

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR  
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE  
BATNA**

## ***MEMOIRE***

**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN SCIENCE  
AGRONOMIQUE  
OPTION : PEDOLOGIE**

### **THEME**

**INFLUENCE DE LA TENEUR EN GYPSE ET DE LA  
TAILLE DE SES GRAINS SUR LA CAPACITE DE  
RETENTION EN EAU SUR LES SOLS DE LA ZONE DE  
AIN BENOUI -BISKRA-**

**PAR : HIOUANI FATIMA**

**SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE :**

**DEVANT LE JURY D'EXAMEN COMPOSE DE:**

<b>Mr : SAADOUN T</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>
<b>Mr : BENS Aid R</b>	<b>Maître de conférence</b>	<b>Directeur de thèse</b>
<b>Mr : HALLILET M.T</b>	<b>Maître de conférence</b>	<b>Examineur</b>
<b>Mr : KRIBAA M</b>	<b>Maître de conférence</b>	<b>Examineur</b>

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2006-2007**

## AVANT- PROPOS

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer toute ma reconnaissance à ceux qui, au long de mon travail m'ont apporté leurs aides, leurs conseils et leurs encouragements.

Il m'est très agréable de remercier, en premier lieu, Monsieur BENSAID R, maître de conférences à l'institut d'agronomie de Batna, d'avoir proposé et dirigé ce travail. Je lui exprime ici ma profonde gratitude pour m'avoir prodigué maints conseils pratiques et théoriques. Je souhaiterai que cette précieuse collaboration se poursuive.

J'adresse mes vifs remerciements à Monsieur SAADOUN T, professeur à l'institut d'agronomie de Batna, pour l'honneur qu'il me fait d'accepter la présidence du jury de cette thèse.

Je remercie aussi Monsieur HALLILET M.T, maître de conférence à l'institut technologique de l'agriculture saharienne de Ourgla, d'avoir accepté d'examiner cette thèse. Qu'il trouve ici le témoignage de mon profond respect.

Mes remerciements vont également à Monsieur KRIBAA M, maître de conférences à l'institut d'agronomie de Oum al Baouagui d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

Je remercie tous mes collègues de l'institut d'agronomie de Biskra pour leurs aides, leurs sympathies et leurs encouragements, je suis heureuse aujourd'hui de pouvoir exprimer à tous ma reconnaissance et gratitude. Je pense à M<sup>elle</sup> Zehani, F ; Mr Drouri, H ; Mr Mimeche, F ; Mm Kessai, A ; M<sup>elle</sup> Boukhalfa, H; Mm Dagnouche, K ; Mr Khechai, S ; Mr Boukhil, K ; Mr Guimer, K ; Mr Masmoudi, A ; M<sup>elle</sup> Kadraoui, R ; M<sup>elle</sup> Bouseta, N ; M<sup>elle</sup> Zerari, D.

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué et facilité la réalisation de ce travail dans des bonnes conditions. Je tiens à remercier plus particulièrement : Prof. Dr. Poch R.M de l'université de Leida, Espagne et Madame Robinkova, responsable de la bibliothèque en Belgique, Monsieur Timechbache L, de l'institut technique de l'agriculture saharienne, station de Biskra.

Je remercie chaleureusement M<sup>elle</sup> Rouahna, H, pour sa gentillesse, son aide, et son amitié; qu'elle trouve ici le témoignage de mon respect.

Enfin, je tiens à remercier vivement toute ma famille pour les encouragements et le soutien qu'ils m'ont prodigués durant cette thèse.

## LISTE DES FIGURES

	Page
<b>Figure.1</b> : Distribution générale des surfaces d'accumulation de gypse (exception des roches déposées) (Watson,1985).....	03
<b>Figure.2</b> : Distribution des sols gypseux dans le Nord et l'Est de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971).....	05
<b>Figure.3</b> : Déshydratation du gypse à température croissante (Weisser et al, in Jauzein, 1974).....	11
<b>Figure.4</b> : Différentes phases de la solubilité du $\text{CaSO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ dans l'eau pure en fonction de la température (Weisser et al, in Jauzein, 1974).....	13
<b>Figure.5</b> : Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité dans l'eau (F.A.O, 1990).....	15
<b>Figure.6</b> : Relation entre la capacité d'échange cationique et le taux de gypse (Poch, 1992 a).....	16
<b>Figure.7</b> : Exposition d'une couche gypseuse de sous-sol et les cavités formées comme conséquence d'une irrigation prolongée des sols gypseux (schématiquement) (Mashali, 1996).....	25
<b>Figure.8</b> : Carte d'implantation des profils.....	36
<b>Figure.9</b> : Diagramme omrothermique de Gaussen, période (1977/2004).....	40
<b>Figure.10</b> : Climagramme pluviométrique d'Emberger pour la région de Biskra (1977- 2004).....	41
<b>Figure.11</b> : Diagramme pluviothermique de Pouget (1980).....	42
<b>Figure.12</b> : Esquisse litho- géologique.....	47
<b>Figure.13</b> : Coupe géologique schématique (Abdesselam, 1999).....	51
<b>Figure.14</b> : Croquis géomorphologique de la région d'étude (Abdesselam, 1999)...	53
<b>Figure.15</b> : Coupe hydrogéologique du Zab Gharbi en partie (Mauget, 1967).....	56
<b>Figure.16</b> : Constitution granulométrique des sols.....	69
<b>Figure.17</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe < 0.3% de gypse.....	72
<b>Figure.18</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe < 0.3% de gypse.....	73
<b>Figure.19</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe < 0.3% de gypse.....	74
<b>Figure.20</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe < 0.3% de gypse.....	74
<b>Figure.21</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 0.3 - 10% de gypse.....	77
<b>Figure.22</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe 0.3 - 10% de gypse.....	77
<b>Figure.23</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe 0.3 - 10% de gypse.....	78
<b>Figure.24</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe 0.3 - 10% de gypse.....	79
<b>Figure.25</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 10 - 25% de gypse.....	81
<b>Figure.26</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe 10 - 25% de gypse.....	82
<b>Figure.27</b> : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la	

classe 10 - 25% de gypse.....	83
<b>Figure.28 :</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe 10 - 25% de gypse.....	84
<b>Figure.29 :</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 25 - 50% de gypse.....	86
<b>Figure.30 :</b> Variations de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe 25 -50% de gypse.....	87
<b>Figure.31 :</b> Variations de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe 25 -50% de gypse.....	87
<b>Figure.32 :</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 25 -50% de gypse.....	88
<b>Figure.33 :</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe >50% de gypse.....	91
<b>Figure.34 :</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe >50% de gypse.....	91
<b>Figure.35 :</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe >50% de gypse.....	92
<b>Figure.36:</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe >50% de gypse.....	93
<b>Figure.37:</b> Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier.....	95
<b>Figure. 38:</b> Variation de l'humidité en fonction du taux du gypse dans le sol entier...	95
<b>Figure. 39:</b> Variation de l'humidité du sol dans les fractions du sol de la troisième classe.....	98
<b>Figure. 40:</b> Variation de l'eau utile en fonction du taux du gypse dans le sol entier....	100
<b>Figure. 41:</b> Variation de l'humidité en fonction de la conductivité électrique.....	101
<b>Figure. 42:</b> Variation de l'humidité en fonction du taux du sable total.....	102
<b>Figure. 43:</b> Variation de l'humidité en fonction du taux du limon + argile.....	103

## LISTE DES TABLEAUX

	<b>Page</b>
<b>Tableau.1</b> : Distribution des sols gypseux par pays (F.A.O, 1990).....	04
<b>Tableau.2</b> : Formes de gypse de néoformations et leurs caractéristiques (Verba, 1996)	10
<b>Tableau.3</b> : Solubilité du gypse en présence du chlorure de magnésium MgCl <sub>2</sub> (Pouget, 1968).....	14
<b>Tableau.4</b> : Influence de la concentration de chlorure de sodium (NaCl) sur la solubilité du gypse (Anselme et Cameron in Durand, 1953).....	14
<b>Tableau.5</b> : Relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs (Mousli, 1980).....	23
<b>Tableau.6</b> : Dissolution du gypse : le rapport sol /eau (Job, 1981).....	27
<b>Tableau.7</b> : Sols gypseux dans la classification (C.P.C.S, 1967).....	31
<b>Tableau.8</b> : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période (1977- 2004).....	37
<b>Tableau.9</b> : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales enregistré au cours de la période (1977- 2004).....	37
<b>Tableau.10</b> : Vitesses des vents pendant la période (1992 - 2001).....	38
<b>Tableau.11</b> : Nombre moyen d'heures d'insolation (1971 - 1997).....	38
<b>Tableau.12</b> : Humidité relative moyenne pendant la période (1971- 1997).....	38
<b>Tableau.13</b> : Evapotranspiration calculée par la méthode de Penman (1977- 2001).....	39
<b>Tableau.14</b> : Indices de productivités des sols gypseux (Sys et Veheye in Sys et al, 1991).....	59
<b>Tableau.15</b> : Echantillons de sol sélectionnés (Sys et Veheye in Sys et al, 1991).....	60
<b>Tableau.16</b> : Conductivité électrique à 25 °C de différentes concentrations de sulfate de calcium dans l'eau (Poch, 1989 ; Rayan et al, 2001).....	62
<b>Tableau.17</b> : Table d'équivalence de tension (Baize, 1988).....	63
<b>Tableau.18</b> : Caractéristiques chimiques des sols.....	70
<b>Tableau.19</b> : Caractéristiques physiques des sols.....	70
<b>Tableau. 20</b> : Caractéristiques chimiques de la classe < 0.3% de gypse.....	72
<b>Tableau. 21</b> : Caractéristiques physiques de la classe < 0.3% de gypse.....	72
<b>Tableau. 22</b> : Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe moins de 0.3% de gypse.....	75
<b>Tableau. 23</b> : Caractéristiques chimiques de la classe 0.3 - 10% de gypse.....	76
<b>Tableau. 24</b> : Caractéristiques physiques de la classe 0.3 - 10% de gypse.....	76
<b>Tableau. 25</b> : Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe 0.3 – 10% de gypse....	79
<b>Tableau. 26</b> : Caractéristiques chimiques de la classe 10 - 25% de gypse.....	80
<b>Tableau. 27</b> : Caractéristiques physiques de la classe 10 - 25% de gypse.....	81
<b>Tableau. 28</b> : Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe 10-25% de gypse.....	84
<b>Tableau. 29</b> : Caractéristiques chimiques de la classe 25 - 50% de gypse.....	86
<b>Tableau. 30</b> : Caractéristiques physiques de la classe 25 - 50% de gypse.....	86
<b>Tableau. 31</b> : Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe 25 - 50% de gypse....	89
<b>Tableau.32</b> : Caractéristiques chimiques de la classe > 50% de gypse.....	90
<b>Tableau. 33</b> : Caractéristiques physiques de la classe > 50 % de gypse.....	90
<b>Tableau. 34</b> : Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe > 50% de gypse.....	93
<b>Tableau. 35</b> : Matrice de corrélation entre le taux de gypse et l'humidité.....	96
<b>Tableau.36</b> : Porosité du sol dans les classes des sols étudiées.....	97
<b>Tableau.37</b> : Taille du gypse dans les classes du sol étudiées.....	98
<b>Tableau.38</b> : Matrice de corrélation entre le taux de gypse et l'eau utile.....	99
<b>Tableau. 39</b> : Matrice de corrélation entre la conductivité électrique et l'humidité.....	101
<b>Tableau. 40</b> : Matrice de corrélation entre le taux de sable total et l'humidité.....	103

**Tableau. 41:** Matrice de corrélation entre le taux de limon + argile et l'humidité..... 104

## TABLE DES MATIERES

	Page
<b>Introduction générale</b> .....	01
<b>Chapitre I : Etude bibliographique</b>	
1. Répartition spatiale des sols gypseux dans le monde.....	03
2. Classification des sols gypseux.....	06
2.1. Classification Française.....	06
2.2. Classification Américaine : Soil Taxonomy (SSS, 2003).....	06
2.3. Classification de la F.A.O.....	07
3. Origines du gypse.....	08
3.1. Origine géologique.....	09
3.2. Origine hydraulique.....	09
3.3. Origine éolienne.....	09
4. Formes du gypse dans le sol.....	10
5. Caractéristiques des sols gypseux.....	13
5.1. Propriétés chimiques des sols gypseux.....	13
5.1.1. Formes hydratées et déshydratées du sulfate de calcium.....	13
5.1.2. Relations de solubilité.....	14
5.1.2.1. Solubilité du gypse dans l'eau pure en fonction de la température.....	14
5.1.2.2. Solubilité du gypse en présence des sels solubles.....	15
5.1.2.3. Action du pH sur la solubilité du gypse.....	16
5.1.2.4. Effet de la pression du gaz carbonique (CO <sub>2</sub> ) sur la solubilité du gypse.....	16
5.1.2.5. Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité.....	16
5.1.3. Interaction gypse – calcaire.....	17
5.1.4. Relation entre le gypse et la capacité d'échange cationique (CEC).....	17
5.2. Propriétés physiques des sols gypseux.....	19
5.2.1. Texture.....	19
5.2.2. Structure.....	20
5.2.3. Circulation de l'eau dans le sol.....	21
5.2.4. Stabilité structurale.....	21
5.2.5. Résistance à la pénétration.....	22
5.2.6. Capacité de rétention.....	22
6. Micromorphologie des sols gypseux.....	24

7. Fertilité des sols gypseux.....	24
8. Irrigation des sols gypseux.....	26
9. Effet du gypse sur la végétation.....	28
10. Méthodes analytiques des sols gypseux.....	29
10.1. Méthodes de dosage du gypse.....	29
10.1.1. Méthode de Coutinet (1965).....	29
10.1.2. Méthode de Lagerwerff et al (1965).....	29
10.1.3. Méthode de Loveday (1974).....	30
10.1.4. Méthode de Nelson et al (1978).....	30
10.1.5. Méthode de Berigari et Al- Any (1994).....	30
10.2. Méthode de détermination du gypse par diffractométrie.....	31
10.2.1. Méthode de Khan et Webster (1968).....	31
10.2.2. Méthode de Friedel (1978).....	31
10.3. Capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables.....	31
10.4. Granulométrie.....	32
10.5. Mesure de l'humidité.....	32
Conclusion.....	33
<b>Chapitre II : Matériel et méthodes d'études</b>	
<b>I : Matériel d'étude</b>	
1. Situation des sols étudiés.....	35
2. Facteurs influencent la formation du sol de la zone d'étude.....	
2.1. Climat.....	
2.1.1. Précipitations.....	
2.1.2. Températures.....	
2.1.3. Vents.....	
2.1.4. Insolation.....	
2.1.5. Humidité relative de l'air.....	
2.1.6. Evapotranspiration.....	
3. Classification du climat.....	
3.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	
3.2. Climagramme d'Emberger.....	
3.3. Climagramme pluviothermique de Pouget.....	
4. Pédoclimat.....	

4.1. Régime hydrique.....	
4.2. Régime thermique.....	
5. Géologie de la région d'étude.....	
5.1. Géologie régionale.....	
5.1.1. Stratigraphie.....	
5.1.1.1. Quaternaire.....	
5.1.1.1.1. Actuel.....	
5.1.1.1.2. Moyen.....	
5.1.1.1.3. Ancien (Terrasse).....	
5.1.1.2. Miocène.....	
5.1.1.2.1. Miocène supérieur (Pontien).....	
5.1.1.2.2. Pliocène.....	
5.1.1.3. Paléogène (nummulitique).....	
5.1.1.3.1. Eocène moyen (Lutétien).....	
5.1.1.3.2. Eocène inférieur (yprésien).....	
5.1.1.4. Crétacé.....	
5.1.1.4.1. Crétacé supérieur.....	
5.1.1.4.2. Crétacé inférieur.....	
5.1.2. Tectonique.....	
5.2. Géologie locale.....	
5.2.1. Stratigraphie.....	
5.2.2. Tectonique.....	
6. Géomorphologie.....	
6.1. Géomorphologie régionale.....	
6.2. Géomorphologie locale.....	
6.2.1. Structures.....	
6.2.2. Formes d'érosion.....	
7. Hydrogéologie de la zone d'étude.....	
7.1. Nappes phréatiques du quaternaire.....	
7.2. Nappes des sables du miopiocène.....	
7.3. Nappe des calcaires de l'éocène et du sénonien.....	
7.4. Nappe profonde (nappe de grés).....	
Conclusion.....	

## 02 : Méthodes d'étude

1. Méthode d'échantillonnage.....
2. Analyses physico-chimiques des sols effectuées au laboratoire.....
  - 2.1. Réaction du sol (pH).....
  - 2.2. Conductivité électrique (CE).....
  - 2.3. Calcaire total.....
  - 2.4. Granulométrie.....
  - 2.5. Carbone organique.....
  - 2.6. Dosage de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).....
  - 2.7. Densité réel.....
  - 2.8. Densité apparente.....
  - 2.9. Fractionnement des sols.....
  - 2.10. Mesure de l'humidité des sols à un pF donnée (Méthode par pression).....

## Chapitre III : Résultats et discussions

1. Propriétés et caractéristiques physico-chimiques des sols.....
  - 1.1. Caractéristiques chimiques.....
  - 1.2. Propriétés physiques.....
2. Caractéristiques hydriques des sols.....
  - 2.1. Effet de la succion sur l'humidité .....
  - 2.2. Effet de la texture du sol sur l'humidité.....
  - 2.3. Effet de la conductivité électrique sur l'humidité.....
  - 2.4. Effet du taux et de la taille du gypse sur l'humidité.....
  - 2.5. Effet du taux de gypse sur l'eau utile.....
  - 2.6. Effet du taux de calcaire sur l'humidité .....

**Conclusion générale**.....

**Annexes**.....

**Références bibliographiques**.....

# INTRODUCTION GENERALE

## **Introduction générale**

La recherche sur les sols gypseux n'est pas aussi vaste que l'on pourrait s'attendre, vu la grande proportion des secteurs arides et semi arides dans le monde occupé par eux (F.A.O, 1990). Mais à partir de la fin des années 70, l'intérêt porté à l'étude de ces sols a considérablement augmenté (Dekkiche, 1974; Ali et West, 1983; Halitim, 1985; Al-Muktar, 1987; Herrero et Porta, 1987; Carter et Inskip, 1988 ; Rosen et Warren, 1990 ; Yamanova, 1990; Herrero et al, 1992 ; Bensaid, 1999 ; Eckardt et Spiro, 1999).

Ces études ont porté essentiellement sur les problèmes d'analyses physiques (granulométrie, teneur en eau) et chimiques (solution du sol, capacité d'échange cationique, équilibre gypse anhydrite) (Pouget, 1968 ; Vieillefon, 1979). En revanche, l'approche microscopique n'a connu de véritable développement que très récemment (Stoops et Ilaiwi, 1981 ; Watson, 1985 ; Halitim et Robert, 1987 ; Poch, 1992 a, b ; Hamdi Aissa et Fedoroff, 1996). En outre il y a très peu d'études sur les propriétés physiques des sols gypseux (Vieillefon, 1979 ; Halitim, 1985 ; F.A.O, 1990 ; Poch et al, 1998).

En Algérie, ces sols se localisent en régions arides et sahariennes où les précipitations annuelles ne dépassent pas 150 mm/ an. Ils sont souvent rencontrés en zones steppiques autour des sebkhas et dans les oasis au Sahara, surtout au Nord (Oasis de Ziban, Oued-Souf, Oued-Righ). Dans ces régions les bassins sulfatés sont très fréquents, mais la genèse des sols gypseux est essentiellement due à l'activité des nappes et l'intensité de l'évapotranspiration (Halitim et Robert, 1987).

Les caractéristiques physiques des sols gypseux sont très variables. Ils ne dépendent pas seulement du taux absolu de gypse, mais de leur distribution dans le profil, de type de ces accumulations, et de l'origine des dépôts de gypse. Nous pouvons donc dire que le gypse est un élément qui, par ses taux et ses formes, modifie profondément la morphologie du profil et agit sur les propriétés des sols. Son impact sur ces propriétés reste mal connu.

Notre étude s'insère dans ce contexte ; celui de mieux connaître la rétention en eaux de ces sols et sa relation avec la taille du gypse et son taux dans le sol

Le document rédigé, comporte trois parties essentielles :

La première comporte une étude bibliographique relative aux sols gypseux.

La seconde partie englobe la méthodologie adoptée pour la réalisation de ce travail et les différentes approches menées pour l'étude de la rétention en eau des sols.

La troisième partie traitera les résultats obtenus et leurs discussions.

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## Chapitre I : Etude bibliographique

### 1. Répartition spatiale des sols gypseux dans le monde

Les sols gypseux sont largement répandus dans les zones arides et semi-arides, leur surface totale est estimée de 707.000 Km<sup>2</sup> (Boyadgiev, 1985). Ils sont localisés dans les régions des déserts, avec une moyenne des précipitations annuelles inférieure à 250mm (Watson, 1983, 1985) (Fig.1).

Ils se rencontrent au Nord de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971), l'Argentine, le Chili, et l'Australie (F.A.O, 1990) (Fig .2).

La distribution des sols gypseux au Nord et à l'Est de l'Afrique, l'Europe du sud et le Sud-Ouest de l'Asie a été cartographiée à petite échelle par Van Alphen et Rios Romero (1991) in Porta, (1998) et dans le monde par Eswaran et Zi-Tong (1991).

En Algérie, les sols gypseux occupent approximativement 8000Km<sup>2</sup>, qui représentent 12.2% des sols gypseux du monde (F.A.O, 1990). (Tab.1).

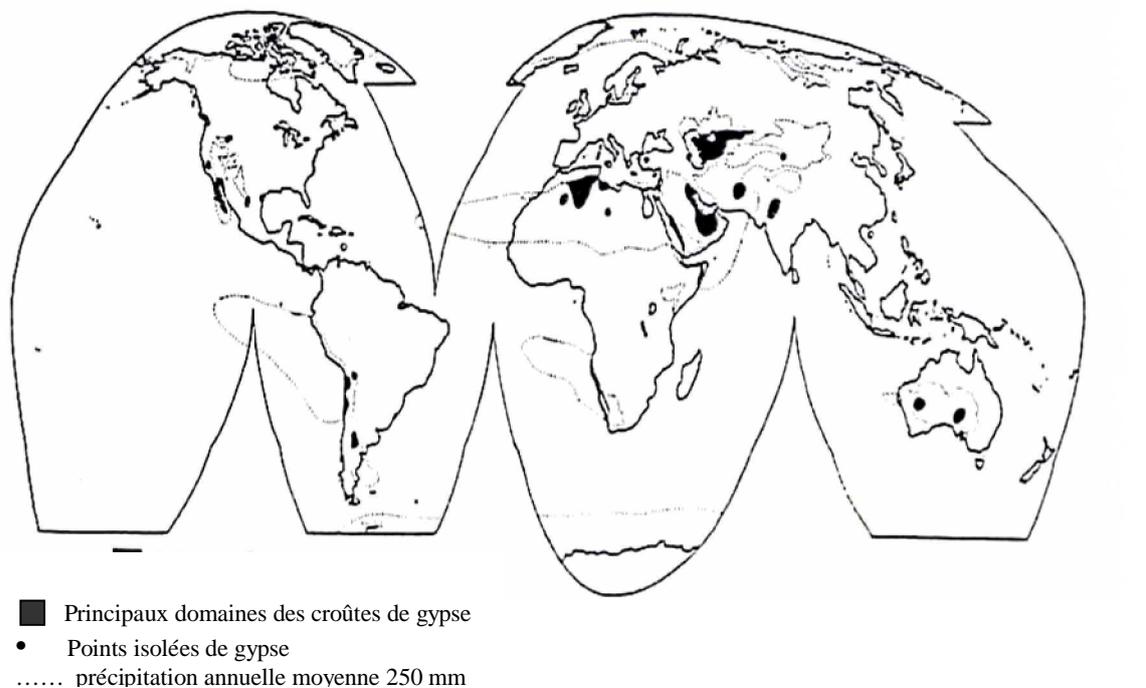


Figure.1: Distribution générale des surfaces d'accumulation de gypse (exception des roches déposées) (Watson, 1985).

**Tableau.1 : Distribution des sols gypseux par pays (F.A.O, 1990).**

<b>Continent</b>	<b>Pays</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>% du total du pays</b>	<b>% de la surface des sols gypseux du monde</b>
<b>Afrique</b>	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	78.0	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
<b>Asie du sud</b>	Syrie	3966.6	21.6	6.0
	Jordanie	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	9.4	0.01	-
	Inde	182.0	0.06	0.3
<b>Centre de l'Asie</b>	USSR	5074.1	0.2	7.7
	Mongolie	60.9	0.04	0.1
	Chine	11484.9	1.2	17.5
<b>Europe</b>	Turquie	64.2	0.08	0.1
	Espagne	165.5	0.3	0.3
<b>Nord de l'Amérique</b>	Nouveau-Mexique	78.0	-	0.1

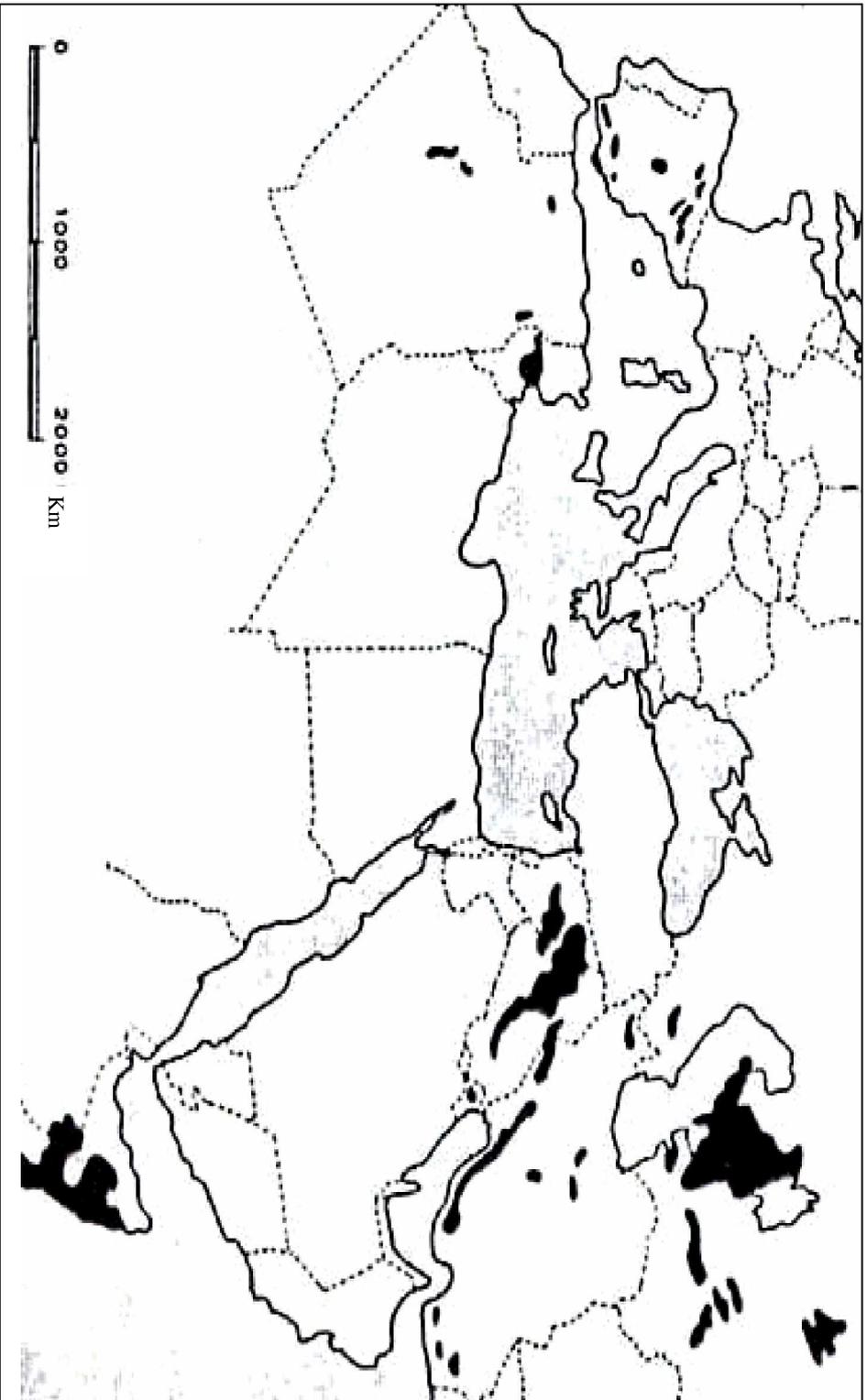


Figure.2: Distribution des sols gypseux dans le Nord et l'Est de l'Afrique, le Sud – Ouest de l'Asie, la partie méditerranéenne de l'Europe (Van Alphen et Rios Romero, 1971).

## 2. Origines du gypse

Les hypothèses et les théories expliquant les origines et les processus de l'accumulation du gypse dans le sol, ont fait l'objet de nombreux travaux (Bellair, 1954 ; Trichet, 1963 ; Dekkiche, 1974 ; Kulke, 1974 ; Watson, 1980 ; Halitim, 1988 ; Artieda et Herrero, 1996). Il ressort que les principaux facteurs qui régissent la présence du gypse dans le sol sont : la présence d'une source de gypse, la topographie et l'aridité du milieu (Bellanca et Neri, 1993). Donc ils sont liés aux caractéristiques spécifiques de chaque région d'étude.

Les roches gypseuses dans le bassin de l'Ebro en Espagne ont été produits dans un environnement endoréique continental, d'un complexe de playa-lake, par les sulfates dissous provenant de trois sources: les Pyrénées, la cordillère ibérienne, et les montagnes des Catalanides (Artieda et Herrero, 1996). L'abondance et la profondeur de ces gisements de sulfate supposent une source importante.

Selon Mandado in Artieda et Herrero (1996) les mécanismes de formation les plus probables sont trois : (1) l'oxydation des sulfures contenus dans les roches dans les zones de source, et leurs transports; (2) l'entrée des eaux de mer dans le bassin ; et (3) la dissolution des roches contenant des sulfates dans les zones de source, par exemple les faciès de Keuper (Artieda et Herrero, 1996).

Van Alphen et Rios Romerio (1971) ont mentionné que les dépôts de gypse solides ou intercalés présents dans la vallée de l'Ebro en Espagne, viennent des périodes de transition du Miocène Supérieur et Oligocene-Eocène. Les autres gisements de gypse trouvés dans la vallée de Tajo, le sud-ouest de Madrid appartiennent probablement au Miocène inférieur.

L'origine du gypse est peut être évaporitique; c'est le produit des eaux souterraines saturées. Le gypse, précipité dans les pores, peut être incorporé à la matrice du sol par l'activité faunique. Des cycles successifs, de ce processus mèneraient à la formation des horizons hypergypsiques (Barzanji et Stoops, in Poch, 1992 b).

Herrero et al (1996) dans l'étude de la dépression centrale de Catalane trouvent que les sols gypseux sont situés aux pieds des pentes d'un anticlinal, sur les matériaux colluviaux.

Donc l'origine de gypse peut être en partie colluviale, quoique quelques fractions peuvent être transportées par dissolution par l'écoulement souterrain le long des pentes.

Les sols gypseux et solonchaks gypsiques de la plaine inondable (Milieu Europhrates) de Syrie sont décrits et caractérisés par Florea et Al-joumaa (1998). Ces sols, développés sur des dépôts alluviaux et des glacis se composent des sédiments gypseux déposés par l'eau et transportés des secteurs voisins les plus hauts.

Le gypse peut avoir au moins trois origines éventuelles :

### **2.1. Origine géologique**

Le gypse peut être contenu dans le substrat géologique (sédiment et roches). Ce substrat peut alimenter soit le sol qu'il supporte, soit les alluvions qui en dérivent, soit les sols des zones basses (Kadri, 1987).

### **2.2. Origine hydraulique**

L'eau, quelle soit souterraine ou superficielle, contenant l'ion calcium et l'ion sulfate dissous, peut donner naissance à un dépôt gypseux par l'effet de l'évaporation et de la concentration (Pouget, 1968).

L'eau d'écoulement de montagne est la première source de gypse pour le sol (Toomanian et al, 2001).

### **2.3. Origine éolienne**

La contribution du vent à la formation des accumulations gypseuses a été étudiée par plusieurs chercheurs (Coque, 1962 ; Trichet, 1963 ; Pouget, 1968). Les croûtes résultant d'un saupoudrage intermittent de poussières surtout salines, diffusées dans l'atmosphère par le vent. La cimentation de ces dernières serait le résultat de l'infiltration des eaux pluviales dans les recouvrements éoliens.

### 3. Formes du gypse dans le sol

Dans le sol, le gypse se présente sous différentes formes, en fonction des conditions dans lesquelles il précipite. Les différents travaux (Pouget, 1968 ; Dekkiche, 1974 ; Stoops et Ilawi, 1981 ; Nettleton et al, 1982 ; Abrukova et Isayeh, 1983 ; Watson, 1985, 1988 et 1989 ; Pankhanova et Yamnova, 1987 ; Halitim, 1988 ; Boyadgiev et Sayegh, 1992 ; Herrero et al, 1996 ; Bensaid, 1999) révèlent que le gypse dans le sol peut être sous des formes pulvérulentes, en pseudomycéliums, en amas, en nodules, en roses de sables, en encroûtements, en croûtes massives ou en croûtes polygonales.

Le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) est formé d'une solution aqueuse, ou de l'hydratation de l'anhydride. Il se cristallise sous forme d'un prisme monoclinique et occupe finalement la forme granulaire (alabastrite), comme un agrégat fibreux (gypse salin, sélénite) ou se rassemble comme une rose (rose de désert) (Boyadgiev et Sayegh, 1992).

Les cristaux du gypse peuvent être automorphes ; limités par des faces nettes, apparaissant comme des jumeaux. Ils peuvent être xénomorphes, avec des limites irrégulières. La morphologie xénomorphe peut naître par une interférence mutuelle durant le développement du cristal (cristaux grenus) ou par dissolution partielle.

Les cristaux automorphes, se présentent sous de nombreuses formes : (Jafarzadeh et Burnham, 1992).

- Cristaux plats avec un bon développement de la surface basale. Ils peuvent être rhomboédriques ou hexagonaux (tabulaire).
- Cristaux allongés en forme de lentilles (lenticulaires).
- Cristaux solides et surtout définis par des faces complètement parallèles ce sont les cristaux prismatiques.
- Cristaux très minces à faces solides, pointus comme une aiguille ce sont les cristaux aciculaires.
- Cristaux très minces souvent incurvés ou ondulés ce sont les cristaux fibreux.
- Cristaux occasionnellement trouvés, minces, tubulaires, lesquels peuvent être tordus (worm tube), ou se présentent disloqués et ouverts à la fin (flower tube).

Bureau et Roederer (1960) ont décrit les accumulations gypseuses, en Tunisie comme suit :

- Amas (Spots) : Poches localisées de cristaux lenticulaires.
- Pulvérulent (Powdery) : Poches de gypse, granuleux blanc et fin; morphologie du cristal non claire.
- Encroûtement (Crusty) : Couche qui n'est pas dure, ni massive; équivalent aux horizons gypsiques et hypergypsiques.
- Croûte (Crust) : Couche de gypse dure et massive; équivalent aux horizons pétrogypsiques.
- Polygonal : Une croûte exposée à la surface montrant un modèle polygonal.

En tenant compte de leur mode de formation, les formes de gypses observées par Herrero et al (1996), en Espagne dans le champ de quatre dépôts alluviaux sont :

- Gypse Vermiforme, nodule et couche.
- Cristallisations dures.
- Gypse pulvérulent (horizons de gypse lenticulaire).
- Horizons microcristallines (horizons de gypse se rassemblent aux roses).
- Couches couchés de gypse.
- Autre cristaux de traits pédologiques.

Cinq formes de gypse de néoformations, caractéristiques de l'horizon possédant une concentration élevée en gypse ont été identifiées par Verba (1996). Ces formes sont strictement limitées à certains types des sols qui se différencient dans les conditions de leurs pédogenèses (tableau. 2)

**Tableau.2 : Formes de gypse de néoformations et leurs caractéristiques (Verba, 1996).**

<b>Formes de gypse de néoformations</b>	<b>Unité de sol</b>	<b>Conditions de formation du sol</b>	<b>Caractéristique de la microstructure</b>
1. Pulvérulent	Petric Gypsisols	Altérations fréquentes de l'humidification et le séchage des sols en surface	Grande diversité des formes des cristaux de gypse
1.1. « Marneux »	Petric Gypsisols	Relativement plus humide	Abondance de calcaire pseudomorphes de différent degré de manifestation, jusqu'à la formation de cristaux négatifs
1.2. «Crummy »	Petric Gypsisols	Relativement moins humide	Prédominance uniforme de cristaux de gypse rombohedral, apparition des blocs séparés et la dispersion des carbonates
2. Incrusté	Luvic Calcisols (sierozems)	Zone de bord capillaire	Accumulations instables dans les pores des cristaux désordonnés et souvent corrodés de gypse
3. Concrétionné	Luvic Calcisols (sierozems)	Carbonatation des concrétions de gypse dans les conditions paleohydromorphiques	Concrétions abondantes de carbonate-gypseux « hedgehog » de structure complexe
4. Columnaire (« beaded »)	Calcic gypsisols	Précipitation de gypse dans la partie basse des fragments grossiers des solutions migratrices vers le bas	Cristaux prismatiques qui s'assemble sous forme de queues d'hirondelle
5. Lenticulaire	Haplic gypsisols	Zone de contact avec les eaux souterraines	Cristaux de forme lenticulaire qui se consolidé

## 4. Caractéristiques des sols gypseux

La présence de gypse dans le sol affecte la plupart de leurs propriétés, causant des problèmes sévères d'ordre physiques, chimiques et des problèmes de fertilités (Mashali, 1996).

Cependant, quant les particules de gypse sont présentes dans la couche superficielle, leur type, leur quantité, et leur degré de cristallisation a un impact profond sur les propriétés physiques et physico-chimiques du sol et sur la croissance des plantes (F.A.O, 1990).

### 4.1. Propriétés chimiques des sols gypseux

#### 4.1.1. Formes hydratées et déshydratées du sulfate de calcium

Le gypse est un sel soluble (sulfate de calcium hydraté). Sa solubilité est de 2.6 g/l dans l'eau pure à 25°C et à une pression de 1 atmosphère (Herrero et Porta, 1990). Il constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol (Eswaran et al, 1981).

Weiser et al in Jauzein (1974) suggèrent que la déshydratation de gypse soit accélérée à 60°C sous une pression de vapeur d'eau de 23.6mm; c'est-à-dire la tension de vapeur saturée à 25°C (figue. 3), laissant 0.01 mol d'H<sub>2</sub>O pour chaque mol de CaSO<sub>4</sub> à 200°C. Cette anhydrite réversible a une capacité d'hydratation assez forte en fonction de la température de déshydratation au cours du temps.

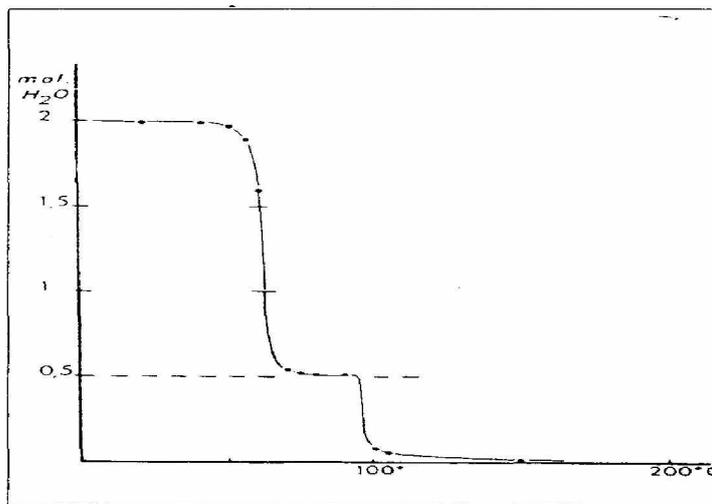


Figure.3 : Déshydratation du gypse à température croissante. (Weisser et al, in Jauzein, 1974)

Les principales formes des états du  $\text{CaSO}_4$  sont les suivantes (Vieillefon, 1979) :

- **Phase hydratée** : gypse, monoclinique
- **Phase semi-hydratée** : hemihydrate
  - \* naturel : bassanite
  - \* artificiel :
    - Variété  $\alpha$  : préparé en solution ou en autoclave  
Donc en présence d'un excès d'eau sous  
forme liquide ou vapeur.
    - Variété  $\beta$  : préparé en absence d'eau.
- **Phase anhydre** : anhydrite
  - \* naturel : orthorhombique
  - \* artificiel :
    - Anhydrite « réversible » ou anhydrite III obtenu  
par chauffage au-dessous de  $200^\circ\text{C}$  et non  
réhydratable.
    - Anhydrite « irréversible » ou anhydrite II  
obtenue au dessus de  $2000^\circ\text{C}$  et non  
réhydratable.
    - Plâtre surcuit ou  $\gamma - \text{Ca SO}_4$ , obtenu au dessus  
de  $1000^\circ\text{C}$ .

## 4.1.2. Relations de solubilité

### 4.1.2.1. Solubilité du gypse dans l'eau pure en fonction de la température

Jauzein (1974), basé sur d'autres recherches, donne un graphe de la solubilité de gypse, bassanite et anhydrite, en fonction de la température (fig.4).

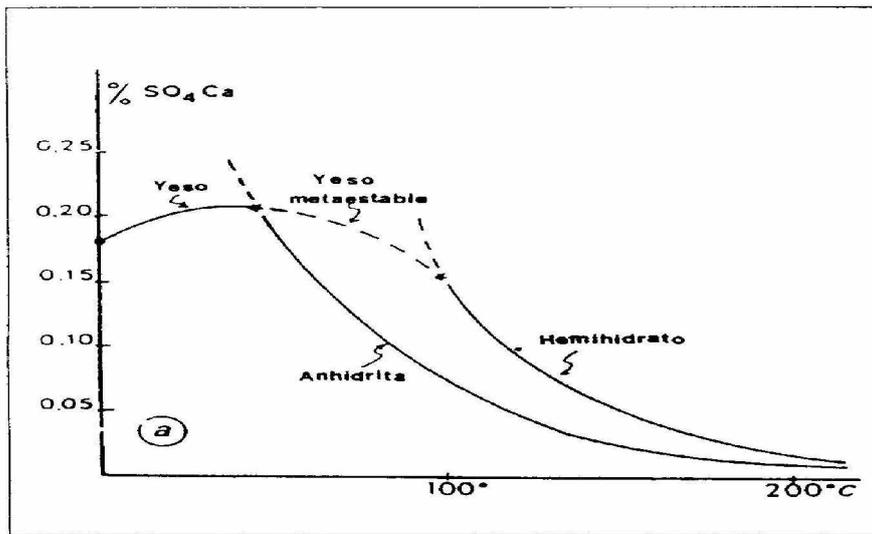


Figure.4 : Différentes phases de la solubilité du  $\text{CaSO}_4 \cdot n \text{H}_2\text{O}$  dans l'eau pure en fonction de la température (Weisser et al, in Jauzien, 1974)

#### 4.1.2.2. Solubilité du gypse en présence des sels solubles

Le gypse est un électrolyte faible, sa solubilité est modifiée lorsque la solution contient des électrolytes forts ayant ou non des ions communs avec lui (Pouget, 1968 ; Sonnenfeld, 1984).

La solubilité de gypse dans une solution aqueuse salée contenant  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , et  $\text{SO}_4^{2-}$  a été examinée expérimentalement en employant des voies différentes pour calculer les coefficients d'activités d'ion monovalents et différents ions bivalents. Une approche d'analyse de sensibilité peut être employée pour déterminer qui est la meilleure équation d'adaptation pour représenter le coefficient d'activité d'ion simple et quels ions pairs sont nécessaires pour être inclus (Arslan et Dutt, 1993).

La présence de  $\text{NaCl}$  dans la solution peut augmenter considérablement la solubilité de gypse (Schreiber et Schreiber, 1977).

Kovda (1965) indique que la solubilité de gypse augmente avec la présence des chlorures, particulièrement les chlorures de sodium et de magnésium. Les tableaux 3 et 4 expliquent la relation entre le gypse et les sels solubles.

**Tableau.3: Solubilité du gypse en présence du chlorure de magnésium  $MgCl_2$  (Pouget, 1968).**

Concentration en g/l dans la solution		
$MgCl_2$	$CaSO_4$	$H_2O$
0.00	02.08	997.9
08.50	04.26	996.5
19.18	05.69	994.5
46.64	07.59	989.1
121.38	08.62	992.2
206.98	06.57	949.9
337.00	02.77	908.7
441.10	01.39	978.6

**Tableau. 4 : Influence de la concentration de chlorure de sodium ( $NaCl$ ) sur la solubilité du gypse (Anselme et Cameron in Durand, 1953).**

Concentration en g/l								
$NaCl$		0.0	02.925	14.62	58.50	131.6	206.7	292.6
$CaSO_4$	14°C	01.10	02.79	03.68	05.72	07.20	06.30	05.30
	20°C	02.10	03.15	04.00	06.00	07.30	06.30	05.30

#### 4.1.2.3. Action du pH sur la solubilité du gypse

Le pH influe aussi sur la solubilité de gypse, en raison de l'attachement des ions  $H^+$  sur les anions  $SO_4^-$ . La solubilité est élevée à pH bas. (Artieda et Herrero, 1996). Mais ce phénomène ne peut guère intervenir car dans tous les sols gypseux étudiés le pH est toujours supérieur à 7 (Pouget, 1968).

#### 4.1.2.4. Effet de la pression du gaz carbonique ( $CO_2$ ) sur la solubilité du gypse

La pression de  $CO_2$  affecte aussi la solubilité de gypse quand les carbonates sont présents, due à l'augmentation des ions dans la solution (l'effet d'ion commun) et la réduction conséquente de la solubilité (Artieda et Herrero, 1996).

#### 4.1.2.5. Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité

La solubilité du gypse est également en relation étroite avec la taille de ces particules. Elle croît avec la finesse de celle-ci (fig. 5):

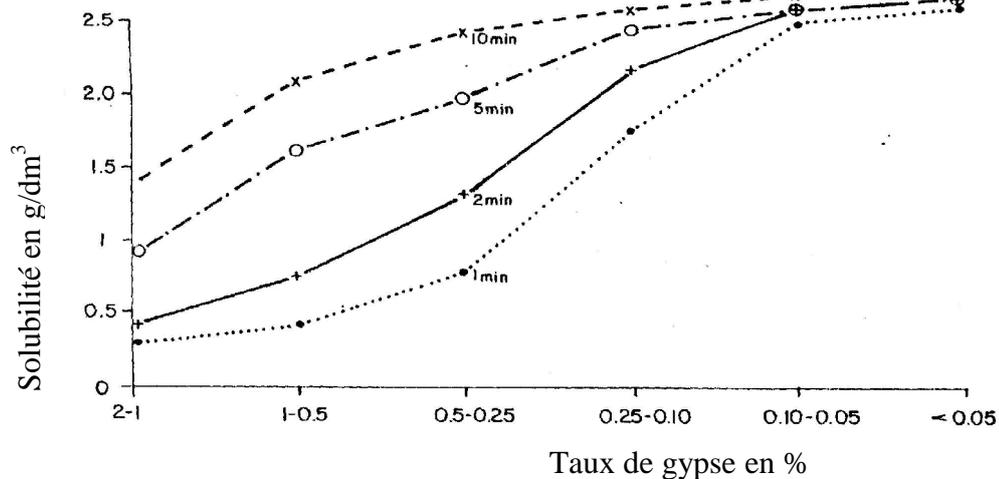


Figure.5: Effet de la taille des particules du gypse sur leur solubilité dans l'eau (F.A.O, 1990).

#### 4.1.3. Interaction gypse – calcaire

Plusieurs travaux (Boyadgiev, 1974 ; Baci, 1984 ; F.A.O, 1990 ; Florea et Al-Joumaa, 1998) ont montré que l'augmentation du taux de gypse entraîne la diminution de la teneur en calcaire et vis versa.

Florea et Al-Joumaa (1998) présenté la relation suivante :

$$\text{CaCO}_3 = 23.12 - 0.174 \text{ gypse} \quad \text{ou} \quad \text{gypse} = 75.04 - 2.117 \text{ CaCO}_3$$

Pour l'horizon C, le coefficient de corrélation  $R^2 = 0.368$

L'étude microscopique en zone aride de l'Algérie faite par Halitim et Robert (1987) montre qu'un envahissement de l'accumulation calcaire par le gypse avec une désintégration et une dilution au niveau de calcaire. Ils pensent que ce phénomène est dû à la pression de cristallisation du gypse qui est de l'ordre de 1,100 Kg/Cm<sup>2</sup> qui détruit les individualisations calcaires par suite de l'arrivée continue des solutions sulfato- calciques, et leurs précipitations à ce niveau.

#### 4.1.4. Relation entre le gypse et la capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique des sols dépend, généralement de la teneur en matière organique, de la texture du sol et le type des minéraux argileux. La plupart des sols gypseux sont pauvres en matière organique et en conséquence la contribution des colloïdes organiques à l'élévation de la capacité de rétention est faible (F.A.O, 1990).

Poch (1992 a) trouve dans son étude dans la vallée de l'Ebro en Espagne, que les valeurs de la CEC sont faibles, variant entre 1.04 et 21.5 meq/100g. Dans les horizons hypergypsiques, la CEC est plus faible (1 à 8 meq/100g) que dans le reste des échantillons, à l'exception des échantillons qui contiennent des taux élevés en matière organique. La fig 6 représente la variation des valeurs de la CEC avec la variation du taux de gypse. Elle a remarqué qu'avec un faible taux de gypse la CEC est fortement variable, en outre l'augmentation du taux de gypse dans le sol provoque la diminution des valeurs de la CEC.

Quand les échantillons avec moins de 5% du gypse sont exclus, une nouvelle corrélation existe entre le taux de gypse et la CEC ont été représenté par l'équation linéaire suivante :

$$\text{CEC meq/100g} = 16.49 - 0.16 (\% \text{ gypse})$$

Avec le coefficient de corrélation  $R^2 = 0.708$ .

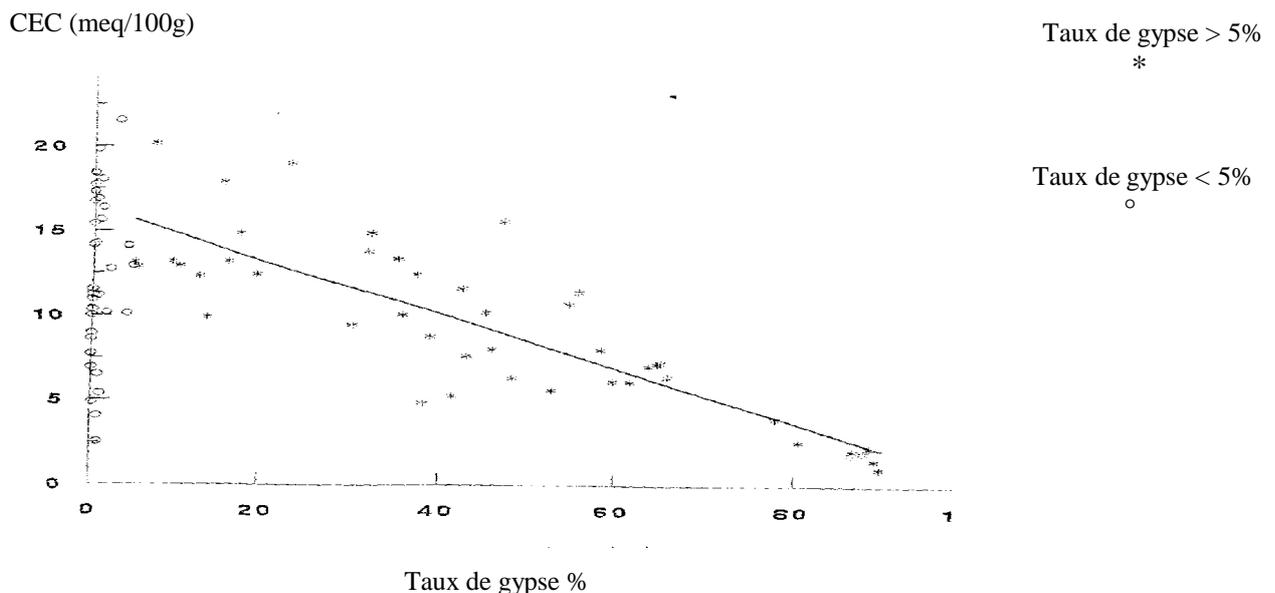


Figure.6 : Relation entre la capacité d'échange cationique et le taux de gypse (Poch, 1992 a).

## **4.2. Propriétés physiques des sols gypseux**

### **4.2.1. Texture**

La texture des sols gypseux, dépend largement de la nature du matériau parental dans lequel le sol s'est développé (Van Alpen et Rios Romero, 1971). Cependant, elle est fortement influencée par la présence des teneurs élevées des cristaux de gypse.

Poch (1992 a), dans une étude sur les sols gypseux de l'Espagne, indique que la texture est étroitement liée à la teneur en gypse ; à 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 sables en raison d'une cristallisation grossière, d'autre part, elle induit une diminution des teneurs en argile.

La détermination de la texture des sols gypseux avec la méthode standard de la pipette de Robinson peut poser différentes problèmes (A.S.A, 1965 ; S.C.S, in Poch, 1992 b).

Les caractéristiques du gypse sont responsables de ces problèmes, sa nature semi soluble (le gypse est un agent de floculation rend les argiles stables et la suspension n'est jamais obtenu), sa faible densité, sa forme et la présence d'eau dans sa molécule sont les problèmes de cette technique (Vieillefon, 1979).

L'élimination du gypse, n'est possible que si la teneur en gypse est inférieure à 10%. Pour une teneur supérieure, la granulométrie établie sur une fraction seulement des constituants réels du sol, ne serait pas représentative des propriétés physiques du sol gypseux (C.I.R.A.D, 2004).

La présence de gypse dans le sol, limite la dispersion des colloïdes. Si le sol contenant moins de 10% de gypse, le sol est lavé à l'eau. Pour les sols contenant plus de 10 % de gypse, une méthode relativement simple consiste à extraire le gypse par un traitement au chlorure de baryum et à la triéthanolamine (Hesse, 1974, modifié par Vieillefon, 1979). Le chlorure de baryum entoure les particules de gypse d'une couche fine de  $BaSO_4$  insoluble. Bien qu'efficace, la méthode ne permet pas toujours une dispersion parfaite par un seul traitement. Il s'avère parfois nécessaire de recommencer le traitement. Cette méthode a donné des

résultats satisfaisantes quant elle est utilisée avec des échantillons d'horizon gypseux (Poch, 1992 a).

A cause de l'effet marqué du gypse, sur les propriétés physiques des sols, il est plus souhaitable de déterminer la texture sans enlever la fraction gypseuse (F.A.O, 1990).

En outre, la granulométrie d'un matériel riche de gypse doit considérer les particules de gypse comme un composant actuel du sol, et pas comme un sel qui doit être enlevé, comme il peut être fait par la dissolution quand le taux de gypse est faible (Porta et al, in Poch, 1989).

#### **4.2.2. Structure**

Dans le sol, le gypse intervient par une action physico-chimique (augmentation de la concentration en électrolytes et le phénomène d'échange), ainsi que par une action physique au niveau des contacts argile-gypse qui intervient sur la structuration globale du matériau par cristallisation et croissance cristalline du gypse (Halitim, 1985).

La plupart des sols gypseux, ont une structure peu favorable. La structure de l'horizon de surface est dominée par une couche massive ou fine. L'horizon peut être fortement cimenté, avec formation de croûtes dures, s'opposant parfois à la circulation de l'eau et au développement des racines (F.A.O, 1990).

La présence de gypse, affecte le développement des éléments structuraux, à cause de la formation des canaux remplis de gypse, désigné gypse vermiforme (Artieda et Herrero, 1996)

Boyadgiev (1974) note que quand la quantité du gypse dépasse les 15 %, la structure tente à être instable. Toute fois, il a tendance à augmenter sa stabilité autant que la quantité du gypse dépasse les 25%. Il a conclu que les sols contenant 10 à 35% de gypse sont perméables, ont une pauvre stabilité structurale et une faible capacité de rétention en eau.

### **4.2.3. Circulation de l'eau dans le sol**

Le mouvement interne d'eau, dans la plupart des sols gypseux, est normalement modéré à rapide, sauf où le gypse est sous forme des couches incrustées, donc empêchant le mouvement de l'eau vers le bas (F.A.O, 1990).

Dans les Oasis de Gabès en Tunisie, Ammami cité par Van Alphen et Rios Romero (1971) note que la conductivité hydraulique varie entre 200 et 250 cm/jr dans les horizons de surface contenant du gypse alors qu'elle est de 60 à 150 cm/jr dans les horizons souterrains.

Le taux d'infiltration est bon à élevé, il varie entre 0.1- 2.00 m/j, selon la texture et la structure du sol (Florea et Al- Joumaa, 1998). Le gypse peut réduire la conductivité hydraulique quant il est très fin ( $< 44 \mu\text{m}$ ) et bouche les macropores des sols à texture fine (Keren et al, 1980).

Norton (1997) montre que le gypse améliore l'infiltration et diminue l'érosion. En outre les amendements gypseux contribuent à augmenter la conductivité hydraulique des sols en diminuant les effets du sodium échangeable (Chauhuan, 1992).

### **4.2.4. Stabilité structurale**

Les résultats des travaux de Poch, (1992 a) sur la stabilité structurale des sols gypseux divisent les échantillons du sol étudiés en deux groupes :

- Horizons hypergypsiques faits de gypse pulvérulent, ont une stabilité élevée; fournie probablement par un fort enchaînement des particules de gypse.
- Horizons hypergypsiques faits de gypse microcristalline, et les échantillons possèdent un taux de gypse inférieur à 50%, ayant une faible stabilité.

Herrero et al (1992) considèrent que la faible stabilité de gypse microcristalline dans l'eau, a été considérée comme un processus de formation de flux de boue, le long de la pente dans les paysages gypseux.

La F.A.O (1990), trouve qu'une faible stabilité est attribuée aux matériels avec l'augmentation du taux de gypse sans spécifier leur type.

#### **4.2.5. Résistance à la pénétration**

L'étude de la résistance à la pénétration de 20 horizons gypseux, dans sept profils irrigués, qui se caractérise par un taux de gypse qui varient entre 0 et 900 g Kg<sup>-1</sup>, semble que l'augmentation de la résistance à la pénétration, est due au remplissage des pores préexistants avec les cristaux de gypse, ce qui réduit le volume des vides réguliers et continus nécessaires pour la croissance de racine (Poch et Verplancke, 1997).

L'augmentation de la résistance à la pénétration avec l'augmentation du taux de gypse, est observée dans les horizons qui contiennent <50% de gypse, il est peut être du au remplissage des pores avec le gypse (Poch, 1992 a).

#### **4.2.6. Capacité de rétention**

La capacité de rétention en eau peut augmenter ou diminuer selon le taux de gypse dans le sol (Boyadgiev, 1974).

D'après Van Alphen et Rios Romero (1971), la capacité de stockage de l'eau disponible dans les couches à accumulations gypseuses pulvérulentes dépend du pourcentage de l'argile et la taille des cristaux de gypse.

Selon Poch (1989) la disponibilité en eau dans les sols gypseux, est en relation avec la texture et la forme d'accumulation de gypse dans le matériau. Les horizons qui possèdent une texture moins grossière ayant une capacité de rétention élevée, par contre les horizons qui possèdent une texture plus grossière ayant une faible capacité de rétention.

Heinze et Fielder (1984) trouvent dans leurs études sur différents profils gypseux a différentes textures et degrés de maturité, que les sols gypseux ont un grand volume de pore, particulièrement les pores de taille moyenne, et une teneur en eau comparable aux sols calcaires ou silicatés de texture et degré de maturité pareil.

L'énergie de rétention de l'eau, dans le cas des sols gypseux, est considérée selon de nombreux travaux, semblables à celle des autres sols. L'eau utilisable par les plantes évoluée dans la gamme des pressions allant de 0.3 à 15 bars (F.A.O, 1990).

Mousli (1980) mentionne que l'humidité disponible dans la Balikh et Maskaneh Bassins en Syrie varie entre 9 et 15%. Elle dépend de la texture et le taux de gypse des sols. Cependant, quand le gypse est sous la forme des cristaux dans la taille de sable grossier à très grossier, l'humidité disponible devient faible et pourrait être inférieur à 5% par volume.

D'autre part les valeurs de la capacité de rétention retrouvées par Abdesselam (1999) sont généralement faibles, elles varient entre 5.5 et 24 %. Ceci est en conformité avec leur constitution granulométrique. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les échantillons sableux pauvre en gypse (5.5 -7.9 %).

Poch et al (1998) déclarent, que les horizons hypergypsiques ayant une texture grossière, possèdent une quantité élevée d'eau retenue à la capacité au champ et une faible quantité au point de flétrissement. La faible quantité d'eau retenue au point de flétrissement est due à la faible quantité d'argile dans ces horizons, à l'exception des horizons superficiels qui enregistrent des quantités élevées d'eau retenue point de flétrissement, malgré leurs textures grossières. Ceci est probablement dû à l'irrégularité de distribution des particules, avec l'abondance des agrégats argileux (isles), ces horizons portent plus d'eau aux potentiels matriciels faibles que les horizons homogènes ayant la même texture.

Les résultats des courbes de rétention en eau de certains sols gypseux étudiée par Van Alphen et Rios Romero (1971) dans le Bassin de l'Euphrate, montrent que la partie importante de l'eau est retenu dans des tensions faibles, entre pF1.5 et pF2.7 (0.03 et 0.5 bar) ; et assuré que l'humidité disponible oscillé entre pF2.0 et pF4.2 (0.1 et 15 bar). L'humidité disponible rangée entre 13 et 22% par volume pour les couches non gypseux entre 15 et 31% dans les couches gypseuses de sous sol.

## **5. Micromorphologie des sols gypseux**

L'approche microscopique constitue l'une des méthodes les plus répandues, dans l'étude des sols gypseux. Récemment, plusieurs travaux traitant cet aspect ont été réalisés

(Stoops et Ilaiwi, 1981 ; Watson, 1985 ; Halitim et Robert, 1987 ; Pankhanova et Yamanova, 1987 ; Carter et Inskip, 1988; Hamdi Aissa et Fedoroff, 1996 ; Allen et al, 1996 ; Taina et al, 1996; Poch, 1989).

La description des lames minces peut être effectuée en utilisant le Handbook pour la description de la section mince du sol (Bullock et al, 1985). Cependant des termes nouveaux, relatifs aux sols gypseux, ont été définis (Herrero et Porta, 1987 ; Herrero et al, 1992 ; Porta et Herrero, 1990). Ils comportent les expressions suivantes : gypse lenticulaire, gypse microcristallin, l'assemblage gypsic, l'assemblage gypsic lenticulaire, l'assemblage microgypsic, l'assemblage isole. Selon ces auteurs le gypse microcristallin ou lenticulaire, observé dans les remplissages, les revêtements ou comme des nodules, est considéré comme trait pédologique. Toutefois, ces revêtements sont inclus dans la grande masse quant le gypse est un composé minoritaire de la lame. Ils sont, aussi, considérés comme composés de la grande masse quant le gypse (lenticulaire ou microcristallin) est le principal constituant de la lame (grande masse gypsic). Concernant le concept de l'assemblage isole, il a été introduit pour caractériser des masses de matériaux fins non gypseux, emboîtées dans un pédotrait gypsic cristallin. Ces pédotraits ont un assemblage gypsic lenticulaire.

## **6. Fertilité des sols gypseux**

Dans les sols gypseux, le gypse affecte les taux d'éléments nutritifs, aussi bien que leurs disponibilités pour les plantes (la fertilité des sols). Son effet dépend de plusieurs facteurs tels que sa nature, la solubilité des éléments, leur forme, leur distribution horizontale et verticale et l'emplacement des couches de gypse dans le profil. (Mashali, 1996).

Les sols gypseux en Syrie, ont une basse fertilité, en raison du manque des précipitations et la faible teneur d'humus et en éléments nutritifs. La teneur élevée du gypse affecte la mobilité et la disponibilité de P, K, Mg, Fe, Mo, Zn pour les plantes (Florea et Al-Joumaa, 1998).

Concernant la disponibilité en éléments fertilisants majeurs, Van Alphen et Rios Romero (1971) rapportent que les teneurs en azote des sols gypseux dans les horizons de surface en Espagne sont, généralement, inférieures à 0.25%, dans ceux de la Syrie elles varient

entre 0.05 et 0.14%, en ce qui concerne le massif de Kirovabad (URSS) elles oscillent entre 0.07 et 0.26%.

Les données du tableau 5, nous expriment la relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs des sols gypseux de la Syrie (Mousli, 1980).

**Tableau.5 : Relation entre le taux de gypse et les seuils des éléments nutritifs majeurs (Mousli, 1980).**

Gypse %	K échangeable (meq/ 100 g)	P assimilable (ppm)	N total (g/ 100g)
< 25	1-2	500-750	0.05-0.01
25-50	0.5-1	250-500	0.05-0.01
> 50	< 0.5	< 250	< 0.05

Les micro-éléments nutritifs, doivent être appliqués aux sols gypseux, quant ils ont en besoin. Le teste régulier de tel sol est nécessaire, pour connaître les éléments indispensables et leurs taux d'applications. Cependant, la couverture des insuffisances en micronutriments par l'addition de différents fertilisants est limité par certains facteurs tels que : le type de sol, les procédures de gestion de l'eau, les systèmes d'agriculture et reliée aux pratiques agronomiques et environnementales (Mashali, 1996).

Al Rawi et al (1983) de leurs études dans les conditions de serre, ont annoncé que le millet a montré une grande réponse aux engrais organiques dans les sols gypseux. Les engrais organiques ont amélioré le taux d'humidité disponible et ont diminué la solubilité de gypse.

Hazzah et al (1986) concluent que, les engrais organiques dans les quantités de 12 à 24t/ha, ont amélioré les propriétés chimiques et physiques des sols gypseux, avec une augmentation significative de la production des cultures (le millet). Ils ont annoncé que l'engrais de volaille avait plus d'effet sur la croissance végétative, tandis que l'engrais de bétail avait plus d'effet sur les propriétés physiques des sols et sur la croissance des racines. Les deux engrais ont donné de meilleurs résultats que les déchets de ville ou l'engrais minéral.

## 7. Irrigation des sols gypseux

La convenance des sols pour l'irrigation dans les régions arides et semi arides dépend principalement des facteurs suivants : la texture du sol, la structure, la profondeur, le pourcentage de carbonate de calcium actif et total, le taux de gypse, la salinité et la sodicité, le drainage et la pente. L'importance relative de chacun d'entre eux, dépend de tels facteurs comme le climat, le type de gestion du sol et le type des cultures (F.A.O, 1990).

Mousli (1980) déclare que, le sol typiquement gypsique qui possède une couche de gypse à une profondeur de 60 cm et un maximum de 20% de gypse au dessus de 60 cm peut être placé de préférence sous l'irrigation par arroseur. En général, les sols peu profonds contenant moins de 15 % de gypse dans les premiers 30 cm et avec un maximum de gypse de 40% dans la couche 30-60 cm, peut être employé avec certaine réserve pour les cultures irriguées à système racinaire peu profond, avec l'irrigation localisée ou l'irrigation par arroseur avec des doses d'application de l'eau précises.

Mardoud (1981) par des expériences sur le terrain en Syrie 1973- 1984, déclare que toutes les cultures d'été examinées, ont besoin d'une dose élevée de l'eau d'irrigation: le coton sur Typic Calcigypsid ou Haplogypsid besoin 18 irrigations (x 70 mm), le betterave à sucre sur Typic Calcigypsid 16 irrigations, et l'oignon sur Typic Haplogypsid 13 irrigations. Cela signifie 30 - 40% plus que d'autres sols dans la même région. Les besoins de vesce commune dans l'habituel 06 irrigations.

Quand le gypse se dissout, les petits trous et les fissures sont formées dans les couches de gypse qui graduellement s'élargissent jusqu'à la formation des cavités, dans le sous sol et le substratum. Ces cavités croisent largement, quand le gypse se dissout et en conséquence les matériaux de la couche extérieure perdent leur cohésion et leur stabilité, et plus vers le bas pour remplir ces cavités, ayant pour résultat la formation d'une surface irrégulière (fig.10). Par la suite, ceci cause l'effondrement et dégrade les structures hydrauliques (canaux d'irrigation, gâtes, canaux de drainage, etc). (Mashali, 1996).

L'effet de la méthode d'irrigation, sur le mouvement de gypse a été étudié par Al-Kubaisi (1988). Il a observé que le mouvement de gypse par dissolution a été fait sous l'irrigation par inondation, mais pas avec le système d'arroseur, qui peut être attribué à une

quantité plus élevée d'eau d'irrigation, appliquée dans une période plus courte en cas de l'irrigation par inondation. Il a noté aussi, que le taux de germination était plus élevé (90%) avec l'irrigation par système d'arroseur qu'avec l'irrigation par inondation (80%), probablement due à la dureté de la croûte formée dans la couche superficielle sous irrigation par inondation.

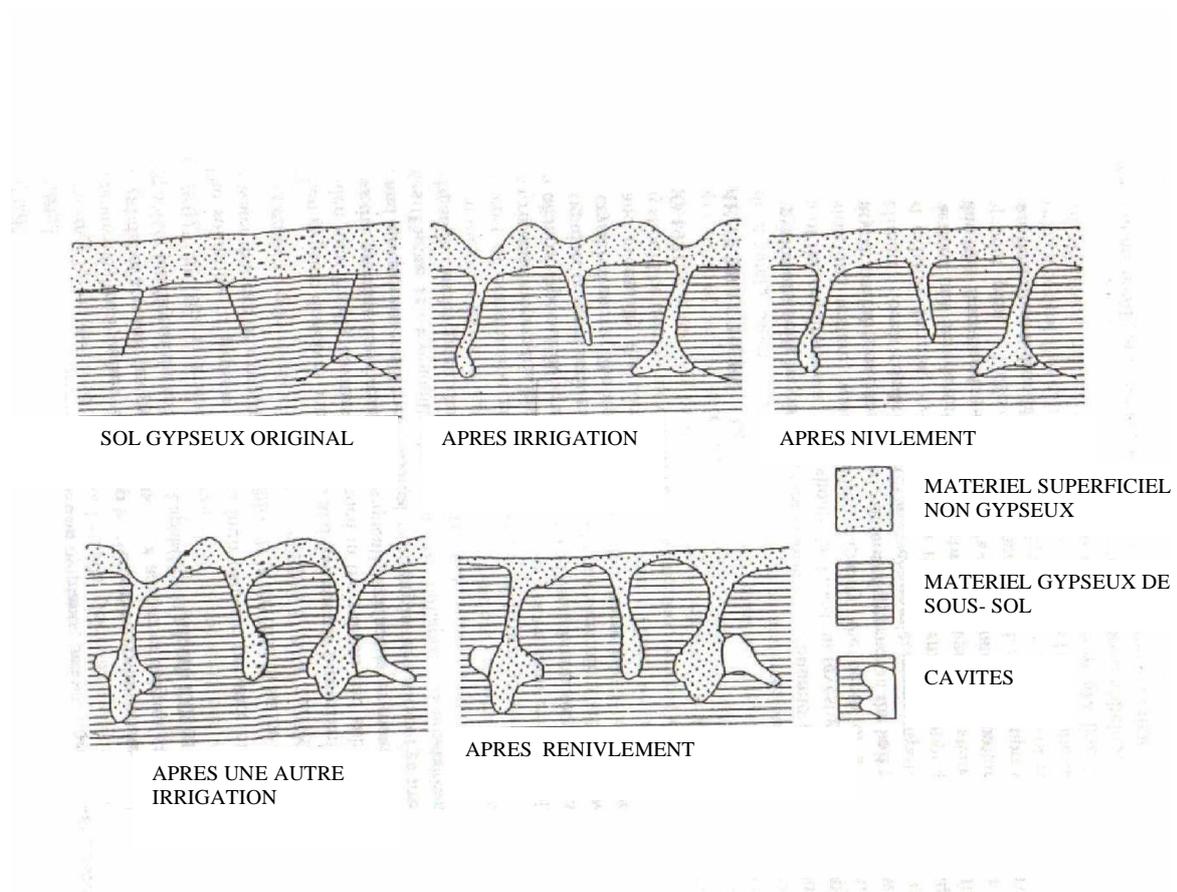


Figure.7 : Exposition d'une couche gypseuse de sous-sol et les cavités formées comme conséquence d'une irrigation prolongée des sols gypseux (schématiquement) (Mashali, 1996).

## **8. Effet du gypse sur la végétation**

Dans les régions arides et semi-arides, où le gypse se comporte comme un constituant semi-soluble dans le sol et où sa présence au-delà d'un certain seuil, affecte la croissance des plantes et leurs productivités (F.A.O, 1990).

Herrero et al (1996) déclarent que, le développement de la végétation gypsophile est relié au développement des sols. Quand le sol est constitué de roches gypseuses peu profondes, la végétation est pauvre, quant il est plus évolué la biomasse et la végétation qui couvre le sol est plus développée. Les communautés typiquement gypsophiles des régions méditerranéennes et subméditerranéennes sont incluses traditionnellement dans les cortèges gypsophiles et *Agropyro-lygeion*.

Dans les sols gypseux à profondeur modérée (horizon pétrogypsiq à une profondeur entre 1 et 2m), la plupart des cultures irriguées peuvent grandir normalement. La profondeur des sols (horizon pétrogypsiq à une profondeur supérieur à 2m) est appropriée pour plusieurs types de cultures et d'arbres (F.A.O, 1990).

Mardoud (1981) mentionne que, les sols modérément gypseux, avec moins de 10% de gypse dans la couche de 25 à 45cm de profondeur et jusqu'à 35-50 % de gypse à 60cm de profondeur, sont appropriés pour la profondeur d'enracinement des récoltes. Le blé, orge, trifolium, le coton, betterave sucrière, la pomme de terre, la luzerne, le maïs, sorgho, la tomate et le sésame ont donné des rendements très satisfaisants.

Rao et Tarafdar (1998) ont cité que *Salvadora oleoides*, *Colophospermum mopane* et *Pithecellobium dulce*, ont été identifiées comme plantes affectueuses de calcium. Toutes les espèces testées, peuvent être employées pour la réadaptation des sols à gisement de gypse.

## **9. Méthodes analytiques 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 de l'humidité en raison de certaines propriétés particulières du gypse :

- Solubilité non négligeable.

- Densité plus faible que celle des constituants minéraux habituels des sols.
- Facilités de déshydratation et de réhydratation.

### 9.1. Méthodes de dosage du gypse

Plusieurs contraintes peuvent se produire lors du dosage de la teneur du gypse dans les sols, on citera les principales de celle-ci :

#### 9.1.1. Méthode de Coutinet (1965)

Le gypse se dissout par le carbonate d'ammonium, et se précipite à l'état de sulfate par le chlorure de baryum. Après les sulfates seront dosés gravimétriquement. Cette méthode est applicable à toutes les teneurs en gypse.

#### 9.1.2. Méthode de Lagerwerff et al (1965)

Deux méthodes sont utilisées pour la détection et la détermination du gypse, dans les sols.

- **Détection du gypse** : la différence entre la conductivité électrique, d'un extrait dilué et d'un extrait saturé, permet de détecter la présence de gypse dans l'échantillon du sol, en se référant à la conductivité électrique, d'une solution concentrée en gypse. Cette méthode est très utilisée mais il y a des contraintes liées au choix du rapport du sol / eau.

Pour cette raison Job, (1981) a proposé des rapports de dissolution sol/ eau.

**Tableau.6 : Dissolution du gypse : le rapport sol / eau (Job, 1981).**

<b>Teneur en gypse dans le sol %</b>	0-1	1-2	2-5	5-10	10-20
<b>Rapport sol / eau</b>	1/5	1/10	1/20	1/50	1/100

- **Détermination du gypse** : on utilise les deux extraits précédents. L'addition d'un premier réactif provoque la précipitation du gypse après centrifugation. Après une deuxième extraction, le calcium est titré par l'EDTA et les  $SO_4^{2-}$  sont dosés. Après

séchage du précipité à 110°C, il sera dissout dans l'eau et la conductivité électrique sera mesurée. La teneur en gypse est déduite par la formule suivante :

$$C = [6.81 + (4.15 \sqrt{CE}) / (1 - 0.084 \sqrt{CE})]$$

CE : conductivité électrique.

C : concentration du gypse en meq/ l.

### **9.1.3. Méthode de Loveday (1974)**

La méthode repose sur la détermination séparative du  $\text{Ca}^{++}$  et du  $\text{SO}_4^{--}$  dans un extrait saturé, et le  $\text{SO}_4^{--}$  dans un extrait dilué.

Elle se base sur une solution saturée avec le gypse a la conductivité électrique autour de 2.3 ds/m à 25°C, ainsi qu'une concentration de 30- 32 meq/l du  $\text{Ca}^{++}$  et du  $\text{SO}_4^{--}$  respectivement (correspondant à une solution de 2.61 g/l pour le gypse).

### **9.1.4. Méthode de Nelson et al (1978)**

L'estimation du gypse, est basée sur la mesure de l'eau de cristallisation du gypse. Cette dernière est réalisée après passage de l'échantillon du sol, dans un dessiccateur qui contient le gel de silice, puis dans une étuve à 105°C. La formule est la suivante :

$$\text{Gypse}\% = (P_3 - P_4) / (P_4 - P_1)$$

$P_1$  : poids de la capsule vide.

$P_2$  : poids du sol avant séchage.

$P_3$  : poids du sol après séchage dans un dessiccateur qui contient le gel de silice pendant 48 h.

$P_4$  : poids du sol après séchage à l'étuve pendant 24 h à 105°C.

### **9.1.5. Méthode de Berigari et Al- Any (1994)**

Les sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) non gypseux sont éliminés par l'éthanol 50%, ensuite le gypse sera transformé en sulfate  $\text{SO}_4^{--}$  solubles par addition de  $\text{Na}_2 \text{CO}_3$ . Les sulfates seront déterminés et convertis en gypse.

## **9.2. Méthode de détermination du gypse par diffractométrie**

L'identification du gypse par la technique de diffractométrie aux rayons x, peut être utilisé pour l'identification qualitative (Khan et Webster 1968), et la méthode de Friedel (1978) pour l'estimation semi quantitative.

Le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) s'identifie par les pics de 7.56 Å - 3.06 Å et 4.27 Å qui disparaissent à 250 °C, par contre l'anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) est identifiée par les pics de 3.50 Å - 2.85 Å - 2.33 Å et 2.21 Å.

### **9.2.1. Méthode de Khan et Webster (1968)**

Elle se fait grâce aux rayons x avec la présence du chlorure de potassium (KCl 02%) comme référence. Les pics représentatifs de l'intensité maximale pour le gypse et le chlorure de potassium (KCl) apparaissent respectivement à 11.70 et 28.4 Å.

### **9.2.2. Méthode de Friedel (1978)**

Elle se fait grâce aux rayons x avec la présence des références, qui peuvent être préparés par un échantillon issu de la déshydratation du gypse original en ajoutant des quantités connues de ce minéral. Il est possible de comparer les échantillons par rapport aux références.

## **9.3. Capacité d'échange cationique (CEC) et les bases échangeables**

Plusieurs méthodes ont été développées pour la détermination de la CEC et les bases échangeables (Coutinet, 1965 ; Tucker, 1974 ; Palemio et Rhoades, 1977 ; Sayegh et al, 1978) pour résoudre le problème de la présence du gypse associé aux carbonates et aux sels solubles, qui provoque la libération des ions  $\text{Ca}^{++}$  et leur compétition avec l'ion saturant. En outre, il provoque une surestimation des bases, notamment le calcium.

#### **9.4. Granulométrie**

Pour résoudre les problèmes rencontrés dans l'analyse granulométrique pour les sols gypseux, plusieurs méthodes ont été utilisées pour améliorer cette technique (Coutinet, 1965 ; Loveday, 1974 ; Hesse, 1974 ; Matar et Douleimy, 1978 ; Vieillefon, 1979).

On peut citer la procédure de la méthode proposée par Hesse (1974) et modifiée par Vieillefon, (1979) qui consiste à l'élimination du gypse y compris dans les sols en contenant plus de 10% de gypse :

- Peser 20 g de sol et mettre dans un tube à centrifuger de 250 ml ;
- Ajouter 20 ml de BaCl<sub>2</sub> 5% et 40 ml de triethanolamine ;
- Agiter pendant 1 heure avec un agitateur à mouvement va et viens ;
- Centrifuger pendant 10 minutes à 200 t/mn, jeter le liquide surnageant ;
- Transférer le contenu du tube dans un flacon d'un litre, ajouter 30 ml de la solution dispersante d'hexamétaphosphate et 5 ml de solution ammoniacale, puis continuer la procédure classique de l'analyse.

#### **9.5. Mesure de l'humidité**

La mesure de l'humidité d'un échantillon du sol, par la méthode classique, dans l'étuve ordinaire, à la température de 105 °C, ne donne pas des résultats satisfaisants pour les sols gypseux. C'est pourquoi, Pouget (1968) a proposé de retrancher environ 1/5 de la teneur en gypse de la perte d'eau à 105 °C. Par ailleurs, Vieillefon (1979) indique que la mesure de l'humidité, peut se faire dans une étuve ventilée, à une température qui ne dépasse pas 70 °C. La perte de poids, est due à l'eau d'imbibition évaporée ; car à cette température, le gypse n'est pas encore affecté. Cela est vérifié sur les courbes ATD (analyse thermodynamique).

### **10. Classification des sols gypseux**

#### **10.1. Classification Américaine : Soil Taxonomy (S.S.S, 2003)**

Pour identifier les sols gypseux, la soil taxonomy exige la présence de l'un des horizons diagnostiques suivants :

La présente d'un horizon gypsic ou petrogypsic a moins de 100 cm de la surface et ne possède pas d'horizon petrocalcic placé au dessus de ces horizons. Les Gypsidis comportent cinq grands groupes qui sont :

- **Petrogypsidis** : Gypsidis ayant un horizon petrogypsic ou petrocalcic, dont la limite supérieure est à moins de 100 cm de la surface.
- **Natrigypsidis** : Autres Gypsidis qui possède un horizon natric dont la limite supérieure est à moins de 100 cm de la surface.
- **Argigypsidis** : Autres Gypsidis, qui possède un horizon argillic dont la limite supérieure est à moins de 100 cm de la surface.
- **Calcigypsidis** : Autres Gypsidis, qui possède un horizon calcic dont la limite supérieure est à moins de 100 cm de la surface.
- **Haplogypsidis** : Autres Gypsidis.

## 10.2. Classification Française

La classification Française (C.P.C.S, 1967) divise les sols à des classes, sous classes, groupes et sous groupes. Les sols gypseux sont repartis dans trois classes (tableau.7).

**Tableau. 7 : Sols gypseux dans la classification (C.P.C.S, 1967).**

Classes	Sous classes	Groupes
Sols calcimagnésiques	Sols gypseux	Sols gypseux rendziniformes Sols bruns gypseux
Sols isohumiques	...Pédoclimat frais...	Sierozems
Sols hydromorphes	Minéraux ou peu humifères	A redistribution de calcaire et de gypse

Ils sont ensuite les divisés au niveau du sous groupes en :

- Nodale.
- Nodule.
- Encroûtement ou encroûté (à croûte gypseuse).

Cette classification, ne fournit pas d'informations supplémentaires sur la classification de certains sols qui peut contenir une forte teneur en gypse tel que : les sols châtaîns, sols marrons, vertisols, sols sodiques, sols minéraux bruts des déserts chauds et sols gris subdésertiques (F.A.O ,1990).

### 10.3. Classification de la F.A.O

La légende révisée de la carte des sols du monde (F.A.O ,1988) a introduit, deux groupes majeures : les Calcisols et les Gypsisols à la place des Yermosols et Xerosols.

Les Gypsisols, se distinguent par la présence d'un horizon gypsic ou petrogypsic ; les Calcisols possède un horizon calcic ou petrocalcic, mais pas un horizon gypsic. Les unités des sols gypseux sont comme suite :

- **Petric Gypsisols** : se caractérise par un horizon petrogypsic à moins de 100 cm de la surface.
- **Calcic Gypsisols** : se caractérise par un horizon calcic.
- **Luvic Gypsisols** : se caractérise par un horizon argillic.
- **Haplic Gypsisols** : autres gypsisols.

D'autre part, la présence d'un horizon gypsic ou une couche gypsifère ont permis d'identifier d'autres sous unités de sols telles que : Gypsic Régosol, Gypsic Vertisols, Gypsic Solonetz, Gypsic Solontchacks et Gypsic Kastanozems.

### Conclusion

A travers cette étude bibliographique, nous avons essayé de présenter l'essentiel sur les propriétés et les caractéristiques des sols gypseux. Au terme de cette phase de notre investigation, nous pouvons retenir les faits suivants :

- Les sols gypseux sont largement répandus dans les régions arides et semi-arides, où les roches mères ou les sédiment gypseux sont fréquents, et la pluviométrie est insuffisante.
- En ce qui concerne leur classification, il apparaît que les sols gypseux n'interviennent dans les différents systèmes de classification qu'à des niveaux relativement inférieurs. Néanmoins, dans les éditions nouvelles (F.A.O, 1988; S.S.S, 2003), ces sols sont classés à des niveaux supérieurs.

- Les sols gypseux présentent des propriétés physiques et chimiques particulières, notamment en ce qui concerne les aspects suivants :

- Le gypse est un sel soluble, qui constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol, sa solubilité est modifiée en présence des électrolytes forts ayant ou non des ions communs avec lui. Elle peut être modifiée aussi avec la variation du pH, de la pression du gaz carbonique, et de la taille de leurs particules.

- L'augmentation du taux de gypse, entraîne la diminution de la teneur en calcaire et vis versa.

- L'augmentation des teneurs en gypse dans les sols provoque, une diminution de la capacité d'échange cationique.

- La plupart des sols gypseux présentent une structure peu favorable, et une faible stabilité structurale ; elles dépendent du taux et de la forme de gypse dans le sol.

- La rétention et la circulation de l'eau dans les sols gypseux, sont influencées par, la teneur et la dimension des cristaux du gypse et du taux d'argile.

- L'augmentation de la résistance à la pénétration est causée par le gypse. Elle est due à la réduction du volume des vides par la cristallisation du gypse dans les pores.

- En ce qui concerne leur fertilité, elle est en relation étroite avec plusieurs facteurs tel que, sa nature, leur solubilité, leur forme, leur distribution horizontale et verticale et l'emplacement des couches de gypse dans le profil.

- Les doses et les méthodes d'irrigations des sols gypseux dépendent principalement du climat, le type de culture et le type de gestion du sol ainsi que les caractéristiques physiques et chimiques de ces sols tels que : la structure, la profondeur, le taux de gypse...etc.

- La croissance et la productivité des plantes influencées aussi par le développement de ces sols, ainsi que du taux de gypse dans le sol.

- L'amplification des études et des recherches sur ce type de sol permet de mieux le caractériser et de comprendre son comportement ce qui contribue sûrement à leur valorisation et à leur conservation.

# CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

## **Chapitre II : Matériel et méthodes d'étude**

### **I : Matériel d'étude**

#### **1. Situation des sols étudiés**

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 ; elle s'étend sur une superficie de 21671.24 Km<sup>2</sup>. Elle se trouve à une altitude de 124 mètres, sa latitude est de 34°, 48 et sa longitude est de plus de 5°, 44 (Capderon in Remini, 1997).

Administrativement, elle est limitée au Nord par la wilaya de Batna, au Nord – Ouest par la wilaya de M'sila, au Nord – Est par la wilaya de Khenchela, au Sud par la wilaya d'El Oued et au Sud – Ouest par la wilaya de Djelfa.

Les sols étudiés sont situés à 14 Km, au Sud Ouest de la ville de Biskra, dans la commune d'El Hadjeb (fig.8), au long de la toposéquence formée par la montagne du Djebel Bou Ghazel dans la partie Nord, des glacis encroûtés et puis vers un matériau fin argilo-sableux dans la partie Sud.

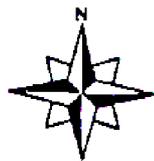
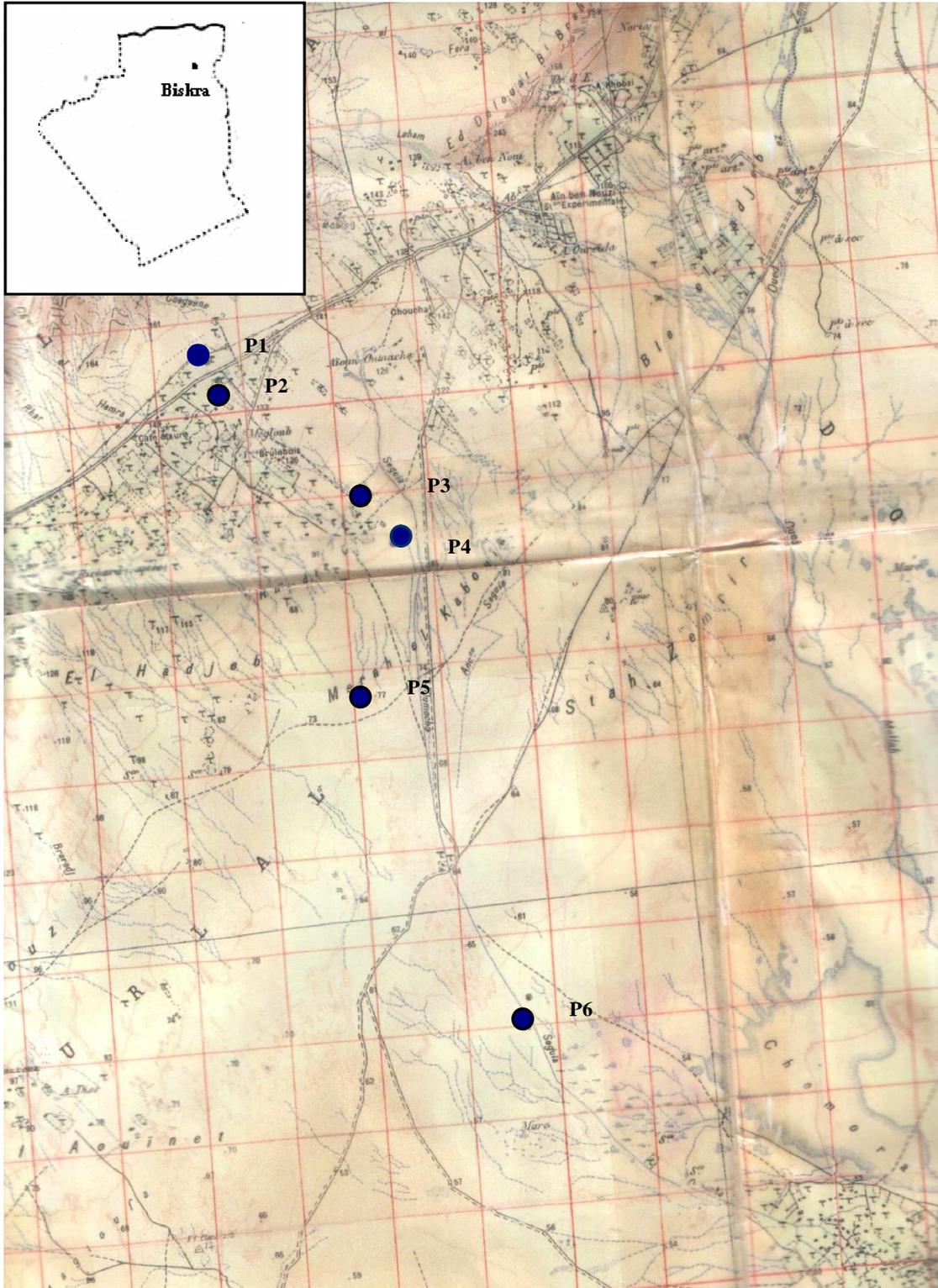
#### **2. Facteurs influençant la formation du sol de la zone d'étude**

##### **2.1. Climat**

Les caractéristiques climatiques de la zone d'étude sont obtenues à partir des données de la station météorologique de Biskra.

##### **2.1.1. Précipitations**

Les précipitations mensuelles moyennes caractéristiques de la région de Biskra sont très irrégulières en enregistrant des variations nettes au cours de l'année. Elles oscillent entre 0.7 mm (juillet) à 22.15mm (novembre).



Echelle: 1/50.000

Figure.8 : Carte d'implantation des profils.

La répartition mensuelle des pluies fait apparaître que la totalité des pluies tombent de façon irrégulière au cours de l'automne 40.4 mm soit 25.50 % du total et en hiver 55.7 mm soit 35.1% du total (tableau.8).

**Tableau.8 : Précipitations moyennes mensuelles en mm durant la période (1977- 2004).**

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

### 2.1.2. Températures

La région se caractérise par une forte température dont la moyenne annuelle est de 22.43 °C. Des de fortes variations saisonnières sont enregistré entre le mois le plus chaude 40.56 °C en juillet et le mois le plus froid 6.7 °C en janvier (tableau. 9).

**Tableau.9 : Températures moyennes mensuelles, maximales et minimales enregistrées au cours de la période (1977- 2004).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
M °C	34.35	27.8	21.61	17.58	16.65	19.85	23.36	26.3	31.23	31.10	40.56	40.45	27.55
m °C	23.00	20.65	12.08	8.35	6.7	8.65	14.4	17.27	19.3	24.45	27.45	27.45	17.08
Moy °C	28.68	23.46	16.95	13.23	11.75	14.25	17.55	11.46	25.28	28.72	33.98	33.15	22.43

M : Moyenne mensuelle des maximums

m : Moyenne mensuelle des minimums

Moy : Moyenne mensuelle

### 2.1.3. Vents

Les vents sont relativement fréquents dans cette région en fin du printemps et en été, ce sont surtout les vents de sable venant du Sud – Ouest qui sont les plus dominants. En période hivernal ce sont principalement les vents froids et humides venant du Nord – Ouest.

La vitesse moyenne des vents est de 32.04 Km/h, avec une valeur maximale de 44.65 Km/h et une valeur minimale de 24 Km/h (tableau. 10).

**Tableau.10 : Vitesses des vents pendant la période (1992 - 2001).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Vitesse maximale Km/h	37.58	35.81	42.47	39.64	35.15	40.32	40.18	40.78	43.38	44.65	40.21	37	39.76
Vitesse minimale Km/h	27.73	25.27	20.36	20.64	21.09	23.45	23.64	26.73	25.09	27.27	27	23.55	24.32
Vitesse moyenne Km/h	32.65	30.54	31.41	30.14	28.12	31.88	31.91	33.75	34.23	35.96	33.06	60.55	32.04

#### 2.1.4. Insolation

La radiation solaire est importante dans la région car l'atmosphère présente une grande clarté durant toute l'année.

Le nombre moyen annuel d'heures d'insolation est environ 283.6 h ce qui correspond approximativement à 9.4 heures par jour, le phénomène est régulière passant d'un minimum en décembre de 218.7 heures à un maximum en juillet de 365.5 heures (tableau.11).

**Tableau.11 : Nombre moyen d'heures d'insolation (1971 - 1997).**

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

#### 2.1.5. Humidité relative de l'air

L'humidité relative moyenne est faible, elle est plus élevée en hiver qu'en été. Elle varie d'environ 28.4 % en juillet à 57.8 % en décembre. La moyenne annuelle est de 42.36%.

**Tableau.12 : Humidité relative moyenne pendant la période (1971- 1997).**

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

### 2.1.6. Evapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante, surtout quand elle se trouve renforcée par les vents et notamment ceux qui sont chauds comme le sirocco.

Le tableau 13 montre que l'évapotranspiration moyenne la plus élevée est observée au mois de juillet avec 444.2 mm par contre la plus faible est observée au mois de décembre avec 101.68 mm.

**Tableau.13 : Evapotranspiration calculée par la méthode de Penman (1977- 2001).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
ETP Moyenne mm	319.4	214.77	150.33	101.68	126.22	149.5	183.8	129.12	262	370	444.2	402.7	237.81

## 3. Classification du climat

### 3.1. Diagramme ombrothermique de Gaussen

Dans ce diagramme, les températures sont portées à une échelle double de celle des précipitations. Un mois est sec lorsque  $P < 2T$ , et il est humide lorsque  $P > 2T$ .

Dans notre cas la courbe de pluies, ne passe pas au-dessus de la courbe des températures, cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une très intense sécheresse au mois de juillet. (fig.9)

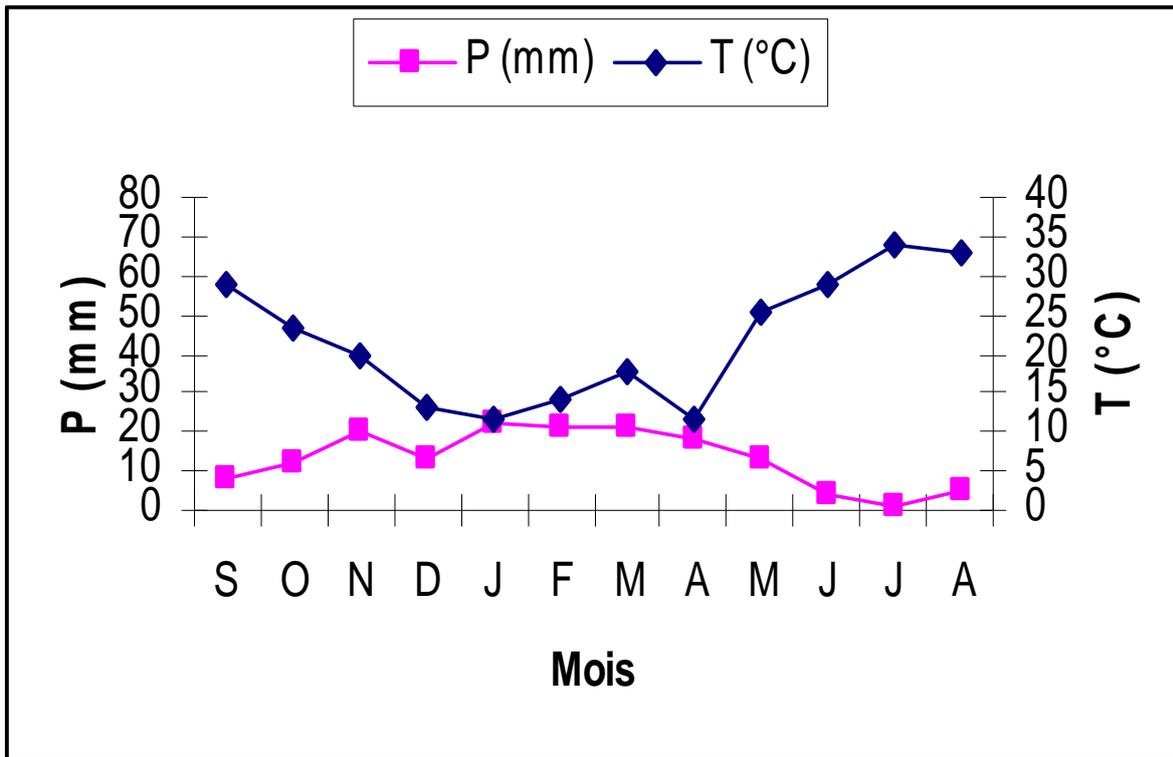


Figure.9 : Diagramme ombrothermique de Gaussen, période (1977/2004)

### 3.2. Climagramme d'Emberger

Stewart (1969) a transformé le quotient d'Emberger pour le climat méditerranéen, et a obtenu la formule suivante :

$$Q = 3.43 \frac{P}{M - m}$$

$$Q = 3.43 [(158.4 / 40.56 - 6.7)]$$

$$Q = 16.04$$

L'observation du climagramme d'Emberger, nous permet de situer la région d'étude dans l'étage bioclimatique saharien à hiver tempéré (fig.10).

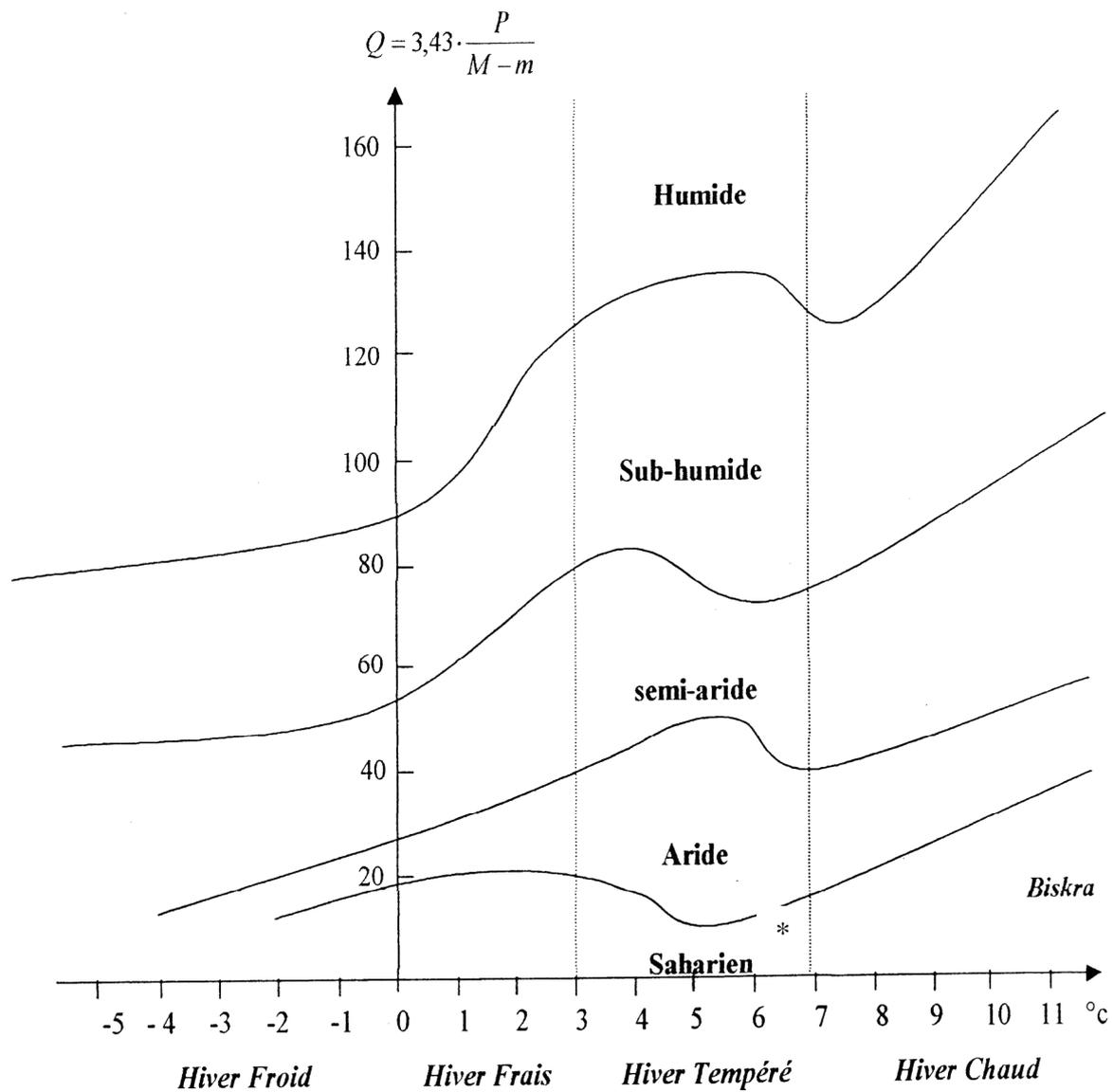


Figure.10: Climagramme pluviométrique d'Emberger pour la région de Biskra (1977- 2004).

### 3.3. Climagramme pluviothermique de Pouget

Selon le climagramme pluviothermique de Pouget (1980) (fig.11), on apprécie le climat de Biskra comme suit :

L'étage bioclimatique : aride inférieur ( $200 > P > 100$  mm).

La variante thermique : à hiver doux, avec  $5\text{ °C} < m < 7\text{ °C}$

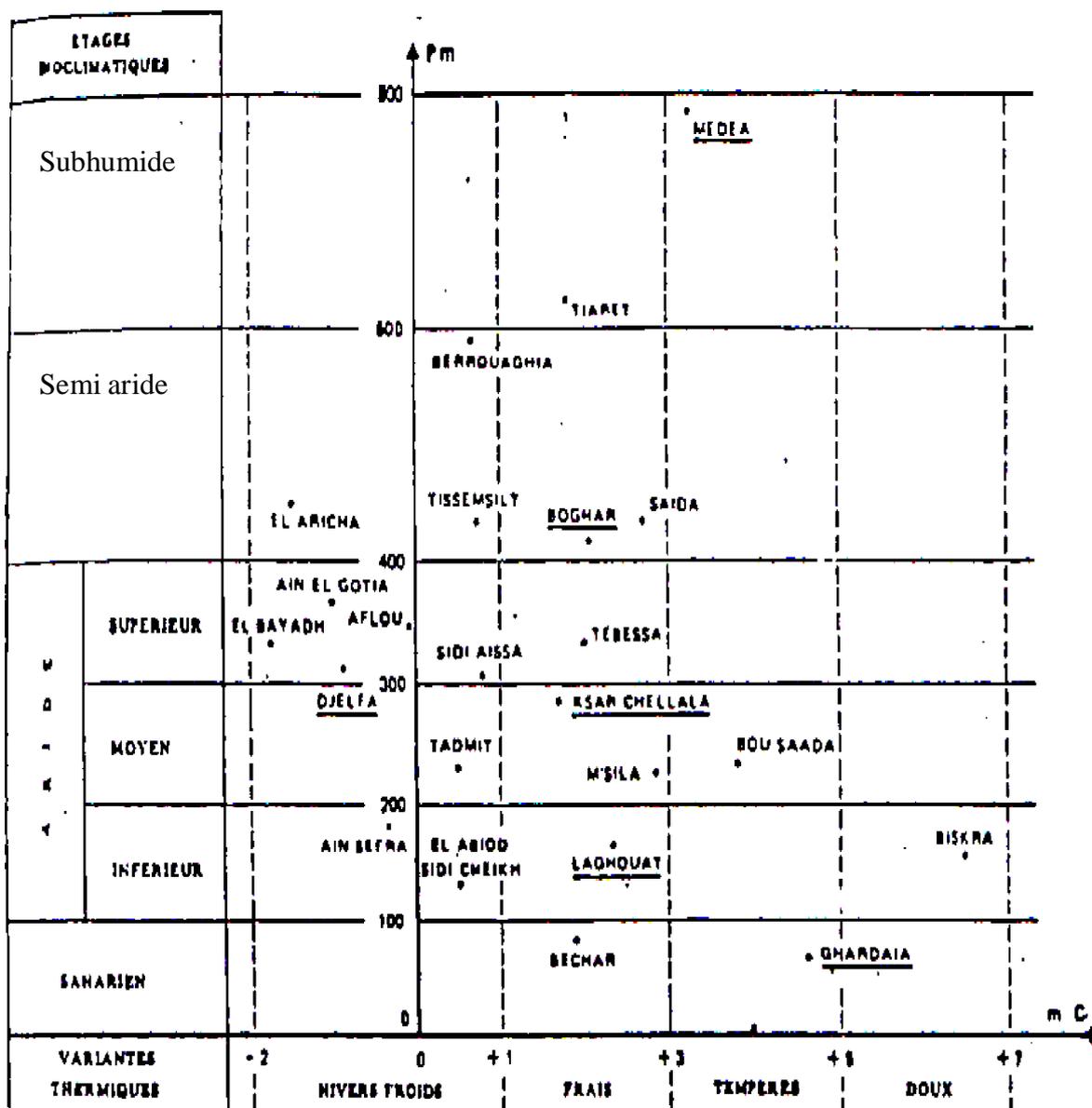


Figure.11 : Diagramme pluviothermique de Pouget (1980).

#### 4. Pédoclimat

##### 4.1. 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).

Tavernier et Van Wambeke (1976) ont appliqué le modèle mathématique du Newhall, qui permet d'estimer le régime hydrique. Ils donnent pour Biskra un régime hydrique aridic.

## **4.2. Régime thermique**

D'après les travaux de Tavernier et Van Wambeke (1976), le régime thermique de Biskra est de type hyperthermie. 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 Gousskov (1964) sur la région de Biskra nous citons les principales strates repérées sur cette région en allant du plus récent vers le plus ancien (fig.12)

#### **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.

###### **5.1.1.1.2. Moyen**

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. Ancien (Terrasse)**

Cette terrasse set 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 dépôts sableux et argileux ver le sud de Biskra.

#### **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 calcaireux - 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 Djeldi).

### **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. Crétacé supérieur**

- **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).

- **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 Borj Chaïba. Sa puissance est de 500m de calcaire marneux avec intercalations marneuses et gypseuses.

#### **5.1.1.4.2. 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 rouge avec quelques intercalations argileuses, le Barrémien est le terme le plus anciens visible dans la région de Biskra.

#### **5.1.2. Tectonique**

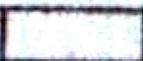
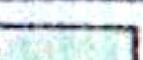
Après la sédimentation continue, du Barrémien jusqu'à l'éocène moyen, les premiers mouvements orogéniques et produisent, ils provoquent d'abord, de faibles ondulations de direction NE – SW, puis des plissements très accentués de direction ENE – WSW (Anticlinal de Boughzal ou flanc sud déversé).

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



Légende de l'esquisse litho – géologique.

 La zone d'étude.

Symbole	Géologie	Lithologie
 q <sub>E</sub>	Quaternaire récent	Éboulis sur les pentes et au pied des montagnes
 q <sub>D</sub>		Dunes de sables
 q <sub>S</sub>		Cailloutis, gravier, sables dans le lit des oueds
 q <sub>Cn</sub>	Quaternaire moyen	Croûte calcairo-gypseuse (deb-deb)
 q <sub>T</sub>		Travertins de sources
 q <sub>2</sub>		Alluvions sablonneuses et argileuses dans les grandes plaines
 q <sub>1</sub>	Quaternaire ancien	Poudingues, graviers et sables de l'ancienne terrasse
 p <sup>1</sup>	Pliocène	Poudingue, grès
 m <sup>3</sup>	Miocène supérieur continental	Argiles, sable, graviers et marne
 e <sup>i</sup>	Eocène inférieur	Calcaires blancs, riche en silex noirs
 c <sup>8</sup>	Sénonien	Calcaires, sols marneux et dolomitique
 c <sup>7</sup>		Calcaire, calci-, -marneux et marne blanchâtres
 c <sup>6</sup>	Turonien	Calcaires massifs dolomitiques, cristallins
 c <sup>4-5</sup>	Cénomanién	Alternance des calcaires calci dolomitique et de marne souvent gypseuse
 c <sup>1-3</sup>	Albien	Grès et argiles rouges

## **5.2. Géologie locale**

### **5.2.1. Stratigraphie**

La coupe géologique (fig.13) 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 même 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'El Outaya et au nord-est dans l'oued.

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 moyenne ou cette mouvement 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'au 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, Ouergla 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.

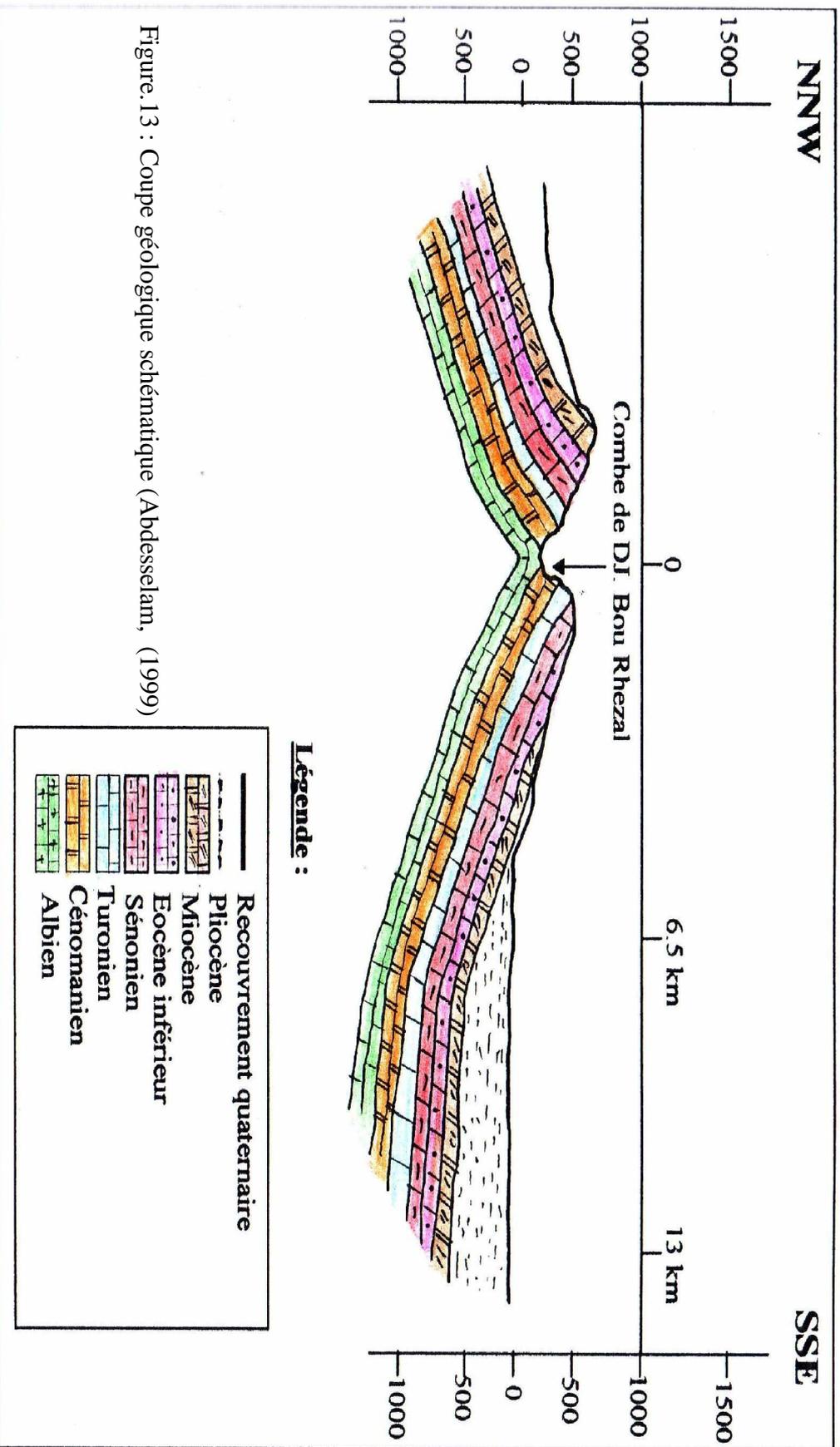


Figure. 13 : Coupe géologique schématisque (Abdesselam, (1999))

## Géomorphologie locale

Selon l'objectif de l'étude, notre toposequence est formée par la montagne du Djebel Bou Ghazel dans la partie nord, des glacis encroûtés et puis vers un matériau fin argilo-sableux dans la partie Sud. L'établissement du croquis géomorphologique à permet de constater les formes suivantes : (fig.14)

### 6.2.1. Structures

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

### 6.2.2. Formes d'érosion

- **Combe du Dj Bou Ghezal**

L'anticlinal du Dj Bou Ghzal 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.

- **Chevrons** : Ils sont visibles surtout sur le contour de la combe.
- **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.
- **Glacis** : sont des formations du quaternaire moyen, dit « deb- deb » qui représente une formation calcaireux- gypseuse.
- **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.
- **Accumulations de sable** : Elles sont constituées par de vastes dépôts de sable transportés par le vent.

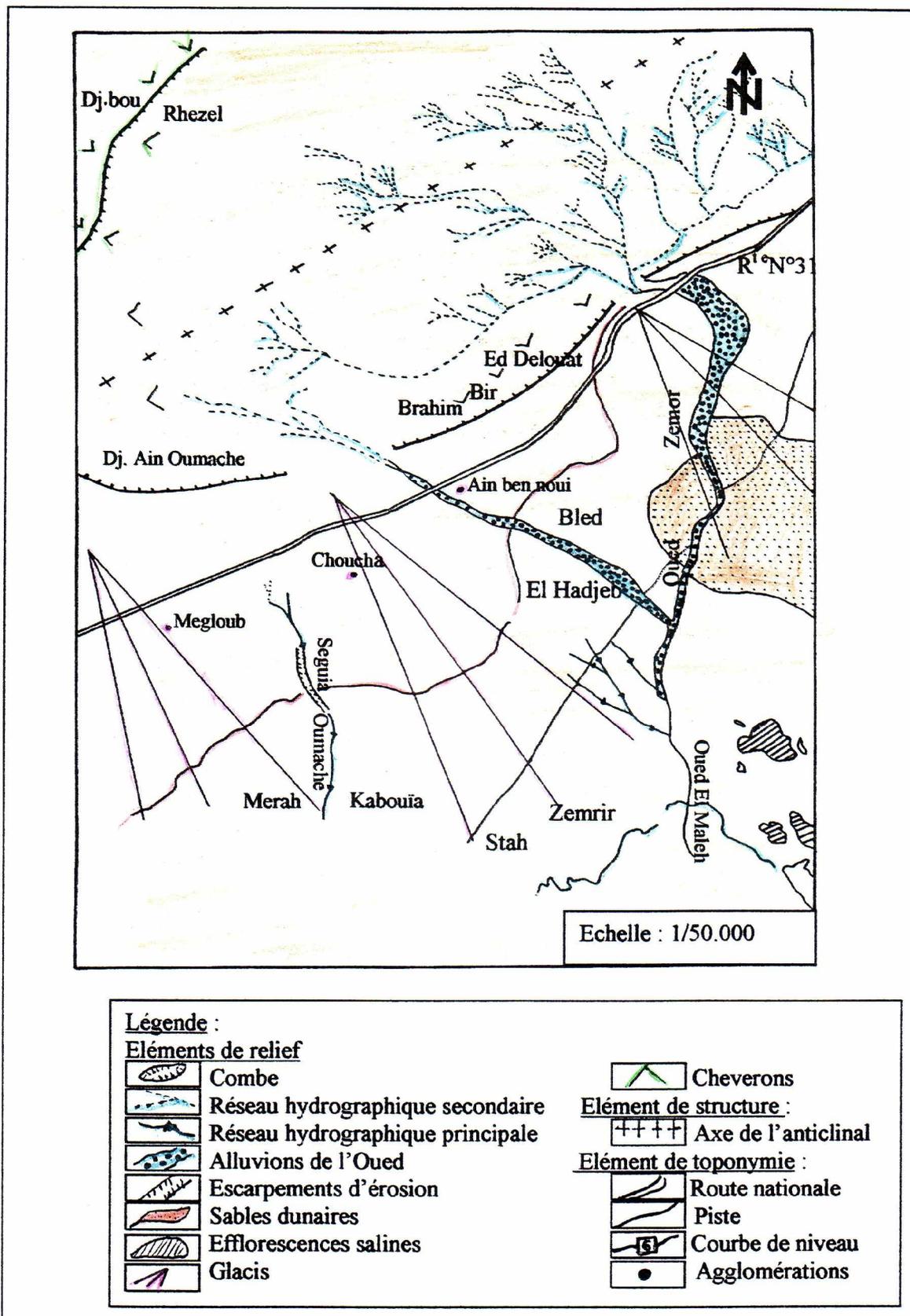


Figure.14 : Croquis géomorphologique de la région d'étude (Abdesselam, 1999).

## **6. Hydrogéologie de la zone d'étude**

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

### **7.1. Nappes phréatiques du quaternaire**

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

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

### **6.2. Nappes des sables du miopiocène**

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

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

- Sulfaté alcalin
- Sulfaté calcé-magnésien
- Sulfaté calcique

Elles sont de mauvaise qualité.

### **6.3. 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.15).

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 impluvium constitué par les reliefs méridionaux de l'atlas saharien qui dominant Tolga entre Foughala et Bouchergrou et les versants de la plaine de El Outaya.

Les eaux présentent un faciès sulfaté alcalin et alcalino – terreux avec prédominance de ces derniers.

### **6.4. Nappe profonde (nappe de grés)**

Cette nappe dite « Albiène », correspond à un 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 nœuds 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 Hamama Salhine
- Source chaude de Ain Taïba.

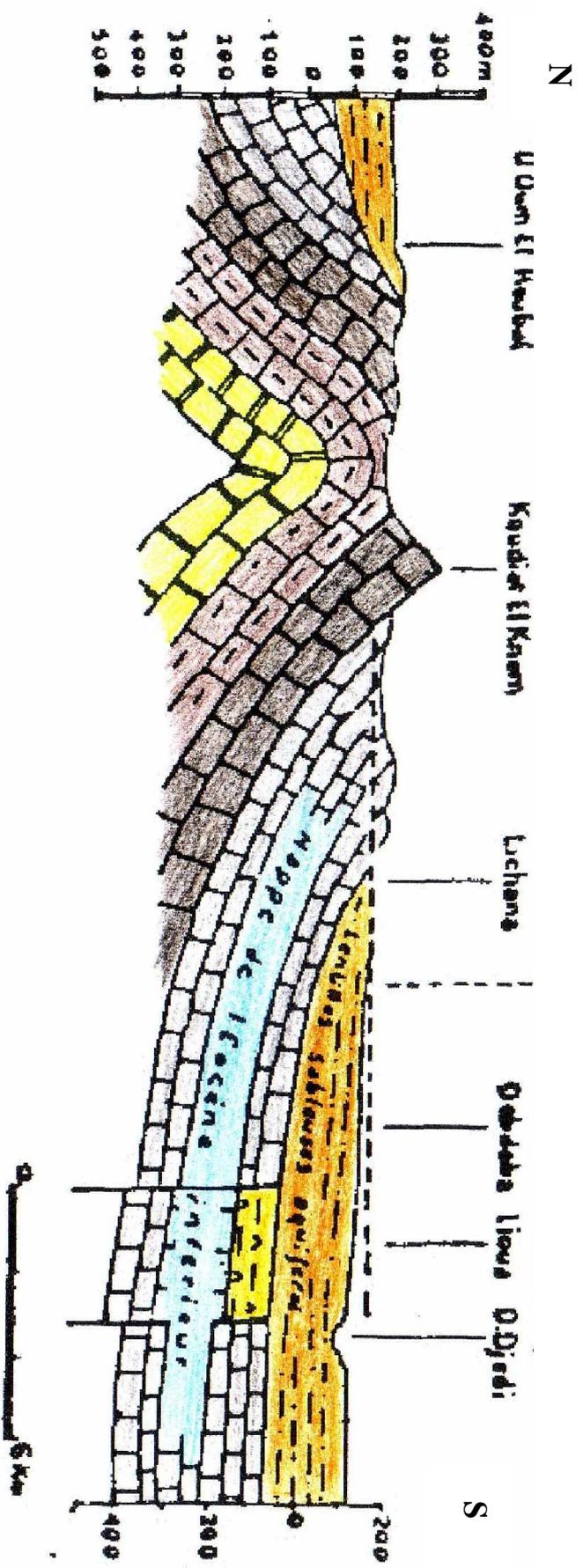


Figure. 15 : Coupe hydrogéologique du Zab Charbi en partie (Mauget, 1967)

## Légende de la coupe hydrogéologique



Niveau hydrostatique de la nappe de l'Eocène inférieur.



Argiles sableuses du continental terminal.



Argiles et gypse de l'Eocène moyen.



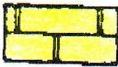
Calcaires de l'Eocène inférieur.



Calcaires de Sénonien supérieur.



Argile, marnes et calcaires marneux du Sénonien inférieur.



Calcaires du Turonien.



Nappe de l'Eocène inférieur

## **Conclusion**

A partir des données climatiques de la région de Biskra, nous pouvons dire qu'elle se caractérise par :

- Températures moyennes élevées et des périodes de sécheresse très prolonger.
- Pluviosité faible et irrégulière.
- Evapotranspiration intense.
- Humidité faible.
- Grande luminosité.

Nous avons constaté de l'étude du milieu naturel et de notre prospection sur le terrain, que notre toposéquence est influencée par plusieurs facteurs, qui agissent directement sur la genèse et l'évolution de ces sols. Nous citons les facteurs suivants :

- Climat aride
- Position topographique.
- Déficit hydrique.
- Présence de la nappe phréatique.
- Apport éolien.
- Présence du matériau gypso- calcaire.

## 02 : Méthodes d'étude

### 1. Méthode d'échantillonnage

Les travaux de terrain ont commencé par une prospection de la région d'étude, dans le but de dégager des unités physiographiques, en se basant sur la carte topographique, et les photographies aériennes.

Les profils choisis, sont répartis tout le long de la zone d'étude (fig.8). Une description détaillée des profils a été réalisée ; elle englobe les caractéristiques stationnelles et morphologiques. Enfin des prélèvements de sol ont été effectués sur six profils.

### 2. Analyses physico-chimiques des sols effectuées au laboratoire

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

Dans le but de sélectionner quelques échantillons à différents taux de gypse, on a commencé par le dosage du gypse de tous les échantillons prélevés. On a choisi neuf (09) échantillons pour la réalisation de cette étude, et cela en s'appuyant sur la classification faite par Sys et Verheye in Sys et al (1991), liant l'indice de production des cultures et le taux de gypse dans le sol (tableau.14).

**Tableau.14 : Indices de productivités des sols gypseux (Sys et Verheye in Sys et al (1991)).**

Gypse %	Indice %
> 50	30
25- 50	60
10- 25	85
0.3- 10	100
< 0.3	90

Les échantillons sélectionnés sont consignés dans le tableau suivant (tableau.15) :

**Tableau. 15 : Echantillons de sol sélectionnés d'après la classification Sys et Verheye in Sys et al (1991).**

<b>Classes (Gypse %)</b>	<b>Horizon</b>	<b>Gypse% de l'échantillon</b>
> 50	P6H1	64.5
	P6H2	60.2
25- 50	P3H1	35
	P5H3	39.56
10- 25	P2H1	19.35
	P4H2	25
0.3- 10	P3H3	9.8
< 0.3	P4H3	traces
	P1H1	traces

Le protocole expérimental suivi se présente comme suit :

Toutes les analyses de base ont été réalisées sur ces échantillons, ainsi que la mesure de l'humidité à pF2,5, pF3 et pF4.2, avec un fractionnement des sols portant sur les classes suivantes :

- Sable grossier
- Sable fin
- Sable fin + limon + argile

Le dosage du gypse, du calcaire et la mesure de l'humidité à pF 2,5, pF 3 et pF 4.2 ont été faites aussi sur ces fractions.

### **2.1. Réaction du sol (pH)**

Déterminé par le pH mètre avec un rapport sol/ eau de 1/ 2.5.

## **2.2. Conductivité électrique (CE)**

Déterminé par le conductimètre, avec un rapport sol/eau de 1/5 est exprimé en dS/m à 25 °C.

## **2.3. Calcaire total**

Par la méthode de calcimètre de Bernard.

## **2.4. Granulométrie**

L'analyse granulométrique, a été déterminée par la méthode internationale de la pipette de Robinson.

## **2.5. Carbone organique**

Le dosage du carbone organique est réalisé par la méthode Walkley et Black, qui nécessite une oxydation avec le bichromate de potassium.

## **2.6. Dosage de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )**

Le dosage de gypse est effectuée d'après la méthode de Richard (1954); par l'utilisation de l'acétone avec un rapport sol/ eau de 1/500.

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

**Tableau.16 : Conductivité électrique à 25 °C de différentes concentrations de sulfate de calcium dans l'eau (Poch, 1989 ; Rayan, et al, 2001)**

CaSO <sub>4</sub> (meq/l)	Conductivité électrique à 25°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

L'expression utilisée pour calculer le taux de gypse dans l'échantillon est la suivante :

$$\text{Gypse dans le sol } \% = \frac{A_{\text{meqCaSO}_4}}{1000\text{ml}} \times \frac{B_{\text{ml}}}{C_{\text{ml}}} \times \frac{1}{D_{\text{g/ml}}} \times \frac{0.086\text{g}}{1\text{meqgypse}} \times 100$$

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

**2.7. Densité réelle :** par la méthode de pycnomètre.

**2.8. Densité apparente :** par la méthode de la parafine.

**2.9. Fractionnement des sols**

Par l'utilisation des tamis de 200 $\mu$ , 50 $\mu$ , et sur des échantillons de sols inférieur à 2 mm, on a effectué la séparation des fractions suivantes :

- **Sable grossier** : est obtenue après tamisage à 200 $\mu$ , représenté par la fraction restant au dessus de ce tamis.
- **Sable fin + limon + argile** : représenté par la fraction obtenu au dessous du tamis de 200 $\mu$ .

- **Sable fin** : est obtenu après lavage de la moitié de l'échantillon sable fin + limon + argile sur le tamis de 50 $\mu$ , avec l'eau distillée puis leur séchage à l'air libre. La fraction limon + argile restant au dessous du tamis est éliminée parce que c'est une maigre quantité qui ne suffit pas pour la réalisation des analyses souhaités.

## 2.10. Mesure de l'humidité des sols à un pF donné (Méthode par pression)

Il s'agit de caractériser l'état du système terre / eau en mesurant la force avec laquelle la phase solide retient la phase liquide. La technique utilisée consiste à appliquer une pression de gaz inerte à un échantillon de terre humide afin d'extraire toute la phase liquide retenue (C.I.R.A.D., 2004)

Les échantillons étudiés, préalablement saturés d'eau, sont soumis à une pression déterminée. L'eau en excès est donc éliminée jusqu'à la réalisation d'un équilibre entre la force appliquée et la force de rétention de l'eau par le sol. On détermine alors la teneur en eau de l'échantillon. Les valeurs du pF sont représentées dans le tableau.17.

**Tableau.17 : Table d'équivalence de tension.**

<b>Bars</b>	<b>Kilo – pascals</b>	<b>Atmosphères</b>	<b>mm de mercure appelé parfois Torr</b>	<b>Hauteur équivalente en cm d'eau</b>	<b>pF</b>
0.33	33	0.328	250	344	2.5
1	100	0.9869	750.1	1017.1	3
15	1500	15.2	11251	15499	4.2

Les extractions sont exécutées dans la presse à paque de porcelaine poreuse.

- La plaque de porcelaine a été trempée dans un plateau remplie d'eau pendant une nuit. Ensuite, siphonné de l'eau contenue.
- Les anneaux métalliques remplis de terre légèrement tassée sont placés sur la plaque de porcelaine, puis mis dans un récipient dans la quel on ajoute de l'eau jusqu'à mi – hauteur des anneaux. Les échantillons sont laissés s'imbiber vingt – quatre heures.

- La plaque de porcelaine portant les échantillons est placée dans la chambre d'extraction, où la pression sera établie progressivement jusqu'à la valeur désirée.
- L'appareil est arrêté lorsque l'équilibre est établi, c'est-à-dire lorsque ne se produit plus d'écoulement à l'orifice de sortie de la chambre.
- Les échantillons sont pesés pour obtenir le poids humide, puis elles sont placées à l'étuve à 60°C pendant 24 heures.
  
- A la sortie de l'étuve, les échantillons sont pesés pour obtenir le poids sec.
  
- Le taux d'humidité H (%) est déterminé par la formule suivante :

$$H\% = \frac{\text{Poids humide} - \text{Poids sec}}{\text{Poids sec}} \times 100$$

# CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

## **Chapitre III : Résultats et discussions**

### **1. Propriétés et caractéristiques physico-chimiques des sols**

#### **1.1. Caractéristiques chimiques**

##### **1.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH)**

Selon l'échelle établie par Baize (1988), le pH des sols étudiés est basique. Il varie entre 8.2 et 8.6 (tableau.18). Ceci est remarqué aussi par Pouget (1968), dans tous les sols gypseux étudiés par lui. Il a déclaré que le pH des sols gypseux est toujours supérieur à 7.

##### **1.1.2. Conductivité électrique**

La conductivité électrique (1/5) des sols varie entre 1.87 et 19.88 dS/m (tableau.18); l'horizon P1H1 est salé (CE = 1.87 dS/m), les horizons très salés (P4H3, P3H3 et P3H1) sont représentés par les horizons ayant une conductivité électrique variant entre 2.37 et 4.81 dS/m. Les horizons restants (P2H1, P4H2, P5H3, P6H1 et P6H2) sont extrêmement salés (CE entre 9.41 et 19.88 dS/m). Ils sont classés ainsi selon l'échelle de classification de la conductivité électrique faite par Aubert (1978).

##### **1.1.3. Matière organique**

L'échelle de classification suivie pour la classification de la matière organique des sols est celle de la I.T.A (1977). Nous remarquons que les taux de la matière organique, variant entre 0.68 et 1.63% (tableau.18). Les horizons P1H1, P3H3, P4H2 et P4H3 sont très pauvres, leurs taux de matière organique oscillant entre 0.68 et 0.86%. Les autres horizons (P2H1, P3H1, P5H3, P6H1 et P6H2) sont pauvres en matière organique, leurs taux variant entre 1.04 et 1.63%. Ces résultats sont similaires aux résultats affichés par la F.A.O (1990) sur un matériel de même type.

La classification de la teneur en calcaire total dans les sols étudiés, a été faite selon l'échelle établie par Baize (1988).

#### **1.1.4. Calcaire total**

Les taux de calcaire total enregistré dans les sols étudiés, varient entre 1.13 et 42.91% (tableau.18). Les horizons P6H2, P6H1 et P3H1 sont peu calcaires ; leurs taux variant entre 1.13 et 5%. Les horizons P4H2, P2H1, P5H3 et P1H1 sont modérément calcaires, avec des taux oscillant entre 12.27 et 23.23%. Les horizons P3H3 et P4H3 sont fortement calcaires, avec respectivement 34.3 et 42.91%.

Nous remarquons dans la majorité des sols étudiés que l'augmentation du taux de gypse s'accompagne avec une diminution du taux de calcaire dans le sol et vis versa. Ceci est confirmé par les études de plusieurs auteurs sur les sols gypseux (Boyadgiev, 1974 ; Baci, 1984 ; F.A.O, 1990 ; Florea et Al-Joumaa, 1998).

En outre, les taux de gypse et de calcaire varient selon la position du profil, le long de la séquence allant du haut (glacis) vers le bas (sebkha). En haut du glacis se trouvent les Calcids (Typic Haplocalcids), suivis des Gypsiorthids avec un horizon petrogypsi (Typic Petrogypsid). Les Gypsiorthids typiques font la transition entre la zone calcaire et la zone gypseuse (Bensaid, 1999).

#### **1.1.5. Capacité d'échange cationique**

Les valeurs de la capacité d'échange cationique, sont faibles ; elle varient entre 3.2 et 9.5 meq/100g de sol (tableau. 18), en raison de la faible teneur en argile et en matière organique dans la majorité des sols étudiés, et au fait que le gypse est un sel neutre, qui possède une faible surface spécifique, il n'est pas un constituant du complexe adsorbant du sol (Poch, 1992 a).

#### **1.1.6. Cations échangeables**

La dissolution du gypse, et éventuellement la calcite, a permis de surestimer les bases, notamment le calcium (Abdesselam, 1999 ; Bala, 2005).

Dans notre cas, ce phénomène est très apparent ; le taux de  $\text{Ca}^{++}$  tout seul reste supérieur à celui de la valeur de la capacité d'échange cationique dans la totalité des sols étudiés (tableau. 18). A cet effet on a surestimé le taux de  $\text{Ca}^{++}$  et la somme des cations est nettement supérieure à la capacité d'échange cationique.

## **1.2. Propriétés physiques**

### **1.2.1. Texture du sol**

L'analyse granulométrique des sols gypseux, a été effectuée par la méthode classique internationale de la pipette de Robinson. A cet effet la présence du calcium qui provient du gypse et de calcaire engendre la floculation des particules fines. Pour cette raison les échantillons des sols sont ainsi séparés en trois fractions seulement; sable grossier, sable fin et la fraction limon + argile.

On a utilisé cette méthode parce que, l'analyse granulométrique avec élimination de gypse ne donne pas la constitution réelle du sol. La granulométrie est établie dans ce cas sur une fraction seulement des constitutions réelles du sol, et cela surtout dans les horizons ayant des taux de gypse supérieurs à 10% (C.I.R.A.D, 2004).

Les constitutions granulométriques des sols étudiés, sont représentées par des cyclogrammes (fig.16).

L'horizon P1H1, se caractérise par l'abondance du sable ; le taux de sable grossier est de 62.35%, le sable fin est de 30.75% et la fraction limon + argile représente 6.9%.

L'horizon P2H1, est représenté par un taux de sable grossier de 42.75%, 44.06% de sable fin et 13.19% de limon + argile.

L'horizon P3H1, possède 21.01% de sable grossier, 44.79% de sable fin et 34.2% de la fraction limon + argile.

L'horizon P3H3, ayant un taux de sable grossier de 38.81%, 46.02% de sable fin et 15.17% du limon + argile.

L'horizon P4H2, se détermine par l'abondance de sable grossier avec un taux de 55.18%, le sable fin avec un taux de 36.37% et une faible quantité de la fraction limon + argile (8.45%).

L'horizon P4H3, se caractérise par une quantité élevée des sables 91.57% ; 51.58% pour le sable grossier et 39.99% pour le sable fin. La quantité de la fraction limon + argile est de 8.43%.

L'horizon P5H3, se caractérise par l'abondance de la fraction sable fin (51.14%). La fraction limon + argile est de 27.04% et la fraction sable grossier de 21.82%.

L'horizon P6H1, se caractérise par une élévation notable de la fraction limon + argile (51.54%) par rapport aux horizons précédemment étudiés. Le sable grossier est de 8.45% et le sable fin est de 40.01%.

L'horizon P6H2, possède un taux élevé de sable fin (64.02%). Le taux de sable grossier est de 12.81% et la fraction limon + argile est de 23.17%.

Nous remarquons une abondance du sable (grossier + fin) dans tous les horizons étudiés. A l'exception de l'horizon P6H1 ou il y a une élévation notable de la fraction de limon + argile (51.54%).

### **1.2.2. Densité apparente et réelle**

Les valeurs de la densité apparente, varient entre 1.11 et 1.94 g/cm<sup>3</sup>, ils sont généralement supérieurs à ceux trouvée par Florea et Al- Joumaa (1998) sur un sol gypseux, mais les valeurs de la densité réelle sont généralement faibles en comparaison à ceux trouvées par le même auteur. Ils varient entre 2.27 et 2.62 g/cm<sup>3</sup>.

### **1.2.3. Porosité totale**

Les résultats de l'analyse de la densité apparente et de la porosité totale sont représentés dans le tableau 19.

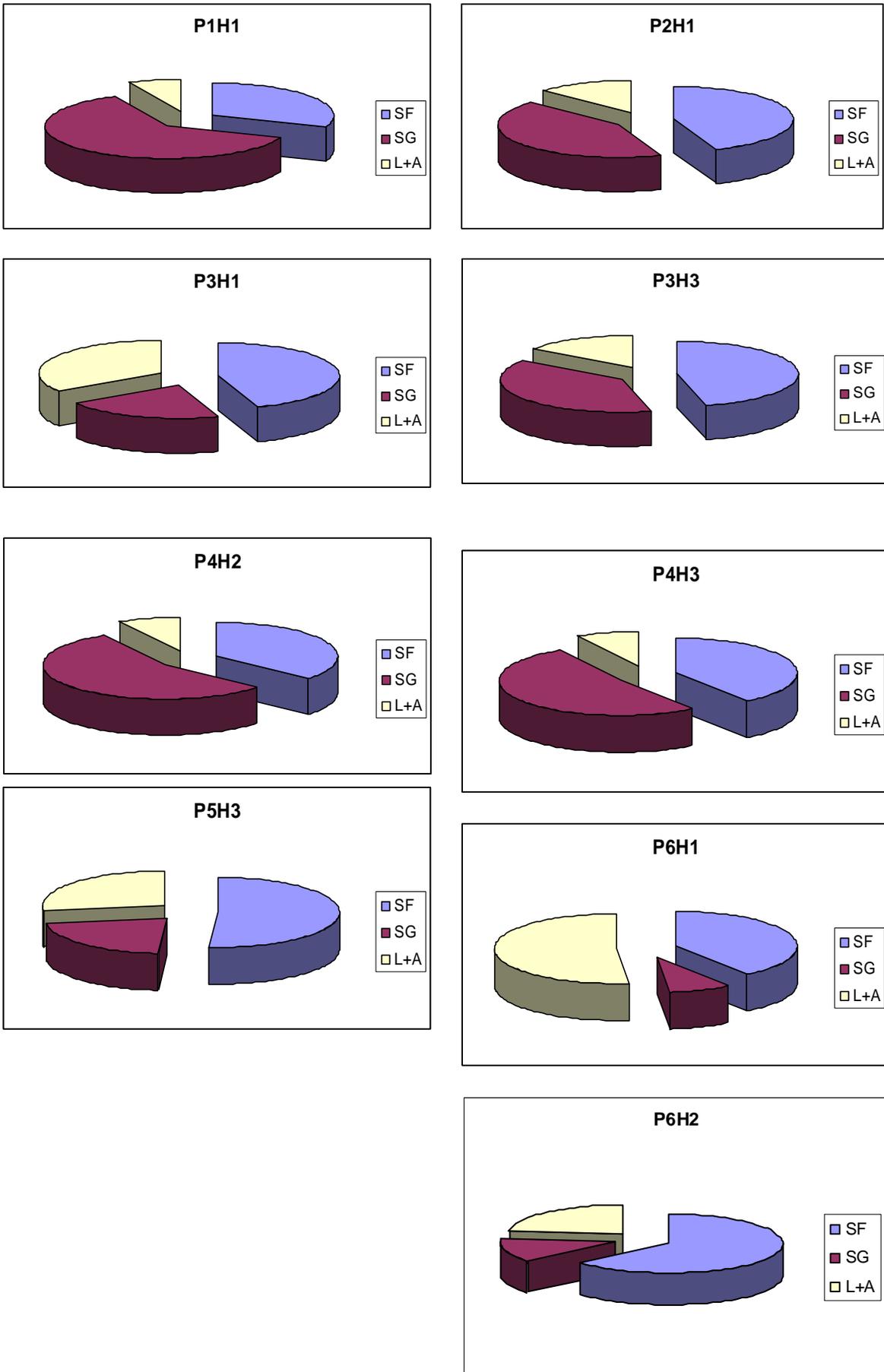


Figure.16: Constitution granulométrique des sols.

Les valeurs de la porosité totale varient entre 21.19 et 53.63%, dont la majorité sont entre 21.19 et 39.69%. Ces valeurs sont faibles, en comparaison à ceux rapportées par Pankhanova et Yamanova (1987) et Poch (1992 a) sur un matériel gypseux.

**Tableau.18 : Caractéristiques chimiques des sols.**

Horizon	pH eau 1/2.5	CE (1/5) dS/m (25°C)	Gypse %	CaCO <sub>3</sub> total %	Carbone organique %	MO %	CEC meq/100g	Ca <sup>++</sup> meq/100g	Mg <sup>++</sup> meq/100g	Na <sup>+</sup> meq/100g	K <sup>+</sup> meq/100g
<b>P1H1</b>	8.2	1.87	0	23.23	0.5	0.86	4.17	0.784	0.771	0.046	0.027
<b>P2H1</b>	8.5	9.41	19.35	15.63	0.77	1.32	4.56	1.079	1.64	0.081	0.075
<b>P3H1</b>	8.2	4.81	35	5	0.61	1.04	4.6	12.04	3.52	0.046	0.011
<b>P3H3</b>	8.4	2.58	9.8	34.3	0.44	0.75	3.2	4.69	2.3	0.039	0.015
<b>P4H2</b>	8.6	9.73	25	12.27	0.4	0.68	5.3	6.72	3.15	0.032	0.019
<b>P4H3</b>	8.3	2.37	0	42.91	0.5	0.86	4.6	5.78	3.00	0.039	0.019
<b>P5H3</b>	8.6	11.03	39.56	17.97	0.75	1.29	8.1	14.38	3.01	0.035	0.15
<b>P6H1</b>	8.4	16.34	64.5	2.53	0.95	1.63	8.1	11.10	2.20	0.046	0.038
<b>P6H2</b>	8.5	19.88	60.2	1.13	0.81	1.39	9.5	13.76	1.35	0.067	0.021

**Tableau.19 : Caractéristiques physiques des sols.**

Horizon	Da g/cm <sup>3</sup>	Dr g/cm <sup>3</sup>	Porosité %	Granulométrie %		
				SF	SG	L+A
<b>P1H1</b>	1.94	2.57	24.30	30.75	62.35	6.9
<b>P2H1</b>	1.62	2.62	37.96	44.06	42.75	13.19
<b>P3H1</b>	1.24	2.34	47.19	44.79	21.01	34.2
<b>P3H3</b>	1.56	2.58	39.69	46.02	38.81	15.17
<b>P4H2</b>	1.11	2.39	53.63	36.37	55.18	8.45
<b>P4H3</b>	1.77	2.56	30.96	39.99	51.58	8.43
<b>P5H3</b>	1.54	2.51	38.88	51.14	21.82	27.04
<b>P6H1</b>	1.77	2.24	21.19	40.01	8.45	51.54
<b>P6H2</b>	1.55	2.28	32.05	64.02	12.81	23.17

## **2. Caractéristiques physico-chimiques et hydriques selon les classes de sols étudiés**

### **2.1. Classe des sols contenant moins de 0.3% de gypse**

#### **2.1.1. Caractéristiques physico- chimiques**

La classe contenant moins de 0.3% de gypse est représentée par les horizons P1H1 et P4H3.

Le pH de cette classe, varie entre 8.2 et 8.3 (tableau.20) ; c'est un pH basique. Leur conductivité électrique varie de 1.87 à 2.37 dS/m respectivement pour les horizons P1H1 et P4H3 (tableau.20); se sont des sols salés.

Le taux de calcaire total est de 23.23% à l'horizon P1H1 (tableau.20) ; c'est un horizon modérément calcaire. Et 42.91% (tableau.20) à l'horizon P4H3 ; c'est un horizon fortement calcaire. L'horizon P1H1 contient 26.4% de calcaire dans la fraction du sable grossier, 14.15% dans la fraction du sable fin et 0.85% dans la fraction limon + argile (tableau.20). En outre l'horizon P4H3 possède 28.52% de calcaire dans la fraction du sable grossier, 13.3% dans la fraction du sable fin et 0% dans la fraction limon + argile (tableau.20).

La quantité la plus élevée du calcaire dans cette classe, est dans la taille du sable grossier.

Le taux de matière organique, est de 0.86% dans cette classe (tableau.20) ; elle est très pauvre en matière organique.

Cette classe, est caractérisée par l'abondance du sable, avec une moyenne de 92.33% et une faible pourcentage de la fraction limon + argile, avec une moyenne de 7.66% (tableau.21).

Les valeurs de la porosité totale, varient de 24.30 à 30.96% respectivement à l'horizon P1H1 et P4H3 (tableau.21).

Cette classe, est pauvre en gypse (tableau.21). Le taux de gypse dans les différentes fractions n'a pas pu être détecté.

**Tableau. 20: Caractéristiques chimiques de la classe < 0.3% de gypse.**

Classe	pH eau 1/2.5	CE (1/5) dS/m (25°C)	Gypse %	Gypse %			CaCO <sub>3</sub> total %	CaCO <sub>3</sub> total %			MO %
				SG	SF	L+A		SG	SF	L+A	
P1H1	8.2	1.87	0	0	0	0	23.23	26.4	14.15	0.85	0.86
P4H3	8.3	2.37	0	0	0	0	42.91	28.52	13.3	0	0.86

**Tableau. 21: Caractéristiques physiques de la classe < 0.3%de gypse.**

Classe 1	Porosité %	Granulométrie %		
		SF	SG	L + A
P1H1	24.30	30.75	62.35	6.9
P4H3	30.96	39.99	51.58	8.43

## 2.1.2. Caractéristiques hydriques

### 2.1.2.1. Sol entier

La variation de l'humidité en fonction de la succion, pour les échantillons du sol entier qui possèdent un taux de gypse < 0.3%, représente des valeurs de l'humidité varient entre 03.7 et 04.82% à l'horizon P1H1, avec 04.82% à pF2.5, 04.04% à pF3 et 03.7% à pF4.2. A l'horizon P4H3, elles varient entre 03.50 et 05.17% avec 03.50% à pF4.2, 03.87% à pF3 et 05.17% à pF2.5 (fig. 17).

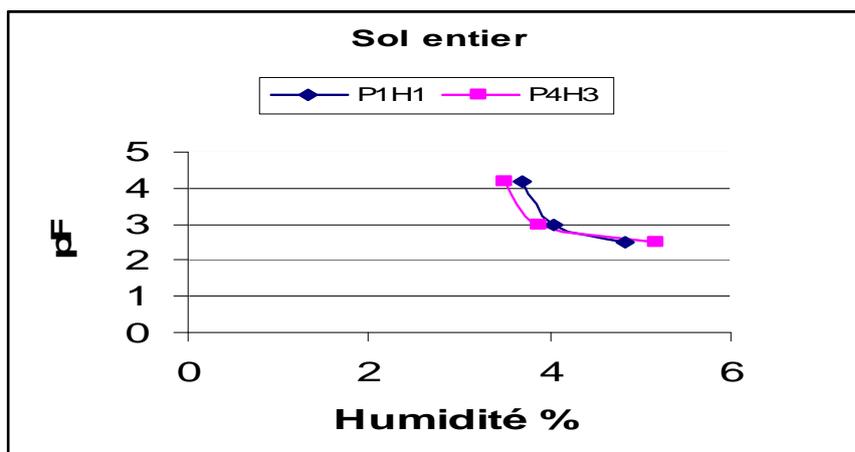


Figure.17 : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe < 0.3% de gypse.

Nous remarquons que les valeurs de l'humidité enregistrées sont faibles.

### 2.1.2.2. Fraction sable grossier

La figure 18, représente la variation de l'humidité, en fonction de la succion, dans la fraction du sable grossier de la classe possédant inférieur à 0,3% de gypse.

L'humidité à l'horizon P1H1 varie entre 2,72 et 4,06% (tableau. 22). 4,06% à pF2,5, 2,82% à pF3 et 2,72% à pF4,2. Et elle est de 4,63% à pF2,5, 3,3% à pF3 et 3,22% à pF4,2 pour l'horizon P4H3.

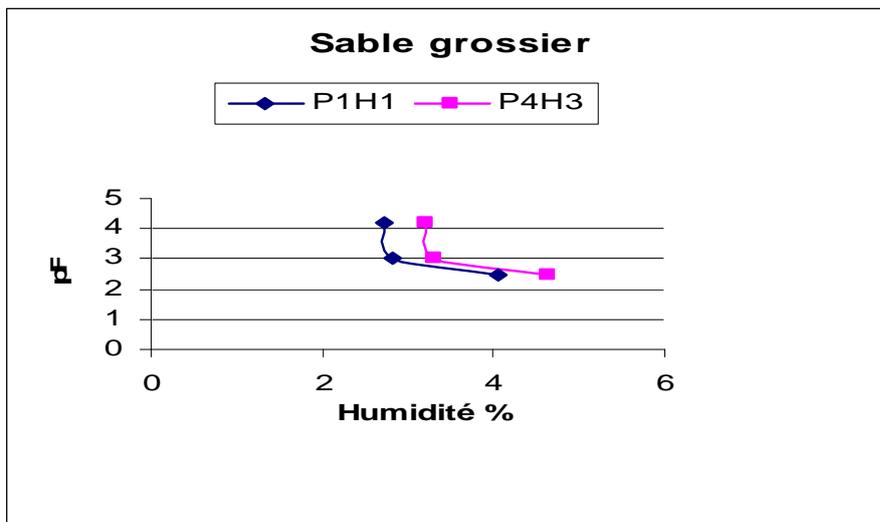


Figure.18 : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe < 0.3% de gypse.

### 2.1.2.3. Fraction sable fin

La figure 19, représente la variation de l'humidité, en fonction de la succion, dans la fraction du sable fin de la classe inférieur à 0,3% de gypse.

Les valeurs de l'humidité varient entre 6,71 et 9,26% dans la fraction du sable fin de l'horizon P1H1 (tableau. 22). Nous enregistrons 9,26% à pF2,5, 6,86% à pF3 et 6,71% à pF4,2. Dans la fraction du sable fin de l'horizon P4H3, elles sont de 8,48% à pF2,5, 7,34% à pF3 et 6,99% à pF4,2 pour l'horizon P4H3.

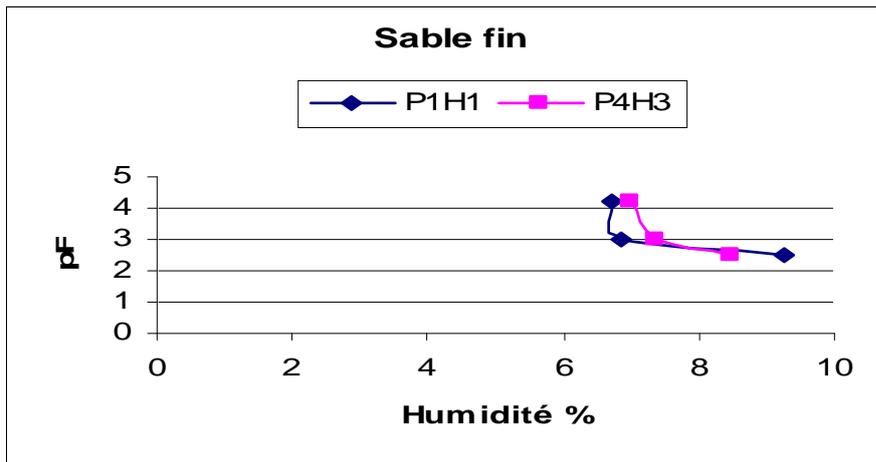


Figure.19 : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe < 0.3% de gypse.

#### 2.1.2.4. Fraction sable fin + limon + argile

Nous remarquons d'après la figure 20, que les valeurs de l'humidité varient entre 8.38 à 14.29%, avec 14.29% à pF2.5, 8.6% à pF3 et 8.38% à pF4.2. En outre à l'horizon P4H3, elles varient entre 7.73 et 10.99% ; avec 10.99% à pF2.5, 8.67% à pF3 et 7.73% à pF4.2.

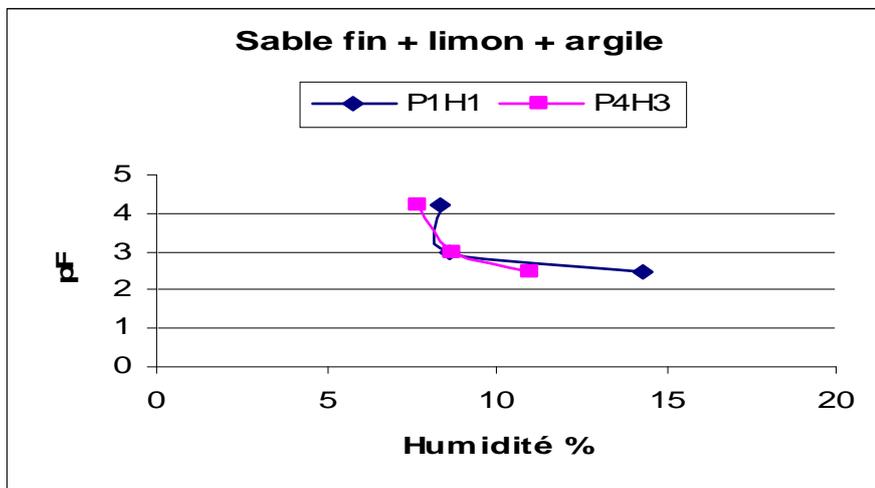


Figure.20 : Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe < 0.3% de gypse.

Nous remarquons d'après les figures 18, 19, 20, que les valeurs de l'humidité, tendent à diminuer avec l'élévation de la succion, dans chaque fraction. En outre elles tendent à augmenter dans la fraction du sable fin + limon + argile, en comparaison avec les autres

fractions. Ceci est peut être due, au fait que la fraction du sable fin + limon + argile, est la fraction la plus fine.

D'après le tableau 22, les valeurs d'eau utile enregistrées dans cette classe sont faibles.

Entre les différentes fractions granulométriques de chaque horizon, le volume d'eau utile augmente en allant de la fraction sable grossier jusqu'à la fraction sable fin + limon + argile. Donc il augmente dans la fraction la plus fine.

**Tableau. 22: Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe moins de 0.3% de gypse.**

<b>Classe 1 : &lt; 0.3% de gypse</b>		<b>pF2.5</b>	<b>pF3</b>	<b>pF4.2</b>	<b>Eau utile</b>
<b>P1H1</b>	<b>Sol entier</b>	04.82	04.04	03.70	1.12
	<b>SG</b>	04.06	02.82	02.72	1.34
	<b>SF</b>	09.26	06.86	06.71	2.55
	<b>SF + L + A</b>	14.29	08.60	08.38	5.91
<b>P4H3</b>	<b>Sol entier</b>	05.17	03.87	03.50	1.67
	<b>SG</b>	04.63	03.30	03.22	1.41
	<b>SF</b>	08.48	07.34	06.99	1.49
	<b>SF + L + A</b>	10.99	08.67	07.73	3.26

## **2.2. Classe des sols contenant de 0,3 à 10% de gypse**

### **2.2.1. Caractéristiques physico- chimiques**

Cette classe est représentée par l'horizon P3H3. Il se caractérise par un pH basique (8,4), et une conductivité électrique de 2,58 dS/m ; c'est un horizon très salé (tableau. 23).

Le taux de calcaire total est de 34,3% ; c'est un horizon fortement calcaire (tableau.23). Nous enregistrons 19,85% dans la fraction du sable grossier, 13,52% dans la fraction du sable fin et 1,48% dans la fraction limon + argile (tableau. 23). Donc la quantité la plus élevée du calcaire est dans la taille du sable grossier.

Cette classe est très pauvre en matière organique (0,75%) (tableau. 23), et elle se caractérise par l'abondance du sable (84,83%). Avec une porosité totale de 39,69% (tableau.24).

Le taux de gypse est de 9,8% (tableau. 23). Nous enregistrons 0% dans la fraction du sable grossier, et la fraction limon + argile et 2,58% dans la fraction du sable fin (tableau. 23). Donc la totalité du gypse de cette fraction est dans la taille du sable fin.

**Tableau. 23: Caractéristiques chimiques de la classe 0.3 - 10% de gypse.**

Classe 2	pH eau 1/2.5	CE (1/5) dS/m (25°C)	Gypse %	Gypse %			CaCO <sub>3</sub> total %	CaCO <sub>3</sub> total %			MO %
				SG	SF	L+A		SG	SF	L+A	
<b>P3H3</b>	8.4	2.58	9.8	0	2.58	0	34.3	19.85	13.52	1.48	0.75

**Tableau. 24: Caractéristiques physiques de la classe 0.3 - 10% de gypse.**

Classe 2	Porosité %	Granulométrie %		
		SF	SG	L + A
<b>P3H3</b>	39.69	46.02	38.81	15.17

## 2.2.2. Caractéristiques hydriques

### 2.2.2.1. Sol entier

Nous remarquons d'après la figure 21, que les valeurs de l'humidité de cette classe, varient entre 4,19 et 6,12%, avec 6,12% à pF2,5, 5,30% à pF3 et 4,19% à pF4,2.

Les valeurs de l'humidité enregistrées dans cette classe, sont aussi faibles, mais il y a une faible augmentation dans ces valeurs par apport à la classe précédente.

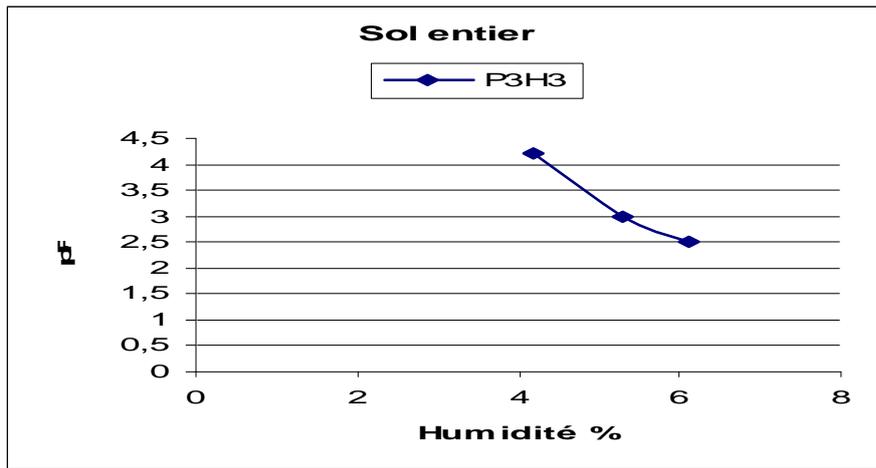


Figure.21: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 0.3 - 10% de gypse.

### 2.2.2.2. Fraction sable grossier

La figure 22, représente la variation de l'humidité, en fonction de la succion, dans la fraction du sable grossier.

L'humidité de cette fraction varie entre 3,55 et 4,6% (tableau. 25); avec 4,6% à pF2,5, 3,82% à pF3 et 3,55% à pF4,2.

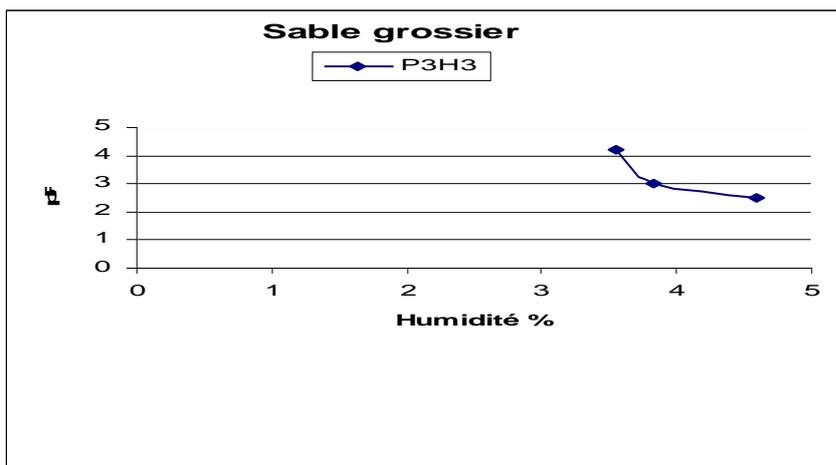


Figure.22: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe 0.3 - 10% de gypse.

### 2.2.2.3. Fraction sable fin

D'après la figure 23, nous remarquons que les valeurs de l'humidité varient entre 6,66 et 10,16%, avec 10,16% à pF2,5, 10,00% à pF3 et 6,66% à pF4,2.

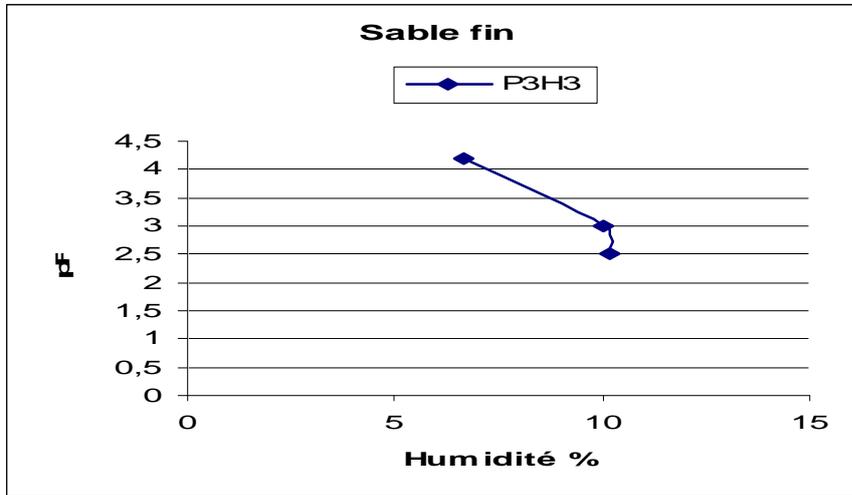


Figure.23: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe 0.3 - 10% de gypse.

### 2.2.2.4. Fraction sable fin + limon + argile

D'après la figure 24, nous remarquons que les valeurs de l'humidité oscillent entre 14,30 et 14,73% ; avec 14,73% à pF2,5, 14,47% à pF3 et 14,30% à pF4,2 dans la fraction du sable fin + limon + argile.

Nous remarquons, que l'humidité, tend à diminuer avec l'élévation de la succion, dans toutes les fractions. Et elle tend à augmenter en partant de la fraction du sable grossier, jusqu'à la fraction du sable fin + limon + argile.

Généralement les valeurs de l'humidité enregistrées dans cette classe sont supérieures aux valeurs enregistrées dans la précédente classe.

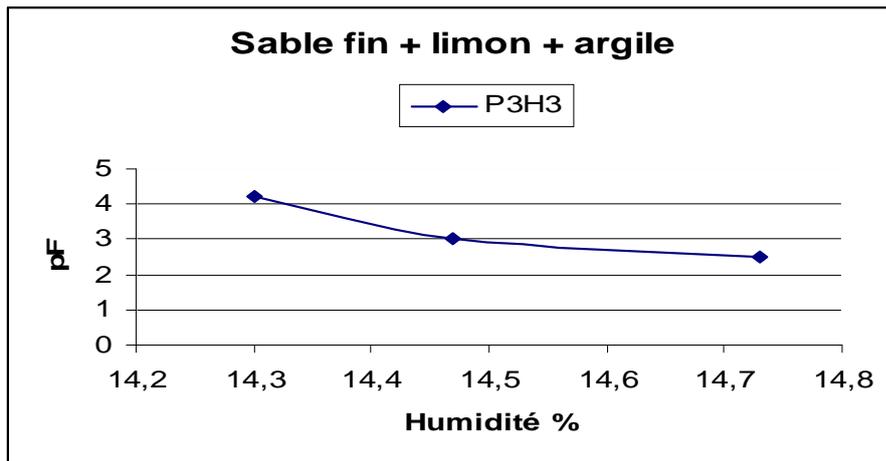


Figure.24: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe 0.3 - 10% de gypse.

Les valeurs d'eau utile, enregistrées dans cette classe sont faibles (tableau. 25).

**Tableau. 25: Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe 0.3 – 10% de gypse.**

Classe 2: 0.3–10% de gypse		pF2.5	pF3	pF4.2	Eau utile
<b>P3H3</b>	<b>Sol entier</b>	06.12	05.30	04.19	1.93
	<b>SG</b>	04.60	03.82	03.55	1.05
	<b>SF</b>	10.16	10.00	06.66	3.5
	<b>SF + L + A</b>	14.73	14.47	14.30	0.43

## 2.3. Classe des sols contenant de 10 à 25% de gypse

### 2.3.1. Caractéristiques physico- chimiques

La classe 10 à 25% de gypse, est représentée par l'horizon P2H1 (19,35% de gypse), et l'horizon P4H2 (25% de gypse).

Le pH, de cette classe est basique, il varie entre 8,5 et 8,6% (tableau. 26).

La conductivité électrique, varie entre 9,4 et 9,73 dS/m (tableau. 26) dans les horizons P2H1 et P4H2 ; ils sont extrêmement salés.

Le taux de calcaire varie entre 12,27 et 15,63% respectivement pour les horizons P4H2 et P2H1 (tableau. 26).

L'horizon P4H2, contient 6,76% de calcaire dans la fraction du sable grossier, 0,43% dans la fraction limon + argile et 4,64% dans la fraction du sable fin (tableau. 26). En outre l'horizon P2H1, contient 17,11% dans la fraction du sable grossier, 5,33% dans la fraction du sable fin et 0,37% dans la fraction limon + argile (tableau. 26). Donc la majorité du calcaire de cette fraction est dans la fraction du sable grossier.

L'horizon P4H2 est très pauvre en matière organique, il possède 0,68% (tableau. 26). En outre l'horizon P2H1 est pauvre en matière organique, il possède 1,32%.

Les horizons de cette classe se caractérisent par l'abondance du sable avec une moyenne de 89,18%. Le taux de la fraction limon + argile est représenté par une moyenne de 10,82% (tableau. 27).

La porosité totale est de 37,96% pour l'horizon P2H1 et de 53,63% pour l'horizon P4H2 (tableau. 27).

Le taux de gypse, à l'horizon P2H1 est de 19,35% (tableau. 26); 0% dans la fraction sable fine, 18,92% dans la fraction du sable grossier et 34,83% dans la fraction limon + argile (tableau. 26). Le taux du gypse à l'horizon P4H2 est 25% avec 64,5% dans la fraction du sable fin, 36,98% dans la fraction du sable grossier et 17,2% dans la fraction limon + argile (tableau. 26). Donc la majorité du gypse de cette fraction est dans la taille du sable fin à l'horizon P4H2 et dans la taille du limon + argile à l'horizon P2H1.

**Tableau. 26: Caractéristiques chimiques de la classe 10 - 25% de gypse.**

Classe 3	pH eau 1/2.5	CE (1/5) dS/m (25°C)	Gypse %	Gypse %			CaCO <sub>3</sub> total %	CaCO <sub>3</sub> total %			MO %
				SG	SF	L+A		SG	SF	L+A	
<b>P2H1</b>	8.5	9.41	19.35	18.92	0	34.83	15.63	17.11	5.33	0.37	1.32
<b>P4H2</b>	8.6	9.73	25	36.98	64.5	17.2	12.27	6.76	4.64	0.43	0.68

**Tableau. 27: Caractéristiques physiques de la classe 10 - 25%de gypse.**

Classe 3	Porosité %	Granulométrie %		
		SF	SG	L + A
P2H1	37.96	44.06	42.75	13.19
P4H2	53.63	36.37	55.18	8.45

### 2.3.2. Caractéristiques hydriques

#### 2.3.2.1. Sol entier

D'après la figure 25, nous remarquons que les valeurs de l'humidité enregistrées, dans l'horizon P2H1 varient entre 13,07 et 14,32% avec 14,32% à pF2,5, 13,35% à pF3 et 13,07% à pF4,2. En outre les valeurs de l'humidité enregistrées à l'horizon P4H2, varient entre 17,45 et 20,21% ; avec 20,21% à pF2,5, 18,48% à pF3 et 17,45% à pF4,2.

Ces valeurs, sont supérieures à celle enregistrées dans les classes précédemment étudiées.

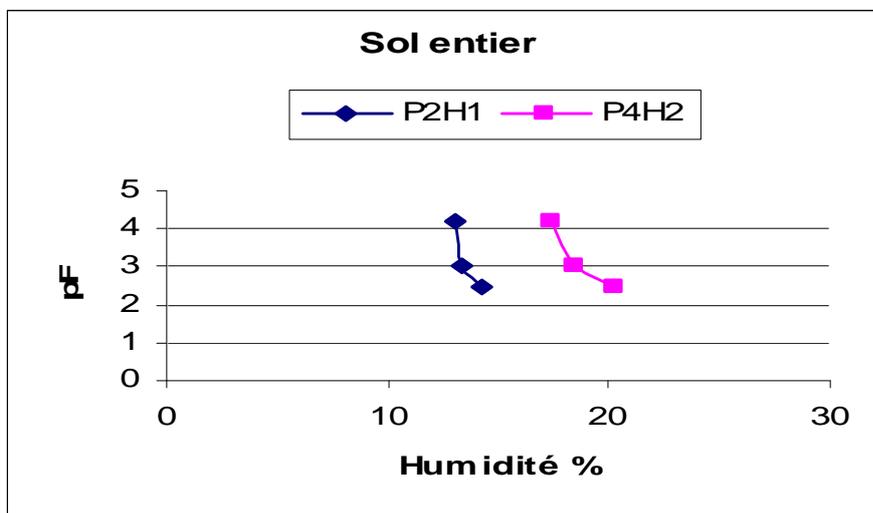


Figure.25: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 10 - 25% de gypse.

### 2.3.2.2. Fraction sable grossier

Les valeurs de l'humidité, enregistrées dans cette fraction sont représentées dans la figure 26.

Nous notons 12,07% à pF2,5, 11,26% à pF3 et 11,15% à pF4,2 à l'horizon P2H1. Et 12,35% à pF2,5, 11,65% à pF3 et 11,51% à pF4,2 à l'horizon P4H2.

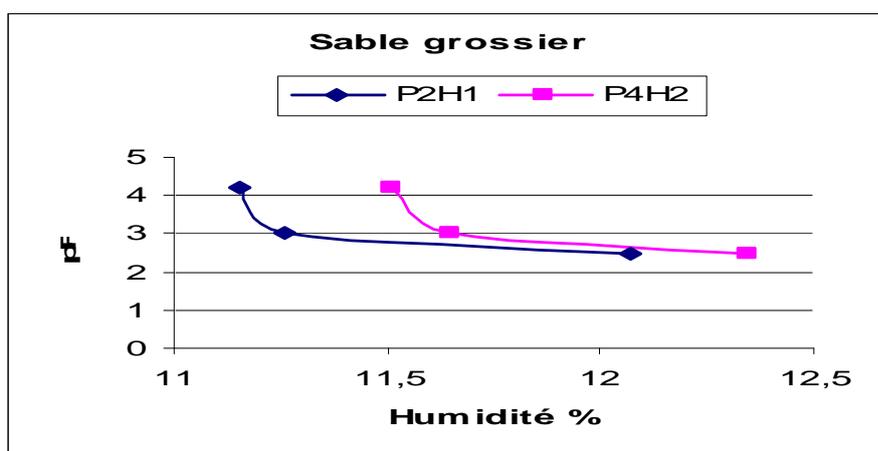


Figure.26: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe 10 - 25% de gypse.

### 2.3.2.3. Fraction sable fin

D'après la figure 27, l'humidité à l'horizon P2H1, est de 27,08% à pF2,5, 24,63% à pF3 et 22,70% à pF4,2. A l'horizon P4H2, elle est de 22,13% à pF2,5, 21,05% à pF3 et 18,85% à pF4,2.

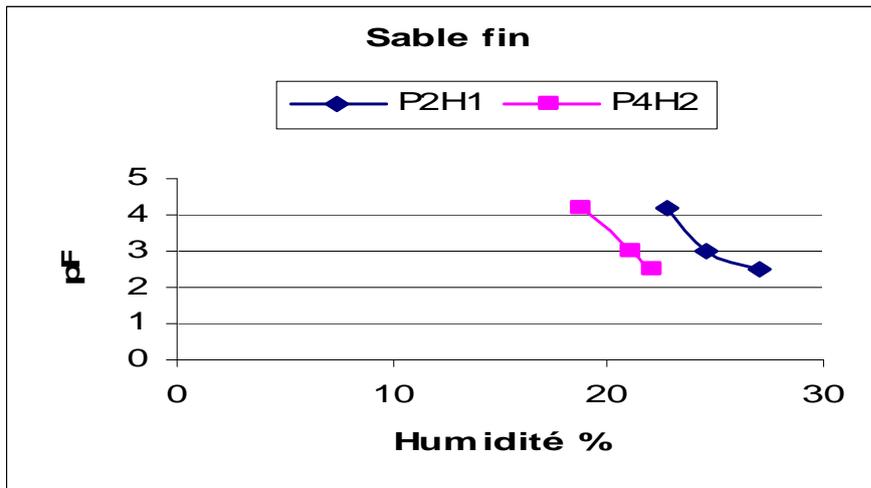


Figure.27: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe 10 - 25% de gypse.

#### 2.3.2.4. Fraction sable fin + limon + argile

Les valeurs de l'humidité représentées dans la figure 28, varient entre 30,33 et 34,64% à l'horizon P2H1. Nous enregistrons 34,64% à pF2,5, 32,74% à pF3 et 30,33% à pF4,2. A l'horizon P4H2, elles sont de 25,28% à pF2,5, 21,19% à pF3 et 19,56% à pF4,2

Nous remarquons, que l'humidité, tend à diminuer avec l'élévation de la succion, dans toutes les fractions. Et elle tend à augmenter en allant de la fraction du sable grossier, jusqu'à la fraction du sable fin + limon + argile.

Généralement les valeurs de l'humidité enregistrées dans cette classe sont supérieures aux valeurs enregistrées dans les précédentes classes.

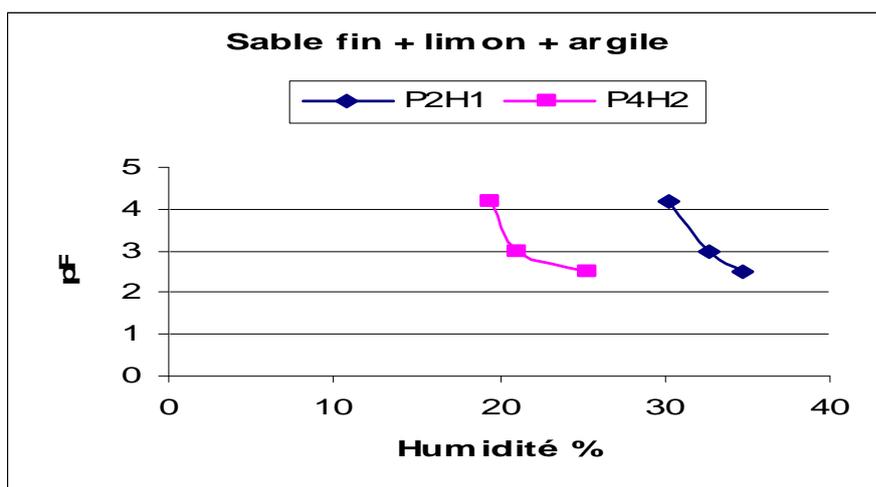


Figure.28: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe 10 - 25% de gypse.

Nous remarquons que l'eau utile est faible dans cette classe (tableau.28).

**Tableau. 28: Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe 10-25% de gypse.**

Classe 3: 10-25% de gypse		pF2.5	pF3	pF4.2	Eau utile
<b>P2H1</b>	<b>Sol entier</b>	14.32	13.35	13.07	1.25
	<b>SG</b>	12.07	11.26	11.15	0.92
	<b>SF</b>	27.08	24.63	22.70	4.38
	<b>SF + L + A</b>	34.64	32.74	30.33	4.31
<b>P4H2</b>	<b>Sol entier</b>	20.21	18.48	17.45	2.76
	<b>SG</b>	12.35	11.65	11.51	0.84
	<b>SF</b>	22.13	21.05	18.85	3.28
	<b>SF + L + A</b>	25.28	21.19	19.56	5.72

## 2.4. Classe des sols contenant de 25 à 50% de gypse

### 2.4.1. Caractéristiques physico- chimiques

Les horizons P3H1 et P5H3, contient des taux de gypse oscillant entre 25 et 50%. Leurs pH, sont basiques, ils varient entre 8,1 et 8,6% (tableau. 29).

La conductivité électrique, est de 4,81 dS/m à l'horizon P3H1 ; c'est-à-dire que c'est un horizon très salé et 11,03 dS/m à l'horizon P5H3; il est extrêmement salé (tableau. 29).

Le taux de calcaire varie entre 5 et 17,97% respectivement pour les horizons P3H1 et P5H3 (tableau.29).

L'horizon P3H1, contient 2,32% de calcaire dans la fraction du sable fin, 4,01% dans la fraction du sable grossier et 0,21% dans la fraction limon + argile (tableau. 29). En outre nous enregistrons à l'horizon P5H3, un taux de 9,29% dans la fraction du sable grossier, 8,66% dans la fraction du sable fin et 0,42% dans la fraction limon + argile (tableau. 29). Donc la taille de calcaire à l'horizon P3H1, est comparable à la taille du sable grossier. A l'horizon P5H3, la moitié du calcaire est dans la taille du sable grossier et l'autre moitié est dans la taille du sable fin.

Cette classe est très pauvre en matière organique, nous enregistrons 1,04 et 1,29% respectivement pour les horizons P3H1 et P5H3 (tableau. 29).

Cette classe, se caractérise par l'abondance du sable avec une moyenne de 69,83% et une moyenne de 30,62% pour le limon + argile (tableau. 30).

La porosité totale de cette classe varie de 47,19% à l'horizon P3H1 et de 38,88% à l'horizon P5H3 (tableau. 30).

Le taux de gypse, est de 35% dans l'horizon P3H1 (tableau. 29), avec 55,04% dans la fraction du sable fin, 45,58% dans la fraction du sable grossier et 9,46% dans la fraction limon + argile (tableau. 20). Le taux de gypse dans l'horizon P5H3 est de 39,56% (tableau. 18), avec 38,7% dans la fraction du sable fin, 29,24% dans la fraction du sable grossier et 12,04% dans la fraction limon + argile (tableau. 18).

La taille du gypse de l'horizon P3H1 est partagée en deux moitiés, l'une dans la taille du sable grossier et l'autre dans la taille du sable fin. A l'horizon P5H3, elle est dans la taille du sable fin.

**Tableau. 29: Caractéristiques chimiques de la classe 25 - 50% de gypse.**

Classe 4	pH eau 1/2.5	CE (1/5) dS/m (25°C)	Gypse %	Gypse %			CaCO <sub>3</sub> total %	CaCO <sub>3</sub> total %			MO %
				SG	SF	L+A		SG	SF	L+A	
P3H1	8.2	4.81	35	45.58	55.04	9.46	5	4.01	2.32	0.21	1.04
P5H3	8.6	11.03	39.56	29.24	38.7	12.04	17.97	9.29	8.66	0.42	1.29

**Tableau. 30: Caractéristiques physiques de la classe 25 - 50%de gypse.**

Classe 4	Porosité %	Granulométrie %		
		SF	SG	L + A
P3H1	47.19	44.79	21.01	34.2
P5H3	38.88	51.14	21.82	27.04

## 2.4.2. Caractéristiques hydriques

### 2.4.2.1. Sol entier

D'après la figure 29, l'humidité à l'horizon P3H1 est de 19,62% à pF2,5, 19,45% à pF3 et 19,03% à pF4,2. A l'horizon P5H3, elle est de 17,29% à pF2,5, 17,03% à pF3 et 16,69% à pF4,2.

Nous remarquons qu'il y a toujours une augmentation dans la moyenne de l'humidité dans cette classe par rapport à la moyenne dans les précédentes classes.

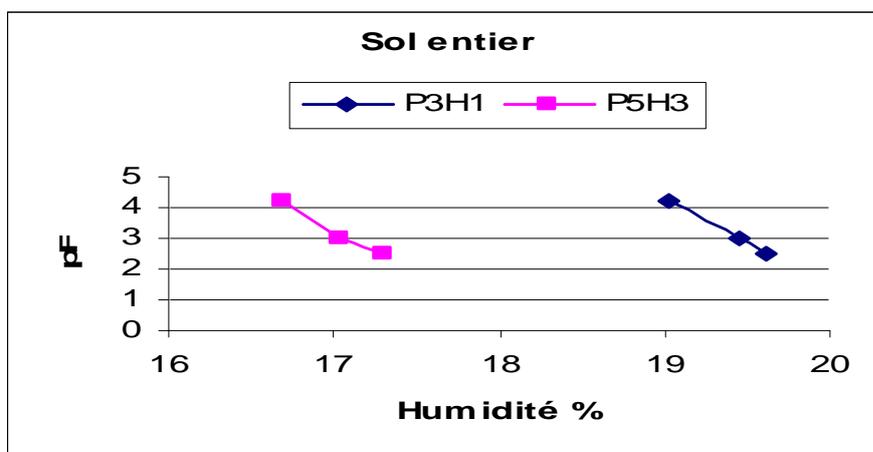


Figure.29: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 25 - 50% de gypse.

### 2.4.2.2. Fraction sable grossier

Les valeurs de l'humidité, dans cette classe sont représentées dans la figure 30, nous enregistrons 19,59% à pF2,5, 18,84% à pF3 et 17,93% à pF4,2 à l'horizon P3H1. En outre nous notons 10,56% à pF2,5, 8,26% à pF3 et 4,76% à pF4,2 à l'horizon P5H3.

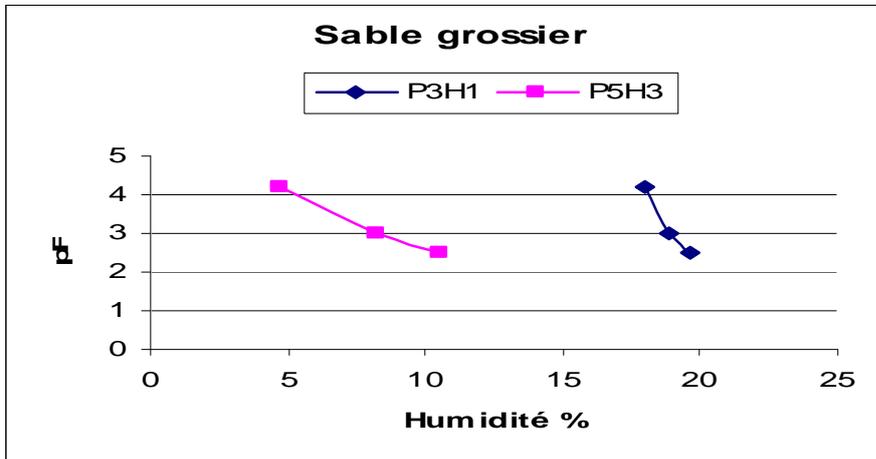


Figure.30: Variations de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe 25 -50% de gypse.

### 2.4.2.3. Fraction sable fin

La figure 31, représente les variations de l'humidité en fonction de la succion des horizons P3H1 et P5H3 de la fraction du sable fin. L'humidité à l'horizon P3H1, est de 21,88% à pF2,5, 19,93% à pF3 et 18,04% à pF4,2. Pour l'horizon P5H3, elle est de 17,63% à pF2,5, 17,14% à pF3 et 15,89% à pF4,2.

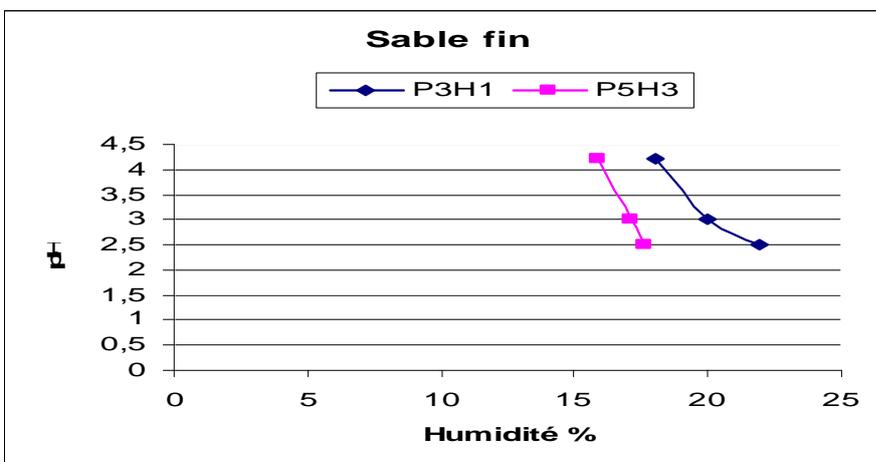


Figure.31: Variations de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe 25 -50% de gypse.

#### 2.4.2.4. Fraction sable fin + limon + argile

Les valeurs de l'humidité représentées dans la figure 32, varient de 39,21 à 41,93% à l'horizon P3H1, avec 41,93% à pF2,5, 40,76% à pF3 et 39,21% à pF4,2. A l'horizon P5H3, elles sont de 18,42% à pF2,5, 16,07% à pF3 et 16,06% à pF4,2.

Nous remarquons, que l'humidité, tend à diminuer avec l'élévation de la succion, dans toutes les fractions. Elle tend à s'élever en portant de la fraction du sable grossier, jusqu'à la fraction du sable fin + limon + argile.

Généralement les moyennes de l'humidité enregistrées dans cette classe sont supérieures aux moyennes enregistrées dans les précédentes classes.

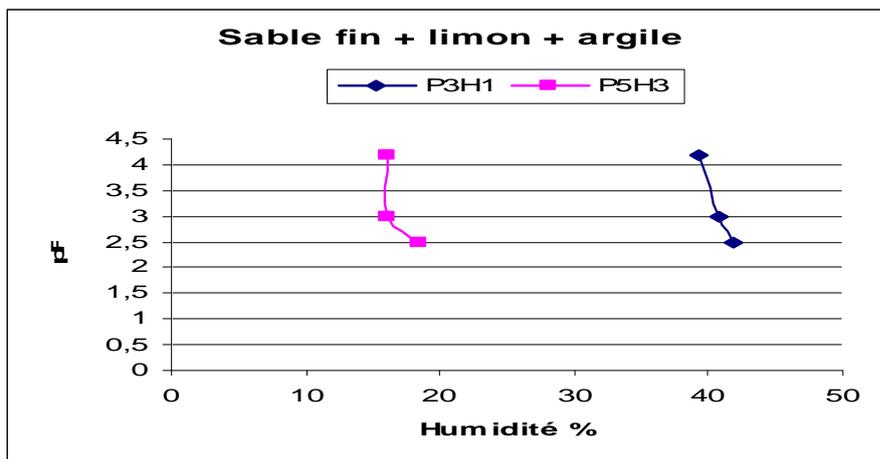


Figure.32: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe 25 -50% de gypse.

Nous constatons que le pourcentage d'eau utile est faible dans tous les échantillons étudiés de cette classe (tableau. 31).

**Tableau. 31: Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe 25 - 50% de gypse.**

<b>Classe4: 25-50% de gypse</b>		<b>pF2.5</b>	<b>pF3</b>	<b>pF4.2</b>	<b>Eau utile</b>
<b>P3H1</b>	<b>Sol entier</b>	19.62	19.45	19.03	0.59
	<b>SG</b>	19.59	18.84	17.93	1.66
	<b>SF</b>	21.88	19.93	18.04	3.84
	<b>SF + L + A</b>	41.93	40.76	39.21	2.72
<b>P5H3</b>	<b>Sol entier</b>	17.29	17.03	16.69	0.6
	<b>SG</b>	10.56	08.26	04.76	5.8
	<b>SF</b>	17.63	17.14	15.89	1.74
	<b>SF + L + A</b>	18.42	16.07	16.06	2.36

## **2.5. Classe des sols contenant plus de 50% de gypse**

### **2.5.1. Caractéristiques physico- chimiques**

Cette classe, est représentée par le profil P6. Elle est caractérisée par un pH basique et une conductivité électrique, variant entre 16,34 et 19,88 dS/m (tableau. 32). Elle est extrêmement salée.

Ce profil est peu calcaire, avec 2,53% à horizon P6H1 et 1,13% à l'horizon P6H2 (tableau. 32). L'horizon P6H1, contient 1,05% de calcaire dans la fraction du sable fin, 2,11% dans la fraction du sable grossier et 0,41% dans la fraction limon + argile (tableau. 32). En outre l'horizon P6H2, contient 0,21% dans la fraction du sable grossier, 0% dans la fraction du sable fin et 0,63% dans la fraction limon + argile (tableau. 32).

La majorité du calcaire de cette fraction se trouve dans la taille du sable grossier.

Le taux de matière organique est faible, il varie entre 1,63 et 1,39% (tableau. 32). C'est un profil pauvre en matière organique.

Cette classe, se caractérise par l'abondance du sable avec une moyenne de 62,64% et une moyenne de 37,35% pour le limon + argile (tableau. 33).

La porosité totale de cette classe varie de 21,19% à l'horizon P6H1 et de 32,05% à l'horizon P6H2 (tableau. 33).

Le taux de gypse, est de 64,5% à l'horizon P6H1 (tableau. 32), avec 41,28% dans la fraction du sable fin, 55,04% dans la fraction du sable grossier et 19,04% dans la fraction limon + argile (tableau. 32). Et 60,2% à l'horizon P6H2 (tableau. 32), avec 60,2% dans la fraction du sable fin, 68,8% dans la fraction du sable grossier et 13,76% dans la fraction limon + argile (tableau. 32). Donc la taille du gypse de cette fraction est partagée presque en deux moitiés, l'une pour le sable grossier et l'autre pour le sable fin.

**Tableau.32: Caractéristiques chimiques de la classe > 50% de gypse.**

Classe 5	pH eau 1/2.5	CE (1/5) dS/m (25°C)	Gypse %	Gypse %			CaCO <sub>3</sub> total %	CaCO <sub>3</sub> total %			MO %
				SG	SF	L+A		SG	SF	L+A	
<b>P6H1</b>	8.4	16.34	64.5	55.04	41.28	19.04	2.53	2.11	1.05	0.41	1.63
<b>P6H2</b>	8.5	19.88	60.2	68.8	60.2	13.76	1.13	0.21	0	0.63	1.39

**Tableau. 33: Caractéristiques physiques de la classe > 50 %de gypse.**

Classe 5	Porosité %	Granulométrie %		
		SF	SG	L + A
<b>P6H1</b>	21.19	40.01	8.45	51.54
<b>P6H2</b>	32.05	64.02	12.81	23.17

## 2.5.2. Caractéristiques hydriques

### 2.5.2.1. Sol entier

La figure 33, représente les variations de l'humidité en fonction de la succion dans le profil P6. Nous notons 31,63% à pF2,5, 31,28% à pF3 et 30,07% à pF4,2 à l'horizon P6H1. Et 29,34% à pF2,5, 28,44% à pF3 et 26,27% à pF4,2 à l'horizon P6H2.

Dans cette classe, le pourcentage de l'humidité enregistré, est le plus élevé par rapport aux autres classes précédemment étudiées.

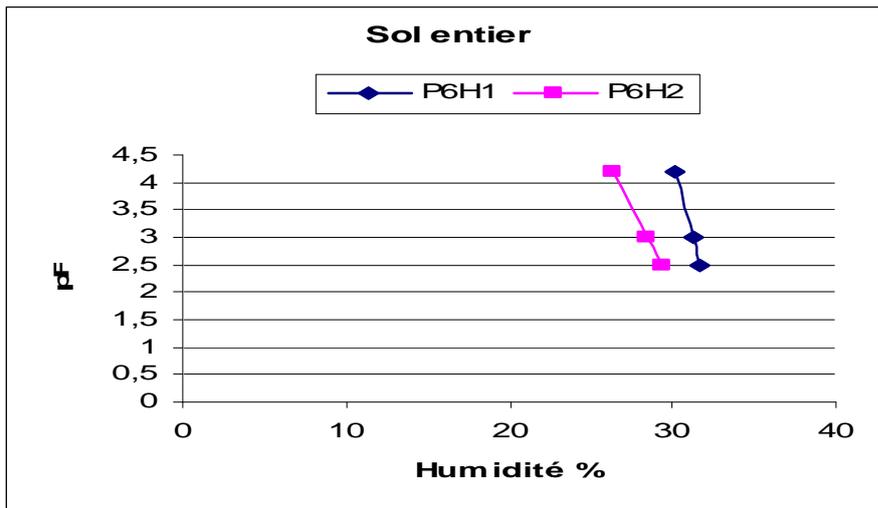


Figure.33: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier de la classe >50% de gypse.

### 2.5.2.2. Fraction sable grossier

La figure 34, représente les variations de l'humidité, dans la classe supérieure à 50% de gypse. Elles varient entre 14,53 et 21,93% à l'horizon P6H2 et entre 30,83 et 33,77% à l'horizon P6H1. Nous enregistrons 33,77% à pF2,5, 32,9% à pF3 et 30,83% à pF4,2 à l'horizon P6H1. Et 21,93% pF2,5, 17,39% à pF3 et 14,53% à pF4,2 à l'horizon P6H2.

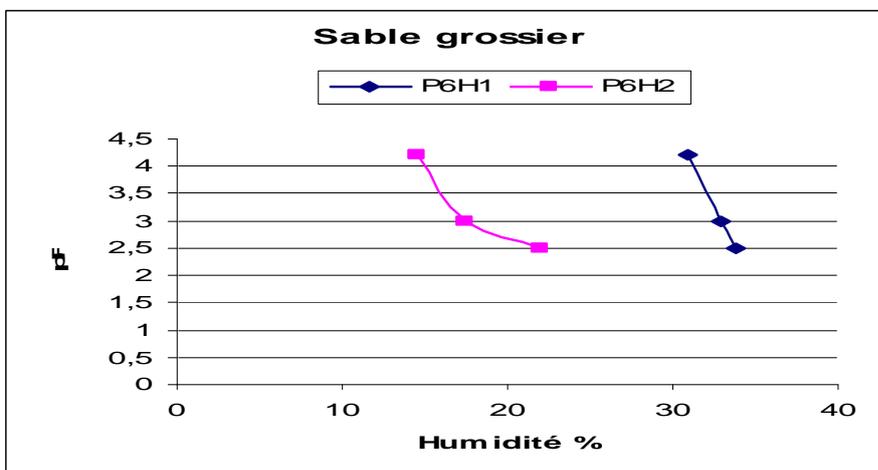


Figure.34: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable grossier de la classe >50% de gypse.

### 2.5.2.3. Fraction sable fin

Les valeurs de l'humidité enregistrées dans cette fraction sont de 35,65% à pF2,5, 33,09% à pF3 et 31,32% à pF4,2 à l'horizon P6H1. Et elles sont de 41,40% à pF2,5, 39,72% à pF3 et 39,39% à pF4,2 à l'horizon P6H2 (tableau. 34).

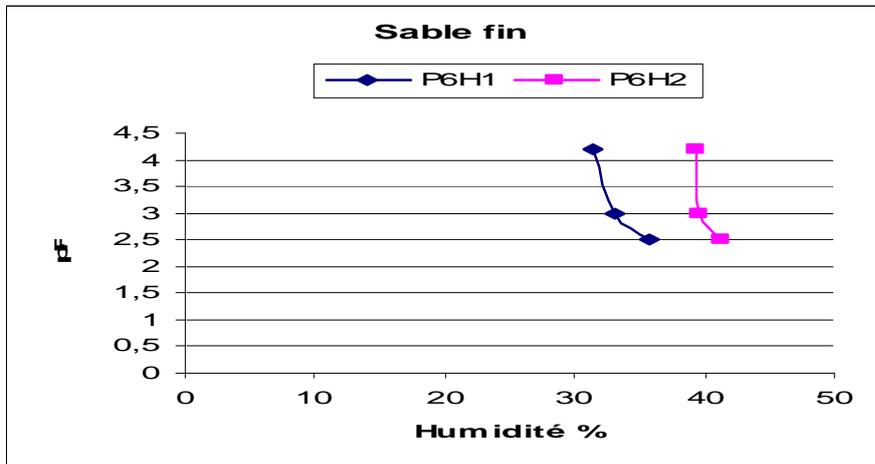


Figure.35: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin de la classe >50% de gypse.

### 2.5.2.4. Fraction sable fin + limon + argile

D'après la figure 36, nous enregistrons 35,94% à pF2,5, 33,62% à pF3 et 32,65% à pF4,2 à l'horizon P6H1. 43,51% à pF2,5, 42,78% à pF3 et 41,69% à pF4,2 à l'horizon P6H2.

Les valeurs de l'humidité enregistrées dans les fractions de cette classe, sont les plus élevées par rapport aux valeurs enregistrées dans les fractions des classes précédentes.

Nous remarquons, que l'humidité, tend à diminuer avec l'élévation de la succion, dans toutes les fractions. Et elle tend à croître en allant de la fraction du sable grossier, jusqu'à la fraction du sable fin + limon + argile.

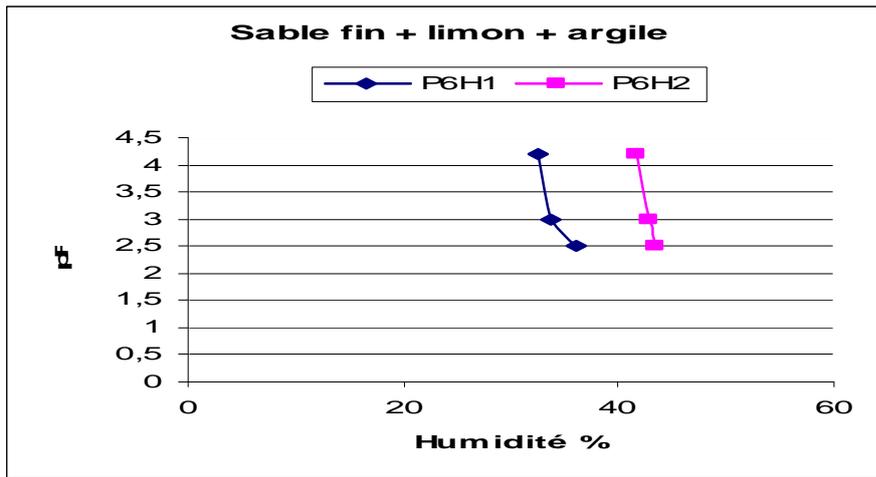


Figure.36: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sable fin + limon + argile de la classe >50% de gypse.

D'après le tableau 34, le volume d'eau utile est faible dans cette classe.

**Tableau. 34: Humidité et l'eau utile en pourcent dans la classe > 50% de gypse.**

Classe 5: >50% de gypse		pF2.5	pF3	pF4.2	Eau utile
<b>P6H1</b>	<b>Sol entier</b>	31.63	31.28	30.07	1.56
	<b>SG</b>	33.77	32.90	30.83	2.94
	<b>SF</b>	35.65	33.09	31.32	4.33
	<b>SF + L + A</b>	35.94	33.62	32.65	3.29
<b>P6H2</b>	<b>Sol entier</b>	29.43	28.44	26.27	3.16
	<b>SG</b>	21.93	17.39	14.53	7.4
	<b>SF</b>	41.40	39.72	39.39	2.01
	<b>SF + L + A</b>	43.51	42.78	41.69	1.82

## Conclusion

D'après l'étude de la variation de l'humidité dans le sol entier et leur fraction, pour les différentes classes étudiées, nous pouvons conclure comme suit :

- L'humidité est en augmentation continue de la première classe (< 0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (>50% de gypse), et elle tend à diminuer avec l'augmentation de la succion.

- Entre les différentes fractions étudiées, nous remarquons une augmentation de l'humidité en partant de la fraction du sable grossier jusqu'à la fraction du sable fin + limon + argile. Donc elle tend à augmenter dans les fractions fines.

### 3. Comparaison entre les différentes classes

Dans le but de comparer les différentes classes étudiées, on a sélectionné pour chaque classe un horizon représentatif.

✓ Classe 1	→	< 0.3%	→	horizon P1H1
✓ Classe 2	→	0.3 à 10%	→	horizon P3H3
✓ Classe 3	→	10 à 25%	→	horizon P2H1
✓ Classe 4	→	25 à 50%	→	horizon P5H3
✓ Classe 5	→	> 50%	→	horizon P6H1

#### 3.1. Comparaison entre les caractéristiques physico – chimiques des classes

Le pH est basique, dans toutes les classes étudiées. La conductivité électrique est en élévation progressive en allant de la première classe (< 0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (> 50% de gypse).

La texture des classes étudiées est généralement sablonneuse, mais il y a une augmentation dans le taux de la fraction limon + argile surtout dans la cinquième classe (> 50% de gypse), avec 51.54%.

La porosité totale est faible dans tous les horizons étudiés en comparaison avec ceux rapportés par Pankhanova et Yamanova, (1987) sur un matériel gypseux.

#### 3.2. Comparaison entre les caractéristiques hydriques des classes

##### 3.2.1. Effet de la succion sur l'humidité

D'après la figure 37, nous remarquons une diminution de l'humidité avec l'augmentation de la succion dans toutes les classes étudiées. En outre un accroissement de l'humidité de la première classe (<0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (>50% de gypse) par ordre.

Cette augmentation est peut être due a différentes causes :

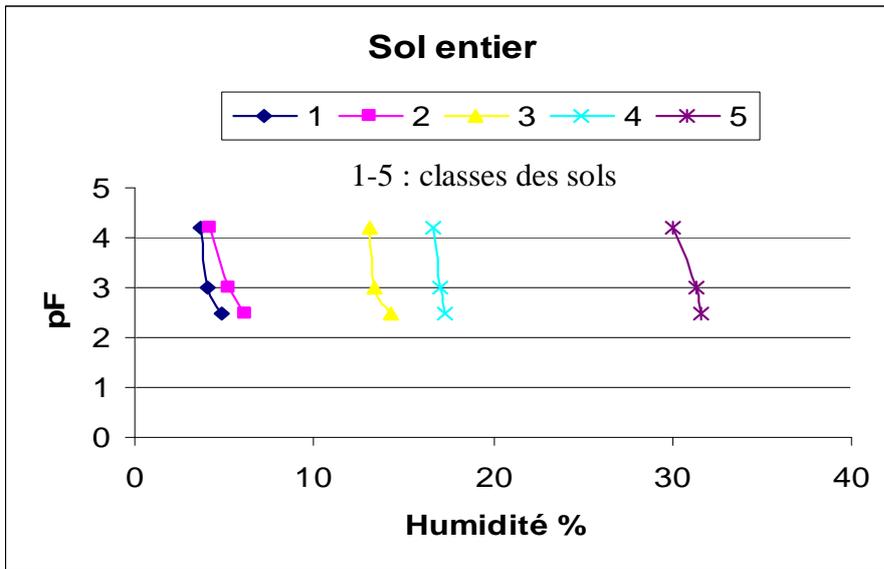


Figure.37: Variation de l'humidité en fonction de la succion dans le sol entier.

### 3.2.2. Effet du taux et de la taille du gypse sur l'humidité

D'après la figure 38, qui représente l'effet du taux du gypse sur l'humidité. Nous remarquons que l'augmentation du taux du gypse engendre une augmentation de l'humidité et cela de la première classe (< 0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (>50% de gypse).

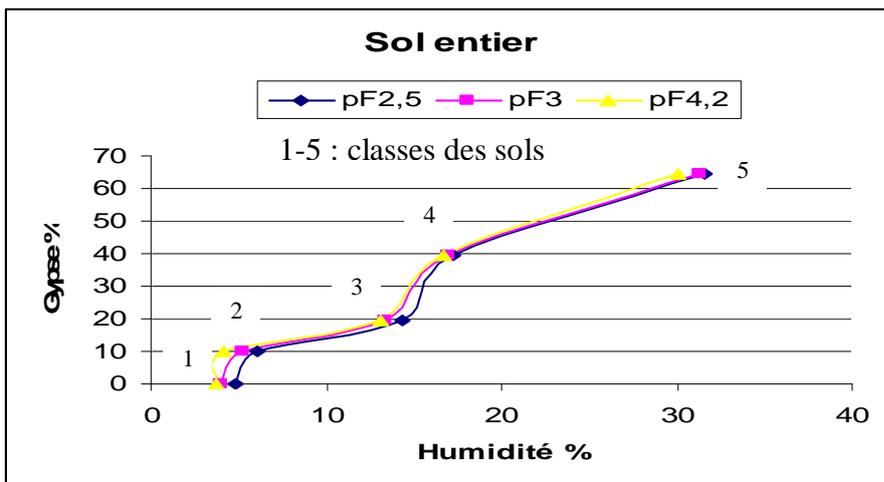


Figure. 38: Variation de l'humidité en fonction du taux du gypse dans le sol entier.

Dans la première classe, qui ne possède pas de gypse (0%), nous enregistrons des faibles valeurs de l'humidité ; avec 4.82% à pF2.5, 4.82% à pF3 et 3.7% à pF4.2.

Dans la deuxième classe, nous enregistrons une faible augmentation dans les valeurs de l'humidité par rapport à la première classe. Nous notons 6.12% à pF2.5, 5.3% à pF3 et 3.7% à pF4.2. Cette faible augmentation est liée avec une augmentation dans le taux de gypse, avec 9.8%.

Dans la troisième classe, nous enregistrons une élévation dans le taux de gypse qui s'accompagne avec l'élévation dans les pourcentages de l'humidité. Nous notons 14.32% à pF2.5, 13.35% à pF3 et 13.07 à pF4.2. Donc il y a toujours une augmentation de l'humidité par rapport aux classes précédentes.

Nous enregistrons dans la quatrième classe une élévation dans le taux de l'humidité, ce qui est en relation avec l'augmentation du taux de gypse dans cette classe par rapport aux classes précédentes.

Dans la cinquième classe les valeurs de l'humidité atteignent leurs maximums. Nous notons 31.63% à pF2.5, 31.28% à pF3 et 30.07% à pF4.2. ceci est accompagnée d'une élévation dans le taux du gypse (64.5%) par rapport à toutes les classes précédemment étudiées.

Donc l'augmentation du taux de gypse provoque l'accroissement de l'humidité dans les classes étudiées.

L'analyse statistique confirme ces résultats (tableau 35).

**Tableau. 35: Matrice de corrélation entre le taux de gypse et l'humidité.**

	<b>pF 2.5</b>	<b>pF 3</b>	<b>pF 4.2</b>
<b>Sol entier</b>	0.97	0.98	0.97

Les coefficients de corrélation entre les deux variables (taux de gypse, humidité) sont positifs et forts; ils oscillent entre 0.97 et 0.98. Nous notons 0.97 à pF2.5 et à pF4.2 et 0.98 à pF3.

Les auteurs qui ont travaillé sur des sols non remaniés, trouvent une tendance opposée à ce raisonnement (Heinze et Fielder, 1984 ; Abdesselam, 1990 ; Poch, 1989 et Poch et al 1998).

Ce phénomène est expliqué par plusieurs auteurs (Poch, 1989 ; Poch, 1992 a ; Poch et al, 1998). Ils ont déclaré que, l'augmentation du taux de gypse provoque un remplacement progressif des plus grands pores par les plus petits pores, ce qui diminue la capacité de rétention en eau du sol, selon leur degré d'homogénéisation avec le gypse libéré de la masse du sol. La bioturbation est la raison principale responsable de l'incorporation du gypse dans le gypse libéré de la masse de terre. En même temps la gypsoturbation, et la bioturbation sont également responsables de la formation de nouveaux pores où le gypse peut se cristalliser.

Dans notre cas on a utilisé des échantillons de terre fine (< 2mm), pour l'analyse de l'humidité aux différents points de pF. L'absence de la porosité du sol, par la destruction de la structure influe sur la capacité de rétention en eau. Mais même si on a utilisé des échantillons non remaniés, nous aurons presque les mêmes résultats parce que la majorité des échantillons étudiés possèdent une faible porosité (< 40%) (tableau. 36), et cela selon la classification de Kaouritchev (1983). Ceci est peut être due au colmatage des pores par le gypse.

**Tableau.36 : Porosité du sol dans les classes des sols étudiées.**

<b>Classe</b>	<b>Classe 1</b>	<b>Classe 2</b>	<b>Classe 3</b>	<b>Classe 4</b>	<b>Classe 5</b>
<b>Porosité %</b>	24.30	39.69	37.96	38.88	21.19

A côté du taux de gypse, il y a aussi leur taille qui peut jouer un rôle primordial dans la variation de la rétention en eau.

D'après Mousli (1980), Heinze et Fieldler (1984), la taille de gypse peut influencer aussi sur la capacité de rétention en eau. Ils ont déclaré que l'humidité tend à augmenter, quand la taille de gypse est fine, et elle tend à diminuer quand elle est grossière.

La taille du gypse dans les horizons représentatifs des classes étudiées, est représentée dans le tableau 37. Nous remarquons que la taille du gypse dans la deuxième, quatrième et cinquième classe est comparable au sable fin. En outre dans la troisième classe, elle est dans la taille du sable grossier, à l'exception de la première classe qui ne possède pas de gypse.

**Tableau.37 : Taille du gypse dans les classes du sol étudiées.**

Classe	1	2	3	4	5
Taille du gypse		SF	SG	SF	SF

D'après la figure 37, nous remarquons un accroissement de l'humidité de la première classe (<0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (>50% de gypse) par ordre. C'est-à-dire qu'elle augmente en partant de la classe qui ne possède pas de gypse, à la classe où la taille du gypse est semblable au sable fin, puis à la classe où la taille du gypse est comparable au sable grossier, et enfin elle augmente dans les classes où le gypse est dans la taille du sable fin. Dans ce cas, et d'après cette tendance, il est difficile d'expliquer leur effet sur l'humidité.

En outre, leur effet est très représentatif entre les différentes fractions granulométriques (sable grossier, sable fin, sable fin + limon + argile) de chaque classe, où il tient la même taille de la fraction où il se trouve. Nous constatons par exemple dans la deuxième classe ; que l'humidité tend à augmenter en allant de la fraction du sable grossier jusqu'à la fraction du sable fin + limon + argile, c'est-à-dire elle tend à croître dans la fraction la plus fine (figure. 39).

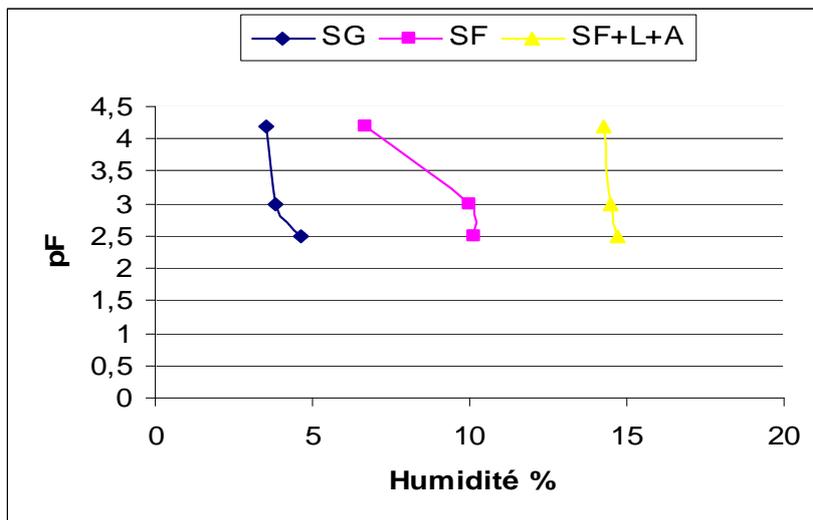


Figure. 39: Variation de l'humidité du sol dans les fractions du sol de la troisième classe.

### 3.2.3. Effet du taux de gypse sur l'eau utile

La relation entre le taux de gypse et l'eau utile dans les classes étudiées est représentée par la figure 40.

Nous remarquons que le pourcentage d'eau utile, qui se présente comme l'eau retenue entre la capacité de rétention (pF2.5) et le point de flétrissement (pF4.2) est faible dans toutes les classes étudiées.

Nous notons 1.12% dans la première classe, où le taux de gypse est nulle.

L'augmentation du taux de gypse dans la deuxième classe, provoque une élévation dans le pourcentage d'eau utile. Nous enregistrons 1.93%, avec un taux de gypse de 9.8%.

Par contre dans la troisième et la quatrième classe, l'augmentation du taux de gypse engendre un affaiblissement du pourcentage d'eau utile. Nous enregistrons 1.25 à la troisième classe et 0.6% à la quatrième classe, avec des taux de gypse de 19.35 et 39.56% respectivement pour ces dernières.

A la cinquième classe, l'élévation du taux de gypse (64.5%), provoque une élévation dans le taux d'eau utile (1.56%).

Donc il n'y a pas une relation bien définie, qui relie les deux variables taux de gypse, eau utile.

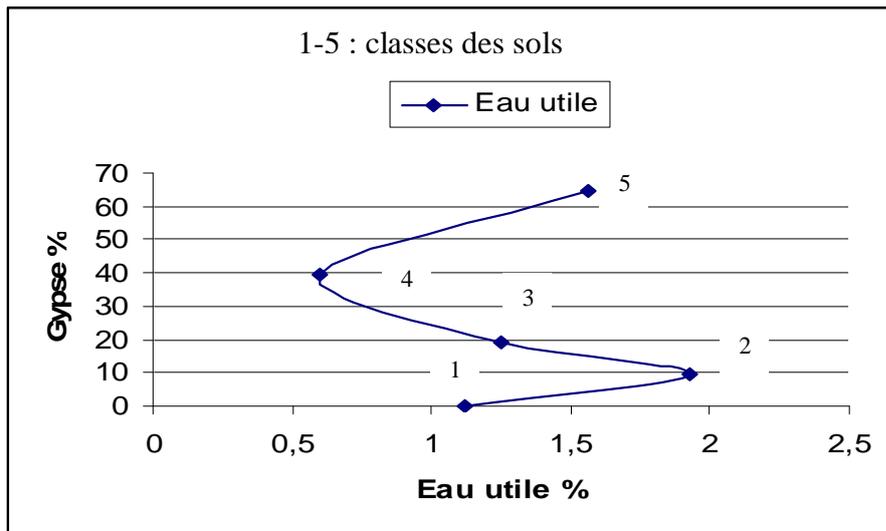


Figure. 40: Variation de l'eau utile en fonction du taux du gypse dans le sol entier.

Pour Van Alphen et Rios Romero, (1971) Poch (1992 a), Poch et al (1998), l'eau utile dépend plus de la texture et le type d'accumulation gypseuse pour les échantillons possédant des taux élevés de gypse. Pour les échantillons possédant des taux faibles de gypse, il dépend plus de l'édifice (fabric) et la composition de la masse de terre non gypseuse que du gypse lui-même et l'eau utile peut être très variable.

### 3.2.4. Effet de la salinité sur l'humidité

La relation entre la salinité et l'humidité du sol est représentée dans la figure 41. Nous constatons que l'humidité tend à croître avec l'élévation de la salinité et cela de la première classe (< 0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (> 50% de gypse) par ordre.

Nous notons dans la première classe, un taux d'humidité de 4.82% à pF2.5, 4.04% à pF3 et 3.7% à pF4.2, avec une conductivité électrique de 1.87dS/m.

Dans la deuxième classe, la croissance dans la valeur de la conductivité électrique provoque une élévation de l'humidité, avec 6.12% à pF2.5, 5.30% à pF3 et 4.19% à pF4.2.

A la troisième et la quatrième classe, nous remarquons aussi une augmentation dans les valeurs de l'humidité, qui s'accompagne avec une élévation de la conductivité électrique.

A la cinquième classe et avec une conductivité électrique de 16.34 dS/m, nous enregistrons les valeurs les plus élevées de l'humidité par rapport aux classes précédentes. Nous notons 31.63% à pF2.5, 31.28% à pF3 et 30.07% à pF4.2.

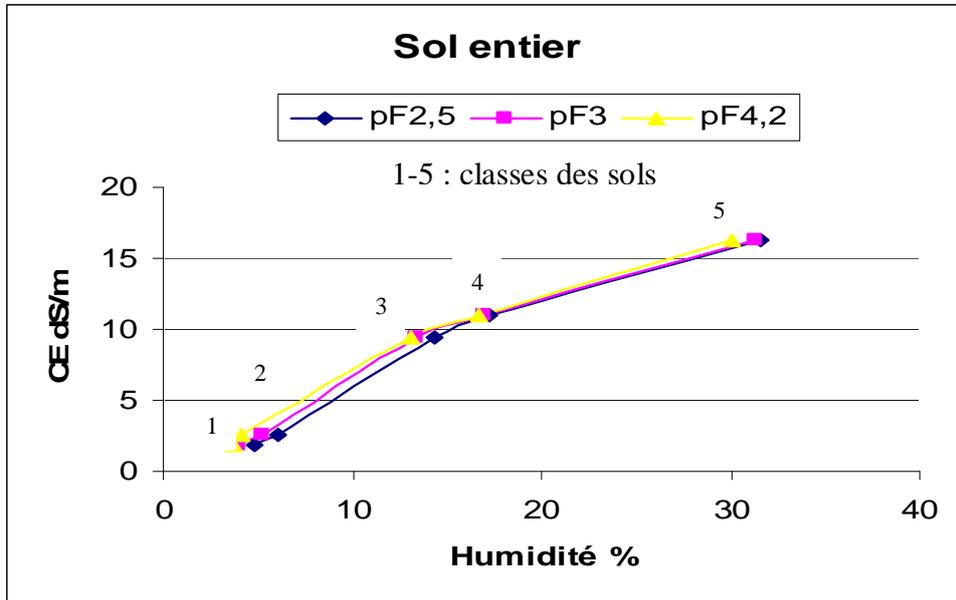


Figure. 41: Variation de l'humidité en fonction de la conductivité électrique.

Pour confirmer la valabilité de cette relation, on s'est orienté vers l'analyse statistique (tableau. 39).

**Tableau. 39: Matrice de corrélation entre la conductivité électrique et l'humidité.**

	<b>pF 2.5</b>	<b>pF 3</b>	<b>pF 4.2</b>
<b>Sol entier</b>	0.97	0.98	0.97

Les coefficients de corrélation entre l'humidité et la salinité sont forts et positifs, ils varient entre 0.97 et 0.98 ; 0.97 à pF2.5 et pF4.2, et 0.98 à pF3 (tableau. 38). Donc l'humidité tend à croître avec l'augmentation de la salinité. Ces résultats sont semblables aux résultats de Halitim (1973) et Ayers et Westcot (1988).

### 3.2.5. Effet de la texture du sol sur l'humidité

D'après les figures 42 et 43, nous constatons que l'augmentation du taux de sable total provoque la diminution de l'humidité, par contre l'accroissement du taux de limon + argile engendre leur élévation. Cela est remarqué dans toutes les classes étudiées, à l'exception de la troisième classe, où la faible augmentation du taux de limon + argile et la diminution du taux de sable total par rapport à la deuxième classe, n'engendre pas leur accroissement.

Nous remarquons que les valeurs de l'humidité les plus élevées, sont enregistrées dans la classe possédant une texture plus fine ; c'est-à-dire la classe ayant des taux élevés d'argile et de limon et des faibles quantités de sable total ; tel que l'horizon P6H1, de la dernière classe (>50% de gypse) qui enregistre la valeur la plus élevée de la fraction argile + limon (51.54%), et une faible quantité du sable total (48.46%), par apport aux classes étudiées.

En outre les valeurs de l'humidité les plus faibles, sont enregistrées dans la classe possédant une texture plus grossière ; tel que l'horizon P1H1 de la première classe (< 0.3% de gypse) qui possède la plus faible quantité de limon + argile (6.9%) et la quantité la plus élevée du sable total (93.1%), par apport aux classes étudiées.

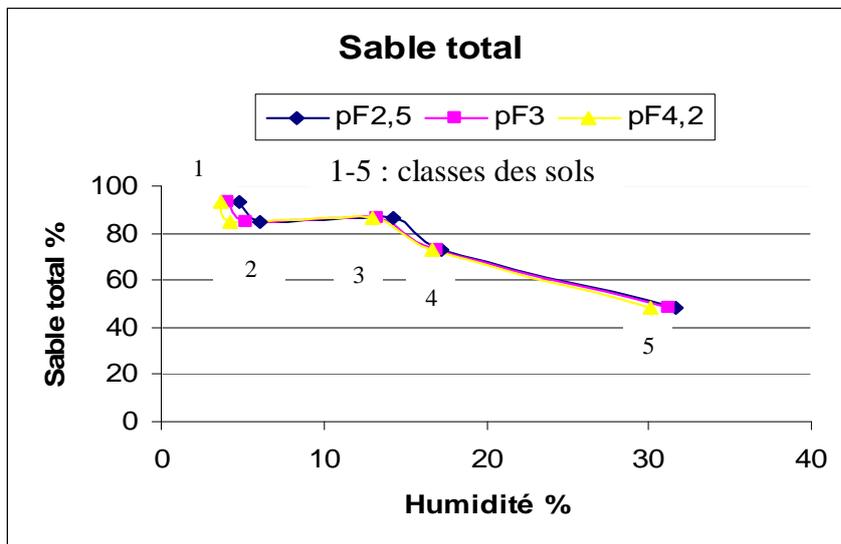


Figure. 42: Variation de l'humidité en fonction du taux du sable total.

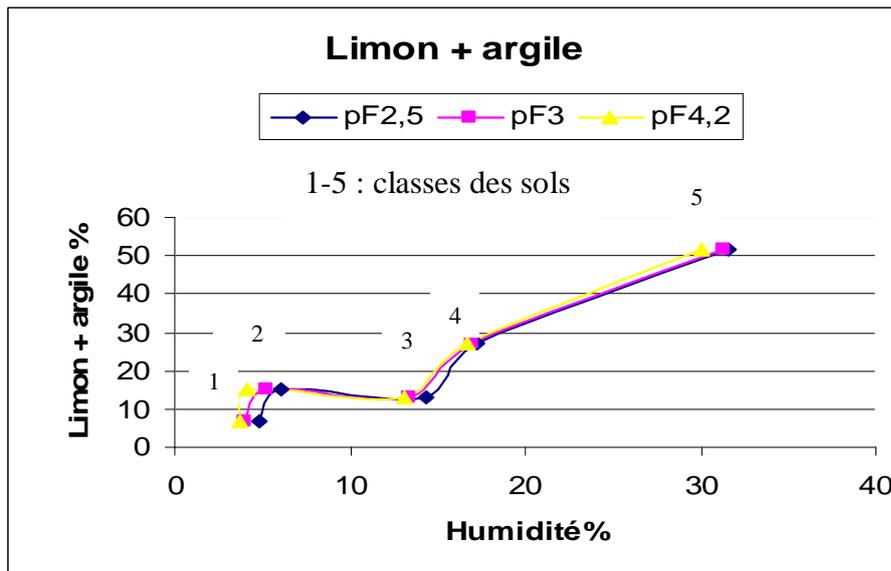


Figure. 43: Variation de l'humidité en fonction du taux du limon + argile.

On s'est orienté vers l'analyse statistique entre l'humidité et le sable total et entre l'humidité et la fraction limon + argile (tableau 40 et 41) pour mieux représenter cette relation.

**Tableau. 40: Matrice de corrélation entre le taux de sable total et l'humidité.**

	<b>pF 2.5</b>	<b>pF 3</b>	<b>pF 4.2</b>
<b>Sol entier</b>	- 0.95	- 0.95	- 0.94

Les coefficients de corrélation entre le taux de sable total et l'humidité sont forts et négatifs. Ils oscillent entre  $- 0.94$  et  $- 0.95$  ; avec  $- 0.95$  à pF2.5 et à pF3 et  $- 0.94$  à pF4.2 (tableau. 40). Ce qui signifie que l'augmentation du taux de sable provoque l'affaiblissement de l'humidité.

Contrairement à l'effet du taux de sable sur l'humidité, les coefficients de corrélation entre le taux de limon + argile et l'humidité (tableau. 41) sont forts et positifs; nous enregistrons  $0.95$  à pF2.5 et à pF3 et  $0.94$  à pF4.2. Donc l'augmentation du taux de la fraction limon + argile engendre l'augmentation de l'humidité.

**Tableau. 41: Matrice de corrélation entre le taux de limon + argile et l'humidité.**

	<b>pF 2.5</b>	<b>pF 3</b>	<b>pF 4.2</b>
<b>Sol entier</b>	0.95	0.95	0.94

Les résultats de l'étude de Poch (1989), (1992 a), Abdesselam (1990) et Van alphen et Rios Romero (1971), sur la relation de l'humidité avec la texture dans les sols gypseux, sont similaire à nos résultats.

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion générale

Le présent travail ayant porté principalement sur l'étude de l'influence de la teneur en gypse et de la taille de ses grains, sur la capacité de rétention en eau des sols. Pour cela, le cadre défini est celui des sols localisés dans la séquence allant de Djebel Bougzal dans la partie amont jusqu'à la sebkha dans la partie aval, dans la région de Ain Ben Noui (commune d'El Hadjeb), dans le sud – ouest de Biskra.

Cette région, se caractérise par un climat aride, avec la présence d'une nappe phréatique qui est généralement salée et un matériau gypso – calcaire.

La caractérisation physico – chimique initiale des sols, nous a permis de dégager cinq (05) classes des sols à différents taux de gypse.

La caractérisation physico – chimique et hydrique selon les classes des sols étudiées, nous a permis de sélectionner pour chaque classe un horizon représentatif, dans le but de comparer entre ces derniers.

La comparaison entre les caractéristiques physico – chimiques des classes, a montré que le pH est basique, dans toutes les classes étudiées, la conductivité électrique est en élévation progressive en allant de la première classe (< 0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (> 50% de gypse).

La texture des classes étudiées est généralement sablonneuse, mais il y a une augmentation dans le taux de la fraction limon + argile surtout dans la cinquième classe (> 50% de gypse), avec 51.54%.

La porosité totale est faible dans tous les horizons étudiés en comparaison avec ceux rapportés par Pankhanova et Yamanova, (1987) sur un matériel gypseux

Au terme de cette étude, nous avons également, pu mettre en évidence l'effet du taux du gypse sur l'humidité. D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que l'humidité tend à croître avec l'élévation du taux du gypse ; c'est-à-dire qu'elle est en augmentation continue de la première classe (< 0.3% de gypse) jusqu'à la dernière (>50% de gypse). Mais les auteurs

qui ont travaillé sur des sols non remaniés, trouvent une tendance opposée, parce que l'augmentation du taux de gypse provoque un remplacement progressif des plus grands pores par les plus petits, ce qui diminue la capacité de rétention en eau du sol.

A travers l'étude de l'effet du taux du gypse sur l'eau utile, on a constaté qu'il n'y a pas une relation bien définie, qui relie les deux paramètres (taux de gypse et eau utile). Cette relation ne peut être comprise sans faire intervenir la taille du gypse, la structure et la texture du sol.

Par ailleurs, on a étudié l'effet de la taille du gypse dans les différentes classes granulométriques (sable grossier, sable fin, sable fin + limon + argile) pour chaque classe. On a constaté que l'humidité tend à augmenter en allant de la fraction du sable grossier jusqu'à la fraction du sable fin + limon + argile, c'est-à-dire elle tend à croître dans la fraction la plus fine. Et ceci pour chaque classe des teneurs en gypse.

En outre, nous avons étudié l'effet de la texture du sol sur l'humidité. Les résultats obtenus confirment l'augmentation de la rétention en eau dans les sols à texture plus fine.

En dernier lieu, on a étudié l'effet de la salinité sur l'humidité, où on a constaté que l'humidité tend à croître avec l'élévation de la salinité.

Pour bien comprendre le comportement hydrique de ces sols, une étude plus poussée doit être menée au niveau microscopique, pour situer in situ l'emplacement de l'eau à différent pF.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Abdesselam S., 1999** – Contribution a l'étude des sols gypseux au nord – est du Sahara Algérien : caractérisation et genèse. Cas des oasis de Tolga (région des Ziban). Mém. Mag. INA. 147p.

**Abrukova LP., Isayeh VA., 1983** – Structural mechanical properties of gray- brouwn gypsiferous soil. Soviet soil sciences 15(6), pp 90- 100.

**Ali YA., West I., 1983** – Relationships of modern gypsum nodules in sabkhas of loess to composition of brines and sediments in Northern Egypt. J.of Sedim. Petrol. 53 (4), pp 1151- 1168.

**Al- Kubaisi AAJ., 1988** – Effect of sprinkler and basin irrigation methods on some properties of Al- Dour gypsiferous soil and growth of corn plant. M.S. thesis, university of Baghdad, Iraq.

**Allen BL., Rolong NA ., Cano Garcia MA., 1996** – Occurrence and micromorphology of Gypsum and Petrogypsic horizons in the Southwestern U.S.A. Proc. Int. Symposium on Soils with gypsum. Lleida, Catalonia, Spain.

**Al-Mukhtar AD., 1987-** Mapping and microscopic investigation of the gypsiferous soils in the Dour and Jezira area of Iraq. Ph.D.Thesis, RUG.

**Al-Rawi AAH., Lazem IT., Hamdy L., Gasem T., 1983** – Effect of some soil conditioners on properties of calcareous and gypsiferous soils and growing of millet (*Panicum miliacum*). Agriculture research and water resources journal, vol 5, pp 1-20.

**Arslan A., Dutt G.R., 1993** – Solubility of gypsum and its prediction in aqueous solutions of mixed electrolytes. Soil Sc. 155, 1 pp 37-46.

**Artieda O., Herrero J., 1996** – Soils with gypsum of the Central Ebro Valley. Excursion Guide. International symposium on soils with gypsum. Lleida, 15-21 sep. Edicions Universitat de Lleida. Lleida, Spain, 203p.

**Aubert G., 1978-** Méthodes d'analyses des sols. C.R.D.P. Marseille, 188p.

**Ayers RS., Westcot DW., 1988** – la qualité d'eau en agriculture. Bulletin F.A.O d'irrigation et de drainage. N° 29 F.A.O, Rome, 180p.

**Baci L., 1984** – Contribution à l'étude de la salinisation des sols du Hodna (M'sila). Mém. Ing INA 98p.

**Baize D., 1988** - Guide des analyses courantes en pédologie. Choix, expression, présentation, interprétation. I.N.R.A., Paris, 172p.

**Bala S., 2005** – Evolution de la salinité des sols sous serre en milieu aride. Cas de la station de l'I.T.D.A.S de Biskra. Thèse magistère. I.N.A (El – Harrach), 129p.

**Bellair P., 1954** – Sur l'origine des dépôts de sulfate de calcium actuels et anciens. Comptes rendus des sciences de l'Académie des sciences, 239, pp 1059- 1061.

**Bellanca A., Neri R., 1993** – Dissolution and precipitation of gypsum and carbonate minerals in soils on evaporite deposits, central Sicily : isotope geochemistry and microfabric analysis. Geoderma, 59, 1/4,pp 263-277.

**Bensaid R., 1999** – Les sols a accumulations gypso- calcaires de la région de Ain Ben Noui (Biskra). Annales de INA El Harrach- vol. 20, N° 1 et 2, 7p.

**Berigari MS., Al-Any FMS., 1994** – Gypsum determination in soils by conversion to water-soluble sodium sulphate. Soil. Sci. Am. J. 58,pp 1624 – 1627.

**Boyadgiev TG., 1974** – Contribution to the knowledge of gypsiferous soils. AGRON/SF/SYR/67/522 FAO Rome.

**Boyadgiev TG., 1985** – Salty soils of arid and semi-arid regions. Sci. Rev. Arid Zone Es. Vol. 3,pp 1-47.Scientific Publisher Jodhpur.

**Boyadgiev TG., Sayegh AH., 1992** – Forms and evolution of gypsum in arid soils and soil parent materials. Pedologie, 42, 2,pp 171-182.

**Buisson G., Cornee A., 1989** – quelques données sur les antécédents climatiques du Sahara, la signification des couches détritiques rouges et des évaporités du Trias et du Lias. Dogger. In : Bull. soc. Géol. Fr. T.V. n° 1, pp 3-11.

**Bullock P., Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., Tursina T., Babel U., 1985** – Handbook for soil thin section description. Waine Research Publications, Wolverhampton, UK, 152p.

**Bureau P., Roederer P., 1960** – Contribution à l'étude des sols gypseux du sud Tunisien : croûte et encroûtement gypseux de la partie Sud du Golf de Gabes. Bull. AFES. N°spécial, pp 150- 176.

**Carter B.J., Inskip W.P., 1988** – Accumulation of pedogenic gypsum in Western Oklahoma soils. Soil Sci.Soc. Amer. J.52, pp1107- 1113.

**Chauhuan R P S., 1992** – Comparative efficiency of gypsum and iron pyrites in sodic soil reclamation. Journal of the Indian Society of Soil Science, 40, 2, pp 404- 405.

**C.I.R.A.D., 2004** – Catalogue des analyses courantes. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Copyright cirad) 28p.

**Coque R., 1962** – La Tunisie Présaharienne : Etude géomorphologique. Armand colin, Ed, Paris, Thèse d'état 488 p.

**Coutinet S., 1965** – Méthodes d'analyse utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Agronomie Tropicale, Paris 12 pp 1242-1253.

**C.P.C.S., 1967** – Classification des sols. Laboratoire de géologie pédologie de l'E.N.S.A. Paris Grignon, 87p.

**Dekkiche B., 1974** – Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélations géochimiques des eaux de la nappe. Thèse de doctorat Gent. Belgique 211p.

**Durand JH., 1953** – Etude géologique, hydrogéologique et pédologique des croûtes en Algérie. S.E.S Alger, 209 p.

**Eckardt F.D., Spiro B., 1999** – The origin of sulphuric gypsum and dissolved sulphate in the Central Namib Desert, Namibia. Sedimentary Geology. Volume 123, issues 3-4, pp 255- 273.

**Eswaran H., Ilaoui M., Osman A., 1981** – Mineralogy and micromorphology of aridisols. Proc. 3ht. Int. Soil classification workshop. ACSAD, Damascus, pp 153 – 170.

**Eswaran H., Zi-Tong G., 1991** – Properties, genesis, classification, and distribution of soils with gypsum. SSSA ; special publication no. 26, pp 89-119. Soil.Soc.Amer.Madison.

**F.A.O., 1990** – Management of gypsiferous soils. Bulletin n°62, F.A.O Rome, 81p.

**F.A.O., 1988** – Soils map of the world, revised legende. World soil resources. Report N° 60 F.A.O, Rome, 119p.

**Florea N., Al-Joumaa Kh., 1998** – Genesis and classification of gypsiferous soils of the Middle Euphrates floodplain. Syria. Geoderma volume 87, issue 1-2, pp 67-85.

**Friedel B., 1978** – Zur bestimmung von Gips in böden. Zeitschrift für pflanzenernährung und Bodenkunde 141, pp 231- 239.

**Gousov N., 1964** – Notice explicative de la carte géologique de Biskra au 1/200.000. Pubi. Sr. Géol. Algérie. 13p

**Halitim A., 1973** – Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie. Thèse Doc. U.E.R des sciences biologiques.

**Halitim A., 1985** – Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la gènesè et le comportement des sols. Thèse doctorat, Uni .Rennes, 384 p.

**Halitim A., Robert M., 1987** – Interaction du gypse avec les autres constituants du sol : analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentales. In Fedoroff et all. (ED) : soil micromorphology, AFES. pp 179-186.

**Halitim A., 1988** – Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U. Alger. 384 p.

**Hamdi Aissa B., Fedoroff N., 1996** – Macro and micromorphology of gypsum in desertic soils (Northern Sahara. Algérie). Proceeding of the international symposium on soils with gypsum. Lleida, Catalonia, Spain.

**Hazzah AH., Al-Rawi AA., Abdul Ameer AR., 1986**- Effect of organic fertilizer on the properties of gypsiferous soil and the growth of millet (*Panicum miliacum*). Symposium on gypsiferous soils – Their effect on construction and agriculture production ; 4-6 november 1986, Baghdad, Iraq.

**Heinze M., Fielder HJ., 1984** – Physical properties of gypsiferous soils and accompanying soil forms in the Kyffhauser Mountains. *Hercynia* 21, pp 190- 203.

**Herrero J., Porta J., 1987** – Gypsiferous soils in the North- East of Spain. In Fedoroff et al. (Ed) : « Soil micromorphology », AFES-Plaisir, France, pp 187-192.

**Herrero J., Porta J., 1990** – Micromorphology and genesis of soils enriched with gypsum. CIHEAM JAMZ (Zaragoza).

**Herrero J., Porta J., Fedoroff N., 1992** – Hypergypsic soil micromorphology and landscape relationships in Noortheastern Spain. *Soil Sci. Amer. J.*56, 4, pp 1188- 1194 Madison.

**Herrero J., Poch RM., Porta J., Boixadera J., 1996** – Soils with gypsum of the Central Catalan Depression. Excursion Guide. International symposium on soils with gypsum, Lleida 15-21 septembre 1996. Edicions Universitat de Lleida. Lleida, Spain 87p.

**Hesse., 1974** - Some studies on gypsum and gypsic soils. A contribution to the mechanical analysis of gypsic soils. FAO., n° AGON/SF/SYR/522 : pp 100-106.

**Institut de technologie agricole., 1977** – Laboratoire du sol. Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol. 3 Ed. I.T.A. Mostaganem. 105p.

**Jafarzadeh AA., Burnham CP., 1992**- Gypsum crystals in soils. *Journal of soil science*, 43, pp 409- 420.

**Jauzein A., 1974** – Les données sur le système  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  et leurs implications géologiques. *Revue Geogr. Phys. Geol. Dyn* 2<sup>a</sup> Serie. Vol XVI (2), pp 151-159.

**Job JO., 1981**- Some problems in analysis of soils in arid area. Proc.3rd.Int. Soil class. Workshop, ASCAD, Damascus, Syria, 219-237.

**Kadri A., 1987** –Pédologie des milieux gypseux en Tunisie présaharienne. DEA des sciences de la terre. Faculté des sciences de Tunis. 163p.

**Kaouritchev I ., 1983** – Manuel pratique de pédologie. Ed. Mir- Moscou, 279p.

**Keren R., Kreit JF., Shainberg I., 1980** – Influence of size of gypsum particles on the hydraulic conductivity of soils. *Soils sciences* vol 130 n° 3, pp 113- 117.

**Khan SU., Webster GR., 1968** – Determination of gypsum in solonetzic soils by an x- ray technique. *Analyst* 93, pp 400- 402. Fil text via cross ref.

**Kovda VA., 1965** - Alkaline sofa- saline soils. pp 15- 48. In.I. Szabolcs (ed)) Proc. Of the Symp. On sodic soils. Bbudapest, Hungary.

**Kulke H., 1974** – Zur geologie und mineralogie der kalk- und gipskrusten Algeriens. *Geol. Rund* 63, pp 970- 998.

**Lagerwerff JV., Akin GW., Mosses SW., 1965** - Detection and determination of gypsum in soils. *Proceedings of the soil science society of America* 29, pp 535- 540.

**Loveday J., 1974** – Methods for analysis of irrigated soils, II : particle size analysis. Commonwealth bureau of soils technical communication N°54.

**Mardoud T., 1981**- Gypsiferous soils in the Balikh Bassin – Characteristics and productivity. *Soil Taxonomy Workshop, ACSAD, 1980*, pp 308-320.

**Mashali AM., 1996** – Soil management for gypsiferous soils. : A review. Proc. Int. Symposium on soils with gypsum. Lleida, Catalonia, Spain.

**Matar AE., Douleimy T., 1978** – Note on a proposed method for the mechanical analysis of gypsiferous soil. ACSAD Publication. The arab centre for the studies of arid zones and dry lands, Damascus, Syria.

**Mauget G., 1967** – Etude de la nappe de Tolga. Etude S.E.S n° 25, DH. 1, G.R.H.A. Constantine, 40p.

**Ministère de l'hydraulique., 1980-** Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra au 1/200 000, 31p.

**Mousli OF., 1980** – Methods of evaluation and classification of gypsiferous soils and suitability for irrigated agriculture. In : Proceeding of the 3rd International Soil Classification Workshop (ED.FH. Beinroth and A. Osman).the arab center for studies of the Arid Zones and Dry Land (ACSAD). Damascus, Syria. pp 278-307.

**Nelson RE., Klameth LC., Nettleton WD., 1978** – Determining soil gypsum content and expressing properties of gypsiferous soils. Journal of the soil science society of America 42, pp 659- 661.

**Nettelton WD., Nelson RE., Brasher BR., Derr PS., 1982** – Gypsiferous soils in the Western United States In : Soil sciences society of America special publication, N°10, pp 147- 168.

**Norton L D., 1997** – Stopping erosion with gypsum and PAM. Agricultural research (Washington), 45, 9, pp 18- 20.

**Palemio M., Rhoades JD., 1977** – Determining cation exchange capacity : A new procedure for calcareous and gypsiferous soils. Journal of the soil science society of America 41, pp 524 - 528.

**Pankhanova I., Yamnova IA., 1987** – Forms of gypsic neoformations as determining the gypsic soil melioration properties. Soviet Soil Science 6, pp 94 - 102.

**Poch RM., De Coster W., Stoop G., 1998** – Pore space characteristics as indicators of soil behaviour in gypsiferous soils, Geoderma volume 87, issues 1- 2, pp 87 -109.

**Poch RM., 1989** – Relation between micromorphological and physical characteristics of some gypsiferous soils of the URGELL irrigated area (N-S Spain). M. Sc. Thesis, University Gent, Belgium, 130p.

**Poch RM., 1992 a** – Fabric and physical properties of soils with gypsic and hypergypsic horizons in the Ebro Valley.phd Thesis, University Gent, Belgium, 285p.

**Poch RM., 1992 b** – Characteristics of the sand fraction of two hyper-gypsic horizons of « EIPIa d'Urgell » (N-E Spain), Egypt. J. Soil. Sci. 32, No. 4, pp 523- 535.

**Poch RM., Verplancke H., 1997** – Penetration resistance of gypsiferous horizons. European Journal of Science, 48, pp 535-543.

**Porta J., Herrero J., 1990** – Micromorphology and genesis of soils enriched with gypsum. In L.A. Douglas (ed) : «Soil Micromorphology : A basic and applied science », Elsevier, Amsterdam,pp 321-339.

**Porta J., 1998** – Methodologies for the analysis and characterization of gypsum in soils : A review. Geoderma volume 87 ; issu 1-2, pp 31-46.

**Pouget M., 1968** – Contribution à l'étude des croûtes et les encroûtements gypseux de nappe dans le sud Tunisien. Cah. ORSTOM, Serie. Pedol. 6, pp 309-365.

**Pouget M., 1980** – Les relations sol-végétation dans les steppes Sud Algéroises. Trav et doc. ORSTOM. 116, 555p.

**Rao AV., Tarafdar JC., 1998** – Selection of plant species for rehabilitation of gypsum mine spoil in arid zone. Journal of arid environments volume 39, issue 4 pp 59-567.

**Rayan J., Estefan G., Rashid A., 2001** – Soil and plant analysis laboratory manual. Second Edition (ICARDA) Pakistan, Syria (NARC) Pakistan, 172p.

**Remini L., 1997-** Etude comparative de la faune de deux palmiers l'une moderne et l'autre traditionnelle dans la région de Ain Ben Noui Biskra. Mém. Ing. INA El Harrach, 133p.

**Rosen MR., Warren JK., 1990** – The origin and significance of groundwater- seepage gypsum from Bristol Dry Lake, California, USA. *Sedimentology* 37, pp 983- 996.

**Sayegh AH., Khan NA., Khan P., Ryan J., 1978** – Factors affecting gypsum and cation exchange capacity determinations in gypsiferous soils. *Soil science* 125 n° 5, pp 294-300.

**Schreiber B., Schreiber E., 1977** – The salt that was. *Geology* .5 pp 527-528.

Soltner D., Les bases de la production végétale. Tome I, le sol. Coll sc et tech agri, 464p.

**Soil Survey Staff., 1996** - Keys to soil taxonomy. USDA. SCS. Agri. Handb. U. S. GOV. Washington. D.C.

**Soil Survey Staff., 2003** – Keys to soil taxonomy. Ninth Edition. N R C S. USDA. 332p.

**Sonnenfeld P., 1984** – Brines and evaporites. Academic Press. 613p.

**Stewart P., 1969** - Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère. *Bull. Soc. His. Nat. Nord, Alger*, 59 : 14p.

**Stoops G., Ilaoui M., 1981** – Gypsum in arid genesis proceeding third international soil classification workshop damascus, pp 175- 185.

**Sys C., Van ranst E., Debaveye J., 1991** – Land evaluation. Partie II, methods in land evaluation. Agricultural publication n° 7. 247p.

**Taina I., Postolache T., Florea N., Al-Joomaa KH., 1996** – Micromorphological characteristics of some gypsisols from Syria. *Proc. Int. Symposium on Soils with gypsum. Lleida, Catalonia, Spain.*

**Tavernier R., Van Wambek A., 1976** – Détermination du régime hydrique des sols d'après Newhall. *Ann. INA. El Harrach. Vol VI n° 2*, pp 5- 13.

**Toomanian N., Jalalian A., Karimian Eghbal A., 2001-** Genesis of gypsum enriched soils in north-west Isfahan, Iran. *Geoderma* volume 99, issues 3-4, pp 199-224.

**Trichet J., 1963** – Description d'une forme d'accumulation du gypse par voie éolienne dans le sud tunisien. *Bull.Soc.Géol. Fr*, pp 617-628.

**Tucker BM., 1974** - Laboratory procedures for cation exchange measurements on soils. Commonwealth scientific and industrial research organization, Melbourne, Australia, division of soils, technical paper N° 23.

**Van Alphen JG., Los Rios Romero F., 1971** – Gypsiferous soils. Notes on their characteristics and management. Bulletin 12, International institute for land reclamation and improvement. Wageningen, The Netherlands, 44p.

**Verba MP., 1996** – The forms of gypsum neoformations in the soils of Central Asian Deserts in : A review. *Proc. Int. Symposium on soils with gypsum. Lleida, Catalonia, Spain.*

**Vieillefon J., 1979** – Contribution à l'amélioration de l'étude analytique des sols gypseux. *Cah. ORSTOM, Sér Pédol. XVII 3*, pp. 195-223.

**Watson A., 1980** – Végétation polygon in Central Namib Desert, Madogua Serie 11-12.

**Watson A., 1983** – Gypsum crusts. In Goudie AS., Pye K., Editors 1983. *Chemical sediments and geomorphology. Academic press. London*, pp 92-123.

**Watson A., 1985** – Structure, Chemistry and origin of gypsum in of in southern Tunisia and in central Namib Desert. *Sedimentology* 32, pp 855-875.

**Watson A., 1988** – Desert gypsum crusts as paleoenvironmental indicators :  
Amicropitrographic study of crusts from southern Tunisia and the Central Namib Desert.  
Journal of arid environments 15, pp 19- 42.

**Watson A., 1989** – Desert crusts and rock vanish. (Arid zone geomorphology)  
HALSTON Press New York, pp 28- 44.

**Yamanova IA., 1990** – Soils with gypsum in the Dzhizak Steppe in « Formation  
environments and meliorative properties of soils from Dzhizak steppe » Dokuchaev institut,  
pp 37- 39.

# ANNEXES

**Annexe. 1 : Description morphologique des sols :**

**Profil : 1.**

Coordonnées : N = 34° 48, 210' E = 005° 37, 712'

Topographie : plane.

Végétation : plantes halophytes

**Horizon 0 – 25 cm** : la couleur a l'état sec brun très pâle (10 YR 7/3), structure particulière.

**Profil : 2.**

Coordonnées : N = 34° 48, 038' E = 005° 37, 783'

Topographie : plane

Végétation : plantes halophytes très denses.

Profondeur de la nappe :

**Horizon 0 – 35 cm** : la couleur a l'état sec brun très pâle (10 YR 7/3), structure particulière, transition graduelle, apparition des effervescences salines a la surface.

**Profil : 3.**

Coordonnées : N = 34° 47, 425' E = 005° 38, 198' Altitude 130 m

Topographie : plane

Végétation : plantes halophytes

Profondeur de la nappe : 12 – 13 m.

**Horizon 0 – 1.8 m** : la couleur a l'état sec brun très pâle (10 YR 8/4), la structure particulière.

**Horizon 1.8 m – 4 m** : la couleur a l'état sec blanc (10 YR 8/2), milieu compacte, transition nette et ondulée, apparition de l'effervescence.

**Horizon > 4 m** : la couleur a l'état sec jaune (10 YR 8/6), trace d'oxydoréduction, présence de gros cristaux sous forme de gypse.

**Profil : 4.**

Coordonnées : N = 34° 47, 127' E = 005° 38, 393'

Topographie : plane

Végétation : plantes halophytes

Profondeur de la nappe : 8 – 10 m.

**Horizon 0 – 1m** : la couleur a l'état sec brun très pâle (10 YR 8/3), structure polyédrique moyenne, transition diffuse, horizon très compacte, présence de nombreuses racines de volume moyenne à grossière.

**Horizon 1 – 3 m** : la couleur a l'état sec blanc (2.5 Y 8/2), structure massive, quelque trace d'oxydoréduction, transition diffuse.

**Horizon > 3m** : la couleur a l'état sec blanc (10 YR 8/2), structure compacte, nombreux restes de gypse très fin et de rose de sable en profondeur.

**Profil : 5.**

Coordonnées : N = 34° 46, 784' E = 005° 38, 232'

Topographie : plane

Végétation : plantes halophytes

La nappe : très profond

**Horizon 0 – 1 m** : la couleur a l'état sec gris clair (2.5 Y 7/2), structure massive sous forme de grain, horizon friable.

**Horizon 1 – 3 m** : la couleur a l'état sec gris clair (10 YR 6/1), structure massive sous forme de grain, horizon friable, couleur noirâtre, présence des coqués et des racines calcifier.

**Horizon > 3 m** : la couleur a l'état sec blanc (5 Y 8/1), structure compact, massive sous forme de grain, horizon friable.

**Profil : 6.**

Coordonnées : N = 34° 44, 370' E = 005° 39, 153'

Topographie : plane

Végétation : plantes halophytes

Profondeur de la nappe : 5 -6 m

**Horizon 0 – 1.5 m** : la couleur a l'état sec rose (7.5 YR 7/4), structure massive friable, couleur jaunâtre, contient dans les 10 – 15 cm de dépôts de sable, transition nette.

**Horizon 1.5 – 3 m** : la couleur a l'état sec blanc (5 YR 8/1), structure compacte, transition diffuse.

**Horizon > 3m** : la couleur a l'état sec blanc (10 YR 8/2), structure non compact, trace de sel blanche en surface.



Photo 1 : profil 1



Photo2 : profil 2



Photo 3 : profil 3



Photo 4 : profil 4



Photo 5 : profil 4



Photo 6 : profil 4



Photo 7 : profil 5



Photo 8 : profil 6



Photo 9 : profil 6

**Annexe.2 : Taux de gypse des sols.**

<b>Horizon</b>	<b>Gypse %</b>
<b>P1H1</b>	traces
<b>P1H2</b>	traces
<b>P1H3</b>	traces
<b>P2H1</b>	19.35
<b>P2H2</b>	49.88
<b>P3H1</b>	35.26
<b>P3H2</b>	55.9
<b>P3H3</b>	9.8
<b>P4H1</b>	39.56
<b>P4H2</b>	24.08
<b>P4H3</b>	traces
<b>P5H1</b>	53.32
<b>P5H2</b>	35.26
<b>P5H3</b>	39.56
<b>P6H1</b>	55.9
<b>P6H2</b>	64.5
<b>P6H3</b>	60.2

## **RESUME**

L'objectif de ce travail, est l'étude de l'influence de la teneur en gypse et de la taille de ses grains sur la capacité de rétention en eau.

Dans ce contexte, les sols étudiés, sont situés dans la séquence allant de Djebel Bougzal dans la partie amont jusqu'à la Sebka dans la partie aval, dans la région de Ain Benoui, commune d'El hadjeb, dans le sud – ouest de Biskra. Cette région, se caractérise par un climat aride, avec la présence d'une nappe phréatique qui est généralement salé et un matériau gypso – calcaire.

Les résultats de cette étude, montre que la capacité de rétention en eau et l'eau utile sont indépendamment liées à la structure et la texture du sol, ainsi qu'au le taux et la taille du gypse. En outre, l'humidité tend à s'élever avec l'élévation de la salinité et elle croît dans les sols à texture plus fine.

Pour bien comprendre le comportement hydrique de ces sols, une étude plus poussée doit être menée au niveau microscopique, pour situer in situ l'emplacement de l'eau à différent pF.

Mots clés : gypse, capacité de rétention en eau, zones arides.

## SUMMARY

The objective of this work is the study of the influence rate and size of the gypsum on the water holding capacity grounds in the arid regions.

In this context, the grounds study, are located in the sequence going of Djebel Bougzel in the upstream part until Sebkha in the downstream part, in the area of Ain Ben Noui, commune of El hadjeb, in the western – south of Biskra. This area, is characterized by an arid climate, with the presence of a ground water who is generally salted and a material gypso – calcareous.

Results of this study, show that the study of the water holding capacity and useful water are independently dependent with the structure and the texture of the ground, the gypsum rate and size, salinity and it to grow in the grounds with fine texture.

Taking into account the results obtained, it is necessary to say that the study of the water holding capacity in the arid regions, and the factors which to influence to him is a very significant parameter especially in these zones who have various problems, especially the weakness of precipitations, and rementés of the ground water.

Key words: gypsum, water holding capacity of the grounds, arid regions.

## ملخص:

يهدف عملنا هذا إلى دراسة تأثير نسبة الجبس وحجم حبيباته على سعة احتباس الماء.

و في هذا الإطار، تم أخذ عينات التربة المدروسة من القطعة الممتدة من جبل بوغزال صعودا إلى السبخة نزولا - منطقة عين بن نوي ببلدية الحاجب بالجنوب الغربي لولاية بسكرة - تتميز المنطقة السالفة الذكر بمناخ جاف، تربة جيسوكلسية مع تواجد مياه السماط السطحي و التي تعتبر عموما مالحة.

النتائج المحصل عليها ، تثبت أن سعة إحتباس الماء و الماء المتاح يرتبطان ارتباطا وثيقا مع بنية و قوام التربة، و كذلك بنسبة و حجم الجبس. من جهة أخرى رطوبة التربة في صعود متزايد مع ارتفاع الملوحة وفي الترب ذات البنية الرقيقة .

لكي نتعرف أحسن على الخصائص المائية لهذه الترب، يجب أن نقوم بدراسة جد معمقة تكون على المستوى الميكروسكوبي، وذلك في الميدان لتحديد موضع المياه في ضغوط مختلفة من الجهد الشعري (pF).

الكلمات المفتاح: جبس، سعة احتباس الماء في التربة، المناطق الجافة.