

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

**UNIVERSITÉ EL HADJ LAKHDAR**

**- BATNA -**

**FACULTÉ DE SCIENCES**

**DEPARTEMENT D'AGRONOMIE**

**MEMOIRE**

**POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN AGRONOMIE**

**OPTION : PÉDOLOGIE**

*Présenté par :*

**Houria Rouahna**

***RELATION ENTRE LES NAPPES ET LA SALINITE DANS LES  
SOLS GYPSEUX DE LA REGION DE AIN BEN NOUI. BISKRA***

*Soutenu le :*

*Devant la commission d'examen :*

**Pr BOUDOUKHA A.** *Université de Batna*

**Président**

**Dr BENSÄÏD R.** *Maître de conférence Batna*

**Rapporteur**

**Pr HALLILAT M.T.** *Université de Ouargla*

**Examineur**

**Dr KRIBAA M.** *Maître de conférence Oum El Bouaghi*

**Examineur**

**Année 2006-2007**

## Remerciements

Je remercie avant tout ALLAH tout puissant, de m'avoir guider toutes les années d'étude et m'avoir donner la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

Mes remerciements vont d'abord à M<sup>r</sup> BENSAID R, pour avoir accepter de diriger ce travail tout le long de sa réalisation.

J'exprime ma reconnaissance aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

Je porte ma gratitude à M<sup>r</sup> BOUDOUKHA A professeur à l'université de Batna, pour avoir accepter de présider ce jury.

J'adresse mes respectueux remerciements à M<sup>r</sup> HALILAT M.T professeur à l'université de Ouargla, et à M<sup>r</sup> KRIBAA M maître de conférence à l'université d'Oum Al Bouaghi pour avoir accepter d'examiner ce travail.

Je tiens à remercier Mr TIBECHBECHE pour leur aide.

Je tiens aussi à remercier le personnel des laboratoires d'agronomie de Batna (M<sup>r</sup> ABDOU A, M<sup>r</sup> HADJI N, M<sup>r</sup> BOUAMRA, M<sup>r</sup> CHAOUKI, M<sup>elle</sup> HOUDA, M<sup>r</sup> AMOURI M).

Mes remerciements vont aussi à tous les amis et tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

# Table des matières

	page
Introduction .....	1
<b>Première partie : Etude bibliographique</b>	
<b>Chapitre I: Les sols gypseux</b>	
1 Définition .....	2
1-1 Le gypse .....	2
1-2 Les sols gypseux .....	2
2-Classification des sols gypseux .....	2
2-1 -La classification Française.....	2
2-2-La classification Américaine.....	3
2-3-La classification FAO.....	3
3 Distribution des sols gypseux dans le monde .....	4
4 Répartition des sols gypseux en Algérie .....	7
5 Origine du gypse dans les sols.....	7
5-1 Origine des nappes.....	7
5-2 Origines éoliennes.....	8
5-3 Origines colluvionnaires.....	8
6 Le processus de la dissolution du gypse .....	8
6-1 Les facteurs géologiques.....	8
6-2 Les facteurs environnementaux.....	9
7 Les propriétés physico- chimiques des sols gypseux .....	9
7-1 Les propriétés physiques .....	9
7-1-1 La structure .....	9
7-1-2 La texture .....	10
7-1-3 Stabilité structurale .....	10
7-1-4 Résistance à la pénétration .....	10
7-1-5 Dynamique de l'eau dans le sol.....	11
7-1-5-1 La rétention en eau .....	11
7-1-5-2 Mouvement de l'eau dans le sol .....	11
7-2 Les propriétés chimiques .....	12

7-2-1 Le pH.....	12
7-2-2 La déshydratation et réhydratation du gypse.....	12
7-2-3 La solubilité du gypse .....	12
7-2-3- 1 La solubilité du gypse dans l'eau pure .....	12
7-2-3-2 La solubilité du gypse dans les solutions salines.....	13
7-2-4 Relation gypse-calcaire .....	14
7-2-5 La capacité d'échange cationique .....	14
8-Fertilité des sols gypseux .....	15
9-Effet du gypse sur le sol et la plante.....	16
10-Problème d'analyse des sols gypseux .....	16

## **Chapitre II : Les sols salés**

1-Introduction.....	17
2 Les sols des régions arides et semi arides .....	17
3 La salinisation des sols problèmes à l'échelle du globe .....	17
4 Salinité et sodicité des sols .....	18
4-1 Généralités .....	19
4-2 Les principales sources des sels venant contaminer les sols .....	19
4-2-1 Facteurs intervenant dans le processus de salinisation .....	19
4-2-2 Les grandes origines de la salinité.....	19
4-3 Les grandeurs utilisées pour caractériser les sols salés .....	20
4-3-1 La conductivité électrique.....	20
4-3-2 Quantité de sodium adsorbé .....	20
4-3-3 Le pourcentage de sodium échangeable.....	21
4-4 Les conséquences de la salinité .....	21
4-4-1 Effet sur la structure du sol.....	21
4-4-2 Effet sur les plantes .....	21
4-5 Mise en valeur des sols salés .....	21
Conclusion.....	22

## **Chapitre III : Les nappes d'eau**

1- Introduction.....	23
2- Origine des nappes phréatiques.....	23
3- Classification des nappes phréatiques.....	23

4- Les conditions favorisant la présence des eaux souterraines .....	24
5- Origine de la salinité des eaux souterraines .....	24
6- Les caractéristiques des eaux des nappes phréatiques.....	24
6-1 Salinité globale .....	24
6-2 Sodicité .....	24
7- Chimie des eaux souterraines .....	24
8- Les facteurs contrôlant la composition chimique des eaux .....	25
9- Les eaux souterraines et son effet sur la salinité du sol.....	25
9-1 Dynamique des eaux souterraines et des sels.....	26
9-2 Effet des nappes sur la salinisation des sols .....	27
10- Utilisation des eaux sodiques salines durant la phyto remédiation des sols sodiques salins calcaires.....	28
11- Les accumulations d'origine nappe .....	29
11-1 Les accumulations gypseuses.....	29
11-2 Les accumulations calcaires .....	29
11-3 Le salant blanc.....	29
12-Relation entre la nappe et les sols gypseux.....	29
13 Le gypse dans les milieux salins .....	30
14-Role des eaux des nappes dans la dissolution et précipitation de gypse.....	31

## **2<sup>eme</sup> partie: Matériels et méthodes d'étude**

### **Chapitre I: Etude du milieu physique**

1- Présentation de la zone d'étude .....	32
2- Le climat.....	32
2-1 Les précipitations .....	32
2-2 Les températures.....	34
2-3 Les vents.....	34
2-4L'humidité relative de l'air.....	35
2-5 L'insolation.....	35
2-6 L'�vapotranspiration .....	35
3 Classification du climat .....	36
3-1 Diagramme OmbroTh�rmique de GAUSSEN .....	36
3-2 Le climagramme pluviométrique.....	36

4 Pédoclimat.....	38
4-1 Régime hydrique .....	38
4-2 Régime thermique.....	38
5Géologie de la region d'étude.....	38
5-1 Géologie régionale .....	38
5-1-1 Stratigraphie .....	38
5-1-1-1 Quaternaire.....	38
5-1-1-1-1 Actuel.....	38
5-1-1-1-2 Moyen.....	38
5-1-1-1-3 Ancien .....	38
5-1-1-2 Miocène .....	41
5 1-1-2-1 Miocène supérieure .....	41
5-1-1-2-2 Pliocène .....	41
5-1-1-3 Paléogène .....	41
5-1-1-3-1 Eocene moyen.....	41
5-1-1-3-2 Éocène inférieur .....	41
5-1-1-4 Crétacé.....	41
5-1-1-4-1 Crétacé supérieur.....	41
5-1-1-4-2- Crétacé inférieur.....	42
5-1-2 Tectonique .....	42
5-2 Géologie locale.....	42
5-2-1 Stratigraphie.....	42
5-2-2Tectonique.....	44
6- Géomorphologie.....	44
6-1 Géomorphologie régionale.....	44
6-2 Géomorphologie locale.....	44
6-2-1 Structures .....	44
6-2-2 Formes d'érosion .....	46
7 Hydrogéologie de la zone d'étude .....	46
7-1 Nappes phréatiques du quaténaire.....	46
7-2 Nappes des sables du miopiocènes .....	47
7-3 Nappe des calcaires de l'éocène et du sénonien .....	47
7-4 Nappe profonde .....	47
8-La végétation .....	49

Conclusion.....	49
-----------------	----

## **Chapitre II méthodes d'étude**

1- Echantillonnage.....	50
2- Étude au laboratoire .....	50
2-1 Le sol .....	50
2-1-1 La granulométrie .....	50
2-1-2 Calcaire total .....	50
2-1-3 Réaction du sol .....	50
2-1-4 Conductivité électrique .....	50
2-1-5 Carbone organique .....	50
2-1-6 Dosage du gypse .....	50
2-1-7 Dosage des anions .....	51
2-1-8 Dosage des cations .....	51
2-1-9 La capacité d'échange cationique .....	51
2-2 -L'eau.....	51

## **Troisième Partie : Résultats et Discussion**

### **Chapitre I : Caractérisation physico-chimique des sols**

1-Les caractéristiques physico-chimiques des solutions des sols.....	52
1-1 Le pH .....	52
1-2 Le calcaire total.....	52
1-3 Le gypse.....	52
1-4 La matière organique.....	52
1-5 La texture des sols.....	52
1-6 La capacité d'échange cationique.....	55
2- Etude de la salinité des sols.....	55
2-1 La conductivité électrique.....	55
2-2 Les profils salins.....	55
3- Bilan ionique de la solution des sols .....	57
3-1 Concentrations en cations.....	57
3-2 Concentrations en anions.....	57
4- Etude de faciès chimique.....	57

4-1 Faciès des cations.....	57
4-2 Faciès des anions.....	58

## **CHAPITRE II : Caractérisation des eaux des nappes**

I – L’hydrochimie des nappes.....	60
I-1 Etude de la salinité et du pH.....	60
I-1-1 La salinité .....	60
I-1-2 Le pH.....	60
I-2 La classification des eaux.....	60
I-2-1 Risque de Salinité.....	62
I-2-2 Risque d'alcalinité.....	62
I-3 La distribution des sels solubles.....	62
I-3-1 Les cations.....	62
I-3-2 Les anions.....	63
I-4 Le Faciès chimique.....	63
I-5 Discussion .....	65
I-5-1 Le faciès chimique.....	65
I-5-2 Origine de gypse.....	65
I-5-3 La salinité des eaux des nappes.....	65

## **CHAPITRE III : Relation entre les sels des nappes et les sels des solutions du sol :**

1- 1 <sup>er</sup> type de profil salin.....	66
1-1-Caractérisation de profil salin type 1 (profil 1) .....	66
1-2 La salinité.....	67
1-3 Relation entre le profil salin type 1 et la nappe 1 .....	67
Conclusion.....	67
2- 2 <sup>ème</sup> type de profil salin (profil 2 et 3).....	68
2-1 la salinité.....	68
2-2 Relation entre le profil salin et la nappe 2.....	69
Conclusion .....	70
2-4 - Caractérisation du profil 3.....	70

2-5 Relation entre le profil salin et la nappe 3.....	72
Conclusion .....	72
3- Troisième type de profil salin (profil 4).....	73
3-1-Caractérisation de profil 4 .....	73
3-2 -Relation entre le profil salin et la nappe 4.....	73
Conclusion.....	74
4-Rlation entre les sels des nappes et ceux des horizons inférieurs.....	75
4-1 La conductivité électrique.....	75
4-2 Les anions.....	76
4-3 Les cations.....	76

## **5 -Détermination des corrélations entre la CE et quelques propriétés physico-chimiques du sol**

5-1 Relation entre la CE et le gypse.....	81
5-2 Relation entre la CE et le calcaire.....	81
5-3Relation entre la CE et le sable fin.....	81
5-4 Relation entre la CE et le sable grossier.....	81
5-5 Relation entre la CE et l texture (SF+SG):.....	82
5-6 Relation entre la CE des nappes et la CE des horizons inférieurs.....	82
Conclusion générale.....	83

## **Références bibliographiques**

### **Annexes**

## Listes des figures

<b>Figure n°1</b> : Distribution des sols gypseux dans le Nord et l'Est de l'Afrique, Sud de l'Europe et dans le Sud Est de l'Asie (VAN ALPHAN et ROMERO,1971).....	6
<b>Figure n°2</b> : Solubilité du gypse selon la taille de ses particules (FAO, 1990).....	13
<b>Figure n°3</b> : Profil salin lié à la présence d'une nappe profonde (MOHAMED et AMER in CHERBUY 1991) .....	26
<b>Figure n°4</b> : Localisation des profils étudiés (carte topographique de Biskra à l'échelle 1/50.000).....	33
<b>Figure n°5</b> : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN.....	36
<b>Figure n°6</b> : Diagramme pluviométrique de Pouget .....	37
<b>Figure n°7</b> : Esquisse litho-geologique ,extrait de la carte géologique de Biskra n°48.echelle 1/200 000.....	39
<b>Figure n°8</b> : Coupe géologique schématique (ABDESSELEM,1991).....	43
<b>Figure n°9</b> : Croquis géomorphologique de la région d'étude (ABDESSELEM, 1991) Echelle:1/50.000 .....	45
<b>Figure n°10</b> : Coupe hydrogéologique du Zab Gharbi en partie (MAUGET, 1967.....	48
<b>Figure n°11</b> : Représentation des solutions du sol sur le diagramme de PIPER .....	59
<b>Figure n°12</b> : Classification des eaux des nappes sur le diagramme de l'USSL modifié par Durand (1958, 1983).....	61
<b>Figure n°13</b> : Représentation des eaux des nappes sur le diagramme de PIPER.....	64
<b>Figure n°14</b> : profil salin du Profil 1.....	66
<b>Figure n° 15</b> : Profil salin du profil P2 .....	68
<b>Figure n°16</b> : Rses de sable .....	69
<b>Figure n°17</b> : profil salin du profil p3.....	71
<b>Figure n°18</b> :profil salin (3 <sup>ème</sup> type) p4 .....	73
<b>Figure n° 19</b> : relation entre la CE des sols et la CE des horizons inférieurs .....	77
<b>Figure n° 20</b> : relation entre les bicarbonates des sols et ceux des horizons inférieurs...77	
<b>Figure n° 21</b> : relation entre les chlorures des sols et ceux des horizons inférieurs.....78	
<b>Figure n° 22</b> :relation entre les sulfates des sols et ceux des horizons inférieurs.....78	
<b>Figure n° 23</b> : relation entre le sodium des sols et celui des horizons inférieurs.....79	
<b>Figure n° 23</b> : relation entre le magnésium des sols et celui des horizons inférieurs.....79	
<b>Figure n° 23</b> relation entre le calcium des sols et celui des horizons inférieurs.....80	

## Liste des tableaux

<b>Tableau n°1</b> : les sols gypseux dans la classification C PCS (1967).....	2
<b>Tableau n° 2</b> : Distribution des sols gypseux dans le monde.....	5
<b>Tableau n°3</b> : Influence de la température sur la solubilité du gypse.....	12
<b>Tableau n°4</b> : Influence de la concentration en Na Cl sur la solubilité du gypse.....	13
<b>Tableau n°5</b> : Action des chlorures de magnésium sur la solubilité du gypse.....	14
<b>Tableau n°6</b> : Relation entre la CEC des sols et la teneur de gypse dans la vallée de Balikh en Syrie (FAO, 1990).....	15
<b>Tableau n°7</b> : Développement de l'irrigation des sols durant les 200 dernières années (SZABOLCS, 1994).....	18
<b>Tableau n°8</b> : Classification des nappes phréatiques.....	23
<b>Tableau n°9</b> : Vitesse de remonté capillaire en fonction de la distance et de la texture du sol en mm / jour (SERVANT, 1978).....	27
<b>Tableau n°10</b> : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant (1977-2004).....	32
<b>Tableau n°11</b> : Températures moyenne mensuelles (1977-2004).....	34
<b>Tableau n°12</b> : Vitesse des vents pendant la période (1992-2001) .....	34
<b>Tableau n° 13</b> : L'humidité relative moyenne pendant (1971-1997) .....	35
<b>Tableau n° 14</b> : Le nombre moyen d'heures d'insolation (1971-1997).....	35
<b>Tableau n°15</b> : Evapotranspiration en mm (1977-2001).....	35
<b>Tableau n°16</b> : La conductivité électrique à 25 °C de différentes concentration de sulfate de calcium dans l'eau (POCH, 1989; RAYAN, ESTEFAN et RASHID, 2001).....	51
<b>Tableau 17</b> : Les analyses physico-chimiques du profil 1 .....	53
<b>Tableau 18</b> : Les analyses physico-chimiques du profil 2 .....	53
<b>Tableau 19</b> : Les analyses physico-chimiques du profil 3 .....	54
<b>Tableau 20</b> : Les analyses physico-chimiques du profil 4 .....	54
<b>Tableau n°21</b> : Bilan ionique de profil 1 .....	56
<b>Tableau n°22</b> : Bilan ionique de profil 2 .....	56
<b>Tableau n°23</b> : Bilan ionique de profil 3 .....	56
<b>Tableau n°24</b> : Bilan ionique de profil 4 .....	56
<b>Tableau n° 25</b> :les analyses des eaux des nappes.....	60

## **Introduction :**

Actuellement, les pays en développement souffrent, dans leur majorité, d'une crise d'insuffisance alimentaire due à la gestion des eaux ajoutées aux phénomènes de désertification et de salinité.

L'Algérie, classée comme zone semi-aride à aride du fait de l'importance de l'évapotranspiration par rapport aux précipitations, se distingue par un biotope caractérisé par des dépôts géologiques salifères et des nappes phréatiques ou artésiennes salées.

La superficie des zones arides et semi-arides couvre près de 95 % du territoire national (HALITIM, 1985).

Parmi les principaux types des sols de ces régions (sols calcaires, sols gypseux, sols salés), les sols gypseux sont peu connus. Ils sont insuffisamment considérés comme des sols ayant leurs particularités en termes de genèse et sont toujours associés au calcaire et plus souvent aux sels solubles.

En Algérie, les sols gypseux occupent 7966,3 km<sup>2</sup> (F.A.O, 1990). Dans les régions du Nord du pays, ils sont peu abondants et se localisent seulement dans les dépressions.

Très peu d'études ont été réalisées en Algérie sur ces types des sols surtout leurs relations avec les nappes qui sont très rares, malgré leur large distribution notamment dans les Zibans.

Ce travail porte sur les sols de Ain Ben Noui et les nappes correspondantes à ces sols.

La relation entre les nappes et les sols gypseux n'ont pas fait l'objet d'étude scientifique à l'exception des études préliminaires. En conséquence l'objectif de ce travail est de connaître la parenté des sels par rapport aux nappes et aux sols.

Nous essayons dans cette étude d'expliquer les relations entre les sels dissouts dans les nappes et la solution des sols.

Ce document s'articule sur trois parties :

- 1- La première porte sur une étude bibliographique.
- 2- La deuxième partie est consacrée aux matériels d'étude et aux méthodes utilisées avec l'étude du milieu physique.
- 3- Dans la dernière partie, nous avons présenté et interprété les résultats obtenus. Nous concluons ce travail par une conclusion générale.

## CHAPITRE I : Les sols gypseux

### 1-Définition

#### 1.1 Le gypse

Le gypse est un sel soluble (sulfate de calcium hydraté) ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), c'est le sulfate naturel le plus répandu dans la nature. Sa solubilité est de 2.6 g/l dans l'eau pure à 25°C et a une pression de 1 atmosphère (HERRERO et PORTA, 1990).

La présence du gypse dans les sols affecte la plupart de leurs propriétés, causant des problèmes physiques, chimiques et des problèmes de fertilité (MASHALI, 1996).

#### 1-2. Sols gypseux

Le terme "sol gypseux" est utilisé dans plusieurs sens selon la source consultée. La légende révisée de la carte du sol du monde (FAO, 1988) définit "sol gypseux" quand il contient 5 % ou plus du gypse.

### 2 Classification des sols gypseux :

#### 2-1 La classification française :

Selon la classification française, les sols gypseux sont classés comme suit:

**Tableau n°1** : les sols gypseux dans la classification C PCS (1967)

Classe	Sous classe	Groupe	Sous groupe
Sols calcimagnésiques	Sols gypseux	Sols gypseux rendziniiformes	-
		Sols bruns gypseux	Modal à encroûtement gypseux
Sols isohumiques	Pédoclimat frais	Sierrozems	A croûte gypseuse
Sols hydromorphes	Minéraux à peu humifères	A redistribution de calcaire et de gypse.	A encroûtement ou à nodules.

La classification française ne fournit pas des informations supplémentaires sur la classification de certains sols qui peuvent contenir une forte teneur en gypse tels que : les sols châtaîns, sols marrons, vertisols, sols sodiques, sols minéraux bruts des déserts chauds et sols gris subdésertiques.

La classification française a besoin d'être améliorée comme suit :

- 1) Définitions plus précises des groupes et sub groupes sont demandées.
- 2) Quantification des termes utilisés (exemples, encroûté, à nodules) est nécessaire. (FAO, 1990).

## **2-2 Classification Américaine:**

Pour l'identification des sols gypseux, la soil taxonomy exige la présence d'un ou deux horizons diagnostiques avec une forte teneur en gypse : horizon gypsic ou horizon petrogypsic.

Les sols gypseux sont classés en utilisant ces deux horizons dans l'ordre des Aridisols, sous ordre des Orthids, grand groupe des Gypsiorthids. Ces derniers sont subdivisés en quatre sous groupes : qui sont : Typic Gypsiorthids, Calcic Gypsiorthids, Cambic Gypsiorthids, Petrogypsic Gypsiorthids, (FAO, 1990).

La clef de la soil taxonomy :

La classification Américaine amendée par l'édition des clefs de soil taxonomy (SSS, 1996) classe les Aridisols en cinq sous ordres, parmi les quels on trouve les Gypsid qui comportent cinq grands groupes qui sont : Petrogypsid, Natrigypsid, Argigypsid, Calcid, Haplogypsid.

## **2-3 La classification F.A.O**

La légende révisée de la carte des sols du monde (FAO, 1988) introduit à la place des yermosols et xerosols et les Gypsisols. Ces derniers regroupent les sous unités suivantes :

- a) Petric Gypsisols : ce sont ceux ayant un horizon petrogypsic à moins de 100 cm de la surface.
- b) Calcic Gypsisols : ils possèdent un horizon calcic.
- c) Luvic Gypsisols : ils présentent un horizon argillic.
- d) Haplic Gypsisols : ils caractérisent les autres gypsisols.

### **3- Distribution des sols gypseux dans le monde :**

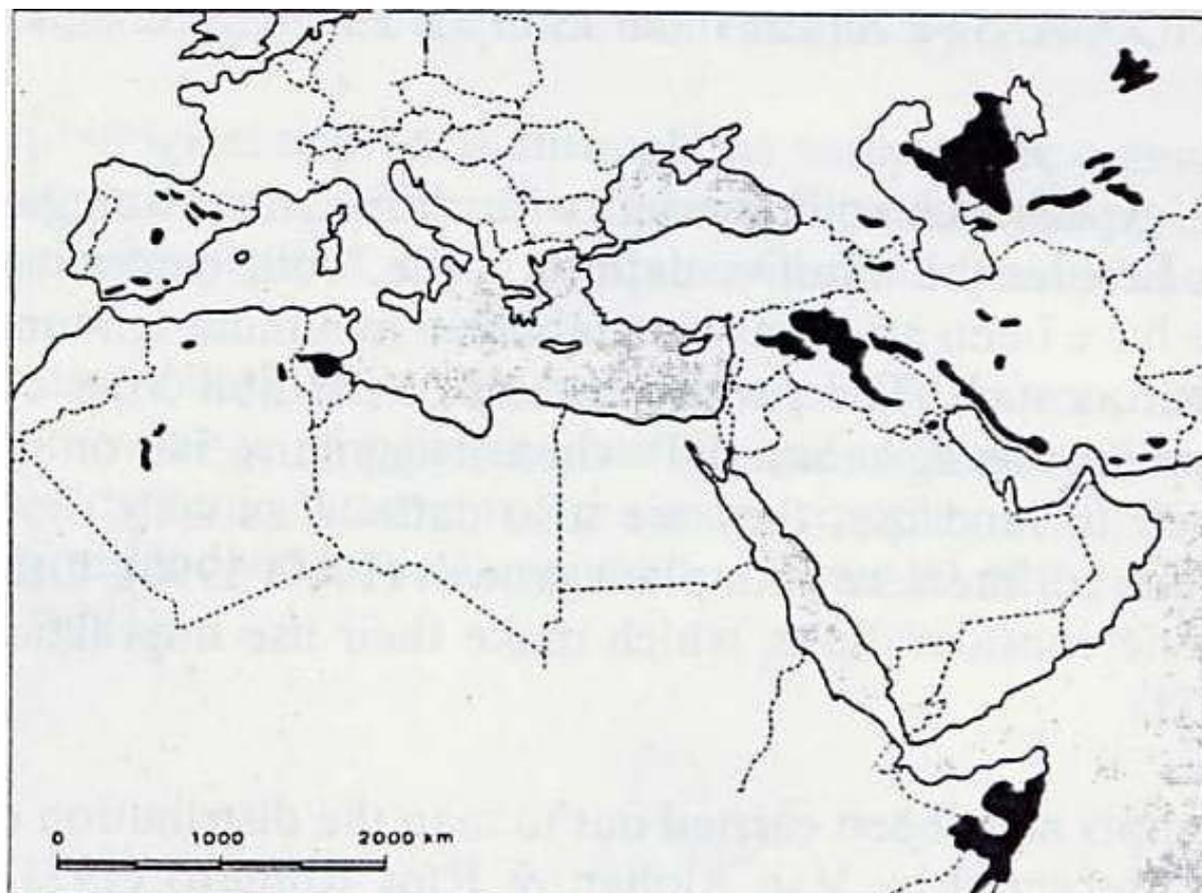
Les Aridisols occupent plus de 18 % de la surface terrestre et se sont les sols les plus communs dans le monde (BRADY, 1990), 200 millions d'hectares de la surface terrestre sont couverts par les sols gypseux (NETTLETON, 1991).

Les sols gypseux sont largement répandus dans le monde mais ils sont typiques des régions arides et semi-arides où les précipitations annuelles sont comprises entre 300 et 400 mm (FAO, 1990).

Le tableau (n°2) donne la distribution des sols gypseux à environ 45 % des sols gypseux dans le monde sont trouvés en Chine, Somalie et en Algérie. Ces sols se localisent essentiellement dans le nord de l'Afrique, Sud et Est de l'Europe, et du Sud –Est de l'Asie (VAN ALPHAN et RIOS ROMERO, 1971)(figure n°1).

Tableau n° 2 : Distribution des sols gypseux dans le monde

Continent	PAYS	Superficie km <sup>2</sup>	%par rapport au total des pays	% des régions des sols gypseux
AFRIQUE	Maroc	1114.3	2.5	1.7
	Algérie	7966.3	3.3	12.2
	Tunisie	1439.8	9.3	2.2
	Libye	3956.8	2.2	6.0
	Egypte	382.2	0.4	0.6
	Soudan	785.0	0.3	1.2
	Somalie	10161.2	16.2	15.5
	Ethiopie	1423.4	1.3	2.2
	Mali	2818.3	2.3	4.3
	Mauritanie	396.0	0.4	0.6
	Namibie	5327.7	6.5	8.2
Asie Sud	Syrie	3966.6	21.6	6.0
	Jordan	80.5	0.8	0.1
	Arabie saoudite	82.5	0.04	0.1
	Oman	471.6	-	0.7
	Yémen A.R.	2931.0	8.8	4.5
	Kuwait	354.6	-	0.5
	Iraq	4779.2	11.0	7.3
	Iran	4.2	-	-
	Pakistan	9.5	0.01	-
	Inde	182.0	0.06	0.3
Asie central	USSR	5074.1	0.2	7.7
	Mongolie	60.9	0.04	0.1
	China	11484.9	1.2	17.5
Europe	Turks	64.2	0.08	0.1
	Espagne	165.5	0.3	0.3
L'Amérique	Mexique	78.0	-	0.1



**Fig n°1** : Distribution des sols gypseux dans le Nord et l'Est de l'Afrique, Sud de l'Europe et dans le Sud Est de l'Asie (VAN ALPHAN et ROMERO, 1971).

#### **4-Répartition des sols gypseux en Algérie :**

Les sols gypseux sont très répandus en Algérie avec 8000 km<sup>2</sup> ce qui représentent 12% des sols gypseux du monde (FAO, 1990).

Dans les régions du Nord, ils sont peu abondants et se localisent seulement dans les dépressions, le gypse se présente sous forme discontinue (BERNOU, 1996).

La présence du gypse pédogénétique dans les sols dépend de la combinaison de nombreux facteurs tels que le climat, une source de cet élément (roches gypsifères, nappes peu profondes), des apports externes (éoliens et hydriques) et de la topographie.

Ceci explique pourquoi les sols gypseux sont relativement localisés et se confinent généralement dans les zones dépressionnaires (chotts) et autour des formations géologiques gypsifères de l'étage bioclimatique aride du Nord de l'Algérie (DJILI, 2000).

Au Sahara, la superficie cartographiée est estimée à près d'un million d'hectare (ministère de l'équipement in DAOUD et HALITIM, 1994).

#### **5-Origine du gypse dans les sols : (accumulations gypseuses)**

L'origine des ions sulfatés dans la solution du sol est due à la présence des minéraux riches en soufre tels que la pyrite dans le matériau parental, par altération et oxydation du minéral, le soufre se transforme en acide sulfurique et dans les sols calcaires CaCO<sub>3</sub> pour former le gypse (FAO, 1990).

Dans les terres irriguées, concernant les sols salés contenant les sulfates et le calcium dans la solution du sol conduisent dans certaines conditions à la précipitation et l'accumulation du gypse dans l'horizon profond (FAO, 1990).

Aussi, dans les sols salés, le gypse se précipite et s'accumule quand la conductivité électrique est inférieure à 60dS/m, la diminution de la conductivité électrique augmente la concentration de la solution du sol et la formation de dépôts de gypse (FAO, 1990).

#### **5-1 Origine des nappes :**

Par les mouvements ascendants, ce processus peut jouer pour trois raisons :

- Une ETP > P : La plus grande partie de l'année.
- Le niveau de la nappe proche de la surface, le niveau piezométrique de la nappe permettant un dépôt de gypse, est fonction de la texture et de la température mais aussi de la composition chimique de la nappe.
- Plus généralement une nappe saturée ou proche de la saturation en gypse.

### **5-2 Origine éolienne et lagunaire**

Selon HALITIM (1988), le gypse peut être d'origine éolienne lorsque le niveau de la nappe est à plus de 100 cm, ou en cas d'absence de toute indice de nappe ancienne.

Si l'encroûtement est pulvérulent, on pourrait suggérer une origine lagunaire.

### **5-3 Origine colluvionnaire :**

La formation de fentes de retrait dans les sols très argileux et le processus de dissolution et de recristallisation pourrait être à l'origine de leur intégration dans le matériau pédologique (HALITIM, 1988).

Les croûtes gypseuses apparaissent sous différentes formes, ils sont peut résistants à l'altération, la formation de matériaux microcristallines peut être causer par la pénétration des eaux de surfaces dans le sol (HACHICHA et al, 2005).

## **6 Le processus de la dissolution du gypse :**

La solubilité du gypse dans l'eau dépend de la composition chimique de la solution aqueuse, la température et la pression (ELORZA et SANTOLLALA, 1998).

Selon JACKUS (1977), dans l'eau distillée à 20°C, le gypse et halite sont respectivement 183 et 25,000 fois plus solubles que la calcite.

Des expériences de la température montrent qu'à la pression de 1 atmosphère, le gypse a une solubilité maximum entre 35°C et 40°C (HARDIE, 1967, BLOUNT et DICKSON, 1973, SONNENFELD, 1984, WHITE, 1988).

Un autre facteur qui influence la solubilité du gypse est le type et la concentration des ions dissous dans la solution aqueuse. L'effet salin produit une augmentation dans la solubilité du gypse par une grande concentration ionique (capacité ionique) de la solution, ce qui cause une augmentation dans l'activité des ions  $\text{SO}_4^{--}$  et  $\text{Ca}^{++}$  (ELORZA et SANTOLLALA, 1998).

Dans le développement de Karst, dans les formations de gypse, les facteurs physico-chimiques qui contrôlent le processus de dissolution sont reliés directement au groupe complexe des interactions des facteurs géologiques et environnementales qui sont:

### **6-1 Les facteurs géologiques :**

Facteurs lithologiques : texture, la taille et la géométrie des cristaux et/ou particules, structure interne, porosité, la présence des composants non solubles.

Facteurs stratigraphiques : l'épaisseur des formations gypseuses, les intercalations des composés non solubles, l'existence d'une couche de halite, la présence des aquifères adjacents.

Facteurs structural : la structure des formations gypseuses, plaines discontinues et leurs caractéristiques géométriques (extension, largeur, densité, orientation).

Facteurs géomorphologiques : configuration des reliefs, le temps de développement.

Facteurs hydrogéologiques : le type d'écoulement (écoulement interstitiel, écoulement dans un aquifère adjacent), le régime d'écoulement (laminaire ou turbulent), le temps de résidence de l'eau dans le système karstique, la composition chimique de l'eau.

### **6-2 les facteurs environnementaux :**

Les facteurs environnementaux sont reliés au climat, particulièrement à la précipitation et à la température. Les systèmes karstiques développés dans le gypse sont très sensibles aux variations climatiques (ELORZA et S ANTOLLALA, 1998).

## **7 Les propriétés physico-chimiques des sols gypseux :**

### **7-1 Les propriétés physiques :**

#### **7-1-1. La structure :**

La plupart des sols gypseux ont une structure peu favorable. La structure de surface est dominée par une couche massive ou fine. L'horizon gypsique peut être fortement cimenté avec une formation de croûtes dures s'opposant parfois à la circulation de l'eau et au développement des racines (FAO, 1990). Cependant HALITIM (1988) a montré que parfois le gypse pourrait jouer un rôle dans la structuration du matériau pédologique.

Les faibles teneurs en gypse ont un effet favorable sur le sol;

- En sols très argileux et très dispersibles, le gypse améliore l'infiltration, diminue l'érosion et augmente la floculation (VENTURA et al, 2001).
- En sols acides, le gypse change les propriétés de ces sols en déplaçant les ions  $Al^{++}$  et diminuant la toxicité par cet élément (FARINA et al, 2000); MALCON et SUMMER, (1990), TOMAS et al (1999).
- En sols sodiques : le gypse améliore la structure en déplaçant les ions  $Na^+$  du complexe absorbant et les remplaçant par les ions  $Ca^{++}$  il s'agit de désalinisation.

**7-2-2. Texture :**

Dans une étude sur les sols gypseux de l'Espagne, POCH (1992) indique que la texture est liée étroitement à la teneur en gypse. A des faibles teneurs, la texture est déterminée par le matériau parental. Cependant, l'augmentation des teneurs en gypse engendre, d'une part, la formation d'une texture à dominance de limons et de sable en raison d'une cristallisation grossière, d'autre part elle induit une diminution des teneurs en argile.

La somme des différentes tailles des fractions des horizons gypseux peut être moins de 100 % due à la déshydratation de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (durant le séchage à 105°C). (FAO, 1990).

Les facteurs les plus effectives qui influencent l'accumulation gypseuse sont la texture du sol, le type et la quantité des sels solubles et le carbonate de calcium (LABIB BAHNA, 1996).

L'estimation de la texture sous les conditions du champs est moins traitée à cause de la présence des cristaux du gypse dans les différentes fractions sableuses (FAO, 1990).

L'érosion des sols gypseux est un problème sérieux qui résulte d'une faible agrégation due à des faibles forces cohésives entre les particules du sol.

La dissolution du gypse et leur transport dans le profil du sol durant l'irrigation ou après les précipitations influence la plasticité, l'agrégation et la texture (MASHALI, 1996).

**7-1-3. Stabilité structurale :**

La teneur de 1 % de gypse a un effet favorable sur la stabilité structurale d'un sol salé et non carbonaté (SIDI et PANSU, 1990).

Quand le gypse se dissout, des petits trous et des fissures sont formés dans les couches de gypse qui s'élargissent graduellement jusqu'à la formation des cavités dans le substratum et dans le sous sol. Ces cavités croissent largement avec la dissolution du gypse et par conséquent, les matériaux de la couche superficielle perdent leur cohésion et leur stabilité et se dirigent vers le bas pour remplir ces cavités résultant dans la formation d'une surface irrégulière (MASHALI, 1996).

**7-1-4. résistance à la pénétration :**

Le taux de gypse est corrélé positivement avec la résistance de pénétration des matériaux des sols étudiés. Il est mieux corrélé avec Cl dans les sols contenant un peu de gypse ( $0-400 \text{ g kg}^{-1}$ ) que dans les accumulations massives. Evidemment dans les sols étudiés, l'augmentation de la résistance à la pénétration causée par le gypse est due au cristaux de gypse qui se trouvent dans

les pores préexistants qui réduisent le volume des vides réguliers et continus nécessaires pour la croissance des racines (POCH et VERPLANKE, 1997).

La résistance à la pénétration des horizons fortement gypseux est peut être un facteur d'une influence sur le développement des racines par lui même, indépendamment d'autres caractéristiques physiques ou chimiques de ces sols (POCH, 1992)

#### **7-1-5. Dynamique de l'eau dans le sol :**

##### **7-1-5-1. La rétention en eau :**

L'énergie de rétention de l'eau dans les sols gypseux est considérée selon de nombreux travaux semblables à celle des autres sols et l'eau utilisable par les plantes est évaluée dans la gamme de pression allant de 0,3 à 15 bars (FAO, 1990).

La capacité de rétention en eau diminue avec l'augmentation du taux de gypse dépendant de la structure du sol, la stratification, la texture, taux d'argile et le type, la taille des cristaux de gypse, surface d'évaporation, l'extraction des racines, la contribution des eaux souterraines et la conductivité hydraulique. L'effet du taux de gypse sur le mouvement et la rétention en eau apparaît d'être plus relié à leur effet sur la formation de différentes unités structurales que la capacité de la surface des particules de gypse de retenir l'eau (MASHALI, 1996).

##### **7-1-5-2. Mouvement de l'eau dans le sol :**

Dans la plupart des sols gypseux, les mouvements de l'eau sont modérés à rapides, sauf dans les horizons à encroûtement gypseux, où les mouvements descendants sont entravés (FAO, 1990).

Dans l'étude des sols d'Iran, NEJDHASHEMI et al (2000), notent que la perméabilité des sols gypseux est fonction de la texture et la forme de la cristallisation du gypse. Cependant, elle peut diminuer, augmenter ou rester constante durant la filtration. Le coefficient de perméabilité est élevé au début puis diminue graduellement jusqu'à une valeur constante, ceci est dû au mouvement des particules de sol et à la solubilisation du gypse.

La présence du gypse n'implique pas de comportement spécial sur la conductivité hydraulique, elle est plutôt influencée par la taille et la distribution des cristaux du gypse (POCH, 1996).

**7-2. Les propriétés chimiques :****7-2-1. pH :**

Les Gypsisols riches en sable grossier ont des valeurs faibles avec un pH de 7,6 à 7,8 et les sols affectés par les sels avec une CE de 16 à 18 dS/m ont des valeurs élevées de pH ( 8,3 – 8,6) (FLOREA et AL JOUMAA, 1998).

**7-2-2. La déshydratation et réhydratation du gypse :**

Selon VIEILLEFON (1979), le gypse se déshydrate à des températures relativement peu élevées. La déshydratation commence à 40°C et s'accélère à 60°C, pour donner du plâtre dont la réhydratation à l'eau est relativement aisée.

Dans les milieux géologiques, les deux minéraux les plus répandus sont le gypse ( $\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) et l'anhydrite ( $\text{Ca SO}_4$ ).

Le premier semble exister seul dans les sols, sauf dans certains déserts chauds. (VIEILLEFON 1979) .

**7-2-3. La solubilité de gypse :****7-2-3-1. Solubilité du gypse dans l'eau pure :**

La solubilité du gypse dans l'eau pure varie selon la température (elle est maximale entre 35 et 40°C) avec environ 2,1 g/l (tableau n°3) La solubilité de la forme semi-hydratée ( $\text{Ca SO}_4, 0,5 \text{H}_2\text{O}$ ) est 5 fois plus grande.

**Tableau n°3 :** Influence de la température sur la solubilité du gypse.

T°C	5	10	18	25	30	35	40	55	75	100	107
<b>CaSO<sub>4</sub></b>	0.1756	0.2016	0.2016	0.2085	0.2095	0.2105	0.2108	0.2083	0.1880	0.1690	0.1630
<b>g/l</b>											

La solubilité du gypse dépend de la taille des particules. Elle croit avec la finesse des particules (fig n°2).

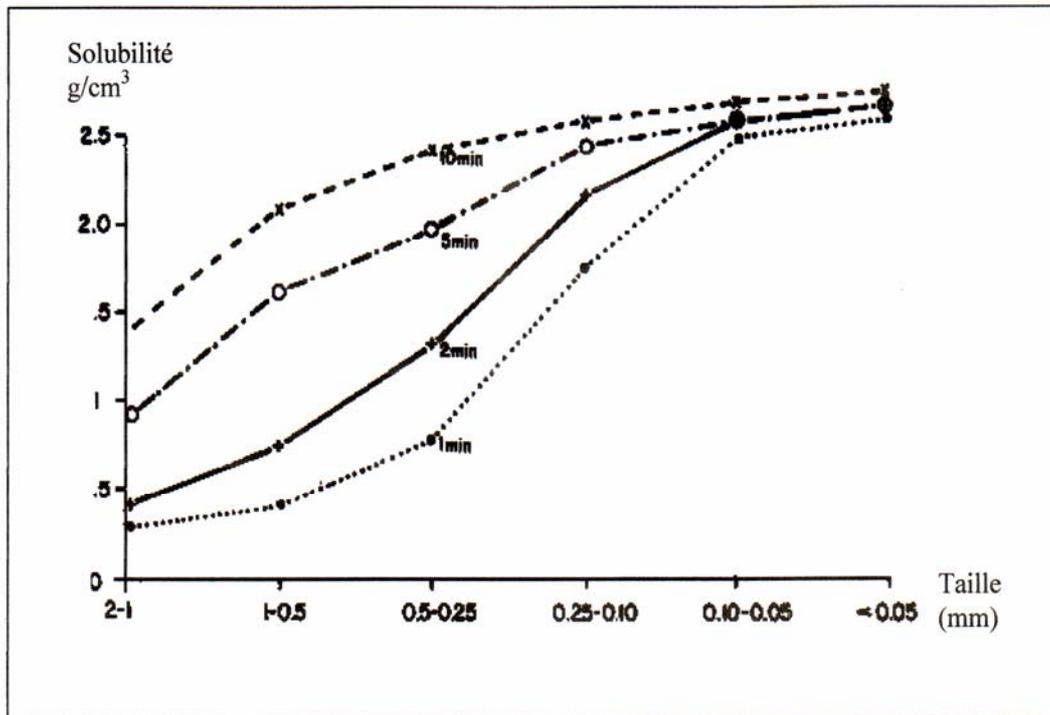


Figure n°2 : Solubilité du gypse selon la taille de ses particules (FAO, 1990).

### 7-2-3-2. La solubilité du gypse dans les solutions salines :

La solubilité du gypse à des températures ambiantes est de l'ordre de 2g/l, elle augmente jusqu'à 7 g/l dans les sols contenant 120 à 130 g/l de chlorure de sodium et de magnésium, elle diminue ensuite pour les solutions plus concentrées, c'est l'effet d'ion commun, la solubilité du gypse diminue. Tableau (4-5).

Les chlorures de magnésium augmentent la solubilité du gypse dans des proportions comparables et même supérieure à celle des chlorures de sodium (tableau n°4 et n°5).

Tableau n°4 : Influence de la concentration en Na Cl sur la solubilité du gypse

Concentration en g/l							
NaCl	0	2.925	14.62	58.5	131.6	206.7	292.6
CaSO <sub>4</sub> 14°	1.10	2.79	3.68	5.72	7.20	6.30	5.30
20°	2.10	3.15	4.00	6.00	7.30	6.30	5.30

**Tableau n°5 : Action des chlorures de magnésium sur la solubilité du gypse**

Gramme/litre de solution	
MgCl <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub>
0.00	2.08
8.50	4.26
19.18	5.69
46.64	7.58
121.38	8.62
206.98	6.57
337.00	2.77
441.10	1.39

#### 7.2.4 Relation gypse calcaire :

La plupart des sols gypseux contiennent le carbonate de calcium en différentes quantités, le gypse et le carbonate de calcium ne sont pas indépendants l'un de l'autre. Il est observé que quand la teneur de carbonate de calcium diminue, la teneur en gypse augmente. Ceci peut être dû en fait à la différence de solubilité entre les deux sels (FAO1990).

#### 7.2.5 La capacité d'échange cationique :

Les particules de gypse ne possèdent pas de charge négative et par conséquent la CEC totale des sols gypseux diminue quand la teneur du sol en gypse augmente. Un exemple des sols gypseux de la vallée du Balikh en Syrie est donné dans le tableau (n° 6) (FAO, 1990).

**Tableau n°6:** Relation entre la CEC des sols et la teneur de gypse dans la vallée de Balikh en Syrie (FAO, 1990)

Gypse %	0	10	25	50	75
CEC meq/100g	24	21	18	11	5

Dans la vallée de l'Ebro en Espagne, POCH (1992) montre que la CEC des sols gypseux étudiés est faible.

Dans les horizons hypergypses, la CEC est faible variant de 1 à 8 meq/100g de sol. POCH a retrouvé une corrélation négative entre les teneurs en gypse et la CEC.

Généralement, la CEC des sols gypseux dépend de la teneur en matière organique, de la texture, et du type de minéraux argileux.

Selon MASHALI (1996), la capacité d'échange cationique diminue avec l'accroissement des quantités de gypse.

### **8 .Fertilité des sols gypseux :**

Les sols gypseux sont considérés comme peu fertiles, et montrent des rendements relativement bas à cause, notamment, de leur mauvaises propriétés physiques et du déséquilibre dans le prélèvement des éléments nutritifs par les racines des plantes. En effet, dans les sols gypseux, l'activité de calcium est plus élevée que celle des sols calcaires en raison de la solubilité considérable du gypse.

La présence de l'ion calcium affecte énormément la solubilité des autres éléments tels que : P, K, Mg, Fe, Mn, Zn, etc. (FAO, 1990).

A cause de la diminution des précipitations et la teneur faible d'humus et des éléments nutritifs, les Gypsisols ont une faible fertilité. La teneur forte en gypse affecte la mobilité et la disponibilité de P, K, Mg, Fe, Mo, Zn pour les plantes (FLOREA et AL JOUMAA, 1998).

## **9 .Effet du gypse sur le sol et la plante :**

Selon MASHALI (1996), la présence des teneurs élevées en gypse dans la rhizosphère affecte la teneur et la disponibilité des éléments nutritifs par:

- changement de la forme de l'élément nutritif dans le sol (fixation des micro nutritifs en formes indisponible ou la précipitation du phosphate).
- Pertes d'éléments nutritifs (cation et anion); la solution du sol a une grande concertation en  $Ca^{++}$  ce qui conduit à une libération successive du K et Mg du complexe absorbant.
- Le gypse peut être la cause de la formation d'un horizon imperméable qui gêne le développement du système racinaire.

Les amendements gypseux contribuent à augmenter la conductivité hydraulique des sols en diminuant les effets du sodium échangeable (CHAUHMAN, 1992) particulièrement dans les sols salins alcalins (ZAHOW et AMRHEIN, 1992, BATRA et al, 1997).

NORTON (1997) montre que le gypse améliore l'infiltration et diminue l'érosion, le gypse joue également un rôle dans le changement des propriétés des sols acides (SUMMER, 1993).

## **10. Problème d'analyse des sols gypseux**

Les méthodes classiques d'analyse des sols s'appliquent difficilement aux sols gypseux, notamment en ce qui concerne la granulométrie et les mesures d'humidité et de pF, en raison de certaines propriétés particulières du gypse qui concourent notamment à fausser :

L'analyse granulométrique, par suite de floculation, de pertes de poids au séchage et d'inadéquation des paramètres de prélèvement.

- Les mesures de l'humidité et de pF, par déshydratation plus ou moins complète.
- Les dosages du gypse lui-même, par suite de la présence éventuelle des fractions plus ou moins déshydratées qui ne sont pas pris en compte par le dosage chimique qui porte sur les ions  $SO_4^-$  (VIEILLEFON, 1976).
- La CEC et les bases échangeables.

Par sa solubilité, le gypse libéré des ions  $Ca^{++}$ , ce qui conduit à une sur estimation des bases échangeables, surtout le calcium.

## **Chapitre II : Les sols salés**

### **1-Introduction :**

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde. On les trouve essentiellement dans les régions sèches (arides et semi arides et méditerranéennes) (CHERBUY, 1991)

La salinité constitue pour les zones arides et semi arides un handicap pour le développement agronomique et socio- économique.

Les facteurs de la formation des sols salés sont nombreux. Ils peuvent être purement climatiques (température, niveau des précipitations, absence du drainage, composition de la roche mère) ou induits par l'homme (utilisation de l'eau saline dans l'irrigation, amendements excessifs) (SALIM et TESSIER, 1998)

### **2- Les sols des régions arides et semi arides**

Ce sont des régions où les précipitations sont moindres que l'évapotranspiration, au moins durant une période plus ou moins longue de l'année. D'après Emberger, on peut distinguer trois domaines d'aridité d'après la pluviométrie annuelle.

- Le domaine hyper aride ( $p < 100$  mm)
- Le domaine aride ( $100 < p < 300 - 400$  mm)
- Le domaine semi aride ( $300 - 400 < p < 600$  mm)

Les sols dénommés, sols arides ou aridisols dans la classification Américaine sont en général peu développés sur le plan morphologique et ont une structure très instable du fait des variations brutales de température et d'humidité (ROBERT, 1996).

### **3- La salinisation des sols problème à l'échelle du globe**

La salinisation des sols réduit déjà, ou menace à court terme une partie non négligeable des superficies cultivables du globe. Ce phénomène correspond à l'accumulation excessive des sels très solubles (chlorures, sulfates, carbonates, de sodium ou de magnésium) dans la partie superficielle des sols ce qui se traduit par une diminution de la fertilité des sols (STENGEL et GELIN, 1998)

On estime que 6.5% des terres du globe, soit 9 millions de Km<sup>2</sup>, sont déjà, affectés par ce phénomène. Ce pourcentage passant à 39% dans les zones arides (QIGUO, 1994). Ce phénomène de salinisation des sols touche d'abord les régions arides, mais on peut observer des phénomènes de salinisation dans tous les continents, dans toutes les ceintures climatiques du globe (SZABOLCS, 1994).

Le risque de voir de nouvelles terres perdues par salinisation s'est fortement accru depuis 20 ans par suite du très fort développement de l'irrigation. Les superficies irriguées ont été multipliées par quatre depuis 1949, pour atteindre aujourd'hui plus de 270 millions d'hectares (tableau n° 7)

**Tableau n°7** : Développement de l'irrigation des sols durant les 200 dernières années (SZABOLCS, 1994)

<b>Superficies irriguées dans le monde</b>	
<b>Année</b>	<b>Superficies irriguées (millions d'hectares)</b>
1800	8
1900	48
1949	92
1959	149
1980	230
1990	265
2000	350

#### **4- Salinité et sodicité des sols :**

##### **4-1 Généralités :**

On parlera en général de sol salé lorsque la concentration en sels des solutions dépasse 0.5 g/l, Cette concentration est le plus souvent mesurées par la conductivité électrique (CE) de la solution du sol saturé exprimée en millimhos/cm ou actuellement en décisiemens / m (ROBERT, 1996).

Un sol est dit salé quand la conductivité électrique CE, est supérieur à 4 dS /m, cependant la salinité d'un sol s'apprécie plus par le comportement des plantes de sorte que cette limite peut être très différente selon la sensibilité des espèces végétales (CALVET 2003).

D'après CHERBUY (1991) la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être soit un matériau géologique, soit l'eau de mer, soit une nappe phréatique salée par héritage, soit l'eau d'irrigation.

## **4-2 Les principales sources de sels venant contaminer les sols**

### **4-2-1 Facteurs intervenant dans le processus de salinisation**

La salinisation est le processus conduisant à l'apparition ou à l'accroissement de la salinité.

WYN – JONES et GUNSTON (1991) citent quatre principales causes de salinisation des terres cultivées, ils citent la qualité médiocre des eaux d'irrigation, L'insuffisance d'eau pour lessiver les sels et la faible profondeur de la nappe phréatique. KUST (1997) conclut que la répartition des sels dans le profil est régie par le niveau des eaux souterraines et la durée de la sécheresse.

### **4-2-2 Les grandes origines de la salinité :**

Quatre sources principales de sels risquant de s'accumuler dans les sols peuvent être identifier (STENGEL et GELIN, 1998)

- **L'océan** par l'intermédiaire de l'atmosphère, qui peut véhiculer des sels dissous dans l'eau de pluie, mais surtout de très fines particules hygroscopiques sous forme d'aérosols.
- **La lithosphère** du fait de l'altération des roches constituant les îles océaniques ou la croûte continentale.
- **L'altération des minéraux** est la source naturelle dominante (CALVET, 2003). Leur intensité est maximum lorsque le drainage permet de renouveler les solutions d'attaque et d'évacuer les produits dissous (BOURRIER et LELONG, 1994).
- **Les sels fossiles** c'est l'origine principale des phénomènes de salinisation primaire observée à travers le globe.

Il peut s'agir soit de niveaux évaporitiques (roches), soit des solutions du sol salées emprisonnées dans des sédiments d'origine marine (STENGEL, GELIN, 1998).

- **Les apports anthropiques:** on remarque que l'homme intervient par des apports directs des sels utilisés comme fertilisants (KCl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub>..) mais aussi par des modifications globales ou régionales des apports atmosphériques du climat et des régions hydrologiques, au travers notamment des aménagements hydrauliques et des défrichements (STENGEL et GELIN, 1998).

### 4-3 Les grandeurs utilisées pour caractériser les sols salés

#### 4-3-1 La conductivité électrique CE:

La présence d'ions en solution est à l'origine d'une conductivité électrique ; c'est pourquoi cette propriété est utilisée pour caractériser les sols. Plus la quantité des sels dissous est grande et plus la CE de la pâte saturée est grande (CALVET, 2003) généralement la CE s'exprime en dS /m.

La salinité peut s'exprimer en g/l de NaCl en utilisant la formule approchée :

$$1 \text{ mmhos / cm} = (58.12)/100\text{g / l de NaCl}$$

#### 4-3-2 Quantité de sodium absorbé :

La sodicité d'une eau est la propriété de cette eau à modifier le pourcentage des cations échangeables et notamment d'augmenter le pourcentage de Na<sup>+</sup> quand elle est mise en contact prolongé avec le sol GAPON in CHERBUY (1991) montre une relation entre le taux de Na<sup>+</sup> échangeable d'un sol en équilibre avec sa solution saline et le taux de Na<sup>+</sup> de cette solution, cette relation dépend de l'expression :

$$\text{SAR} = \left[ \frac{\text{Na}^+}{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}} \right] \frac{1}{2}$$

### 4-3-3 Le pourcentage de sodium échangeable (ex changeable sodium percentage ESP)

Il représente le pourcentage de sodium présent sur le complexe d'échange.

$$\text{ESP} = \frac{100 \text{ Na (meq / 100g)}}{\text{CEC (meq / 100g)}}$$

## 4- 4 Les conséquences de la salinité

### 4-4-1 L'effet sur la structure du sol

Les cations sodium tendent à provoquer la destruction de la structure en favorisant la dispersion des colloïdes minéraux. D'une façon générale, la dispersion dépend de deux facteurs.

- 1- La quantité de cations  $\text{Na}^+$  adsorbés (ESP) dont l'augmentation favorise la dispersion
- 2- La concentration de la solution saline au contact de la phase solide, dont l'augmentation limite la dispersion (CALVET, 2003)

### 4-4-2 L'effet sur les plantes :

Les grandes concentrations en sels dissous dans la solution du sol ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et de l'oxygène.

Elles ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes.

Les effets néfastes des sels sur les végétaux ont plusieurs causes dont aucune ne semble être dominante :

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

### 4-5 Mise en valeur des sols salés :

Indépendamment du facteur économique qui doit nécessairement être pris en compte, la mise en valeur des sols salés va dépendre des processus physico- chimiques qui les affectent.

- Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

\* L'élimination des sels en excès (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée).

Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.

\* L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.

\* La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en  $\text{Ca}^{+2}$  échangeable.

\* Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (GIRARD et al, 2005).

### **Conclusion**

Les sols salés présente vis-à-vis de leur environnement naturel ou anthropisé des contraintes variées dans leur intensité et leur extension.

La salinité des sols est un véritable handicap pour le développement agricole, elle est accentuée dans les zones arides et semi arides (tel que les Zibans) où certains facteurs sont plus présentés. La température élevée ce qui conduit à une augmentation de l'évapotranspiration, les précipitations faibles, la durée de la sécheresse et les nappes jouent un rôle dominant dans la salinisation des sols .les sels ont des effets néfastes sur le sol et les plantes.

## CHAPITRE III : Les nappes d'eau

### 1-Introduction

L'eau commande l'agriculture plus que les autres activités dans cette planète. Actuellement, environ 65% de l'eau dans le monde est utilisée pour l'irrigation (POSTAL, 1997).

En Tunisie, sur les 340.000 ha de périmètres irrigués, environ 30 % sont affectés par une nappe superficielle salée (HACHICHA et al, 1997)

### 2- Origine des nappes phréatiques :

Selon MERRAD (1998), L'existence d'une nappe phréatique à faible profondeur (30cm) est liée à un mauvais drainage des eaux, la pluviométrie ne peut pas être évoquée pour expliquer leur maintien tout au long de l'année sous un climat aride.

Une alimentation continue dans le temps rend possible leur existence. La texture du sol (horizon à texture fine, compact et peu drainant), et la topographie jouent un rôle non négligeable pour favoriser la présence d'une nappe.

La pluie, l'irrigation, la végétation et l'écoulement latéral sont les principaux apports alimentant les nappes phréatiques.

### 3- Classification des nappes phréatiques

En fonction de l'extrait sec FLOREA (in SERVANT et SERVAT ,1966) donne la classification suivante :

**Tableau n°8: Classification des nappes phréatiques**

<i>Extrait sec (g/l)</i>	<i>Différents types de nappes</i>
< 0.5	<i>Nappe douce</i>
0.5-4.5	<i>Nappe très faiblement salée</i>
4.5-10	<i>Nappe faiblement salée</i>
10-25	<i>Nappe moyennement salée</i>
25-45	<i>Nappe fortement salée</i>
45-100	<i>Nappe très fortement salée</i>
>100	<i>Nappe excessivement salée</i>

#### **4- Les conditions favorisant la présence des eaux souterraines :**

D'après MABILOT (1995), l'eau se trouve dans le sol soit dans des roches compactes et fissurées, soit dans des formations non cimentées.

Les mouvements des eaux souterraines sont conditionnés par des caractéristiques hydrodynamiques (transmissivité, capacité de réserve et gradient hydraulique) de l'aquifère (SANCHEZ et al, 2000)

#### **5- Origine de la salinité des eaux souterraines**

D'après SUBIANI (2004), quelques origines de la salinité des eaux souterraines sont :

- L'évaporation intensive de la surface des eaux d'irrigation qui conduit à la précipitation des sels. Exemple. La calcite, dolomite et le gypse particulièrement affectent les eaux souterraines à certaines profondeurs.
- Le taux de recharge est un autre facteur contribuant à l'augmentation de la salinité (environ 10% des précipitations annuelles en Arabie Saoudite.
- Le problème de la salinité peut être dû aux matériaux fins dans la formation de l'aquifère.

#### **6- Caractéristiques des eaux phréatiques :**

##### **6-1 Salinité globale :**

La conductivité électrique est liée à la pression osmotique ( $P_0$ ) par la formule suivant où K dépend de la nature du sol

$$P_0 = KCE \quad K = 0.35 \text{ pour Na Cl} \quad K = 0.30 \text{ pour Na}_2\text{SO}_4 \quad K = 0.28 \text{ pour Mg SO}_4.$$

##### **6-2 Sodicité :**

La sodicité d'une eau traduit la propriété qu'à cette eau pour modifier la proportion des cations échangeables d'un sol et en particulier d'augmenter la proportion de sodium, le paramètre le plus connu est le SAR.

#### **7- Chimie des eaux souterraines**

L'accroissement de la salinité est attribué aux processus de dissolution mise en évidence par l'augmentation des teneurs en Cl, SO<sub>4</sub>, Ca<sup>++</sup> et Na<sup>+</sup>.

Les aquifères sont directement rechargés par des précipitations locales et l'eau douce se mélange progressivement aux eaux salées.

Ces aquifères présentent des eaux à faciès bicarbonaté calcique et bicarbonaté sodique dans les quelles  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$

### 8- Les facteurs contrôlant la composition chimique des eaux

Il y a beaucoup des sources possibles qui donnent des sels aux environnements salins, ces sources incluent l'eau de mer, la dissolution des roches, l'eau souterraine, l'eau de surface (inondations), les pluies et les processus éoliens. Une fois l'eau arrive au réservoir de l'eau saline, leur salinité augmente par le mécanismes d'évaporation et ou freezing. Les deux processus responsables de la perte de l'eau, la diminuent en volume et augmentent la salinité (YECHELI et WOOD, 2002)

La chimie des eaux peut être changée par des processus différents :

\* **Précipitation des sels** : ceci est l'égout des sels dans des différents systèmes évaporites, une précipitation séquentielle accordant au degré de saturation pour des sels différents suivant l'évaporation (EUGSTER et HARDIE, 1978) va changer les eaux salines résiduelles dépendant de la composition chimique originale et des minéraux spécifiques qui se précipitent.

#### \*Les processus de précipitation / dissolution :

Un des processus connu est la dolomitisation où la calcite se dissoute et la dolomite se précipite. Dolomitisation va augmenter la concentration de calcium dans les eaux salines et peut causer la précipitation du sulfate de calcium.

#### Les échanges d'ion:

Il est important dans le contrôle des taux des sels dans l'eau (APPELOT et POSTMA, 1993). Il faut noter que ce processus est probablement moins effectif dans des eaux fortement salins car la capacité d'ions spécifiques de l'argile est petite par rapport aux ions des eaux salines.

#### \*Réaction de réduction associée avec la matière organique:

Peut être responsable pour les changements dans la chimie (JONES et al, 1999) particulièrement à l'interface entre les composées des eaux douces et salines (CUSTIDIO et al, 1987).

### 9- Les eaux souterraines et ses effets sur la salinité du sol

Le phénomène de salinisation peut être lié soit à la présence d'une nappe salée permanente en profondeur, susceptible de remonter par capillarité dans les horizons

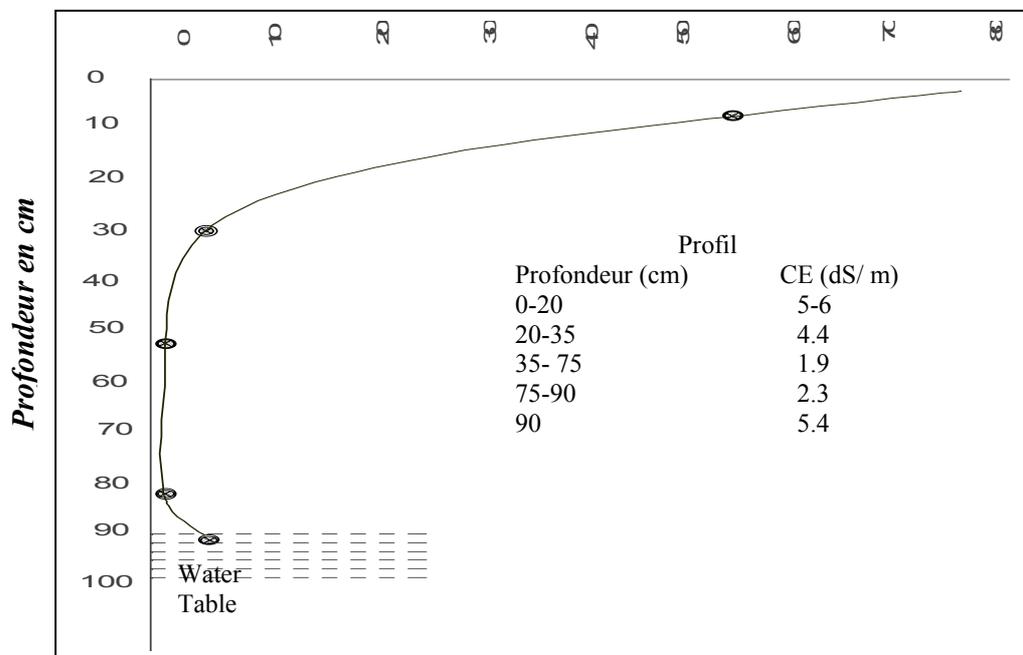
Supérieurs, soit à la présence d'un sol très peu perméable à faible drainage naturel (sol argileux) (CHERBUY, 1991).

### 9-1 Dynamique des eaux et des sels :

D'après CHERBUY (1991), les origines de la salinité se répartissent entre une origine externe (c'est le cas de la submersion par les marées et de l'irrigation) et une origine interne : par remontée du niveau d'une nappe salée soit par remontée capillaire.

Le profil salin lié à la présence d'une nappe peu profonde est représenté sur la (figure 3)

*CE en dS / m*



**Figure n 03 :** Profil salin lié à la présence d'une nappe profonde (MOHAMED et AMER in CHERBUY 1991)

**Tableau n°9 :** Vitesse de remonté capillaire en fonction de la distance et de la texture du sol  
En mm / jour (SERVANT, 1978).

<i>Distance à la nappe (cm)</i>	<i>Texture du sol</i>			
	<i>A et AL</i>	<i>L</i>	<i>LS</i>	<i>S</i>
25	10	10	Forte	10
40	4	3	Forte	2.5
50	2.5	1	Forte	1.0
75	1	-	Forte	0.5
100	0.5	-	10	0.2
150	0.2	-	1.4	-
200	-	-	0.5	-

L'importance de l'ascension capillaire dépend :

- de la salinité de la nappe
- du bilan P/ ETP
- de la conductivité hydraulique du matériau vis-à-vis de la solution saline qui dépend de la structure et de la texture du sol.

Le tableau (n°8) montre que la vitesse de remonté capillaire est particulièrement élevée dans les sols de texture limono- sableuse.

La distance à laquelle il apparaît nécessaire de maintenir le plan d'eau pour que la vitesse de l'extension soit inférieure à 0.5 mm/ jour est appelée profondeur critique de la nappe (SERVANT in CHERBUY 1991).

### 9-2 Effet des nappes sur la salinisation des sols

KUST (1997) montre que la répartition des sels dans le profil est régie par :

- Le niveau des eaux souterraines
- La durée de la sécheresse

YOU et al (1992) suggèrent que l'accumulation des sels en surface dépend de la profondeur de la nappe de la texture du sol.

Dans une étude sur le périmètre de Kalaât Landelouse (Tunisie) .HACHICHA et al (1997) montrent les résultats suivants :

- Les profils salins sont faiblement salés et descendants pour certains et à accumulation de sels vers 1 m de profondeur pour d'autre.

D'après Bach Hamba (1992), les faciès géochimiques sont chlorurés sodiques à chloruro-sulfatés calciques et sodiques.

- La salinité de la nappe et celle du sol sont hautement corrélées en profondeur et faiblement en surface.
- A proximité de la nappe, le sol s'enrichit en chlorure et en sodium. Néanmoins, les solutions possèdent une réserve en gypse leur évitant la sodisation, l'horizon superficiel se déstalinise en hiver.
- Le fonctionnement des sels avant leur mise en eau est tributaire d'une part du régime de la nappe et d'autre part de l'effet lixiviant des pluies (HACHICHA et al, 1997)

#### **10- Utilisation des eaux sodiques salines durant la phyto- remediation des sols sodiques salins calcaires**

La salinité et la sodicité sont les problèmes concernant la qualité des eaux et du sol dans certaines régions.

L'amélioration des sols salins sodiques a besoin d'une source de calcium qui peut remplacer l'excès en sodium échangeable.

La plupart de ces sols contiennent la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) de très faible solubilité. La calcite native n'a pas procuré les niveaux adéquat de  $\text{Ca}^{++}$  pour l'amélioration du sol comme les amendements chimiques, La phyto remediation peut aider certains sols améliorés durant la cultivation de quelques plantes tolérantes à la salinité et sodicité du sol. Cette stratégie d'amélioration travaille au temps de développement des racines pour aider la dissolution de  $\text{CaCO}_3$  pour fournir le  $\text{Ca}^{++}$  adéquat sans l'application d'un amendement (GHAFOOR et MURTAZA, 2001)

**11- Les accumulations a l'origine de nappe :****11-1 Les accumulation gypseuses**

Les travaux de DUBOST (1991) dans la région des Zibans confirment qu'à la zone de fluctuation de la nappe phréatique, il se forme habituellement deux horizons distincts, l'un gypseux entre 50 et 110 cm de profondeur (DEBDEB) et l'autre calcaire entre 110 et 150 cm.

**11-2 Les accumulations calcaires :**

Les eaux d'infiltration ou les eaux de nappe saturées en calcium remontent par capillarité pendant la saison estivale et déposent le  $\text{CaCO}_3$  dans les horizons supérieurs du sol (OTHMAN, 1998)

**11-3 Le salant blanc:**

Quand la nappe est très minéralisée et proche du sol, une accumulation sous forme de salant blanc devient très fréquente.

**12-Relation entre la nappe et les sols gypseux :**

L'existence de nappes artésiennes de débit, salure et profondeur variables reste une caractéristique extrêmement importante comme source et agent vecteur du gypse .En effet, l'influence de la nappe se manifeste par la salure élevée des horizons de surface et la présence de petits amas gypseux friables occupant les espaces restreints laissées disponibles.

Le taux de gypse est plus élevé dans l'horizon supérieur de la croûte alors qu'elle n'est pas ou très peu calcaire (POUGET, 1968).

**13-Le gypse dans les milieux salins :**

Dans les sols de la Sebkha, même si les solutions de sols et les eaux des nappes sont géochimiquement saturées vis-à-vis du gypse, il n'y a pas pour autant de dépôt de gypse en croûtes et encroûtements (HAMDI-AISSA, 2001),

Le gypse reste donc en phase liquide. Deux facteurs peuvent être à l'origine de l'inaptitude de sa cristallisation :

- La faible CEC des sols, toujours très sableux, limite au maximum le phénomènes d'échanges (POUGET, 1968). La dynamique du gypse se réduit donc à un échange constant entre la phase liquide et la phase solide cristallisée.
- Un deuxième facteur très important est l'augmentation de solubilité du gypse en milieux salés. Le taux de gypse en solution et son produit de solubilité augmentent corrélativement avec la teneur en chlorure et la température (Zen, 1965;

NAKAYAMA, 1971; JAUZAIN, 1974) alors que le  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  diminue la solubilité du gypse.

#### **14-Rôle des eaux des nappes dans la dissolution et précipitation de gypse :**

Selon POUGET (1968), la nappe phréatique suffisamment proche de la surface permet une remontée capillaire des solutions salines et entraîne un dépôt de gypse dans les horizons supérieurs du sol. Ainsi, l'irrigation avec une eau très salée et riche en sulfates entraîne une précipitation de gypse en amas fins dans les pores, immédiatement au dessous de l'horizon de labour.

Lors que le flux hydrique des eaux sous saturées par rapport au gypse, circulent d'amont en aval (cas des eaux phréatiques) ou par ascension (artésianisme, pour le cas des eaux du continental intercalaire ou encore sous forme d'eaux d'irrigation cas de complexe terminal et de continental intercalaire), ces eaux peuvent donc dissoudre à des degrés différents, le gypse préexistant dans les horizons gypsiques de subsurface, pour le redéposer ailleurs (HAMDI-AISSA, 2001). Ce cycle de dissolution peut engendrer les figures de dissolution des cristaux de gypse et de néo cristallisation. Stimulé par la Présence non excessive du sodium, le gypse néoformé cristallise généralement sous forme lenticulaire (Watson, 1985).

**Conclusion**

Les sols gypseux sont largement répandus dans les zones arides et semi-arides où la pluviométrie est insuffisante pour évacuer le gypse des profils.

Les milieux gypseux se caractérisent par leurs propriétés physiques et chimiques particulières :

- une faible stabilité des agrégats.
- Une faible rétention en eau qui est sous la dépendance du taux d'argile d'une part et de la teneur et la dimension des cristaux du gypse d'autre part.
- La capacité d'échange cationique est diminuée avec l'augmentation des teneurs en gypse.

Les fortes teneurs en gypse ont un effet défavorable sur la croissance des plantes, cependant, le gypse en petites quantités a un effet bénéfique sur les propriétés physiques chimiques et biologiques des sols.

Les méthodes classiques d'analyses des sols gypseux s'appliquent difficilement à cause de certaines propriétés du gypse, solubilité non négligeable, facilité de déshydratation et de réhydratation.

La salinisation d'un milieu implique la présence d'une source des sels.

Au Sahara Algérien, la salinisation est généralement liée à la présence des nappes, ainsi ces dernières jouent un rôle primordial dans le transport de gypse et la formation des croûtes gypseuses.

## Deuxième Partie : Matériels et méthodes d'étude

### Chapitre I : Etude du milieu physique.

#### 1-Présentation de la zone d'étude :

La région de BISKRA s'étend sur une superficie de 21671.24 Km<sup>2</sup>. Elle se situe à environ 34°.48 de latitude et sa longitude est de plus de 5°.44 avec une altitude de 124m.

Biskra est limitée au nord par Wilaya de Batna, au Nord-Ouest par la Wilaya de M'sila au Nord-Est par la Wilaya de Khenchla, au sud par la Wilaya d'El oued et au Sud-Ouest par la Wilaya de Djelfa.

La zone d'étude est située à 14 Km, au Sud-ouest de la ville de Biskra, dans la région de Ain Ben Noui, Commune d'El hadjeb (fig n°4)

#### 1- Le climat :

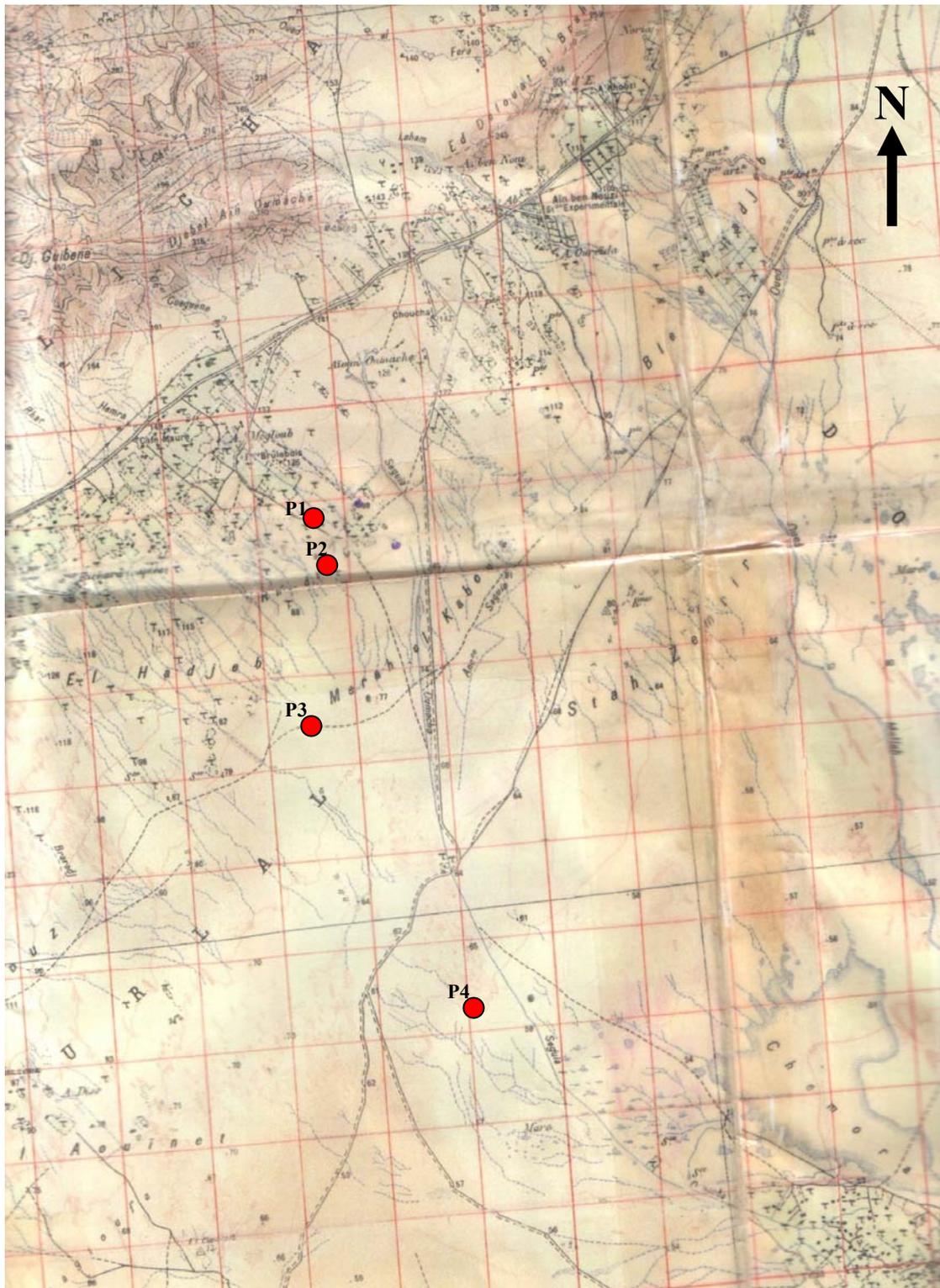
Les principaux paramètres climatiques retenus dans cette étude sont: les précipitations, la température, le vent, l'humidité relative, l'insolation et l'évapotranspiration (les données climatiques sont obtenues à partir de la station météorologique de Biskra).

#### 2-1. Les précipitations:

D'après les valeurs de la pluviométrie moyenne mensuelles indiquées dans le tableau (n°10) on remarque un maximum de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 0.7 mm, par contre le mois le plus humide est Janvier avec 22.15 mm.

**Tableau n°10 : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant (1977-2004).**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Tota
Précipitation mm	22.15	20.8	21.65	18.2	13.45	3.75	0.7	4.65	8.5	12.05	19.85	12.75	158.4



**Figure n°4 :** Localisation des profils étudiés (carte topographique de Biskra à l'échelle 1/50.000).

**2-2 Les températures:**

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaude 40.56°C en Juillet et le mois le plus froid 6.7° C en Janvier ou la moyenne annuelle est de 22.43° C (Tableau n °11).

**Tableau n°11 : Températures moyennes mensuelles (1977-2004)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
<b>M</b> °C	16.65	19.85	23.36	26.3	31.10	31.10	40.56	40.56	34.35	27.8	21.61	17.58	27.55
<b>m</b> °C	6.7	8.65	14.4	17.27	19.3	24.45	27.45	27.45	23.00	20.65	12.08	8.35	17.08
<b>moy</b> °C	11.75	14.25	17.55	11.46	25.28	28.72	33.98	33.15	28.68	23.46	16.95	13.23	22.43

M: moyenne mensuelle des maximums

m: moyenne mensuelle des minimums

moy : Moyenne mensuelle .

**2-3/ Les vents :**

Les vents de sable sont fréquent pendant le printemps et l'été En période hivernale, les vents nord ouest les plus dominants. La vitesse maximale des vents se rencontre au mois de Juin atteignant 44.65 Km/h, par centre la vitesse minimale est de 20.36 Km/h au mois de novembre (Tableau n°12).

**Tableau n°12 : Vitesse des vents pendant la période (1992-2001)**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
<b>Vitesse maximale</b> Km/h	35.15	40.32	40.18	40.78	43.38	44.65	40.21	27	37.58	35.81	42.47	39.64	39.76
<b>Vitesse minimale</b> Km/h	21.09	23.45	23.64	26.73	25.09	27.27	27	23.55	27.73	25.27	20.36	20.64	24.32
<b>Vitesse moyenne</b> Km/h	28.12	31.88	31.91	33.75	34.23	35.96	33.06	60.55	32.65	30.54	31.41	30.14	32.04

**2-4/ L'humidité relative de l'air :**

L'examen de tableau n° 13 montre une taux d'humidité élevé pendant les mois de Novembre, Janvier et Février, respectivement elle est de 54.7 %, 57.8 %, 55.4%, 50.02%, et l'humidité la plus faible est remarquée au mois de Juin, elle est de 28.4%.

**Tableau n° 13** : L'humidité relative moyenne pendant (1971-1997)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Humidité relative moy%	55.4	50.02	43.8	38.8	35.6	29.4	28.4	29.06	39.43	45.97	54.7	57.8	42.36

**2-5/ L'insolation :**

Le nombre moyen d'ensoleillement est de 283.6 h (tableau n°14).

**Tableau n° 14** : Le nombre moyen d'heures d'insolation (1971-1997)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Insolation h	225	220	257	274	322	331	365.5	338	335	280	237	218.7	283.6

**2-6/ L'évapotranspiration :**

L'évapotranspiration est très importante au mois de Juillet avec 444.2 mm par contre elle est très faible au mois de Décembre avec 101.68 mm.

**Tableau n°15** : Evapotranspiration en mm (1977-2001)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
ETP moyenne mm	126.22	149.5	183.8	129.12	262	370	444.2	129.12	319.4	214.77	150.33	101.68	237.81

## 2- Classification du climat :

### 3-1/ Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

D'après ce diagramme, la période sèche s'étale le long de l'année.

La courbe de pluie passe au dessous de la courbe des températures.

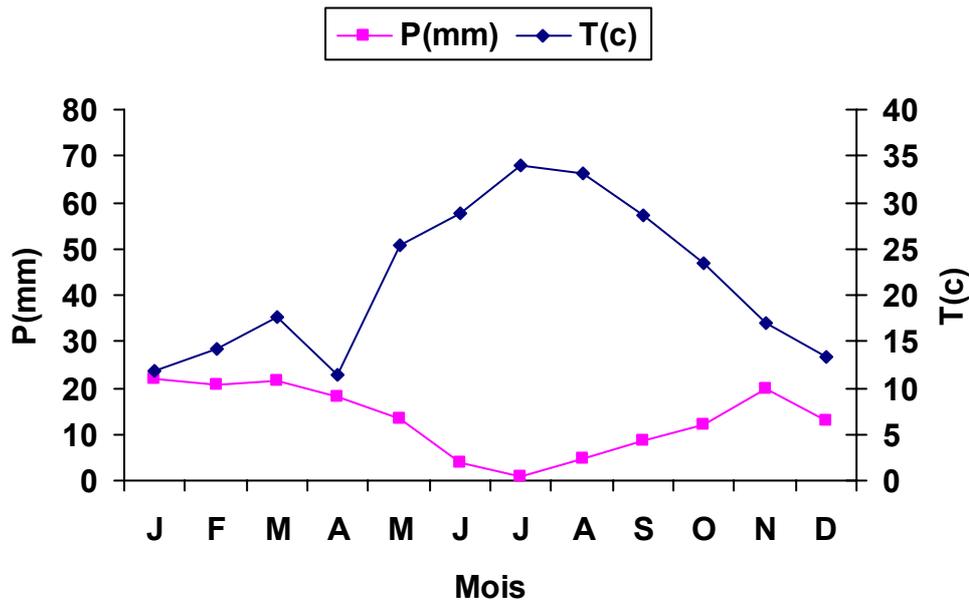


Figure n°5 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

### 3-2/Le climagramme pluviométrique:

POUGET (1980) a élaboré un diagramme (figure n°6) analogue à celui d'Emberger où les étages et les sous étages bioclimatiques correspondent bien, sauf un décalage quant à la limite de l'étage aride. Selon le diagramme, on apprécie le climat de Biskra comme suit:

- L'étage bioclimatique: aride inférieur (200 P 100m).
- Variante thermique: à hivers doux avec 5° m 7°C.

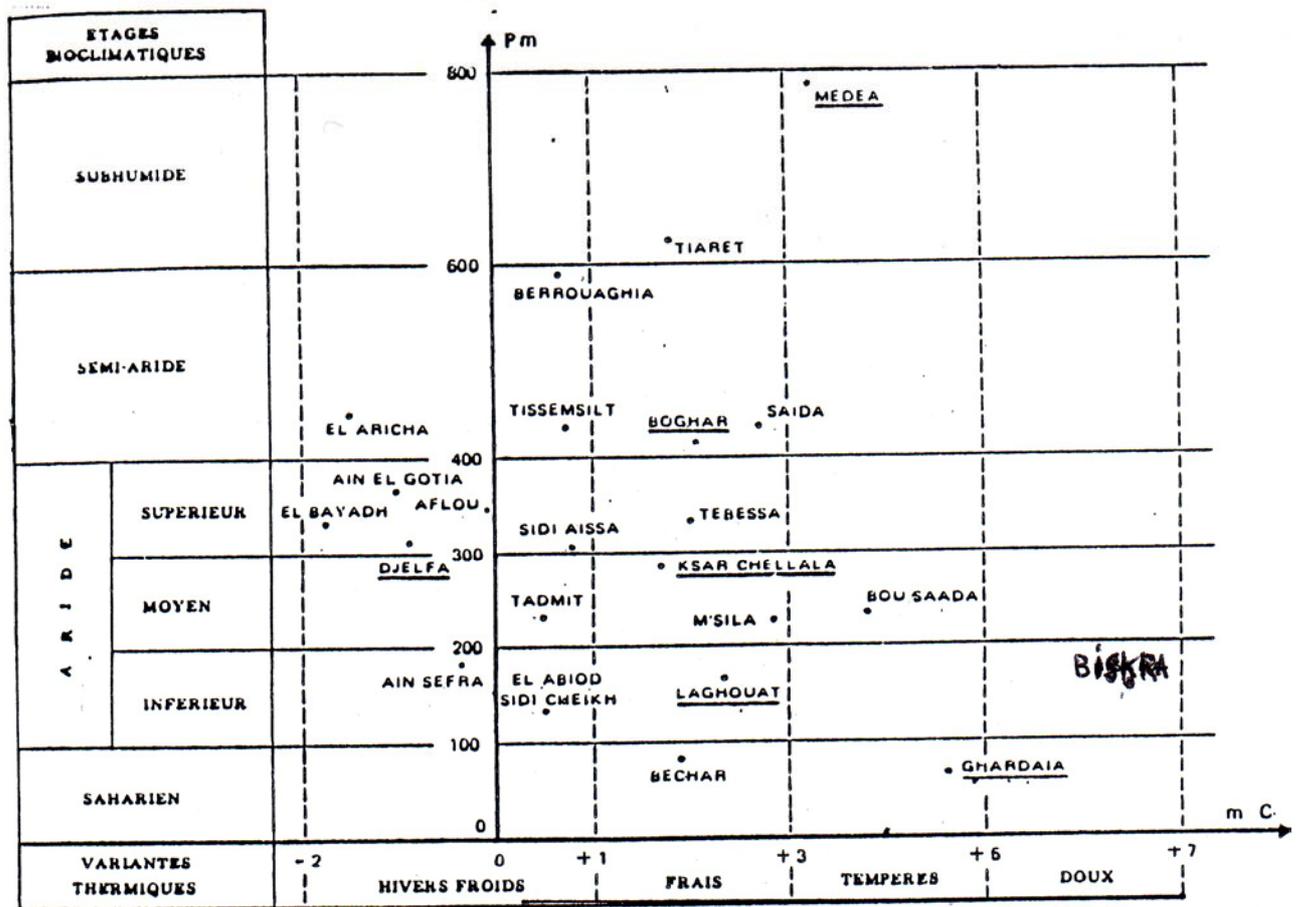


Fig n°6 : Diagramme pluviométrique de Pouget.

## **4-Le pédoclimat**

### **4.1. Le régime hydrique :**

La détermination exacte du régime hydrique est difficile et exige de nombreuses déterminations de l'humidité du profil pédologique pendant une dizaine d'années (SSS, 1996).

(1976) donnent pour Biskra un régime hydrique aridic.

### **4.2. Le régime thermique:**

D'après les travaux de TAVERNIER et VAN WAMBEKE (1976), le régime thermique de Biskra est de type hyperthermic. Ce type de régime a pour caractéristique une température annuelle moyenne du sol supérieur à 22°C et une différence entre les moyennes de températures, à 50 cm dans le sol, pour l'été et l'hiver supérieur à 5°C.

## **5. Géologie de la région d'étude:**

### **5.1. Géologie régionale:**

Sur la base de l'étude géologique faite par GOYSKOV (1964) sur la région de Biskra nous citons les principaux états repérés sur cette région en allant du plus récent vers le plus ancien (fig n°7).

#### **5-1-1 Stratigraphie;**

##### **5-1-1-1- Quaternaire:**

###### **5-1-1-1-1 Actuel :**

Ce sont principalement des éboulis et les cailloutis aux pieds des montagnes et sur les pentes, des dunes constamment *en* mouvement et des alluvions sableuses et caillouteuses dans les lits actuels des oueds.

###### **5-1-1-1-2Moyen:**

Il se présente sous forme de Croûte dite « deb- deb » dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. C'est une formation calcaire gypseuse atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseur, Elle occupe les contours des montagnes qui présentent des flancs calcaires (Tolga, Bouchagroun, Lichana, Ain Ben Noui), des travertins de sources anciennes qui datent aux environs des sources Oumach, Mlili et Megloub. Les sources actuelles sondent 4 à 5m au-dessous des anciens dépôts travertineux.

Des alluvions sablonneuses et argileuses dans toutes les grandes plaines sur la rive gauche de l'Oued Djedi.

###### **5.1.1.1.3. Terrasses anciennes**

Cette terrasse est bien développée dans la partie Est de la région, vers l'Oued Biskra. Aux environs des régions montagneuses, elle est principalement formée de poudings remplacés progressivement par un dépôt sableux et argileux vers le sud de Biskra.



Légende :

Symbole	géologie	lithologie
 qE	Actuel et Quaternaire récent	Eboulis sur les pentes et au pied des montagnes
 qD		Dunes de sables
 qS		Dallages, graviers sables dans les lits des oueds
 qCh	Quaternaire moyen	Croûte calcaire-gypseuse (deb-dab)
 qT		Travertins de sources
 qA		Alluvions sablonneuses et argileuses dans les grandes plaines
 q1		Poudingues, graviers et sables de l'ancienne terrasse
 p1		Pliocène
 m3	Miocène supérieur continental	Argiles, sables, graviers et marnes
 ei	Éocène inf. + Danien	Calcaires blancs, riches en silex noirs
 cB		calcaires, calc. marneux et dolomitiques
 c7	Sénonien	calcaires, calc. marneux et marnes blanchâtres
 c6		Calcaires massifs, dolomitiques, cristallins
 c4-5		Alternance de calcaires, calc. dolomitiques et de marnes souvent gypseuses
 c1-3	Albien	Grès et argiles rouges

## **5-1-1--2- Miocène**

### **5- 1-1-2-1- Miocène supérieur (Pontien):**

Il affleure seulement dans la dépression (combe) de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal. Il est représenté par des argiles et des marnes multicolores souvent très sableuses- C'est un dépôt continental détritique : argiles, sables, graviers et marnes.

### **5-1-1-2-2- Pliocène:**

Il est représenté par des poudings, des bancs *de* grès et d'argiles sableuses à proximités des massifs (Chetma, Chaïba et Oueled Djellal) passant à des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine. Aussi *il* est représenté par la croûte calcaire- gypseuse englobant souvent des masses des poudings, des sables et des graviers dans le sud de l'Oued Djedi.

### **5-1-1-3- Paléogène (nummulitique):**

#### **5.1.1.3.1. Eocène moyen (Lutétien):**

C'est un dépôt exclusivement lagunaire représenté par des argiles; du gypse en couches épaisses, anhydrites et des calcaires dolomitiques.

Il affleure au sud du djebel Kahila et au sud du djebel El Ksoum. Les couches gypseuses et calcaires sont très développées dans la région de Ouled Djellel, ou elles forment des niveaux constants d'une extension considérable (rive gauche de l'Oued Djedi).

#### **5-1-1-3-2- Eocène inférieur (yprésien) :**

Sa puissance varie entre 150 et 200 mètres représenté par des calcaires blancs riches en silex noirs, il affleure au nord de Tolga.

### **5-1-1-4- Crétacé:**

#### **5-1-1-4-1- Le Crétacé supérieur**

- **Le Cénomaniens supérieur:**

Il est représenté par des calcaires cristallins et dolomitiques en couches très épaisses, des intercalations lagunaires marneuses et gypseuses très nombreuses à l'Ouest (Djebel Gouara et sur le flanc nord du Djebel Bou Rhzal) calcaires maestrichtiens reposant sur les marnes noirâtres du campanien (à Dalaat el hamra).

- **Le Cénomaniens inférieur:**

Il affleure sur le flanc nord de Djebel Bou Ghezal, sa puissance est de 300 à 400 m de calcaires gris ou blanc alternant régulièrement avec des marnes grisâtres, parfois gypseuses.

- **Turonien**

Il est représenté uniformément dans toute la zone montagneuse par un niveau massif de 200 à 300m d'épaisseur composé de calcaires cristallins, de calcaires marneux et de calcaire dolomitique.

- **Cénomaniens:**

Ce terrain affleure aux deux extrémités de la région de Biskra; à la combe de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezel et au nord - est du Bon Chaïba. Sa puissance est de 500m de calcaire marneux avec intercalations marneuses et gypseuses,

#### 5-1-1-4-2- Le Crétacé inférieur:

- **Albien:**

Il affleure dans la combe de l'Anticlinal du Djebel Bou Rhezal et au nord- est de Chaïba, il est constitué en majeure partie par des grès rouges ou gris avec intercalation d'argiles rouges, sa puissance est d'environ 250m.

- **Alpien :**

Cette couche est visible seulement vers Chaïba; elle présente un faciès lagunaire avec intercalations marines, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, anhydrites, calcaire dolomitiques et dolomies. Sa puissance est d'environ 60 m.

- **Barrémien:**

Cette couche affleure uniquement vers Chaïba, elle est constituée par les grès rouges avec quelques intercalations argileuses, le Barrémien est le terme le plus ancien visible dans la région de Biskra.

#### 5.1.2. Tectonique:

Après la sédimentation *continue*, du barrémien jusqu'à l'éocène moyen, les premiers mouvements orogéniques et produisent, ils provoquent d'abord, de faibles ondulations de direction NE - SW, puis des plissements très accentués de direction ENE - WSW (Anticlinal de Boughzal ou flanc sud déversé).

Une deuxième orogénique à la fin du pliocène de direction Est Ouest, elle surélève les anticlinaux préexistants et redressent leurs flancs.

### 5.2. Géologie locale:

#### 5.2.1- Stratigraphie:

La coupe géologique (fig n°8) montre une succession de couches allant de l'albien jusqu'au pliocène.

Ces couches sont généralement concordantes, néanmoins le miocène se dispose en discordance sur les formations sous- jacentes et de mêmes que le pliocène qui lui est superposé avec légère discordance.

Lors des phases orogéniques post miocènes, l'érosion très active affleurant la région contribue à la disposition de l'oligocène. De ce fait, il n'apparaît qu'au nord de Biskra dans la plaine d'ELOutaya et au nord- est dans l'oued.

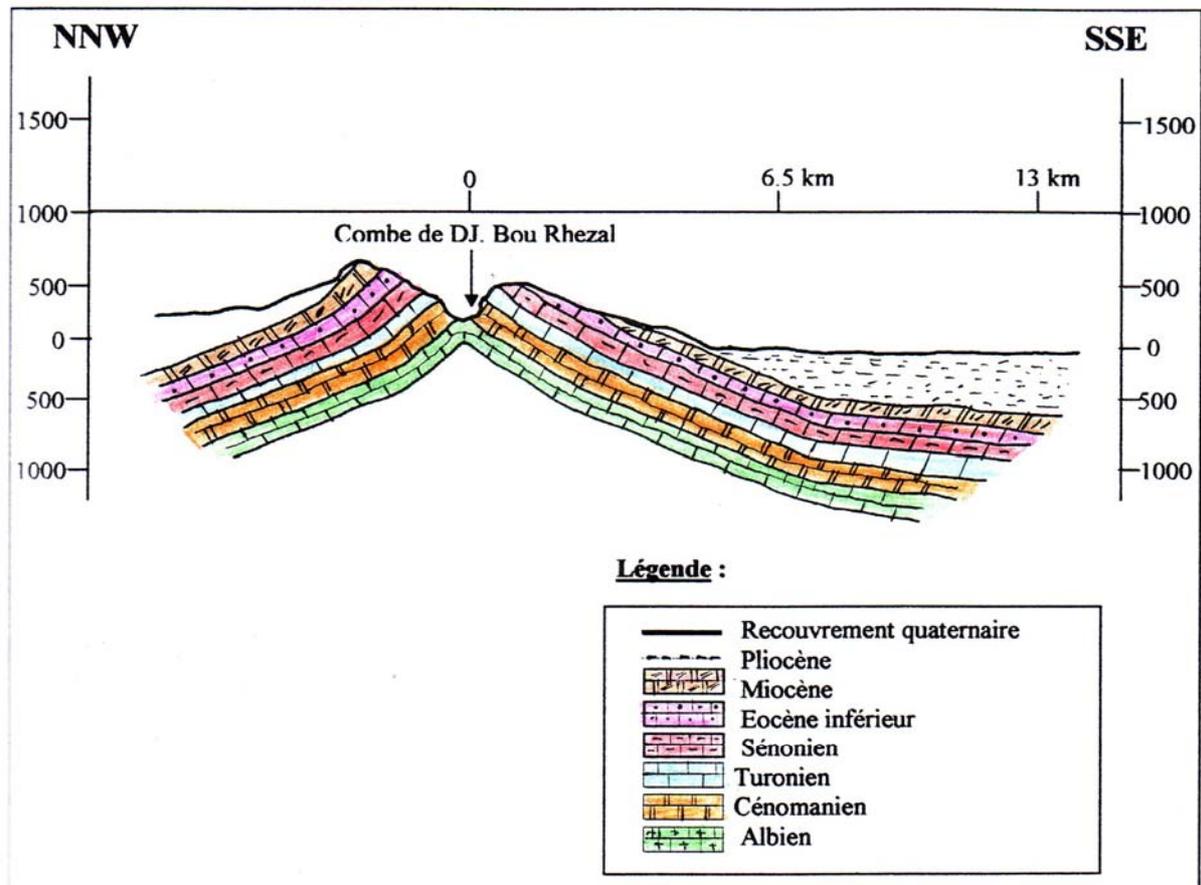


Figure n°8 : Coupe géologique schématisée (in ABDESSELEM, 1991)

Le terrain d'étude est recouvert de formations superficiellement récentes (Quaternaire moyen). On y observe:

- Des alluvions sableuses et argileuses.
- Une formation calcaire - gypseuse.

### **5.2.2. Tectonique:**

La région a connu une sédimentation continue jusqu'à la fin de l'éocène moyen ou ces mouvements ont eu bien à la fin de l'éocène l'anticlinal de Djebel Boughzal a été formé.

## **6. Géomorphologie:**

### **6.1. Géomorphologie régionale:**

La région de Biskra constitue une partie de la transition entre les domaines atlasiques plissés du Nord (Atlas Saharien) et les étendues plates et désertiques du Sahara. Ces derniers caractérisés en particulier par les régions très plates correspondant au grand Erg occidental et oriental, au plateau du Mzab, du Tadmait, du Tinrheret ainsi qu'à la région relativement déprimée du Gourara, du Touat, du Tridklet, du sud-Tihert... etc. (BUISSON et CORNEE, 1989).

L'ensemble de ces étendues est appelé la plate forme Saharienne qui s'étend jusqu'à la Tunisie. Elle correspond au bassin mésozoïque Saharien Type pour les géologues. Conventionnellement limité vers le Nord par la flexure Saharienne, vers le Nord Est par les accidents de Djefara maritime Tunisienne et interrompu vers le Sud et vers l'Ouest par des limites d'érosion qui prouvent que l'extension originelle était plus grande que l'extension résiduelle. Par ailleurs, les terrains paléozoïques qui ont formé le substratum et dans certains cas les bordures de ce bassin mésozoïque sont actuellement observables dans les affleurements des massifs de Bechar, Ougarta et dans les Tassilis.

Dans cette plate - forme le Mésozoïque est largement recouvert par des atterrissements tertiaires et quaternaires des dunes de sables constamment en mouvement des croûtes dit deb-deb.....etc.

### **6.2. Géomorphologie locale:**

Selon l'objectif de l'étude, notre toposequence est formée par la montagne du Djebel Bon Ghazel dans Sa partie nord, des glacis encroûtés et puis vers un matériau fin argilo sableux dans la partie Sud. L'établissement du croquis géomorphologique a permis de constater les formes suivantes ; (fig n°9)

#### **6.2.1. Les structures:**

Une seule structure est perceptible, c'est celle de l'anticline du Dj. Bou Ghezal.

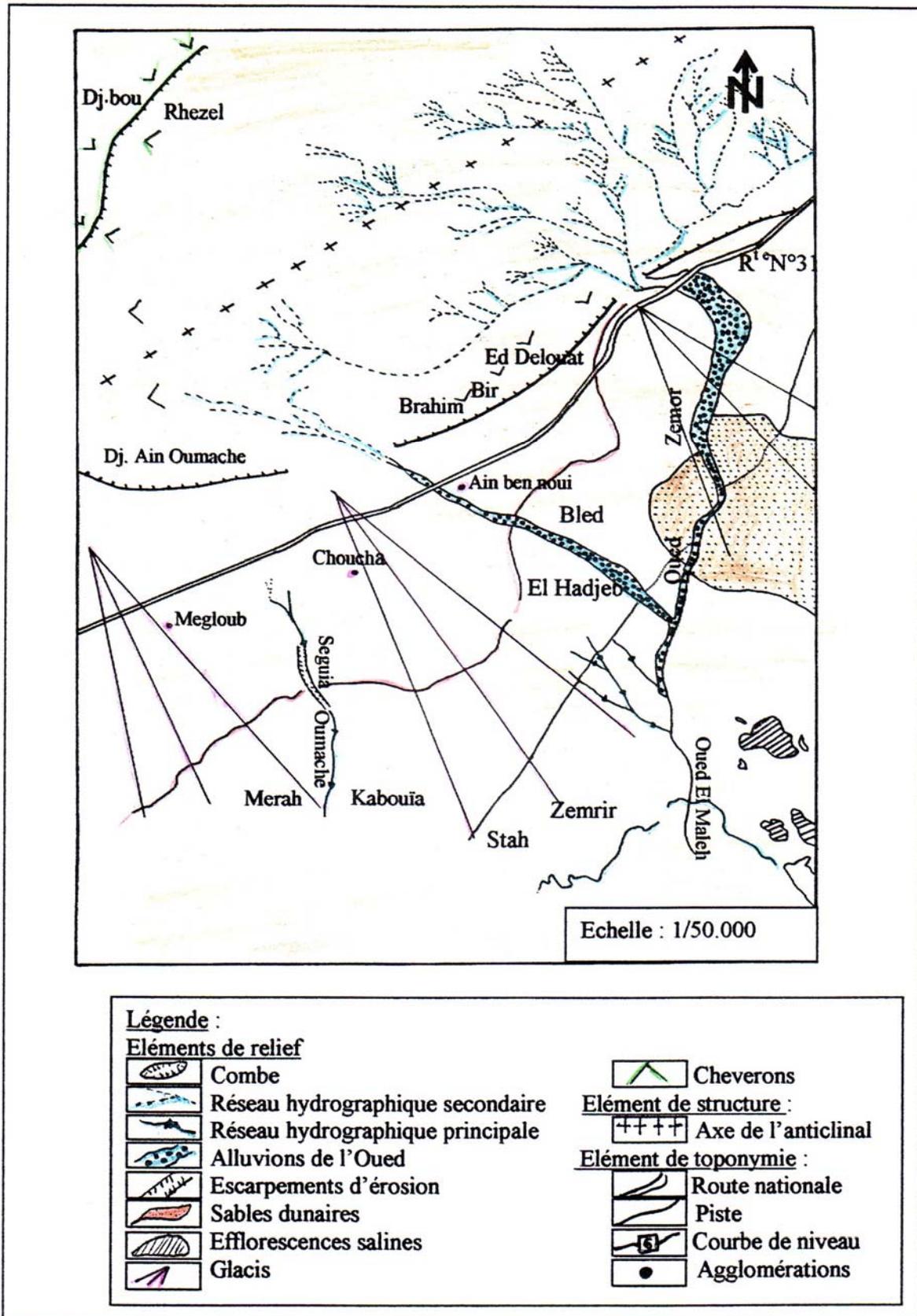


Figure n°9 : Croquis géomorphologique de la région d'étude (in ABDESSELEM, 1991)

Echelle:1/50.000

### 6-2-2 Les formes d'érosion

- **La combe de Dj Bou Ghezal**

L'anticlinal du Dj Bou Ghezal a subi une érosion énergique aboutissant à une inversion totale du relief.

Les parois rocheuses sont constituées par les calcaires Cénomaniens plus tendres. Le noyau de cet anticlinal est érodé (combe) jusqu'aux grès rouges albiens. Cette combe a été formée lors de l'érosion oligocène très active qui a affecté le relief montagneux.

- **Les chevrons:** Ils sont visibles surtout sur le contour de la combe.
- **Les cônes de déjection :** La combe constitue un bassin de réception des eaux déversées, ces derniers se concentrent au noyau pour former des cônes de déjections.
- **Les glacis:** sont des formations du quaternaire moyen, dit « deb- deb » qui représente une formation calcaréo - gypseuse.
- **Les escarpements d'érosion:** Ils se localisent dans les oueds, ils sont façonnés par l'action des eaux, on les rencontre dans l'oued Zemour et Oued Ain Oumach.
- **Les accumulations de sable :** Elles sont constituées par de vastes dépôts de sable transportés par le vent.

### 7. Hydrogéologie de la zone d'étude:

D'après la notice explicative de la carte hydrologique de Biskra (Notice exp, 1980) et le fait de l'importance des nappes phréatiques dans notre étude nous nous astreindrons d'évoquer ce type de nappe.

#### 7.1. Les nappes phréatiques du quaternaire:

Elles se localisent généralement dans des accumulations alluvionnaires, le substratum doit être formé par une succession plus au moins épaisse de passées argileuses.

Leur zone d'alimentation est difficile à préciser, cependant pour les environs de Tolga elle est alimentée par la nappe des calcaires sous-jacents, la plus part des eaux de cette nappe entrent dans la catégorie salée ou très salée, elles se classent parmi les chlorurées alcalines et sulfatées calcéo- magnésienne. Donc cette eau constitue d'une part une source et un agent vecteur des sels notamment le gypse, et d'autre part sa présence en une faible profondeur a une grande influence sur le processus pédogénétique notamment dans la formation des accumulations gypseuses très fréquente dans ces sols.

## 7.2. Les nappes des sables du miocène :

La litho stratigraphie est mal connue l'alternance de couches d'argiles imperméables à passée de sable et cailloutis à peine la formation de quelques horizons aquifères des terrains continentaux du tertiaire et quaternaire.

Il est possible que l'alimentation de la nappe se fait à partir des zones d'affleurements du miocène à la faveur des pluies exceptionnelles par leur caractère chimique les eaux se rapportent au type;

- sulfaté alcalin
- sulfaté calcéo-magnésien
- Sulfaté calcique

Elles sont de mauvaise qualité.

## 7-3- Nappe des calcaires de l'éocène et du sénonien:

Le réservoir de cette nappe est constitué essentiellement de calcaire de l'éocène inférieur et du sénonien supérieur (Fig n°10 )

L'alimentation de cette nappe se fait par deux zones d'affleurements de l'éocène inférieur. La première à l'ouest de Doucen et Oueled Djellal, la seconde au Nord de Tolga, c'est la zone principale.

En plus de ces zones d'alimentation, on fait intervenir pour la nappe captive un un pluvium constitué par les reliefs méridionaux de l'Atlas Saharien qui dominent Tolga entre Foughala et Bouchegroume et les versants de la plaine d'EL Outaya.

Les eaux présentent un faciès sulfaté alcalin et alcalinoterreux avec prédominance de ces derniers.

## 7-4- Nappe profonde (nappe de grés):

Cette nappe dite « Albine », correspond à une complexe continental en grande partie gréseux dont les stratigraphiques varient selon les régions.

L'alimentation actuelle de cette nappe s'effectue par:

- Infiltration.
- Ruissellement tout au long des oueds qui descendent des massifs de l'Atlas saharien notamment de l'Aurès.

L'eau de la nappe est très coûteuse en raison de sa profondeur et de sa température, On cite un exemple :

- Eau thermale de Hamame Salhine.
- La source de Ain Taïba.

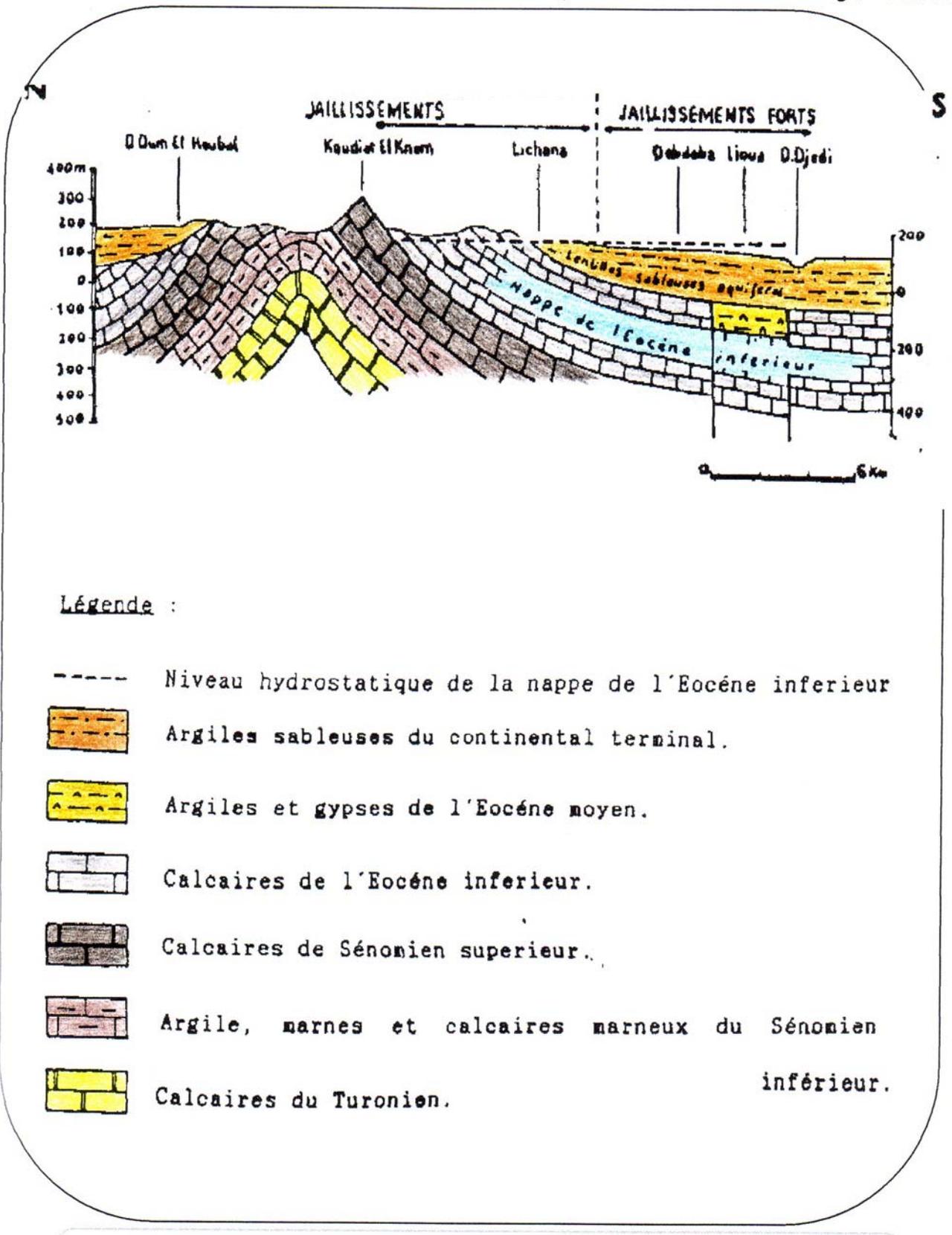


Figure n°10 : Coupe hydrogéologique du Zab Gharbi en partie MAUGET (1967).

## 8- la végétation

La végétation naturelle dépend en grande partie des conditions hydrologiques et des sols. Il a été constaté que sur le terrain au niveau où la nappe se trouve à une grande profondeur, on rencontre des plantes du type SALSOLA VERMICULATA. SUEDA MOLLIS du type SAREX PACHYSTYLIS. L'état des plantes herbacées est très médiocre et pratiquement toute la surface du sol subit l'action directe des rayons du soleil.

La végétation est mieux développée et plus variée là où la profondeur de la nappe est faible. La phytoflore est représentée essentiellement par SALSOLA VERMICULATA. SALSOLA BARIOSHA. CAREX BACHYSTYLIS et par des graminées (A.N.R. H in OTHMANE, 1997).

L'exploitation agricole est fortement influencée par les conditions physiques locales, la géomorphologie, la topographie, la circulation de l'eau. Des cultures céréalières, maraîchères et arboricoles sont pratiquées partiellement.

Notons par ailleurs que la culture de palmier dattier constitue la richesse principale de la population locale.

### Conclusion

L'étude du climat vient de confirmer un certain nombre de caractères classiques du climat méditerranéen aride, à savoir:

- Une pluviosité annuelle très faible et très irrégulière

Des températures moyennes assez élevées et une sécheresse très prononcée et longue

Une grande luminosité

Une évaporation intense

Tous ces facteurs déterminent une forte aridité.

**Chapitre II : Méthodes d'étude.****1- Echantillonnage:**

Le choix des profils vient après prospections et cartographie de la zone d'étude en se basant sur les photographies aériennes, les cartes topographiques.

On a pu choisir 4 puits répartis sur toute la séquence, près de chaque puits les prélèvements du sol ont été effectués. En tout 12 échantillons de sols et 4 échantillons d'eau ont été étudiés.

**- Période de prélèvement:**

Les échantillons ont été prélevés (eau et sol) le 2 Octobre 2005.

**2- Etude au laboratoire:****2-1. Le sol:****2-1-1. La granulométrie:**

L'analyse granulométrique par la méthode internationale (pipette de ROBINSON) présente plusieurs contraintes (floculation du gypse), pour cela on a eu recours à celle par tamisage où on prélève les 3 fractions: Sable grossier.

Sable fin

et argile + limon.

**2-1-2. Calcaire total:**

Par la méthode de Calcimétrie de Bernard.

**2-1-3. Réaction du sol (pH):**

Il est déterminé par le pH mètre avec un rapport sol/eau de 1/2.5.

**2-1-4. Conductivité électrique:**

Avec un rapport sol/eau de 1/5, mesuré par le conductimètre.

**2-1-5. Carbone organique:**

Déterminé par la méthode Walkley et Black.

**2-1-6. Dosage de gypse:**

Le gypse est dosé par la méthode conductimétrique proposée par Richard (1954) par précipitation avec l'acétone on utilisant le rapport sol/eau de 1/500.

Le taux de gypse a été calculé par l'utilisation du courbe standard qui relie la concentration de sulfate de calcium avec la conductivité électrique (CE), à 25 °C (tableau n°16).

**Tableau n°16 : La conductivité électrique à 25 °C de différentes concentration de sulfate de calcium dans l'eau (PICH, 1989; RAYAN, ESTEFAN et RASHID, 2001).**

Ca SO <sub>4</sub> (meq/l)	Conductivité électrique à 15 °C (dS/m)
1.0	0.121
2.0	0.226
5.0	0.500
10.0	0.900
20.0	1.584
30.5	2.205

$$\text{Le gypse dans le sol \%} = \frac{A \text{ meq CaSo}_4}{1000 \text{ ml}} \times \frac{B \text{ ml}}{C \text{ ml}} \times \frac{1}{D \text{ g/ml}} \times \frac{0.0869}{1 \text{ meq gypse}} \times 100$$

Où: **A:** meq CaSO<sub>4</sub> du tableau.

**B:** volume de H<sub>2</sub>O pour apporter tout le précipité dans la solution.

**C:** volume de l'aliquote.

**D:** rapport sol/eau.

### 2-1-7. Dosage des anions:

A partir du rapport sol/eau; 1/5 et 1/10

Cl<sup>-</sup>: par titrimétrie à nitrate d'argent: méthode de MOHR.

SO<sub>4</sub>: par la méthode gravimétrique au BaCl<sub>2</sub>.

HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>-</sup>: méthode titrimétrie avec H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

### 2-1-8. Les cations:

Les cations Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> sont dosés par spectrophotomètre à flamme.

Les cations Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> sont dosés par l'absorption atomique.

### 2-1-9. La capacité d'échange cationique (CEC):

Pour les sols gypseux, la CEC est déterminée comme suit:

- Utilisation d'acétate de sodium pour l'extraction de Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>.
- Lavage à l'éthanol.
- Déplacement de sodium par une solution d'acétate d'ammonium puis déterminer la CEC.

### 2-2. L'eau:

Pour l'eau on a fait les analyses suivantes: Le pH, la CE, dosage des cations et des anions par les mêmes méthodes utilisées au sol.

## Troisième Partie : Résultats et Discussion

### 1-les caractéristiques physico chimiques des sols

#### 1-1 Le pH :

Le pH des échantillons étudiés est généralement basique ou alcalin à très alcalin, la valeur minimale est enregistrée pour le profil 1 horizon 1 (P1 H1) avec un pH de 8,21 et la valeur maximale pour P4H3 (tableaux 17,18,19,20).

Les horizons profonds des sols donnent des valeurs légèrement plus élevées que les autres horizons.

#### 1-2 Le calcaire total :

Selon les normes de BAIZE (2000), les sols sont modérément calcaires à fortement calcaires, les échantillons P4H1 et P4H2 ont des valeurs plus faibles (2,53 et 1,13 %). La teneur en calcaire total varie de 1,13 à 42,91 %. On observe pour les profils 1,2 et 4 une augmentation du calcaire avec la profondeur (tableau 17, 18,19,20).

#### 1-3 Le gypse :

La distribution du gypse est hétérogène le long des prélèvements. Le profil 4 présente des valeurs importantes du gypse avec un taux maximum de 64,5%. Cependant on constate une valeur minimale de 0 % dans l'échantillon P2H3 où le taux le plus élevé du calcaire est de 42,91%. (Tableaux 16,17,18,19). Généralement, les sols sont modérément gypseux à excessivement gypseux selon l'échelle établie par BARZANJI (1973).

#### 1-4 La matière organique :

Les sols étudiés sont classés en deux classes :

- Une classe des sols pauvres en matière organique représentée par le profil 1 avec ses 3 horizons et le profil 2 avec ses 3 horizons où le taux de matière organique varie entre 0,5 et 1,02% (tableaux 17,18,19,20).

- Une classe des sols peu riches en matière organique présentés par les profils 3 et 4. La valeur maximale est enregistrée dans l'horizon médian du profil 3 (P3H2) avec 2,15% de matière organique, ceci est dû à l'existence de reste de coquille et de reste de racines.

#### 1-5 La texture des sols :

La fraction grossière est généralement abondante dans tous les profils. Le taux de sable varie entre 65,82% et 91,66% avec une augmentation du taux de sable fin.

**Tableau 17** : Les analyses physico-chimiques du profil 1

Echantillon	Granulométrie			pH (1/2,5)	CE (1/5) (dS/m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)	C (%)	MO (%)	CEC meq/100g
	SF (%)	SG (%)	L+A (%)							
P <sub>1</sub> H <sub>1</sub> 0 → 1m80	44,79	21,01	34,20	8,21	4,81	8,00	35,	0,59	1,02	4,6
P <sub>1</sub> H <sub>2</sub> 1m80 → 4m	40,66	34,09	25,25	8,33	3,00	18,00	55,9	0,25	0,43	3,9
P <sub>1</sub> H <sub>3</sub> 4m >	46,02	38,81	15,17	8,43	2,38	34,30	9,8	0,43	0,74	3,2

**Tableau 18** : Les analyses physico-chimiques du profil 2

Echantillon	Granulométrie			pH (1/2,5)	CE (1/5) (dS/m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	gypse (%)	C (%)	MO (%)	CEC meq/100g
	SF(%)	SG(%)	L+A (%)							
P <sub>2</sub> H <sub>1</sub>	45,67	38,52	15,81	8,37	2,33	35,66	39,56	0,29	0,50	3,2
P <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	36,37	55,18	8,45	8,63	9,73	12,27	25,00	0,39	0,67	5,3
P <sub>2</sub> H <sub>3</sub> >	39,99	51,58	8,43	8,34	2,37	42,91	0	0,49	0,84	4,6

**Tableau 19** : Les analyses physico-chimiques du profil 3

Echantillon	Granulométrie			pH (1/2,5)	CE (1/5) dS/m	CaCO <sub>3</sub> (%)	gypse (%)	C( %)	MO (%)	CEC meq/100g
	SF (%)	SG (%)	L+A (%)							
P <sub>3</sub> H <sub>1</sub>	56,60	22,60	20,80	8,71	7,74	29,24	53,32	0,71	1,22	4,6
P <sub>3</sub> H <sub>2</sub>	46,25	19,67	34,08	8,36	19,65	28,86	35,26	1,25	2,15	11,6
P <sub>3</sub> H <sub>3</sub> >	51,14	21,82	27,04	8,68	11,03	17,97	39,56	1,00	1,72	8,1

**Tableau 20** : Les analyses physico-chimiques du profil 4

Echantillon	Granulométrie			pH (1/2,5)	CE (1/5) (dS/m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Gypse (%)	C( %)	MO (%)	CEC meq/100g
	SF(%)	SG(%)	L+A(%)							
P <sub>4</sub> H <sub>1</sub> 0 → 1,5m	45,41	46,25	8,34	8,45	16,34	2,53	55,9	0,93	1,60	8,1
P <sub>4</sub> H <sub>2</sub> 1.5m → 3m	40,01	41,98	12,63	8,50	19,88	1,13	64,5	0,79	1,37	9,5
P <sub>4</sub> H <sub>3</sub> 3m >	64,02	12,81	23,17	8,75	19,97	8,98	60,20	0,92	1,59	8,80

On distingue une augmentation du taux de sable dans les horizons inférieurs pour les profils 1 et 2, alors que pour les profils 3 et 4 on remarque qu'il y a une augmentation du taux de sable dans les horizons de la surface (tableaux 17,18,19,20). Ceci est du aux dépôts éoliens sableux.

#### **1-6 La capacité d'échange cationique :**

Les valeurs de la CEC sont faibles, elles varient entre 3,2 à 11,6 meq/100g

La plupart des sols gypseux sont pauvres en matière organique, le cation échangeable dominant dans les sols gypseux est le calcium puis vient le magnésium et par fois le sodium. En général, la CEC des sols dépend de la teneur en matière organique et le type des minéraux argileux (FAO, 1990). Dans notre cas c'est le taux de sable qui conditionne les valeurs de la CEC (tableaux 17,18,19,20).

#### **2-Etude de la salinité des sols :**

La salinité globale d'un échantillon peut être exprimée sous la forme de la CE, ou bien sous forme de la somme des ions de son extrait de pâte saturée (BAIZE, 1988).

##### **2-1 La conductivité électrique :**

Selon l'échelle de la salure établie par SERVANT (1975). Les échantillons prélevés sont généralement faiblement salés à fortement salés. La CE varié entre 2,33 et 19,97dS/m.

##### **2-2 Les profils salins : (Fig n°20, 21, 22,24).**

- le profil N°1 marque une salinité maximum dans la partie supérieure c'est le profil salin ascendant ou dit de type A de SERVANT (1975). Il correspond aux sols influencés par une nappe salée peu profonde, qui sont en général localisés dans les zones basses (HALITIM, 1988).
- Les profils N°2 et N°3 présentent un maximum de salinité dans la couche médiane. Ils correspondent au type B. Il s'agit de profil dont la dynamique saline est caractérisée par une remontée capillaire et une lixiviation des sols.
- Le profil N° 4 a une salinité maximum dans l'horizon inférieure ce qui correspond a un type descendant, Il indique que le sol a subi une phase de lixiviation des sels solubles. Selon HALITIM (1988) ceci est observé dans les sols a encroûtements gypseux et dans les sols a encroûtement calcaire.

**Tableau n°21** : Bilan ionique de profil 1

Les profils	CE dS/m	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> meq/l	Cl <sup>-</sup> meq/l	Σ <sup>-</sup> meq/l	K <sup>+</sup> meq/l	Na <sup>+</sup> meq/l	Ca <sup>++</sup> meq/l	Mg <sup>++</sup> meq/l	Σ <sup>+</sup> meq/l
P1 H1	4.81	1.25	54.68	3.65	59.58	0.42	5.51	46.28	7.37	59.58
P1 H2	3.00	1.58	49.51	2.5	53.59	0.20	2.67	43.02	7.70	53.59
P1 H3	2.38	1.25	48.93	2.16	52.34	0.13	1.52	45.63	5.06	52.34

**Tableau n°22** : Bilan ionique de profil 2

Les profils	CE dS/m	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> meq/l	Cl <sup>-</sup> meq/l	Σ <sup>-</sup> meq/l	K <sup>+</sup> meq/l	Na <sup>+</sup> meq/l	Ca <sup>++</sup> meq/l	Mg <sup>++</sup> meq/l	Σ <sup>+</sup> meq/l
P2 H1	2.33	1.57	38.63	1.41	45.20	0.12	0.83	42.37	1.88	45.20
P2 H2	9.73	1.83	70.59	5.5	77.92	0.53	7.62	62.96	6.81	77.92
P2 H3	2.37	0.46	52.27	1.90	54.63	0.77	1.10	44.33	8.43	54.63

**Tableau n°23** : Bilan ionique de profil 3

Les profils	CE dS/m	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> meq/l	Cl <sup>-</sup> meq/l	Σ <sup>-</sup> meq/l	K <sup>+</sup> meq/l	Na <sup>+</sup> meq/l	Ca <sup>++</sup> meq/l	Mg <sup>++</sup> meq/l	Σ <sup>+</sup> meq/l
P3 H1	7.74	0.91	51.74	4.33	56.98	1.13	5.19	50.19	0.47	56.98
P3 H2	19.65	1.08	85.41	14.6	101.09	1.48	15.18	77.36	7.07	101.09
P3 H3	11.03	2.33	65.5	5.5	73.33	0.37	9.07	58.01	5.88	73.33

**Tableau n°24** : Bilan ionique de profil 4

Les profils	CE dS/m	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> meq/l	Cl <sup>-</sup> meq/l	Σ <sup>-</sup> meq/l	K <sup>+</sup> meq/l	Na <sup>+</sup> meq/l	Ca <sup>++</sup> meq/l	Mg <sup>++</sup> meq/l	Σ <sup>+</sup> meq/l
P4 H1	16.34	2.91	63.5	7.50	73.91	1.66	13.30	48.89	10.06	73.91
P4 H2	19.88	1.66	59.74	9.37	70.97	1.66	13.78	52.80	2.73	70.97
P4 H3	19.97	1.35	66.74	9.16	76.85	1.23	14.10	50.84	10.68	76.85

Les valeurs de SO<sub>4</sub> sont obtenus par la différence entre la somme des cations moins la somme des chlorures et des bicarbonates.

$$SO_4^{--} = \Sigma^+ - \Sigma^-_{HCO_3^{--} + Cl^-}$$

### 3-Bilan ionique de la solution des sols

#### 3-1 Concentrations en cations :

Le cation dominant dans la solution du sol est le  $\text{Ca}^{++}$ , ses concentrations sont appréciables et varient de 42,37 et 77,36 meq/l.

Les valeurs les plus importantes de  $\text{Ca}^{++}$  sont rencontrées au niveau de la couche médiane des profils P2, P3 et P4, bien qu'elles restent élevées dans la couche de surface pour le profil P1.

Le magnésium est présent en des quantités supérieures à celle du sodium dans les profils 1 et 2, et a des quantités inférieures à celle du sodium dans le profil 3 et 4 où la salinité est élevée.

Les teneurs généralement oscillent entre 0,47 et 10,68 meq/l (tableaux 21, 22, 23, 24).

Le sodium est présent avec des teneurs inférieures à celle de  $\text{Mg}^{++}$ , dans les profils 1 et 2, et plus élevées que le  $\text{Mg}^{++}$  dans les profils 3 et 4. Elles varient entre 0,83 et 15,18 meq/l.

En dernier lieu, arrive le  $\text{K}^+$  avec des quantités faibles allant de 0,13 à 1,66 meq/l, Les quantités les plus élevées se trouvent dans les profils 3 et 4.

#### 3-2 Concentrations en anions :

Les sulfates sont les anions les plus fréquents dans la solution du sol de tous les profils, avec concentrations allant de 38,63 à 85,41 meq/l.

Généralement, les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les horizons où la salinité augmente avec une distribution variable d'un profil à l'autre.

La solution du sol des profils présente des quantités moins abondantes des chlorures que les sulfates, leurs concentrations varient entre 1,41 à 14,6 meq/l les valeurs les plus élevées sont localisées dans les profils 3 et 4 (tableaux 21, 22, 23, 24).

Les teneurs du chlorure les plus élevées sont situées dans les couches médianes.

Les bicarbonates se trouvent en des concentrations moindres en comparaison avec les sulfates et les chlorures, ils varient entre 0,46 et 2,91 meq/l.

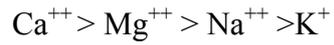
### 4-Etude du faciès chimique:

#### 4-1 Faciès des cations :

La solution du sol est majoritairement composée de  $\text{Ca}^{++}$ .

Le rapport  $(\text{Na}+\text{K})/(\text{Ca}+\text{Mg})$  dans tous les échantillons est toujours  $< 1$  et le rapport  $\text{Ca}/\text{Mg}$  est toujours  $> 1$ . Ce qui confère à la solution du sol un faciès cationique de type calcique. Le SAR de ces sols ne pose aucun danger d'alcalinisation.

Le rapport des points figuratifs sur le diagramme de PIPER (figure n°11) donne lieu au classement des cations selon l'ordre suivant :



#### 4-2 Faciès des anions :

D'une manière générale , l'ion  $\text{SO}_4^{--}$  est le plus important , même le rapport  $\text{Cl}/\text{SO}_4$  fait ressortir la prédominance des sulfates par apport aux chlorures, celui ci est  $< 1$  pour tous les échantillons.

Sur le diagramme de piper des anions (figure n°11), la solution du sol présente un faciès cationique de type sulfaté.

L'ordre de classement des anions est :  $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^{-} > \text{HCO}_3^{--}$

En définitif, il y a lieu de conclure que ces sols présentent un faciès chimique de type sulfaté calcique.

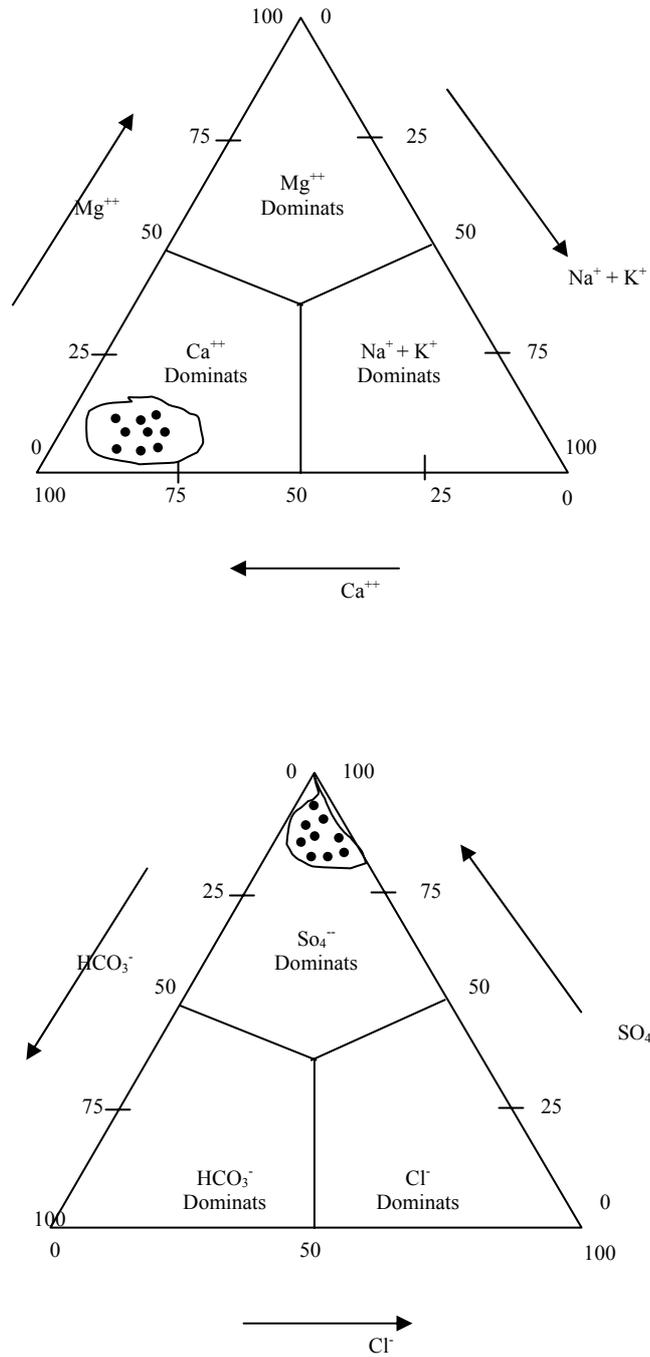


Fig n°11 : Représentation des solutions du sol sur le diagramme de PIPER

## CHAPITRE II:Caractérisation des eaux des nappes

### I – Les Caractéristiques des eaux des nappes:

La connaissance de la conductivité électrique et du SAR permet d'affecter à une eau d'irrigation un couple (C-S) caractérisant sa qualité.

**Tableau n° 25:**les analyses des eaux des nappes:

L'eau des nappes	PH (eau)	CE dS/m	Ca <sup>++</sup> +Mg <sup>++</sup> meq/l	Na <sup>+</sup> meq/l	S.A.R	Classe
P1	7.57	4.46	50.60	5.86	1.16	C <sub>4</sub> S <sub>1</sub>
P2	7.75	5.25	54.32	6.26	1.20	C <sub>5</sub> S <sub>1</sub>
P3	7.52	7.25	61.76	11.2	2.01	C <sub>5</sub> S <sub>1</sub>
P4	7.70	11.00	77.74	16.8	2.69	C <sub>5</sub> S <sub>1</sub>

### I-1 Etude de la salinité et du pH

#### I-1-1 La salinité

A partir des résultats du tableau ci-dessus, on peut faire les remarques suivantes :

Les eaux des nappes présentent une très forte salinité à une salinité excessive avec des valeurs de la conductivité électrique enregistrées respectivement de 4,46, 5,25, 7,25 et 11 pour P1, P2, P3 et P4. (Tableau 25).

#### I-1-2 Le pH :

Le pH des eaux des nappes est basique, la valeur maximale est de 7,75 pour le puit 2 alors que le puit3 (P3) présente une valeur minimale de 7,52. (Tableau 25).

### I-2 La classification des eaux :

La qualité de l'eau pour l'irrigation est appréciée en utilisant le diagramme de classification des eaux de l'USSL (1954) c'est un tableau à double entrée, avec des conductivités en abscisses et des SAR en ordonnées.

Le report des résultats sur ce diagramme (Fig n°12) montre que :

- les eaux de nappe 1 appartiennent à la classe C<sub>4</sub>S<sub>1</sub>.
- les eaux des nappes 2, 3 et 4 appartiennent à la classe C<sub>5</sub>S<sub>1</sub> proposée par (DURAND, 1958).

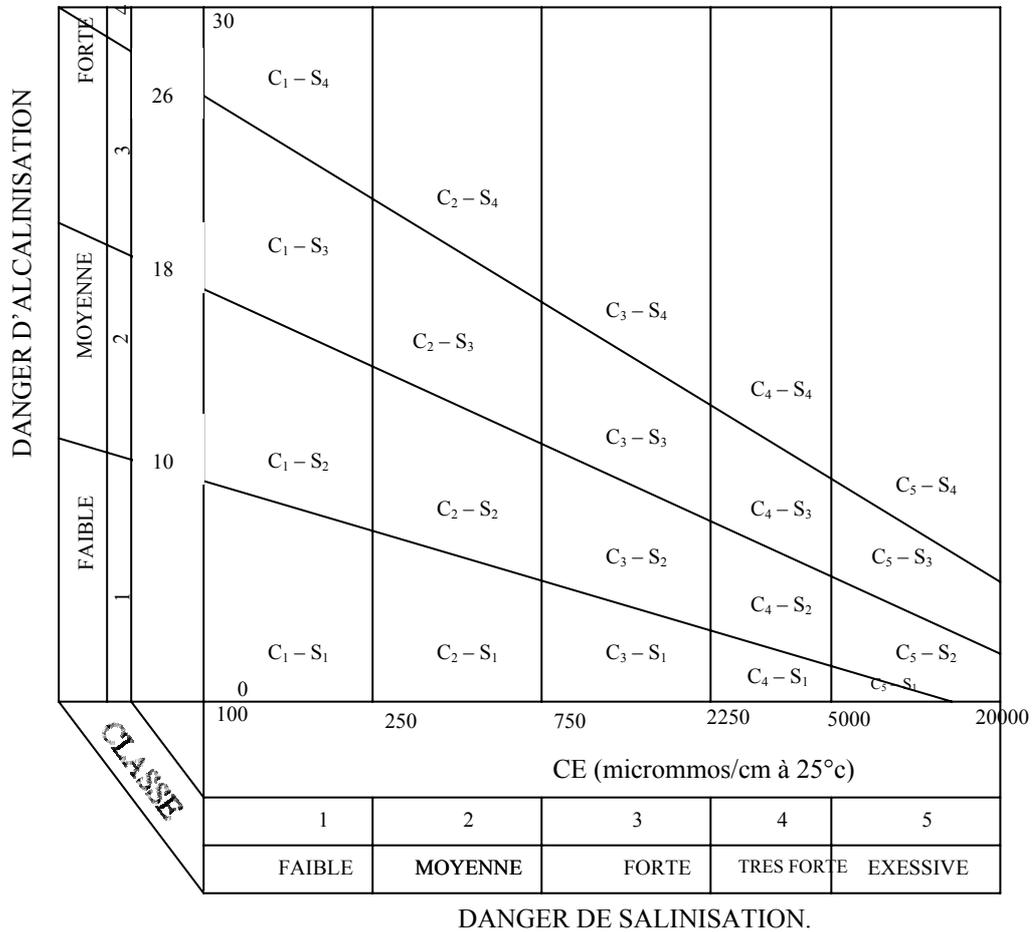


Fig n°12 : Classification des eaux des nappes sur le diagramme de l'USSL modifié par Durand (1958, 1983)

**I-2-1 Risque de Salinité :**

C4 : eau inutilisable normalement pour l'irrigation, exceptionnellement utilisable pour des sols très perméables avec un bon drainage et une eau appliquée en excès pour le lessivage, les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

C5 : eau à salinité excessive, inutilisable normalement pour l'irrigation, exceptionnellement utilisable pour des sols très perméables avec un très bon drainage et une eau appliquée en excès pour le lessivage, les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

**I-2-2 Risque d'alcalinité :**

S1 : eau utilisable pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger sodisation, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.

**I-3 La distribution des sels solubles :****I-3-1 Les cations :**

On peut classer les nappes étudiées selon la profondeur et la salinité en deux classes :

- Des nappes d'eaux profonde très salées : P1 et P2.
- Des nappes d'eau peu profondes excessivement salées : P3 et P4.

Les quatre nappes présentent des concentrations plus importantes de  $\text{Ca}^{++}$  que les autres anions le P1 et P2 marquent respectivement les valeurs de 42,37 meq/l et 43,02 meq/l.

La deuxième classe enregistre des valeurs plus élevées que la 1ère classe. On enregistre pour P3 50,84 meq/l et pour P4 une valeur maximale de 59.31 meq/l. Les teneurs en  $\text{Mg}^{++}$  sont supérieures à celles de  $\text{Na}^+$  dans les quatre nappes. Les valeurs minimales sont toujours enregistrées dans la nappe 1 et les valeurs maximales enregistrées dans la nappe 4. Les quantités de  $\text{K}^+$  sont pratiquement négligeables par rapport aux autres éléments.(tableau 26).

**Tableau n°26 : Bilan ionique des eaux des nappes**

Les nappes	$\text{HCO}_3^-$ meq/l	$\text{SO}_4^{--}$ meq/l	$\text{Cl}^-$ meq/l	$\Sigma^-$ meq/l	$\text{K}^+$ meq/l	$\text{Na}^+$ meq/l	$\text{Ca}^{++}$ meq/l	$\text{Mg}^{++}$ meq/l	$\Sigma^+$ meq/l
Nappe 1	7.32	40.17	9.00	56.49	0.03	5.86	42.37	8.23	56.49
Nappe 2	5.5	45.62	9.5	60.62	0.04	6.26	43.02	11.30	60.62
Nappe 3	7.5	52.86	12.65	73.01	0.052	11.2	50.84	10.92	73.01
Nappe 4	9.08	57.31	28.25	94.65	0.11	16.8	59.31	18.43	94.65

**I-3-2 Les anions :**

Les eaux des nappes étudiées contiennent des quantités très importantes des sulfates ils oscillent entre 40,17 meq/l et 57,31 meq/l. Les chlorures sont moins présents que les sulfates dont ils atteignent leur maximum en P4 avec 28,25Meq/l (tableau 26).

Les bicarbonates présentent des valeurs moindres (7.32 meq/l à 9,08 meq/l) (tableau 26).

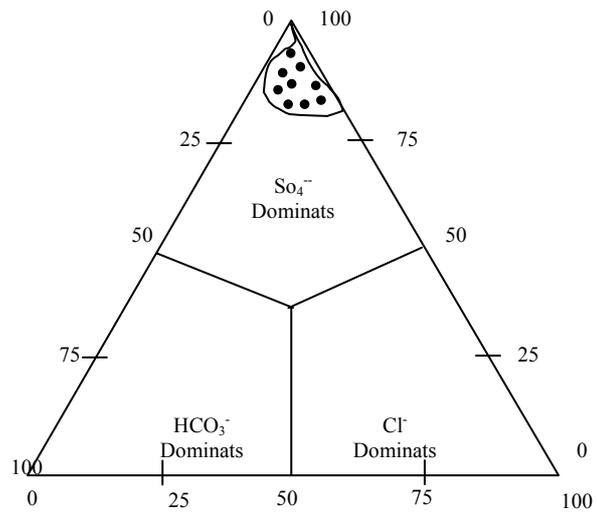
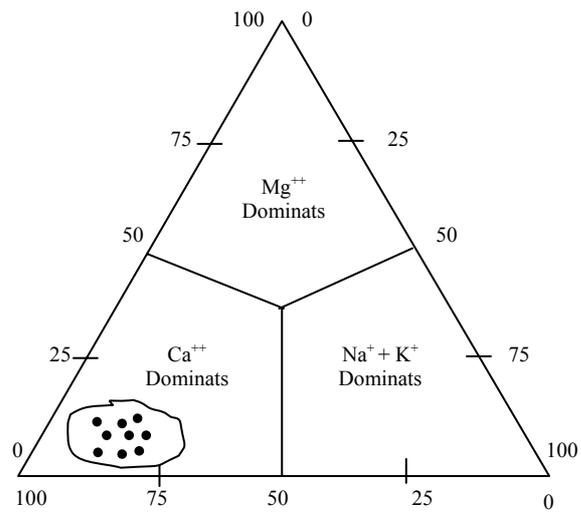
**I-4 Les Faciès chimiques :**

Les eaux de quatre nappes sont dominées par l'ion  $\text{Ca}^{++}$  qui varient de 42,37 meq/l pour P1 à 59,31% pour P4.

Viennent ensuite le  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Na}^+$  avec des valeur maximales respectivement de 18,43% et 16,8%, l'ion  $\text{K}^+$  est pratiquement négligeable.

Concernant les anions les sulfates sont le plus prépondérants que les chlorures et les bicarbonates, l'ordre de classement des anions selon leur importance serait le suivant dans toutes les nappes :  $\text{SO}_4^{--} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^{--}$

La représentation de ces eaux sur le diagramme de Piper (Fig n°13) montre un faciès sulfaté calcique dont tous les échantillons.



**Fig n°13** : Représentation des eaux des nappes sur le diagramme de PIPER.

**I-5 Discussion :**

Au vu des résultats précédents, un certain nombre d'observations sont à relever, il s'agit du Faciès chimique, l'origine du gypse et la salinité des eaux.

**I-5-1 Le Faciès chimique :**

La caractéristique la plus commune entre les résultats que nous avons obtenus est la présence en forte proportion des sulfates et de calcium ; le faciès chimique est franchement sulfaté calcique. En revanche, le chlore est beaucoup moins abondant, cet état de fait pourrait être lié au contact des eaux profondes avec les sédiments contenant ces éléments.

**I-5-2 Origine de gypse :**

L'eau des nappes et des sources constitue le principal agent de transport de sulfate de calcium, par contact direct avec les couches évaporitiques, ou avec des couches renfermant ce minéral, Par conséquent, l'origine du gypse dans cette région est essentiellement hydrogéologique comme a été observé dans le sud Tunisien (POUGET, 1968).

Le gypse peut être transporté par l'eau ou les vents qui sont parmi les facteurs climatiques qui interviennent dans la déposition du gypse. VIEILLEFON (1976) a parlé de ces dépôts comparable à des dépôts éoliens du gypse qui sont très répandus aux sud des Etat unis.

**1-5-3 La salinité des eaux des nappes :**

Les nappes 1 et 2 sont peu salées par rapport aux nappes 3 et 4. Ceci est dû à la topographie des terrains. En plus les nappes 3 et 4 sont les plus basses par rapport aux nappes 1 et 2. Selon POUGET (1968), la nature du sol et la topographie interviennent dans le processus de salure de la nappe. Les nappes phréatiques présentent des compositions chimiques variées et originales à l'image des eaux dont elles sont issues et également des sols où elles circulent (POUGET, 1968).

La salure des sols est liée aux caractéristiques de la nappe et à leur variabilité (HACHICHA et al 1997).

Les nappes 1 et 2 sont plus profondes avec une salinité moindre que celle des nappes 3 et 4 qui sont proches de la surface du sol, le profil 4 se rapproche du Sebkhâ où les chlorures commencent à être plus présents.

### CHAPITRE III : Relation entre les sels des nappes et les sels des solutions du sol :

Dans cette étude quatre profils de sols ont été sélectionnés et sont représentatifs de chacun des nappes étudiées avec chaque profil composant trois horizons.

Les échantillons étudiés sont prélevés des glacis ou on les a divisés en 3 parties. Profil 1 et 2 présentent la partie amont, le profil 3 la partie médiane (moyenne) et le profil 4 la partie basse (près de SEBKHA).

Cette division se fait selon la position topographique.

Il existe dans la zone d'étude trois principaux types de profils salins:

#### 1- 1<sup>er</sup> type de profil salin:

##### 1-1- Caractérisation de profil salin type 1 (profil 1)

Le profil 1 présente un horizon supérieur plus salé par rapport aux autres horizons, il a une CE de 4.81 dS/m. La texture est sablonneuse avec une dominance du sable fin ou les sables sont concentrés dans l'horizon inférieur avec 84.93% limon + argile marquent un taux élevé dans l'horizon supérieur 34.20%, le calcaire a une valeur maximale de 34.30% dans l'horizon inférieur ou le gypse a un taux minimum de 9.8%. Il est souvent admis que, quand la quantité de calcaire augmente, la quantité de gypse diminue et vice versa (FAO 1990).

La matière organique augmente dans l'horizon superficiel avec 1.02% ou l'argile + limon sont élevés avec 34.20%.

Le faciès chimique des solutions est sulfaté calcique dans tous les horizons. La nappe a aussi un faciès sulfaté calcique et une CE de 4.46 dS/m ce qui indique une très forte salinité selon DURAND (1958).

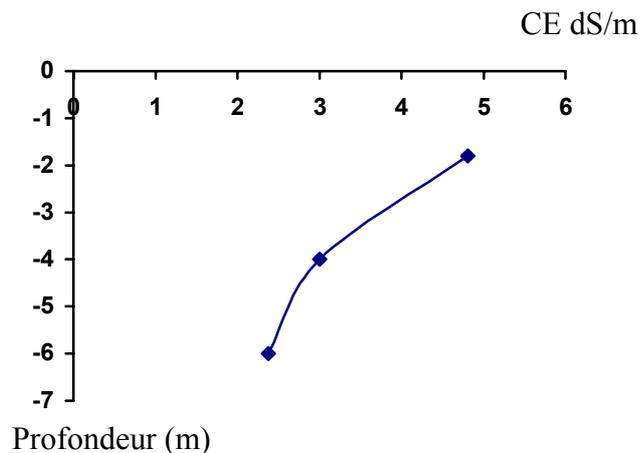


Fig n°14: profil salin du Profil 1

### 1-2 La salinité:

Le tableau (n°25) montre une CE de la nappe 1 de 4,46 dS/m, elle est élevée par rapport aux derniers horizons du profil, mais a peu près égale à celle de l'horizon supérieur. Le profil salin est de type ascendant. Les sels sont concentrés dans l'horizon de surface alors que les deux horizons (médian et profond) ont des valeurs moins élevées de la CE. La salinité de l'horizon de surface peut être de l'origine des eaux du nappe (CE de 4.46 dS/m).

L'origine de la salinité de l'horizon de surface peut être due à la remonté capillaire de la nappe. BERTRAND (1985) souligne l'importance de la remonté capillaire à partir d'une nappe profonde d'origine géologique fortement salée, N'DIVE (1987) vérifié cet hypothèse en Niger.

### 1-3 Relation entre le profil salin type 1 et la nappe 1 :

Le profil 1 présente une faible salinité par rapport aux autres profils du fait de leur position en amont. Les sels les plus dominants sont les sulfates avec des valeurs plus élevées que celle de la nappe alors que les chlorures et les bicarbonates sont très marqués dans la nappe en comparaison avec celle des profils. Le  $\text{Ca}^{++}$  reste le cation le plus dominant dans le profil et dans les eaux de la nappe. L'existence de cristaux de gypse sous forme de cristaux dans la base de profil avec des traces d'oxydo- réduction implique que la nappe a fluctué dans cette frange. Les chlorures augmentent avec l'augmentation de la CE, ceci reste vrais pour les chlorures, le  $\text{Na}^+$  et le  $\text{Mg}^{++}$ . Les concentrations de calcium dans le sol sont moins élevées que celles des sulfates. ( tableaux 17,25).

Dans ce profil on peut dire que les sels présent dans la nappe sont d'origine héréditaire à partir du matériau parental ils seraient donc d'origine primaire (DJILI, 2003).

Il est à signalé que l'intensité de l'évolution de la salinité est en rapport avec l'eau d'irrigation utilisée (HALLILAT, 1998; DJILI et al, 2003).

### 1-4 Conclusion

Le profil 1 correspond au nappe 1 montre une salinité élevé dans la partie supérieure qui a des sels semble a celle de la nappe avec différence de quantité qui est élevé dans le profil ce qui indique que le sol au contact avec l'eau qui est un agent de transport des sels.

## 2- 2<sup>ème</sup> type de profil salin (profils 2 et 3).

### 2-1 la salinité:

Le profil 2 a une salinité faible (2.33 dS/m) dans l'horizon supérieur et 2.37 dS/m dans l'horizon inférieur.

Le profil salin montre un horizon médian salé avec 9.73 dS/m et une transition contenant traces d'oxydo réduction (tableau18).

L'horizon inférieur n'est pas gypseux (0% de gypse) renferme des roses de sable. Selon POUGET (1968) ces formations se trouvent dans un matériau non gypseux, le plus souvent un sable fin à grossier, siliceux ou calcaire (notre cas) et jamais dans un matériaux sableux finement gypseux.

La nappe a une CE 5.25 dS/m (tableau 25).

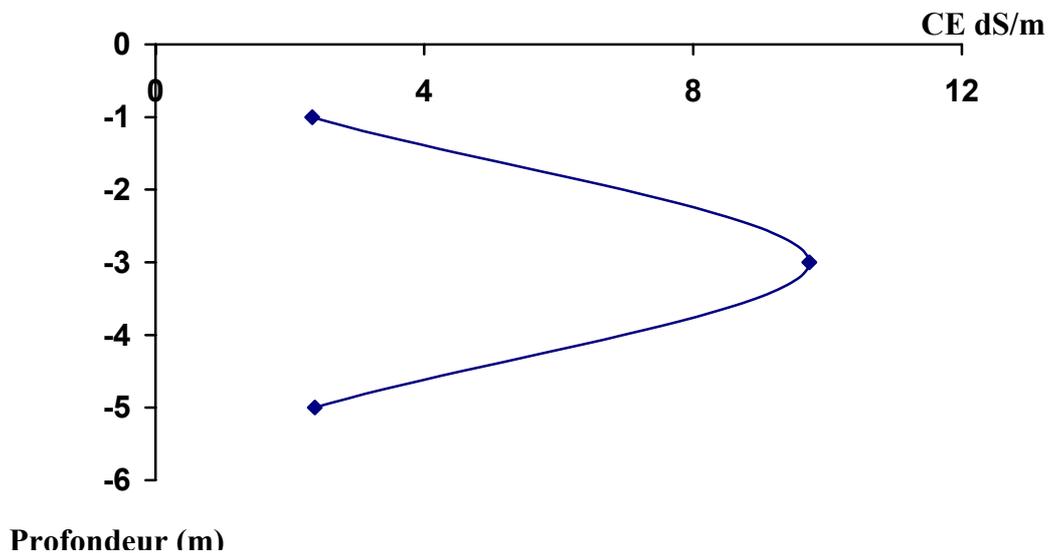


Fig n° 15 : Profil salin du cite P2



**Figure n°16 : rose de sable**

## 2-2 Relation entre le profil salin (2<sup>ème</sup> type) et la nappe 2:

Les sels abondants dans le profil 2 sont les même rencontrés dans la nappe. Les chlorures et les bicarbonates sont présents sous des quantités variables. Les sulfates, les chlorures et les bicarbonates sont concentrés dans l'horizon médian où la salinité est la plus élevée, ils sont en corrélation avec la CE. Le  $\text{Ca}^{++}$  et le  $\text{Na}^+$  ont des valeurs les plus élevées en relation avec la salinité dans l'horizon médian. ( tableaux18,22).

La nappe joue un rôle important dans ce profil et particulièrement dans l'horizon médian. En effet, les mouvements de la nappe phréatiques modulent la dynamique des sels en créant une dynamique verticale ascendante qui, en l'absence de lessivage et sous l'effet de l'évapotranspiration e, favorise la remonté des sels par capillarité (N'DIAYE et GUINDO, 1998).

Le profil 2 a une valeur très élevée du calcaire en profondeur avec 42.91% et La nappe une salinité très forte de 5.25 dS/m.

D'après Al-RUWAIH (1995), les eaux souterraines de l'aquifère carbonatée sont sous saturées fortement en l'anhydrite et en gypse. En général, la salinité de l'aquifère de Dammam peut atteindre localement 150 000mg/l dans la direction d'un écoulement.

L'abondance de la roche carbonatée dans le bassin, et l'altération rapide de la lithologie et le taux d'érosion suppose que la dissolution des minéraux carbonatés va additionner des quantités significatives de  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  au réservoir. Mais le taux élevé des bicarbonates de calcium et des sulfates de calcium des eaux suppose que l'altération de la calcite et du gypse sont les processus dominants (JALALI, 2005).

## 2-3 Conclusion

Ce profil localisé dans la partie médiane de la séquence étudiée présente une salinité importante dans l'horizon médian avec un taux de calcaire élevé (42.91%). Les sels dissouts dans la nappe sont identiques à ceux trouvés dans le sol.

## 2-4 - Caractérisation du profil 3 :

Le profil 3 présente un pH variant entre 8.36 et 8.71. L'horizon médian a une salinité très élevée où la CE enregistre une valeur de 19.65 % dS/m. ce profil marque des taux élevés de gypse et de calcaire comparativement aux autre profils, le gypse présente un taux maximal dans l'horizon supérieur avec 53.32% et le calcaire avec le taux le plus élevé ( 29.24% ) . La teneur en matière organique est la plus importante dans l'horizon médian avec 2.15% et la

CEC avec 11.6 meq/100g. le  $\text{Ca}^{++}$  est le cation échangeable le plus dominant, alors que le  $\text{Na}^+$  marque des valeurs faibles (tableau 19).

La texture est sableuse dans tous les horizons, la fraction Argile + Limon présente un taux élevé dans cet horizon (34.08%).

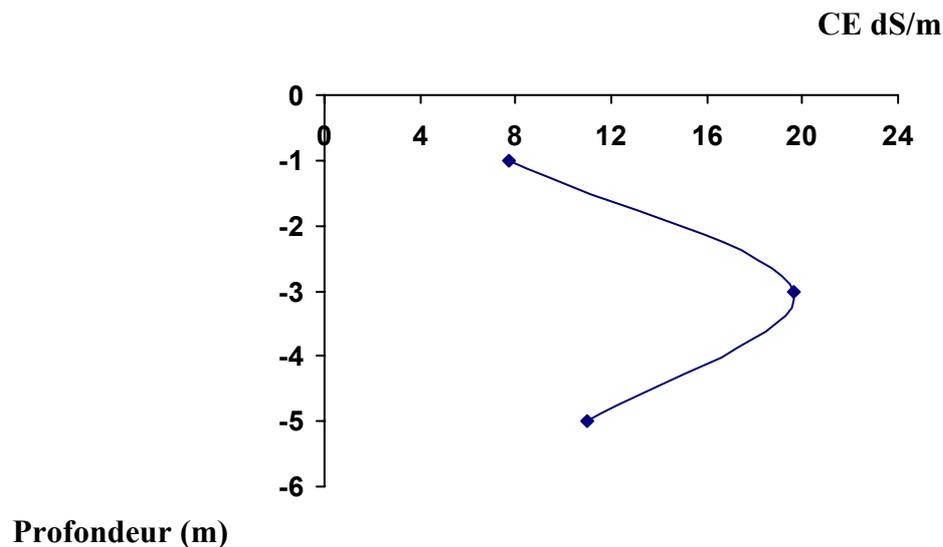


Fig n°17: profil salin du cite p3.

### 2-5 Relation entre le profil salin et la nappe 3 :

La salinité dans le profil 3 est très importante au niveau de l'horizon médian où la CE est de 19.65 dS/m. Cet horizon a la particularité de la présenter une couleur noirâtre avec une teneur maximum de la matière organique, traduisant la stagnation de l'eau pour une période donnée. Cette couleur indique la dissolution de la matière organique (tableau 19).

Dans ce profil, il y a des teneurs importantes de calcaire et de gypse. Une augmentation de la tension de  $\text{CO}_2$  permet une nouvelle dissolution de  $\text{CaCO}_3$  en augmentant le nombre d'ions  $\text{Ca}^{++}$  et en précipitant ainsi une certaine quantité de gypse dont la solubilité a diminué (SCHOELLER, 1962, AKHVLE DIANI, 1963, TOLCHEL NIKOV, 1962). La nappe 3 est très fortement saline avec une CE de 7.25 dS/m (tableau 25).

Le profil 3 présente un profil salin à ventre salin où les sulfates sont les plus abondants surtout dans l'horizon médian ensuite viennent les chlorures et avec une petite quantité il y a les bicarbonates, Le calcium est le plus dominant avec 77.36 meq/l puis le  $\text{Na}^+$  avec

15.18 meq/l , le  $Mg^{++}$  avec 7.07meq/l , la CE augmente avec l'augmentation des chlorures , des sulfates, du  $Ca^{++}$  , du  $Na^+$  et du  $Mg^{++}$ ( tableaux19,23).

Néanmoins, les solutions possèdent une réserve en gypse leur évitant la sodisation (HACHICHA, 1997).

Les eaux de la nappe présentent des sels semblables à celles des solutions du sols où les sulfates et le  $Ca^{++}$  sont les plus dominants. Ceci est du à la présence du gypse. Les chlorures dans la nappes présentent une quantité de 12.65 meq/l qui est importante que celles rencontrées dans les nappes 1 et 2, Le  $Na^+$  enregistre une quantité de 11.2 meq/l et le  $Mg^{++}$  une valeur de 10.92 meq/l (tableau26).

L'hydrochimie des eaux des nappes varie en relation avec les différentes interactions eau-roche (présence de calcite, dolomite, le gypse, granite) et l'évaporation (JALALI, 2005).

## 2-6 Conclusion

Le profil 3 affiche une CE plus élevée que celle de profils 1 et 2, la nappe 3 a une CE de 7.25 dS/m ce qui indique une salinité excessive. Les sels accumulés dans l'horizon médian implique que la nappe s'est maintenue à ce niveau pour une période donnée la laissant une couleur noirâtre, les sels rencontrés dans les solutions du sol sont les mêmes qu'on retrouve dans la nappe.

## 3-3<sup>ème</sup> type de profil salin (profil 4):

### 3-1-Characterisation du profil 4 :

Le profil 4 présente la partie aval de la séquence étudiée.C'est le profil le plus salé avec ses trois horizons, l'horizon inférieur est excessivement salé avec un CE de 19.97 dS/m.

Le profil salin est de type descendant.

Le gypse est présent avec une concentration très importante (55.8%). Dans l'horizon de surface et 60.20% dans l'horizon inférieur, On observe une diminution des quantités de calcaire ou on observe une corrélation négative entre les deux éléments avec le maximum de gypse (64.5 %) dans l'horizon intermédiaire, et le minimum du taux de calcaire dans le même horizon avec 1.13% (tableau20).

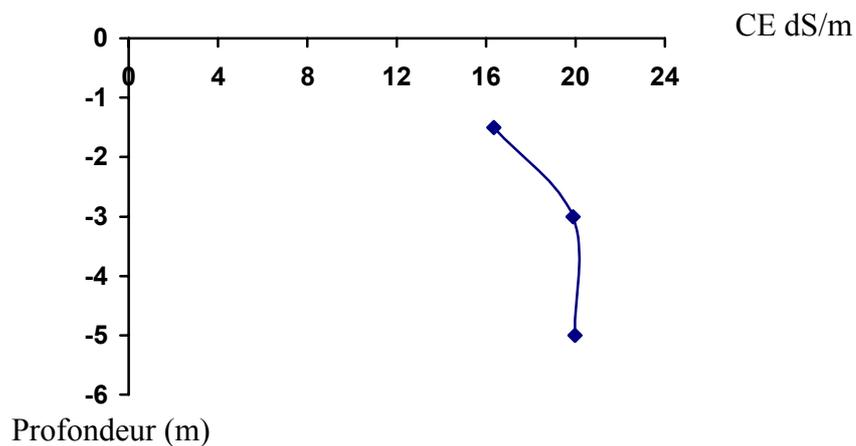
La texture est sablonneuse dans tous les horizons de ce profil .Ces sols sont peu riches en matière organique avec une valeur maximal enregistrée dans l'horizon de surface peuplé de végétations halophytes autour de la nappe. Concernant la nappe, elle marque une CE plus élevé par rapport aux autre nappes, elle est de 11dS/m ce qui indique une salinité excessive selon DURAND (1958).

### 3-2 -Relation entre le profil salin et la nappe 4 :

La salinité de cet profil est élevée dans l'horizon inférieur car les sols ont subi une phase de lixiviation des sels solubles (SERVANT, 1975). Les taux de gypse dans ce profil sont très élevés.

Les sulfates sont les sels les plus dominants dans les 3 horizons du profil avec un maximum dans l'horizon médian, Les chlorures sont moins dominants par rapport aux sulfates ceci est du probablement à une nappe située en gypse.

Le  $\text{Ca}^{++}$  est le cation le plus dominant soit dans les sols ou dans la nappe, vient ensuite le  $\text{Na}^{++}$  avec 16.8 meq/l dans la nappe et varie 13.30 meq/l à 14.10 meq/l dans l'horizon inférieur. ( tableaux 24,26).



**Fig n°18:**profil salin (3<sup>ème</sup> type) p4

En profondeur ces sols peuvent contenir des formations gypseuses fossiles consolidées (MTIMET et HACHICHA 2000).

Selon MOUCHOUCHE et BOULASSE (1999) la présence d'une couche de sol imperméable provoque une accélération du phénomène de salinité.

Dans le cas des eaux, la source de salinité existante revient à l'évaporation intensive de l'eau d'irrigation qui afflue en surface et conduit à la précipitation des sels des évaporites tels que la calcite, la dolomite et le gypse qui affect particulièrement les eaux des nappes à faible profondeur (SUBYANI, 2004).

Les sulfates sont plus dominant dans les sols que la nappe ceci est du à la présence du gypse puis les chlorures.

**Conclusion**

Le profil 4 contient des sels semblables à celle de la nappe concernant les sulfates, les chlorures et les cations ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ). Les sulfates sont les plus élevés dans les sols par rapport à la nappe. Les chlorures dans ce profil commencent à être élevé par rapport aux autres profils. Ce ci est du à l'influence de SEBKHA où le profil 4 se rapproche de cette dernière.

#### 4-Relation entre les sels des horizons inférieurs et ceux des nappes

##### 4-1 La conductivité électrique:

D'après la figure ( n°19 )représentée dans le graphe,on remarque que la CE des horizons inférieurs est plus élevée que celle des nappes dans les profils3 et 4,cependant il ya une relation entre la CE des des nappes 1 et 2 et celle des horizons inférieurs du sol où

La CE des nappes est élevée par rapport au sol

L'augmentation brusques des valeurs de la CE peuvent être attribuées à leur forte accumulation des sels solubles tels que les chlorures (AUBERT et SERVANT, 1976).

Pour connaître l'origine des sels apportés aux sols, on a recours à l'équation suivante:

$$EC_{sw} = 2EC_e \text{ (FAO, 1976) où}$$

$EC_{sw}$ :CE del'eau percolée

$EC_e$ : CE de l'extrait du sol

.Pour le profil 1:  $4.46 \text{ dS/m} = 2 \times 2,38 = 4.76 \text{ dS /}$

Pour le profil 2 :  $5.25 \text{ dS /m} = 2 \times 2.37 = 4.74 \text{ dS /m}$

Pour le profil 3 :  $7.25 \text{ dS/m} < 2 \times 11.03 = 22.06 \text{ dS/m}$

Pour le profil 4 :  $11 \text{ dS/m} < 2 \times 19.97 = 39.94 \text{ dS/m}$

Pour le profil 1 et 2 l'équation est conforme ce qui confirme la participation des eaux d'irrigation dans la salinité des sols.Cependant les profils 3 et 4 sont sujets à des apports extérieurs autre que l'eau d'irrigation (eau percolée).

A long terme HACHICHA et MHIRI (2003) ont montré que l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation pourrait se traduire par une accumulation des quantités des sels solubles.la progression de la salinité n'est pas arrêter que par une dépression hyper salée d'alluvion fines(sebkha ou shott)(MTIMET et HACHICHA,2000).

#### 4-2 Les anions :

La figure (n° 20 ) montre les concentrations des  $\text{HCO}_3^-$  sont plus élevées dans la nappe en comparaison avec celle des sols.

Dans les 3 premiers profils, il ya une corrélation entre les bicarbonates des nappes et ceux des sols mais ils sont plus concentrés dans la nappe, l'apport extérieur ne le concerne pas.

Concernant les chlorures, le graphe de figure (n° 21 ) affiche l'augmentation de ces sels dans la nappe par rapport aux sols, il ya une corrélation significative entre les chlorures des nappes et ceux des sols (horizons inférieurs).

On peut souligner que les sulfates dans les nappes sont moins importantes que ceux dans le sol, ce sont les plus concernés par l'apport extérieurs particulièrement dans le P3 et P4(figure n°22).

#### 4-3 Les cations :

Le  $\text{Mg}^{++}$  enregistre une augmentation de leurs quantités dans les nappes par rapport à celle du sol, et il ya une relation significative entre les deux (Mg du sol et Mg du nappe), il n'ya pas d'effet des apports extérieurs(figure n°23).

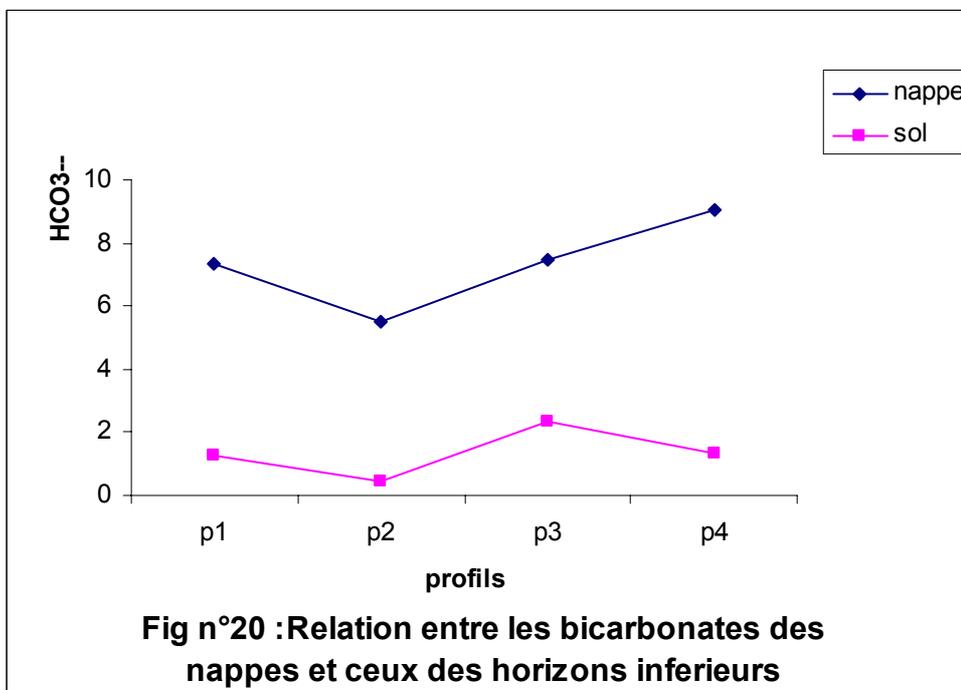
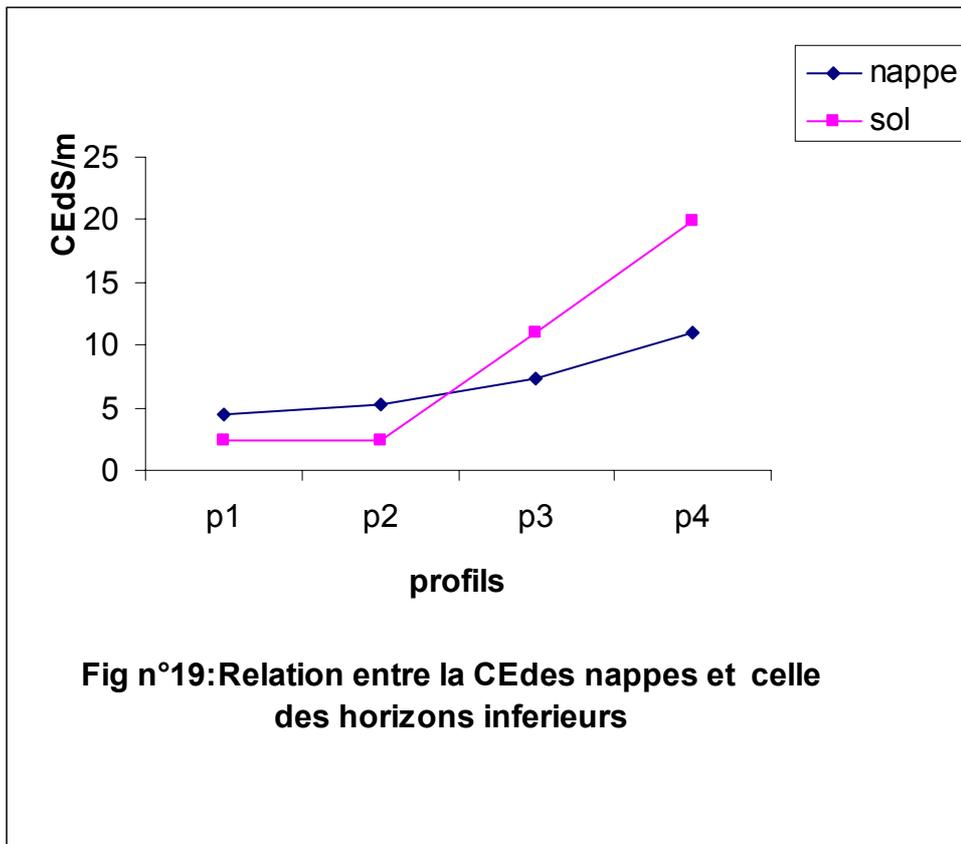
Le sodium ( $\text{Na}^+$ ) présente des quantités élevées dans les nappes par rapport à celle trouvées dans le sol surtout dans les profils 1 et 2, mais il ya un rapprochement entre le courbe des nappes et celui du sol dans les profils 3 et 4 à cause de la solubilité de  $\text{Na}^+$ (figure n° 24).

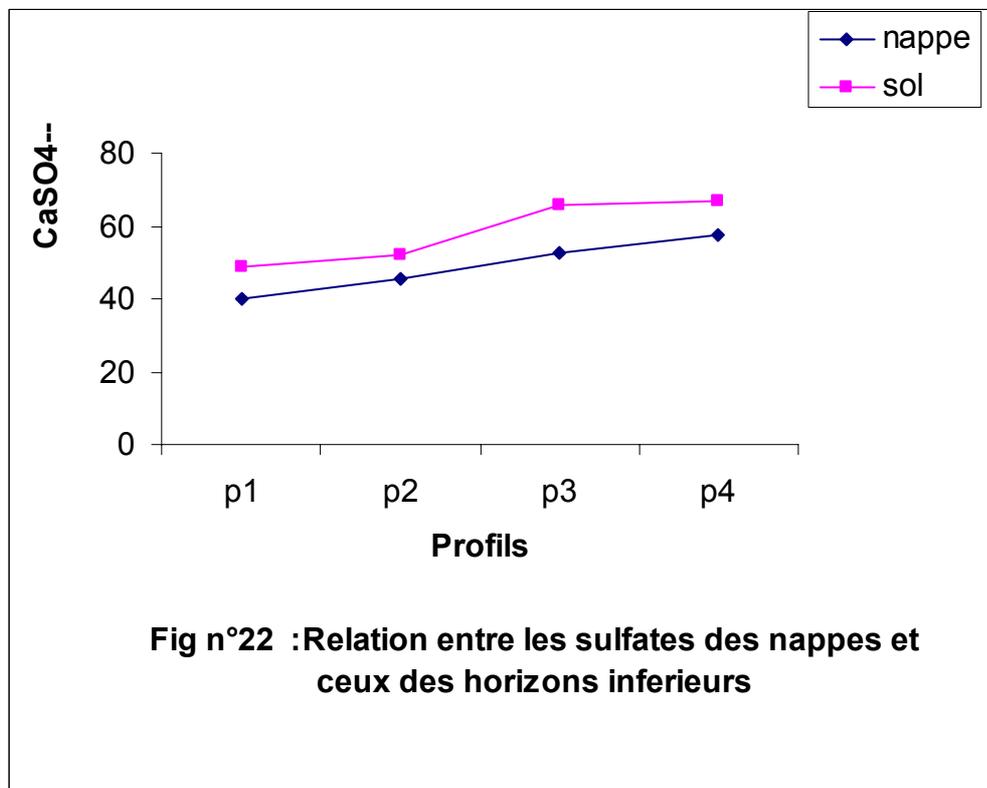
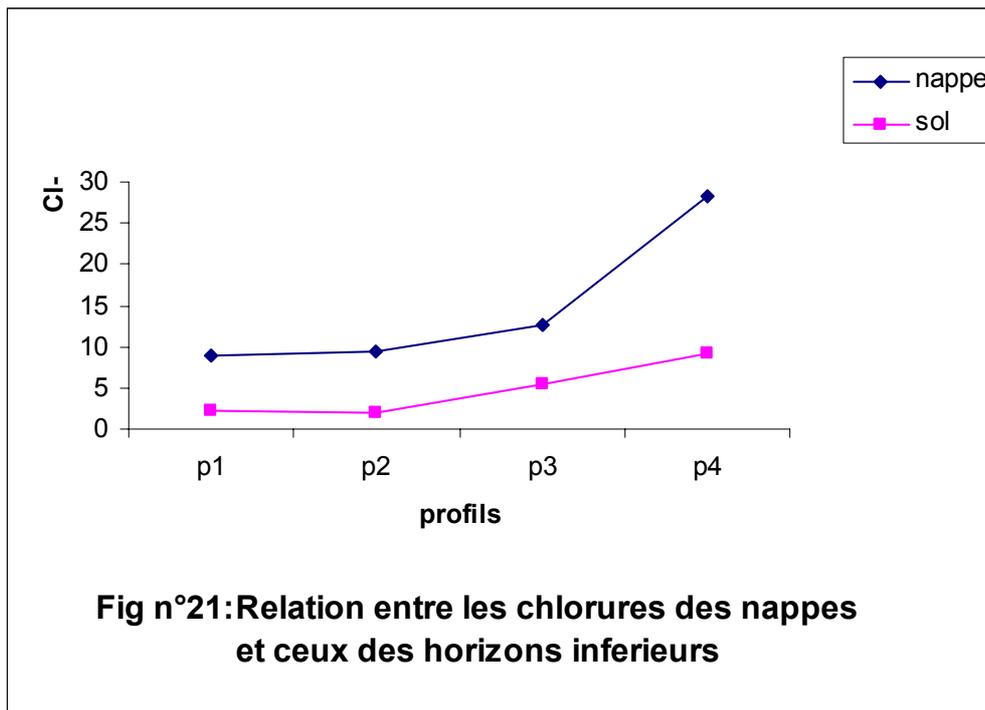
Contrairement à ce qui est remarqué pour le  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Na}^{++}$ , les nappes contiennent moins de  $\text{Ca}^{++}$  en comparativement aux sols .pour le profil 4 ,le  $\text{Ca}^{++}$  se concentre dans la nappe et suit l'évolution de  $\text{SO}_4^-$ (figure n° 25).

De l'amont vers l'aval, l'augmentation de la concentration des sels dans la nappe provoque l'apparition des ions majeurs suivant un ordre où les sels qui vont précipiter en aval (JOB, 1992, ZIDI et al, 1993, ZIDI et HACHICHA ,1993).

Les eaux des nappes contiennent une composition chimique semblable à celle des sols mais avec des quantités différentes où interviennent les apports extérieurs.Selon JALALI(2005),les quantités de  $\text{Ca}^{++}$  et Mg sont obtenus par la dissolution du gypse,la calcite et la dolomite.

Le transport éolien aussi peut jouer un rôle important, l'effet de ce processus peut être local et les sels transportés d'un point et accumulés dans un autre point .L'effet net de l'apport éolien est généralement difficile à déterminer, cependant la mobilité dépend de la minéralogie.les carbonates de calcium et les sulfates forment des grains fins et sont facilement transportés, mais les chlorures de sodium sont difficile à transférer ou à apporter (WOOD et SANFOOD, 1995).





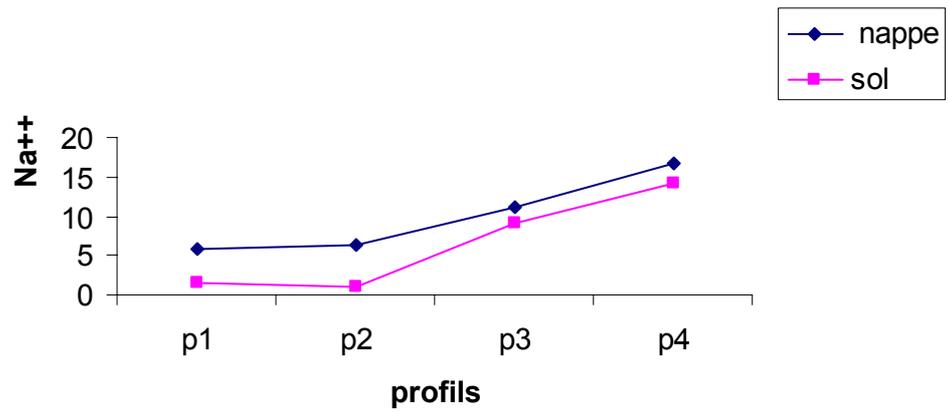


Fig n°23 : Relation entre le sodium des nappes et celui des horizons inférieurs

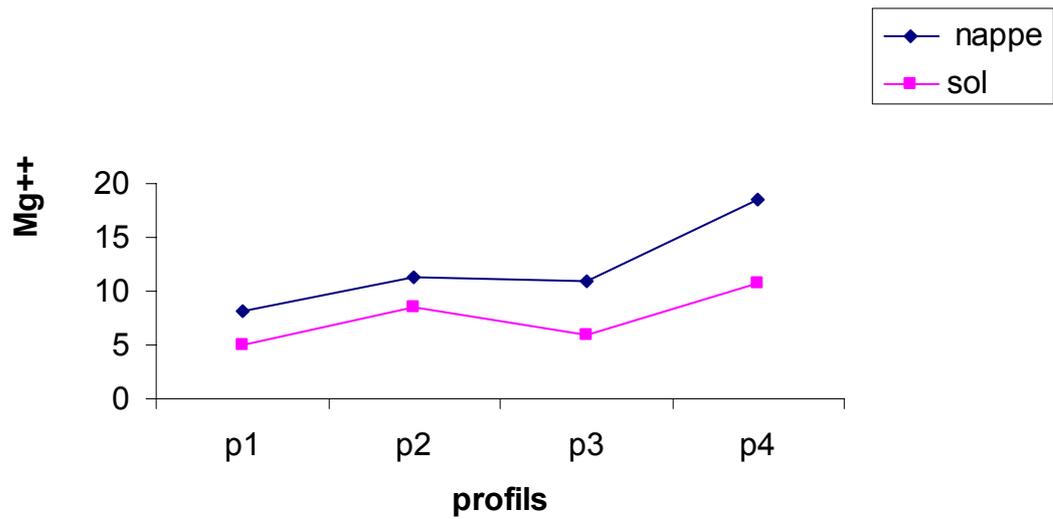
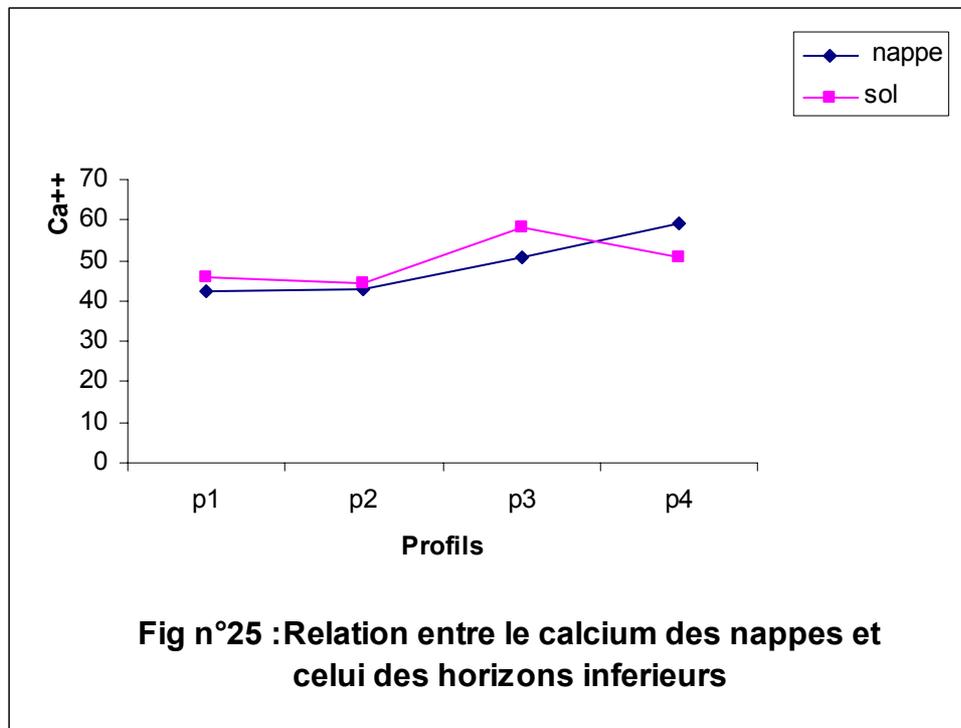


Fig n°24 : Relation entre le magnésium des nappes et celui des horizons inférieurs



## Conclusion générale

La région d'étude se caractérise par un climat aride très évaporant, des eaux des nappes profondes et des sols avec une texture à dominance grossière, ces conditions réunies ont favorisé le développement de processus de gypsification.

La présence des nappes phréatiques dans le sous sol est marquée par les remontées des sels surtout en période chaude et participe à la formation des croûtes et encroûtements dans les différents horizons des sols (debdeb).

L'objet de ce travail était de caractériser et d'étudier la relation entre la nappe et les sols gypseux ou le but principal est de connaître l'origine des sels.

À l'issue de cette étude, il ressort que les sols analysés sont alcalins modérément calcaire, modérément gypseux à fortement gypseux. Leur faible teneur en matière organique et en argile leur confèrent une faible capacité d'échange cationique sauf dans la partie aval (P3 et P4) on observe des valeurs peu élevées de la matière organique et de la fraction (A+L), suite au développement dense d'une végétation halophyte.

Cette étude a révélé que les sols sont généralement salés à excessivement salés avec un faible risque d'alcalinisation, le gypse est le sel le plus dominant dans toute la région d'étude, il peut se présenter sous forme de rose de sable et se localisent seulement dans certains horizons de rabattement de la nappe, le faciès chimique de ces sols est de type sulfaté calcique.

Cette région dépend pour l'essentiel des ressources en eau, des nappes profondes, les eaux des nappes sont fortement salées à excessivement salées avec un risque d'alcalinisation faible, le faciès chimique de ces eaux est semblable de celui des solutions des sols; il est de type sulfaté calcique, ces eaux sont utilisables pour l'irrigation de tous les sols avec peu de danger de sodisation, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées. En revanche elles ont joué un rôle prépondérant dans la pédogenèse des sols de la région et notamment dans la formation des accumulations gypseuses.

L'étude des profils salins montre que la nappe a un grand rôle dans la salinité des sols surtout dans les sols où la nappe est peu profonde (P3 et P4), le niveau de la salinité constaté dans la couche médiane (P3) et dans l'horizon inférieur traduit l'importance de la remontée de la nappe et notamment dans l'été sous l'effet de la forte évaporation. Un excès des sels était observé dans la partie aval au bordure de SEBKHA (P4) de même il y a une accumulation gypseuse.

L'étude de faciès chimique des eaux des nappes et des solutions des sols indique une similitude entre les échantillons des eaux et ceux des solutions du sol.

A travers notre étude nous pouvons dire qu'il existe une relation entre les eaux des nappes et la salinité des sols gypseux surtout qu'ils sont présentent les même sels avec un différence des quantités. L'une des causes de la salinité des sols de Ain Ben Noui est la présence de la nappe phréatique salée qui est riche en sulfates et en calcium. Acoté de la présence de la nappe ,il ya des apports extérieurs participent dans la salinité des sols; les eaux d'irrigation, les dépôts éoliens à base de matière salée. La relation entre les horizons inférieurs des sols et les eaux des nappes montre que la partie amont de la zone étudiée se sale par des eaux des nappes utilisées pour l'irrigation. Les apports éoliens dans la partie aval contribués à la salinisation des sols ,ces sels sont orientés par la fluctuation de la nappe ce qui fausse la relation entre les horizons inférieurs et la nappe.

## Description morphologique des sols

### Profil n° : 1

**Horizon H<sub>1</sub> (0 -1m80) :** Couleur à l'état sec 10 YR 8/4, brun très pale, structure massive,

poudreuse, friable, faible effervescence à l'HCl, transition nette et diffuse.

**Horizon H<sub>2</sub> (1m80 -4m) :** Couleur à l'état sec 10 YR 8/2, blanc, milieu compact,

l'effervescence à l'HCl est moyenne, transition nette et ondulée.

**Horizon H<sub>3</sub> (> 4m) :** Couleur à l'état sec 10 YR 8/6 jaune, traces d'oxydoréduction, gros

cristaux de gypse, forte effervescence à l'HCl.

### Profil n° : 2

**Horizon H<sub>1</sub> (0 -1m) :** Couleur à l'état sec 10 YR 8/3 brun très pale, structure polyédrique

moyenne, nombreuses racines, milieu très compact transition diffuse, forte effervescence à

l'HCl.

**Horizon H<sub>2</sub> (1m -3m) :** Couleur à l'état sec 2,5 Y 8/2 blanc, structure massive, quelques

traces d'oxydoréduction, transition diffuse, effervescence moyenne à l'HCl.

**Horizon H<sub>3</sub> (> 3m) :** Couleur à l'état sec : 10 YR 8/2 blanc, milieu compact, restes de gypse

très fins, rose de sable, très forte effervescence à l'HCl.

### Profil n° : 3

**Horizon H<sub>1</sub> (0 -1m) :** Couleur à l'état sec 10 YR 7/2 gris calcaire, structure massive, friable,

forte effervescence à l'HCl.

**Horizon H<sub>2</sub> (1m -2m) :** Couleur à l'état sec 10 YR 6/1 gris claire structure massive, friable,

une couleur noirâtre à l'état humide, reste de coquille et de racines calcifiées, forte effervescence à l'HCl.

**Horizon H<sub>2</sub> (> 3m) :** Couleur à l'état sec 10 YR 8/2, milieu compact, nombreux restes de

gypse très fin, rose sable, très forte effervescence à l'HCl.



**Nappe 1**



**Nappe2**



**Profil 3**



**Nappe 4**



**Profil 4**

## ملخص

التربة الجبسية تحتل مساحات شاسعة في المناطق الجافة و شبه الجافة. الصحراء الجزائرية تمثل الوسط الملائم لتشكل هذه التربة. في التراب الجبس يعتبر الملح الاكثر انتشارا في كل العينات. كذلك الأملاح الدائبة متواجدة على طول المنطقة المدروسة خاصة في المنطقة المنخفضة أين تترسب تحت تأثير المياه. في هذه التربة المحاليل مصنفة مع النوع الكبريتي الكالسيوم. دراسة المياه تبين أن هذه المنطقة تتميز بمياه كثيرة الملوحة. النتائج أثبتت أن المياه مصنفة مع النوع الكبريتي الكالسيوم الذي يعتبر مشابها للنوع الذي صنفت إليه التربة. المياه الجوفية تلعب دورا مهما في ملوحة التربة الجبسية خاصة القريبة من السطح كما أنه توجد عوامل أخرى ساهمت في ملوحة التربة، مياه السقي في الجهة العليا أين توجد المياه الجوفية على عمق كبير، والرياح في الجهة السفلى أين توجد المياه قريبة من السطح.

### Résumé:

Les sols gypseux présentent des vastes étendues dans les régions arides et semi arides. Le Sahara Algérien constitue le milieu favorable pour la formation de ces sols. La région de Ain Ben Noiu (Biskra) est l'un des endroits privilégiés pour l'étude de ces sols. Dans les sols, le gypse est le sel le plus abondant dans tous les échantillons ainsi les sels solubles est présents le long de la séquence particulièrement dans la partie basse où s'accumulent sous l'effet de la nappe. Dans ces sols, les solutions présentent un faciès sulfaté calcique dominant. L'étude des eaux des nappes montre que cette région est caractérisée par des eaux à forte salinité. par ailleurs, les résultats montrent que le faciès chimique dominant est semblable à celui du sol c'est le faciès sulfaté calcique. Les nappes jouent un rôle primordiale dans la salinisation des sols gypseux surtout les plus proche de la surface du sol. Comme il ya d'autres facteurs qui participent dans la salinité des sols, les eaux d'irrigation dans la partie amont où les nappes sont très profondes, et les vents dans la partie aval où la nappe est proche de la surface du sol

### Abstract

Gypsiferous soils present large extents in the arids regions. The Algerian Sahara constitutes the favorable environnement in the formation of soils.

The region of Ain Ben Noui (Biskra) is one of the privileged places for the survey of these soils.

In the sols, gypsum is the most abundant salt in all profiles and the soluble salts present at the long of the sequence, particularly in the low part where they accumulate under the influence of ground water. In these soils, the solutions present a dominant sulfaty calcic faciès.

The survey of the ground waters shows that this region is characterized by waters with high salinity. Otherwise; the obtained results show that the dominant chemical faciés is similar to that of soil, it's the sulfaty calcic.

The ground waters have an essential role in the salinity of gypsiferous soils, especially that very approach to the surface of soil. However, there are other factors that contribute in the salinity of soils; the irrigation waters in the upper part where the ground waters are very profound and the winds in the lower part where this later is approach to surface of soil.