

**UNIVERSITÉ KASDI MERBAH -OUARGLA-**

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

**Département des Sciences Agronomiques**



**PROJET DE FIN D'ÉTUDE**

En vue de l'obtention du diplôme de

***LICENCE***

En Sciences Agronomiques

Spécialité : Sol et Eau

**Thème**

# **Les croûtes gypseuses de surface des sols des régions Sahariennes**

**Présenté par :**

Belmabrouk Abderrezak

Laroui Asma

**Encadré par :**

Youcef Fouzia

*Année Universitaire : 2016/2017*

# *Remerciements*



*On remercie le grand Dieu tout puissant pour nous avoir donné le pouvoir de réaliser ce mémoire et de faire cette modeste contribution dans la science. Nous voudrions adresser nos vifs remerciements*

**À NOTRE ENCADREUR MADAME Dr.F.Youcef**

Maître de Conférences Habilité -A- Au département de Science  
Agronomique



*Nous vous reconnaissons la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail.*

*Vous vous y êtes grandement impliqués par vos directives, vos remarques et suggestions.*

*Nous tenons à vous remercier aussi pour cette liberté que vous avez permise, votre manière de penser et de procéder, votre manière d'être, bref toute votre personnalité.*



**À NOS PROFESSEURS**

Du département de Sciences Agronomiques

*Nous avons toujours admiré vos qualités humaines et professionnelles ainsi que votre compétence et votre disponibilité chaque fois que vous étiez sollicités.*

*Veillez accepter, chers Maîtres, l'assurance de notre estime et profond respect.*

*Nous remercierons également tout le personnel de l'institut.*

# Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I: Les sols gypseux

Introduction.....	2
I-1-Définition et dénomination des sols gypseux.....	2
I-1-1-Gypse.....	2
I-1-2-Sols gypseux.....	2
I-2-caractéristiques des sols gypseux.....	2
I-2-1-propriétés physiques.....	2
I-2-1-1-texture.....	2
I-2-1-2-structure.....	3
I-2-1-3-porosité.....	3
I-2-1-4- Relation sol-eau dans les sols gypseux .....	3
I-2-2-propriétés chimiques.....	4
I-2-2-1-conductivité électrique.....	4
I-2-2-2-Ph.....	4
I-2-2-3-capacité d'échange cationique.....	4
I-2-3. Interaction gypse –calcaire .....	5
I-3- effet de gypse sur la végétation.....	5
I-4- répartition des sols gypseux .....	6
I-4-1-dans le monde.....	6
I-4-2-en Algérie .....	7
I-4-3-dans la région de Ouargla.....	7
I-5-Classification des sols gypseux .....	8
I-5-1-Classification française.....	8
I-5-2-Classification américaine.....	8

I-5-3-Classification FAO.....	9
I-6-Les accumulations gypseuses.....	9
I-6-1- Les formes d'accumulation gypseuse .....	9
I-6-1-1- Les formes discontinues.....	10
I-6-1-1-1- Diffuse.....	10
I-6-1-1-2-Pseudomyceliums .....	10
I-6-1-1-3-Pulvérulentes.....	10
I-6-1-1-4-Amas.....	10
I-6-1-1-5- Nodules.....	10
I-6-1-1-6- Racines gypsifères .....	10
I-6-1-2- Les formes continues.....	10
I-6-1-2-1-Les encroûtements.....	10
I-6-1-2-2-Les croûtes.....	11

## **Chapitre II: Les croûtes gypseuses**

II-1-Introduction.....	12
II-1-1-La croûte de nappe .....	12
II-1-2-La croûte zonnaire .....	12
II-1-3- Croûte gypseuse.....	13
II-1-4-Croûte polygonale.....	13
II.2. Origines des croûtes gypseuses.....	13
II-2-1-Origine de nappes phréatique .....	14
II-2-2-Origine éolienne.....	14
II-2-3-Origine lagunaire .....	14
II-2-4-Origine colluvionnaire.....	15
II-2-5-Origine Biologique.....	15
II-2-6-Origine géologique .....	15

II-2-7-Origine autogénique.....	16
II-3- Cortège minéralogique des sols gypseux des zones arides.....	17

### **Chapitre III: Synthèse de quelques travaux sur les croûtes gypseuses**

III-1-Introduction.....	19
III-2-Données analytiques de quelques travaux sur les croûtes gypseuses.....	19
III-2-1-Analyse des données.....	20
III-2-1-1-Epaisseur des croûtes.....	20
III-2-1-2-Taux du gypse.....	20
III-2-1-3-Relation entre le gypse et le calcaire.....	21
III-2-1-4-Relation entre le taux du gypse et l'épaisseur des croûtes gypseuses .....	22

### **Chapitre VI: Etude morphologique et analytique d'une croûte gypseuse (Région de Ouargla)**

VI-1-Introduction.....	24
VI-2-Région d'étude .....	24
VI-3-Matériel et méthodes.....	25
VI-4-Résultats et discussion.....	26
VI-4-1-Description morphologique de la croûte gypseuse su terrain.....	26
VI-4-2-Résultats analytiques.....	27
VI-4-3-Description morphoscopique.....	27
VI-4-4-Origine de la croûte gypseuse.....	28
<b>Conclusion.....</b>	<b>31</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>32</b>

### *Liste des tableaux*

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b>Tableau I</b>	Les sols gypseux dans la classification française (CPCS 1967).	<b>8</b>
<b>Tableau II</b>	Epaisseur, taux de gypse et taux de calcaire pour des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.	<b>19</b>
<b>Tableau III</b>	Données physico-chimiques de la croûte gypseuse étudiée.	<b>27</b>

..

## *Liste de Figure*

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
<b>Figure1</b>	Distribution des sols gypseux dans le monde (F.A.O., 1993).	<b>6</b>
<b>Figure2</b>	Carte des états de surface des sols de la cuvette de Ouargla (HAMDI-AISSA, 2001).	<b>7</b>
<b>Figure3</b>	croûte gypseuse dans la région de l'Oued Righ (Sahara septentrional) (Boumaaraf, 2013).	<b>12</b>
<b>Figure4</b>	Croûte gypseuse de la Sebkha Mellala (Youcef, 2016).	<b>15</b>
<b>Figure 5</b>	Diffractogramme de rayons X d'une croûte gypseuse de la région de Ouargla (Youcef, 2016).	<b>17</b>
<b>Figure6</b>	Diffractogramme de rayons X d'une croûte gypseuse polygonale de la région de Ouargla (Hamdi-Aïssa et al., 2004).	<b>18</b>
<b>Figure7</b>	Epaisseurs des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.	<b>20</b>
<b>Figure8</b>	Taux du gypse au niveau des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt	<b>21</b>
<b>Figure9</b>	Relation entre le gypse et le calcaire pour des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt	<b>22</b>
<b>Figure10</b>	Relation entre le taux du gypse et l'épaisseur des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.	<b>23</b>
<b>Figure11</b>	localisation de la région d'étude (Google earth, 2017).	<b>25</b>
<b>Figure12</b>	Croûte gypseuse étudiée (Bour El-Haïcha, Ouargla).	<b>26</b>
<b>Figure13</b>	Résultats de la caractérisation analytique de la croûte gypseuse.	<b>27</b>
<b>Figure14</b>	Morphoscopie d'une croûte gypseuse (Grossissement X 20).	<b>28</b>
<b>Figure15:</b>	Morphoscopie détaillée d'une croûte gypseuse (Grossissement X 20).	<b>29</b>
<b>Figure16</b>	Formation des croûtes gypseuses de surface (Youcef, 2016)	<b>30</b>



# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

### **Introduction générale**

Les études sur les sols gypseux ne sont pas aussi vaste que l'on pourrait s'attendre, vu la grande proportion des régions arides et semi arides dans le monde occupée par eux (F.A.O, 1990). Mais à partir de la fin des années 70, la recherche sur les sols du Sahara a augmenté (Dekkiche, 1974 ; Ali et West, 1983 ; Halitim, 1985 ; Al-Muktar, 1987 ; Herrero et Porta, 1987 ; Carter et Inskeep, 1988 ; Rosen et Warren, 1990 ; Yamanova, 1990 ; Herrero et al., 1992 ; Bensaid, 1999 ; Eckardt et Spiro, 1999).

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 (Hiouan, 2007).

Les Croûtes de gypse ont été signalées dans tous les continents, y compris en Antarctique et se trouvent dans beaucoup de régions arides, généralement où tout au long de l'année la moyenne mensuelle d'évaporation potentielle dépasse la moyenne des précipitations mensuelles (Watson, 1985).

L'objectif de ce travail, est d'une part une synthèse bibliographique sur les sols gypseux en général et les croûtes gypseuses en particulier pour montrer l'origine de ces grandes accumulations de gypse (croûtes gypseuses), et d'autre part une synthèse des données de quelques travaux qui ont été réalisés sur les croûtes gypseuses dans des régions sahariennes et enfin et pour donner à ce travail un aspect pratique, nous allons essayer dans un dernier lieu d'étudier une croûte gypseuse, morphologiquement (sur terrain et sous la loupe binoculaire) et analytiquement.

# **CHAPITRE I :**

## **LES SOLS GYPSEUX**

## **Chapitre I: Les sols gypseux**

### **Introduction**

Les sols gypseux (au sens large) sont largement répandus et apparaissent typiques dans des régions arides et semi- arides, Ils sont répandus dans les régions à régime hydrique xeric, ustic et aridic (Khademi et Mermut, 2003) : Tunisie, Syrie, Irak, sud de l'ex URSS et de l'Espagne, Mexique, Algérie, etc.

L'origine du gypse en quantité importante dans le sol est en relation avec la présence de roches sédimentaires gypseuses, la topographie et l'aridité du milieu (Bellanca et Neri, 1993).

Dans le sol, le gypse peut se présenter sous différentes formes en fonction des conditions dans lesquelles il précipite.

### **I-1-Définition et dénomination des sols gypseux**

#### **I-1-1-Gypse**

Le gypse constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol (Eswaran et al., 1981).

C'est un sel soluble (Sulfate de calcium hydraté) (Herero et porta, 1990), il peut se déshydrater pour donner d'autres sels (Quelet, 1964).

#### **I-1-2-Sols gypseux**

Van alphen et Rios romero (1971), désignent sous-sols gypseux, les sols à teneur supérieur à 2 % de gypse. Alors que la classification de la FAO (1998), nomme gypsisols, les sols à teneur supérieur à 5 % de gypse.

### **I-2-Caractéristiques des sols gypseux**

Les propriétés des sols gypseux dépendent largement de la teneur en gypse et de la position de la croûte gypseuse dans le profil.

#### **I-2-1-Propriétés physiques**

##### **I-2-1-1-Texture**

La texture des sols gypseux est influencée par la présence de teneurs élevées en cristaux de gypse (Van Alphen et Los rios Romero, 1971).

La distribution du gypse dans les différentes fractions texturales dépend de la teneur totale en gypse (Viellefon, 1979).

Le gypse se trouve dans toutes les fractions, mais il est surtout lié au sable grossier et à la fraction de sable fin (0.005-2 mm) suivi par le limon (F.A.O,1990).

Poch (1992), dans une étude sur les sols gypseux de l'Espagne indique que la texture est liée étroitement à la teneur en gypse. A de faible teneur en cet élément, la texture est déterminée par les matériaux parentaux. Ainsi, l'augmentation des teneurs en gypse engendre, la formation d'une texture à dominance de sable et de limon en raison d'une cristallisation grossière et par conséquent induit une diminution des teneurs en argile.

### **I-2-1-2-Structure**

Laplupartdessolsgypseuxprésententune faibleagrégation, par conséquent une structure peu favorable en raison de l'absence de forces d'attraction et de cohésions (F.A.O,1990; Mashali,1995). Pouget (1995), la présente comme une structure massive relativement friable à très massive, parfois indurée avec des cristaux plus ou moins visibles, et parfois présentant une structure lamellaire grossière.

D'après Halitim et al. (1983), Biniet Ristori (1987) et Abdessalam (1999), cette spécificité structurale assez complexe est due au phénomène d'éclatement résultant d'une action mécanique. Une action favorisée par le processus d'accumulation du gypse.

### **I-2-1-3-Porosité**

Poch (1996), a montré que l'augmentation de l'accumulation du gypse dans le sol influence l'espace poral par le remplacement des larges pores, par des pores d'entassement dont le diamètre équivalent maximum est de 20  $\mu\text{m}$ . Ceci est dû au colmatage par les cristaux lorsque le gypse est présent sous forme poudreuse, la porosité est élevée, alors que les croûtes gypseuses sont dures et présentent une faible porosité.

### **I-2-1-4- Relation sol-eau dans les sols gypseux**

#### **❖ Rétention en eau**

Boyadgiev (1974), estime que la rétention en eau des sols gypseux est en fonction du taux d'argile, de la teneur et la dimension des cristaux de gypse.

### ❖ Mouvement de l'eau dans le sol

Il est moyen à excessif dans la plupart des sols gypseux sauf le cas de la présence d'une croûte gypseuse qui réduit la conductivité hydraulique.

## I-2-2-Propriétés chimiques

### I-2-2-1-pH

Les gypsisols riches en sable grossier ont des valeurs faibles avec un pH de 7,6 à 7,8 et les sols affectés par les sels avec une CE de 16 à 18 dS/m ont des valeurs élevées de pH (8,3-8,6) (Florea et Al joumaa, 1998).

Tous les sols gypseux du Nord de l'Algérie, qu'elle que soit leur teneur en gypse, ont des pH supérieurs à 7 (Djili, 2000).

### I-2-2-2-Conductivité électrique

Dans les sols bien drainés (à faible salinité), la conductivité électrique est faible, elle varie entre 1,3 et 4 mmhos/cm dans les horizons de surface et augmente avec la profondeur à plus de 8 mmhos/cm.

La conductivité électrique est par contre élevée dans les sols peu profonds avec en dessous un horizon gypsique imperméable, elle peut atteindre plus de 12 mmhos/cm.

### I-2-2-3-Capacité d'échange cationique (CEC)

La CEC est inversement proportionnelle à la teneur en gypse (Van al phen et Rios Romero, 1971). Elle dépend de la présence de la matière organique, de la texture du sol, alors que la plupart des sols gypseux sont pauvres en matière organique, et les teneurs en argile ne dépassent pas les 20% (F.A.O, 1990).

Il existe une corrélation négative entre la CEC et la teneur en gypse, l'équation de régression est :

$$CEC_{\text{meq/100g}} = 16,46 - 2,16 \text{ gypse avec } R^2 = 0,708$$

Les valeurs de la CEC dans les sols gypseux varient entre 7 et 14 meq/100 g de sol (F.A.O, 1990).

### I-2-3-Relation 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) ont présenté la relation suivante :

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

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 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.

### 1-3- Effet du gypse sur la végétation

Il est généralement admis qu'en petites quantités, le gypse a un effet favorable sur les propriétés fonctionnelles des sols et la croissance des plantes (F.A.O, 1990).

En sols très argileux et très dispersés, le gypse améliore l'infiltration, diminue l'érosion et augmente la floculation (Ventura et al., 2001).

En sols sodiques, le gypse améliore la structure en déplaçant les ions Na<sup>+</sup> du complexe absorbant et les remplacer par les ions Ca<sup>+2</sup>, il s'agit de la désalinisation du sol (Zahow et Amerhein, 1992 ; Batra et al., 1997).

En sols acides, le gypse change les propriétés de ces sols en déplaçant les ions Al et diminuant la toxicité par cet élément (Sumner, 1993; Farina et al., 2000).

Selon Mashali (1996), la présence des teneurs élevées en gypse dans la rhizosphère affecte la teneur et la disponibilité des éléments nutritifs (N, P, K.....) et affecte la croissance des plantes et leur productivité (F.A.O, 1990).

Quand le sol est constitué de roches gypseuses peu profondes, la végétation est pauvre, quand il est plus évolué la biomasse et la végétation qui couvre le sol est plus développé. Les

communautés typiquement gypsophiles des régions méditerranéennes et sud méditerranéens sont incluses dans les cortèges gypsophiles.

#### I-4- Répartition des sols gypseux

##### I-4-1-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 250 mm (Watson,1983,1985).

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

L'étendu des sols gypseux à travers le monde est difficile à limiter (Herrero et Porta,2000). Ces sols occupent plus de 200 millions d'hectares (F.A.O., 1990; Nettleton, 1991; Eswaren et Gong, 1991; Mashali, 1993;1996, Boyadgiev et Verhey, 1996). Ces résultats sont loin d'être précis (Jafarzadehet Zinc, 2000). Car seulement des petites surfaces de sols gypseux ont été étudiée (Herrero et Porta,2000).

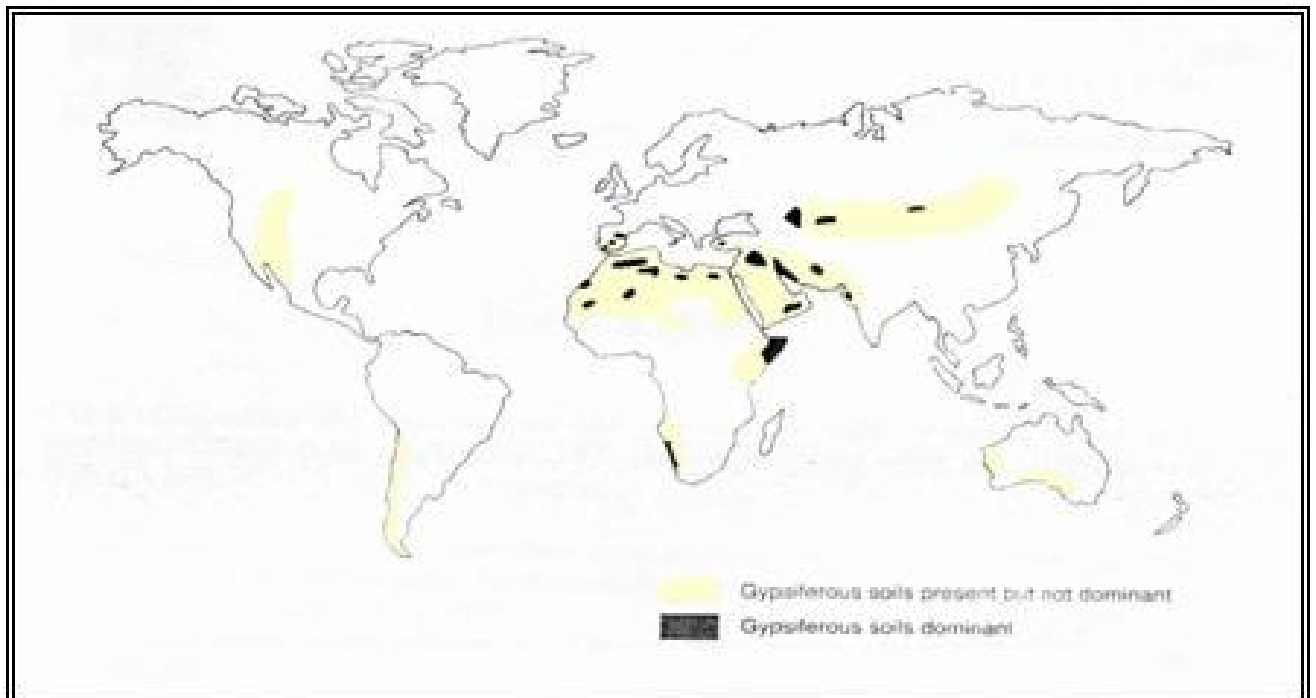


Figure1 : Distribution des sols gypseux dans le monde (F.A.O., 1993).



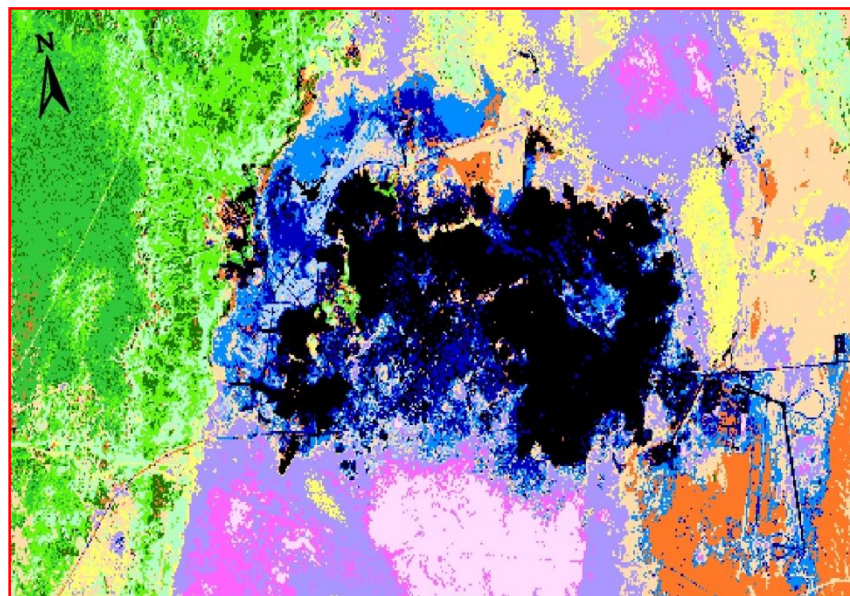
## I-4-2-En Algérie

En Algérie, les sols gypseux occupent une superficie de 7966,3 Km<sup>2</sup> et d'un pourcentage de 3,3% de la surface totale de pays, et 12,2% de la superficie totale des sols gypseux du monde(F.A.O,1990).

Globalement, la présence des sols gypseux en Algérie est signalée dans les régions suivantes : Oran, Mostaganem, Saida, Tiaret, Ksar-Echellala, Djelfa, Msila, les Bordures des chotts et des Zahrez, Boussaâda, Hodna, Mechria, El-Bayad, Khenchela, Batna, Adrar, Ouargla, Ain sefra, Laghouat, Biskra, El-Oued et Touggourt(Ouamer,2008).

## I-4-3-Dans la région de Ouargla

Les sols gypseux se trouvent dans la partie Est (aux bords des chotts et des sebkhas) et sud (plateau) de la cuvette de Ouargla. Ils s'étendent sur une superficie d'environ 4578 ha, ce qui représente 19 % de la superficie de la cuvette (Hamdi-Aissa et Girard, 2000).



- (1) Efflorescences salines blanchâtres : "SelBlanc"
- (3) Croûtes salines moyennement brunes, à structure soufflée : "SelBeige"
- (2) Croûtes salines brunes, à structure soufflée : "SelBrun"
- (5) Croûtes salines fragiles à structure non soufflée, plus ou moins battante : "CroûtLiss"
- (7) Croûte gypseuse épaisse affleurante : "CroûtGyps"
- (6) Croûte gypseuse polygonale de surface et nebkhas à sable gypseux : "Gypse"
- (13) Affleurement de grès à sable et argiles rouges de Mio-Pliocène : "Grès"
- (12) Glacis à surface graveleuse (pseudo-reg) : "Glacis"
- (11) Reg à graviers et cailloux gypso-calcaires : "RegGravier"
- (10) Reg à cailloux et blocs gréseux et gypso-calcaires : "RegPierre"
- (14) Glacis sableux à sable grossier et graviers : "SableGros"C
- (8) Cordons et massifs dunaires à sable fin siliceux : "MassDune"
- (9) Voiles éoliens à sable fin siliceux : "DuneVoil"
- (4) Végétation, eaux de surface, ombres, agglomération ..etc : "Veg+Eau"
- Zones non classées

**Figure2** : Carte des états de surface des sols de la cuvette de Ouargla (Hamdi-Aïssa, 2001).

## **I-5-Classification des sols gypseux**

### **I-5-1-Classification française**

Le classement Français, publié en 1967 (C.P.C.S., 1967) est donné ci-dessous. Il classe les sols en classes, sous-classes, groupes et sous-groupes. Les sols gypsifères sont reconnus au sein du système, comme suit :

Tableau I: les sols gypseux dans la classification française (C.P.C.S., 1967).

Classes	Sous classes	Groupes
Sols calcimagnésiques	Sols gypseux	Sols gypseuxrendziniformes.
Sols isohumiques	Pédoclimatfrais	Sols brunsgypseux Sierozems
Sols hydromorphes	Minérauxpeu Humifères	A redistribution de calcaire et de gypse

Elles sont subdivisées au niveau du sous-groupe en :

- Modal
- A nodules
- A encroûtement ou croûté (une croûte gypseuse).

### **I-5-2-Classification américaine SoilTaxonomy (S.S.S, 2003)**

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

La présence 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 Gypsids comportent cinq grands groupes qui sont :

**Petrogypsids:** Gypsids ayant un horizon petrogypsic ou petrocalcic, dont la limite supérieure est à moins de 100 cm de la surface;

**Natrigypsids:** Autres Gypsids qui possèdent un horizon natric dont la limitesupérieure est à moins de 100 cm de la surface;

**Argigypsids:** Autres Gypsids, qui possèdent un horizon argillic dont la limitesupérieure est à moins de 100 cm de la surface.

**Calcigypsids:** Autres Gypsids, qui possède un horizon calcic dont la limitesupérieure est à moins de 100 cm de la surface;

**Haplogypsids:** AutresGypsids.

### **I-5-3-Classification FAO**

La légende révisée de la carte des sols du monde (F.A.O., 1988) à introduit, deux groupes majeurs :

Les calcisols et les gypsisols :

Les gypsisols, se distinguent par la présence d'un horizon gypsic ou pétrogypsic, les unités des sols gypseux sont comme suite :

- ❖ Pétricgypsisols.Présence d'un horizon petrogypsic à 100 cm de la surface;
- ❖ Calcicgypsisols.Présence d'un horizon calcique;
- ❖ Luvicgypsisols.Présence d'un horizon argilique (accumulation d'argile);
- ❖ Haplicgypsisols.AutresGypsisols.

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, gypsisolonchacks et gypsicKastanozems.

### **I-6-Les accumulations gypseuses**

Les formations pédologiques gypseuses sont situées notamment sur les sols des zone semi- arides et arides, où les précipitations annelles sont inférieure à 250mm, l'accumulation du gypse concerne particulièrement les horizons de surface (Watson, 1985 ; Pouget, 2008).

L'existence du gypse et son accumulation dans le sol sont liées aux variations climatiques ; c'est l'effet d'une alternance des périodes sèches et humides (F.A.O, 1990)

#### **I-6-1- Les formes d'accumulation gypseuse**

Le gypse est trouvé dans le sol dans de différentes formes en fonction des conditions dans lesquelles il précipite (Djili ,2000).On peut distinguer des formes discontinues et des formes continues.



### **I-6-1-1- Les formes discontinues**

#### **I-6-1-1-1- Diffuse**

C'est une forme non visible à l'œil nu (El-fakih et Pouget, 1966).

#### **I-6-1-1-2- Pseudomyceliums**

C'est le résultat de la concentration du gypse dans les pores ou au niveau des racines, sous forme très fine de trainées blanchâtres. Pour différencier la forme gypseuse des formes calcaires il faut utiliser le terme vermiforme (Herrero et al., 1992).

#### **I-6-1-1-3- Pulvérulentes**

Un dépôt issu de la précipitation de très fines particules de gypse secondaire non cohérentes (F.A.O, 1990).

#### **I-6-1-1-4- Amas**

Se présentent comme un assemblage lâche, d'une multitude de très fins cristaux plus ou moins aciculaires et à angles vifs. Le dépôt se fait généralement, sous forme d'amas et leur évolution conduit progressivement à des granules et feuillets mal définis, qui peu à peu s'anastomosent latéralement en s'indurant, pour former l'encroûtement et éventuellement la croûte (Pouget, 1968).

#### **I-6-1-1-5- Nodules:**

Ce sont des amas de dimensions variables, pouvant atteindre la taille d'une petite pomme. Elles ressemblent à des petites poupées de lœss, ils représentent une zone médullaire homogène à structure étoilée avec quelques éléments clastiques. Exposés à l'air, ils deviennent très durs, avec une couleur beige clair (Durand, 1963).

#### **I-6-1-1-6- Racines gypsifères**

Des manchons de gypse plus ou moins cristallisés et indurés se développant autour des racines (El fakih et Pouget, 1966).

### **I-6-1-2- Les formes continues**

#### **I-6-1-2-1- Les encroûtements**

Ce sont des formations dures d'allure plus ou moins scoriacée, se présentant sous l'aspect d'un gré (Durand, 1953). C'est le reste de la formation enrichie en sulfate de calcium et assez compact, se trouvant sous la croûte gypseuse (Bureau et Roederer, 1961). Ces

formations pouvant dépasser 1,50 m d'épaisseur, plus dures à leur partie supérieure qu'à leur base. Ils sont souvent entremêlés de racines pétrifiées et se rencontrent le plus souvent dans des sables. Elles sont toujours situées au-dessus d'une nappe. L'horizon se trouvant en surface ou en profondeur est enrichi en gypse ou seulement consolidé par la nappe (Pouget, 1968).

**I-6-1-2-1- La croûte gypseuse :**

Les croûtes gypseuses sont définies comme des dépôts gypseux endurés et compacts (Watson, 1985).

# **CHAPITRE II:**

## **LES CROÛTES GYPSEUSES**

## Chapitre II: Les croûtes gypseuses

### II-1- Introduction

Selon Watson (1985), les croûtes gypseuses (Figure3) existent dans tous les continents, y compris l'antarctique. La plupart des croûtes du gypse existe dans le Nord d'Afrique, surtout en Algérie (Durand, 1949 ; 1963; Kulke, 1974 ; Horta, 1982 ; Halitim, 1985; Hamdi-Aïssa, 2001; Boumaaraf, 2013; Youcef et al., 2014; Abdesselam et Timechbache, 2016; Youcef, 2016), en Tunisie (Coque, 1955 ; 1962; Le Houerou, 1960 ; Vieillefon, 1976; Watson, 1980; 1988). Elles sont aussi présentes en Egypte (Alice et West ,1983; Aref, 2003), au sud-ouest des USA (Hunt et Mabey, 1966; Reheis, 1987), en Amérique du sud (Risacher, 1978) et en Australie (Chen, 1997).

A cause de la diversité des régions dans lesquelles les croûtes se sont développées, les principales définitions sont (Tir, 2007):

#### II-1-1-La croûte de nappe

Cette croûte se présente comme un encroûtement très induré, compact et impénétrable aux racines. Elle caractérise en général un horizon fortement induré et elle est de fait imperméable aux racines. L'horizon est blanchâtre ou rosâtre, la terre fine est presque inexistante (Pouget, 1968).

#### II-1-2-La croûte zonaire

Cette croûte est définie comme la partie zonée (la plus durcie et souvent superficielle) de formation, généralement désignée par la croûte gypseuse. Les croûtes zonaires existent comme une partie plus dure, pellicule zonée de quelques millimètres (Bureau et Roederer, 1961).



Figure3: croûte gypseuse dans la région de l'Oued Righ (Sahara septentrional) (Boumaaraf, 2013).



### II-1-3- Croûte gypseuse

Elles sont généralement définies comme des accumulations ayant 0,1 m à 5 m d'épaisseur et contenant plus de 15% de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) et au minimum 5% de gypse que la roche mère sous-jacente (Watson, 1985).

Les croûtes gypseuses étudiées par Watson (1985), sont définies comme étant des croûtes de surface, qui ont comme origine une dégradation des accumulations de sub-surface et une dissolution des cristaux de gypse par les eaux météoriques, puis une conservation dans le sol, jusqu'à ce qu'une évaporation ultérieure précipite les sels solubles.

Dans le même contexte, la formation des croûtes gypseuses pédogénétiques en Australie est expliquée par une dissolution des sédiments gypseux parentaux et puis une précipitation sous forme de microcristaux (Chen, 1997). Selon Fromm et *al.* (2005), les croûtes gypseuses (ne dépassant pas les 10 cm) sont très résistantes à l'altération, et la formation de ce matériau microcristallin est expliquée par la pénétration des eaux de surface dans le sol, pas plus de quelques cm et l'ascension capillaire pendant les périodes d'aridité.

### II-1-4- Croûte polygonale

Ces formations sont le résultat de l'apparition en surface des croûtes gypseuses exposées à l'altération (érosion éolienne), son séchage par l'évaporation conduit à la formation des fissures verticales donnant une modèle polygonal (Bureau et Roderer, 1961; Hamdi-Aissa, 2001).

## II.2. Origine des croûtes gypseuses

Plusieurs hypothèses relatives à l'origine des croûtes gypseuses ont été avancées (Coque, 1962; Durand, 1963; Trichet, 1963; Pouget, 1968; Watson, 1979; 1980; Boyadgiev et Sayegh, 1992). Ceci est lié d'après Halitim (1988), aux conditions morpho-géo-climatiques de chaque région d'étude. Pour Ballanca et Néri (1993), la présence d'une source de gypse, la topographie et l'aridité d'un milieu sont les facteurs de formation du gypse et ces accumulations dans le sol.

Pour expliquer l'origine des croûtes gypseuses nous exposerons dans ce qui suit les principales théories ou hypothèses qui ont été avancées pour expliquer l'origine des accumulations gypseuses en général, en mettant l'accent sur l'origine des croûtes gypseuses, objet de notre étude.

### II.2.1. Origine de la nappe phréatique

Cette théorie implique des mouvements Per ascension capillaire à partir de nappes superficielles (Watson, 1979). Selon Halitim (1988), ce processus peut jouer pour trois raisons:

- Une  $E.T.P > P$ , la plus grande partie de l'année;
- Un niveau de la nappe permettant un dépôt de gypse qui est fonction de la texture (Keen, 1931 in Halitim, 1988) et de la température (Polynon, 1957 in Halitim, 1988) et aussi de la composition chimique de cette nappe (Halitim, 1988);
- Une nappe saturée ou proche de la saturation vis-à-vis du gypse.

Dans le même contexte, Pouget (1968) et Dutil (1971), attribuent l'origine des croûtes gypseuses à un niveau plus haut des nappes phréatiques. Selon Pouget (1968), depuis le début du Quaternaire, les niveaux statiques des grands appareils artésiens ayant baissé de plusieurs mètres, il n'y a aucune surprise à trouver d'anciennes formations gypseuses de nappe en des lieux maintenant topographiquement surélevés par rapport aux niveaux actuels des nappes. En effet selon van Breemen et Buurman (2003), les dépôts massifs, laminaires sont dus à l'évaporation des eaux souterraines.

### II.2.2. Origine éolienne

C'est le cas des "lunettes" qui sont le résultat d'une déflation éolienne sur une surface pulvérulente de Sebkha et le dépôt de ce matériau argileux agrégé en pseudo-Sable. C'est aussi le cas des minces croûtes gypseuses de Nebkhas (Pouget, 1980 in Halitim, 1988).

Selon (Durand (1985) cette hypothèse d'origine éolienne paraît à rejeter pour les raisons suivantes :

- Rareté des éléments clastiques et argileux de type smectite dans une région qui en est très pourvue;
- La pureté du minéral;
- La pulvérulence de l'encroûtement qui suggérerait une origine lagunaire.

### II.2.3. Origine lagunaire

C'est le cas des dépôts de sulfate de calcium formés au moment de l'assèchement des lacs par évaporation (Durand, 1959).

L'origine lagunaire paraît à envisager pour expliquer le maintien des croûtes à la surface (Durand, 1958).

En effet, les accumulations gypseuses de la sebkha Mellala (Région de Ouargla) étudiée par Youcef (2016), ont été formées dans un milieu lagunaire, sous des conditions plus humides que celles d'aujourd'hui. La nature des dépôts toujours riches en sulfates de calcium, montre que la surface des eaux était soumise à une forte insolation entraînant une évaporation intense (Figure 4).



Figure4: Croûte gypseuse de la Sebkhha Mellala (Youcef, 2016).

#### II.2.4. Origine colluvionnaire

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

#### II.2.5. Origine biologique

Cette théorie est conditionnée par la richesse des sols en calcaire (F.A.O.,1990). Sous l'influence du gaz carbonique. On obtient la dissolution du carbonate de calcium avec, comme résultat, la formation de bicarbonates( $\text{HCO}_3^-$ ) et la libération du  $\text{Ca}^{++}$ . Ce dernier est responsable de la précipitation des sulfates et la formation du gypse (Pouget,1968 ; Artieda et Herrero, 1996).

#### II.2.6. Origine géologique

Le gypse peut être contenu dans le substrat géologique. Dans les sédiments (Watson, 1979), et les roches comme le granite, le basalte, le marbre (Watson, 1985; 1988). Ce substrat peut alimenter soit le sol qu'il supporte (Carter et Inskeep, 1988), soit les alluvions qui en dérivent (Kadri, 1987).

Parmi les formations géologiques riches en gypse, on retiendra surtout :

- ❖ **Le Trias supérieur (Salifère principal)** : Pendant lequel se sont déposées les couches évaporitiques (Salines, gypseuses, et argileuses excessivement carbonatées). Plus épaisses et volumétriquement les plus importantes de tous les temps, et en particulier des temps mésozoïques sur le Sahara (Buisson et Carnee, 1989).
- ❖ **Le Jurassique moyen** : Le gypse peut être intercalé dans les formations du Jurassique et surtout dans les marnes vertes du bathonien (Kadri, 1987).
- ❖ **Le Crétacé** : Les couches évaporitiques du crétacé, principalement les formations du crétacé supérieur constituent une source continue d'ion calcium (Kadri, 1987).

### II.2.7. Origine Autogénique

Cette formulation définit le sulfate de calcium obtenu par voie d'altération et/ou de réaction chimique (Glazovskaya, 1984; Watson, 1985; Boyadgiev et Verhey, 1996; Chen, 1997) sous l'impulsion des sources d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ . Le bon déroulement de ces cinétiques réactionnelles nécessite la présence des éléments clés suivants (Bonython et King, 1956; Watson, 1985; Ghabouret al., 1996):

- Des conditions de milieu favorables (température-eau-pression) ;
- Des éléments activateurs : les bactéries sulfureuses ;
- Sources de carbonate ;
- Sources de sulfure.

### II-3- Minéralogie des croûtes gypseuses des zones arides

Les travaux de recherche effectués par plusieurs auteurs (Barzanji et Stoops, 1974; Dekkiche, 1976; Watson, 1985; Herrero et Porta, 1987; Gumuzzio et Casas, 1988; Boyadgiev et Sayegh, 1992; Stoops et Poch, 1994) sur la minéralogie des sols gypseux en zones arides montrent que les principaux minéraux (fraction supérieure à 2 mm) rencontrés dans ces sols sont :

- Le gypse secondaire (de néoformation) ou détritique ;
- La calcite micritique ;
- Le quartz.

La présence de minéraux fibreux constitue un caractère, généralement spécifique des sols des zones arides (Halitim, 1985). La palygorskite (ou attapulgite) semble être la plus

caractéristique.

En général, une croûte gypseuse pédogénétique est principalement constituée selon, Chen (1997) de gypse, avec peu de quartz, de minéraux argileux et d'autres minéraux accessoires. Au total, sur près de 100 échantillons prélevés par ce même auteursur différents sites en Australie, la teneur moyenne en gypse est d'environ 82%, allant d'environ 70% à 97%. Le quartz est généralement le deuxième minéral commun, qui estprésent comme du sable et du limon grossier typiquement avec des revêtements rouges (argillans), semblables à ceux des dunes de sable et des plaines de sable proches. L'argile, dont le contenu est principalement <2-3%,seprésente sous forme de revêtements autour des grains de quartz et des cristaux de gypse plus grands (> 0,5 mm), et comme cutans autour des vides.

De même pour Youcef (2016) et Hamdi-Aïssa et al. (2004), les croûtes gypseuses de surface étudiées dans la région de Ouargla sont constituées principalement de Gypse et d'autres minéraux en plus faible pourcentage (Figure5et Figure6).

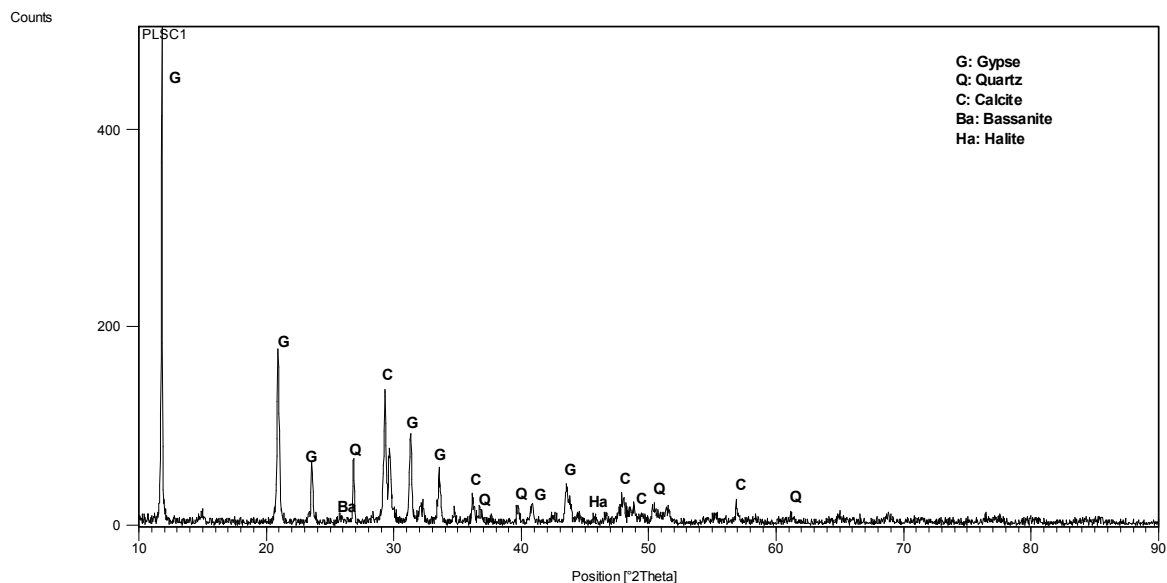


Figure5 :Diffractogramme de rayons X d'une croûte gypseuse de la région de OuarglaYoucef, 2016).

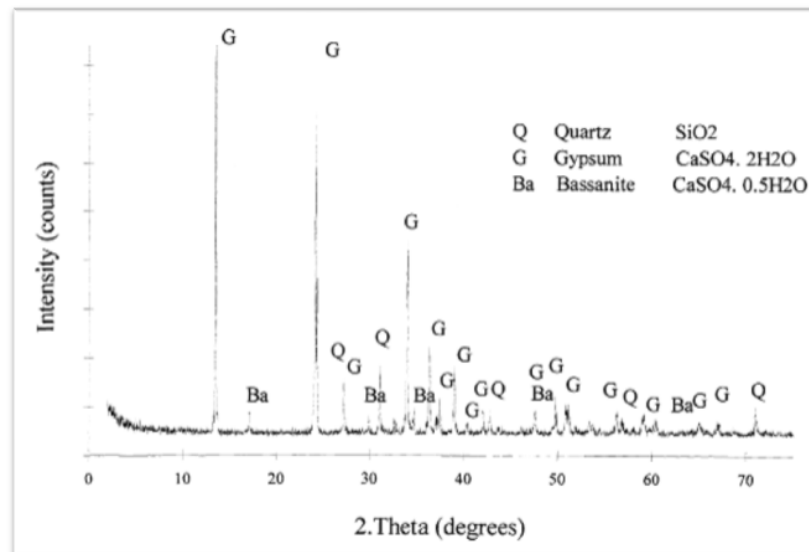


Figure6: Diffractogramme de rayons X d'une croûte gypseuse polygonale de la région de Ouargla (Hamdi-Aïssa et al., 2004).

**CHAPITRE III:**  
**SYNTHÈSE DE QUELQUES**  
**TRAVAUX SUR LES**  
**CROÛTES GYPSEUSES**

### Chapitre III: Synthèse de quelques travaux sur les croûtes gypseuses

#### III-1-Introduction

Dans cette partie, nous avons essayé de prendre des exemples de travaux qui ont eu comme objectif l'étude des croûtes gypseuses et de leur origine. Ces études ont été réalisées dans des régions sahariennes. Une synthèse de ces résultats a été faite pour compléter notre étude bibliographique sur les croûtes gypseuses.

#### III-2-Données analytiques de quelques travaux sur les croûtes gypseuses

Nous avons choisis trois régions à savoir:

- ❖ La région de Biskra (Abdesselam et Timechbache, 2016);
- ❖ La région de Ouargla (Youcef, 2016);
- ❖ La région de Touggourt (Boumaaraf, 2013).

Les résultats du dosage du gypse et du calcaire, ainsi que les épaisseurs de ces croûtes sont présentés au niveau du Tableau II.

Tableau II: Epaisseur, taux de gypse et taux de calcaire pour des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.

Echantillon	Epaisseur (cm)	% Gypse	% CaCO <sub>3</sub>	Région d'étude	Référence
CG1	170	74,4	6,4	Biskra (Algérie)	Abdesselam et Timechbache, 2016
CG 2	47	65,03	2,2		
CG 3	147	61,23	1,3		
CG 4	70	71,99	8,4		
CG 5	165	67,96	7,5		
CG 6	80	69,96	0,8		
CG 7	100	72,48	6		
CG 8	70	66,77	3,6		
CG 9	77	67,71	2,6		
CG 10	93	65,99	3,5		
CG 11	100	72,84	6,1		
CG 12	150	77,98	2,73	Ouargla (Algérie)	Youcef, 2016
CG 13	100	70,09	11,89		
CG 14	85	67,45	17,33		
CG 15	112	79,94	5,30		
CG 16	18	70,84	2,13		
CG 17	50	77,86	0,30		
CG 18	62	43,77	1,04		
CG 19	17	20,63	0,01		
CG 20	111	68,67	2,19		
CG 21	141	58,17	0,71		
CG 22	145	73,26	0,67		



CG 23	24	60,23	4,89	Touggourt	Boumaaraf, 2013
CG 24	60	67,34	0,20		
CG 25	80	82,63	0,42		
CG 26	40	57,41	1,6		
CG 27	35	29,38	3,1		
CG 28	45	69,6	0,86		

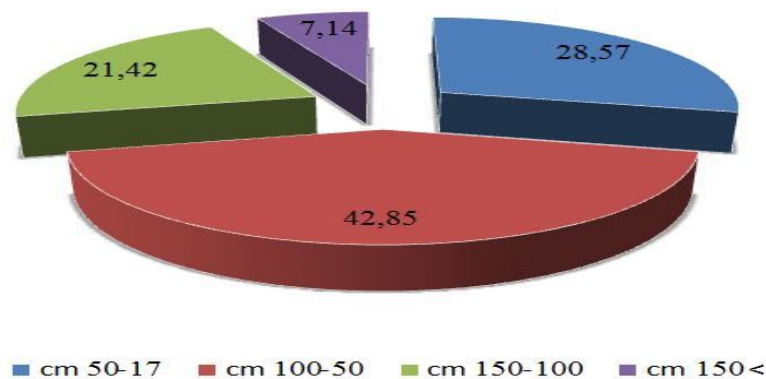
### III-2-1-Analyse des données

#### III-2-1-1-Epaisseur des croûtes

A partir du tableau II, nous observons que les profondeurs des croûtes gypseuses varient entre 17 et 170 cm.

La figure7 Nous montre que 42,85% des croûtes gypseuses ont des épaisseurs entre 51 et 100 cm. Ces épaisseurs sont très importantes et signifient que la formation de ces croûtes a exigée certainement selon Youcef (2016) des quantités importantes d'eau chargée en ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ .

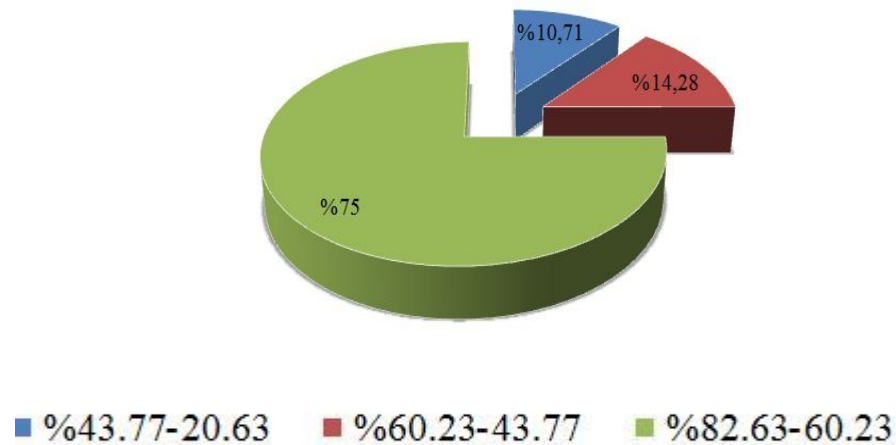
Du point de vue mise en valeur ces croûtes constituent donc un véritable problème pour le développement des arbres en milieu aride et en particulier de la culture la plus importante au Sahara qui est le palmier dattier.



**Figure7:**Epaisseurs des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.

#### III-2-1-2-Taux du gypse

Les taux de gypse sont très élevés au niveau de ces croûtes gypseuses (tableau II).A partir de la figure8, nous pouvons constater que 75% des croûtes gypseuses ont des valeurs variant entre 60,23 et 82,63%, contre seulement 10,71 et 14,28% qui présentent des valeurs variant respectivement entre 20,63 et 43,77% et entre 43,77 à 60,23%.



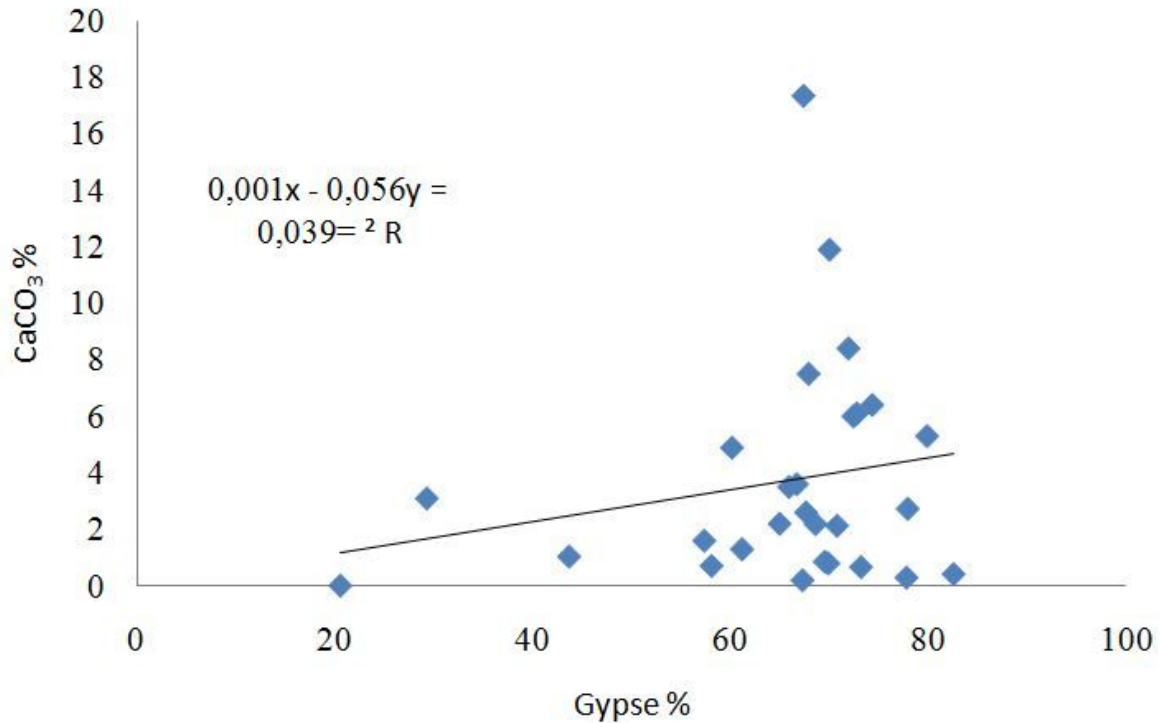
**Figure8 :** Taux du gypse au niveau des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.

### III-2-1-3-Relation entre le gypse et le calcaire

A partir du tableau II, nous pouvons observés que le taux de calcaire est faible au niveau des croûtes gypseuses. Il varie dans la plupart des cas entre 0.01 et 8,4%, sauf pour deux croûtes gypseuses ayant des valeurs de 11, 89 et 17,33%.

La relation entre le taux de gypse et celui du calcaire dans les croûtes gypseuses est représentée graphiquement, par une courbe de régression linéaire (Figure9), qui montre une faible corrélation positive ( $r = 0,19$ ).

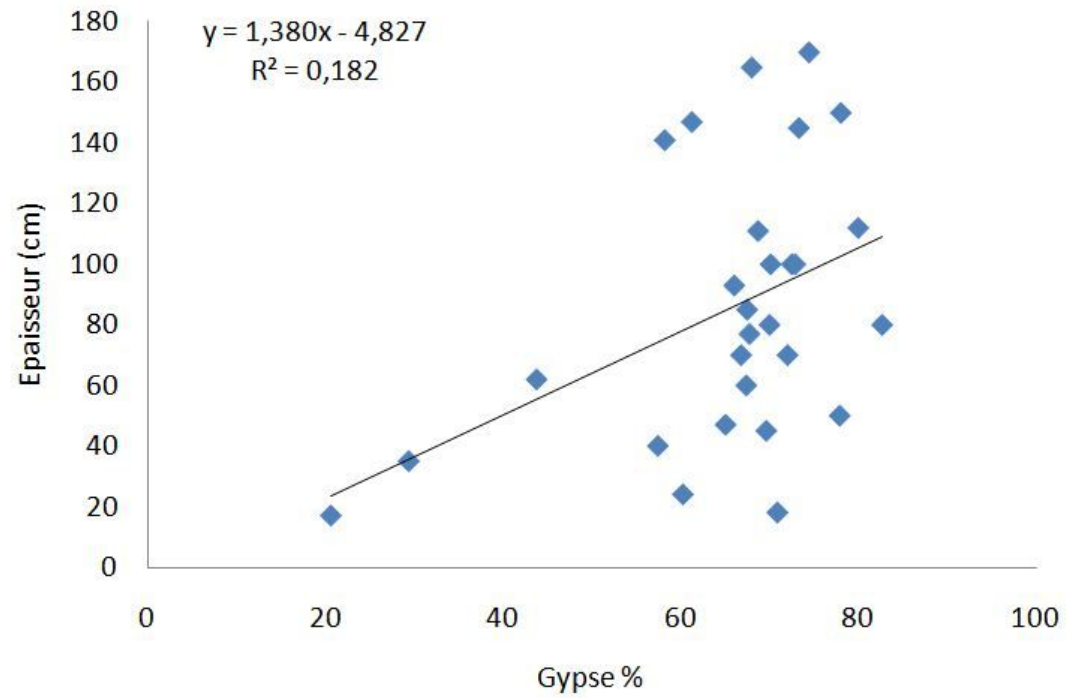
Ce résultat est en accord avec des études précédentes (Boyadgiev, 1974; Baci, 1984 ; F.A.O, 1990; Florea et Al-Joumaa, 1998;Hamdi-Aïssa, 2001; Youcef, 2016). Ceci est expliqué par Watson (1988) par le fait que l'aggradation du gypse et du calcaire exige d'une façon ou d'une autre des conditions géochimiques plus ou moins antagonistes.



**Figure9:**Relation entre le gypse et le calcaire pour des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.

#### III-2-1-4-Relation entre le taux du gypse et l'épaisseur des croûtes gypseuses

La relation entre le taux de gypse et l'épaisseur des croûtes gypseuses est représentée au niveau de la figure 10 qui montre une corrélation positive ( $r = 0,42$ ) entre ces deux paramètres.



**Figure10:**Relation entre le taux du gypse et l'épaisseur des croûtes gypseuses dans les régions de Ouargla, Biskra et Touggourt.

## **CHAPITRE VI:**

# **ETUDE MORPHOLOGIQUE ET ANALYTIQUE D'UNE CROÛTE GYPSEUSE (RÉGION DE OUARGLA)**

## **Chapitre VI: Etude morphologique et analytique d'une croûte gypseuse (Région de Ouargla)**

### **VI-1-Introduction**

Nous avons complété ce travail par une caractérisation morpho-analytique et une description microscopique sous la loupe binoculaire d'une croûte gypseuse située à Bour El-Haicha (Région de Ouargla) (Figure 11).

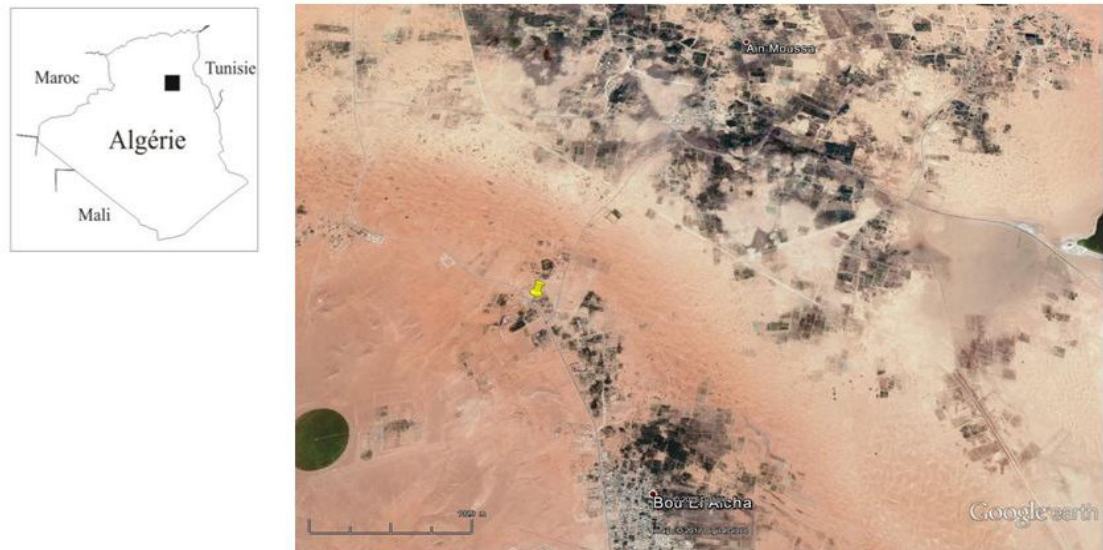
### **VI-2-Région d'étude**

La région de Ouargla est située au nord-Est du Sahara septentrional. Elle s'étend sur une superficie de 163,233 Km<sup>2</sup> (khadraoui, 2006). Les communes qui font partie de la région de Ouargla sont : Ouargla, N'goussa, Rouissat, Ain El Beida, Sidi Khouiled (D.P.A.T, 2012).

Les formations géologiques de la région de Ouargla contiennent, en plus de la nappe superficielle, deux grands ensembles aquifères du Sahara septentrional, qui sont le continental intercalaire (CT) et le complexe terminal (CT) (khadraoui, 2006; Idder, 2007).

Le climat du pays de Ouargla est un climat particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par la température élevée en été et par la faiblesse des précipitations. Mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air (Rouvillois-Brigol, 1975).

Les sols de la zone aride de l'Algérie présentent une grande hétérogénéité et ils se composent essentiellement des sols minéraux bruts, des sols halomorphes et des sols hydromorphes (Halitim, 1988). La région de Ouargla se caractérise par des sols légers, à prédominance sableuse et une structure particulière. Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une bonne aération et une forte salinité. On distingue trois types de sol qui sont les sols salsodiques, sols hydromorphes et sols minéral brut (Halilat, 1993).



**Figure11:** localisation de la région d'étude (Google earth, 2017).

La géologie de la région se caractérise par des formations sédimentaires qui se sont accumulées dans la région avec le temps, notamment le continental intercalaire qui est constitué d'une série gréseuse dont l'épaisseur atteint les 200m. Cette série détritique forme un important aquifère de 400 m, reposant par un substratum correspondant à la série imperméable du cénomanien anhydrique et argileux (A.N.R.H, 2008). Le Quaternaire, se caractérise par des affleurements d'alluvions récents et des dépôts sableux (A.N.R.H. 2008).

### VI-3-Matériel et méthodes

Le choix du site d'étude a été effectué en se basant sur les travaux antérieurs (Hamdi-Aïssa, 2001; Youcef, 2016). La croûte gypseuse étudiée (Figure11) est située à Bour El Haicha (32°2'12,38"N, 5°19'18,35"E) (Région de Ouargla).

Avant de passer au laboratoire une description morphologique de cette croûte gypseuse a été faite sur terrain. Un échantillon a été prélevé pour réaliser les analyses physico-chimiques. Le calcaire total a été déterminé selon la méthode du calcimètre de Bernard qui se base sur la décomposition de carbonates de calcium par l'acide chlorhydrique et la mesure de volume de gaz carbonique dégagé lors de cette réaction (Aubert, 1978). La méthode proposée par Coutinet (1965) a été suivie pour le dosage du gypse dont le principe est basé sur le dosage des ions  $\text{SO}_4^{2-}$  libérés après une attaque aux carbonates d'ammonium et une précipitation avec le chlorure de baryum. La conductivité électrique (CE) est mesurée sur l'extrait dont le rapport sol/eau est de 1/5. Elle a été déterminée par un conductimètre en (ds/m), elle permet l'estimation de la teneur en sels dissous dans la solution du sol (Aubert,

1978; Afnor, 1999). Le pH est mesuré au pH-mètre sur des extraits de rapport terre/eau = 1/5, il exprime la concentration des ions  $H^+$  libres dans la solution du sol (Afnor, 1999).

Une observation par la loupe binoculaire a été aussi réalisée pour la description microscopique de cette croûte gypseuse.

#### **VI-4-Résultats et discussion**

##### **VI-4-1-Description morphologique de la croûte gypseuse sur terrain**

Il s'agit d'une croûte gypseuse de 62 cm, de couleur 7,5 YR 8/2 (Pinkish white), non effervescente à l'HCl (Figure 12). Elle est caractérisée par un état sec et une structure massive. Nous avons observés l'existence de manchons de gypse au niveau de cette croûte.

Les croûtes gypseuses sont très fréquentes dans la région de Bour El Haicha, et elles ont été observées aussi à N'Goussa et El-Bour dans la même région par Youcef (2016) et Youcef et al. (2014).

Ces croûtes sont caractérisées par leur épaisseur importante et nous pouvons constater comme il a été cité plus haut, leur existence au niveau de plusieurs régions sahariennes comme celle de l'Oued Righ (Boumaaraf, 2013), dans la région de Biskra (Tir, 2007; Abdesselam et Timechbache, 2016), dans la région du Souf et dans la région de Ouargla (Hamdi-Aïssa, 2001; Daddi-Bouhoun, 2010; Youcef, 2016).

L'existence des manchons de gypse au niveau des croûtes gypseuses a été signalée aussi par Khechai et Daoud (2016) dans les Zibans, par Youcef (2016) dans la région de Ouargla et par Aref (2003) au niveau des oasis du Fayaum en Egypt.



**Figure12:** Croûte gypseuse étudiée (Bour El-Haïcha, Ouargla).



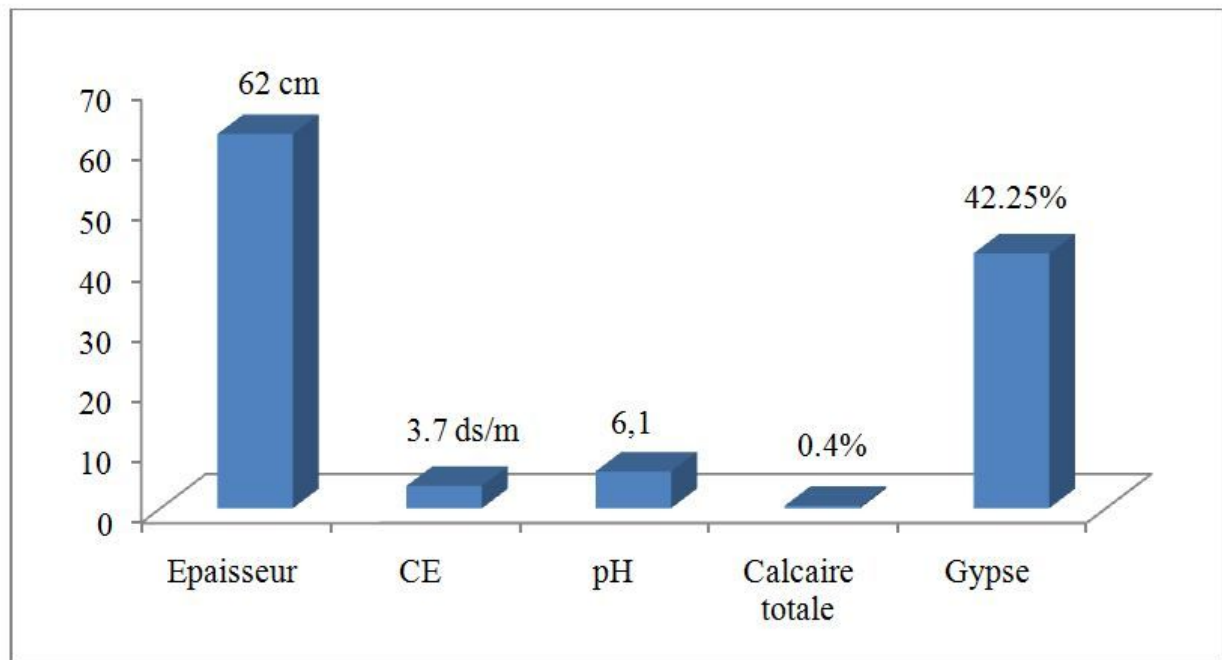
### VI-4-2-Résultats analytiques

Les résultats de la caractérisation analytique de la croûte gypseuse sont présentés au niveau du tableau III et de la figure13.

La croûte gypseuse étudiée est caractérisée par une teneur en gypse de 42,25% ce qui signifie qu'elle est extrêmement gypseuse. La teneur en calcaire est par contre très faible de l'ordre de 0,4% indiquant une couche non calcaire. Quant à la conductivité électrique, elle est égale à 3,7 dS/m, et signifie que cette croûte est très salée. Le pH indique que notre échantillon est légèrement acide.

Tableau III : Données physico-chimiques de la croûte gypseuse étudiée.

Epaisseur (cm)	62
CE (dS/m) à 25 °C	3,7
pH	6,1
Calcaire totale %	0,4
Gypse %	42,25



**Figure13:** Résultats de la caractérisation analytique de la croûte gypseuse.

### VI-4-3-Description morphoscopique

L'étude morphoscopique d'un échantillon de croûte gypseuse (Figure 14) nous montre un minéral de couleur blanchâtre qui est le gypse constituée par des microcristaux, avec l'existence de grains de quartz noyés à l'intérieur de cette croûte.

Ceci confirme les travaux sur la minéralogie des croûtes gypseuses que nous avons cités au niveau du deuxième chapitre, qui admettent que ces accumulations gypseuses sont constituées principalement du gypse à côté du quartz et d'autres minéraux.



Figure14: Morphoscopie d'une croûte gypseuse (Grossissement X 20).

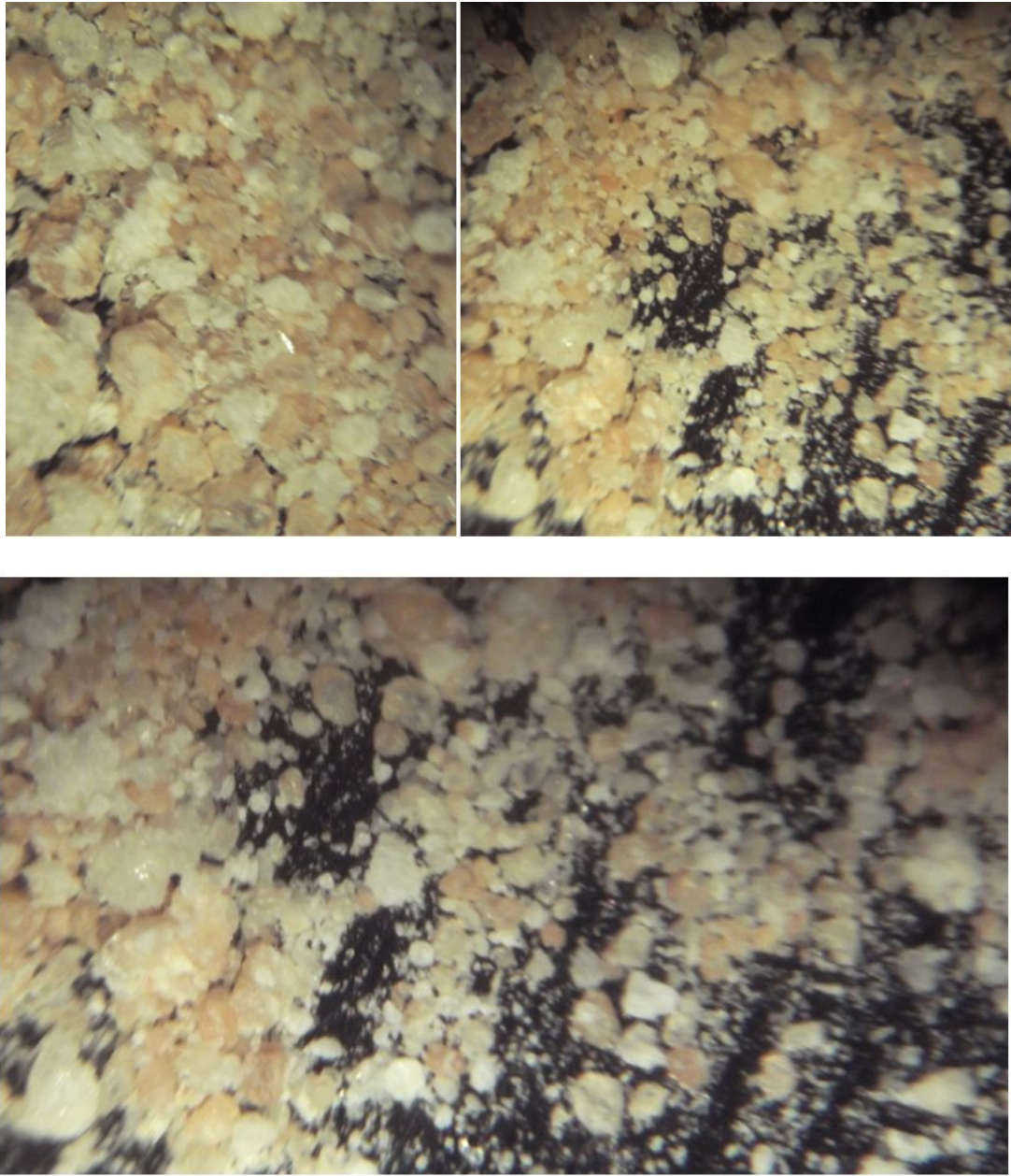
Pour mieux caractériser la morphoscopie de cette croûte gypseuse dure, nous avons essayé de broyer délicatement un échantillon de cette dernière pour l'observer sous la loupe binoculaire (Figure14).

Cette observation confirme l'étape précédente et montre du gypse de couleur blanchâtre et des grains de quartz de forme sub-arrondie.

#### **VI-4-4-Origine de la croûte gypseuse**

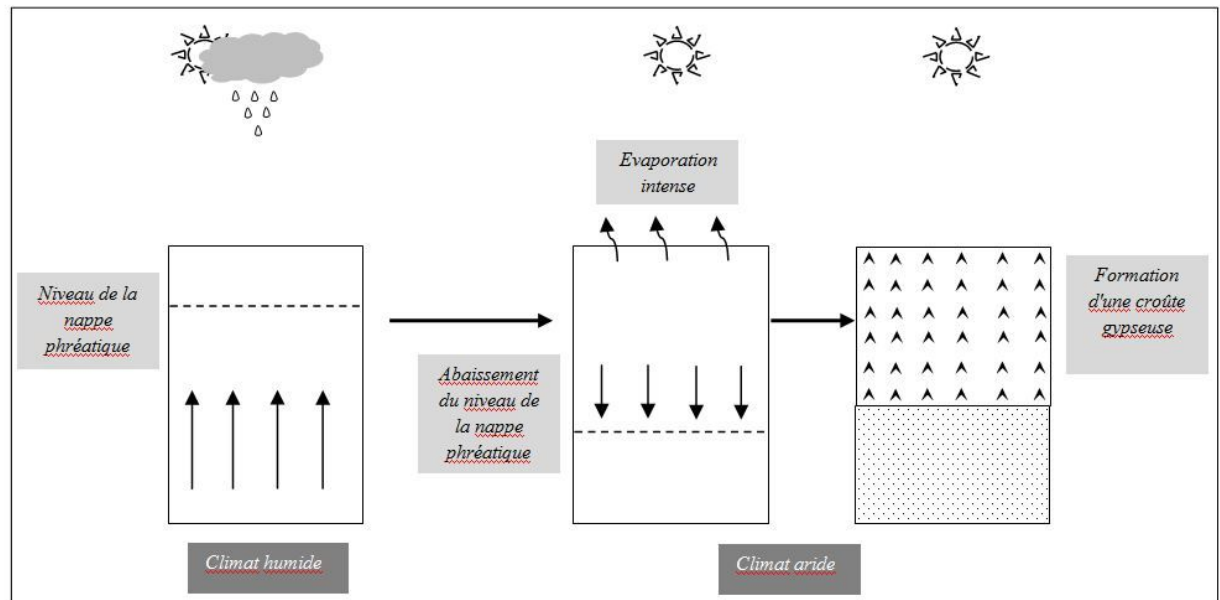
Le gypse est un minéral très fréquent dans les sols des régions arides et semi-arides, ce qui est lié à sa solubilité (Porta, 1998). En effet, c'est l'équilibre du lessivage par rapport à l'évaporation qui favorise l'accumulation et la persistance de gypse dans les sols ayant des régimes d'humidité arides ou xériques (Casby-Horton et al., 2015).

La croûte étudiée est très dure et elle est formée de gypse microcristallin. Elle ressemble aux croûtes étudiées par Youcef (2016), qui a attribué leur origine à un niveau plus élevé de la nappe phréatique, vu leur épaisseur très importante qui a nécessité sûrement des quantités importantes d'eau et une nappe d'eau proche de la surface pour véhiculer cette quantité énorme de gypse, puis une évaporation très intense pour permettre la consolidation de ces croûtes gypseuses. Le schéma de la figure16, nous montre les étapes et les conditions climatiques et environnementales qui ont conduit à la formation de ces accumulations de gypse.



**Figure15:**Morphoscopie détaillée d'une croûte gypseuse (Grossissement X 20).

La région d'étude (Ouargla) est caractérisée par un climat hyperaride (faibles précipitations et températures élevées) ce qui est un climat favorable pour la préservation de telle accumulation de gypse qui sont les croûtes gypseuses.



**Figure16:** Formation des croûtes gypseuses de surface (Youcef, 2016).

# CONCLUSION

## **Conclusion**

A travers cette étude sur (les croûtes gypseuses de surface des sols des régions sahariennes), nous avons essayé de présenter l'essentiel sur les propriétés et les caractéristiques des sols gypseux en général et des croûtes gypseuses en particulier. Au terme de cette étude, nous pouvons conclure ce qui suit:

- Les sols gypseux sont largement répandus dans les régions arides et semi-arides, où les roches mères, les sédiments gypseux sont fréquents, et la pluviométrie est insuffisante.
- Les sols gypseux présentent des caractéristiques physiques (structure, texture, porosité, et leur relation avec l'eau), chimique (pH, CE, CEC) et relation gypse-calcaire, ces propriétés dépendent largement de la teneur en gypse et de la position de la croûte gypseuse dans le profil;
- Le gypse a un effet favorable sur les propriétés fonctionnelles des sols et la croissance des plantes : très argileux et très dispersés, sols sodiques et sols acides;
- Leur répartition dans le monde : surface totale est estimée de 707.000 km<sup>2</sup>. En Algérie, les sols gypseux occupent une superficie de 7966,3 Km<sup>2</sup> et d'un pourcentage de 3,3% de la surface totale de pays et dans la région de Ouargla : s'étendent sur une superficie d'environ 4578 ha, ce qui représente 19 % de la superficie de la cuvette.
- La classification des sols gypseux: CPCS (1967) et FAO(1990).
- L'existence du gypse et son accumulation dans le sol sont liées aux conditions climatiques, on peut trouver les différentes formes des accumulations du gypse: Les formes discontinues (Diffuse, Pseudomyceliums, Pulvérulentes, Amas, Nodules, Racines gypsifères) et les formes continues (Les encroûtements, La croûte gypseuse);
- Les origines des croûtes gypseuses : (origine de la nappe phréatique, lagunaire, Biologique ...)
- D'après des exemples de travaux qui ont eu comme objectif l'étude des croûtes gypseuses et de leur origine dans des régions sahariennes, nous avons constaté que ces croûtes ont des épaisseurs importantes avec des taux de gypse très élevés.
- La croûte gypseuse étudiée dans la région de Ouargla avec une épaisseur de 62 cm et un taux de gypse de 42,25% montre une morphoscopie avec des cristaux de gypse microcristallins et à une origine liée à une nappe plus élevée de la nappe phréatique.

RÉFÉRENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES

**Abdesselam S, Timechbache M. 2016.,** Sur La Nature Et L'Origine De La Croute Gypseuse Dite « Deb Deb» Dans Les Palmerais De L'Ouest Des Ziban.

**Abdesselam S., 1999.** Contribution à l'étude des sols gypseux au Nord-Est du Sahara Algérien : Caractérisation et Genèse. Cas des oasis de Tolga (Région des Zibans). Thèse Mag., I.N.A., El-Harrach, 147p.

**Afnor, 1999.** Qualité des sols. Ed. AFNOR. Vol.1, Paris, 565p.

**Ali Y.A., West I; 1983.** Relationship of modern Gypsum nodules in sabkha of loess to composition of brines and sediments in Northern Egypt. Journal of sedimentary petrology, 53. PP.1151-68.

**Al-Mukhtar AD., 1987.** Mapping and microscopic investigation of the gypsiferous soils in the Dour and Jezira area of Iraq. Ph.D. Thesis, RUG. pp1151- 1168

**Artieda O., Herrero J., 1996.** Soils with gypsum. in the central Ebro Valley, Spain. Proc. International Symposium on soils with Gypsum. Llída, Catalonia, Spain, Field trip guidebook, pp:1-103.

**Aubret, G. 1978.** Méthodes d'analyse des sols. Ed. C.R.D.P. Marseille, 191p.

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

**Barzanji A.F., Stoops G., 1974.** Fabric and mineralogy of gypsum accumulation in some soils of Iraq. Proc. 10th Int. Congress of science (Moscow) volume VII. pp: 271-277.

**Batra L., Kumar A., Manna M.C., Chabra R., 1997.** Microbiological and chemical amelioration of alkaline soil by growing Karnal grass and gypsum application. Experimental Agriculture. 33.4, pp: 389- 397.

**Bellanca A et Neri., 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 à accumulations gypso- calcaires de la région d'Ain Ben Noui (Biskra). Annales de INA El Harrach- vo 1. 20, N° 1 et 2, 7p.

**Bini C., Ristori G.G., 1987.** Microstructure of soils developed on Gypsic-clay rocks in Northern Apennines (Italy). Micromorphologie des sols: Soil Micromorphology, pp: 481-485.



- Bonython C.W., King D., 1956.** The occurrence of native Sulphur at lake Eyre.
- 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., T. G. 1974.** Contribution to the knowledge of gypsiferous soils. The Euphrates pilot irrigation projet, Raqqa. Dossier, A.G.O.N. /SF, Syr .67, 522, FAO-Rome.
- Boyadjiev T.G., Sayegh, 1992.** Forms of gypsum in arid soils and soil parent materials. Pédologie, XL II -2. pp 171-182.
- Boyadjiev T.G., Verheye W.H., 1996.** Contribution to a utilitarian classification of gypsiferous soils. Geoderma, 74. pp: 321-338.
- Buisson G., Carnee A., 1989-** Quelques données sur les antécédents climatiques du Sahara : la désignation des couches détritiques rouges et évaporites du Trias du Lias Dogger. In Bull. Soc. Scie. Fr. IV N°1, pp : 3-11.
- C.P.C.S., 1967.** Classification des sols. Laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A, Paris. Grignon, 87 p. IN management gypsiferous soils.
- Carter B.J., Inskeep W.P., 1988-** Accumulation of pedogenic gypsum in Western Oklahoma soils. Soil. Soc. Am. J. 52 :1107-1113. Comportement des sols. Thèse doctorat, Uni .Rennes, 384p.
- Coque R., 1962.** La Tunisie pre-saharienne. Etude géomorphologie Arm Colin Ed, Paris. Thèse d'état. 488p.
- Coutinet S., 1965.** Méthodes d'analyse utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Agronomie Tropicale, Paris 12 pp 1242-1253.
- D.P.A.T., 2012.** Direction de Planification et de l'Aménagement du Territoire.
- 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.
- Dekkiche B., 1976.** Notes Sur quelques sols à accumulation de gypse dans Hodna.
- Djili K., 2000.** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie.
- Durand JH., 1949.** Formation de la croûte gypseuse du Souf (Sahara). Compte rendu sommaire des sciences de la société géologique de France, 13-pp, 303-305.

- Durand JH., 1953.** Etude géologique, hydrogéologique et pédologiques des croûtes en Algérie S.E.S Alger, 209p.
- Durand JH., 1963.** Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie, formation et âge. Bull. Soc. Géol., Fr (7), pp : 959-958.
- Durand, J.H. 1959.** Les sols rouges et les croûtes en Algérie. S.E.S. Alger, 187p.
- Eckardt FD. Spiro B., 1999.** The origin of sulphur in gypsum and dissolved sulphate in the Central Namib Desert, Namibia. Sedimentary Geology. Volume 123, issues 3-4, pp 255- 273.
- El-fakih, M. Pouget, M. 1966.** Les sols des oasis anciennes du sud Tunisien. Confér. Sols Méditerranéens. Madrid: 35-45.
- Eswaren H., Gong Z.T., 1991.** Properties, genesis, Classification and distribution of soils with gypsum in Nettleton. w.d. Et al 1991. Properties, characteristics, genesis of carbonate gypsum and silica. Accumulation in soils. Spec. Pub, n 26. Madison Pp: 89-119. SSSA
- F.A.O., 1990.** Management of gypsiferous soils. Bulletin n°62, F.A.O Rome, 81p
- F.A.O, 1988.** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin d'irrigation et de drainage, 29 Revel, 181 p.
- F.A.O, 1998.** Guide to efficient plant nutrient management, land and water development division. Rome
- Farina M.P.W., Channon P ET Thibaud G.K., 2000:** A comparison of strategies for ameliorating sub soil acidity II, long-term soil effects. Soil. Sci. Soc. Am. J n° 64, pp: 625- 658.
- Florea N., AlJoumaa KH. 1998.** Genesis and classification of gypsiferous soils of the middle Euphrates floodplain. Syria. Geoderma, volume 87. Issue 1-2, pp 67-85.
- Ghabour Th.K., El-taweel M.A., 1996.** Impact of some factors on gypsum crystallization in soils under experimental conditions. Proc. Int. Symposium on soil with gypsum. Lleida, Catalonia. Spain.
- Gumuzzio J., Casas J., 1988.** Accumulation of salts and gypsum in soil of the central region. Spain. Cah ORSTOM, séripédol. Vol XX IV, n°3 : 215-226.
- Halilat M.T., 1993.** Etude de la fertilisation azotée et potassique sur blé dur (variété Aldura) en zones sahariennes (Région de Ouargla), Thèse de magister, INESA, Batna, 130 p

**Halitim A et Robert M., 1987 :** Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentations. In Fedoroff ET al (Ed): soil micro morphology. Afes, pp: 179 – 186.

**Halitim A Robert M. Berrier J. 1983.** Etude expérimentale de l'interaction de la calcite et du gypse avec la montmorillonite.

**Halitim A., 1985.** Contribution à l'étude des sols aride (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans les genèses et le comportement des sols. Thèse Univ Rennes. 384p.

**Halilat.A.M. 1988-** Les sols des régions arides d'algérie.Ed.O.P.O. O Alger.385p.

**Hamdi-Aïssa, B. 2001.** Le fonctionnement actuel et passé des sols du nord Sahara (cuvette d'Ouargla). Approche macromorphologique, géochimiques et minéralogique et organisation spatiale. Thèse de docte, Institut National Agronomique, Paris, Grignon, 307p.

**Hamdi-Aïssa. B. Djili. B. Messen. N. Hacini. M. Gaouar. A. Youcef-Ettoumi. F.2004.** Application de l'approche paléo pédologique pour la datation relative des événements paléoclimatique, pp 40-22. In. CRSTRA. EUR-OPA ETUniversité de OuarglaEd

**Herrero J., Porta J., 1987.**Gypsiferous soils in the North- East of Spain. In Fédoroff et al. (Ed) : « Soilmicromorphology », AFES-Plaisir, France, pp 187-19 2.

**HerreoJ., Porta J., 1987.** Gypsiferous soils in the North- East of Spain. In soil micromorphology (Ed: FEDOROFF N., DRIESSON L.M and Courty M.A). pp: 178-172. AFES Paris.

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

**Herrero J., Porta. 2000.** The terminology and concepts of gypsum rich soils. Geoderma 96. pp: 47-61.

**Horta DE OS., 1982-**Calcrete, gypcrete and soil classification in Algeria. Engineering geology, 15, pp: 15-52.

**Hunt C.B., Mabey D.R., 1966.** Stratigraphy and structure. Death Valley California. United Statesgeological Survey. Professional papier. 494p.

**Idder T. 2007.** Les problèmes des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sécheresse vol. 18. N 3. Pp161-167.

- Jafarzadah A.A., Zinc J.A., 2000.** Worldwide distribution and sustainable management of soils with gypsum. pp: 1-6.
- Kadri A., 1987.** Pédologie des milieux gypseux. D.E.A. Fac des sciences de Tunis.171p.
- Khademi H., ET Mermut A.R., 2003.** Micromorphology and classification of aridis and associated gypsiferous arid soils from central Iran. Science direct catena. Pp: 1-14.
- Khadraoui A., 1999.** Etude des nappes phréatiques nuisibles dans les zones agricoles et urbaines au Sahara septentrional, A.N.R.H, Ouargla, 10 p.
- Khadraoui, A. 2006.** Eaux et sols en Algérie. Ed. Alger .392p.
- Kulke H., 1974.** Zurgéologie and Minéralogie der kalk and gipskrusten Algériens. Geologichan, 63, pp : 970-78.
- Le Houerou N.H., 1960.** Contribution à l'étude des sols Tunisien Agron., 11,3, pp : 241-308.
- Madani, D.2008.** Relation entre couvert végétal et les conditions édaphique en zone à déficit hydrique. Mém. Agr. Univ. De Batna, 165p.
- Mashali A., 1995.** Soils mangements practices gypsiferous soils. Water and land development Division. Workshop on Management of Gypsiferous- Damascus, Syria, pp: 1-21.
- Mashali A.M., 1996.** Soil management practices for gypsiferous soils. International symposium with gypsum. Leida. Spain, pp: 34-51
- Mashali A.M., 1993.** Management practices for gypsiferous soils under irrigated condition. Proceeding int. World classification and management of Arid Desert Soils. Uramiqi, Chima.
- Ouamer, A.K. 2008.** Contribution à l'étude des sols gypseux d'Algérie : Valorisation d'une banque de données et détermination des profils de références. Mém.Ing., El-Harrach, 155p.
- Poch R.M, 1996.** Proceeding of the international symposium on soils with Gypsum Catalonia. Spain. Inter soil. Sci. Society. 52 p.
- Porta J., 1998.** Methodologies for analysis and characterization of gypsum in soils: A review Geoderma 87: pp: 31-46.
- Pouget M. 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud -Algéroises. Trav.et Doc. ORSTOM, 116-555p.

- Pouget, M. 1968.** Contribution à l'étude des croûtes et encroûtement gypseux de nappe dans le sud tunisien. Cah. O.R.S.T.O.M, séripédol, Vol n° 3-4 : 310-365.
- Pouget M., 1995.** Les gypsisols. Ed. I.N.R.A. Référentiel pédologique française, 6ème version, 332p.
- Pouget, M. 2008.** Les Gypsosols. Ed. Quae., in Baize, D. Référentiel pédologique. 9ème version, 196-198p.
- Quelet R., 1964.** Précis de chimie. Tome II. Chimie Minérale. Ed. Presses Universitaires de Paris.253p.
- Rosen MR., Warren JK., 1990** – The origin and significance of groundwater- seepage gypsum from Bristol Dry Lake, California, USA. *Sedimentology* 37, pp 983- 996.
- Rouvillois-Brigol, M. 1975.**Le pays d'Ouargla, variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Pub. Univ. Sorbonne, Paris. Pp: 109-113.
- Soil survey staff(S.S.S). 2003.** Key to soil Taxonomy. Ninth edition. United states department of agriculture. NRCS, 332 p
- Stoops ET Poch, 1994.**Pore space characteristics as indicators of soil behaviour in gypsiferous soils. *Geoderma* Volume 87, Issues 1–2, December 1998, 87–109pp.
- Stoops, G 1974.**Fabric and mineralogy of gypsum accumulations in some soils of Iraq.
- Sumner M.E., 1993.**Gypsum and acid soils: the world science. *Advances in Agronomy*. 51, pp : 1-32.
- Tir C., 2007** Genèse des sols à accumulation gypso- calcaire et salines dans la région de Ain Transactions of the Royal Society of South Australia, 79, pp: 121-130.
- TRICHET j.,1963.**Description d'une forme d'accumulation de gypse par voie éolienne dans le sud tunisien. Bull. Soc. Géol. France. Pp: 617-628.
- Van Alphan J. G., Rios Romero F., 1971.**Gypsiferous soils, Note on their characteristics and management. Bulletin 12. International institute for land reclamation and Improvement wageningen. The nether lands, 44p.
- Ventura F., Darrel N. et Ioriopeza L., 2001.**Soil erosion of an indurated volcanic from the semi-arid area of the Mexico. *Nat. soil. Erosion. Res. Lab. Col* 47. N° 3, pp : 330- 335.

**Vieilleffon J., 1976.** Etude de l'application des phénomènes de déshydratation et réhydratation du sulfate de calcium à l'estimation teneurs en eau et en gypse des sols gypseux. E.S.146.D.R E.S. Tunis 36p.

**Vieilleffon, j.1986.** Marquage isotopique naturel des accumulations gypseuses du sud tunisien. Mission O.R.S.T.O.M enTunisie: 483-485.

**Watson A., 1979.** Gypsum crusts in deserts. Journal of environments 2(1). Oxford, 3.20.

**Watson A., 1980-** Vegetation polygon in the central Namib desert. Madogua Serie, 11-12.

**Watson A., 1988.** Desert gypsum crusts as paler environmental indicators: A micropetrographic study of crusts from, southern Tunisia and Central Namib Desert. Journal of arid environments, pp: 19-42.

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

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

**Youcef F., Hamdi-Aissa B., Bouhadja M., Lamini K., 2014** .Sur l'origine des croûtes gypseuses du SaharaseptentrionalAlgérien : Cas de la région de Ouargla. Vol 4 n 2, 41-49pp.

**Youcef., F .2016.** Contribution à la reconstitution du paléoenvironnement au Sahara septentrional dans les ols des bassins endoréiques, ca de la région e Ouargla.

**Zahow m. f et amerheinc, 1992.** Reclamation of saline soil using synthetic polymers and gypsum soil. Science. Society of America journal.56.4, pp : 1257-1260.