	HCO ₃ ⁻	2,19	6,5	2,85	1,59
	CO ₃ ⁻⁻	-	-	-	-
NO ₃ ⁻⁻	-	-	-	-	
Faciès chimique globale		Sulfaté magnésien	Chloruré sodique	Sulfaté magnésien	Sulfaté magnésien
S.A.R.		4,09	13,32	4,55	2,83
Na échangeable (mè/100g du sol)		0,08	0,09	0,1	0,09
C.E.C. (mè/100g du sol)		5,34	2,98	8,28	2,38
ESP (%)		1,5	3,02	1,20	3,78
Humidité du champs Hc (%)		12,96	27,82	39,11	35,16

4.1.3. - Caractérisation morphologique et analytique du profil 3

- Date de prélèvement et de description : 08 / 07 / 2012
- Topographie : Forme plane avec une pente faible (< 1%)
- Situation : Secteur E1 de l'exploitation de SNV.
- Temps : Ensoleillé
- Végétation : inexistante
- Aspect de la surface : Encroûtement salin (boursouflures)
- Occupation du sol : sol nu sur 100 % de sa superficie

Horizon H1 (05 - 10 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 6/6 (orange), peu de tâches, matière organique non décelable ; salé ; éléments grossiers inexistants ; texture sableuse ; friable ; peu de pores ; pas de cavités ni de fentes ; non compact ; pas de racines ; activité biologique non décelable ; transition nette.

Horizon H2 (10 - 60 cm) : Couleur à l'état humide 7,5 YR 5/6 (bright brown). Cet horizon est subdivisé en deux sous-couches :

- Sous-couche n°1 (10 - 20 cm) : tâches peu abondantes ; matière organique non décelable ; très salé avec présence abondante de cristaux de sels ; éléments grossiers inexistants ; texture sablo-limoneuse ; friable ; porosité importante ; peu de cavités ; pas de racines ; mauvaise activité biologique ; transition nette.
- Sous-couche n°2 (20-60 cm) : tâches peu abondantes ; matière organique non décelable ; salée avec présence de cristaux de sels ; éléments grossiers inexistants ; texture sablo-limoneuse ; ferme ; peu de pores ; peu de cavités ; compacte ; pas de racines ; activité biologique inexistante ; transition diffuse.

Cet horizon a été éclaté en deux sous horizons pour des raisons morphologiques, ultérieurement il sera considéré comme unique.

Horizon H3 (60 -75 cm) : Couleur a l'état humide 7,5 YR 5/6 (bright brown), friable, non compacte, pas d'effervescence à l'HCl, cristaux de gypse, transition nette et régulière. (munsell Soil Color Charts)

Les résultats des analyses sont présentés dans le tableau 7 qui suit :

Tableau 5 - Caractérisation du terrain nu (profil 3)

Caractérisation		Horizons		
		H1	H2	H3
Profondeur (cm)		5 -10	10 – 60	> 60
Densité apparente (g / cm ³)		1,28	1,47	1,33
Calcaire total (%)		2,30	0,05	0,11
Gypse (%)		19,49	21,23	59,02
pH eau		7,9	8	7,65
pH KCl		7,9	8	7,6
C.E. (dS/ m) à 25°C.		6,31	62,51	7,20
Caractéristiques biochimiques	C.O. (%)	0,17	0,25	0,16
	M.O. (%)	0,30	0,43	0,27
	N (%)	0,03	0,04	0,03
	C/N	5,67	6,25	5,33
Granulométrie	A (%)	4	6,01	6,43
	L.f. (%)	2,12	13,57	21,33
	L.g. (%)	5,25	21,84	15,5
	S.f. (%)	46,33	46,41	21,65
	S.g. (%)	42,30	12,17	35,11
Classe texturale JAMAGNE, 1967		Sableuse	Sableuse	Sableuse
Classe de sol (FAO 1998)		Solanchak gypsique		
Bilan ionique de l'extrait aqueux 1/5 (mél)	Na ⁺	33,04	660,51	34,78
	Ca ⁺⁺	16,50	150	16,40
	Mg ⁺⁺	22,83	82,32	32,50
	K ⁺	3,47	33,48	2,33
	Cl ⁻	37,78	503,99	40,64
	SO ₄ ⁻	29,89	415,34	35,05
	HCO ₃ ⁻	2,49	23,17	4,50
Faciès chimique globale		Chloruré sodique	Chloruré sodique	Chloruré sodique
S.A.R.		7,45	6,73	7,04
Na échangeable (mè/100g du sol)		0,15	0,26	0,20
C.E.C. (mè/100g du sol)		4,95	8,67	8,79
ESP (%)		3,03	3	2,28
Humidité du champs (Hc en %)		12,30	22,84	34,20

A partir des caractérisations morphologiques et analytiques des trois profils, le sol en question présente majoritairement une texture sableuse sur tout le profil, une absence d'indicateurs d'activité biologique ; il se compose généralement de trois horizons dont le médian est le lieu de stockage des sels.

Lors de cette description morphologique et analytique de ce sol, nous n'avons pas considéré les premiers centimètres en conformité avec ce qui se fait en général ; cet horizon de surface sur les cinq premiers centimètres a fait l'objet d'une analyse à part du fait de sa particularité qui sera ultérieurement discutée. Ces horizons sont notés P₁H₀ pour le premier profil, P₂H₀ pour le deuxième profil et P₃H₀ pour le troisième profil.

Les résultats obtenus sur le double plan morphologique et analytique du sol en question constituent des éléments majeurs pour la compréhension des parcours ioniques. Il en résultera des conclusions sur la typologie des sels et leur distribution dans les horizons.

4.2- Parcours ioniques

L'examen des trois niveaux à savoir la nappe (source et origine des sels), l'horizon intermédiaire (porteur des plus grandes concentrations en ions négatifs et positifs) et l'horizon de surface (par sa particularité) ; nous donnent des indications précieuses sur le parcours des cations et anions le long du profil.

Le suivi de chaque élément dans le profil montre une similitude de la trajectoire des différents ions, soit les sulfates, les chlorures, les bicarbonates ainsi que les cations mais à des concentrations différentes selon le profil. Cette uniformité majoritaire de la distribution des ions dans le profil se trouve influencée certainement par la conductivité électrique

Il est à souligner que les plus fortes concentrations se massent dans les pseudo-horizons (H₀) et les horizons médians du profil ; à l'opposé, les faibles concentrations sont du domaine des horizons sous jacent H₀ et medium. La particularité du profil 2 qui a enregistré des concentrations relativement faibles par rapport aux deux autres s'explique par le fait que la valeur de la conductivité électrique de ce profil est plus importante dans l'eau qu'en surface.

Il est indispensable de remarquer que le taux de Mg⁺⁺ est plus au moins élevé dans les profils étudiés, cela traduit une grande toxicité du site d'étude (DAOUD et

HALITIM,1994) considèrent que les ions Mg^{++} sont plus toxiques que les ions Na^+ pour une même concentration ce qui caractérise les milieux salins.

Nous remarquons d'autre part que le taux de calcium est excessivement élevé, surtout pour le profil 3. Cette élévation est logiquement explicable dans la mesure où une vaste bibliographie mentionne l'existence de l'ion calcium dans les profondeurs du profil pour former, avec l'anion SO_4^{--} , le gypse. Quant aux valeurs de la matière organique, de l'azote, du calcaire total et de l'argile elles sont remarquablement insignifiantes (Tableaux 3, 4 et 5)

Les bicarbonates montrent une tendance vers le significatif avec le pH à cause de l'accumulation des sels par remontée capillaire et évaporation. Notons ainsi la teneur élevée en bicarbonates d'où les pH supérieurs à 8.

4.3 - Niveaux d'accumulations

L'examen des trois niveaux (la nappe, l'horizon intermédiaire et les horizons de surface), nous donnera des indications précieuses sur le parcours des cations et des anions le long du profil (Tableau 6)

Tableau 6 - Niveaux d'accumulations

	Ca^{2+} mè/l	Mg^{2+} mè/l	Na^+ mè/l	K^+ mè/l	Cl^- mè/l	SO_4^{2-} mè/l	HCO_3^- mè/l	CE (dS/m)
P₁ H₀	76	44,75	893,45	17,30	469,09	427,12	27,45	59,60
P₁ H₂	73	41,25	326,73	21,53	174,64	154,45	8,01	21,74
P_{Z1}	19,2	15,91	78,17	2,56	76,32	66,78	3,18	14,84
P₂ H₀	64,50	36,08	574,46	20,25	283,52	324,43	11,21	39,9
P₂ H₂	34,50	39,5	76,76	2,94	72,44	68,66	6,5	13,26
P_{Z2}	50	34,66	156,73	7,25	122,81	107,52	4,01	24,18
P₃ H₀	75	30,33	872,60	17,66	381,07	350,77	25,14	48,83
P₃ H₂	150	82,32	660,51	33,48	503,99	415,3	23,17	62,51
P_{Z3}	54	35,66	17,9	4,87	125,09	113,12	7,13	25,31

4.3.1. - Profil 1

A travers ce profil, nous constatons nettement le mouvement ascendant des cations et anions à partir de la nappe pour se concentrer préférentiellement au niveau de l'horizon médian et plus particulièrement sur le pseudo-horizon, celui de surface. L'ordre de dominance est comme suit :

- Parmi les cations $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$
- Parmi les anions $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$

Le bilan chiffré peut illustrer davantage ces dépôts en surface puisque la proportion de sodium par rapport au total des éléments dosés est de 48.73 % concernant le P1H0 . En outre le sodium parmi les cations il affiche un pourcentage de 86.6% .Ce taux élevé de sodium note bien la dangerosité et la dégradation de sol (Fig. 6) .

Il va sans dire que les valeurs de la conductivité électrique reflèteront les concentrations ; du pseudo-horizon jusqu'à l'horizon profond, la C.E est respectivement de 59,60 dS/m, 5,92, 21,74 et 4,52 (Fig.5).

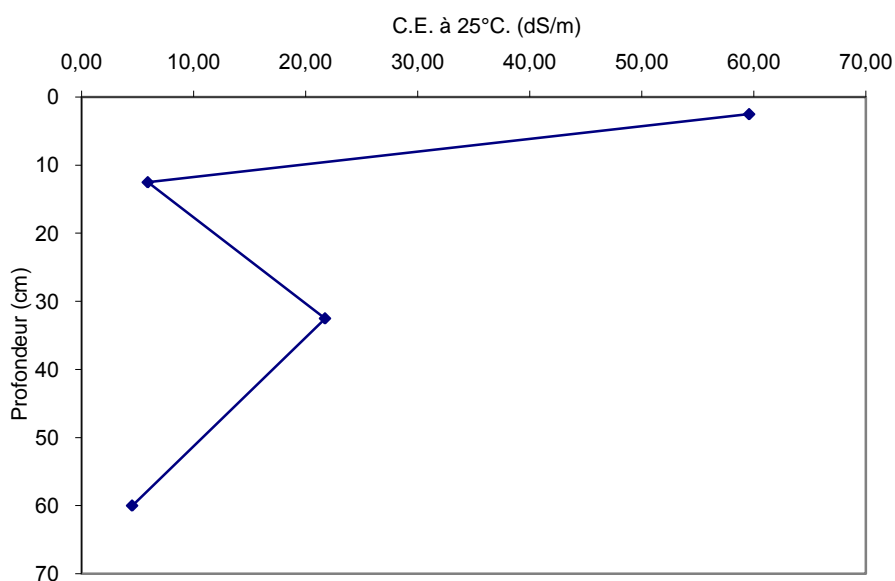


Figure 5 - Profil

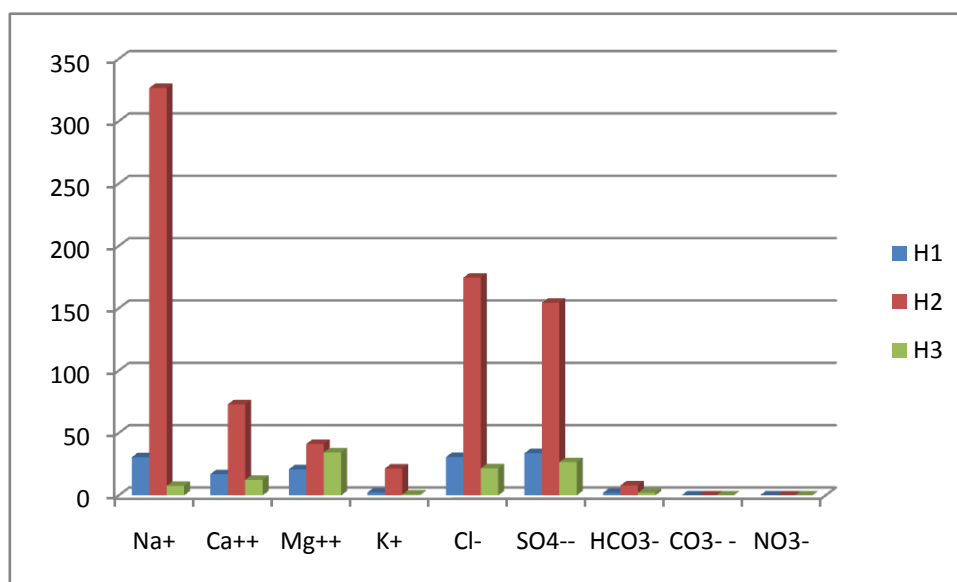


Figure 6 - Répartition des ions dans le profil 1

Il est aussi important de noter que les plus grandes valeurs du SAR, ESP et Na échangeable sont enregistrées au niveau de l'horizon intermédiaire à défaut de valeurs attribuées à l'horizon de surface.

4.3.2. - Profil 2

L'ascendance des ions est respectée uniquement entre l'eau de la nappe et la surface du sol correspondant au pseudo-horizon. Quant aux valeurs des concentrations de l'horizon intermédiaire, elles sont anormalement inférieures aux concentrations de

l'eau. Cela concerne tous les éléments et entre autres le calcium, le sodium, le potassium, le chlore et le sulfate ; le calcium aurait précipité après avoir formé une liaison avec le sulfate par exemple pour donner le sulfate de calcium CaSO_4 , ou avec le bicarbonate pour donner l'hydro-géno-carbonate de calcium $\text{Ca}(\text{HCO}_3^-)_2$. Il serait de même pour le sodium qui dans sa combinaison avec le chlore aurait engendré le chlorure de sodium (NaCl) ou avec les sulfates pour former le sulfate de sodium Na_2SO_4 . Sinon, comment expliquer le déficit en chlore et en sulfate ?

En matière de concentration des ions dans ce profil, nous notons une reconduction, quoique plus atténuée essentiellement pour l'horizon intermédiaire, de même ordre que le précédent profil

Pour le Na affiche un pourcentage de 42.39% parmi tous les ions dosés .par contre il affiche un poucentage de 82.6% parmi les cations% (Fig8).

Pour la conductivité électrique, l'horizon de surface affiche 39,90 dS/m contre 5, 07 pour l'horizon1, 13,26 pour l'horizon 2, 5,20 pour l'horizon 3 et 3,58 pour l'horizon 4 (Fig 7)

Il est aussi important de noter que les plus grandes valeurs du SAR, ESP et Na échangeable sont enregistrées au niveau de l'horizon intermédiaire à défaut de valeurs attribuées à l'horizon de surface.

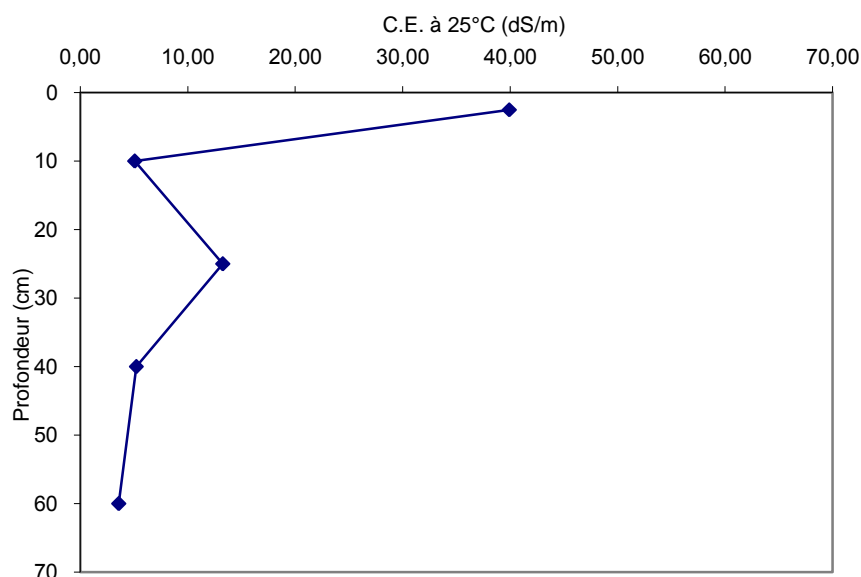


Figure 7 - Profil salin 2

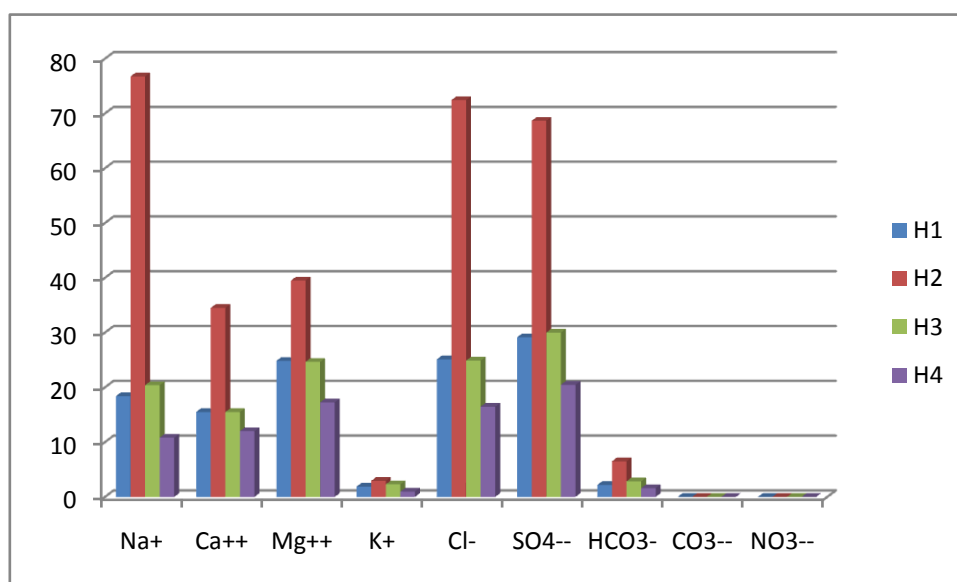


Figure 8 - Répartition des ions dans le profil 2

4.3.3 - Profil 3

Comme les deux autres profils, les concentrations des ions sont plus importantes dans le pseudo-horizon et l'horizon intermédiaire. Néanmoins et contrairement à ce qui a été observé précédemment, ces concentrations sont légèrement supérieures dans l'horizon intermédiaire ; les valeurs de la C.E en témoignent. (KRUPKIN ,1963), (MASSOUMI ,1968), (JABER ,1970) et (SERVANT ,1975) expliquent la colonisation et la localisation des ions dans les horizons par le phénomène de saisons. Les valeurs d'été ne permettent pas de conclure à une dynamique préférentielle des

ions au cours du processus de salinisation par ascension. Ce cas particulier serait le résultat non pas de la présence du gypse mais plutôt de sa configuration.

Pour le Na il affiche un pourcentage de 48.73% parmi tous les ions dosés .par contre il affiche un pourcentage de 87.6% parmi les cations% (Fig 10). Cette répartition est confirmée par les valeurs de la conductivité électrique qui indique 62,51 dS/m pour l’horizon intermédiaire contre 48,83 pour le pseudo-horizon (Fig.09)

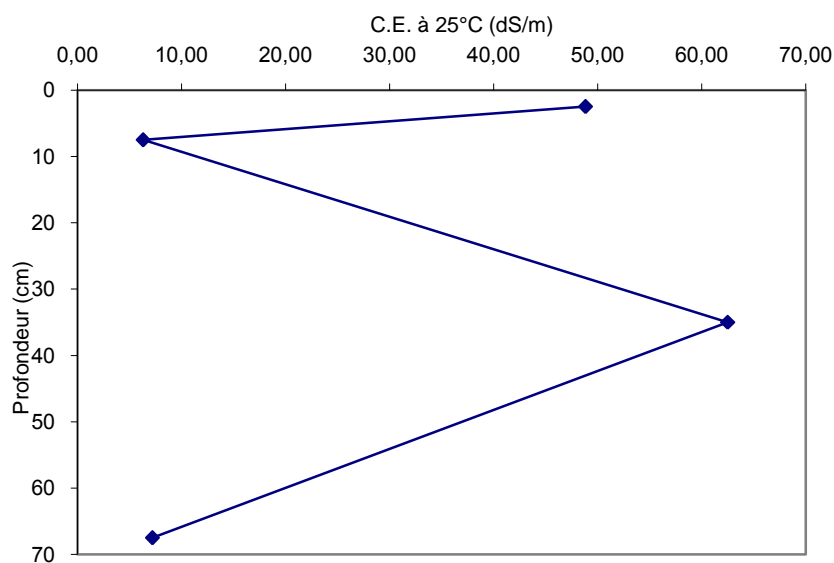


Figure 9 - Profil salin 3

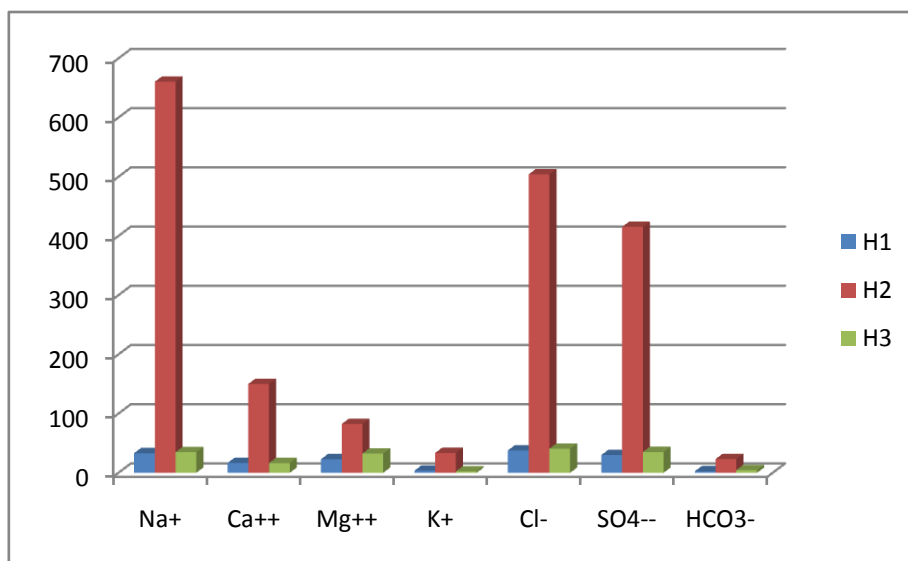


Figure 10 - Répartition des ions dans le profil 3

4.3.4. - Eau phréatique

Selon DURAND (1958) en prenant en considération la conductivité électrique à 25 °C et le SAR ($\text{Na}^+/\sqrt{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}/2}$), détermine cinq classes des eaux. Les valeurs de la C.E. en dS/m des eaux de la nappe phréatique sont largement supérieures à cinq (5) d'où une salinité excessive. Les valeurs du SAR sont comprises entre 18 et 26 ce qui indique que l'eau est fortement sodique, elle appartient à la classe C5-S3 (Tableau 7)

Tableau 7- Classes des eaux phréatiques

	SAR	C.E. dS/m	Classes
P1	18,66	14,84	C5-S3
P2	24,09	24,18	C5-S3
P3	25,97	25,31	C5-S3

D'après ce même tableau, nous remarquons une évolution de la salinité des eaux selon une toposéquence diagonale allant du profil 1 vers le profil 3 soit une orientation du Sud vers le Nord.

La limite standard de seuil de salinité est de 3dS/m à 25 °C. (AYERS et WESTCOT,1984) ; les valeurs de la salinité déterminées dans la solution du sol et l'eau de la nappe phréatique dépassent largement le seuil toléré.

A la lumière de cette étude sur les niveaux marquants illustrés par la dynamique des ions sur trois profils, le sol en question présente une légère hétérogénéité morphologique. Les résultats obtenus à travers le bilan ionique indiquent clairement deux horizons distincts d'accumulation des ions ; il s'agit du pseudo-horizon de surface (H0) et de l'horizon intermédiaire comparativement aux autres. Ces résultats indiquent aussi d'une façon générale un faciès chimique chloruré-sodique.

Par ailleurs, l'itinéraire ionique dans le profil montre une certaine uniformité : le chlore, le sulfate et le sodium sont majoritairement placés en surface avec des proportions importantes par rapport aux autres ions. Cette accumulation saline en surface par le phénomène ascendant des sels à partir de la nappe, présente un profil salin à très fortement salin ce qui lui confère un caractère de type A et type B dérivant de A d'été.

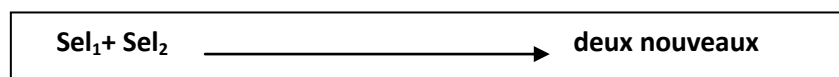
L'approche toposéquentielle indique clairement un sens d'écoulement de la nappe Sud-Nord défini en cela, par l'augmentation de la salinité des eaux de la nappe du profil1 vers le profil3 ; la distribution quantitative des ions dans les profils en question confirme cet état de fait. Il est dit dans la bibliographie que les eaux de cette nappe phréatique sont caractérisées par un sens d'écoulement Sud-Nord comme c'est le cas pour les nappes profondes de la région..

Tableau 8 - Paramètres physico-chimiques du sol

Paramètres	Valeurs limites dans le sol	Observations
Capacité d'échange cationique (CEC)	1,14 à 8,79 mé/100 g	Faible à très faible dans la majorité des cas (HENIN, 1968)
Matière organique	<1% dans tous les cas	Très pauvre.
Azote	<1% dans tous les cas	Très pauvre (HENIN, 1968)
Le rapport C/N	Autour de 5	Faible (HENIN, 1968)
Calcaire total	<2,5 %	Non calcaire à peu calcaire(BAIZE, 1988).
Argile	< 2 % dans la majorité des cas	D'après le % de texture.
pH	7,5 à 8,20	Alcalin (GAUCHER, 1968 in SOLTNER, 1990)
Sodium échangeable	0,09 à 0,39	Très faible
Texture	Sableuse	(JAMAGNE, 1967)

De part ses propriétés physico-chimiques attestant de sa pauvreté et sa fragilité, le sol ne réagi pas suffisamment face aux ions présents en quantités très importantes. Pire encore, il subit avec insistance et persistance des dégradations provenant de ces sels.

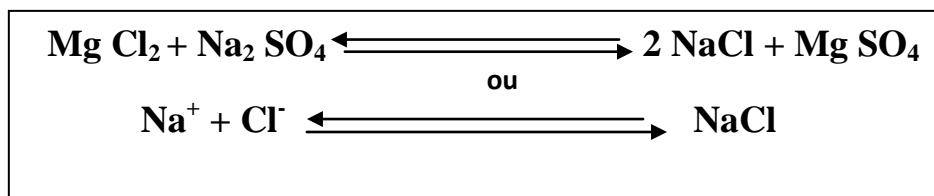
A défaut d'échange, ces sels réagissent entre eux pour produire d'autres sels selon la réaction suivante :



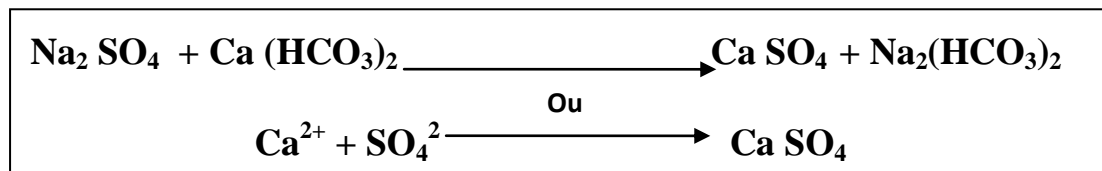
La colonisation d'un horizon par une multitude de sels imbriqués, explique cette hypothèse .

A titre d'exemple, l'horizon de surface du profil 1 renferme les sels suivants soit le $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, le CaSO_4 , le NaCl et d'autres.

Lorsque les facteurs d'équilibre sont à l'optimum en matière de température, de pression totale et de pression partielle (ou la concentration), nous pouvons obtenir le NaCl selon les réactions suivantes.



ou CaSO_4 , nous pouvons l'obtenir à partir des réactions suivantes :



La faiblesse, l'inexistence parfois des facteurs favorisant la fixation des ions, privilégie des réactions entre sels. Ces sels, sans recourir aux grandes techniques, sont liés à notre avis soit par des liaisons ioniques pour les sels simples ou par des liaisons covalentes et coordinences pour les sels complexes et les hydrogénosels (les lois fondamentales de chimie).

4.5. - Typologie des sels et leurs répartitions

Dans cette partie, nous allons recenser les sels endossés par les différents horizons.

4.5.1. - Typologie des sels

La réalité physique de la précipitation des sels hors d'une saumure, apparaît donc très complexe mais il est possible de dégager une séquence moyenne d'apparition des sels qui servira de modèle pour constituer successivement les différents produits. Cette séquence est exprimée en termes d'espèces chimiques à 25 °C, elle ne tient pas compte des sels potassiques. C'est donc dans l'ordre indiqué précédemment que

seront successivement constitués les différents sels par combinaisons préférentielles des anions et cations en milliéquivalents, suivant la démarche notée dans la partie matériels est méthodes.

Exemple de calcul

Au niveau du profil 1, l'horizon 0 où pseudo-horizon

$$\text{Ca (HCO}_3)_2 \quad 27,45 \times 2 = 54,90 \text{ mé/l}$$

Reste de Ca 48,55 mé/l

$$\text{Pour former le } \text{Ca SO}_4 \quad 48,55 \times 2 = 97,1 \text{ mé/l}$$

Le reste de SO_4 378,57 mé/l

$$\text{Pour Former } \text{Na}_2\text{SO}_4 \quad 378,57 \times 2 = 757,14 \text{ mé/l}$$

Le reste de Na 514,88 mé/l

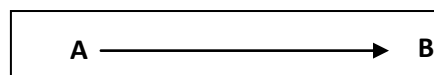
$$\text{Pour Former } \text{NaCl} \quad 469,09 \times 2 = 938,18 \text{ mé/l}$$

Reste de Na $514,88 - 469,09 = 45,79$ mé/l

La méthode de (BAZILEVICH et PANKOVA ,1968) in DROUBI ,1976) synthétisante de plusieurs hypothèses relatives à la formation des sels, a été utilisée comme outil dans notre cas pour les constituer. Il s'agit de la combinaison entre les cations et les anions, lesquels leurs concentrations est connue dans la solution du sol.

Pour le principe, on opère de la manière suivante :

* Egaler les concentrations existantes dans le réactif et dans le produit



* Le surplus en quantité de A ou de B selon la concentration initiale, se lie à l'autre anion ou cation selon l'ordre stipulé dans la règle jusqu'à la consommation de tous les éléments.

4.5.2- Répartition des sels dans les profils étudiés

A partir des tableaux 11, 12 et 13, il nous sera possible de répartir les sels au niveau de chaque profil et pour les différents horizons..

4.5.2.1. - Profil 1

Les valeurs très élevées de la conductivité électrique mettent en évidence la présence de quantités très importantes de sels, essentiellement les sulfates et les chlorures de sodium surtout en surface et au niveau de l'horizon médian. Cela n'est pas surprenant dans la mesure où les ions chlore et sodium sont incontestablement les meilleurs indicateurs de la conductivité électrique (DROUBI, 1976) Les autres sels dont l'hydrogencarbonate de calcium et le sulfate de calcium, en quantité remarquablement réduite par rapport aux sels NaCl et Na₂SO₄, sont aussi plus présents dans les deux horizons pré-cités. Nous remarquons par ailleurs une diminution considérable des concentrations des sels au profit du chlorure de magnésium au niveau des autres horizons.(Fig.11, 12, 13, 14)

Tableau 9 - Répartition des sels dans le profil 1

Sels obtenus (mé/l)	H0	H1	H2	H3
Ca(HCO ₃) ₂	54,9	4	16,02	4
CaSO ₄	97,1	30	129,98	21
Na ₂ SO ₄	757,14	36,42	178,92	15,3
NaCl	938,18	24,78	349,28	16,98
MgCl ₂	0	36,68	0	43,38
Reste en excès	Na = 45,79	Mg = 2,57	Na = 62,63	Mg = 4,23

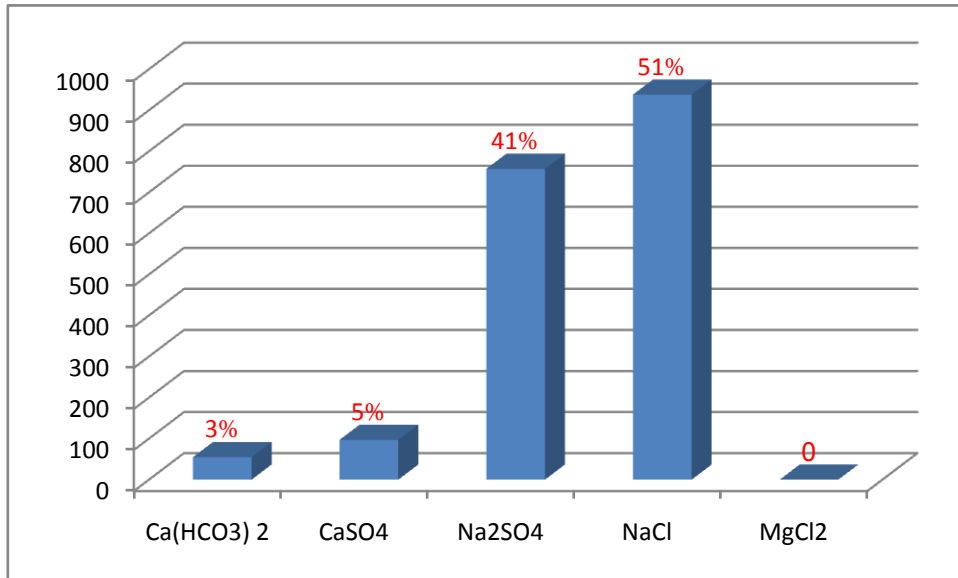


Figure 11- Répartition des sels dans le profil 1 horizon 0

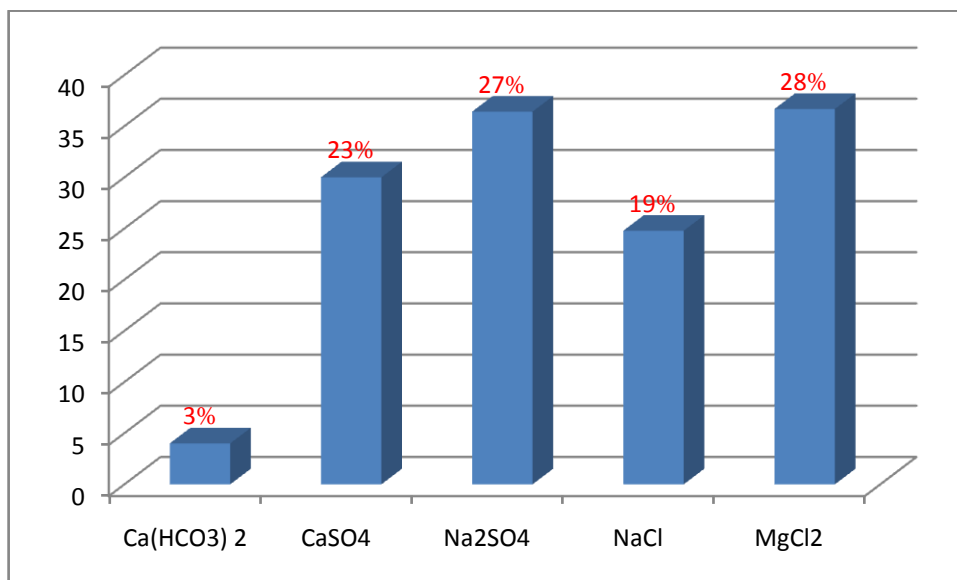


Figure 12 - Répartition des sels dans le profil 1 horizon 1

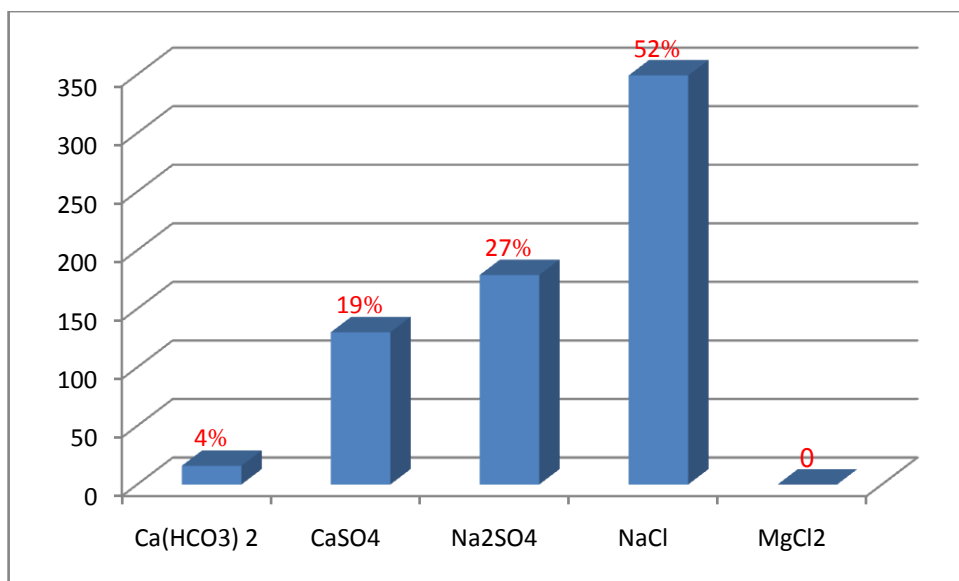


Figure 13- Répartition des sels dans le profil 1 horizon 2

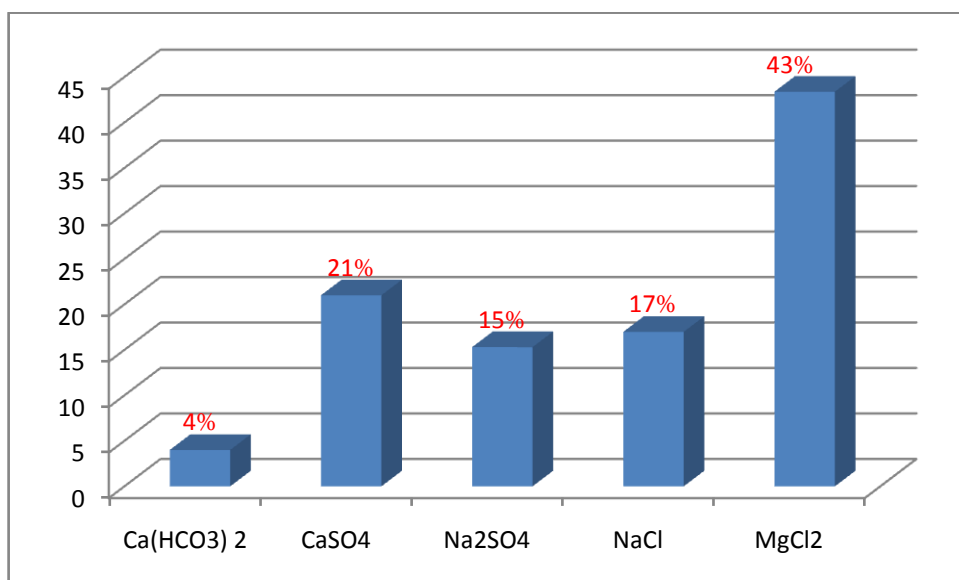


Figure 14 - Répartition des sels dans le profil 1 horizon 3

4.5.2.2. - Profil 2

Le même phénomène que précédemment est observé : une concentration des sels essentiellement en surface et au niveau de l'horizon intermédiaire. Il est important de signaler là aussi que les deux sels neutres NaCl et Na₂SO₄ se démarquent largement par rapport aux autres. Tous ces sels évoluent de la même façon soit des chutes importantes lorsqu'il s'agit de leur présence dans les autres horizons. En ce qui concerne le chlorure de magnésium, absent dans l'horizon de

surface comme c'est le cas dans le précédent profil, il se distingue par rapport à ce dernier par sa présence importante dans l'horizon intermédiaire (Fig. 15, 16, 17, 18, 19)

Tableau 10 - Répartition des sels dans le profil 2

Sels obtenus (mé/l)	H0	H1	H2	H3	H4
Ca(HCO ₃) ₂	22,42	4,38	13	5,7	3,18
CaSO ₄	106,58	26,62	56	25,3	20,82
Na ₂ SO ₄	542,28	31,66	81,32	34,7	20,12
NaCl	567,04	15,84	72,2	6,08	1,52
MgCl ₂	0	34,4	72,68	43,68	31,42
Reste en excès	Na = 19,08	0	0		0
Reste en excès	Mg = 36,08	Mg = 7,63	Mg = 3,13	Mg = 2,82	Mg = 1,54

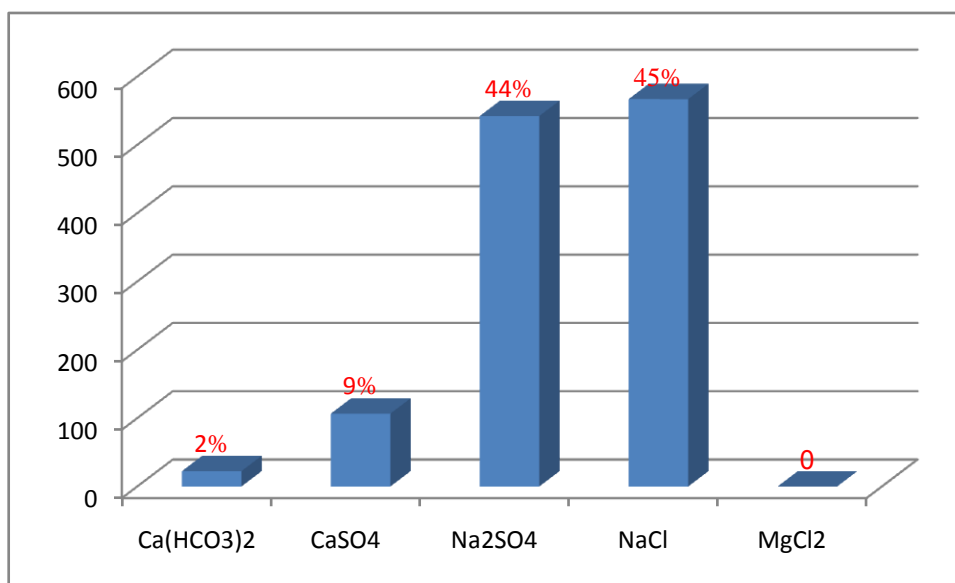


Figure 15 - Répartition des sels dans le profil 2 horizon 0

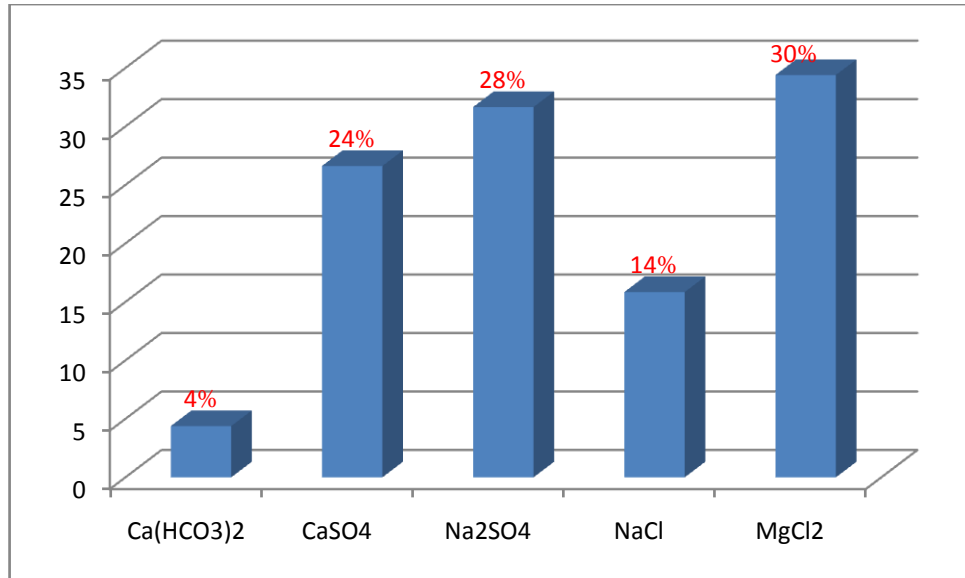


Figure 16- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 1

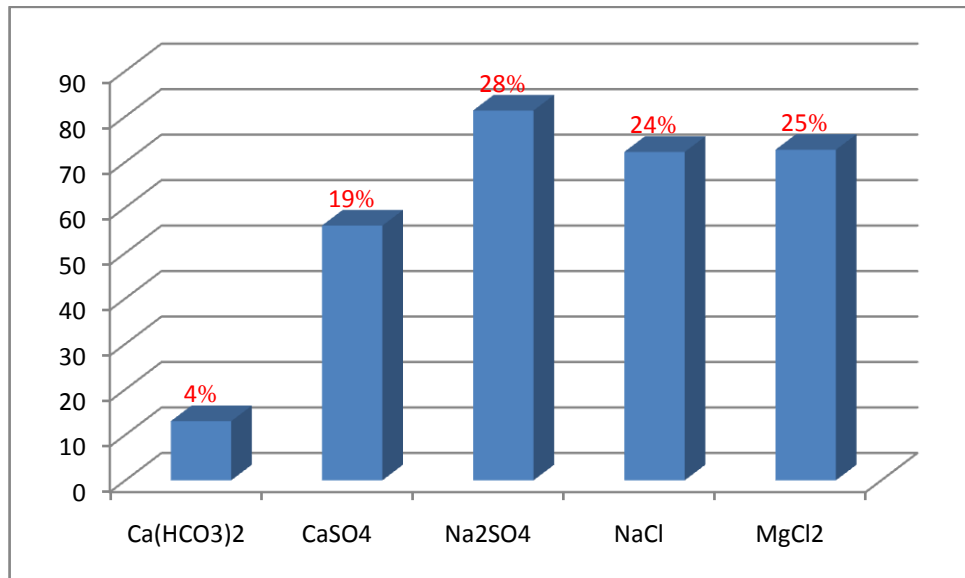


Figure 17- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 2

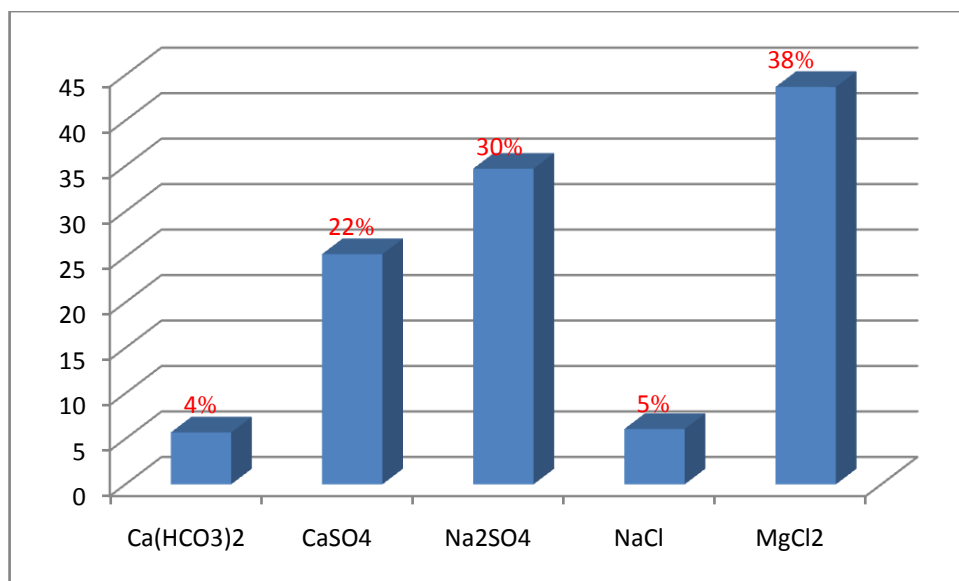


Figure 18- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 3

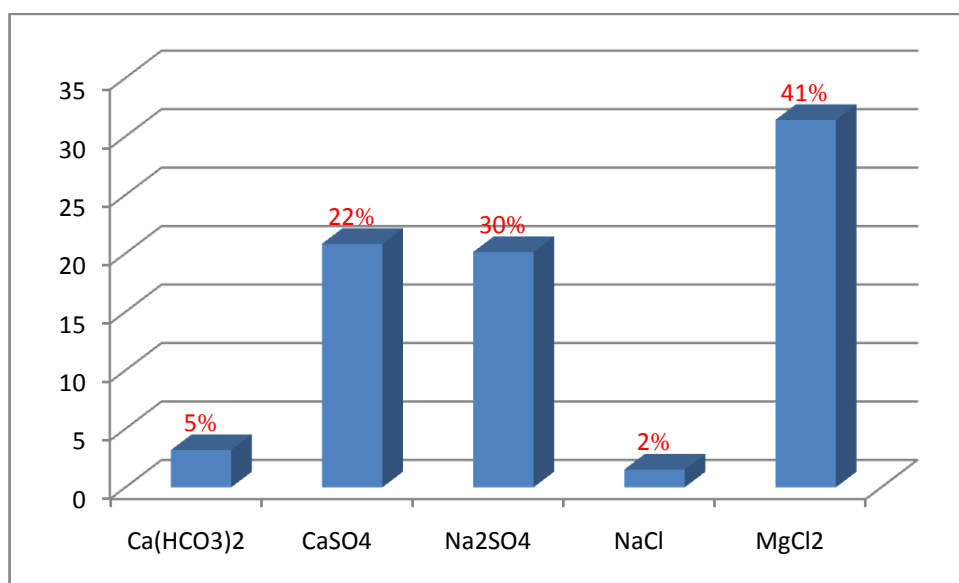


Figure 19- Répartition des sels dans le profil 2 horizon 4

4.5.2.3. - Profil 3

Comme pour les deux précédents profils, les sels se localisent majoritairement dans les horizons de surface et intermédiaire avec à chaque fois une large diminution lorsqu'il s'agit des autres horizons. La dynamique du chlorure de magnésium est de même type que le deuxième profil. (Fig. 20, 21, 22, 23)

Tableau 11 - Répartition des sels dans le profil 3

Sels obtenus (mé/l)	H0	H1	H2	H3
Ca(HCO ₃) ₂	50,28	4,98	46,34	9
CaSO ₄	99,72	28,02	259,54	23,8
Na ₂ SO ₄	601,82	31,76	571,14	46,28
NaCl	762,14	34,32	749,88	23,28
MgCl ₂	0	33	118	58
Reste en excès	Na = 190,62	Cl = 4,22	Cl = 70,05	Mg = 3,5
Reste en excès	Mg = 75			

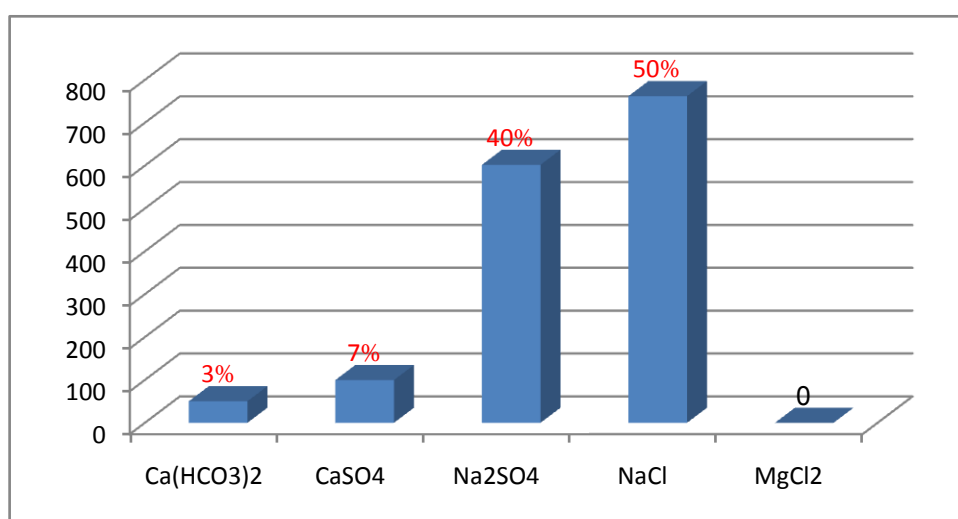


Figure 20- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 0

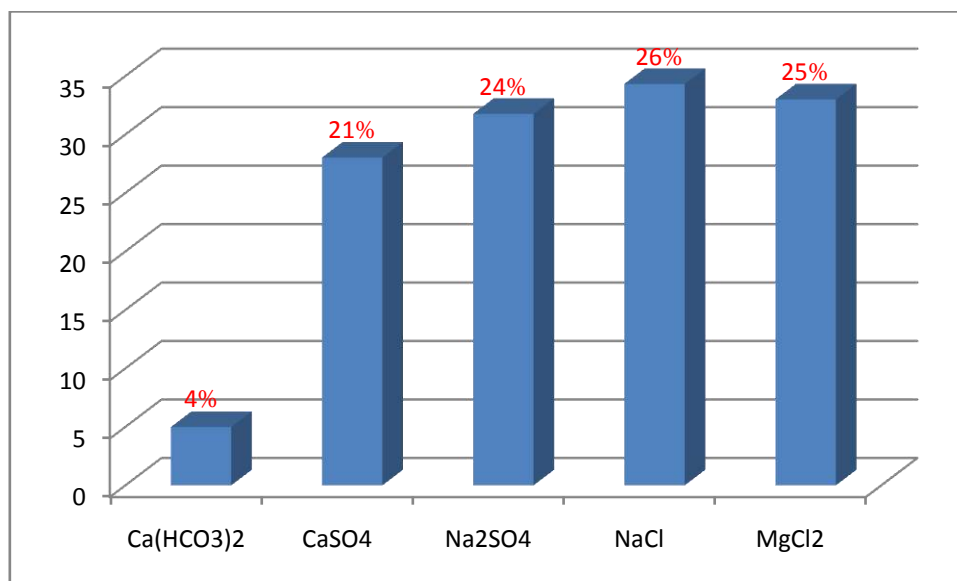


Figure 21- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 1

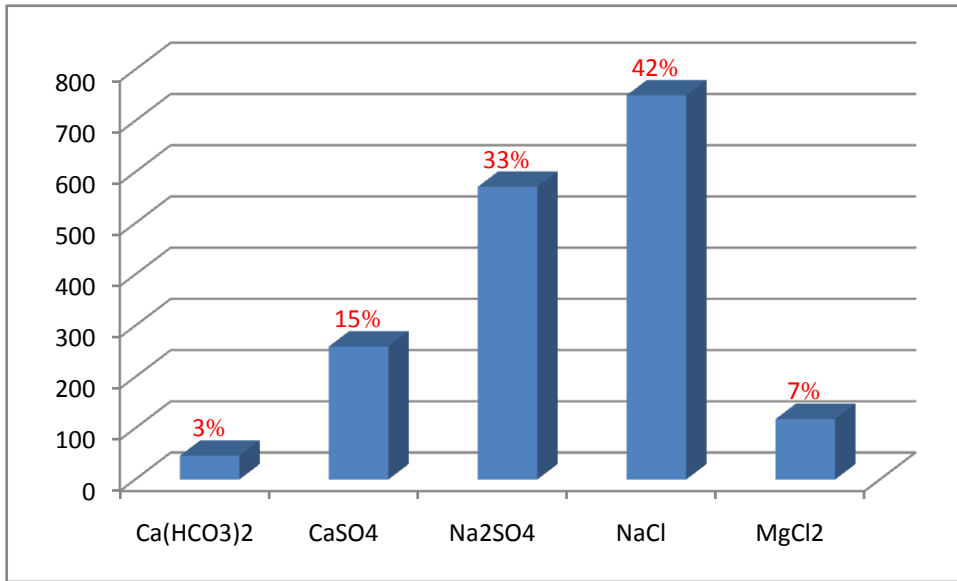


Figure 22- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 2

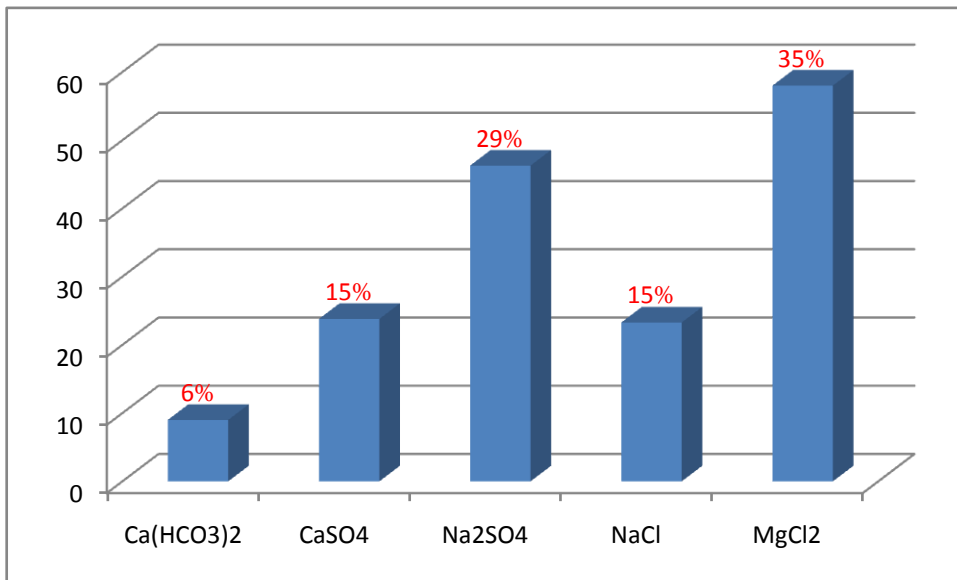


Figure 23- Répartition des sels dans le profil 3 horizon 3

Cette étude relative à la formation des sels montre incontestablement une relation étroite avec la composition ionique de la solution du sol ; elle influence également sur le plan quantitatif ces sels formés (confirmation d'ailleurs par le faciès chimique des différents horizons).

Le siège de ces sels formés ne sont autres que le pseudo-horizon (lieu des évaporites et de dépôt des sels) et la zone médiane (sous une l'influence saisonnière soit l'été et l'hiver).

Nous pouvons classer les sels formés au niveau de ce sol selon leur importance ; le sulfate et le chlorure de sodium (sels dits neutres) puis l'hydrogénocarbonate et le sulfate de calcium et enfin le chlorure de magnésium (absent des horizons de surface)

Il est à noter par ailleurs, que l'existence de sels recensés offre à notre sol des caractéristiques indésirables ; d'après (HULLIN ,1983), le NaCl est hautement toxique, le MgCl₂ témoigne une forte salinité et une extrême toxicité alors que Na₂SO₄ constitue un sel typique des sol salés, il est aussi hautement toxique.

CONCLUSION

Conclusion

L'étude des sols salés implique des séries de mesures pour dégager la dynamique des profils salins et l'évolution des caractères morphologiques et physico-chimiques du sol.

Pour cela, notre travail s'est intéressé à l'ensemble constitué par le système sol-nappe ; le caractère salé résulte souvent de l'interaction entre les eaux de la nappe phréatique de classe C5 S3 qui constituent la source de la salinité et le matériau porteur de sels.

Ce travail s'est proposé aussi d'expliquer la distribution des sels dans le profil d'un terrain nu ainsi que les différentes interactions pouvant en découler. Il va sans dire que les sols salés ou sols halomorphes sont ceux qui renferment en quantités anormales de sels plus solubles que le gypse. C'est la raison pour laquelle le profil salin constitue pour nous un descripteur du niveau de la salinité le long du profil pédologique.

Notre sol nu, soumis au processus ascendant des sels provenant d'une nappe salée dû aux fortes évaporations, matérialisant ainsi une accumulation saline superficielle et médiane. Nous pouvons déduire que le profil salin de notre sol est de type A et B. Il nous faut admettre que le site expérimental rassemble toutes les conditions nécessaires au développement du phénomène salin à savoir :

- Un climat aride très évaporant.
- Une nappe phréatique salée, proche de la surface du sol.
- Une topographie plane d'où défavorable au drainage naturel des eaux.

La caractérisation physique du sol indique exclusivement une texture sableuse, montrant ainsi le caractère squelettique de ce sol avec un complexe organo-minéral insignifiant ; ceci témoigne indiscutablement de la très faible fixation des sels sur ces matériaux.

Les principaux résultats des analyses chimiques du sol nu indiquent :

- Un fort taux de salure, le plus important est atteint au niveau des horizons de surface et médian atteignant 62,51 dS /m sur extrait aqueux 1/5.
- Dans ces mêmes horizons de surface, le pH a atteint des valeurs supérieures à 8 d'où une alcalinité dégradante de la structure du sol ; ces valeurs sont majoritairement inférieures à 8 pour les horizons sous-jacents.
- Les plus fortes concentrations ioniques sont plus importantes en surface surtout pour le cation alcalin sodium et l'anion halogène le chlore ce qui atteste du phénomène ascendant des sels et leur concentration en surface.
- La nappe génératrice des sels est « dessalinisée » par rapport à la solution du sol.
- L'existence et la formation de sels sont intimement liées aux concentrations salines présentes dans la solution du sol. La séquence hypothétique de formation de sels est intimement liée à la répartition des cations et anions sur l'ensemble du profil ; en effet, la composante ionique sur les profils considérés est visiblement déséquilibrée au profit des ions chlore, sulfate et sodium. Il en résulte par conséquent une présence massive de sels formés à partir des ions sur cités essentiellement le NaCl et le Na_2SO_4 ; au niveau du pseudo-horizon (de surface)

prioritairement et au milieu du profil secondairement (horizon médian) attestant du profil salin de type A et B.

Par ailleurs, il est important de signaler que l'ensemble des sels toxiques recensés, colonisent la totalité des horizons du sol à des proportions variables.

Les propriétés physico-chimiques du sol sont caractérisées par un très faible taux de colloïdes (minéraux et organiques) d'où l'absence d'un complexe organo-minéral. Elles ne favorisent pas les échanges entre la solution du sol et le complexe. Devant cet état de fait et les fortes concentrations salines, il se peut que les interactions entre les sels présents soient favorisées pour engendrer d'autres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

-**A.N.R.H., 1994.** Les ressources en eaux de la wilaya de Ouargla. *Rapports techniques*, Agence nationale des ressources hydriques, Ouargla.

-**AUBERT, G. 1975.** Les sels sodiques en Afrique du Nord. *Annuaire de l'I.N.A., El Harrach, Alger Vol VI, n°1, pp. 185 – 195.*

-**AUMASSIP, G. DAGORNE, A. ESTORGES, P. LEFEVRE-WITIER, Ph. MAHROUR, F. NESSON, C. ROUVILLOIS BRIGOL, M. TRECALLE, G. 1972.** Aperçu sur un paysage quaternaire et le peuplement de la région de Ouargla. *Ed. Libyca, t xx, pp. 205-257.*

- **AYERS, R.S. et WESTCOT, D.W. 1984.** La qualité de l'eau en agriculture. *Bulletin F.A.O. d'irrigation et de drainage n° 29, 81 p.*

-**BAGNOULS F. et GAUSSEN G., 1957-** Climats biologiques et leur classification *Annales de Géographie, 355 : 193-22*

-**BOUTEYRE, G. LOYER, J.Y. 1992.** Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes : principaux faciès, conséquences pour l'agriculture. *Ed de l'ORSTOM, Paris, pp. 69-80.*

- **CASTANY, J. 1978.** Protection des eaux souterraines contre les pollutions. S.H.F, XV èmes journées de l'hydraulique, *rapport général, question III*, Toulouse 5-7 septembre.

-**CASTANY, G. 1982.** Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie, Tunisie). Aquifères du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. *Bull. B.R.G.M. (2), III (2), pp.127-147.*

-**CORNET, A. et GOUSCOV, N. 1952.** Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien (nappe dite « Albiennaise »). *In. : « La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie ». 19^{ème} Congrès géologique international. T.II, 30 p*

-**CORNET, A. 1964.** Introduction à l'hydrologie saharienne. *Géol. Phys. et Géol. Dyn ; vol. VI, Fasc. 1, pp. 5-72.*

-**DAOUD, Y. et HALITIM, A. 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse, 5, pp. 151-160.*

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

-**DURAND A., 1983** - Les sols irrigables. Presses universitaires de France. Paris. 322p.

-**DJILI K. DAOUD Y. GAOUAR A. BELJOUDI Z., 2003** - La salinisation secondaire des sols au Sahara, conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse. 4: 241-6*

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

-DURAND, J.H. 1958. Recherche sur les sels apportés au sol par les pluies. Travaux des sections pédologie et agrologie. *Bull. n° 4 et Gén. N° 5, SES, Birmouradrais.*

-DURAND, J.H. 1983. Les sols irrigables. Etude pédologique. *Presse Univ. de France*, 339p

-DUTIL, P. 1971. Contribution à l'étude des sols et paléosols du Sahara. *Thèse Doc. d'état. Univ. Strasbourg* ; 346 p

DROUBI, A. FRITZ, B. TARDY, Y. 1976. Equilibres entre minéraux et solutions. Programmes de calculs appliqués à la prédiction de la salure des sols et des dos optimaux d'irrigation. *Cahiers O.R.S.T.O.M., série pédologie, VOL.XIV, n° 1, pp.13-38*

-FLORET, Ch. & PONTANIER, R. 1982. L'aridité en Tunisie pré saharienne : Climat, sol, végétation et aménagement. *Trav. et doc. de l'O.R.S.T.O.M. n° 150, Paris, 544 p.*

-GAUCHER, G. & BURDIN, S. 1974. Géologie, géomorphologie et hydrogéologie des terrains salés. *Presses universitaires de France*, 230 p.

-GUENDOUZ, A. REGHIS, Z. et MOULLA, A.S. 1992. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. *Rapport n° 1, 65 p.*

-GUERRE, G. 1975. Bouchage de l'albien de Ouargla I. Observations personnelles et renseignements recueillis sur chantier. Archives de la direction de l'Hydraulique, Ouargla, 8 p.

-HALITIM, A. 1978. Les sols des régions arides d'Algérie. *Ed. O.P.U., Alger, 320 p*

-HAMDI-AÏSSA, B. & FEDOROFF, N. 1997. Salt affected sol functioning at the Ouargla Oasis (Northern Sahara, Algeria). In. : *International symposium on sustainable management of Salt affected soils.* (ed. El-Gala, A; & Bum, W.E.H.), pp. 153-154; ISSS- FAO, CAIRO.

-HENIN, 1968. Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. *Ed. Masson et cie, Paris, 332 p.*

-HULLIN, M. 1983. Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. *Cours polycopiés, vol. 3, INA, El-Harrach Alger 139 p.*

- IDDER, T. 1998. La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impacts des rejets d'origine agricole et urbaine et

techniques de remédiation proposées. L'exemple de Ouargla. *Thèse Doct. Univ. Angers*, 284 p.

- **IDDER Med A.H., 2006** - Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région de Ouargla. *Mém. Mag. I.N.A. El Harrach*, 100p

-**ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V. 1965.** Traité pratique de l'irrigation International Ed. *New York*, 386 p.

-**JABER, A. 1970.** Contribution à l'étude expérimentale des mouvements ascendants et descendants des solutions de sel de sodium (Carbonates, sulfates, chlorures) et de certains aspects de leurs actions physiques du sol soumis à l'influence d'une nappe peu profonde. *Thèse 3^{ème} cycle . Univ. Paris* 122 p.

KRUPKIN, P.I. 1963. Mouvement of salt solutions in soils and soils materials. *Rev. Sov. Soils Scie. N° 6*, pp. 567-574.

-**LELIEVRE, R.F. 1969.** Assainissement de la cuvette de Ouargla. Ministère des travaux publics et de la construction, *Rapports géohydrauliques n° 2*, 18 p. ; *n° 3*, 84 p.

MARGAT, J. 1990. Les gisements d'eau souterraine. *La recherche*, 221, pp. 590-596.

-**MARGAT, J.** 1992. Quelles ressources en eau les grands aquifères offre-t-ils ? Observatoire du Sahara et du Sahel, le Caire, 14 p.

-**MASSOUMI A.M. 1968.** Etude expérimentale sur le mécanisme du mouvement capillaire de l'eau et des sels solubles dans le sol. Influence des rapports cationiques des solutions et des textures sur le processus d'alcalinisation. *Thèse Docteur-Ing. Univ. Paris*, 120 p.

- **MOULIAS, D.** 1927. L'eau dans les oasis sahariennes, organisation hydraulique, régime juridique. *Thèse Doc. droit, Univ. Alger*, 271 p.

-**NESSON, C. 1978.** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du bas Sahara algérien. In : *Recherche sur l'Algérie. (Ed C.N.R.S. Paris)*, pp. 7 –100

- **PNUD-UNESCO, 1972.** Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrionale. *Rapport sur les résultats du projet, UNESCO, Paris*.

-**ROUVILLOIS-BRIGOL, M. 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara algérien). Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. *Pub. Univ. Sorbonne, Paris*, 361 p.

-**RUPELLAN, A. & DOSSO, M. 1993.** Regards sur le sol. *Ed. Foucher, Paris*, 192 p.

SAUVAGE, C. 1961. Recherches géographiques sur les suberaies marocaines. Travaux de l'institut scientifique Chérifien, série botanique n° 21, Rabat.

-SERVANT, J. 1975. Contribution à l'étude des sols halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-Ouest de la France. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Montpellier, 2 tomes* (texte : 200 p.).

SIMOUNNEAU. P, AUBERT.G, (1963) – "L'utilisation des eaux salées au Sahara",

Ann. Agr. O.R.S.T.O.M, Ser.Péd., 14(5), pp 859-872.

-SOLTNER, D. 1990. Les bases de la production végétale. *18^{ème} édition*, 467 p.

Accumulation saline estivale dans les sols nus l'exemple de l'exploitation de SNV

Résumé

L'étude porte sur la dynamique des sels au niveau de la région de Ouargla, sur un sol nu de texture sableuse. Se caractérisant par une aridité très exprimée et une sécheresse permanente. Ce sol est soumis à l'influence du climat estival présentant un fort pouvoir évaporant en surface et une nappe phréatique (C5 S3) à faible profondeur à la base. Il constitue un lieu privilégié pour l'accumulation et la stagnation de sels, répartis en proportions variables selon les horizons.

A partir du profil salin des horizons examinés, les principaux résultats indiquent remarquablement un déséquilibre au profit des éléments chlore, sulfate et sodium. Cela se confirme par la présence majoritaire des sels formés soit les Na_2SO_4 et NaCl avec une présence moins marquée pour les autres soit les sels $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgCl_2 .

Par ailleurs, les résultats indiquent que ces différents sels se massent en quantités importantes surtout en surface et en zone médiane du sol, lui conférant ainsi le caractère salin de type A et B.

Les importantes valeurs de la conductivité électrique, pouvant atteindre jusqu'à 62,51 dS/m, sont la conséquence de la forte présence des sels d'une part et d'autre part des faibles quantités d'éléments structurants (argile et matière organique). Elles dévalorisent incontestablement le sol et l'éloigne de ce fait de toutes possibilités de fixation.

Mots clés : Sels, Sol nu, Aridité, Nappe phréatique.

Summer saline accumulation in bare soil example of SNV exploitation

Abstract

The study focuses on the salts dynamics at Ouargla region on a bare sandy soil characterized by a high aridity and a permanent drought. It is influenced by summery climate with a high evaporation and a rising groundwater. It represents an adequate place for salts to be accumulated and stagnate, with a variable distribution according to horizons.

Basing on the ionic profile of the studied horizons the main results show remarkable imbalance in favour of chlorite, sulphate and sodium.

The majority salts are formed as Na_2SO_4 and NaCl with a presence of $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgCl_2 and in a lower degree.

In addition, it has been found an important accumulation of these different salts, on the soil surface and in the median as well, giving it a saline feature type A and B.

Because of a high concentration of salts and a low quantity of structuring elements (clay and organic matter) the electric conductivity reaches a high value of 62,51 dS/m making the soil powerless towards any possible fixing.

Keywords : Salts, Bare soil, groundwater, Aridity,

تراكم الأملاح في فصل الصيف في التربة العارية، مثال على مستثمره SNV

ملخص

أجريت هذه الدراسة في منطقة ورقلة على تربة عارية، ذات بنية نسيجية رملية تتميز بجفاف، وذلك لمعرفة حركية الأملاح المعدنية أثناء ترسبها وتبلورها تحت تأثير مناخ صيفي يتميز بالحرارة الشديدة و التبخر الكثيف لمياه الطبقة الفريائيتكية C5S3 والموجودة قريبة جدا من السطح.

من خلال مقاطع الملوحة المنجزة في الأفاق المدروسة، يتبين لنا توزيع غير منتظم له ذه الايونات لصالح الكلور، الصوديوم و الكبريتات و ذلك بظهور الأملاح التالية : Na_2SO_4 , NaCl بنسب عالية و $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgCl_2 بنسب الاقل. من ناحية أخرى تبين النتائج المتحصل عليها ان هذه الأملاح تترسب بكمية معتبرة على الأفق السطحية و المتوسطة مما يكسب لها الخاصية الملحية من صنف A, B.

القيم المعتبرة للناقلية الكهربائية التي تصل إلى 62.51 dS/m الراجعة إلى ارتفاع نسب الأملاح من جهة. ومن جهة أخرى ضعف في العناصر النبوية (ظمي والمادة عضوية) مما يؤديان بالتالي الى نقص من قيمة هذه التربة.

الكلمات الدالة : تربة عارية، الأملاح، جفاف، الطبقة الفريائيتكية.