

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences agronomiques
Spécialité : Protection de la ressource Sol Eaux et Environnement

Présenté par : Melle KAIROUANI Djihane

Thème

**Contribution à la caractérisation des sols gypseux
de la région de Ouargla et de Touggourt**

Soutenu publiquement

Le : 20/06/2022

Devant le Jury :

M.	IDDER	Abdelhak	M.C.A.	Président	UKM Ouargla
Mme	YOUCEF	Fouzia	M.C.B.	Encadreur	UKM Ouargla
M.	HAMDI AÏSSA	Baelhadj	Pr.	Co-Encadreur	UKM Ouargla
M.	DJILI	Brahim	M.C.B.	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire :2021 / 2022



Remerciements

*Au terme de ce travail, nous remercions **Allah**, le bon Dieu miséricordieux de nous avoir donné le privilège et la chance d'étudier et nous avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.*

*J'exprime mes profonds remerciements à mon encadreur **Mme. Youcef Fouzia** pour m'avoir proposée ce sujet, m'avoir offert l'opportunité de réaliser ce travail et de bien vouloir accepter de le diriger avec beaucoup de compréhension, et Merci de m'avoir donné la chance de travailler avec elle. Je remercie également mon co-encadreur **Mr. HAMDI-AÏSSA Baelhadj** pour son aide, ses orientations, et ses conseils.*

Nous remercions les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire.

*Je tiens à remercier vivement **Mr. IDDER AbdEl-Hak** pour avoir accepté de présider ce Jury. Je remercie également **Mr. DJILI Brahim**, pour avoir accepté de faire partie de ce jury et d'examiner mon travail.*

*Je remercie l'ensemble du personnel du laboratoire de pédologie, au département des sciences agronomiques, **Melle. Zineb, Mme Bahria et Chahra** et toutes les personnes dans le laboratoire de géologie du centre de recherche au niveau du pôle universitaire 2, **Mr. HACINIM**. et **Mr. GADJA A.** Je n'oublie pas de remercier aussi toutes les personnes du laboratoire de recherche en Bio-géochimie des milieux désertiques.*

*Je remercie également **Mlle Boukarar F., Mlle Gadja H., Mme Helimi S.** et **Mme KACI S.** pour leur aide précieuse.*

*Et à tout le personnel du département des sciences agronomiques surtout le chef de spécialité sol et eau **Mr. KARABI Mokhtar**.*

Enfin je remercie ma famille : mes parents pour leurs soutiens sans faille tout au long de ces années, ainsi que ma sœur et mon frère pour leur soutien affectif et moral.

*Je tiens également à remercier tous ceux et celles qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail et qui m'ont soutenu dans les moments difficiles, **Nour El-imane, Wiam, Khadidja, Amjade, Tasnime**, Merci à tous, Merci aussi pour les bons moments passés ensemble...*

Dédicaces

*Je remercie tout d'abord le bon **Dieu** tout puissant qui m'a donné la force et le courage pour terminer ce travail.*

Je dédie ce modeste travail avec fierté et honneur:

*A l'âme pure de mon **père ABD EL-KADER**, qui m'a quitté. A celui qui a été mon soutien et ma force, à celui qui m'a toujours poussé vers l'avant, m'a encouragé et m'a fourni tout ce dont j'avais besoin pour réussir et exceller dans mes études, à celui qui a voulu être avec moi pendant la période de préparation et la discussion de ce mémoire et partager ma joie avec moi, mais la volonté de Dieu a voulu sans cela. J'espère qu'il est fier de sa grande fille Djihane.*

*Ma chère **maman HOURIA** : qui ne m'a pas jamais quitté un instant avec ses encouragements, son amour, ses conseils et qui me tient et me donne tout ce dont j'ai besoin tout au long de mes études.*

*Ma chère **sœur**: Isra*

Mes chères frères : Mouhamed Azzouz, Hicham

Mon fiancé: Ramzi

Et toute la famille : Kairouani et Boukhtala

Toutes mes chères amies : Nour El-imane, Wiam, Khadidja, Amjade, Tasnime, Nour El-houda, Selma et Asma

Et tous ceux qui me connaissent de près ou de loin, Et qui m'ont donné l'espoir et du courage.

Liste des figures

Chapiter I

Figure I.1 : Carte des états de surface des sols de la cuvette de Ouargla (**Hamdi-Aissa, 2001**)..... 11

Chapiter III

Figure III.1: Localisation géographique de la cuvette de Ouargla (**Google, 2022**) 23

Figure III. 2:Localisation géographique de la région de Touggourt(**Google, 2007.2022**)..... 26

Chapiter IV

Figure IV. 1: Méthodologie de travail31

Chapiter V

Figure V.1: Taux du gypse des échantillons étudiés parla méthode de Coutinet (a) et de la méthode thermogravimétrique (b) 40

Figure V.2: Taux du gypse pour les échantillons des sols légèrement gypseux obtenus avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b) 41

Figure V.3: Taux du gypse pour les échantillons des sols modérément gypseux obtenu avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b) 42

Figure V.4: Taux du gypse pour les échantillons des sols fortement gypseux obtenus avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b) 43

Figure V.5: Taux du gypse pour les échantillons des sols extrêmement gypseux obtenus avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b). 44

Figure V.6:la relation entre la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique 49

Figure V.7: Diffractogramme de rayons X d'un échantillon de gypse cristallisé (région de Ouargla) 50

Figure V.8: Diffractogramme de rayons X de l'échantillon contenant des manchons de gypse (région de Ouargla). 50

Figure V.9: Diffractogramme de rayons X d'un échantillon contenant du gypse (Ouargla) 51

Figure V.10: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°5 52

Figure V.11: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°6.....	52
Figure V.12 : Résultats de la pXRF de l'échantillon N°7.....	53
Figure V.13: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°22.....	54
Figure V.14: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°23.....	54
Figure V.15 : Résultats de la pXRF de l'échantillon N°49.....	55
Figure V.16 : Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode chimique et celui du S (pXRF).....	56
Figure V.17: Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode thermogravimétrique et celui du S (pXRF).....	56
Figure V.18: Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode chimique et celui du Si (pXRF).....	57
Figure V.19 : Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode thermogravimétrique et celui du Si (pXRF).....	57
Figure V.20: Relation entre le S et Si au niveau des échantillons de sols étudiés.	58

Listes des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Distribution des sols gypseux dans le monde (F.A.O, 1990 ; Mashali, 1995) 9

Tableau I.2: les sols gypseux dans la classification française (CPCS, 1967)..... 12

Chapitre III

Tableau III.1 :Donnés climatiques de la région de Ouargla (2011-2020)25

Tableau III. 2:Donnés climatiques de la région de Touggourt (2007-2016)29

Liste des photos

Chapitre IV

- Photo IV.1:** Matériel de méthode du dosage du gypse Coutinet (1965) dans le laboratoire de l'université Kasdi Merbah Ouargla (ITAS).....33
- Photo IV.2 :** Matériel de méthode du dosage du gypse thermogravimétrique par Artieda et *al.*(2006) dans le laboratoire de géologie au niveau de centre de recherche Kasdi Merbah Ouargla..... 34
- Photo IV.3:**Diffraction à rayons X(DRX) 35
- Photo IV.4:** Portable Fluorescence X (pXRF) 37

Chapitre V

- Photo V.6:** A- Sol gypseux, B- Grains de quartz avec du gypse (X20)(Région de Touggourt)..... 45
- Photo V.7:**A- Sol gypseux, B- Gypse à vue agrandie (X20) (Région de Touggourt)..... 46
- Photo V.8:**A- Sol gypseux, B- Accumulation du gypse à vue agrandie (x20) (Région de Touggourt)..... 46
- Photo V.9:** **A-** Des manchons du gypse de différentes tailles. **B-** Vue agrandie (X 20) d'une coupe horizontale d'un manchon du gypse, **C-** Vue agrandie (x20) d'une coupe longitudinale de manchon (Région de Ouargla).....47
- Photo V.10:**A et B- Des barbes du gypse par les deux faces. **C-** Vue agrandie (X 20) de la surface de ces barbes (Région de Ouargla).47

Liste d'abréviation

T MAX: Température maximale (°C)

T MIN: Température minimale (°C)

T MOY: Température moyenne (°C)

V: vitesse de vent (m/s)

H: humidité relative(%)

P: précipitations (mm)

EVP: Evaporation (mm)

INS: Insolation (h)

CE: La conductivité électrique

CEa: la conductivité électrique d'extrait de saturation

CEb: La conductivité électrique de solution claire séparez.

CEC: La capacité d'échange cationique

CEt: Conductivité électrique à un autre moment température.

DE: Dilution extrait DH: La forme de sulfate de calcium en gypse déshydraté ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$)

EC25°: Conductivité électrique à 25 °C

ETDA: La méthode de titrage

F.A.O: Food and Agriculture Organisation

IC: Chromatographie ionique

IR: Infra rouge LOD: Limites de détection

OD: Poids sec au four

PW: Le pourcentage d'eau sur la base de séchage à l'air sol

SE: Extrait de saturation

SH: La forme de sulfate de calcium en gypse semi-hydraté ($\text{CaSO}_4- 1/2\text{H}_2\text{O}$)

Wc: Teneur en eau cristalline dans le gypse.

pXRF: portable X-Ray Fluorescence.

DRX: Diffractométrie à rayon X

ITAS : L'institut de Technologie de l'Agriculture Saharienne

Table des Matières

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

Chapitre I: synthèse bibliographique Généralité sur les sols gypseux

I.Introduction.	4
Définition et dénomination des sols gypseux	4
Gypse.....	4
Sols gypseux	5
Origine du gypse dans sol.....	5
Morphologie cristalline du gypse.....	6
Caractéristiques des sols gypseux	6
Propriétés physiques	6
Texture.....	6
Structure.....	6
Porosité	7
Propriétés chimiques.....	7
pH.	7
Conductivité électrique.....	7
Capacité d'échange cationique.....	7
Répartition des sols gypseux.....	8
Dans le monde.....	8
En Algérie	10
1.5.1 Dans la région d'Ouargla.....	10
Classification de sols gypseux	12
Classification Française	12
Classification Américaine	12

Classification FAO	13
I.7 Conclusion	13

Chapitre II: Les différents méthodes de dosage du gypse

Méthode de dosage de gypse	14
Méthode chimique	14
Méthode par analyse thermo-gravimétrique	18
Méthodes par Analyses minéralogique par diffractométrie à rayons X.....	20
Conclusion	21

Chapitre III :Présentation de la région

Introduction	22
Ouargla.....	22
Cadre géographique	22
Géologie de la région	23
Les sols de la région.....	24
Géomorphologie de la région	24
Hydrogéologie de la région	24
Caractéristiques climatiques	24
Touggourt.....	26
Cadre géographique	26
Topographie de la région.....	27
Géologie de la région	27
Les sols de la région.....	27
Géomorphologie de la région	28
Hydrogéologie de la région	28
Caractéristiques climatiques	28
Conclusion.....	30

Chapitre IV: Matériel et méthodes

Introduction.....	31
Méthodologie de travail	31
Collecte des échantillons.....	32
Dosage du gypse.....	32
Méthode chimique	32
Méthode thermogravimétrique	33
Méthode par diffractométrie à rayons X	35
1. DRX	36
Méthode par Fluorescence X.....	36
IV.3. 4.1. pXRF.....	37
5. Etude morphologique.....	37
Conclusion	38

Chapitre V: Résultats et discussion

V. Introduction	39
Résultats du dosage du gypse	39
Dosage du gypse par la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique	39
1. Taux du gypse en fonction de classes de sols gypseux	40
Dosage du gypse par la méthode Coutinet (1965).....	40
Dosage du gypse par la méthode thermogravimétrique (Artieda et <i>al.</i> , 2006)	47
La corrélation entre la méthode de Coutinet et méthode thermogravimétrique (Artieda et <i>al.</i> , 2006)	48
Résultat analytique de la diffractométrie à rayons X.....	49
diffractométrie à rayons X (DRX)	49
Interprétation	50
Résultat analytique de la fluorescence à rayons X	51
Fluorescence X pXRF	52
Interprétation	52
Relations entre certains éléments	55
Gypse et S.....	56

Gypse et Si.....	57
S et Si.....	58
V. Conclusion.....	58
Conclusion général.....	60
Référence bibliographique.....	61
Annexe	
Résumé	



Introduction générale

Introduction générale

Le gypse est une roche sédimentaire formée de sulfate de calcium hydraté ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). C'est le sulfate le plus répandu dans la nature. 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**). La solubilité du gypse dépend de la composition chimique des solutions aqueuses, la température, la pression et aussi de la taille des cristaux de gypse, elle croit avec la finesse des particules (**F.A.O., 1990 ; Ellorza et al., 1998**). Son système de cristallisation est du type prismatique monoclinique (**Eswaran et Gang, 1991**).

Le gypse est un des facteurs les plus importants dans la différenciation et la caractérisation des sols des zones arides. Il joue un rôle efficace dans la genèse et le fonctionnement des sols (**Kedadra, 1993**). Il est utilisé comme référence pour séparer entre les sels solubles (sels ayant une solubilité supérieure à celle du gypse) et les sels moins solubles (solubilité inférieure à celle du gypse).

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

Les sols gypseux sont des sols qui contiennent des quantités suffisantes de gypse pour affecter la croissance des plantes. Ils sont bien représentés dans des zones sèches où les sources en sulfate de calcium sont disponibles (**F.A.O., 1990**). Ils sont rencontrés dans tous les continents, mais ils caractérisent les zones arides et semi-arides du monde où les roches mères ou les sédiments gypseux sont fréquents et la pluviométrie est insuffisante pour évacuer le gypse des profils (**Abdesselam, 1998**).

Van Alphen et Ramiro (1971), désignent sous le nom de sols gypseux les sols à teneur supérieure à 2 % de gypse, alors que la classification **F.A.O. (1998)** nomme gypsisols les sols à teneur supérieure à 5 % de gypse.

Les sols gypseux se trouvent dans la région de Ouargla, 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**).

Les sols de la vallée d'Oued Righ contiennent de fortes proportions de gypse. La raison principale de cette accumulation dans les sols est due à la précipitation du gypse provenant des sels contenus dans la nappe aquifère et dans les eaux de ruissellement (**Helimi et al., 2018**).

Les sols gypseux 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 et 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**).

La présence de gypse dans le sol, même en petites quantités, est pertinente du point de vue génétique, taxonomique et points de vue appliqués. De plus, ces sols ayant du gypse comme composant principal, déterminer la teneur en gypse dans les sols est essentiel pour comprendre leur comportement(**Lebron et al., 2009**).

Il existe plusieurs méthodes dans la littérature pour quantifier la teneur en gypse des sols.

Ces méthodes peuvent être classées en trois groupes: méthodes chimiques, méthodes thermogravimétriques et techniques aux rayons X (**Frag, 1999**). Les méthodes chimiques humides sont laborieuses et sujettes à des erreurs dues à l'échange de cations(**Skarie et al.,1987 ;Artieda et al., 2006**).

Les méthodes d'acétone, de différence de calcium et de magnésium et de sulfate extrait dilué ne sont pas suffisamment précises. La méthode à l'acétone pourrait être considérée comme la plus fiable mais elle est très longue (**Elprince et Turjoman, 1983**).

Une technique de diffraction des rayons X pour la détermination du gypse (**Weindorf et al., 2014**) présente des problèmes d'orientation préférée du gypse et des répliques nécessaires pour le comptage (**Khan et Webster, 1968**).

Les méthodes basées sur la perte d'eau cristalline du gypse, ne reposent pas sur les déterminations de SO_4 et estiment ainsi la teneur en gypse sans interférence par minéraux sulfatés contenus dans l'échantillon de sol. Les méthodes thermogravimétriques du gypse reposent sur la mesure de la teneur en eau cristalline du gypse (**Hesse, 1974 ; Vieillefon, 1979; Omran, 2016**).

Le présent travail est une contribution à la caractérisation des sols gypseux qui sont très répandus dans les régions arides. Il s'agit également d'une comparaison entre les méthodes de dosage du gypse en l'occurrence : la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique

sur 61 échantillons des sols gypseux qui sont prélevés de deux régions (Ouargla Touggourt) et faire une comparaison entre les résultats obtenus.

Pour se faire, ce travail s'articulera autour de trois grands chapitres:

-Le premier chapitre : est une étude bibliographique synthétique s'intéressant à des généralités sur le gypse et les sols gypseux ;

-Le deuxième chapitre est consacré à une synthèse des différentes méthodes de dosage du gypse ;

-Le troisième chapitre nous présente les deux zones d'étude ;

- Le quatrième chapitre présenté le matériel et les méthodes utilisées pour réaliser ce travail ;

-Le dernier chapitre est réservé à la présentation des principaux résultats obtenus et leurs interprétations et enfin une discussion suivie d'une conclusion générale.



**Chapitre I : Généralités sur les sols
gypseux**

Chapitre I : Généralités sur les sols gypseux

Introduction

Les zones arides et semi-arides se caractérisent au niveau pédologique par la présence des accumulations de sels (gypse, calcite, sels solubles...), qui présentent des morphologies très variables (**Halitim, 1988**). Le gypse et les sels solubles peuvent s'accumuler dans le sol quand l'évapotranspiration devient supérieure aux précipitations. Ils s'accumulent sous plusieurs grands types qui peuvent être distinguées selon leurs origines et ont chacun une signification climatique spécifique (**Fedoroff et Courty, 1989**).

Les sols gypseux (au sens large) sont largement répandus et apparaissent typiques des régions arides et semi- arides (**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.

Définition et dénomination des sols gypseux

Gypse

Le gypse est un mot dérivé du mot latin « gypsum » et du mot grec « gypsos ». Le gypse est le sulfate de calcium hydraté de formule chimique $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Il est de la classe chimique des sulfates, de la sous classe des hydratés sans anions étrangers (**Barriand et al., 1978**), et de la famille des évaporites (**Yuzer, 1982; Auvray, 2003**). Le gypse est aussi appelé « pierre à plâtre » (**Quelet, 1964; Marnezy, 2004, Ouamer, 2009**).

La solubilité du gypse dans l'eau pure varie selon la température. Elle est maximale entre 35 °C et 40°C en restant environs 2.1g/l (**Pouget, 1968**).

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'autre sels (**Madani, 2008**). On peut distinguer trois hydrates différents:

- 1-Di-hydrate (DH: $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$);
- 2- Semi-hydrate (SH: $\text{CaSO}_4, 1/2\text{H}_2\text{O}$);
- 3-Anhydrite (AH: CaSO_4) (**Omran, 2016**).

Sols gypseux

L'appellation de « sols gypseux », mentionnée en tant que telle dans la plupart des classifications, est un terme d'usage courant désignant les sols contenant du gypse à des teneurs variables (**F.A.O., 1990 ; Pouget, 1995**). Le gypse, de par sa présence dans le profil tout entier ou bien sa localisation dans un horizon particulier, conditionne le comportement et l'aspect de ces sols (**Boyadgiev et Verheye, 1996; Herrero et Boixadera, 2002**).

Le sol gypseux contient plus de 2% de gypse (**Van Alphen et Rios Romero, 1971**).

Alors que la classification **FAO (1998)** nomme gypsisols les sols à teneur supérieur à 5% de gypse (**Razi, 2006**). Selon **Pouget (1968)** et **Halitim (1988)** les sols gypseux contiennent des teneurs en gypse très élevée (60 jusqu'à 90 %).

Origine du gypse dans le sol

Selon (**Pouget, 1968 ; Dekkiche, 1974 ; Watson, 1980 ; Halitim, 1988 ; Rahmouni, 2010**), les origines et les processus de l'accumulation du gypse dans les sols ont fait l'objet de nombreux travaux.

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 (**Bellancaet Neri, 1993**). Donc ils sont liés aux caractéristiques spécifiques de chaque région d'étude.

Selon **Halitim (1985)**, avec l'apparition d'un processus d'évaporation supérieur à la précipitation, il en résulte une accumulation de gypse et de sels solubles. Il en ressort que la formation et la distribution géographiques des accumulations gypseuses pédogénétiques sont le résultat d'une combinaison de plusieurs facteurs tels que la topographie, la nature du matériau parental, l'âge, l'histoire climatique et les conditions géomorphiques (**Watson, 1988 ; Eswaran et Gong, 1991 ; Cook et al., 1993 ; Ellorza et Santollala, 1998 ; Toomamina et al., 2001**).

En conditions d'aridité extrême du Sahara, les eaux sont insuffisantes pour véhiculer les ions nécessaires aux grandes accumulations de gypse et de sels solubles, à l'exception des vallées, comme celles de l'oued Righ et aussi le Souf (**Razi, 2006**).

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

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 (**Madani, 2008**).

Propriétés physiques

a. Texture

Selon **Van Alphen et Rios Remero (1971)**, La texture des sols gypseux est influencée par la présence de teneurs élevées en cristaux de gypse.

Selon **Djili (2000)**, l'augmentation des taux d'argile est accompagnée d'une diminution des taux de gypse, mais le gypse peut se rencontrer en Algérie dans les sols argileux (marnes, alluvion ; des chotts et sebkha) qu'au sein des sols sableux des régions arides.

En Syrie, **Stoops et Allaiwi (1981) in Abedssalam (1999)**, rapportent que la plupart des sols gypseux présentent une texture sableuse à sablo limoneuse.

Poch (1992), indique dans une étude sur les sols gypseux d'Espagne que la texture est étroitement liée à la teneur en gypse. Cependant, l'augmentation des teneurs en gypse engendre, d'une part, la formation d'une texture à dominance de limons et de sables.

Selon **F.A.O (1990)** de grandes variétés de textures ont été observées dans les sols gypseux des régions méditerranéennes.

Le gypse se trouve dans toutes les fractions, mais il est surtout lié au sable grossier et à la fraction de sable fin suivi par le limon.

b. Structure

Selon **F.A.O (1990)**, la plupart des sols gypseux ont une structure peu favorable, l'horizon de surface est dominée par une couche massive ou fine, peut être fortement cimenté, avec la

formation de croûtes dures, s'opposant parfois à la circulation de l'eau et au développement des racines.

D'après **Halitim et al.(1983)**, **Bini et Ristori (1987)** et **Abdesselam (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.

c. 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 μm .

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.

Propriétés chimiques

a. pH

Selon **Florea et Al joumaa (1998)**, 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).

D'après **Djili (2000)**, tous les sols gypseux du Nord de l'Algérie, qu'elle que soit leur teneur en gypse, ont des pH supérieurs à 7. Les sols gypseux présentent un pH modérément à légèrement alcalin (7,4- 9,4).

b. Conductivité électrique

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.

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 (**Hamdi-Aïssa, 2001**).

c. Capacité d'échange cationique (CEC)

D'après **Van al phenet Rios remero, (1971)**, la CEC est inversement proportionnelle à la teneur en gypse.

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% (**FAO, 1990**).

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

Répartition des sols gypseux

I.5.1. Dans le monde

Selon **Boyadgiev (1985)**, les sols gypseux sont largement répartis dans les zones arides et semi arides, leur surface totale est estimée à 707.000 km² (**Boyadgiev, 1985**).

Ils sont localisés dans les régions des déserts, avec une moyenne des précipitations annuelles inférieure à 250 mm (**Watson, 1983,1985**).

L'étendue 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 Eswaren et Gong, 1991; Mashali, 1993, 1996 ; Boyadgiev et Verhey, 1996**). Ces résultats sont loin d'être précis (**Jafarzadeh et Zinc, 2000**). Car seulement des petites surfaces des sols gypseux ont été étudiées (**Herrero et Porta, 2000**).

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**).

Tableau I.1 : Distribution des sols gypseux dans le monde (F.A.O, 1990 ; Mashali, 1995)

Continent	PAYS	Superficie km²	%par rapport au total des pays	% des régions des sols gypseux
AFRIQUE	MAROC	1114.3	2.5	1.7
	ALGÉRIE	7966.3	3.3	12.2
	TUNISIE	1439.8	9.3	2.2
	LIBYE	3956.8	2.9	6
	EGYPT	382.2	0.4	0.6
	SOUDAN	785	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	0.4	0.6
	NAMIBIE	5327.7	6.5	8.2
ASIE SUD	SYRIE	3966.6	21.6	6
	JORDAN	80.5	0.8	0.1
	ARABIESAUDITE	82.5	0.04	0.1
	OMAN	471.6	-	0.7
	YÉMEN A.R.	2931	8.8	4.5
	KUWAIT	354.6	-	0.5
	IRAQ	4779.2	11.1	7.3
	IRAN	4.2	-	-
	PAKISTAN	9.5	0.01	-
	INDE	182	0.06	0.3
ASIE CENTRALE	USSR	5074.1	0.2	7.7
	MONGOLIE	60.9	0.04	0.1
	CHINE	11484.9	1.2	17.5
EUROPE	TURQUIE	64.2	0.08	0.1
	ESPAGNE	165.6	0.3	0.3
	Ex-URSS	5074.1	0.2	7.7

L'AMÉRIQUE	MEXIQUE	78	-	0.1
------------	---------	----	---	-----

En Algérie

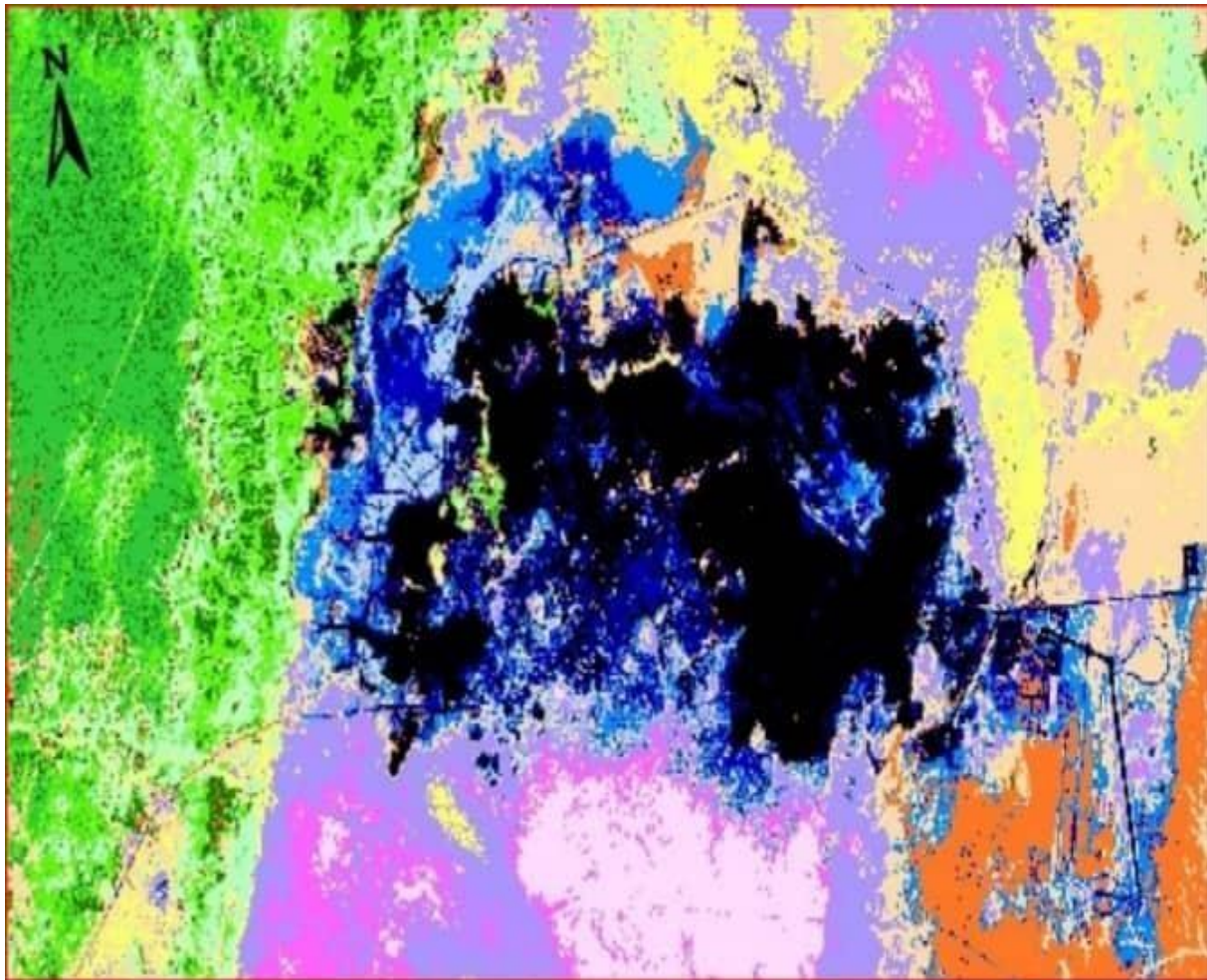
Les sols gypseux d'Algérie occupent 12,2% de la surface totale des sols gypseux du monde, ils sont estimés à 7966,3 Km² (représentant 3,3% de la surface du pays) (FAO, 1990).

Ces sols sont peu abondants dans les régions du nord et se localisent seulement dans les zones des dépressions et autour des formations géologiques gypsifères de l'étage bioclimatique aride (Djili, 2000). Dans les régions de l'intérieur où l'aridité devient plus importante, ils représentent une superficie importante principalement au niveau des oasis (Durand, 1954; Mediouni, 1997; Abdesselam, 1999).

Selon Ouamer (2008), globalement, la présence des sols gypseux est signalée dans les régions suivantes : Oran, Mostaganem, Saida, Tiaret, Ksar-Echellala, Djelfa, M'sila, les bordures des chotts et des Zahrez, Boussaâda, Hodna, Mechria, El-Bayadh, Khenchela, Batna, Adrar, Ouargla, Ain sefra, Laghouat, Biskra, El-Oued (Le souf), Touggourt (Oued R'hir).

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 (Figure 1). 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 : "Vég+Eau"
- Zones non classées

Figure I.1 : Carte des états de surface des sols de la cuvette de Ouargla (Hamdi-Aïssa, 2001).

Classification des sols gypseux

Classification Française

La **C.P.C.S(1967)**, divise les sols à des classes, sous classes, groupes, et sous-groupes, les sols gypseux sont répartis dans trois classes.

Tableau I.2: les sols gypseux dans la classification française (**CPCS, 1967**).

Classes	Sous–Classes	Groupes	Sous–groupes
<i>Sols calcimagnésiques</i>	Sols à accumulation Gypseuse	Sol gypseux Rendzini formes	Modal
		Des sols bruns gypseux	A encroûtement gypseux
<i>Sols isohumiques</i>	Sol isohomique apédoclimatfrais	Des Sierozems.	Encroûté (à croûte gypseuse)
<i>Hydromorphes</i>	Minéraux ou peu Humifères	des sols hydromorphes à redistribution du calcaire ou du gypse.	A encroûtement A nodules gypseux

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 présence d'un horizon gypsique ou pétrogypsic à moins de 100 cm de la surface et ne possède pas d'horizon pétrocalcic placé au-dessus de ces horizons.

Les gypsid comportent 04 grands groupes qui sont :

- Pétrogypsid.
- Natrigypsid.
- Argigypsid.
- Calcigypsid.

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 suit:

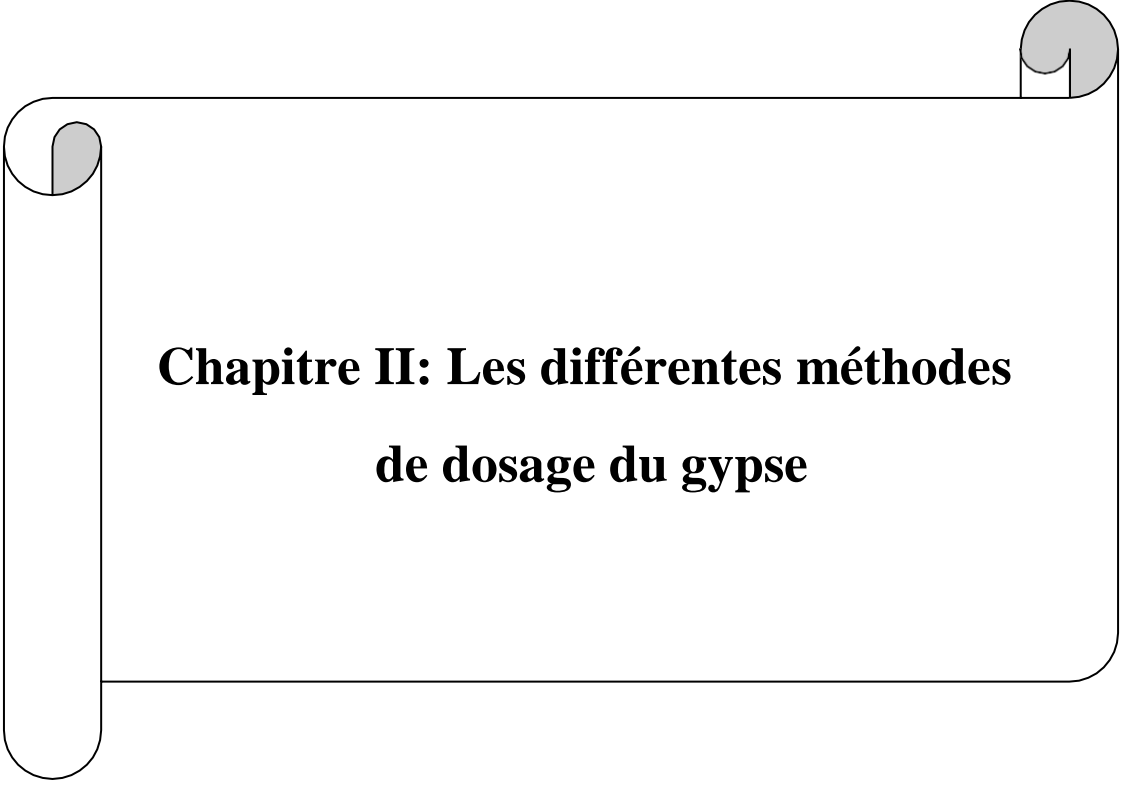
- Pétricgypsisols : Présence d'un horizon petrogypsic à 100 cm de la surface ;
- Calcicgypsisols : Présence d'un horizon calcique ;
- Luvicgypsisols : Présence d'un horizon argilique (accumulation d'argile).

Conclusion

Le gypse est un composant majeur des sols dans de nombreux sols arides et régions semi-arides du monde. On a estimé que plus de 100 millions d'hectares de sols du monde sont classés comme Gypsisols ou sols contenant > 5% de gypse (**FAO, 1990**).

Le gypse est un matériau imprévisible principalement en raison de ses caractéristiques de transformation de phase (gypse - basanite - anhydrite) sous certaines températures (**Jha et Sivapullaiah, 2017**).

La présence du gypse détermine de nombreux caractères spécifiques sur le plan de la couleur, la structure, la texture, la consistance...etc. En plus, les propriétés physico-chimiques induites par le gypse sont très particulières et ont une influence non négligeable sur les résultats des analyses que l'on applique aux sols gypseux. Ceci induit de nombreux obstacles rencontrés durant les analyses de ce type de sol (**Rahmouni, 2010**).



**Chapitre II: Les différentes méthodes
de dosage du gypse**

Chapitre II: Les différentes méthodes de dosage du gypse

Introduction

Dans les différentes méthodes développées pour étudier et caractériser le gypse des sols, et spécialement dans le cas des sols gypseux des régions arides et semi-arides, il est fait référence à une approche mixte : l'identification du gypse sur champs et la caractérisation au laboratoire (**Porta, 1998**).

Le gypse possède plusieurs caractéristiques physico-chimiques, c'est pourquoi il existe plusieurs méthodes pour son dosage dans les sols on citera les principales de celle-ci.

Méthodes d'analyses chimiques

L'application des méthodes chimiques pour la détermination des teneurs en gypse est une approche largement répandue. La dissolution du gypse dans l'eau est à la base de plusieurs méthodes de détermination de la teneur en gypse dans le sol. Lorsque tout le gypse de l'échantillon a été dissous, il est possible d'analyser la teneur en SO_4^{2-} ou en Ca^{2+} pour calculer la quantité originale de gypse dans l'échantillon. La présence d'autres sources de SO_4^{2-} ou Ca^{2+} et la perte de calcium par adsorption sur le complexe d'échange peut interférer sur les résultats.

Selon **Loveday et Mcintre (1974)**, aucune des méthodes existantes ne peut être considérée comme fournissant une détermination précise du gypse, à cause de l'incertitude liée à la contribution de Ca^{2+} et SO_4^{2-} provenant de sources autres que le gypse. Certains auteurs proposent une élimination sélective des sulfates solubles non gypsiques par l'éthanol avant la dissolution du gypse, et l'expression «contenu équivalent en gypse » a été proposé en conséquence (**Porta et al., 1986**) pour exprimer la teneur en gypse lorsqu'elle est calculée à partir de la teneur totale en sulfate, en une expression similaire à l'équivalent en CaCO_3 (**Porta, 1996,1998**).

Le gypse possède plusieurs caractéristiques physico-chimiques, c'est pourquoi il existe plusieurs méthodes pour son dosage. Les méthodes qui ont été développées pour le dosage du gypse vont depuis la dilution dans l'eau pour les faibles teneurs jusqu'à l'attaque par l'acide chlorhydrique, le carbonate d'ammonium ou par le carbonate de sodium. Les ions sulfates libérés en solution sont ensuite déterminés par précipitation du sulfate du baryum (**US Salinity Laboratory Staff, 1954**).

Méthode de Bower et Huss (1948)

Méthode dans laquelle le gypse est déterminé par conductimètre après sa séparation des autres sels dans un extrait sol-eau. La séparation du gypse est basée sur sa faible solubilité dans une solution aqueuse d'acétone (Bower et Huss, 1948).

Méthode de Richards (1954)**1. Par augmentation du calcium soluble plus la teneur en magnésium après dilution**

- Déterminer le pourcentage de saturation et obtenir un extrait de saturation du sol.
- Préparez un autre extrait aqueux du sol, en utilisant une teneur en humidité suffisante pour dissoudre le gypse présent.
- Déterminez les concentrations de calcium et de magnésium des deux extraits (Richards, 1954).

2. Exigence relative au gypse

Pesez 5 g de sol séché à l'air dans une bouteille de 120 ml. Ajoutez 100 ml de réactif au moyen d'une pipette. Boucher le flacon et agiter à la main plusieurs fois pendant une période de 30 min ou pendant 5 min dans un agitateur mécanique. Filtrer une partie de la suspension et déterminer la concentration en calcium plus magnésium d'un volume approprié de filtrat clair (Richards, 1954).

La méthode de COUTINET (1965)

Consiste à mesurer le taux de gypse suite à sa décomposition avec du carbonate d'ammonium (ou de sodium) dose à 5%. L'ion sulfate est libéré et précipite avec du chlorure de baryum dosé à 10% à chaud. La mesure gravimétrique de l'ion sulfate donne la teneur en gypse.

Méthode de Lagerwerff et al. (1965)

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

Préparatoire aux méthodes I et II: Passer un sol séché à l'air à travers un tamis à trous ronds de 0,5 mm. Préparez une pâte saturée d'eau en quantité suffisante pour donner au moins 15 ml d'extrait de saturation (SE). Enregistrez l'eau ajoutée en millilitres et calculer le pourcentage d'eau sur la base de séchage à l'air sol, en supposant que 1 ml = 1 g. Appelez cela «PWSE».

Méthode I :

- Procédure Détection: mesurez la conductivité électrique du SE. Appelez-le CEa. Ajouter un excès de gypse à une portion du SE et équilibrer en secouant pendant 5 min. Par des moyens conventionnels, séparez certaine solution claire et déterminer à nouveau la conductivité électrique. Appelez-le CEb. Si $CEb - CEa > 2,2 \text{ mmho cm}^{-1}$ (25°C), aucun gypse n'est présent dans le sol.

Méthode II:

Procédure Détection-Mélangez un volume d'extrait de saturation et 2 volumes de solution B. L'apparition de turbidité ou d'un précipité au repos debout pendant 5 min indique la présence de gypse.

Méthode de Loveday(1974)

La méthode repose sur la détermination séparative du Ca^{2+} et du SO_4^{2-} dans un extrait saturé, et le SO_4^{2-} 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 Ca^{2+} et du SO_4^{2-} respectivement (correspondant à une solution de 2.61 g/l pour le gypse) (Hiouani, 2007).

Méthode de Dick et Tabatabai (1979)

Les sols utilisés ont été passés au tamis à mailles de 2 mm. Les sulfates dans chaque sol ont été extraits avec des réactifs précis. Les extraits ont été obtenus en secouant pendant 1 heure 10 g de sol (<2 mm) avec 50 ml d'extrait, et filtrer la suspension résultante. Les extraits de sol ainsi obtenus ont été analysés pour SO_4^{2-} par une chromatographie ionique IC (Johnson et Nishita, 1952).

Méthode de Frankel et al.(1986)

Amber lite IR-120 cation fort et Amber lit e IR-400 anion fort des résines d'échange ont été utilisées sous les formes Na et Cl⁻, respectivement. Le rapport optimal résine-échantillon et la période d'équilibrage ont été déterminés en ajoutant différentes quantités de gypse à une quantité donnée de mélange résines. Le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre et la quantité de gypse dissous ont été déterminés par l'augmentation de la conductivité électrique et ont été trouvés à 2 jours si la résine a été placée dans les tubes de dialyse et moins d'un jour si aucun tube de dialyse n'a été utilisé (Bower et al., 1952).

L'utilisation de tubes de dialyse était limitée à ces cas où la CEC devait être déterminé après l'enlèvement et la quantification du gypse.

Quantification des quantités et élimination du gypse du sol les échantillons ont été obtenus en pesant un gramme de matériau du sol, tamisé passer au tamis de 250 μm , dans des tubes à centrifuger en plastique auxquels les Na et Cl des résines ont été ajoutées. De l'eau distillée a été ajoutée pour apporter le volume total d'eau dans le système à 30 cc. Parallèlement, un échantillon de sol sans résines a été préparé.

Les tubes ont été agités pendant 2 jours sur un agitateur alternatif, centrifugée à 5000 rpm et équilibrée dans un bain à température à $25 \pm 0,5$ °C avant que la (CE25) ne soit déterminée. Les concentrations de sodium, Ca + Mg, SO₄ et Cl ont également été déterminées dans le surnageant (**Bower et al., 1952**).

Méthode de A.S.T.M(1988)

1- 1 g de sol sec et aéré a été prélevé et 5 ml d'acide chlorhydrique à une concentration de 20% ont été ajoutés.

2-Le mélange a été bouilli pendant plusieurs minutes, puis filtré.

3-Ajouter 10 ml de la solution ajoutée (BaCl₂, 2H₂O) proche de l'ébullition à une concentration de 10% sous forme de gouttelettes par pipette goutte à goutte jusqu'à formation d'un précipité blanc sous forme de BaSO₄ selon l'équation suivante $\text{CaSO}_4 + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{BaSO}_4$.

4-La solution a été bouillie pendant 10-15 minutes, et le mélange a été digéré pendant 03 heures à 80 °C.

5-La solution a été laissée pendant (16-24) heures

6-Puis filtrer la solution et laver le sédiment avec de l'eau chaude plusieurs fois pour se débarrasser de l'excès de chlorure de baryum.

7-Le papier a été pesé alors qu'il était vide, et du gypse y a été déposé, puis il a été séché et pesé à nouveau, donc la différence entre les deux poids est la quantité de gypse déposée sur le papier (**AL-Obaidi, 2013**).

Méthode de Berigari et Al- Any(1994)

Les échantillons ont été séchés à l'air, broyés et passés à travers un tamis de 2 mm. Échantillons de sol de 2,0 g en triple dans 50 ml de polycarbonate. Les tubes à essai ont été lavés une fois avec des portions de 25 ml d'éthanol 50% pour éliminer les sulfates solubles. La solution en vrac a été centrifugée et les sédiments ont été mis en suspension dans 25 ml de la solution de Na_2CO_3 0,50 M par une bonification de 30-s pour perturber la formation de CaCO_3 stable. La solution surnageant était centrifugée à 1000 X à 25°C, puis filtré. Cette procédure d'extraction a été répétée jusqu'à ce qu'un test négatif pour le sulfate avec des cristaux de BaCl_2 ait été obtenu (Greenberg *et al.*, 1985).

Méthode de Porta(1996, 1998)

Mettre un gramme (01) de sol séché à l'air dans un flacon avec 500 cm³ d'eau distillée. Agiter pendant 20 mn. Filtrer l'extrait. Puis précipitation du gypse par addition de l'acétone. Dissoudre le précipité dans l'eau distillée. Mesurer la conductivité électrique (CE) et déterminer la teneur en gypse (Ouamer, 2008).

Méthode de détermination du gypse par l'analyse thermogravimétrique

L'analyse thermogravimétrique est l'une des méthodes semi-quantitatives, basée sur la perte de poids d'un échantillon de sol. La perte de poids est due à la déshydratation du minéral, sous forme d'une totale conversion du gypse en anhydrite (Porta, 1996,1998).

1.Méthode de Kovalenko T.A. (1972)

Détermination du gypse par extraction à l'eau bouillante (FAO, 1990).

0,2-0,5 g de sol séché à l'air finement broyé est placé dans de l'eau bouillie dans un rapport de 1: 1000. Le mélange est légèrement chauffé à 40°C et laissé au repos (mélangé périodiquement) pendant 10 à 12 heures. Puis le mélange est chauffé à 80°C, et le calcium est déterminé par titrimétrie. La teneur en gypse est ensuite calculée.

Méthode de Nelson et al. (1978)

Transférer environ 8 g de terre <2 mm séchée à l'air dans un taré (poids 1 (cuvette d'humidité du sol en aluminium (diamètre, 60 mm; profondeur, 15 mm) et peser (poids 2) à 0,001 g près.

Répétez cette procédure avec environ 4 g de gypse de qualité réactif ou des cristaux de gypse de sol purs < 2 mm.

Ajouter environ 10 g de gel de silice sec. Placez un cercle de tissu de quincaillerie de 3 mm (8 mailles) sur le dessus de la boîte et transférez-le dans un bocal Masson à large ouverture.

Placez le plat en aluminium contenant le sol sur une boîte de gel de silice. Placez une feuille de plastique sur le pot et serrez le couvercle. Sécher le sol sur du gel de silice pendant 48 heures ou plus. Pesez immédiatement le conteneur avec la terre (poids 3).

Séchez ensuite le sol dans un four à 105 °C Pendant 24 heures.

Si aucun four n'est disponible, sécher le sol pendant 15 min soit sous une lampe infrarouge de 250 watts à 10 cm du sol soit sur la surface chauffante d'un élément à gaz ou électrique à 135 °C. Le récipient avec le sol dans le pot, placez la matière plastique sur le dessus, serrez le couvercle et refroidissez le sol à température ambiante.

Pesez le récipient avec la terre (poids 4). Il n'est pas nécessaire de refroidir l'échantillon de sol après chauffage à 105 °C, si l'échantillon est pesé immédiatement après sa sortie du four (Nelson et al., 1978).

Méthode de Vieillefon (1979)

L'étude de la cinétique de la déshydratation des échantillons gypseux a été réalisée à l'aide d'une étuve ventilée équipée d'une balance permettant de peser périodiquement l'échantillon sans le sortir de l'étuve appareil (BRABANDER); les essais ont été faits à des températures variées : - à 105°C, pour étudier l'effet de la procédure classique, - à 40°C, pour contrôler l'absence d'effet sur le gypse, - enfin à des températures intermédiaires (50, 60, 70, 80)°C pour déterminer le seuil critique (Vieillefon, 1979).

Méthode de Artieda et al. (2006)

- 10 à 20 g de sol séchée à l'air libre (<2mm) sont déposés dans une boîte pétrie et pesé à 0.001g près.
- La boîte est transférée dans une étuve à 70C° jusqu'à l'obtention d'un poids constant, par la suite on la met dans une étuve à 90C° jusqu'à l'obtention d'un poids constant.
- Le poids constant à 70C° sera obtenu après 03 jours .Ce temps dépend du volume de l'étuve et du nombre d'échantillons à 90 C° le temps est de 48h.
- Puis le pourcentage de gypse dans l'échantillon a été calculé(**Artieda et al., 2006**).

Méthode de détermination du gypse par diffractométrie des rayons X

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

Méthode de Khan et Webster(1968)

Elle se fait grâce aux rayons x avec la présence du chlorure de potassium (KCl 02%) comme référence.

Tous les travaux ont été réalisés avec un compteur Norelco Geiger, spectromètre de diffraction des rayons X, dans lequel un rayonnement de cuivre a été utilisé, un filtre en nickel et une vitesse de balayage de 1° changeur en 2θ par 2 minutes.

Le tube a été réglé à 35 kV et 15 mA. Un facteur d'échelle de 8 et du temps constant de 4 a été utilisé sur l'enregistreur.

Du chlorure de potassium (2 % p / p) a été ajouté à chaque échantillon en tant que la norme. Les pics de diffraction les plus intenses du gypse et du chlorure de potassium étaient à 2θ valeurs d'environ 11,70° et 28.41° (**Khan et Webster, 1968**).

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 (Hiouani, 2007).

II.2. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons exposés les méthodes les plus importantes pour déterminer les teneurs en gypse dans le sol, mais il existe d'autres méthodes qui n'ont pas été mentionnées car elles dépendent du même principe que les méthodes mentionnées précédemment, y compris la méthode Porta et al (1986) ; la méthode de Lebronet *al.* (2009), la méthode Weindorf et *al.* (2013) et la méthode de Sayegh et *al.* (1978).

Elles ont été critiquées et il est recommandé qu'aucune d'entre elles ne soit la meilleure. Ainsi, les méthodes traditionnelles de détermination du gypse tel que la méthode de Nelson et *al.*(1978); méthode de Coutinet (1965) et la méthode de Lagerwerff et *al.* (1965) sont longues et exigeantes en main-d'œuvre (Omran, 2016).



Chapitre III :Présentation de la région

Chapitre III :Présentation de la région**Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons présenter les caractéristiques des régions d'étude ; climatiques, géomorphologiques, géologiques.....

Ouargla III.2.1.Cadre**géographique**

La région de Ouargla est une région qui se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'Oued M'ya est l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle se situe, approximativement à 750 km au sud d'Alger. Cette dernière est caractérisée par une dissymétrie marquée par la Sebket Safioune et par la grande cuvette de Ouargla.

Selon **Hamdi-Aïssa et Girard, (2001)** Sur le plan naturel, la cuvette de Ouargla est située dans le Bas-Sahara algérien occupant le centre d'une cuvette endoréique. Elle correspond à la basse vallée fossile d'Oued Mya qui draine le versant Nord du plateau de Tademaït et se termine à la Sebka Safioune à 20 km au Nord de Ouargla.

Elle est limitée par les wilayas suivantes :

- Nord : Touggourt et El Oued
- Sud : Illizi et Ain Salah
- Est : la Tunisie et El Oued
- Ouest : Ghardaïa

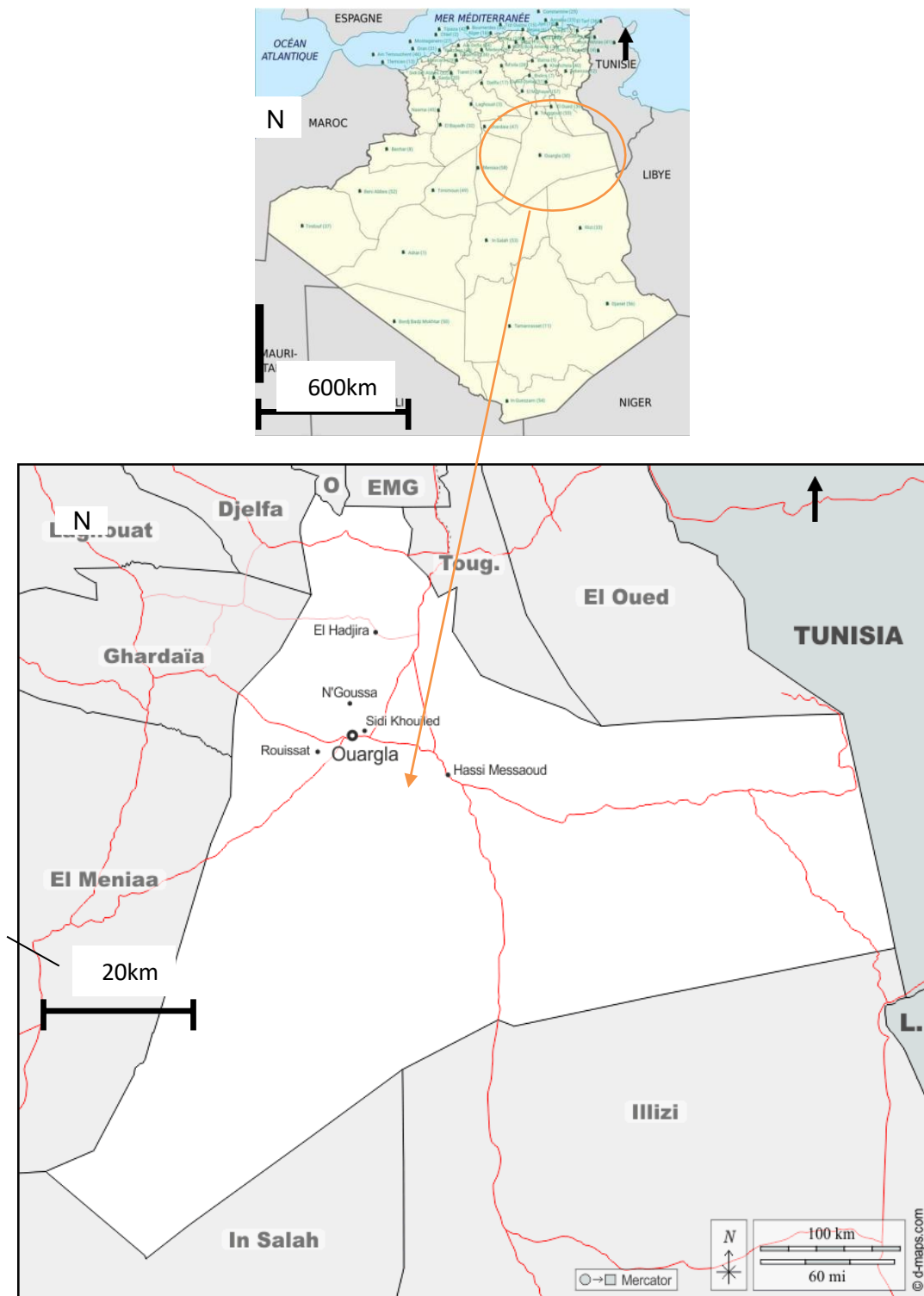


Figure III.1: Localisation géographique de la cuvette de Ouargla (Google 2007-2022).

Géologie de la région

Du point de vue lithologique et pétrographique, on rencontre dans les affleurements à travers le territoire de la wilaya, des alluvions actuels des sebkhas et croutes gypso-salines, des sables

éoliens mobiles, des regs et terrasses, des poudingues, des calcaires lacustres, des conglomérats, des calcaires marneux à rognon siliceux, des marnes et en fin des calcaires dolomitique (**Hamdi Aissa, 2001**).

Les sols de la région

Le sol de la région d'Ouargla est léger, à prédominance sableuse et à structure particulière. Il se caractérise par un faible taux de matière organique. Le pH est alcalin et varie entre 7.6 et 8.4 (**Rouvillios- Brigol, 1975 ; Khadraoui, 2007**).

Les conditions climatiques au Sahara sont en effet telles que tous les phénomènes d'altération qui ont pour résultat de transformer la couche superficielle des terrains en une couche meuble bien individualisée, organisée en horizons dotés de leurs caractéristiques physiques propres et d'une activité biochimique originale, sont inexistantes (**Dubost, 1991**). Au Sahara, le facteur de la formation des sols est essentiellement le vent. Il s'y ajoute l'ampleur des variations thermiques, notamment journalières. Les sols sahariens sont généralement peu évolués et dépourvus d'humus (**Halitim, 1985**).

Géomorphologie de la région

D'ouest à l'est, on distingue quatre ensembles géomorphologiques dans la cuvette (**Hamdi Aissa, 2001**). On distingue: Plateau, glacis, Chott et Sebkha et Dunes de sable.

Hydrogéologie de la région

Les eaux souterraines constituent la principale source hydrique dans la région d'Ouargla, **Rouvillios-Brigol (1975)** distingue trois nappes différentes constituées par la nappe phréatique, la nappe du complexe terminal et la nappe du continentale intercalaire.

Caractéristiques climatiques

La région de Ouargla bénéficie d'un climat désertique chaud du Sahara avec des étés très longs et extrêmement chauds et des hivers courts et très doux. Le climat est de type hyperaride et très sec toute l'année.

Le tableau III.1, présente les données climatiques de la région de Ouargla durant la période 2011-2020.

Tableau III.1 :Donnés climatiques de la région de Ouargla (2011-2020).

Paramètres Mois	T MIN (C°)	T MAX (C°)	T MOY (C°)	V (m/s)	H (%)	EVP (mm)	P (mm)	INS (h)
Janvier	4,58	19,41	12,00	7,90	52,30	101,09	2,09	255,36
Février	6,43	20,94	13,69	9,30	45,90	122,08	3,53	242,05
Mars	10,44	25,47	17,96	10,30	40,95	188,74	5,98	267,8
Avril	15,65	31,04	23,35	10,80	34,10	247,06	1,78	285,29
Mai	20,35	35,65	28,00	11,00	28,05	317,86	2,52	312,36
Juin	24,95	40,58	32,77	10,30	24,50	373,11	0,22	225,18
Juillet	28,13	43,99	36,06	9,30	20,90	456,96	0,13	315,33
Aout	27,46	42,5	34,98	9,70	24,65	392,37	0,36	338,9
Septembre	23,78	38,57	31,18	9,30	32,85	277,82	3,97	268,81
Octobre	17,31	31,1	24,21	8,40	39,60	215,96	3,59	269,84
Novembre	10,56	24,4	17,48	7,70	48,80	130,28	2,75	243,08
Décembre	5,83	19,53	12,68	7,40	57,95	88,84	3,74	234,58
Moy/ Cumul	16,28	31,09	23,70	9,28	37,55	2912,17*	30,66*	3258,58*

*: Cumul annuel

D'après les données de l'Office National de Météorologie (2011-2020), la température moyenne annuelle de Ouargla est évaluée à 23.7° C, la température minimale du mois le plus froid est enregistrée en Janvier avec 4.58 °C, alors que la température maximale du mois le plus chaud est relevée au mois de juillet avec 43.99 °C (O.N.M, 2020).

Le climat de la région de Ouargla est caractérisé par la rareté et l'irrégularité des précipitations inter-mensuelles et interannuelles. Autrement dit, leur rareté, irrégularité interannuelle et saisonnière, raisonnent via un cumul de 30.66 mm/an. Mars est le mois le plus pluvieux enregistrant un maximum de l'ordre de 5,98mm.

Les vents dans la région de Ouargla sont fréquents surtout durant la période allant du mois de mars au mois de septembre. D'après les données de l'**Office National de Météorologie (2011-2020)**, la vitesse maximale est enregistrée durant le mois de Mai avec 11.00 kilomètres par heure.

Touggourt

Cadre géographique

Touggourt est une commune du Nord-est du Sahara algérien, chef-lieu de la nouvelle wilaya de Touggourt, **depuis 2019**. Elle est située à 160 km au nord-est d'Ouargla et à 660 km au sud-est d'Alger. Capitale de l'Oued Righ, Touggourt est une cité historique dynamique, l'une des plus grandes villes du Sahara algérien.

La vallée d'Oued Righ s'étale sur une distance de cent cinquante (150) km de long et entre vingt (20) km et trente (30) km de large. Elle est située géographiquement entre la latitude 23°54 Nord et 34°9 Sud avec une longitude moyenne de 6°Est (**I.N.R.A.A, 2001**).

Elle est délimitée :

- au nord par la wilaya d'El M'Ghair ;
- à l'est par la wilaya d'El Oued ;
- à l'ouest et au sud par la wilaya d'Ouargla (**Google 2019**).

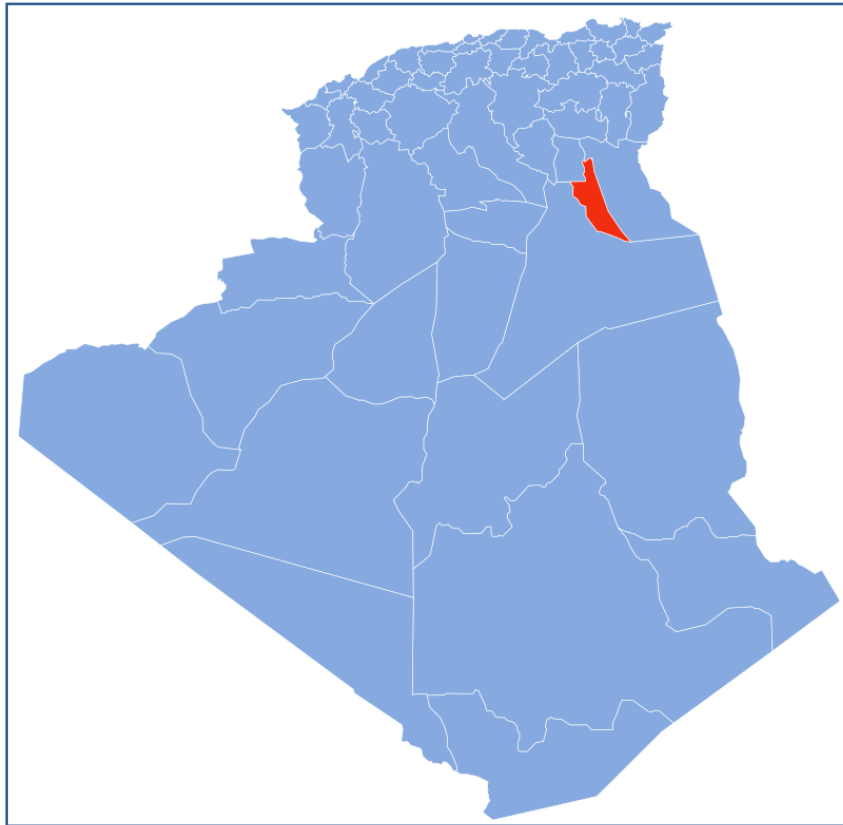


Figure III. 2: Localisation géographique de la région de Touggourt (Google, 2022).

Topographie de la région

Dans la région de Touggourt, deux limites naturelles (les dunes et les palmeraies) orientent le développement linéaire des agglomérations dans le sens méridien (Mazouz et *al.*, 1999 in Mesghouni, 2008). Sa topographie est subdivisée en quatre sous-ensembles (A.N.R.H, 2017):

- Zone de plateau à l'Ouest, où affleurent le Mio-Pliocène et le Pliocène continental;
- Formations sableuses (dunes et cordons d'Erg);
- Zones alluvionnaires;
- Chotts occupant les fonds des dépressions et des dayas.

Géologie de la région

Selon A.N.R.H. (2017), du point de vue géologique, la région de l'Oued Righ appartient à la plateforme saharienne, elle s'étend sur des ensembles géologiquement différents totalement aplatis au début de l'ère secondaire ; elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable qui est limitée :

- Au Nord, par l'accident Sud Atlasique et les premiers contreforts des monts des Aurès;
- Au Sud, par la falaise méridional du TINHERT;
- A l'Est par les affleurements crétacés du DAHAR;
- A l'Ouest par la dorsale du Mzab.

Les sols de la région

La région est caractérisée par des sols peu évolués, d'origine alluvio-colluviale à partir du niveau Quaternaire ancien encroûté essentiellement à la surface par des apports éoliens sableux. Ils ont une texture sablo-limoneuse et une structure particulière (**Cortin, 1969**). Ces sols ont un caractère hydromorphe, ce qui engendre la remontée des niveaux de nappes phréatiques et la concentration des sels surtout dans les horizons de surface (**Khadraoui, 2006**).

Géomorphologie de la région

La morphologie de la région est homogène, elle se présente comme une dépression de large fossé orienté Sud-Nord, composée d'une véritable mer de sable et de dunes qui étendent sur la plus grande partie et quelques plaines composées de sable et d'alluvions. Cette région est connue sous le nom de Bas-Sahara, à cause de sa basse altitude, notamment dans la zone des chotts au Nord, où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. L'altitude passe très progressivement de +100m à El Gouge à, +70m à Touggourt, +30m à Djamaa ,0 m à Mghaïer, -37 m au milieu du chott Mérouane (**Dubost, 1991**).

Hydrogéologie de la région

Les ressources en eau représentent l'une des principales richesses sur lesquelles repose toute action de développement économique et social. A Touggourt, comme toutes régions saharienne, les ressources en eau sont surtout largement dominées par les eaux souterraines et ce, en dehors des régions situées dans l'Atlas saharien, le Hoggar et le Tassili (**Khadraoui, 2006**). La région de Touggourt présente deux types de ressources en eaux à savoir les ressources superficielles et souterraines.

Caractéristiques climatiques

Le climat de la région de Touggourt est typiquement Saharien. Il est caractérisé par des précipitations très faibles, irrégulières et capricieuses, des températures fortes, et des humidités relativement faibles (Barrtima, 2006).

Les données climatiques de la région de Touggourt (2007-2016) sont présentées au niveau du tableau 2 (O.N.M., 2017).

Tableau III. 2:Donnés climatiques de la région de Touggourt(2007-2016).

Mois	Température minimale (°C)	Température maximale (°C)	Température moyenne (°C)	Humidité (%)	vent maximale (Km/h)	précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (heures)
Janvier	4,1	19,07	11,58	63	17,07	11,28	91,85	276,04
Février	5,5	20,03	12,76	54	15,86	5,04	125,65	261,07
Mars	8,8	24,27	16,53	48	20,98	6,06	157,82	290,19
Avril	12,5	29,9	21,2	46	20,26	10,26	198,42	311,43
Mai	18,2	34,44	26,32	39	20,43	1,8	242,7	363,66
Juin	22,9	39,72	31,31	35	17,6	0,37	273,95	350,82
Juillet	25,8	42,76	34,28	32	19,18	0,05	332,69	399,65
Aout	26	41,93	33,96	35	19,43	3,33	297,29	375,08
Septembre	21,6	37,01	29,3	45	18,76	5,36	221,39	301,26
Octobre	15,6	31,07	23,33	50	15,26	3,55	178,11	299,65
Novembre	8,1	24,13	16,11	57	15,64	2,27	129,43	282,27
Décembre	4,2	18,97	11,58	62	13,57	4,46	86,44	262,24
Moyenne	14,44	30,27	22,36	47,16	64,21	53,8*	2335,74*	314,44

*Cumul

La température moyenne annuelle dans la région de Touggourt est de 22,36 °C avec un maximum de 34,28 °C en Juillet pour le mois le plus chaud et un minimum de 11,58 °C en Janvier qui est le mois le plus froid. Concernant la température maximale, la valeur la plus importante est atteinte aussi en juillet avec 42,76 °C tandis que la température minimale du mois le plus froid (janvier) est égale à 4,1 °C (Tableau 2)(O.N.M., 2017).

Comme toutes les régions sahariennes la quantité des précipitations est très faible. Donc d'après le Tableau 2, la moyenne annuelle des précipitations dans la région d'étude est de 53,8 mm avec une valeur maximale de 11,28 mm au mois de Janvier et une valeur minimale de 0,05 mm au mois de Juillet(O.N.M., 2017).

Le Tableau 2 montre que la valeur maximale de la vitesse du vent max (Km/h) est de 20,98 km/h pour le mois de Mars et que la valeur minimale est de 13,57 km/h pour le mois de Décembre(O.N.M., 2017).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le cadre général de l'étude des deux régions Ouargla et Touggourt ; géologie, géomorphologie, topographie, l'hydrogéologie.

Les sols des deux régions sont essentiellement des sols gypseux et salins, et le climat de ces régions esthyperaride caractérisé par des fortes températures et des faibles précipitations.



Chapitre IV: Matériel et méthodes

Chapitre IV: Matériel et méthodes

Introduction

Ce chapitre sera consacré dans un premier temps à la collecte des échantillons sur terrain et leurs sites dans les régions d'étude, ensuite, à la présentation des méthodes d'étude qui ont été suivies au laboratoire.

Pour présenter ces études nous avons suivi le plan suivant:

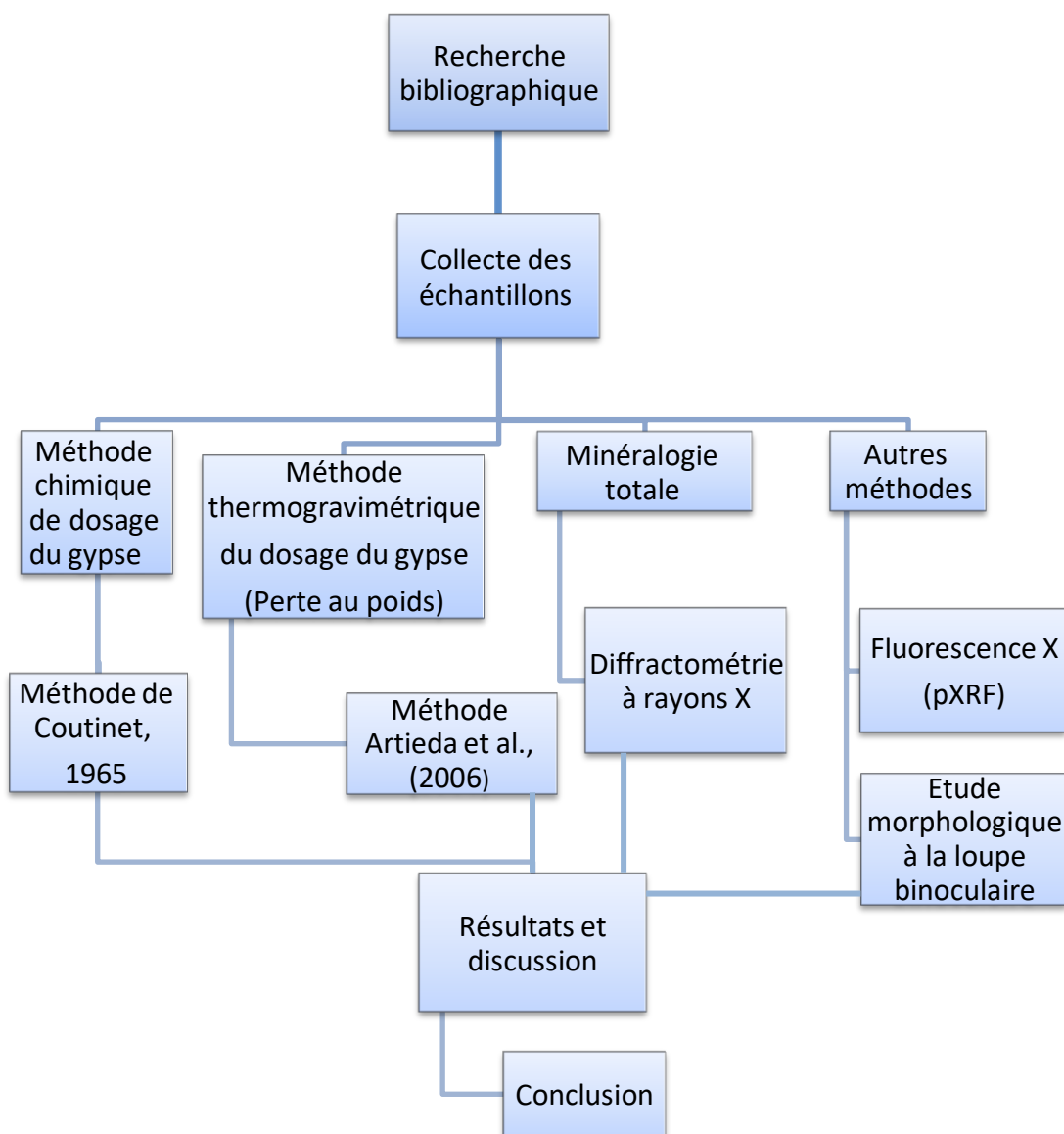


Figure IV. 1: Méthodologie de travail.

Collecte des échantillons

Les échantillons qui ont servis à cette étude ont été prélevés de deux régions, Ouargla et Touggourt. Ce travail a été initié par Bensadik et Mahboub (2020) et suite à la propagation de la Covid19, le travail n'a pas été accompli.

Les échantillons de Touggourt nous été fourni par Madame Helimi Samia (CRSTRA), et Mlle Boukarkar Fatiha. Ceux de Ouargla ont été prélevé lors de sortie sur terrain.

-Les échantillons relevé dans la région de Ouargla sont de: Said Otba, Chott, La route de Ghardaïa et la route de El-Golea.

-De Touggourt sont de: El-Goug, Sidi Mahdi, Témacine, Blidet Omar, Nezla et Meggarin.

Dosage du gypse

Méthode d'analyse chimique

Le gypse possède plusieurs caractéristiques physico-chimiques, c'est pourquoi il existe diverses méthodes analytiques chimiques qui ont été appliquées au dosage du gypse dans les échantillons de sols. Elles font appel au dosage des ions SO_4^{2-} , libérés en solution par dissolution dans l'eau ou attaque au carbonate d'ammonium ou de sodium, soit par précipitation de sulfate de baryum (Bower et al., 1948; Hesse, 1974).

a). Méthode de Coutinet(1965)

La méthode de **Coutinet (1965)** consiste à mesurer le taux de gypse suite à sa décomposition avec du carbonate d'ammonium (ou de sodium) dosé à 5%. L'ion sulfate est libéré et précipite avec du chlorure de baryum dosé à 10% à chaud. La mesure gravimétrique de l'ion sulfate donne la teneur en gypse (Aoun, 1995).

Le dosage se fait sur la terre passée au tamis 100 μm ;

- Peser 5 g dans un erlenmeyer de 300 ml ;

-Ajouter 100 ml d'une solution de carbonate d'ammonium à 5 % et chauffer quinze minutes à ébullition ;

- Filtrer. Laver le filtre à l'eau bouillante. Acidifier le filtrat par l'acide chlorhydrique et, à ébullition, précipiter par une solution bouillante de chlorure de baryum à 10%. Laisser reposer ;

-Filtrer sur filtre à bandes bleues, laver à l'eau bouillante jusqu'à élimination des ions Cl, sécher et calciner à 900°C ;

-Soit p le poids en milligrammes de SO₄Ba. La teneur en ‰ de gypse est calculée :

$$t = p \times 0,1476$$

Cette méthode est applicable à toutes les teneurs en gypse.



Photo IV.1: Matériel de méthode du dosage du gypse Coutinet (1965) dans le laboratoire de l'université Kasdi Merbah Ouargla (ITAS).

Méthode d'analyse thermogravimétrique Méthode Artieda et al.(2006)

Les méthodes thermiques d'estimation du gypse dans le sol sont meilleures que les méthodes chimiques, car ce sont des méthodes faciles et précises. Elles ne dépendent pas de l'estimation des sulfates ou du calcium dans le sol, ce qui conduit à l'absence d'interférence, et elles ne nécessitent pas d'équipement coûteux ou compliqué, en plus ces méthodes sont considérées comme méthodes sans danger pour l'environnement, d'autant plus qu'il existe un grand intérêt pour les produits chimiques nocifs pour la santé humaine et son environnement, et qu'il est également urgent d'adopter le concept d'alternatives aux produits chimiques dangereux (AL-Abid, 2011).

Dans cette méthode nous avons besoin d'une étuve ventilée pour faire le séchage. L'étuve ventilée permet d'obtenir une meilleure homogénéité thermique dans la chambre.

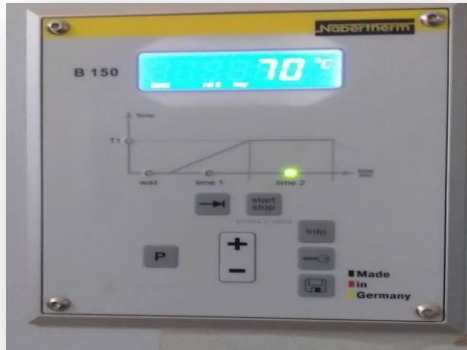


Photo IV.2 : Matériel de méthode du dosage du gypse thermogravimétrique par Artieda et *al.*(2006) dans le laboratoire de géologie au niveau de centre de recherche Kasdi Merbah Ouargla.

Les étapes de cette méthode sont les suivantes :

- 10 à 20 g de sol séchée à l'air libre (<2mm) sont déposés dans une boîte pétri et pesé à 0.001g près ;
- La boîte est transférée dans une étuve à 70°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant, par la suite on la met dans une étuve à 90°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant ;

- Le poids constants à 70°C sera obtenu après 03 jours .Ce temps dépend du volume de l'étuve et du nombre d'échantillons A 90 C° le temps est de 48h ;

- Le pourcentage de gypse dans l'échantillon a été calculé par l'expression suivante:

$$\text{Gypse \%} = (\text{ps} - \text{pf} / \text{ps} - \text{pt}) 100 \quad (100/14.95) = (\text{ps} - \text{pf} / \text{ps} - \text{pt}) 669$$

ps = poids de l'échantillon séché à 70°C plus le poids de la boîte de pétri.

pf = poids de l'échantillon séché à 90°C plus la boîte de pétri.

pt = poids de la boîte de pétri.

Et **14,95** est le facteur du gypse entre 70 et 90°C (Artieda et al., 2006).

IV.3. 3. Analyse minéralogique par diffractométrie à rayons X

La diffraction des rayons X sur monocristal permet d'étudier les structures cristallines. La diffraction sur poudres est principalement utilisée pour l'identification de phases. C'est une méthode non destructive utilisée pour l'analyse qualitative et quantitative d'échantillons polycristallins. Cette technique est basée sur les interactions de la structure cristalline d'un échantillon avec des radiations de courte longueur d'onde (Serna et al., 2014).

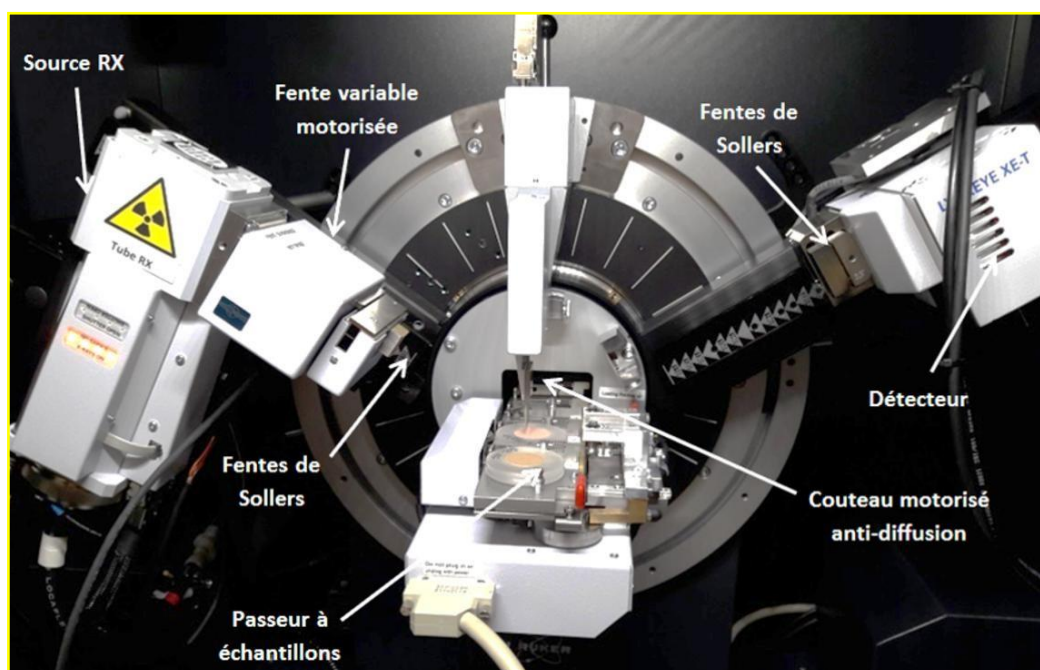


Photo IV.3: Diffractométrie à rayons X (DRX).

1. Principe de DRX

Les trois composants de base d'un diffractomètre de rayons X sont: une source de rayons X, l'échantillon et un détecteur de rayons X (**Waseda et al., 2011**). L'angle entre le plan de l'échantillon et la source de rayons X est θ , l'angle de Bragg.

L'angle entre la projection de la source de rayons X et le détecteur est 2θ . C'est pour cette raison que les diffractogrammes de rayons X obtenus avec cette géométrie sont souvent appelés θ - 2θ (**Suryanarayana et Grant Norton, 1998**).

Les phénomènes de diffraction se produisent lorsque l'onde fait face à un obstacle de dimension similaire à sa longueur d'onde (**Mukherjee, 2013**). Étant donné que les dimensions atomiques sont du même ordre de grandeur de la longueur d'onde des rayons X, la diffraction des rayons X se produit avec les cristaux atomiques (**Mukherjee, 2013**). Ce phénomène est très bien formulé par W.L. Bragg et est connu sous le nom de la loi de Bragg (**Mukherjee, 2013; Pansu et Gautheyrou, 2006**):

$$2 d \sin \theta = n \lambda$$

Où "d" est la distance entre deux plans parallèles successifs, " θ " est l'angle que fait le faisceau incident avec le plan de l'échantillon, "n" est un nombre entier correspondant à l'ordre de diffraction et " λ " est la longueur d'onde du rayonnement.

IV.3. 4. Analyse à fluorescence par rayon X (pXRF)

La spectrométrie de fluorescence X portable (pXRF), qui fournit des résultats de balayage en ~ 60 à 90 s, offre un moyen rapide de quantifier les concentrations élémentaires dans le sol (**Weindorf et al., 2012**).

Selon **Lemière (2018)**, les éléments que cette technique permet de mesurer sont présentés au niveau de l'annexe III figure III.1.

La méthode XRF mesure les niveaux d'énergie des rayons X émis par les éléments chimiques lorsque ces éléments sont irradiés par une source qui excite les électrons des couches supérieures des atomes (**Kilbride et al. 2006; Piorek 1997**). L'énergie émise sous la forme de rayons X est unique pour chaque élément chimique (**Kalnicky et Singhvi 2001; Piorek 1997**).

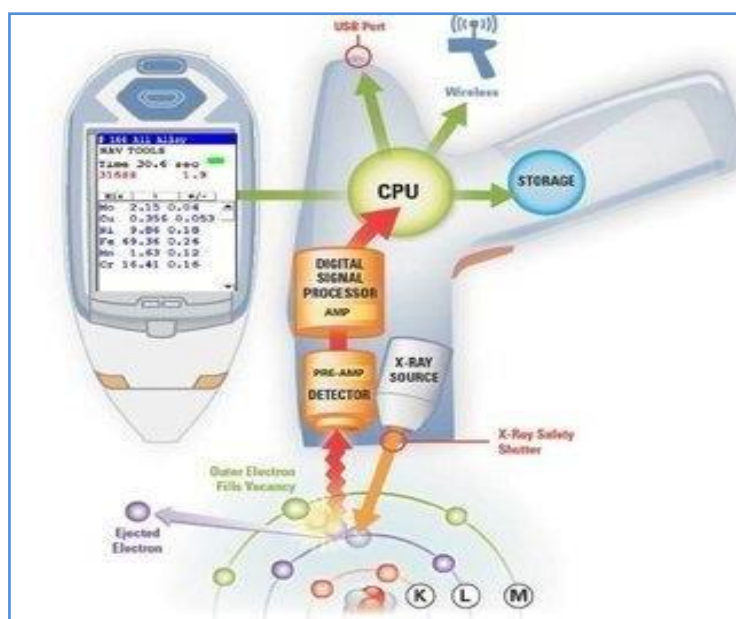


Photo IV.4: Portable Fluorescence X (pXRF)

Etape : 1

Le pistolet pXRF est équipé d'un générateur de rayons X. Ces rayons X sont en fait des photons propulsés avec une certaine énergie sous la forme d'un faisceau. Lorsqu'ils rencontrent les atomes de la matière placée au plus près du pistolet dans le champ du faisceau, ces photons entrent en collision avec les électrons gravitant autour du noyau des atomes. En percutant ces électrons, les photons leurs transmettent toute ou partie de leur énergie, propulsant ainsi les électrons à la manière de boules de billard.

Etape : 2

La délocalisation de ces électrons engendre un bouleversement du cortège électronique de l'atome (c'est-à-dire des électrons qui gravitent autour du noyau) qui pour reconstituer son cortège doit remplacer les électrons manquants en capturant des électrons libres. Cette réorganisation du cortège électronique de l'atome produit alors des rayons X dit de fluorescence. Ce sont ces rayons X de fluorescence qui sont captés par le détecteur du pistolet et vont permettre une analyse qualitative et quantitative de la matière.

En effet l'énergie de ces rayons constitue comme l'empreinte digitale de l'élément chimique qui les a émis. Chaque élément chimique produit des rayons X de fluorescence avec une énergie différente. La quantité de rayons X de fluorescence captée par niveau d'énergie est

proportionnelle à la quantité d'un élément chimique dans la matière (**Johnson et al. 1995; Kalnicky et Singhvi 2001; Kilbride et al. 2006**).

5. Observation à la loupe binoculaire

Nous avons sélectionné quelques échantillons d'accumulations du gypse pour une observation sous la loupe binoculaire.

Conclusion

L'ensemble des méthodes décrites dans ce chapitre nous ont permis d'étudier le sol au laboratoire, la méthode chimique et thermogravimétrique permettent le dosage du taux du gypse dans les échantillons étudiés et la méthode par diffractométrie et spectrométrie à rayons X donne les résultats minéralogiques de certains échantillons, l'observation morphologique avec la loupe binoculaire nous permet d'observer ces échantillon à une échelle microscopique.



Chapitre V: Résultats et discussion

Chapitre V: Résultats et discussion

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons tout d'abord les résultats d'analyses de dosage du gypse par la méthode chimique (Coutinet, 1965), puis les résultats obtenus par la méthode thermogravimétrique (Artieda *et al.*, 2006). Nous allons aussi faire une comparaison entre les résultats de ces deux méthodes. Par la suite nous présentons les résultats de l'étude minéralogique par diffractométrie à rayons X: DRX et PXRF, et leur interprétation et discussion.

Résultats du dosage du gypse

Dosage du gypse par la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique

La figure1(a et b), présente les résultats du dosage du gypse par la méthode chimique(a) et la méthode thermogravimétrique (b).

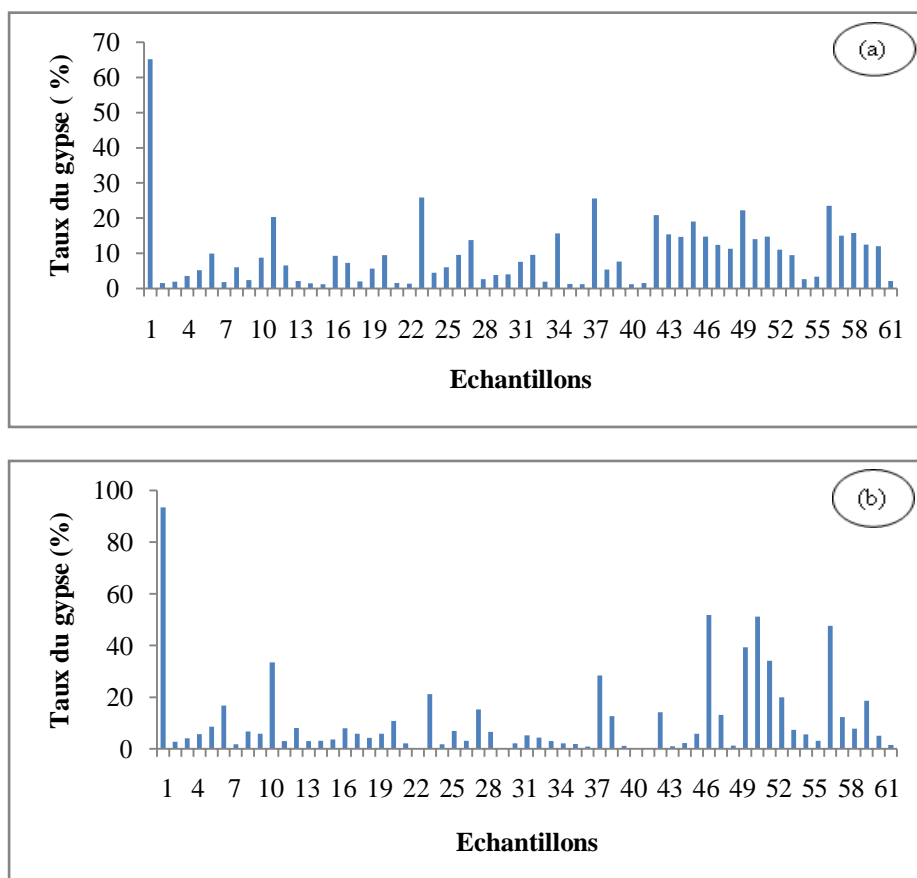


Figure V.1: Taux du gypse des échantillons étudiés par la méthode de Coutinet (a) et de la méthode thermogravimétrique (b).

Les résultats du taux du gypse dans les 61 échantillons sont variables pour les deux méthodes, de 1.17% à 65.16% pour la méthode chimique et de 0.05 % à 93.45% pour la méthode thermogravimétrique. C'est-à-dire que les échantillons étudiés présentent des taux supérieurs à 0,3% et sont de ce fait tous légèrement à extrêmes gypseux (**Tableau II.1 Annexe**).

Il est à noter qu'aucun échantillon n'appartient à la classe des sols non gypseux c'est-à-dire ayant des taux inférieurs à 0.3 % (**Tableau II.1 Annexe**).

Taux du gypse en fonction de classes de sols gypseux

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats obtenus pour le dosage du gypse en fonction de classes définies par **Barzanji (1973)** (**Tableau II.1 Annexe**). Ainsi, les classes suivantes ont été obtenues:

- Classe des sols légèrement gypseux(0.3% à 10%);
- Classe des sols modérément gypseux (10% à 15%);
- Classe des sols fortement gypseux (15% à 25%);
- Classe des sols extrêmement gypseux> 25%.

a- Classe des sols légèrement gypseux

La figure V.2 montre les taux du gypse des différents échantillons appartenant à la classe des sols légèrement gypseux pour les deux méthodes utilisées.

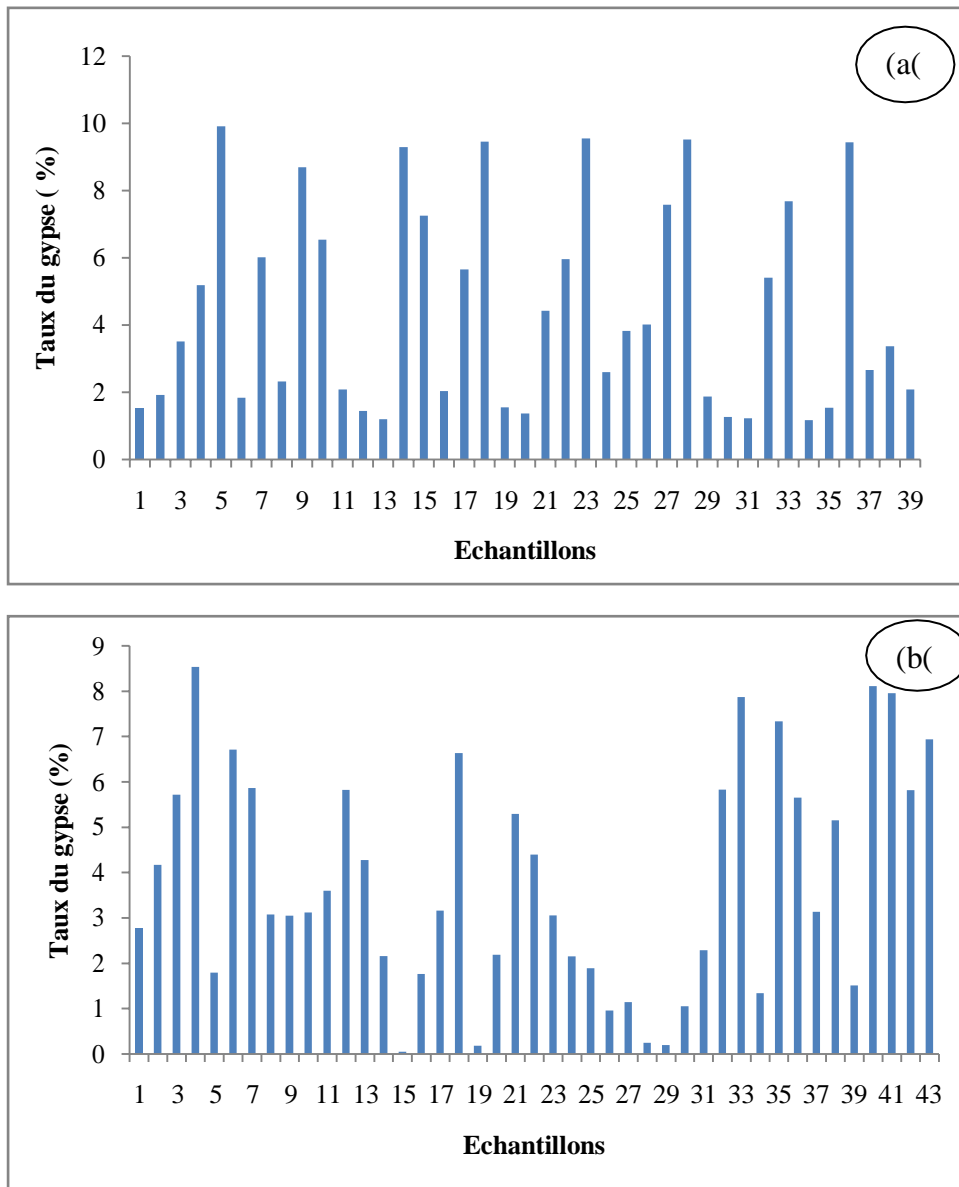


Figure V.2: Taux du gypse pour les échantillons des sols légèrement gypseux obtenus avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b).

Dans la classe des sols légèrement gypseux (0.3 à 10%), nous avons 39 échantillons pour la méthode chimique où le taux varie entre 1.17% et 9.91%, et 43 échantillons où le taux varie entre 0.05% et 93.89% pour la méthode thermogravimétrique.

b- Classe des sols modérément gypseux

La figure 3 montre les taux du gypse des différents échantillons appartenant à la classe des sols modérément gypseux pour les deux méthodes utilisées.

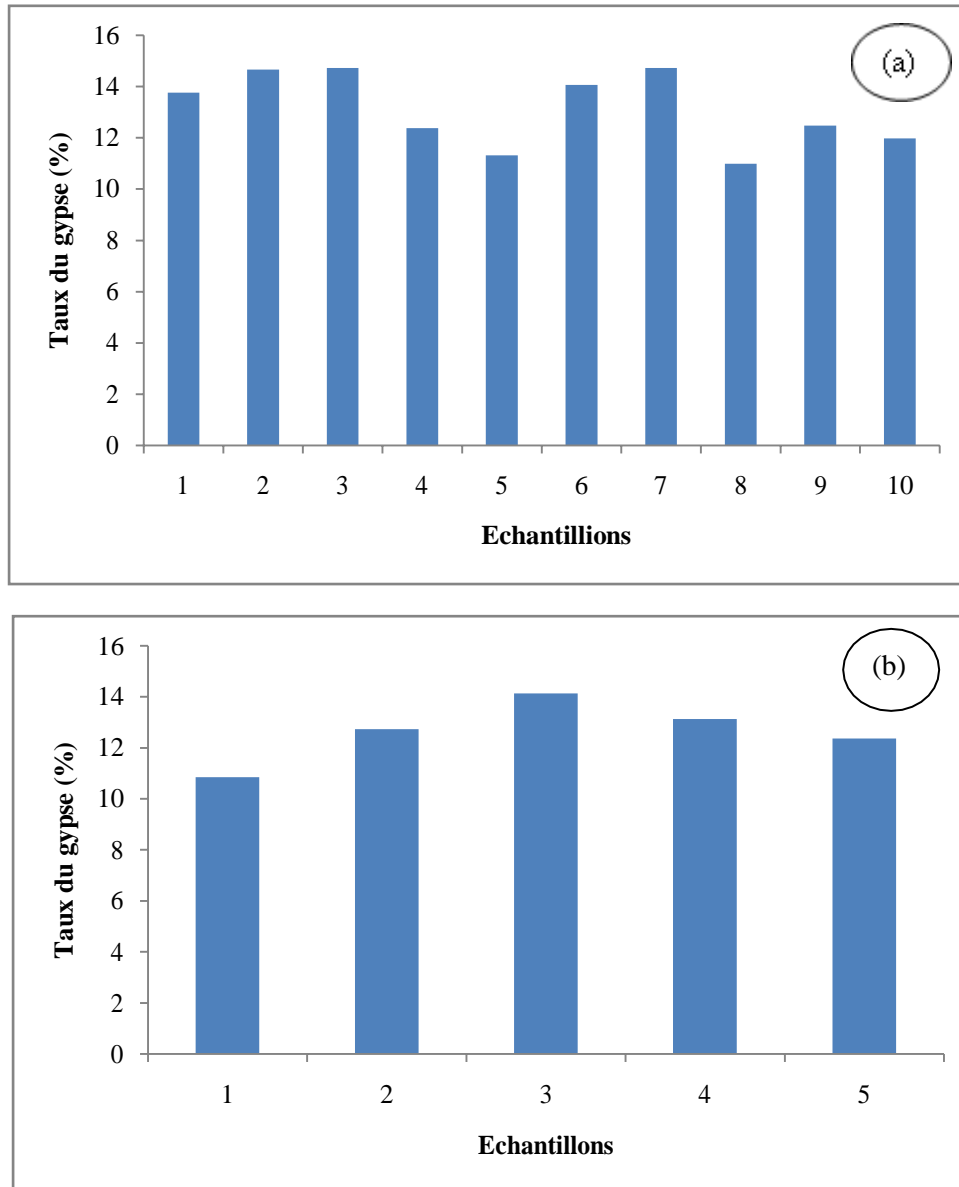


Figure V.3: Taux du gypse pour les échantillons des sols modérément gypseux obtenu avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b).

Dans la classe des sols modérément gypseux (10 à 15%) nous avons 10 échantillons où le taux varie entre 10.99% et 14.72% pour la méthode chimique, et 5 échantillons où le taux varie entre 10.84% et 14.73% pour la méthode thermogravimétrique.

c- Classe des sols fortement gypseux:

La figure 4 montre les taux du gypse des différents échantillons appartenant à la classe des sols fortement gypseux pour les deux méthodes utilisées.

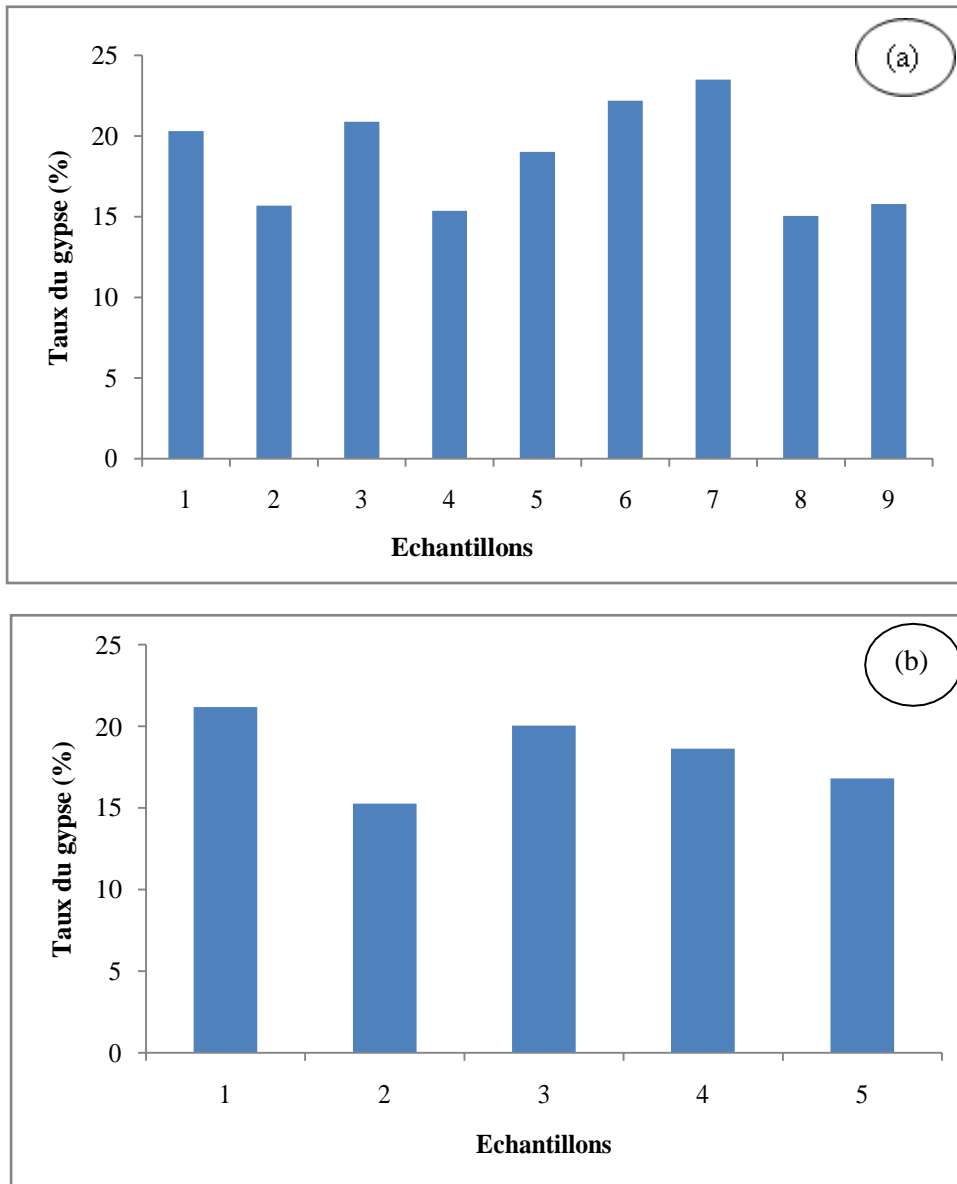


Figure V.4: Taux du gypse pour les échantillons des sols fortement gypseux obtenus avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b).

Dans la classe des sols fortement gypseux (15% à 25%), nous avons 9 échantillons pour la méthode chimique où le taux varie entre 15.04% et 23.50%, et 5 échantillons où le taux varie entre 15.26% et 21.17% pour la méthode thermogravimétrique.

d- Classe des sols extrêmement gypseux

La figure 5 montre les taux du gypse des différents échantillons appartenant à la classe des sols extrêmement gypseux pour les deux méthodes utilisées.

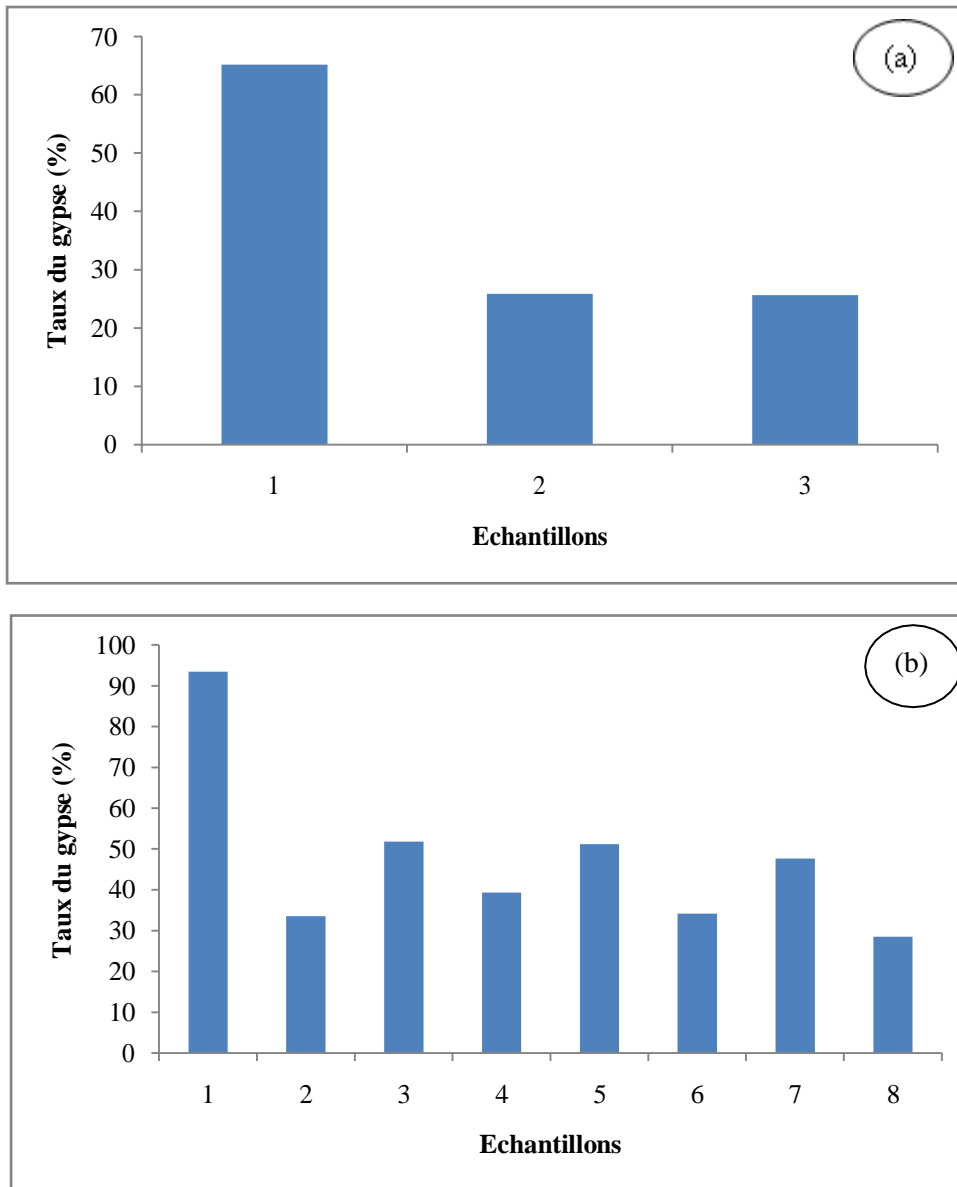


Figure V.5: Taux du gypse pour les échantillons des sols extrêmement gypseux obtenus avec la méthode chimique (a) et la méthode thermogravimétrique (b)

Dans la classe des sols extrêmement gypseux (>25%), nous avons 3 échantillons où le taux varie entre 25.62% et 65.16% pour la méthode chimique, et 8 échantillons où le taux varie entre 28.47% et 93.45% pour la méthode thermogravimétrique.

A travers cette étude de dosage du gypse faite par les deux méthodes, chimique de **coutinet (1965)** et thermogravimétrique (**Artieda et al., 2006**). Nous avons remarqués que le taux du gypse est variables où les sols sont légèrement à extrêmement gypseux dans les deux régions de Ouargla et Touggourt où la teneur de gypse peut atteindre jusqu'à 93.45% par la méthode chimique et jusqu'à 65.16% par la méthode thermogravimétrique.

On remarque aussi que les échantillons qui ont un taux de gypse très important sont issus de la région de Touggourt (EL-Goug et Sidi Mahdi), ce qui est confirmé par **Boukarkar et Mimouni (2018)**, qui a travaillé dans la même région et dans la région de Ouargla notamment pour les échantillons situés au Chott de Ouargla. Ces valeurs élevées de taux du gypse des échantillons étudiés est expliqué par la présence de différentes formes d'accumulations du gypse comme: les croûtes, les encroutements, les cristaux, les manchons, les amas, les nodules et les bancs gypseux.

Les photos 1, 2, 3, 4 et 5 montrent certains types d'accumulation de gypse vus par la loupe binoculaire.

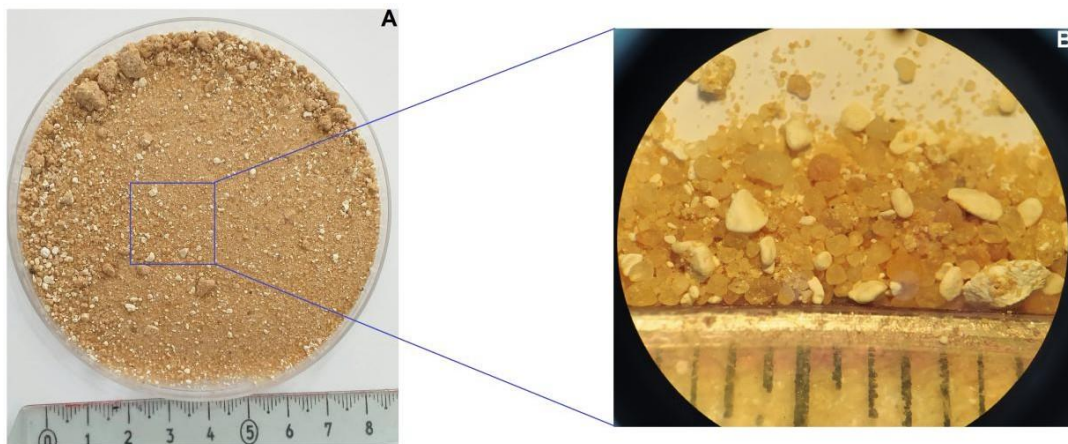


Photo V.6: A- Sol gypseux, B- Grains de quartz avec du gypse

(X20)(Région de Touggourt).

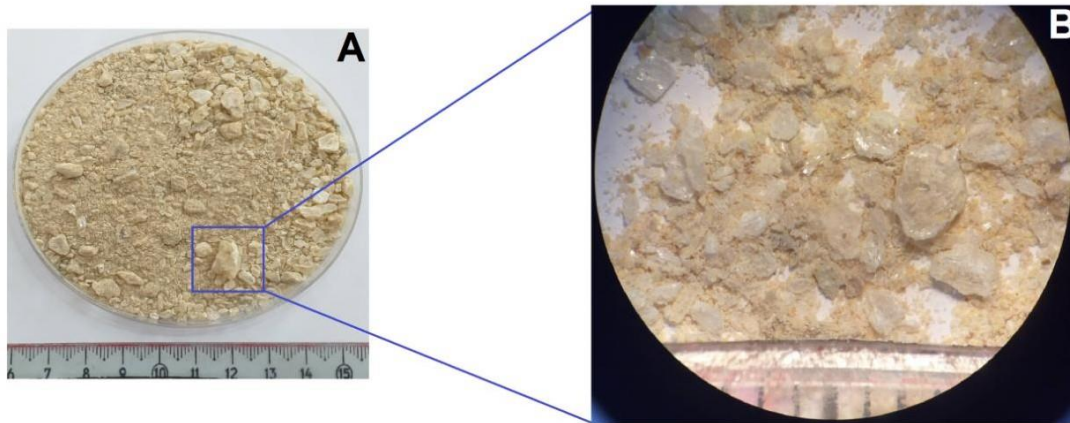


Photo V.7:A- Sol gypseux, B- Gypse à vue agrandie (X20) (Région de Touggourt).

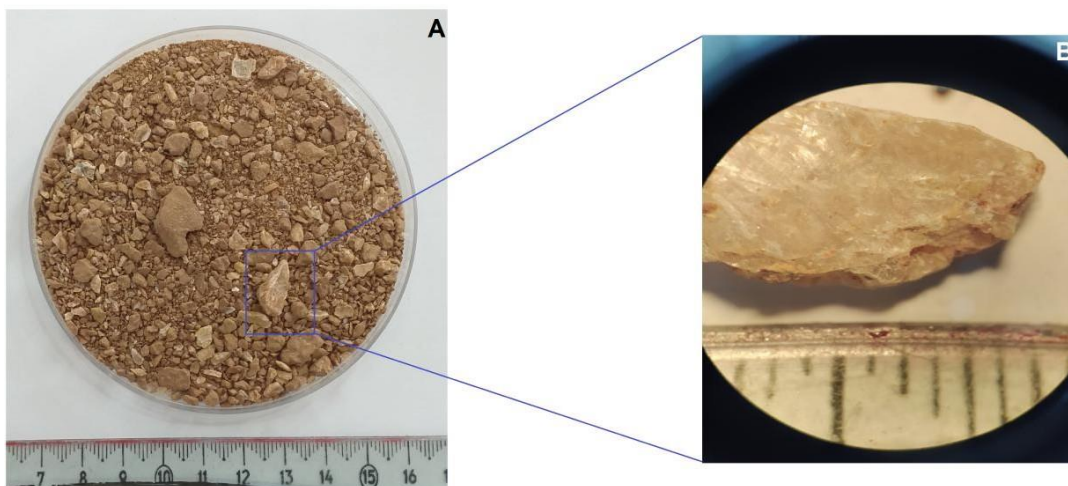


Photo V.8:A- Sol gypseux, B- Accumulation du gypse à vue agrandie (x20) (Région de Touggourt).

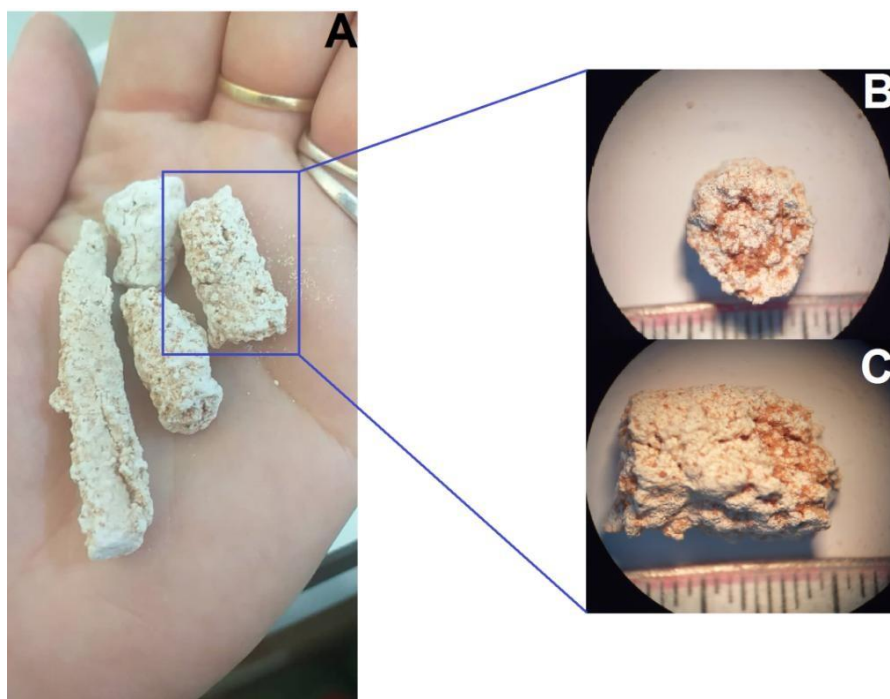


Photo V.9: A- Des manchons du gypse de différentes tailles. B- Vue agrandie (X 20) d'une coupe horizontale d'un manchon du gypse, C- Vue agrandie (x20) d'une coupe longitudinale de manchon (Région de Ouargla).

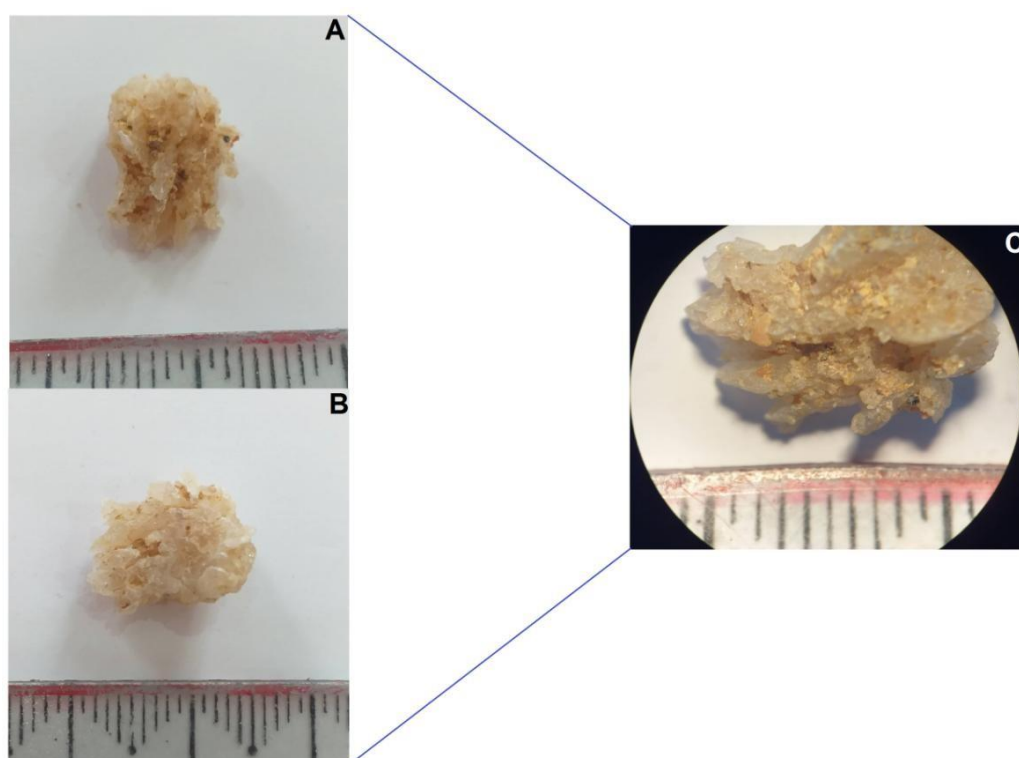


Photo V.10: A et B- Des barbes du gypse par les deux faces. C- Vue agrandie (X 20) de la surface de ces barbes (Région de Ouargla).

Ces résultats sont expliqués par le fait que la région de Ouargla et Touggourt sont des régions arides, caractérisées par des périodes longues où la température est très élevée, donc un grand taux d'évaporation. Ces fortes températures sont combinées à de très faibles précipitations au cours de l'année ce qui conduit à la formations de ces différentes formes d'accumulations et aussi à leur préservation au niveau du sol.

Au Sahara septentrional, les accumulations gypseuses (croûtes et encroûtements) ne peuvent témoigner que de périodes sèches où le gypse précipitait en grosses quantités, entrecoupées de périodes humides où le niveau de nappes phréatiques peut s'élever. Donc ces accumulations peuvent traduire les variations du niveau d'une nappe phréatique (**Dutil, 1971**).

Après l'utilisation de ces deux méthodes nous pouvons dire que la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique sont efficaces et précises pour la détermination du taux de gypse pour les échantillons que nous voulons étudier, mais nous encourageons l'utilisation de la méthode thermogravimétrique, car elle n'a pas besoin de beaucoup d'équipement et sans l'utilisation des produits chimique et elle est facile à appliquer et rapide. Au contraire la méthode chimique prend beaucoup de temps et nécessitent l'utilisation de plusieurs produits chimiques qui sont couteux, nocifs et dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement.

V.2.3 La corrélation entre la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique

Nous avons fait une corrélation (**Figure V.6**) entre les résultats de dosage du gypse par les deux méthodes utilisées, en éliminant les résultats des échantillons ayant données des valeurs de taux du gypse très variables entre les deux méthodes. Ce qui peut être expliqué par les conditions du laboratoire pouvant influencer les résultats obtenues. Ainsi que du temps limité du mémoire et des produits déficitaires ce qui nous a pas permis de faire plus de deux répétitions pour chaque échantillon.

La figure V.6 nous montre une corrélation positive entre les résultats des deux méthodes utilisées dans ce travail avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0.95$.

Ces résultats sont proches de ceux obtenus par **Artieda et al. (2006)**, qui ont trouvé un $R^2 = 0.94$, en comparant les résultats des deux même méthodes utilisées dans ce travail.

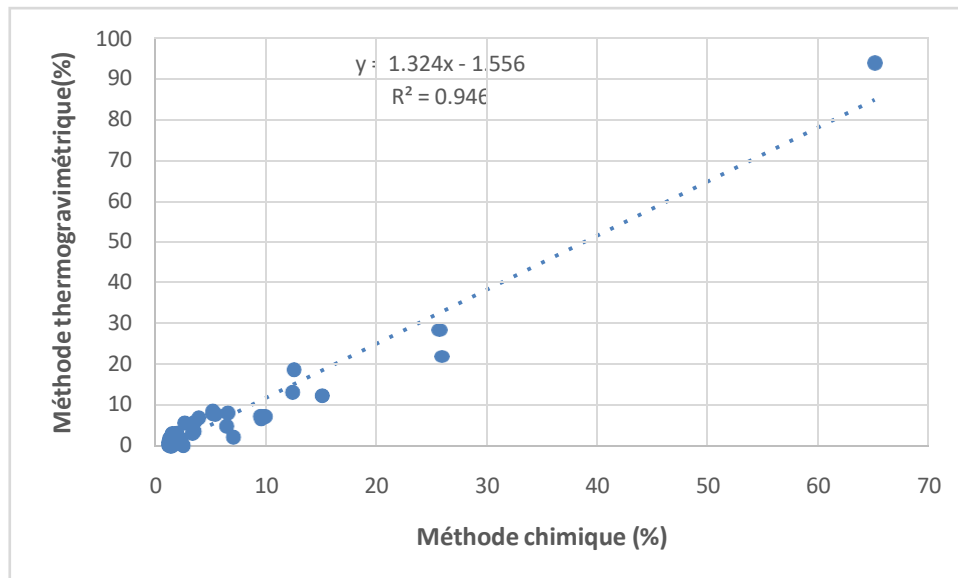


Figure V.6: la relation entre la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique

Résultats de la diffractométrie à rayons X

Les résultats de la minéralogie totale sur poudre (fraction < 2 mm) sont résumés au niveau des figures (V.7, V.8, et V.9). Ces échantillons proviennent de sols gypseux ; les trois sont prélevées de profils de sol contenant des accumulations gypseuses dans la région de Ouargla.

La DRX sur poudre totale nous a permis d'identifier les minéraux suivants:

- Les silicates: Quartz (SiO_2);
- Les carbonates: Calcite (CaCO_3);
- Les sels: Gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), bassanite ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), anhydrite (CaSO_4).

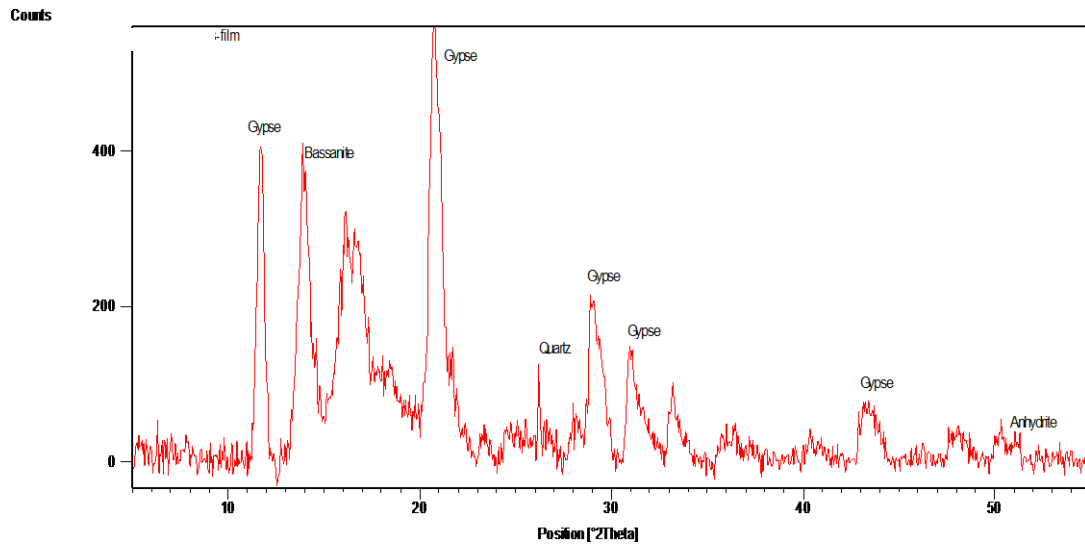


Figure V.7: Diffractogramme de rayons X d'un échantillon de gypse cristallisé (région de Ouargla).

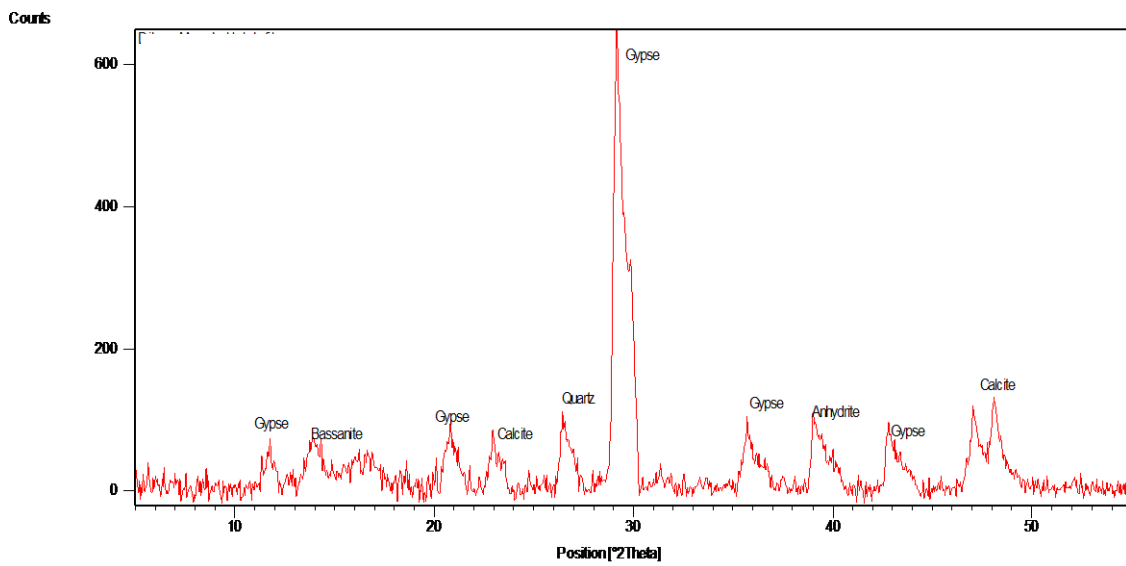


Figure V.8: Diffractogramme de rayons X de l'échantillon contenant des manchons de gypse (région de Ouargla).

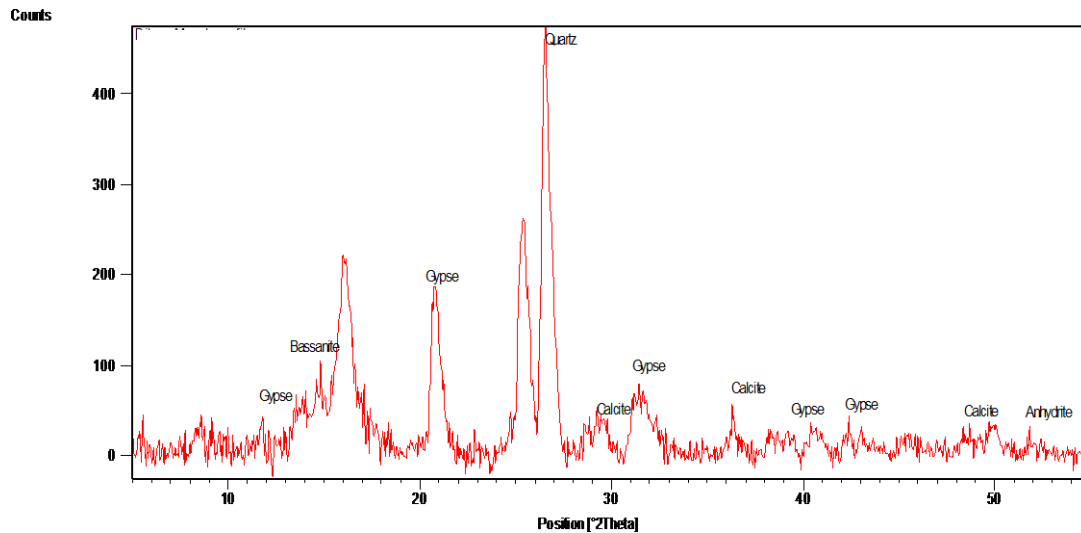


Figure V.9: Diffractogramme de rayons X d'un échantillon contenant du gypse (Ouargla).

D'une manière générale d'après le premier diffractogramme (figure V.7), on remarque que le gypse et la basanite sont les composants minéralogiques dominants montrant des pics intenses. On trouve aussi le quartz et l'anhydrite.

Pour le deuxième échantillon, on remarque aussi que le gypse est le minéral le plus dominant dans la composition (figure V.8). Le quartz, la basanite, l'anhydrite et la calcite sont aussi présente dans cet échantillon.

Concernant le 3^{ème} échantillon, on remarque que le quartz est le minéral le plus dominant (figure V.9). On remarque aussi la présence du gypse et de la basanite, la calcite et l'anhydrite.

A travers cette étude nous avons observé les minéraux présents dans les sols étudiés, révélés par le DRX qui sont: le gypse, le quartz, la calcite, la basanite et l'anhydrite. La présence de ces minéraux a été détectés aussi et confirmé par **Hamdi-Aïssa(2001)**, **Youcef (2016)** et en partie aussi par **Belhasrouf et Bouanane (2021)**.

Résultats de la fluorescence à rayons X (pXRF)

Dans les figures suivantes (10-15), les résultats de le pXRF de quelques échantillons sont présentés.

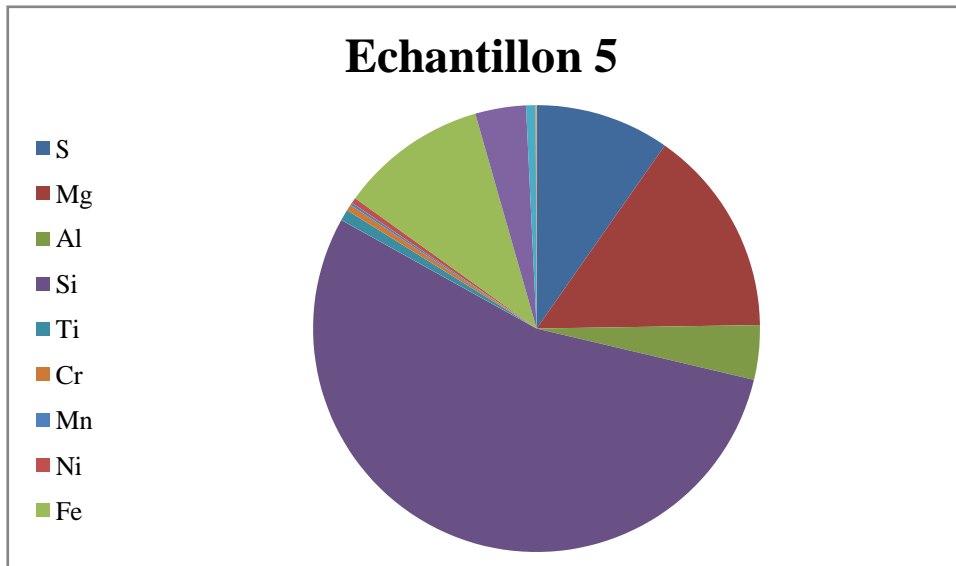


Figure V.10: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°5.

La figure V.10 montre les résultats de la pXRF de l'échantillon 5, où le Si est l'élément le plus abondant avec 69.27%. Le S, Mg, Fe et Al avec des pourcentages moins importants entre 5.02% et 19.14%. Par contre les éléments Ti, Cr, Mn et Ni avec de très petites quantités (<1.03%).

Ces résultats s'expliquent par le fait que le Si est le composant principal du sable et que dans cet échantillon le gypse présente des valeurs de 5,18 et 8,53% respectivement par la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique.

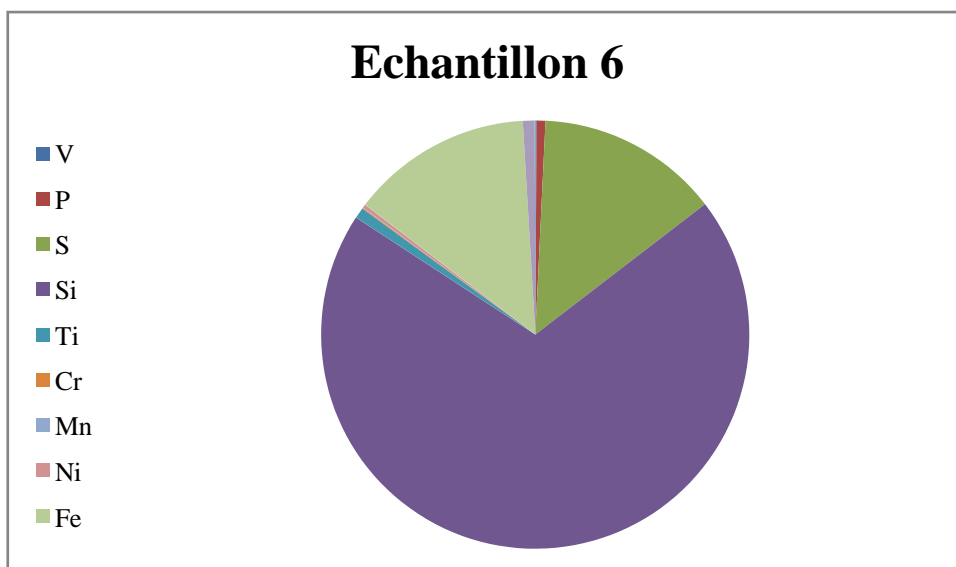


Figure V.11: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°6.

La figure V.11 montre les résultats de la pXRF de l'échantillon 6, où le Si est l'élément le plus abondant avec 72.56%. Le S et Fe avec des pourcentages moins importants entre 14.26% et 14.39%. Par contre les éléments Ti, Cr, Mn, Ni, V et P avec de très faibles pourcentages (<0.85%).

Les résultats du dosage de gypse dans cet échantillon montrent des valeurs de 9,91 et 16,80% respectivement par la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique. Ce qui veut dire un taux légèrement plus élevé que l'échantillon 5.

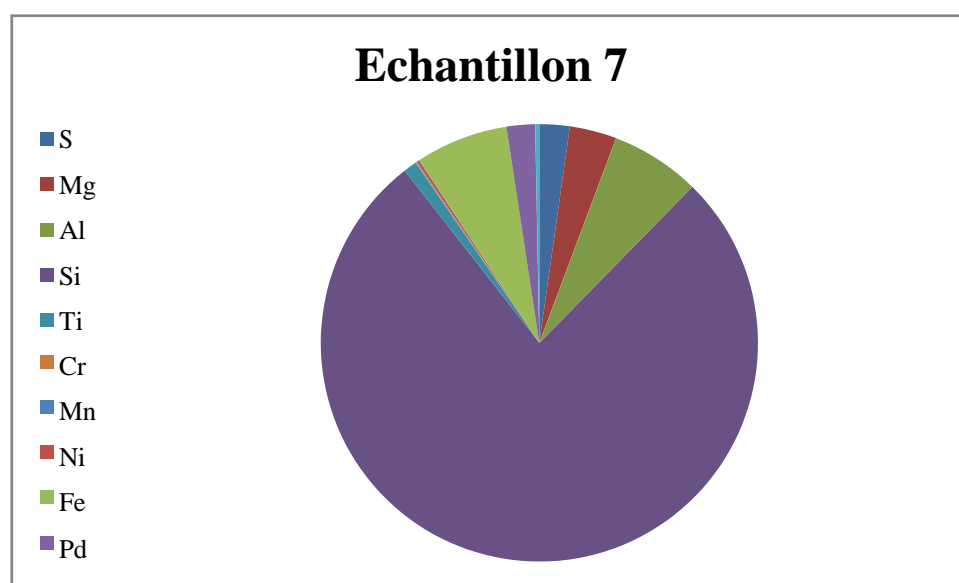


Figure V.12 : Résultats de la pXRF de l'échantillon N°7.

La figure V.12 montre les résultats de la pXRF de l'échantillon 7, où le Si est l'élément le plus abondant avec 76.31%. Le Al et Fe avec des pourcentages moins importants entre 6.56% et 6.79%. Par contre les éléments Ti, Cr, Mn, Ni, Mg et S avec des très petites quantités (<3.44%).

Ces résultats montrent que le Si ayant le taux le plus élevé est en relation avec la nature de l'échantillon qui est composé principalement du sable. En fait cet échantillon présente un taux de gypse de 1,83 et 1,79% respectivement par la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique. Ce qui est en relation avec le taux du soufre obtenu par pXRF qui est de 2,22% seulement.

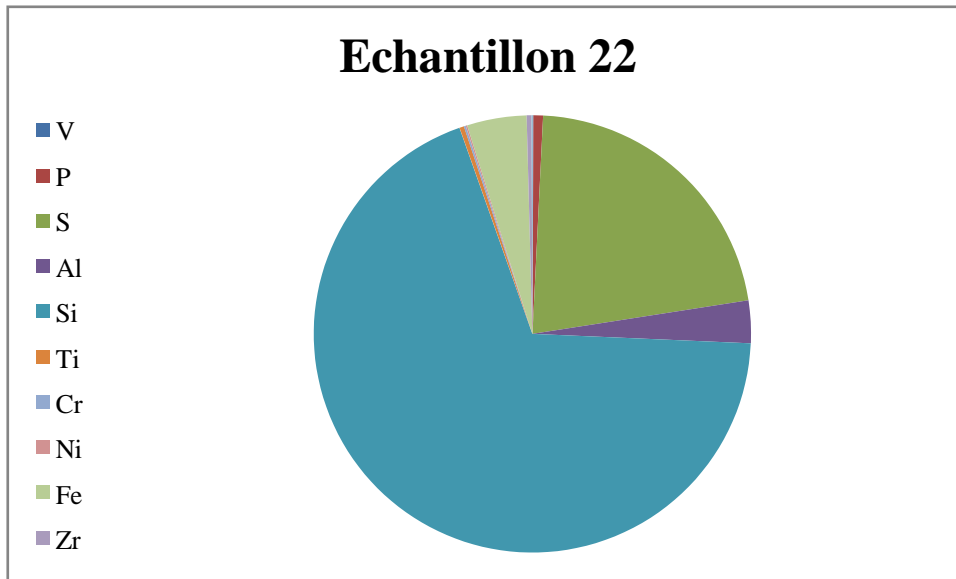


Figure V.13: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°22.

La figure V.13 montre les résultats de la pXRF de l'échantillon 22, où le Si et S sont les éléments les plus abondants avec 91.74% pour le Si et 28.99% pour le S. Le Fe, V, P, Al, Ti, Ni et Cr présentent des pourcentages très faibles (<5.87%).

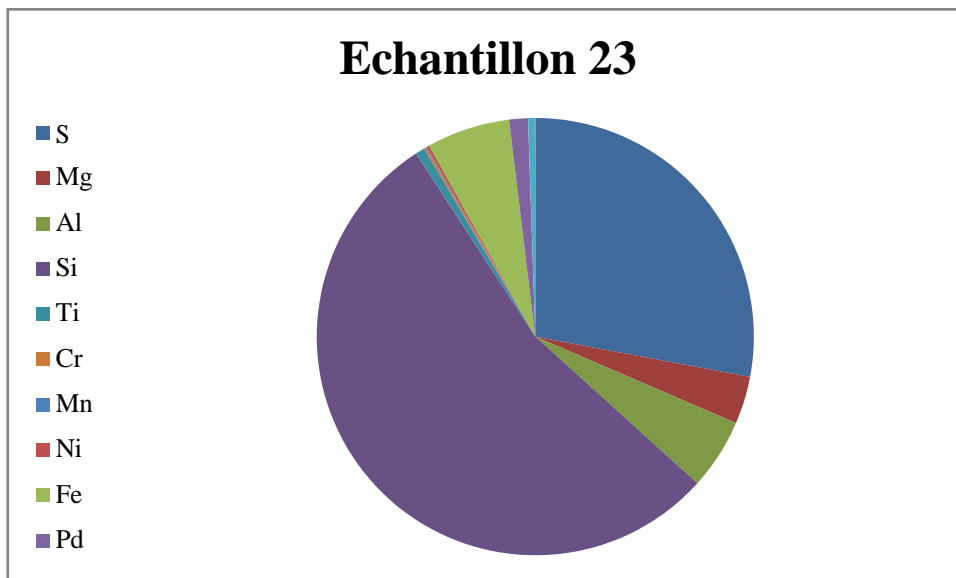


Figure V.14: Résultats de la pXRF de l'échantillon N°23.

La figure V.14 montre les résultats de la pXRF de l'échantillon 23, où le Si et S sont les éléments les plus abondants avec 55.74% pour le Si et 28.81% pour le S. Le Fe, Mn, Mg, Al, Ti, Ni, Cr présentent de petites quantités (<5.41%).

Pour cet échantillon, nous remarquons que le gypse présente des valeurs de 25,88 et 21,27% respectivement par la méthode chimique et la méthode thermogravimétrique. Ce qui est en relation avec le pourcentage du S qui est de 28.8%.

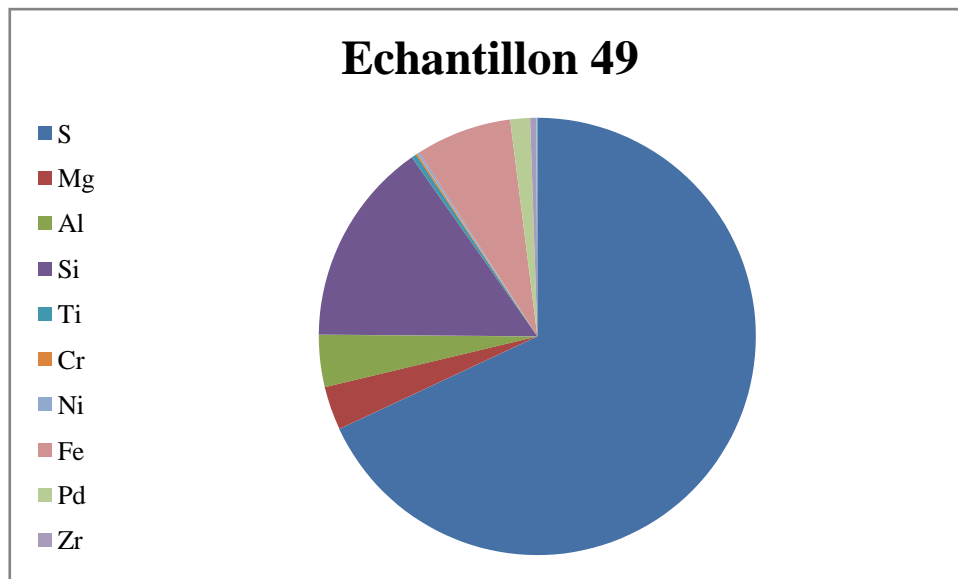


Figure V.15 :Résultats de la pXRF de l'échantillon N°49.

La figure 15 montre les résultats de la pXRF de l'échantillon49, où le S est l'élément le plus abondant avec 68.41%.Le Si avec un pourcentage de15.23%.Par contre les éléments Ti, Cr, Pd, Ni, Al, Fe et Mg présentent des petites quantités(<3.88%).

Donc pour cet échantillon ayant des taux élevés en S, nous trouvons aussi que les résultats obtenus pour le dosage du gypse sont de 22,18 et 39,32% respectivement par les deux méthodes chimique et thermogravimétrique.

V.4.1.Relations entre certains éléments mesurés par pXRF

1.1.Relation entre le taux de S et le taux du gypse

Cette relation est représentée, par les courbes de régression linéaires (Figures 16 et 17), qui montrent une corrélation positive ($r=0.65$) entre le taux du gypse et celui du soufre.

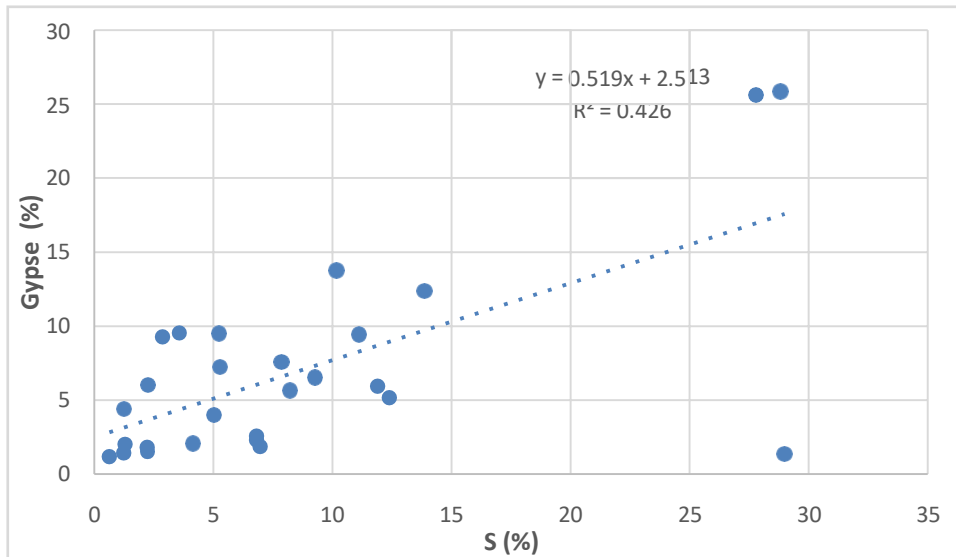


Figure V.16 : Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode chimique et celui du S (pXRF).

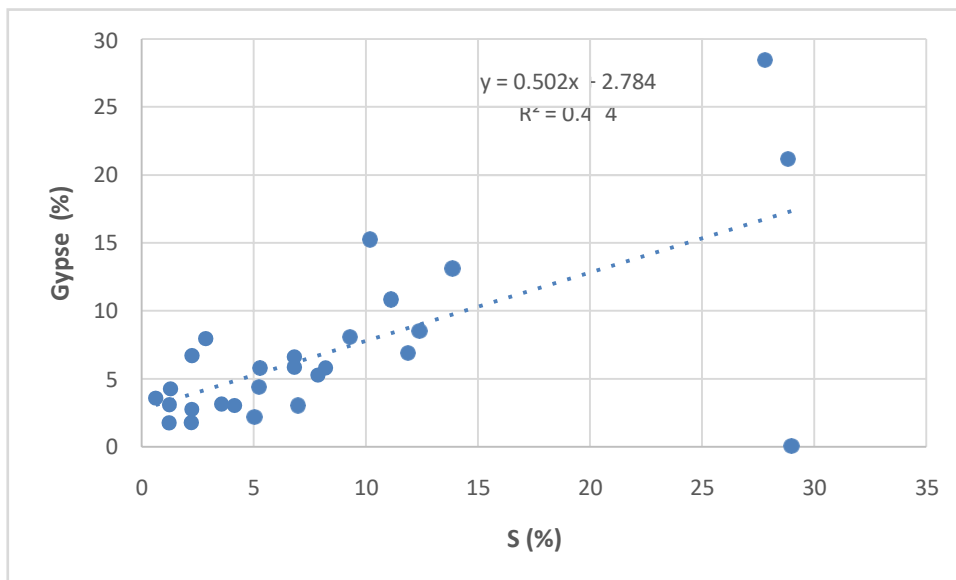


Figure V.17: Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode thermogravimétrique et celui du S(pXRF).

V.4. 1.2. Relation entre le taux de Si et le taux du gypse

Cette relation est présentée au niveau des courbes de régression linéaires (Figure V.18 et 19), qui nous montrent une corrélation négative entre le taux du gypse obtenu par la méthode chimique ($r=0.33$) et la méthode thermogravimétrique ($r=0.23$) et le taux du Si. C'est-à-dire que les échantillons ayant des taux de gypse élevés ont des teneurs faibles en Si qui est le constituant principal du quartz.

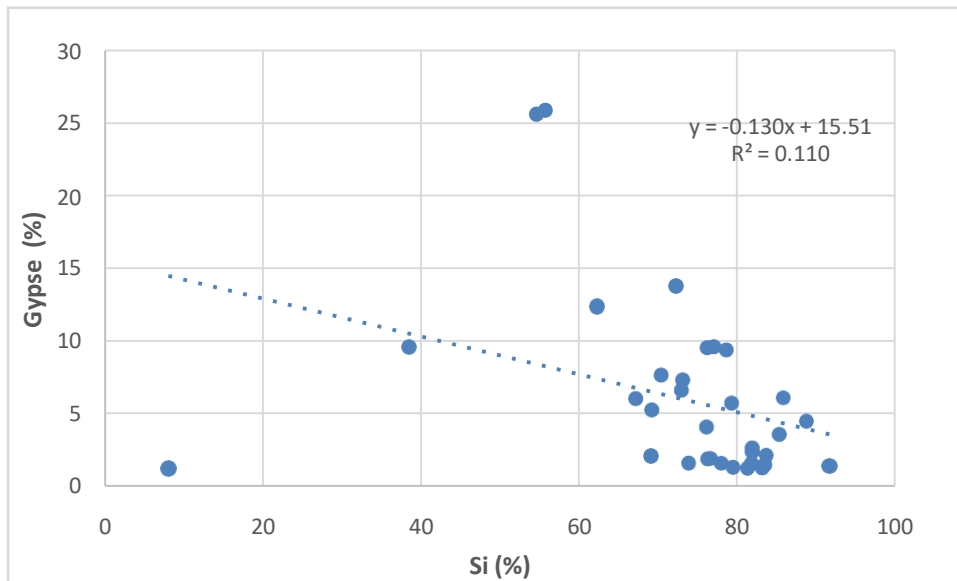


Figure V.18: Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode chimique et celui du Si(pXRF).

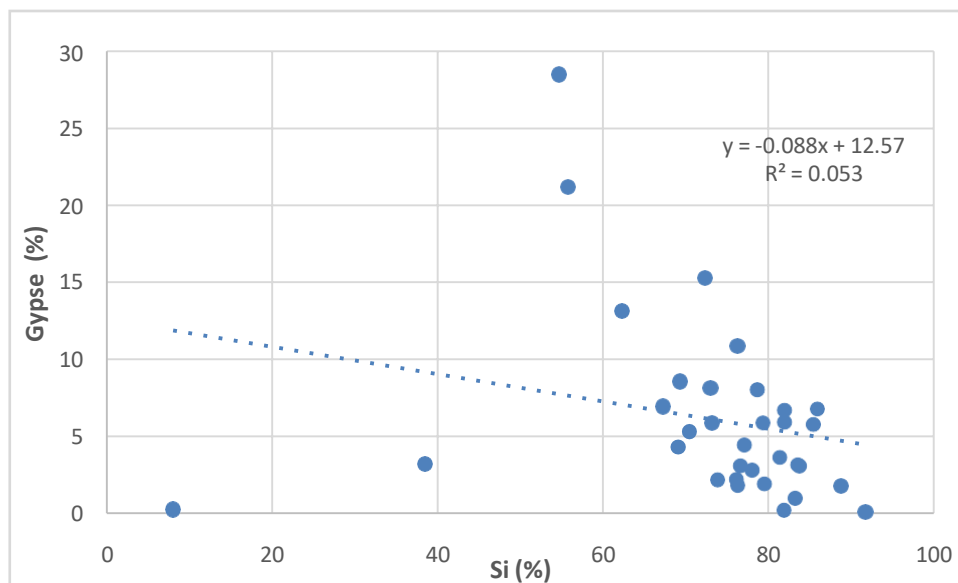


Figure V.19 : Relation entre taux du gypse obtenu par la méthode thermogravimétrique et celui du Si(pXRF).

1.3. Relation entre le S et le Si dans les sols étudiés

La figure 20 présente la relation entre les deux éléments Si et S. Cette courbe de régression linéaire montre une corrélation négative entre ces deux éléments ($r=0.61$). Ceci a été observé dans la partie précédente, où les résultats de la pXRF ont montrés que, quand le Si est en hausse, une diminution du S peut être observée et même pour les résultats de la DRX, montrant pour certains échantillons une relation antagoniste entre le gypse et le quartz. En effet, le soufre est un élément principal du gypse et quand on aura un échantillon de sol constitué essentiellement de gypse, c'est-à-dire le sable (constitué essentiellement du Si) aura une quantité minoritaire. Ceci est montré aussi au niveau des photos (V.1, 2, 3, 4 et 5) où, on remarque une prédominance des cristaux de gypse, par rapport à ceux du quartz constituant principal du sable dans certains échantillons.

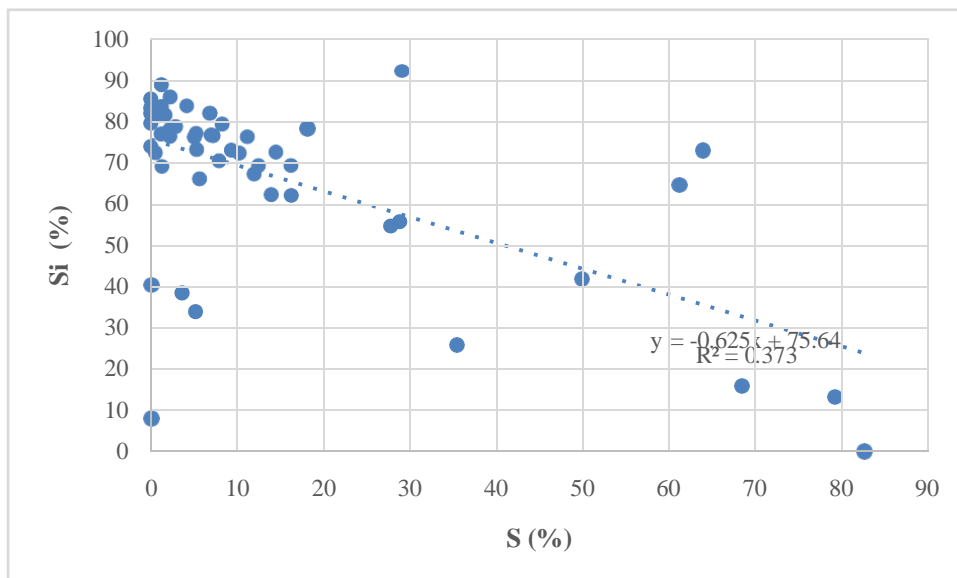


Figure V.20: Relation entre le S et Si au niveau des échantillons de sols étudiés.

Conclusion

En conclusions de ce chapitre, et après l'étude de tous les échantillons avec les méthodes utilisées nous avons conclu les résultats suivants:

-D'après les résultats obtenues par la méthode chimique de Coutinet et la méthode thermogravimétrique de perte au poids, le taux du gypse est très important et élevé pour certains échantillons où le taux du gypse dépasse 50%, pour certains le taux du gypse varie entre 2 et 50% pour les deux méthodes.

A la fin nous déduisons que il ya une corrélation positive entre la méthode chimique et thermogravimétrique ($R^2 = 0.95$).

-La méthode par diffractométrie à rayons X montre a partir des résultats que l'élément minéral le plus fréquent c'est le Quartz pour certains échantillons et le gypse pour d'autre.

-Dans certains échantillons l'élément le plus important est le "S" et pour d'autres c'est le "Si". Aussi on a une présence importante d'éléments "Al" et "Mg" pour d'autres échantillons. Les échantillons qui contient un pourcentage élevé en "S" et "Si" ne contient pas le "Al" et "Mg" ou il est présent avec un faible pourcentage et quand le taux de "S" est élevé le taux de "Si" est présent à petite quantité, la corrélation entre ces deux éléments est négative.



Conclusion générale

Conclusion générale

Notre travail avait comme objectif une contribution à la caractérisation des sols de la région de Ouargla et de Touggourt par plusieurs méthodes analytiques.

Les résultats d'analyses chimique et thermogravimétrique et des études minéralogiques et morphologique des échantillons choisis dans les deux régions, montrent que:

- A partir des résultats des deux, méthodes chimique et thermogravimétrique, les échantillons étudiés sont légèrement à extrêmement gypseux;
- Les deux méthodes sont efficaces pour le dosage du gypse. La corrélation entre ces deux méthodes montre un coefficient de corrélation positif (0.95);
- La détermination du gypse en utilisant la méthode thermogravimétrique de **Artieda et al., (2006)** qui dépend du séchage et de la perte d'eau est facile à appliquer, simple et précise et elle n'a pas besoin de beaucoup de matériel;
- La méthode chimique de **Coutinet (1965)**, pour déterminer le taux de gypse dans les sols est suffisamment précise mais prend beaucoup de temps et utilise des produits chimiques qui sont coûteux, nocifs et dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement;
- Pour la diffractométrie à rayons X (DRX), les sols étudiés sont caractérisés principalement par des éléments minéraux qui sont: le quartz et le gypse et on trouve aussi la bassanite, l'anhydrite et la calcite.
- L'étude par fluorescence X portable (pXRF) révèle l'existence de plusieurs minéraux dans les sols étudiés qui sont: S, Si, Mg, Al, Ti, Ni, Cr, Cu, Zr, Pd et Ag, caractérisés principalement par la présence de "S" et du "Si" par des pourcentages élevés ;
- Il existe une corrélation positive entre le taux de S et le taux du gypse ($r=0.65$) ;
- La relation entre le taux de Si et le taux du gypse montre une corrélation négative ;
- La relation entre le S et le Si dans les sols étudiés montre une corrélation négative entre ces deux éléments ($r=0.61$) ;

Recommandations

Par conséquent, il est recommandé de suivre la méthode thermogravimétrique, la plus simple et facile à appliquer au contraire de la méthode chimique qui utilise des produits chimiques qui sont coûteux, nocifs et dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- A.N.R.H. 2017.** Agence national des ressources hydriques de la wilaya d'Ouargla.
- A.S.T.M., Standards., 1988.** Cement; Lime; Gypsum, Annual Book,
- Abdesselam s., 1998** - Contribution à l'étude des sols gypseux au Nord-Est de Sahara Algérien : Caractérisation et genèse. Cas des Oasis de Tolga (région de Zibane). Mém. Mag. INA (El Harrach), 149 p.
- 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.
- AL-Obaidi b. sh., 2013.** Evaluation of different methods for gypsum determination in artificial soil, univ. Trikit. col. Agr. pp: 368-373
- applications for applied Geochemistry. Journal of Geochemical Exploration 188
- Artieda O, Herrero J, Drohan pj., 2006.** Refinement of the differential water loss method for gypsum determination in soils. Soil Sci Soc Am J 70:1932– 1935.
- Auvray c., 2003.** Vieillissement et comportement rhéologique du gypse. Thèse de doctorat de l'I.N.P.L., Spécialité : Génie civil – Hydrosystèmes Géotechnique, 279 p.
- Barriand p. Cesbron f, Geffroy j., 1978.** Les minéraux, leurs gisements, leurs associations. Editions du B.R.G.H., 298 p.
- Barzanjiaf., 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.
- Belhasrouf w, Bouanane a. 2021,** " Evaluation de la salure des sols nus dans la cuvette de Ouargla", c'est une mémoire de master, université de ouargla.
- Bellanca A, Neri., 1993.** Dissolution and precipitation of gypsum and carbonate minerales in soils on evaporite deposits, central Sicily: isotope geochemistry and microfabric analysis, Geoderma. 59 .1/ 4, pp: 263-277.
- 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.
- Bini c., Ristori g.g., 1987.** Microstructure of soils developed on Gypsic-clay rocks in Northern Apennines (Italy). Micromorphologie des sols :SoilMicromorphology, pp: 481-485.
- Boukarkar f., Mimouni a.2018,** "Contribution à l'étude des sols gypseux du Sahara septentrional: cas de la région de Touggourt".
- Bower C.A., Huss r.B., 1948.** Rapid conductometric method for estimating gypsum in soil. Soil Sci.66, pp: 199-209

Bower, C.A., Reitemeier, R.F., Fireman, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkaline soils. *SoilSci.*, 73: 251-261.

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

Boyadjiev T.G et verheye W.H. 1996 – Contribution to utilitarian classification of gypsiferous soil. *Geoderma* 74, pp. 321-338.

Bruno Lemièrè. 2018. A review of pXRF (field portable X-ray fluorescence) (2018) 350–363.

C.P.C.S., 1967. Classification française des sols. Commission de Pédologie et de Cartographie des sols INRA., Paris. 79p.

Caractérisation-Contraintes et propositions d'aménagement.324p.

Chakraborty, Noura Bakr, Wentai Zhang, Walker C. Weindorf, Mary Legoria. (2012).Enhanced pedon horizonation using portable X-ray fluorescence spectrometry. *Soil Science Society of America Journal*, 76(2), 522-531.

Cooke R.U., Waren A., Goudi S.A., 1993. Desert geomorphology. U.C.L. press. London. 526 p.book.

Cortin, a., (1969). Réaménagement de mise en valeur d'Oued-Righ. Etude

Coutinet s., 1965. Méthode d'analyse utilisable pour les soles sales, calcaires et gypseaux.

Agron tropicale 12, pp:1242.1253.

David C. Weindorf*, Yuanda Zhu, Beatrix Haggard,Josh Lofton,

SomsubhraChakraborty, Noura Bakr, Wentai Zhang, Walker C. Weindorf, Mary

Legoria. (2012).Enhanced pedon horizonation using portable X-ray fluorescence spectrometry. *Soil Science Society of America Journal*, 76(2), 522-531.

David C.,Herrero J., Noura B.,Samantha S., 2013. Direct Soil Gypsum Quantification via Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry.

Dekkiche b., 1974. Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique des eaux de nappe. Thèse Univ. Gant. Belgique,210p.

Dick W.A., Tabatabai M.A., 1979 Ion chromatographic determination of sulfate and nitrate in soils. *SilSci.Soc.Am.J.*, 43, 900 p.

Djili k., 2000. Contribution à la connaissance des sols du Nord d'Algérie. Création d'une banque de données informatisées et utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la valorisation des données pédologiques. Thèse d'état en sciences agronomiques. INA, El- Harrach, 227p.

Dubost F., 1991- La problématique du paysage, état des lieux. *Etudes rurales*

Durand J.H., 1954 – Les sols d'Algérie S.C.H., S.E.S. *Pédologie* N°2. 244 p.

- Ellorza M.G., Santollala F.G., 1998** .Geomorphology of the tertiary gypsum formation in the Ebro depression (Spain). *Géoderma*, N° 87. pp: 1-29.
- Elprince AM, Turjoman AM., 1983**. Infrared dehydration method for determining gypsum content of soils. *Soil Sci Soc Am J* 47:1089–1091
- Eswaren H, Gong Z.T., 1991**. Properties, genesis, classification and distribution of soils with gypsum. In Nettleton, w.d. et al., 1991. Properties, characteristics and genesis of carbonate gypsum and silica. Accumulation in soils. *SSSA spec. Pub. N° 26*. Mandison. pp: 89-119.
- Eswaren H. et Gong Z.T., 1991** – Properties, genesis, classification and distribution of soils with gypsum. In Nettleton, w.d. et al., 1991. Properties, characteristics and genesis of carbonate gypsum and silica. Accumulation in soils. *SSSA spec. Pub. N°26*. Mandison. pp.89-119.
- F.A.O., 1988**. Soil map of the world. Revised legend, by FAO–UNESCO–ISRIC. *World Soil Resources Raport N° 60*. Rome.
- FAO, 1988**. La qualité de l'eau en agriculture. *Bulletin d'irrigation et de drainage*, 29 Revel, 181 p.
- FAO, 1990**. Management of gypsiferous soils. *Soils bulletin n° 62*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome 81p
- Farag FM., 1999**. Thermal transformation of gypsum and its determination in soils. *J Agric Sci Mansoura Univ* 24(9): 5201–5215
- Fedoroff, N. & Courty, M. A. 1989**. Indicateurs pédologiques d'aridification: exemple du Sahara. *Bulletin de la Société Géologique de France* 5: 43-53.
- Florea N., Al-joumaa Kh., 1998** .Genesis and classification of gypsiferous soils of the middle Euphrates Floodplain, Syria. *Geoderma* 87: pp: 67-85.
- Frenkel H., Gerstl Z., Renger Van de Veen J., 1986** Determination of gypsum and cation exchange capacity in arid soils by resin method. *Geoderma*, 39, pp: 67-77.
- Friedel B., 1978**. Zur Bestimmung von Gips in Boden. *Z. Pflanzenernaehr. Rodenk.*, pp: 141 : 231-239.
- gorges d'El Kantra, 324 p.
- Greenberg, A.E., Trussell, RR., Clesceri, Is, 1985**. Standard methods for the examination of water and wastewater. 16thed. Am. Public Health Assoc, Washington, DC.
- Halitim A. et Robert M., 1987** – Interactions du gypse avec les autres constituants du sol. Analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentales. « *Soil Micromorphology* ». Fedoroff et al. Ed. A.F.E.S. –plaisir, France, pp. 179-186.
- 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 genèse et le comportement des sols. Thèse doctorat. univ Renne, 384 p.

- Halitim A., 1988.** Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U. Alger, pp: 361-385.
- Halitim A., Robert M., Berrier J., 1983.** Etude expérimentale de l'interaction de la calcite et du gypse avec la montmorillonite.
- Hamdi-Aïssa B. et Girard M.C., 2000.** Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. *Sécheresse*, 3, pp : 179-188.
- Hamdi-Aïssa B., 2001** – Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Approche micromorphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doc. INA Paris-Grignon, 310 p.
- Helimi S; hamdi-Aïssa B ; Bouhnik A ; et Mostfaoui T., 2018.** Les accumulations gypseuses dans les sols du Sahara septentrional Algérien : cas de la région d'Oued Righ, Article de journées d'étude des sols Rouen-Normandie, 2 p
- Herrero J. et Boixadera J., 2002** – Gypsic Soils. Encyclopedia of soil science, pp. 635-639.
- Herrero J. et Porta J., 1990** – Micromorphology and genesis of soils enriched with gypsum. CIHEAM JAMZ (Saragosse).
- Herrero J. et Porta J., 2000** – The terminology and the concepts of gypsum rich soils. *Géoderma* 96. pp. 47-61.
- Hesse (P.R.), 1974.** The Euphrates pilot irrigation project. Methods of soil analysis. FAO Raqqa.
- Hiouani F., 2007.** Influence De La Teneur En Gypse Et De La Taille De Ses Grains Sur La Capacité De Retention En Eau Sur Les Sols De La Zone De AinBenoui –Biskra, Mémoire de Magister en sciences agronomiques, Univ Batna, pp: 3-33.
- Jafarzadeh A.A. et Zinck J.A., 2000** – Worldwide distribution and sustainable management of soils with gypsum. pp. 1-6.
- Jha, A.K., Sivapullaiah, P.V., 2017.** Unpredictable behaviour of gypseous/gypsiferous soil: An overview. *Ind. Geotech. J.* 47: pp: 503–520. doi:10.1007/s40098-017-0239-5.
- Johnson B., Leethem J. et Linton K. 1995,** "Effective XRF field screening of lead in soil. DuPont Environmental Remediation Services, Houston, TX".
- Johnson, C. M., Nishita, 1952.** Micro estimation of sulfur in plant materials, soils, and irrigation waters. *Anal. Chem.* 24:736-742.
- Kalnicky D.J. et Singhvi R. 2001,** "Field portable XRF analysis of environmental samples", *Journal of Hazardous Materials* 83, p. 93-122.
- Khademi H., Mermut A.R., 2003.** Micromorphology and classification of aridis and associated gypsiferous arid soils from central Iran. www.elsevier.com/locate/catena . pp: 1-14.
- Khadraoui A., 2007.** Sols et hydraulique agricole dans les Oasis Algériennes.
- Khadraoui, (2006).** Sols et hydrolique agréole dans les ouasis algériennes
- Khan SU., Webster GR., 1968.** Determination of gypsum in solonchic soils by an x-ray technique. *Analyst* 93, pp 400- 402. Fulltext via cross ref.

Kilbride C., Poole J. et Hutchings T.R. 2006. "A comparison of Cu, Pb, As, Cd, Zn, Fe, Ni, and Mn determined by acid extraction/ICP-OES and ex situ field portable X-ray fluorescence analyses", *Environmental Pollution* 143, p. 16-23.

Kovalenko T.A., 1972. Determination of gypsum in soils. *Soviet SoilScience* 3: 373-376.

Book

Lagerwerff J.V., Akin G.W., Moses S.W., 1965 Detection and determination of gypsum in soils. *Soil.Sci.Soc.Am.Proc.*, pp: 553-540.

Lebron I, Herrero J, Robinson DA., 2009. Determination of gypsum content in dryland soils exploiting the gypsum-bassanite phase change. *Soil Sci Soc Am J* 73:403–411

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

Madani dj., 2008. Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique, thèse Magister en spécialité de protection de l'environnement, univ Batna, pp: 21-31.

Marnezy A., 2004. Les roches blanches : gypse et anhydre en Haute-Maurienne. Université de Liège, Fiche environnement- commission formation éducation du C.I.S., 7 p.

Mashali A., 1995. Soil management practices for Gypsiferous soils. Land and Water development Division. Workshop on Management of Gypsiferous – Damascus, Syria, pp: 1-21.

Mashali A.M., 1993. Management practices for gypsiferous soils under irrigated condition. Proceeding int. World classification and management of Arid Desert Soils. Uramiqi, China
Mashali A.M., 1996 – Soil management practices for gypsiferous soils in Poch R.M.(ed).

Proceeding syr. Gypsum. Lleida, Spain.

Mediouni K., 1997, Organisation et potentialités de la diversité biologique algérienne. Min. Envi., Tome II, Projet Alg. / 97/ G31/ FEM/PNUD.

Mesghouni R., (2008). La faune associée aux dattes entreposées dans deux stations de la région de Touggourt (R.A.N.O. / I.N.R.A.) ; Influence des différentes pyrales sur les fruits stockés, Tentative de multiplication des *Trichogramma cordubensis* (Hymenoptera, Trichogrammatidae). Mémoire Ing. Agro, Ouargla,

Mukherjee, S. 2013. The Science of Clays Applications in Industry, Engineering and Environment. Ed. Springer, Dordrecht, Netherlands et Capital Publishing Company ,New Delhi, India, 325 p.
n°2pp.121-124

Nelson R.E, Klameth L.C., Nettleton W.D., 1978. Determinating soil gypsum content and expressing properties of gypsiferous soils. *SoilSci.Soc.Am.J.*, 42, pp: 659-661.

Omran S., 2016. A simple model for rapid gypsum determination in arid soils. Article Soil and Water Department, Faculty of Agriculture, Suez Canal University, Ismailia 41522, Egypt , pp: 02 -11.

ONM., 2017 - Donnée climatiques de Touggourt. Office Nationale de la Météorologie, 5p. organisation d'un espace rural en milieu désertique. Ed. Pub. Dépt. Géo., Univ.

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, pp : 14-93.

Pansu, M. & Gautheyrou, J. 2006. Handbook of Soil Analysis. Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Ed. Springer-Verlag Berlin ,Heidelberg, 993 p.

Piorek S. 1997, " On-site, in-situ characterization of contaminated soil and liquid hazardous waste with field portable X-ray analyzer - A cost effective approach", in Gottlieb J. (eds), Field Screening Europe, p. 329-333, Kluwer Academic Publishers.

Poch R. M., 1996. Proceedings of the International symposium on soils with gypsum. Ed. Univ.Lleida, Catalonia, Spain, 97p.

Poch R.M., 1992 – Characteristics of the sand fraction of two hyper gypsic horizons of "Epila De Urgell" NE Spain. Egypt. J. Soil. Sci 32. N°4. pp.523-535.

Porta J., 1998. Methodologies for analysis and characterization of gypsum in soils : A review. Geoderma 87 : pp : 31-46.

Porta J., LOPEZ., ACEVEDO M., RODRIGUEZ R., 1986.Técnicas y experimentos en Edafologia Vol. I : Col. Legi. Official E.A.C. Ediciones, Barcelona, 281p.

Pouget M., 1968. Contribution a l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le sud-tunisien", Cahiers ORSTOM série pédologie 6: pp : 309-365.

Pouget M., 1995. Les Gypsosols. Ed. I.N.R.A.,Référentiel pédologique français, 6^{ème} version, 332p.

Quelet R., 1964. Précis de chimie.Tome II. Chimie Minérale.Ed. Presses Universitaires de Paris., 253p.

Rahmouni. A., 2010. Morphologie et propriétés des gypsisols références du Hodna, thèse magister E.N.S.A AL-Harrache, pp: 4-38.

Razi s., 2006. Etude expérimentale de l'influence du gypse sur la dynamique du phosphore dans le sol et sa cinétique d'absorption par le ray-grass.Mém. Mag, Univ Batna, 194 p.

Richards L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.U.S. Department of agriculture Handbook 60, pp : 102-107

Rouvillios Brigol. M., 1975. Le pays de Ouargla (Sahara algérien). Variation et Sarbonne, Paris, T. 2, 316p.

Skarie RL, Arndt JL, Richardson JL., 1987. Sulfate and gypsumdetermination in saline soils. SoilSci Soc Am J 51:901–905

SOGETHA et SOGREAH, 201p.

Soil Survey Staff (S.S.S) ,, 2003 . Key to soil Taxonomy . Ninth edition. Unitedstates department of agriculture. NRCS, 332 p.

Stoops G. et Allaiwi M., 1981 – Gypsum in arid soils. Morphology and genesis. Proc. Third

int soil class. Workshop. ACSAD.Damascus, Syria. Pp. 175-185.

Stoops, G 1974. Fabric and mineralogy of gypsum accumulations in some soils of Iraq.

Suryanarayana, C. & Grant Norton, M. 1998. X-Ray diffraction a practical approach. Ed Springer, New York, 273 p.

Toomamina N., Jalalian A., Eghbal M.K., 2001. Genesis of gypsum-enriched soils in North West Isfahan. Iran. Géoderma, 99, 3. pp: 199-224.

USSL., 1954. Diagnostic and improvement of salin in alcalin soils. USDA, Handbook n°60, 160 p

Vana Alphen J.G., Rios Romero F., 1971. Gypsiferous soils. Notes on their characteristics and management. Bulletin 12. International institute for land reclamation and improvement, Wageningen. The Netherlands, 44 p.

Vieillefon J., 1978. Etude de l'application des phénomènes de déshydratation et de réhydratation du sulfate de calcium à l'estimation des teneurs en eau et en gypse des sols gypseux. ES 146 - DRES - Tunis.

Vieillefon J., 1979. Contribution à l'amélioration de l'étude des sols gypseux. Cahiers ORSTOM, Série pédologie, 17, pp : 195-223.

Watson A., 1980. Vegetation polygon in the central Namib desert. Madougaserie, 11-12.

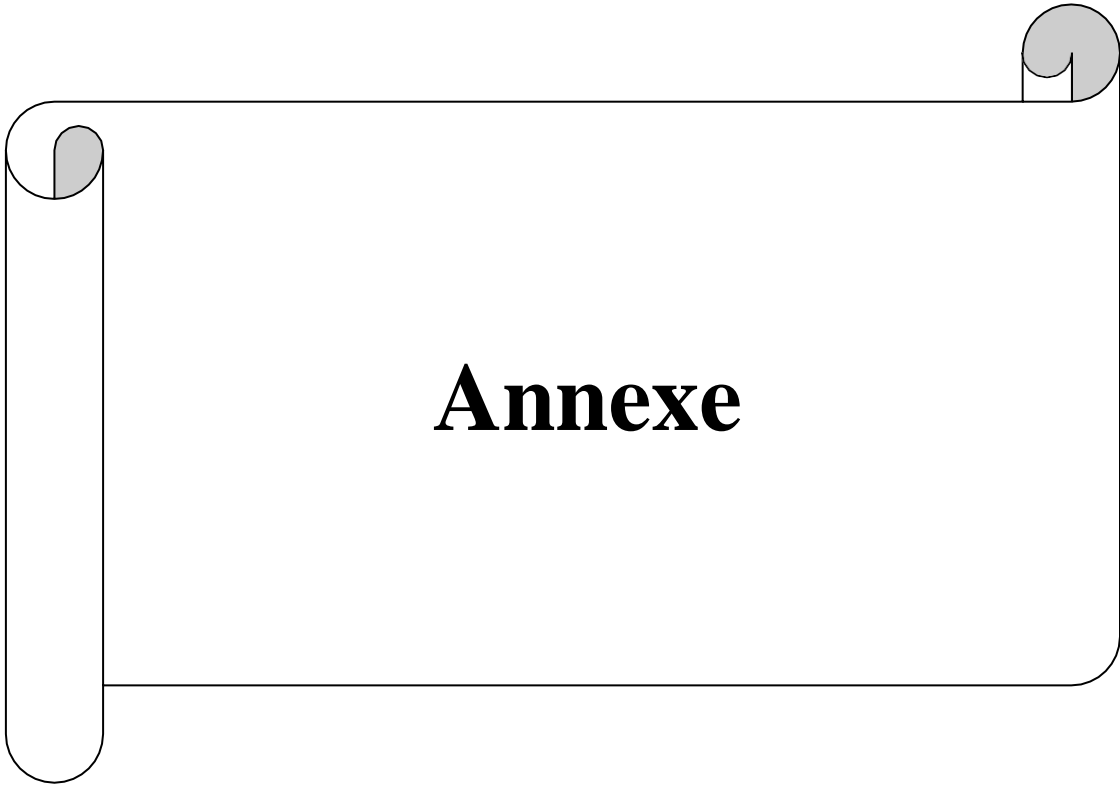
Watson A., 1983. Gypsum, crusts. In Goudie AS., Pye K., Editors 1983. Chemical sediments and geomorphology. Academic press. London 92-123.

Watson A., 1985 – Structure, chemistry and origin of gypsum crusts in Southern Tunisia and central Namib desert. Journal of arid environment, 15, pp. 19-42.

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

Youcef, F. 2016. Contribution à la reconstitution du paléoenvironnement au Sahara septentrional dans les sols de bassins endoréiques: Cas de la région d'Ouargla.

Yuzer E., 1982. Propriétés géotechniques des évaporites et formations évaporitiques de Turquie. Bull. Ass. Int. Géol. Eng., n°25, pp: 107-110.



Annexe

Annexe I:Résultats analytiques du taux de gypse

Tableau I.1:Taux du gypse déterminé par la méthode chimique de **Coutinet (1965)** dans les échantillons étudiés

Tableau I.2:Taux du gypse déterminé par la méthode thermogravimétrique de **Artieda et al., (2006)** dans les échantillons étudiés.

Annexe II : Echelles d'interprétation des résultats analytiques

TableauII.1: Classes des sols gypseux **Barzanji (1973)**

Gypse (%)	Classes
< 0.3	Non gypseux
0.3-10	Légèrement gypseux
10-15	Modérément gypseux
15-25	Fortement gypseux
25-50	Extrêmement gypseux

Annexe III: Résultats minéralogique par Fluorescence à rayons X (pXRF).

Tableau III.1: les éléments minéraux mesurés par le pXRF dans les échantillons étudiés en (%).

Ag	V	P	S	Mg	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Ni	Fe	Pd	Zr	Cu	
0.37666667	0	0	0	35.04666667	44.00333333	0	0.48666667	1.43666667	0.11666667	1.18	3.29333333	0	3.50666667	0.12333333	
0	0	0	2.23666667	3.88	6.04666667	78.03333333	0.97666667	0.44	0.22666667	1.03	14.11	0	0.90666667	0	
0	0	0	0	17.15666667	62.47666667	0	0.83666667	0.93	0	1.15333333	12.83333333	0	0.96666667	0.13	
0	0	0.19333333	0	0	0	85.33666667	0.36	0.2	0	2.11666667	51.74333333	0	7.32666667	0.55	
0	0	0	12.39	19.14333333	5.01666667	69.27	1.03	0.57666667	0.23	0.50333333	13.59333333	4.66666667	0	0.88	0.09
0	0.11	0.69333333	14.39	0	0	72.56	0.84666667	0.06666667	0.04	0.27	14.26333333	0	0.93	0.04666667	
0	0	0	2.22	3.43666667	6.56333333	76.30666667	0.95666667	0.07666667	0.07333333	0.16666667	6.79333333	2.08666667	0.28333333	0.01	
0	0	0	2.24333333	12.04333333	7.12666667	85.83333333	0.69666667	0.49666667	0.26	0.57	5.81	0.31666667	1.37666667	0.12666667	
0	0	0	6.81	5.33666667	0	81.91333333	0.65	0.24	0.03333333	0.21666667	3.34333333	1.63666667	0.36666667	0.02	
0	0.07666667	1.37333333	0.55	0	0	72.37333333	0.84333333	0.03333333	0.10666667	0.26666667	15.16333333	0	0.16	0.03666667	
0	0	0.77666667	0.70666667	0	0	82.68333333	0.44333333	0.05333333	0.17333333	0.48666667	14.61	0	0	0.08	
0	0.03333333	0.27333333	9.27	0	0	73	0.62333333	0.05666667	0.28	0.33333333	15.43	0	0	0.06333333	
0	0.04	0.16666667	4.14666667	2.60666667	8.93666667	83.68	0.81	0.06666667	0.05	0.24333333	8.19	0	0.64333333	0.3	
0	0	0.10366667	1.24	0	0	83.49666667	0.41333333	0	0.11666667	0.33666667	13.09333333	0	0	0.05666667	
0	0	0	0.63	2.58666667	6.76333333	81.33666667	0.56666667	0.06666667	0.07666667	0.13	5.82	1.25	0.32666667	0.01666667	
0	0.14333333	1.56666667	2.86	0	4.08333333	78.65666667	1.08	0.11666667	0.03333333	0.3	14.19666667	0	0.39	0.13333333	
0	0	0	5.28666667	7.19	4.83666667	73.15333333	0.96	0.29666667	0.01666667	0.25666667	4.43666667	0.34666667	0.45666667	0.04666667	
0	0.19666667	0.53333333	1.29	0	0	69.09666667	1.65333333	0.10666667	0.20666667	0.26666667	26.60333333	0	0.11333333	1.25	
0	0.08	0.42666667	8.20333333	0	0	79.32	0.88333333	0	0.05	0.25333333	14.91	0.05666667	0.20333333	0.07	
0	0.21333333	1.09666667	11.12	0	0	76.24666667	1.15333333	0.11	0.02	0.33666667	19.69666667	0	0.27666667	0.09666667	
0	0.05	0	0	0.00666667	0	73.90666667	1.04	0.12	0	0.74	11.41666667	0	0.95333333	0.10333333	
0	0.09	0.94	28.98666667	0	4.19666667	91.74	0.44666667	0.19	0	0.14666667	5.86666667	0	0.47666667	0.08333333	
0	0	0	28.80666667	3.62333333	5.40666667	55.74333333	0.72333333	0.15666667	0.07333333	0.2	6.35	1.43333333	0.51	0.03333333	
0	0.06	0.58333333	1.23	1.53	7.38666667	88.75666667	0.44333333	0.18333333	0.02666667	0.16	5.63666667	0	0.27	0.07	
1.84	0	0	11.89666667	1.96333333	4.82	67.25333333	1.01333333	0.24666667	0	0.39333333	6.10666667	0.95666667	2.30333333	0.05666667	
0	0.09	0	3.56666667	3.69	2.53	38.46666667	1.51333333	0.18333333	0.01333333	0.24333333	4.82666667	0	45.36333333	0.02	
0	0.28	0.99	10.17	0	0	72.30666667	1.40333333	0.19333333	0.04666667	0.44666667	28.40666667	0	0.55	0.33333333	
0	0	0	6.81	5.33666667	0	81.91333333	0.66	0.24	0.1	0.21666667	3.34333333	1.83666667	0.36666667	0.06	
0	0	0	0	32.91	60.39	0	0.92333333	1.08	0	0.90333333	9.42333333	0	0.35666667	0.03333333	
0	0	0	5.02666667	3.49333333	5.89	76.15333333	0.87	0.09	0	0.14	5.19666667	0.96	0.63333333	0.02	
0	0	0	7.86333333	7.13	0	70.45666667	1.86666667	0	0	0.34333333	5.95	3.25	3.63333333	0.04666667	
0.51333333	0	0	5.22666667	36.62333333	47.11	77.09333333	0.61333333	0.13	0	0.81	10.45333333	1.75	1.45	0.18333333	
0	0	0	6.96	30.99666667	47.11	76.64333333	0.84	0.28	0	0.94333333	8.85	2.22	1.85666667	0.30333333	
0	0	0	1.66333333	2.67666667	7.27333333	81.49	1.18666667	0.10333333	0.01666667	0.11	4.36333333	1.52333333	1.17333333	0.03	
0	0	0	0	3.3	7.05666667	79.50333333	1.32666667	0.06	0	0.18666667	5.81333333	1.71666667	0.98666667	0.19333333	
0	0	0	0	1.73	7.3	83.17333333	0.93666667	0.08666667	0.05333333	0.19	3.99666667	1.13666667	1.55666667	0.03	
0	0	0	27.79	8.07333333	0	54.64333333	0.78666667	0.18333333	0.09333333	0.18333333	4.20333333	1.91666667	1.21333333	0.04666667	
0	0	0	5.15333333	3.89666667	6.19333333	33.86666667	0.88666667	0.12333333	0	0.31666667	5.72333333	0	1.1	0.06	
0	0	0	0	36.33666667	44.16	0	0.83666667	0	0	0.95666667	5.95666667	0	0	0	
0	0	0	0	0	2.56	7.99333333	80.8	1.43666667	0.16	0.23666667	5.27333333	1.30333333	1.55	0.06666667	
0	0	0	13.42	48.01666667	81.84333333	1.11	0.31333333	0.17	0.35666667	13.43	0	0.15166667	0.04666667	0	
0.53	0	0	18.00666667	12.49666667	73.97666667	77.60333333	1.55333333	0.78333333	0.66	0.36666667	12.43	0	2.21333333	0.06666667	
0	0	0	16.12	3.86666667	3.26333333	69.32666667	0.98333333	0.09666667	0.08	0.2	4.73	1.47333333	1.63333333	0.05	
0	0	0	1.9	2.11	7.13666667	77.22333333	1.72	0.29666667	0.04666667	0.29	8.89333333	27.54666667	0.77	0.03666667	
8.73	0	0	7.18333333	3.82333333	6.1	76.49333333	1.02666667	0.32333333	0.04666667	1.82333333	9.56	0.80666667	0.77333333	0.04666667	
1.33	0.25	2.19333333	61.20333333	0	6.21	64.07666667	1.56	0.18333333	0	0.65333333	30.42666667	0	0.77333333	0.20666667	
0.88	0	0	13.85666667	10.61333333	5.04	62.31	0.81	0.08	0.15333333	0.21666667	4.82	1.04666667	1.02666667	0.04666667	
21.53333333	0	0	1.17	1.5	9.81666667	76.89	0.82	3.2	0	3.93	25.17	1.47333333	4.32333333	0	
0	0	0	68.41333333	3.24333333	3.88	15.22666667	0.36	0.13666667	0	0.18666667	7.10666667	1.47	0.45333333	0.07666667	
0	0.2	4.47	63.96666667	2.44	4.72	72.53666667	1.19333333	0.49	0	0.53	18.33666667	0	0.61333333	0.33	
0	0.23333333	0.53666667	16.15	0	0	62.10666667	1.39333333	0.07	0.09	0.74666667	28.56666667	0	0.88666667	0.21666667	
0	0	0.14666667	0	0	0	40.40333333	1.07666667	0.07666667	0	1.34666667	52.63333333	0	1.35	0.38333333	
31.19333333	0	0	0	0	0	0	0	3.63	0.48666667	11.94333333	31.23	0	13.46	0	
8.51333333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.15666667	9.67333333	0	2.73	0	
8.22	0	0	0	0	0	0	0	0.95333333	0	2.65666667	8.72333333	0	4.43666667	0	
7.08	0	0	0	0	0	0	0	1.17333333	0.51	2.2	9.19666667	0	6.46333333	0	
27.81	0	0	0	0	0	0	0	11.29	2.92333333	0	12.91333333	51.75	11.02333333	1.16666667	
6.91666667	0.67	0	35.36	0	7.79	25.28	2.43333333	0.33	0.45666667	3.53666667	62.06	0	18.03	0.38333333	
3.34666667	0	0	5.61333333	0	9.86333333	66.08666667	1.18	0.41333333	0	0.71333333	9.79666667	0	3.18	0.15	
35.44	0	0	0	11.11	58.49	0	1.87	3.3	0	11.6	32.03	0	12.72	0	
8.93	0	0	0	0	0	0	0	2.78	0.84	0	2.21	9.73666667	0	1.2	0
0	0	0	82.73666667	27.65333333	63.85666667	0	0.61333333	0	0.13333333	0.82333333	3.47333333	0.09333333	0.36333333	0.16666667	
0	0	0	79.22333333	2.07666667	1.24666667	12.60666667	0.18666667	0.34333333	0	0.11666667	1.79666667	1.18333333	0.28333333	0.01333333	
0	0	0.16333333	49.95	3.28666667	2.17666667	41.88	0.42	0.06	0.12666667	0.94666667	1.99	1.03666667	0.45	0	

Contribution à la caractérisation des sols gypseux de la région de Ouargla et de Touggourt

Résumé

Cette étude a porté sur une contribution à la caractérisation des sols de la région de Ouargla et Touggourt par différentes méthodes analytiques.

A travers l'étude chimique et thermogravimétrique sur les soixante-et-un échantillons choisis dans les régions d'études nous avons trouvé que les sols étudiés sont légèrement à extrêmement gypseux. L'étude également montre que la méthode chimique et thermogravimétrique donne des résultats précis pour la détermination du taux de gypse dans les sols et le coefficient de corrélation est positif en comparant ces deux méthodes. L'étude par diffractométrie à rayon X révèle principalement l'existence du quartz et du gypse et des minéraux suivants : Calcite, bassanite et anhydrite. La fluorescence à rayon X (pXRF) montre principalement l'existence du S et du Si, ainsi que les éléments suivants : Cr, Cu, Mn, Mg, Al, Ti, Ni, Zr et Ag.

Mots clés: Sol, Gypse, Sahara, Méthode d'analyse du gypse, Ouargla, Touggourt.

Contribution to the characterization of gypsum soils in the region of Ouargla and Touggourt

Abstract

This study focused on a contribution to the characterization of the soils of the region of Ouargla and Touggourt by different analytical methods.

Through the chemical and thermogravimetric study on the sixty-one samples chosen from the study regions, we found that the soils studied are slightly to extremely gypseous. The study also shows that the chemical and thermogravimetric method gives precise results for the determination of the gypsum content in soils and the correlation coefficient is positive when comparing these two methods. The study by X-ray diffractometry mainly reveals the existence of quartz and gypsum and the following minerals: Calcite, bassanite and anhydrite. Portable X-ray fluorescence (pXRF) mainly shows the existence of S and Si, as well as the following elements: Cr, Cu, Mn, Mg, Al, Ti, Ni, Zr and Ag.

Keywords: Soil, Gypsum, Sahara, Gypsum analysis method, Ouargla, Touggourt

المساهمة في توصيف التربة الجبسية في منطقة ورقلة و تقرت

ملخص:

ركزت هذه الدراسة على المساهمة في توصيف ترب منطقة ورقلة و تقرت بطرق تحليلية مختلفة.

من خلال الدراسة الكيميائية والحرارية على إحدى وستين عينة تم اختيارها من مناطق الدراسة ، وجدنا أن التربة المدروسة كانت من النوع الطفيف إلى الجبسي للغاية. كما بينت الدراسة أن الطريقة الكيميائية وطريقة قياس الوزن الحراري تعطي نتائج دقيقة لتحديد محتوى الجبس في التربة وأن معامل الارتباط موجب عند المقارنة بين هاتين الطريقتين. كشفت دراسة قياس الحيود بالأشعة السينية DRX بشكل أساسي عن وجود الكوارتز والجبس والمعادن التالية: الكالسيت والباسانيت والأنهيدريت. يظهر جهاز pXRF بشكل أساسي وجود S و Si ، بالإضافة إلى العناصر التالية: Cr و Cu و Mn و Mg و Al و Ti و Ni و Zr و Ag.

الكلمات الدالة: التربة ، الجبس ، الصحراء ، طريقة تحليل الجبس ، ورقلة ، تقرت.