

UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA
FACULTÉ DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE SCIENCE AGRONOMIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER
ACADEMIQUE

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Protection de la Ressource Sol-Eau et Environnement

Présenté par: Bouhnik Afaf

Thème

Etude de quelques accumulations
gypseuses dans les sols de la région
d'Oued Righ

Président	Mme Belferrag - Youcef Fouzia	M.C.B	(U. K.M.Ouargla)
Promoteur	Mme Abid- Helimi Samia	Atta. De Rech	(C.R.S.T.R.A, Touggourt)
Co-promoteur	Mr Hamdi-Aissa Belhadj	Prof	(U. K.M.Ouargla)
Examineur	Mr Djili Brahim	M.A.A.	(U. K.M.Ouargla)

Année universitaire : 2016/2017

Remerciement

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné le privilège et la chance d'étudier et m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.

Je présente mes sincères remerciements avec mes profonds respects à mon encadreur, Helimi Samia, pour sa présence et sa disponibilité permanente, pour ses conseils et son soutien ainsi que sa gentillesse de m'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique, ayant permis la réalisation sans difficulté du présent travail.;

Aussi, Mes remerciements les plus vifs, ma sincère reconnaissance et respectueuse gratitude vont également à ma Co-promoteur Mr. Hamdi Aissa Belhadj qui n'a réservé aucun

effort pour que ce travail voie le jour.

Je remercie les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire. Mes plus vifs remerciements vont à Mme. YUCEF Fouzia pour avoir accepté de présider ce jury. Je remercie également Mr. Djili Brahim, pour avoir accepté de faire partie de mon jury et d'examiner mon travail.

Je remercie les responsables et l'ensemble du personnel de laboratoire de pédologies, département des sciences agronomique, Mr. Bagari EL-aych, Mme Yamina (G), Melle Imen et toutes les personnes dans le laboratoire de CRSTRA station biophysique de Touggourt.

AFAFBOUHNIK

Dédicaces

Il y a certaines satisfactions que les mots et les phrases parviennent difficilement à l'exprimer. Cela nous arrive lorsqu'il faut visualiser une émotion profonde afin d'être à la

délicatesse des êtres qui nous sont très chers.

De plus, un mémoire n'est pas le fruit d'un seul travail de son auteur, mais le résultat de plusieurs et profondes collaborations, de ce fait:

Je dédie ce travail:

◆ *A la femme qui m'a porté toute ma vie et qui m'a enveloppé de gentillesse. A la femme la plus extraordinaire et la plus douce du monde. Mère, je t'exprime mon profond amour.*

◆ *A celui qui a été et il est pour moi le modèle, la référence, à mon père, je lui exprime mon profond respect et j'espère que j'ai été à la hauteur. Ma joie est que tu sois fier de moi.*

◆ *A mes chers frères : FAICAL, TAREK, RACHAD*

◆ *A mes sœurs : IBTISSAM, CHAYM* ◆ *Aux familles : BOUHNIK, BENNAMIA, KACHI, GHATTAS*

◆ *A mes amis : AFAF, SONYA, IMAN, MERJEM,*

◆ *A toute la promotion magister année 2016-2017*

◆ *A tous ceux que je porte dans mon cœur*

Liste des figures

Figures	Page N°
Figure.01 : Situation géographique et administrative de l'Oued Righ (Google Earth 2017)	09
Figure 02 : Les chotts et les lacs de la région d'Oued Righ (CRSTRA station Touggourt)	12
Figure 03 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972)	14
Figure 04 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS de la région de Touggourt (2007-2016).	18
Figure 05 : Climagramme d'EMBERGER pour la région de Oued Righ.	19
Figure:06 : Localisation des sites d'étude (Google Earth, 2017)	22
Figure 07 : Profil de gypse calcaire total ,MO, pH, salin de la coupe SMA	29
Figure 08 : Profil ionique du solum SMA	30
Figure 9 : Profil ionique du solum SMb	35
Figure 10 :: Profil de gypse calcaire total ,MO, pH, salin de la coupe SMc	37
Figure 11 Profil ionique du solum SMc	38
Figure 12 : Profil de gypse calcaire total ,MO, pH, salin de la coupe TE	41
Figure 13 : Profil ionique du solum TE	42
Figure 14 : Profil de gypse calcaire total ,MO, pH, salin de la coupe SMd	45
Figure 15 Profil ionique du solum SMD	45
Figure 16 : Profil de gypse calcaire total ,MO, pH, salin de la coupe Goa	48
Figure 17 Profil ionique du solum Goa	48
Figure 18 : Profil ionique du solum GOB	51

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Les sols gypseux dans la classification C.P.C.S (1967) par (Aubert, 1965)	06
02	Données climatiques de la région d'Oued Righ (moyennes sur une période de dix ans, de 2007-2016, ONM, Touggourt)	16
03	Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe SMA	28
04	Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe SMB	33
05	Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe SMC	36
06	Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe TEa	41
07	Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe SMD	44
08	Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe Goa	48
09	Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe GOB	51

Liste des photos

Photo	Titre	Page
01	A- Photos de la coupe SMA ; B- Vue de l'aspect de surface a croûte ; C- Les accumulations gypseuses de la coupe SMA (manchons de gypse, nodules, amas, macrocristaux).	28
02	Monchans de gypse	29
03	rosette de sable	29
04	A- Photos de la coupe SMB ; B- Vue de l'aspect de surface caillouteux ; C- Bancs de gypse fibreux stratifiés dans l'horizon SMB 2 ; D- Filonnet de gypse fibreux remplissant les fissures entre les fragments d'argile ; E- Gypse pulvérisant et des amas sur la surface des fragments d'argile	32
05	A- Vue générale de la coupe de SMC, B- Couverture de surface du sol par les lames gypseuses ; C- Accumulation de gypse sous forme des macrocristaux et des amas dans l'horizon SMC ; cristallisation de gypse dans les fissures de l'horizon.	36
06	A- Aspect de surface sableux, B- Vue globale de la coupe TE, C- rose de sable, D- Remplissage des fissures par le gypse, E- Revêtements gypseux	40
07	A- Vue générale de l'environnement, B- Vue de la coupe SMD , C- Macrocristaux de gypse et de rose de sable, D- Manchons de gypse.	44
08	A : Vue de la coupe GOa, B- Vue général de l'environnement de la coupe GOa C- Rosette de sable, D- Manchons de gypse en différents tailles	47
09	A- Vue général de la coupe GOB, B- Vue de l'aspect de surface avec des plaques de gypse inclinées, C- Vue agrandie d'une plaque de gypse.	50
10	A- des manchons du gypse en différents taille, B- Vue agrandie (×20) de la surface de manchon, C- Vue agrandie (×20) d'une coupe horizontale d'un manchon du gypse,	57
11	Photo 09 : A- Rosette de sable, B- Vue agrandie (×20) d'une rosette de sable, C- Agrandissement (×20) des cristaux de gypse lenticulaire	57

Liste des abréviations

Calc T	: Calcaire Total
C.P.C.S	: Comité Française de Pédologie et de Cartographie des Sols
F.A.O	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
Hz	: Horizon
Lf	: Limon fin
Lg	: Limon grossier
M O	: Matière Organique
O.N.M.	: Organisation National de la Météorologique
Prof	: Profondeur
Sf	: Sable Fin
Sg	: Sable grossier

Tableau de matière

Titre	Page N°
1. Introduction générale	1
Première partie: Synthèse bibliographique	
<i>Chapitre I: Généralité sur les sols gypseux et les accumulations gypseuses</i>	
1.1.Définition	3
1.1.1.Gypse	3
1.1.2.Solgypseux	3
1.2.Origine du gypse dans sol	3
1.3.Caractéristiques des solgypseux	4
1.3.1.Propriétés physiques	4
1.3.1.1.Texture	4
1.3.1.2.Structure	4
1.3.1.3.Porosité	5
1.3.2.Propriétés chimiques	5
1.3.2.1.Conductivité électrique	5
1.3.2.2.pH	5
1.3.2.3. Capacité d'échange cationique	5
1.4.Classification de sols gypseux	5
1.4.1.Classification Francaise	5
1.4.2. Classification FAO	6
1.5.Répartition spatiale des sols gypseux	6
1.5.1.Dans le monde	6
1.5.2.Dans l'Algérie	7
1.6.Formes d'accumulations	7
1.6.1.Croute gypseux	7
1.6.2.Encroutement gypseux	8
1.6.3.Autres formes d'accumulation	8
Deuxième partie: Matériels et méthodes mises en œuvre	
<i>Chapitre II : Présentation de la région d'étude</i>	
2.1.Localisation géographique	9

2.2.Géomorphologie.....	9
2.3.Géologie.....	10
2.4.Hydrogéologie.....	11
2.4.1. Hydrologie superficielle.....	11
2.4.2. Hydrogéologie.....	12
2.4.2.1.Nappe phréatique (nappe libre).....	14
2.4.2.2.Nappe du continental intercalaire.....	14
2.4.2.3.Nappe du Complexe Terminal (CT).....	14
2.5.Climat.....	15
2.5.1.Données bruts.....	16
2.5.1.1.Températures.....	16
2.5.1.2.Précipitations.....	16
2.5.1.3.Vents.....	16
2.5.1.4.Evaporation.....	16
2.5.1.5.Humidité relative de l'air.....	17
2.5.1.6.Insolation.....	17
2.5.2.Synthèse climatique.....	17
2.5.2.1. Diagramme Ombrothermique.....	17
2.5.2.2. Classification bioclimatique.....	18
2.6. Végétation.....	19
2.7.Sol de la région de l'Oued Righ.....	20
Chapitre III : Méthodes mises en œuvre	
3.1.Sélection des sites étudiés.....	21
3.2. Présentation des sites d'étude.....	21
3.2.1. Site de Sidi Mahdi : coupes SMA et SMb et SMc,SMd.....	21
3.2.2. Site de Tmacine: coupes TE.....	22
3.2.3. Site de Goug: coupes GOa et GOB.....	22
3.3. Description des méthodes mises en œuvre.....	23
3.3.1.Sur terrain.....	23
3.3.1.1.Description morphologique.....	23
3.3.1.2. Echantillonnage du sol.....	23
3.3.2.Au laboratoire.....	23

3.3.2.1. Analyses physiques et chimiques.....	23
Troisièmes partie: Résultats et discussion	
<i>Chapitre IV : Résultats</i>	
4.1.Caractérisation morphologique et analytique des solums.....	26
4.1.1.Profil N° 1: Sidi Mahdi (SMa).....	26
4.1.1.1.Description morphologique.....	26
4.1.1.2.Données analytiques.....	28
4.1.1.3.Interprétation.....	29
4.1.2.Profil N° 2: Sidi Mahdi (SMb).....	31
4.1.2.1.Description morphologique.....	31
4.1.2.2.Données analytiques.....	33
4.1.2.3.Interprétation.....	33
4.1. 3.Profil N° 03: Sidi Madi (SMc).....	34
4.1.3.1.Description morphologique.....	34
4.1.3.2.Données analytiques.....	36
4.1.3.3.Interprétation.....	37
4.1.4.Profil N° 04:Tamacine(TE).....	38
4.1.4.1.Description morphologique.....	38
4.1.4.2. Données analytiques.....	41
4.1.4.3. Interprétation.....	41
4.1.5. Profil N° 05: Sidi Mahdi SMd.....	43
4.1.5.1. Description morphologique.....	43
4.1.5.2. Données analytiques.....	44
4.1.5.3. Interprétation.....	45
4.1.6. Profil N° 06:Goug Goa.....	46
4.1.6.1. Description morphologique.....	46
4.1.6.2.Données analytiques.....	47
4.1.6.3. Interprétation.....	48
4.1.7.Profil N° 07:Goug GOB.....	49
4.1.7.1.Description morphologique.....	49
4.1.7.2.Données analytiques.....	51
4.1.7.3.Interprétation.....	51

Chapitre V : Discussion	
5.1. Synthèse morphologique et analytique des sites d'étude.....	54
5.2. Site de Sidi Mahdi : SMa et SMb et SMc et SMD.....	54
5.3. Site de Temacin: TE.....	54
5.4. Site de Goug: GOa GOB.....	55
5.5. Origine des accumulations du gypse dans le sol.....	55
5.5.1. Cristaux du gypse.....	56
5.5.2. Manchon du gypse.....	56
5.5.3. Croûtes gypseuses.....	58
5.5.4. Amas et nodules de gypse.....	58
5.5.5. Cristallisation de gypse fibreux (bancs, filons et plaques de gypse).....	59
Conclusion générale	60
Références bibliographiques	62
Annexes	

Introduction

Introduction

Le gypse et les sels solubles peuvent s'accumuler dans les sols dès que l'évapotranspiration devient nettement supérieure aux précipitations (Halitim, 1985).

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 Rhir et aussi le Souf (Fedoroff et Courty, 1989). Plusieurs grands types d'accumulations gypseuses et salines peuvent être distinguées selon leur origine et ont chacun une signification climatique spécifique.

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).

Il faut signaler que le gypse peut être observé dans les sols des régions humides mais généralement à de faibles teneurs car il est considéré comme un élément éphémère (Herrero et Porta, 2000). Par contre d'après Pouget (1980) et Halitim (1988) dans les régions arides et semi-arides, lorsqu'il est présent en faible quantité, le gypse a un effet positif sur les propriétés du sol et peut jouer un rôle d'amendement et d'engrais car il apporte des ions Ca^{++} et SO_4^{-2} nécessaires à la croissance des plantes. Par contre, à des teneurs élevées, il affecte le comportement et le fonctionnement des sols et des plantes (Pouget, 1995).

Toutefois, la teneur en gypse d'un horizon ou d'un sol n'est pas forcément le facteur le plus important car les formes d'accumulation gypseuse sont fondamentales (Pouget, 1995). Selon, le degrés de précipitation du gypse dans le profil, on distingue deux types d'accumulations (Abdesselam, 1999): les accumulations discontinues (la forme diffuse, les pseudo-mycéliums, les amas, les nodules et les racines gypsifères) ou bien les accumulations continues (croûtes et encroûtements gypseux.). Ces accumulations sont souvent le résultat des différentes sources d'apports ou d'enrichissements sous l'impulsion de différents mécanismes ou processus de formation (Halitim, 1988; Fedoroff et Courty, 1989)

L'objectif de notre travail est d'une part la contribution à la connaissance des sols de la région de l'Oued Righ et d'autre part la caractérisation et l'étude des sols gypseux et les différentes formes d'accumulations du gypse pour comprendre leur origine.

Notre travail s'organise en trois parties et chaque partie est subdivisée en chapitres :

- ↳ Première partie : synthèse bibliographique sur les sols gypseux
- ↳ Deuxième partie : présentation de la région d'étude et la description des méthodes mises en œuvre;
- ↳ Troisième partie : la présentation des résultats obtenus et la discussion et enfin la conclusion.

CHAPITRE I

Généralité sur les sols

gypseux et les accumulations

gypseuses

CHAPITRE I : Généralité sur les sols gypseux et les accumulations gypseuses**1.1. Définitions****1.1.1. Gypse**

Dérivé du mot latin « gypsum » et du mot grec « gypsos », le gypse est le sulfate de calcium hydraté, de formule chimique (CaSO₄, 2H₂O). Il est de la classe chimique des sulfates, de la sous-classe des hydratés et de la famille des évaporites. le gypse constitue la forme de sulfate de calcium la plus répandue dans les sols, 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 existe rarement à l'état pur, il peut présenter des inclusions de quartz, de sable, et d'argile (Barriand et al, 1978). Ou bien des inclusions d'oxyde de fer (Benmati, 1993). Sa couleur est très variable, incolore, blanc, beige selon les impuretés, c'est un minéral typiquement sédimentaire ; Il se forme entre autres, lors de l'évaporation par précipitation d'eau de mer.

1.1.2. Sols gypseux

D'après Van Alphen et Rios Romero (1971) . On désigne sous sols gypseux, les sols à teneur supérieurs à 2% de gypse, 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 à 90 %).

1.2. gypse dans le sol

Le gypse et les sels solubles peuvent s'accumuler dans les sols dès que l'évapotranspiration devient nettement supérieure aux précipitations (Halitim,1985). 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 Rhir et aussi le Souf (Razi, 2006).

Plusieurs grands types d'accumulations gypseuses et salines peuvent être distinguées selon leur origine et ont chacun une signification climatique spécifique (Fedoroff et Courty, 1987a, 1989).

1.3. Caractéristiques des sols gypseux

1.3.1. Propriétés physiques

Le gypse exerce une influence prépondérante sur les propriétés physiques et chimiques du sol, il agit différemment sur ces caractéristiques selon sa teneur et selon le type du sol (Mostephaoui, 2015).

1.3.1.1. Texture

La distribution du gypse dans les différentes fractions texturales dépend de la teneur totale en gypse. Le gypse se trouve dans toutes les fractions, mais il est surtout lié au sable grossier et à la fraction de sable fin suivie par le limon (FAO, 1990).

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.

1.3.1.2. Structure

Les faibles teneurs ont un effet favorable sur le sol; En sols très argileux et très dispersibles le gypse améliore l'infiltration, diminue l'érosion et augmente la floculation (Mostephaoui, 2015).

Les teneurs entre 3 et 10% de gypse, n'interfèrent pas significativement avec les caractéristiques du sol telles que la structure, alors que les teneurs entre 10 à 25% de gypse, tendent à briser la continuité de la masse du sol par l'effet des cristaux de gypse. Cependant, les sols à teneurs supérieures à 25% de gypse ne constituent pas un bon support pour les plantes (FAO, 1990).

1.3.1.3. Porosité

Poch (1996) a montré que l'augmentation de l'accumulation du gypse dans le sol influence l'espace poral par le remplacement des larges pores, par des pores d'entassement. Ceci est dû au colmatage par les cristaux lorsque le gypse est présent sous forme poudreuse.

1.3.2. Propriétés chimiques**1.3.2.1. Conductivité électrique**

Dans les sols bien drainés (à faible salinité), la conductivité électrique est faible, elle varie entre 1.3 et 4 mmhos/cm dans les horizons de surface et augmente avec la profondeur à plus de 8 mmhos/cm. La conductivité électrique est par contre élevée dans les sols peu profonds avec en dessous un horizon gypsiqne impreméable, elle peut atteindre plus de 12 mmhos/cm.

1.3.2.2. pH

Les sols gypseux présentent un pH modérément à légèrement alcalin (7,4 – 9,4). D'après Jafarzadeh et Burnham (1992), c'est un paramètre qui dépend largement du taux des autres sels présents dans le système et ne présente aucun effet sur la formation « in situ » du gypse.

1.3.2.3. Capacité d'échange cationique

Dans les sols gypseux, la valeur de la capacité d'échange cationique (CEC) est inversement corrélée avec les teneurs en gypse du sol. Selon F.A.O. (1990) l'augmentation de la teneur en particules de gypse provoquerait irrémédiablement une diminution de la capacité d'échange cationique. Ceci est causé par l'inexistence de charges négatives sur le gypse et aux dimensions non colloïdales de ses particules.

1.4. Classification de sols gypseux**1.4.1. Classification Française**

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

Tableau 01: les sols gypseux dans la classification C.P.C.S (1967) par (Aubert, 1965).

Classes	Sous –Classes	Groupes	Sous –groupes
<i>Sols calcimagnésiques</i>	Sols à accumulation gypseux	Sol gypseux	Modal
		Rendziniformes	A encroûtement gypseuse
		Des sols bruns gypseux	
<i>Sols isohumiques</i>	Sol isohomique a pédoclimat frais	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

1.4.2. Classification FAO

Selon (WRB 2006 ; FAO 1998) les gypsisols, se distinguent par la présence d'un horizon gypsic ou pétrogypsic, dans la légende de la carte Mondiale des sols, ont peut être observés de nombreux profils de sols qui distinguer un groupe « Gypsisols » où généralement les horizons gypsiques sont associés aux horizons calciques ou saliques.

1.5. Répartition spatiale des sols gypseux

1.5.1. Dans le monde

L’espace occupé par les sols gypseux englobe pratiquement l’ensemble des continents, l’étendue des sols contenant du gypse dans le monde est difficile à établir, mais (FAO. 1984 et 1990). Ont estimé à environ 200 millions d'hectares de sols ayant des horizons gypsic ou petrogypsiqs.Herrero et Boixadera (2002) estiment par contre que la superficie réelle des sols gypseux dans le monde est de 207millions d’hectares. La superficie caractéristique de ces sols correspondrait à 85 millions d’hectares (FAO, 1990)

D’après la carte de la répartition des sols gypseux (Van Alphan et Romero, 1971) , ces sols existent dans le Nord et l'Est de l'Afrique, l'Europe centrale et dans le Sud Est de l'Asie. Selon les études cités dans la thèse de (Mostephaoui,2015). les sols gypseux sont signalés dans l'Irak, Sibérie, Syrie , l'Algérie, Tunisie , l'Iran, les républiques soviétiques de la Géorgie et l'Australie centrale.

1.5.2. Dans l'Algérie

En Algérie, les sols gypseux occupent approximativement 8000 Km², qui représente 12.2 % des sols gypseux du monde, ce qui correspond au troisième rang mondial en ce qui concerne les réserves en gypse (FAO, 1990).

Les plus grandes extensions se localisent dans les zones présentant une moyenne des précipitations comprises entre 100 et 250 mm (Rahmouni et Djili, 2012).

1.6. Formes d'accumulations du gypse

Le gypse pédogénétique s'accumule dans le sol sous des formes localisées ou continues, en fonction des conditions dans lesquelles il précipite. Les accumulations de gypse sont rarement composées de gypse pur, mais sont généralement un mélange de gypses, de calcaire et /ou des particules de sol.

Les différents travaux menés jusqu'à présent ont caractérisé les formes suivantes:

1.6.1. Croûtes gypseuses:

Elles se présentent sous forme de couches dures et massives, d'une couleur allant du blanc au saumon. Elles sont impénétrables par les racines. La teneur en gypse varie entre 40 et 80 % (Durand, 1968).

Suivant les régions et les conditions de milieu dans lesquelles elles se sont développées, il ressort les formations suivantes :

- ✓ Croûtes gypseuses: elle apparaît comme une patine plus durcie, pellicule de quelques millimètres à peine en général, et située à la partie superficielle de l'encroûtement. Elles résultent de la remontée à la surface ou bien du dépôt entre les fissures de fines particules gypseuses;
- ✓ Croûtes de nappes: elles résultent du dépôt de gypse suite à la fluctuation du niveau d'une nappe active saturée;
- ✓ Croûte polygonale de surface: ce sont des formations apparentes, qui résultent du phénomène de dessiccation de surface . Elles se caractérisent par des bords recourbés (Halitim, 1988).

1.6.2. Encroûtement gypseux

L'encroûtement gypseux est le reste de la formation enrichie en surface de calcium et assez compact, se trouvant sous la croûte gypseuse (Burreau, 1960). Pouget (1969) définit l'encroûtement gypseux de nappe comme étant « un horizon gypseux et induré, dont l'origine est en relation avec la présence d'une nappe salée ». Ces formes d'accumulation gypseuses diffèrent par l'aspect textural, pédogénitique et chimique.

1.6.3. Autres formes d'accumulation

Les différents travaux jusqu'à présent selon FAO (1990);et Halitim (1988) ont caractérisé des formes suivantes:

Diffuses: Une forme non visible à l'œil nu.

Pulvérulentes: Elles peuvent être considérées comme des formations récentes ou reliques, issues de la précipitation de très fines particules de gypse secondaire.

Pseudomycéliums: Ce sont des néoformations récentes dans les horizons à texture fine à moyenne. Ils se présentent sous forme de filaments blanchâtres. Ceux-ci résultent de la concentration du gypse dans les pores ou au niveau des racines.

Amas: C'est un assemblage lâche d'une multitude de très fins cristaux plus ou moins aciculaires et à angles vifs. Ils sont friables, de taille identique ou plus petite que les nodules.

Nodule: Ce sont des amas de dimensions variables, pouvant atteindre la taille d'une petite pomme. Elles prennent généralement la forme de petites poupées de loess.

Il est possible de trouver dans certains écrits d'autres formes d'accumulations du gypse, comme les roses de sable, les rosettes de sables, le sable gypseux et les roches gypseuses.

Chapitre II

Présentation de la

région d'étude

Chapitre II: Présentation de la région d'étude

2.1. Localisation géographique

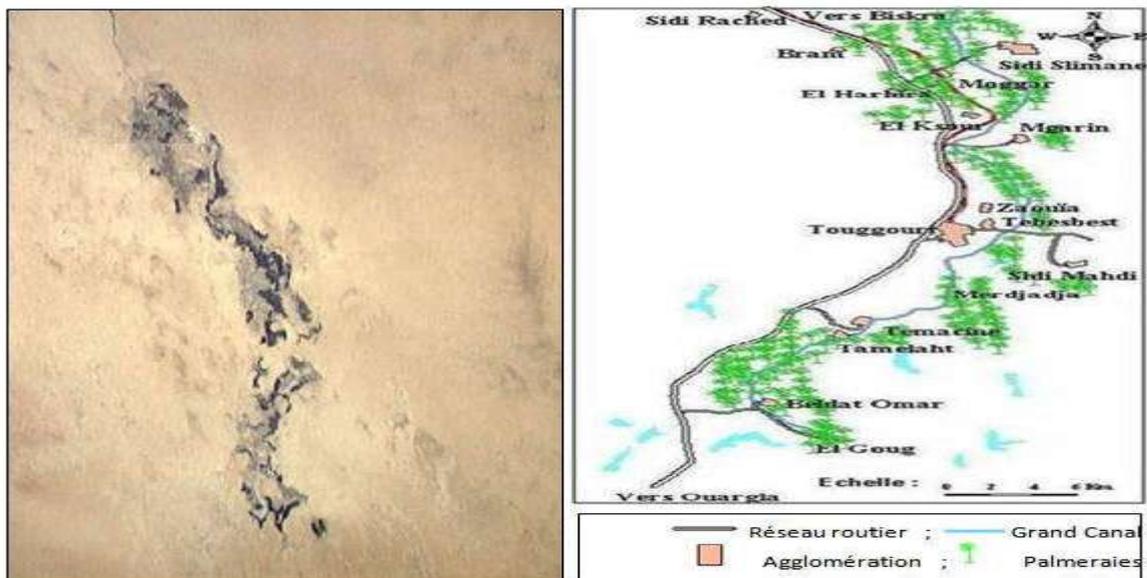
Oued Righ est une entité économique bien précise, puisque l'on désigne sous ce terme, une vallée de palmeraies constituée d'un chapelet de 50 oasis, la région de l'Oued Righ fait partie de l'ensemble du bassin du bas Sahara avec une superficie de 600.000 km², cette région se situe au Sud-Est du pays, plus précisément, sur la limite Nord du Grand Erg Oriental, et la bordure Sud massif des Aurès (Khadraoui, 2005).

La région de l'Oued Righ est une vaste dépression allongée entre El Goug au Sud et Oum El Thiour au Nord, elle est bordée à l'Ouest par le plateau Miopliocène, à l'Est par le grand alignement dunaire de l'Erg Orientale, au Nord par le Ziban et au Sud par les Oasis d'Ouargla, la largeur de la vallée varie entre 15 et 30 Km suivant les endroits (Figur.01).

Les coordonnées géographiques de la région de l'oued Righ sont :

- Latitude: 32°54' à 39°9' N
- Longitude: 05°50' à 05°75' E

Les régions de Oued Righ est Devisée en trois grandes parties, de Touggourt (Haut), Djamaa (Moyen) et M'ghaier (Bas) (Nesson, 1978). Notre travail est réalisé sur le haut Oued Righ



(Figure.01 : Situation géographique de l'Oued Righ(Google Earth 2017)Khadraoui, 2005).

2.2. Géomorphologie

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 s'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).

2.3. Géologie

Selon Guemache (2008).De point de vue géologique, la région de l'Oued Righ appartient à la plate forme saharienne, elle s'étend sur des ensembles géologiquement différents totalement aplanis au début de l'Ere secondaire. elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable. La région de l'Oued Righ apparaît comme un vaste fossé synclinale dissymétrique ,qui est limité :

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.

Un forage dans la nappe du continental intercalaire (dite albien), de profondeur de 899m montre de haut en bas les formations géologiques suivantes :

- Des sables plus ou moins argileux, Quaternaire, venant de la destruction des falaises Pliocènes, allant de 0 à 20 m de profondeur ;
- La «croûte saharienne», conglomérat rocheux de 2 à 10 m d'épaisseur, d'âge pliocène, érodée dans l'Oued Righ et recouvrant les formations lagunaires sous-jacentes ;
- Une série sédimentaire continentale Miocène formée par un dépôt détritique sableux et argileux avec des intercalations de marnes gypseuses ;
- Une série lagunaire puissante avec couches de gypse et quelques niveaux calcaire, constitue l'Eocène Moyen, d'autre de calcaire blanc et de marne blanche constitue l'Eocène Inférieur ;

- Le Sénonien formé d'une alternance de calcaires, de marnes et de couche de gypse ;
- Le Turonien, à facies marin calcaro-marneux ;
- Le Cénomaniens formé par un dépôt lagunaire marneux riche en gypse, anhydrite et sel présentent une épaisseur considérable et formant le toit de l'Albien ;
- L'Albien qui est constituée par une série continentale très épaisse (plus de 1000 m) de grès et roches poreuses, formerait «le plus grand appareil hydraulique du Sahara». (Gousskov, 1952).

2.4. Hydrologie

2.4.1. Hydrologie superficielle

- ✓ Les eaux pluviales : Dans la région d'Oued Righ, les eaux de pluie présente un apport très faible, insuffisant et irrégulier (voir le tableau de climat).
- ✓ Les eaux superficielles : Les eaux superficielles dans la vallée d'Oued Righ sont constituées par des lacs ce que l'on appelle les bhours, galtats et les chotts sont les points plus bas, alimentent par les eaux de drainage (Figure 02). Ces eaux sont très salées, et le niveau augmente en hiver avec l'apparition de plusieurs chotts notamment au temps pluvial, et baisse en été.

Le grand canal de Oued Righ "artificielle" en travers l'ensemble des oasis d'Oued Righ dite (Oued Khrouf) au Nord Oued Righ qui mène les eaux de l'assainissement et de drainage vers le nord « Chott Merouane » et présente une ressource hydrique très importante avec des autres Oueds non permanents tel que Oued Mouilah , Oued N'sigha et Oued Oum Thiour qui descendent des dorsales voisines (Figure 02).

2.4.2. Hydrogéologie

Dans la région de l'Oued-Righ l'alternance de couche imperméable et de couches aquifères d'une part, l'existence d'un fossé de subsistances d'autre part, ont permis la formation de nappes souterraines superposées. Sur toute l'étendue de la région de l'Oued-Righ des trois nappes ont été reconnues. Une nappe libre (phréatique) et deux nappes captives : la nappe du complexe Terminal et la nappe du continental intercalaire (Figure 03 et 04).

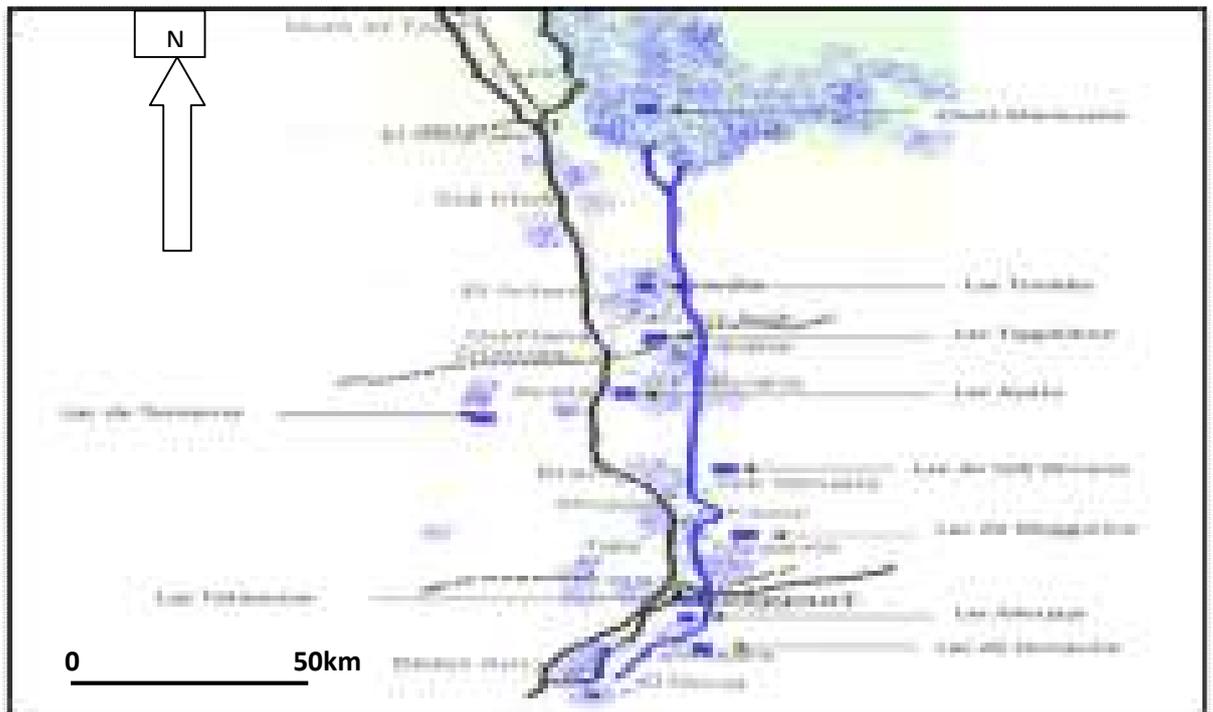


Figure 02: Carte des ressources en eau superficielle (Sahara algérien) (Helal et Ourihane, 2003).

2.4.2.1. Nappe phréatique (nappe libre)

Par convention on désigne sous le nom de nappe phréatique les aquifères superficielles dont la profondeur n'excède pas 50 m et dont les eaux sont généralement exploitées par des puits. Cette nappe est partout présente au Sahara dans les dépressions ou les vallées; elles sont alimentées par les pluies, les crues, les écoulements diffus, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles en provenance des aquifères plus profonds ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitant ces dernières (Dubost, 2002).

2.4.2.2. Nappe du continental intercalaire

C'est un aquifère de 1500 m et plus de profondeur; composé de sables gréseux ou argileux qui s'étend sur plus de 600 000 Km², son épaisseur peut atteindre 1000 m au Nord Ouest du Sahara. Il se situe entre 700 et 2000 m de profondeur. De point de vue lithologique, le continental intercalaire est formé par une succession de couches de sables, de grès, de grès argileux et d'argile. La qualité de l'eau du Continental Intercalaire est bonne (la minéralisation totale est généralement inférieure à 3,5 g/l). L'eau d'Albien est relativement peu minéralisée de conductivité électrique de 3 mmhos/cm, mais dont la température est supérieure à 50 °C quand elle jaillit, ce qui pose des problèmes de refroidissement préalable à l'irrigation. Cette eau provoque des dépôts abondant de carbonate de calcium qui rendent sa distribution délicate. (Lembarek 2008).

2.4.2.3. Nappe du Complexe Terminal (CT)

Le Complexe Terminal contient plus d'une nappe (Mio-pliocène, sénonien carbonates et l'Eocène) d'extension considérable de 350 000 Km², une puissance moyenne de 50 à 100 m et une profondeur varient entre 200 à 500 m. Il est Composé de trois aquifères principaux, on distingue de haut en bas la nappe des sables, la nappe des sables et grès et la nappe des calcaires. On distingue trois aquifères principaux :

- ✓ La première nappe : dans les sables et argiles du pliocène, qui est en fait un réseau de petites nappes en communication.
- ✓ La deuxième nappe : dans les sables grossiers à graviers du Miocène supérieurs.
- ✓ La troisième nappe : dans les calcaires fissurés et karstiques de l'Eocène inférieur. Historiquement, ces trois nappes étaient artésiennes sur l'ensemble de la région de l'Oued Righ; cette région est caractérisée par la présence de la nappe sénonien

carbonaté et le Turonien; mais l'exploitation croissante de ces nappes a conduit à l'utilisation de pompes visant à assurer des débits réguliers pour l'irrigation (LEMBAREK, 2008).

2.5. Climat

Selon SOGREAH (1970), la vallée de l'oued Righ jouit d'un climat du type Saharien caractérisé par des précipitations très peu abondantes et irrégulières, par des températures élevées accusant des amplitudes importantes et par une faible humidité relative de l'air.

La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 10 ans entre (2007-2016), à partir de l'Office National de Météorologie de Touggourt

Tableau 02: Données climatiques de la région d'Oued Righ (moyennes sur une période de dix ans, de 2007-2016, ONM, Touggourt)

<i>Paramètre</i>	<i>T M</i>	<i>Tm</i>	<i>T moy</i>	<i>H</i>	<i>V</i>	<i>Evaporation</i>	<i>Préc</i>	<i>Ins</i>
<i>Mois</i>	(°C)	(°C)	(°C)	(%)	(m/s)	(mm)	(mm)	(h)
<i>Janvier</i>	17.82	4.9	11.145	63.2	2.51	97.2	15.13	248.91
<i>Février</i>	19.54	6.37	12.79	53.3	2.99	122.82	4.95	237.73
<i>Mars</i>	24.11	10.1	17.18	47.1	3.57	153.8	5.72	269.1
<i>Avril</i>	29.31	14.85	21.605	42.1	3.67	201.65	9.46	284.57
<i>Mai</i>	34.62	19.12	26.325	36.8	3.72	235.7	1.5	328.91
<i>Juin</i>	38.73	23.82	31.355	32.1	3.41	281.49	0.36	312.3
<i>Juillet</i>	41.98	26.98	34.62	29.5	2.93	326	0.07	362.94
<i>Aout</i>	41.2	26.54	33.9	32.6	2.89	283.67	3.55	337.41
<i>Septembre</i>	36.35	22.78	29.46	42.9	2.79	212.67	6.27	271.69
<i>Octobre</i>	30.52	17.77	23.565	48.5	2.5	173.12	5.13	279.95
<i>Novembre</i>	23.3	9.84	16.36	56.5	2.29	136.96	2.16	257.47
<i>Décembre</i>	19.33	6.19	11.615	64.4	1.99	90.75	3.92	239
<i>Moyenne</i>	29.73	18.02	22.49	45.75	2.93	2315.83*	58.22*	285.83

Source : O.N.M. Station Touggourt (2017). Légende :

T M : Moyenne mensuelle des températures maximales, exprimée en degrés Celsius.

T m : Moyenne mensuelle des températures minimales, exprimée en degrés Celsius.

T moy : Températures moyenne annuelle, exprimée en degrés Celsius.

P : Précipitation mensuelle en millimètre.

H : Moyenne mensuelle d'humidité relative exprimée en pourcentage.

V : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent en mètre par seconde.

E : Evaporation mensuelle en millimètre.

Ins : Insolation mensuelle en heure.

* le cumule

2.5.1. Données bruts

2.5.1.1. Température

La région de l'Oued Righ est caractérisée par des températures très élevées, la température moyenne annuelle est de 22.49°C, avec 34.62°C en juillet pour le mois le plus chaud et 11.14°C en janvier pour le mois le plus froid, avec des extrêmes de $T_M=41.98^\circ\text{C}$ en juillet et en $T_m=4.9^\circ\text{C}$ en janvier (Tableau 02).

2.5.1.2. Précipitation

Dans notre région d'étude, les précipitations sont très rare et irrégulières à travers les saisons et les années, elle reçoit un cumule annuelle de l'ordre de 58.22mm, La répartition est marquée par une sécheresse presque absolue au mois juillet de l'ordre 0.07mm et le maximum en janvier avec 15.13mm (Tableau 02).

2.5.1.3. Vent

D'après l'O.N.M pour la période (2007-2016), les vents sont fréquents sur toute l'année, avec une moyenne annuelle de 2.93 m/s. Le maximum de vitesse du vent annuelle est enregistré au mois de mai avec une valeur de 3.72 m/s et le minimum en mois décembre avec 1.99 m/s. ces vents soufflent suivant des directions différentes (Tableau 02).

2.5.1.4. Evaporation

L'évaporation est un phénomène physique qui augmente avec la température, la sécheresse de l'aire et l'agitation de cet air. Dans le Sahara algérien l'eau évaporée annuellement serait de 3 à 5 mètres environ suivant les localités, c'est-à-dire une valeur infiniment plus forte que la quantité d'eau qui tombe sur le sol lors des pluies (OZENDA, 1983) Dans la région de l'Oued Righ l'évaporation est très importante, le maximum est de l'ordre de mm en326registré au mois de juillet et le minimum est marqué au mois de janvier avec.97.2 mm. La moyenne annuelle de l'ordre de180 mm (Tableau 02).

2.5.1.5. Humidité relative de l'air

Les valeurs de l'humidité relative de la région d'étude sont relativement homogènes. Les moyennes mensuelles varient entre 29.5% et 64.4%, sachant que la moyenne annuelle est de l'ordre de 45.75%. Juillet est le mois le plus sec et janvier est le mois le plus humide (Tableau 02).

2.5.1.6. Durée de l'insolation

L'insolation est la durée d'apparition du soleil .Elle varie en fonction de l'altitude qui détermine la longueur des jours et le degré d'obliquité des rayons solaires. La vallée de l'Oued Righ reçoit une durée d'ensoleillement relativement très forte, le maximum est atteint au mois de juillet avec une durée de 362.94 h et le minimum au mois de février avec une durée de 237.73 h.

2.5.2. Synthèse climatique**2.5.2.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls**

Pour Gaussen un mois « sec » si le quotient des précipitations mensuelles « P » exprimé en (mm), par la température moyenne « T » exprimé en (°C) est inférieur à deux. La représentation sur une même graphique de la température et des précipitations moyennes mensuelle, avec en abscisse les mois, permet d'obtenir les diagrammes Ombrothermique qui mettant immédiatement en évidence les saisons sèches et les saisons pluvieuse (Gerard, 1999). La figure 05 montre que le climat de la région de Oued Righ est caractérisé par une sécheresse permanente pendant toute l'année (climat saharien).

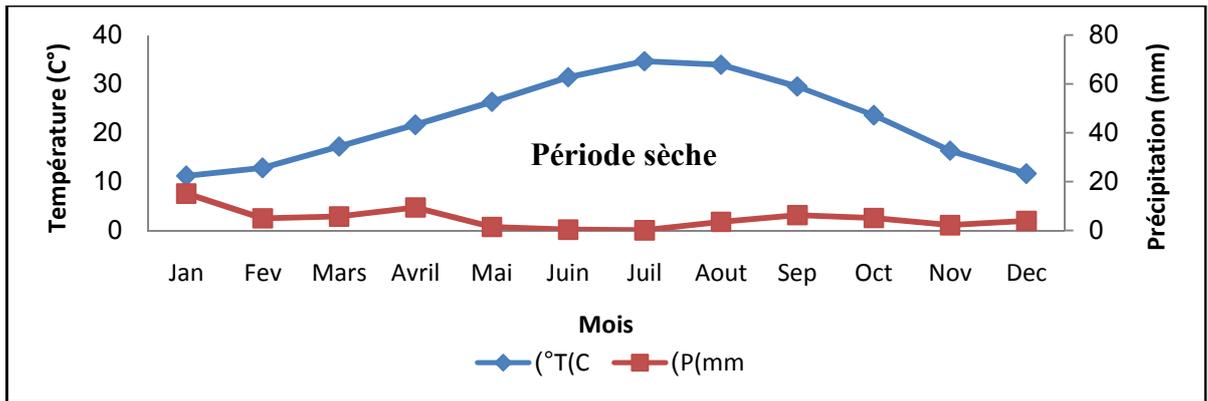


Figure 04: Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région de Touggourt (2007-2016).

2.5.2.2. Classification bioclimatique

Le climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté :

- * En abscisses : par la moyenne des minimas du mois le plus froid.
- * En ordonnées : par le quotient pluviothermique (Q2) d'Emberger (1955), il est formulé de la manière suivante : $Q2 = 2000P/M2 - m2$.

Nous avons utilisé la formule de Stewart (1969) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit : $Q3 = 3,43P/M - m$.

- * Q3 : quotient pluviométrique d'Emberger.
- * P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.
- * M : moyenne des maximas du mois le plus chaud en °C.
- * m : moyenne des minimas du mois le plus froid en °C.

D'après les calculs, l'Oued Righ se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient pluviothermique Q3 est de 5.39.

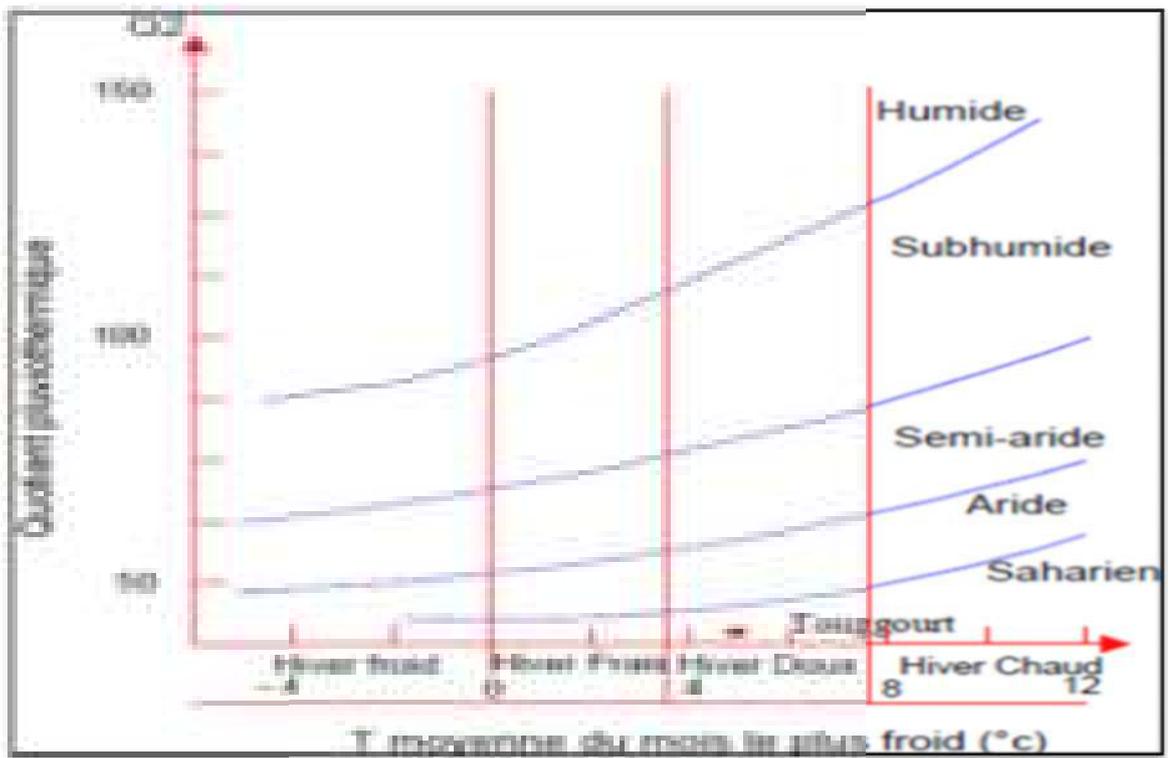


Figure 05: Climagramme d'Emberger pour la région de Oued Righ

2.6. Végétation

La végétation de la vallée Oued Righ s'apparie toute a fait semblable à celle des zones arides, et en particulier à celle du Sahara, à cause du climat qui règne tout ce milieu désertique très contraignant à la survie des êtres vivants. Pour cela elle est caractérisée par une excellence adaptation aux conditions édapho-climatiques sévères.

Parmi ces familles les chénopodiacées sont très bien représentées notamment par le Halocnemum strobilaceum (pall) M. Bied. (existe dans toute la vallée), par Anabasis articulata (Forssk.) Moq , Traganum nudatum Del dans le Haut et le Moyen Oued Righ et par Salsola tetragona Del. dans le Moyen et le bas Oued Righ. Aussi les Tamaricacées et les zygophyllacées sont bien représentés au long de la vallée mais par une seule espèce pour chaque famille qui sont respectivement Tamarix gallica L. et Zygophyllum album L.

Par contre les Brassicaceae très bien représentées dans le Moyen et le bas Oued Righ, semblent inexistantes dans le Haut. A l'opposé, dans les milieux excessivement salins chott et canal les espèces sont peu et rares mais la tolérance de ceux qui y existent est impressionnante les réseaux : Phragmite communis Trin. (Slotner ,1989).

2.7. Sol de la région de l'Oued Righ

Les sols de la vallée de l'Oued Righ ont fait l'objet d'une étude détaillée en 1970 par SOGREAH. Ce sont d'origine allu-colluviale, à partir du niveau Quaternaire ancien encroûté, avec des apports éoliens sableux, essentiellement en surface. Ce sont des sols meubles et bien aérés en surface, en majorité salés, l'influence de la nappe phréatique est déterminante et on observe parfois un horizon hydro-morphe ou un encroûtement gypso-calcaire; dans les sols non encroûtés, les propriétés hydrodynamiques sont bonnes, améliorées par des apports de sable en surface et la réserve facilement utilisable RFU varie entre 78 et 106 mm. La salure est du type sulfaté calcique dans les sols les moins salés ($CE \leq 8 \text{dS/m}$) et de type chlorure sodique pour les sols les plus salés (Talbi, 2004).

D'après BNEDER (1998) les sols peuvent être regroupés selon les classes suivantes :

- ✓ Sols peu évolués non climatiques ;
- ✓ Sols à hydromorphie de pseudogley ;
- ✓ Sols à hydromorphie à accumulations gypseuses ;
- ✓ Sols sains ou modaux ;
- ✓ Sols à Gley dominant apparaissant à moins de 1, 50m de profondeur ;
- ✓ Sols à pseudogley de surface ou d'ensemble ;
- ✓ Sols à accumulation de gypse.

Les sols les plus représentés sont les sols anthropiques et hydromorphie minéraux.

CHAPITRE III

Méthodes mise en œuvre

CHAPITRE III : Méthodes mise en œuvre

Ce chapitre sera consacré dans un premier temps à la description des sites étudiés et des critères de leur choix, ensuite, à la présentation des méthodes d'étude qui ont été suivies sur terrain et au laboratoire.

3.1. Sélection des sites étudiés

Une des particularités de la pédologie réside dans le fait que l'objet de ses études qui est le sol, est enfoui. De ce fait et pour choisir des profils ou coupes qui répondent aux objectifs tracés pour cette étude, nous avons commencé ce travail par une analyse cartographique et la consultation des travaux précédents pour rassembler le maximum d'informations sur la région d'étude, puis par plusieurs sorties de prospection en vue de choisir l'emplacement des profils. Cette étape a été suivie par des sorties sur terrain pour le creusement et la description morphologique des profils, ainsi que l'échantillonnage du sol (Youcef, 2006).

Les critères qui ont été suivis pour le choix des sites d'étude sont :

- ↪ Sol naturel ;
- ↪ Présence des accumulations gypseuses ;
- ↪ formes d'accumulations gypseuses.

Dans notre travail nous avons étudié 07 profils différents dans les sites suivants (Figure 07) :

- ✓ Sidi Mahdi (4 profils) (SMa, SMb, SMc, SMD)
- ✓ Temacine (1 profil) (TE)
- ✓ El Goug (2 profils) (GOa, GOB)

3.2. Présentation des sites d'étude**3.2.1. Site de Sidi Mahdi (Coupes SMA, SMB, SMC et SMD)**

Le site de Sidi-Mehdi est situé au Sud-Est de Touggourt sur le plateau oriental de l'Oued-Righ, les quatre coupes étudiés sont localisés dans le côté droit de la route qui relie entre la wilaya de El Oued et Touggourt et à l'extrémité Est des palmeraies de Beni Issouid, des buttes de petites dimensions montrent, à la base des argiles gypseuses verdâtres

surmontées par une grande couches d'alternances de sables quartzeux et d'accumulations gypseuses.

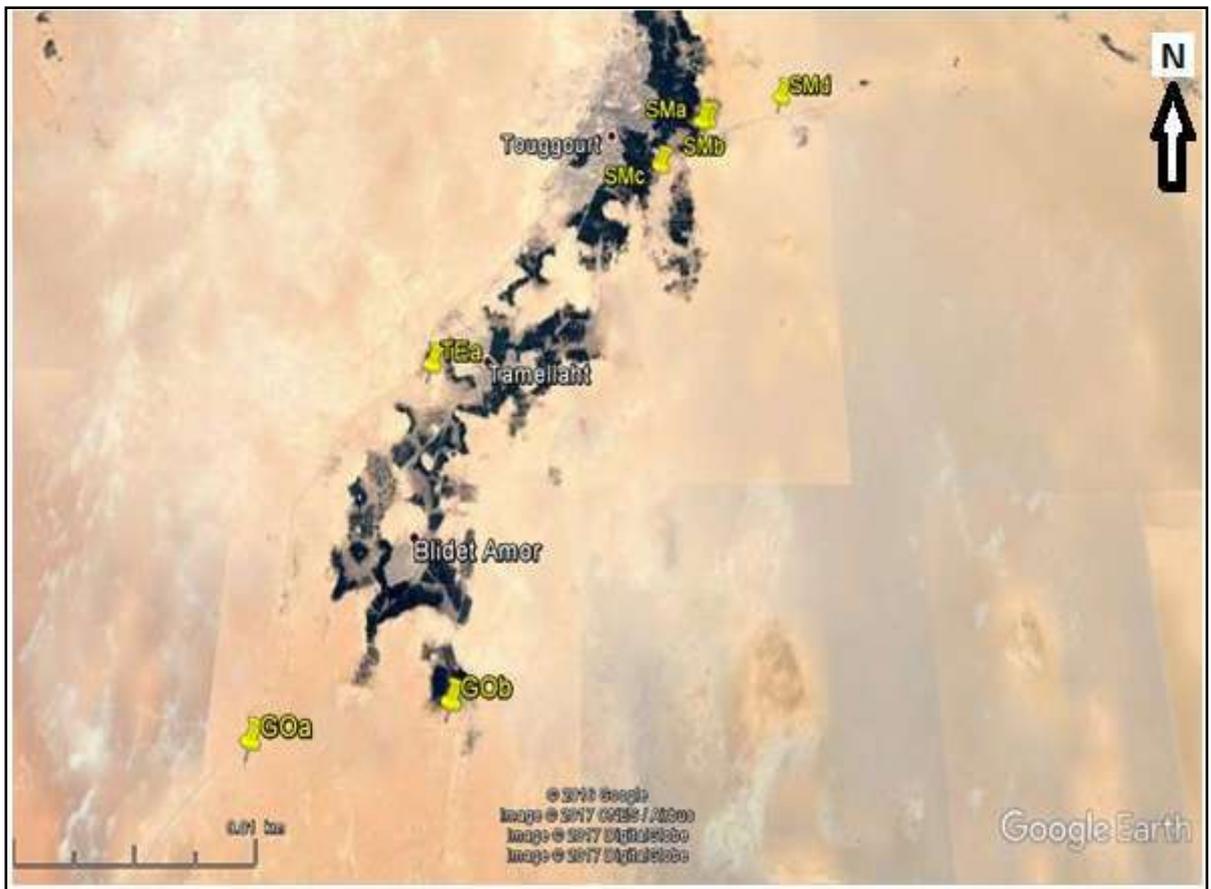


Figure 06: localisation des sites d'étude (Google Earth, 2017)

3.2.2. Site de Temacine (Coupe TE)

La commune de Tamacine ou Temacine située à 10 km au Sud-Ouest de Touggourt, classée dans la partie haut d'Oued Righ. Cette région caractérisée par un important nombre des carrières d'argile. On a choisi un seul profil (TE) dans ce site c'est une coupe dans une ancien carrière d'argile.

3.2.3. Site d'El Goug (Coupes GOa et GOB)

Goug (également appelé El Goug) est un village de la commune de Balidat Ameer, dans le district de Temacine. Le village est situé à 5,5 km au Sud-Est de Balidat Ameer et à 23 kilomètres au Sud de Touggourt. Dans l'ancien village d'El Goug les buttes témoins sont

très remarquables, constituées d'alternance des couches du sable consolidé jaune et gris sous une couche gypseuse. Dans ce site on a sélectionné deux profils.

3.3. Description des méthodes mises en œuvre

3.3.1. Sur terrain

3.3.1.1. Description morphologique

Les principes de Baize et Jabiol (1995) ont été suivis pour décrire les horizons et les coupes étudiés. Les critères décrits sont les suivants :

- Pour la caractérisation de l'environnement : localisation, végétation, état de surface, temps, topographie et date;
- Pour la description morphologique de chaque horizon: épaisseur (cm), couleur (Munsell Soil Color Charts), texture, structure, matière organique, réaction à l'HCl, tâches, éléments grossiers, porosité, limite et transition entre les horizons.

3.3.1.2. Echantillonnage du sol

Après la rafraîchissement des coupes et leur description, nous avons prélevé des échantillons de chaque horizon en commençant du bas vers le haut du profil, et on les conservant dans des sacs à double étiquetage (interne et externe).

3.3.2. Au laboratoire

Les analyses physiques et chimiques ont été réalisées au laboratoire:

- Laboratoire de pédologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université d'Ouargla.
- Laboratoire de CRSTRA station biophysique de Touggourt.

3.3.2.1. Analyses physiques,et chimiques

Avant de commencer la série d'analyse au laboratoire, les échantillons des sols sont séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm (terre fine).

◆ Granulométrie

nous avons effectué la granulométrie selon la méthode internationale à la pipette de Robinson, dont le principe est basé sur la destruction de la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée, destruction du calcaire par l'acide chlorhydrique pour les horizons calcaires, dispersion des particules par un dispersant énergétique et par un agitateur mécanique; et puis nous avons effectué des prélèvements à l'aide de la pipette de Robinson, dans des flacons à sédimentation, à des profondeurs et des moments déterminés (Aubert, 1978; Mathieu et Pieltain, 1998).

Nous avons utilisé la méthode de granulométrie par tamisage humide pour deux coupes (GOa, GOB), à travers une série de tamis à différents diamètres (0,5mm, 0,2mm, 0,05 mm). Car il y a manque de produit.

◆ Calcaire totale

Il a été déterminé selon la méthode du calcimètre de Bernard qui se base sur la décomposition de carbonates de calcium par l'acide chlorhydrique et la mesure de volume de gaz carbonique dégagé lors de cette réaction (Aubert, 1978).

◆ Gypse

Nous avons utilisé la méthode proposée par Coutinet (1965), dont le principe est basé sur le dosage des ions SO_4^{2-} libérés après une attaque aux carbonates d'ammonium et précipités avec le chlorure de baryum.

◆ pH et conductivité électrique

La mesure du pH a été effectuée au pH mètre et celle de la conductivité électrique (CE) au conductivimètre sur une suspension de terre fine, le rapport sol/eau étant de 1/5 (Aubert, 1978).

◆ Matière organique

Elle est estimée après le dosage de carbone organique existant dans les échantillons par la méthode d'Anne. Le carbone est oxydé par du bichromate de potassium en milieu

sulfurique et le titrage de l'excès de bichromate de potassium par le sel de Mohr en présence de diphénylamine (Aubert, 1978).

◆ Bilan ionique

D'après Coutinet (1965) et Aubert (1978), ils sont effectués sur des extraits 1/5. Il consiste à analyser les anions : SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- et CO_3^{2-} et les cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+ .

a. Dosage des anions

- **Sulfates (SO_4^{2-})** : Il est basé sur la précipitation sous forme de sulfate de baryum, en présence de Chlorure de Baryum (BaCl_2) (Coutinet, 1965).
- **Chlorures (Cl^-)** : Le dosage est réalisé par la méthode de Mohr, les ions Cl^- sont dosés, ils précipitent sous forme d' AgCl en présence d' AgNO_3 (Aubert, 1978).
- **Carbonate et bicarbonate (CO_3^{2-} et HCO_3^-)** : Sont dosés par titrimétrie au H_2SO_4 , en présence des indicateurs phénolphtaléine et orange de méthyle (Aubert, 1978 ; Coutinet, 1965).

b. Dosage des cations

- **Les cations K^+ et Na^+** sont analysés par le spectrophotomètre à flamme.
- **Les Cations Ca^{++} et Mg^{++}** sont dosés par le titrage molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel di sodique de l'acide éthylène tétra acétique (E.D.T.A.) à $\text{pH} = 10$, le noire ériochrome est utilisé comme indicateur.

Chapitre IV

Résultats

Chapitre IV : Résultats

Pour ce travail, nous avons étudié sept profils dans la région d'Oued Righ. Nous allons présenter les résultats obtenus pour chacun.

4.1. Caractérisation morphologique et analytique des profils**4.1.1. Profil N° 01: Sidi Mahdi (SMa)****4.1.1.1. Description morphologique**

Localisation : à gauche de la route nationale N°16 qui mène de Touggourt

Coordonnées géographiques

- Latitude : 33°6'4.17"N
- Longitude : 6°6'35.79"E
- Altitude : 103 m.

Topographie : sommet d'une butte témoin (plane)

Etat de surface : Croûte sédimentaire avec une charge grossière de nature gypseuse, taux de recouvrement entre 20% à 30%

Végétation : *Zygophyllum album*

Temps : Ciel couvert avec quelques gouttes de pluie

Date : 14/12/2016.

SMa01 (0-27cm): Couleur à l'état humide 7.5YR 4/6 (strong brown), sec, sablo-gypseux, à structure particulaire fondu, peu compacte, pores nombreux (insectes et trace des racines morts), présence des différentes forme de concentration gypseuses (manchon de gypse, macro cristaux, rosette de sable..), faible effervescences à l'HCl, transition pas nette avec une limite irrégulière.

SMa02 (27-36cm): Couleur à l'état humide 7.5YR 6/6 (reddish yellow), sec, sableuse, à structure particulaire, pores nombreux d'origine biologique (insectes et trace des racines

morts) tache noir et concrétion gypseuse, présence d'effervescences à l'HCl, transition pas nette avec une limite irrégulière.

SMa03 (36-43cm): Couleur à l'état humide 7,5YR7/4 (pink), sec, sableuse consolidé, à structure particulaire, vides peu abondants et intergranulaire d'origine biologique, présence des différentes forme de concentration gypseux (manchon de gypse, des amas, macrocristaux,..), effervescence faible à l'HCl, transition pas nette avec une limite irrégulière.

SMa04 (43-63 cm): Couleur à l'état humide 7,5YR5/6 (strong brown),sec ,sableuse ,à structure particulaire compressée, présence des taches noires (racines morts), nombreux pores de taille moyens des insectes, pas d'effervescence à l'HCl, présence des macrocristaux, des manchons de gypse, peu abondants et de taille faible, transition pas nette avec une limite irrégulière

SMa05 (> 63 cm): Couleur à l'état humide 7.5 YR 5/6 (strong brown),sec ,sableuse , structure massive compacte, présence des taches noires, présences des amas et des nodules gypseux très abondants, pas d'effervescence à l'HCl.

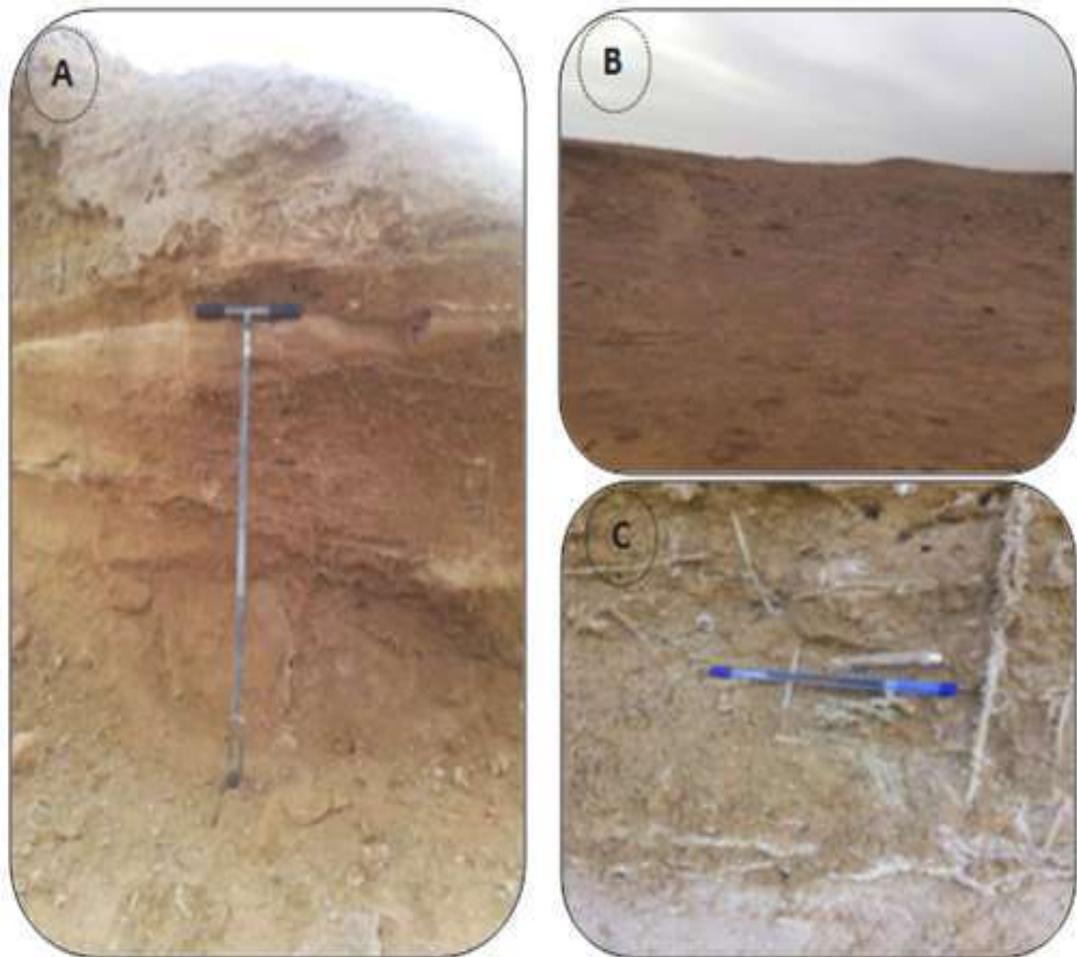


Photo 01: A- Photos de la coupe SMA; B- Vue de l’aspect de surface a croûte; C- Accumulations gypseuse de la coupe SMA (manchons de gypse, nodules, amas, macrocristaux).

4.1.1.2. Données analytiques

Tableau 03: Les résultats des analyses physico-chimiques.de la coupe SMA

Hz	Prof (cm)	Granulometrie (%)					CalcT (%)	Gypse (%)	MO (%)	Classe texturale
		A	Lf	Lg	Sf	Sg				
SMa01	0-27	1.2	0.5	12.3	81.0	5.0	20	51.75	1.1	Sableux
SMa02	27-36	4.1	0.6	15.9	76.6	3.6	25	67.34	0.8	Sablo-limoneux
SMa03	36-43	0.8	0.6	16.0	79.58	3.1	23	53.11	1.1	Sablo-limoneux
SMa04	43-63	4.1	0.1	15.5	78.2	2.1	20	52.66	1.6	Sablo-limoneux
SMa05	≥ 63	10.8	0.5	10.3	74.5	3.9	19	67.5	1.3	Sablo-limoneux

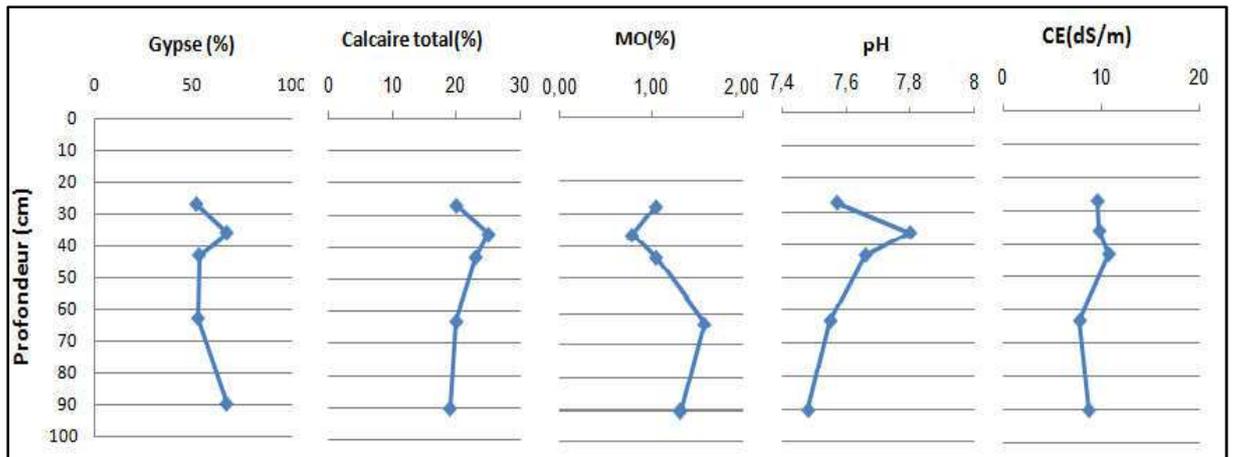


Figure 07: Profil de gypse, calcaire total, MO, pH, salin de la coupe SMA

4.1.1.3. Interprétation

L'étude morphologique du solum montre que la charge des accumulations gypseuses est très importante surtout dans les horizons de surfaces, on a remarqué la présence des manchons de gypse, macro cristaux et rosettes de sable.



Photo 02: Manchans de gypse



Photo 03: rosette de sable

Les données analytiques de la terre fin du sol de cette coupe (tableau 03) montrent que la texture sableuse est dominante, précisément la fraction de sable fin plus de 70%.

Les valeurs de la granulométrie, montrent que la fraction de sable fin est la plus dominante dans tous les horizons plus 70%.

D’après l’échelle de Baize (2000) (tableau 02. Annexe I), Les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total (Tableau 03), montrent que le sol de cette coupe est modérément calcaire, surtout l’horizon SMA02 enregistré la plus grande valeur (25%). La distribution des valeurs de calcaire est descendante.

D’après l’échelle de Barzanji (1973) (tableau 01 ,Annexe I); la teneur de gypse dans tous les horizons est extrêmement gypseuse . La plus grande valeur est marquée dans l’horizon SMA 2 (67.35%),

D’après Morand (2001) (tableau 05, Annexe I); le taux de matière organique est faible dans tous les horizons, sauf SMA02 est très faible (0.8 %).

D’après l’échelle de salure pour un extrait 1/5 d’Aubert (1978), le sol est extrêmement salé dans tous les horizons de cette coupe puisque la conductivité électrique est supérieure à 6 dS/m. Alors que le pH de sol est légèrement alcalin, et varie entre 7.55 et 7.8 (Tableaux 03et 04 Annexe I).

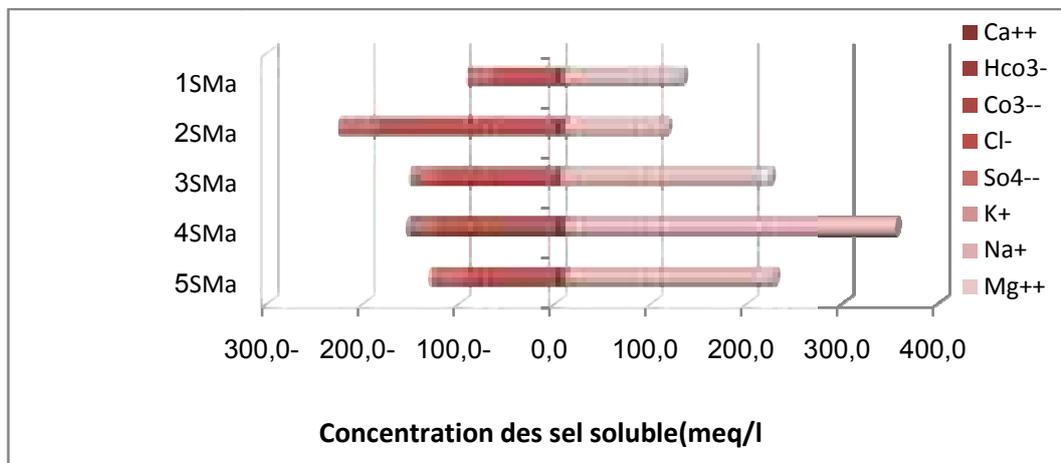


Figure 08 : Profil ionique du solum SMA

Pour le bilan ionique, la concentration de cation le plus dominant dans la solution du sol est le sodium (Na⁺), qui est présent dans tous les horizons ou les valeurs sont variées de 103.4 meq/l à 342.8 meq/l. La concentration d’anion dominant dans la solution du sol est le chlorure (Cl⁻) dans tous horizons pour des valeurs qui varient de 63.0 à 183.5 meq/ l (Figure 09, Tableau 01 Annexe II), Donc le faciès géochimique est chloruré sodique.

4.1.2. Profil N° 02: Sidi Mahdi (SMb)

4.1.2.1. Description morphologique

Localisation : à gauche de la route nationale qui relie entre Taibet Touggourt

Coordonnées géographiques

- Latitude : 33°6'3.7"N
- Longitude : 6°6'42.44."E
- Altitude : 100 m.

Topographie : près du bord d'une petite dépression

Etat de surface : caillouteux avec un voile éolien, taux de recouvrement de la charge grossière est entre 30 à 40% ,de nature gypseuse

Végétation : *Zygophyllum album*

Temps : ciel couvert avec quelques gouttes de pluie

Date : 14/12/2016.

SMb 01 (0-40 cm): Couleur à l'état humide 7,5YR 5/3 (brown), frais, sablo-argileuse, structure fragmentaire, peu compacte, présence de quelques taches noirs (racines morts), présence des filonnet de gypse fibreux remplissant les fissures entre les fragments d'argile, de couleur blanche brillante, présence de gypse pulvérisant et des amas sur la surfaces des fragments d'argile, faible effervescence à l'HCl, limite régulière.

SMb 02 (40-47 cm): Couleur blanche brillante, Bancs de gypse fibreux stratifiés, remplissant des fissures dans les Argiles, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, transition distincte avec une limite régulière.

SMb 03 (>47cm) Couleur à l'état humide 7,5YR 5/3 (brown), frais, argilo-gypseuse, structure fragmentaire, peu compacte, présence des strates de gypse entourés les fragments d'argile, faible effervescence à l'HCl.



Photo 04: A- Photos de la coupe SMb; B- Vue de l'aspect de surface caillouteux ; C- Bancs de gypse fibreux stratifiés dans l'horizon SMb2; D- Cristallisation de gypse fibreux remplissant les fissures entre les fragments d'argile; E- Gypse pulvérisant et des amas sur la surfaces des fragments d'argile

4.1.2.2. Données analytiques

Tableaux 04: Les résultats des analyses physico-chimiques.

Hz	Prof (cm)	Granulométrie (%)					Calc T(%)	Gypse (%)	MO (%)	Classe texturel
		A	Lf	Lg	Sf	Sg				
SMb01	0-40	38.9	45.7	5.1	10.2	0.2	27	66.79	1.1	Argiol- limoneux
SMb02	40-47	/	/	/	/	/	/	/	/	
SMb03	≥47	42.9	37.4	3.6	7.4	8.8	25	67.37	0.8	

4.1.2.3. Interprétation

Les formes d'accumulation gypseuse sont nombreuses surtout les bancs de gypse fibreux, se sont formés au sein d'anciennes lagunes. Le sulfate de calcium a cristallisé en couches plus ou moins épaisses, en alternance avec des dépôts d'argile. Sur les surfaces des fragments d'argiles on trouve aussi les revêtements et les amas de gypse.(0.5à1cm).

Le tableau (04) Présente les résultats d'analyses physico- chimiques de la coupe SMb. L'étude morphologique du solum montre que le sol est caractérisé par la dominance de la fraction très fine ($\leq 50\mu\text{m}$), pour SMb1 la texture est limono-argileuse et argilo-limoneuse pour SMb2.

Les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total (Tableau 04), montre que le sol de cette coupe est fortement calcaire d'après l'échelle de Baize (2000) (tableau 02. Annexe I); l'horizon SMb 01 enregistre la plus grande valeur (27%). Le pourcentage de calcaire diminue avec la profondeur,

D'après l'échelle de Barzanji (1973) (tableau 01 ,Annexe I) , la teneur de gypse dans toutes les horizons est extrêmement gypseux Celui qui renferme la plus grande valeurs marque dans l'horizon SMb03 (67.38%), la distribution de gypse est l'inverse de la distribution de calcaire

D'après Morand (2001) (tableau 05, Annexe I); le taux de matière organique est faible dans l'horizon SMb01 et très faible dans SMb03 (0.8%).

D'après l'échelle de salure pour un extrait 1/5 d'Aubert (1978), le sol est extrêmement salé dans tous les horizons de ce profil où la conductivité électrique est supérieure à 6 dS/m. Alors que le pH de sol est légèrement alcalin, varié entre 7.6 et 7.91 (Tableaux 03 et 04. Annexe I).

Pour le faciès géochimique est sulfaté-sodique (Figure 10).

4.1. 3.Profil N° 03: Sidi Mahdi (SMc)

4.1.3.1.Description morphologique

Localisation: à gauche de la route nationale qui mène à Touggourt (de Taibet vers Touggourt)

Coordonnées géographiques

- Latitude : 33°4'56.33.7"N
- Longitude : 6°5'17.91."E
- Altitude : 103 m.

Topographie : plane

Etat de surface : lames gypseuses de différentes tailles avec un voile éolien,

Végétation : *Zygophyllum album*

Temps : ciel couverte avec quelques gouttes de pluie

Date : 14/12/2016.

SMc 01 (0-10 cm): Couleur à l'état humide 7.5 YR 6/4 (light brown), frais, sablo-argileuse, structure fragmentaire, peu compacte, présence des racines de différents tailles, présence de gypse sous forme de macrocristaux et des strates entre les fragments, moyenne effervescence à l'HC, limite irrégulière

SMc 02(10-110 cm): Couleur à l'état humide 7.5 YR 5/6 (strong brown), frais, sableuse, structure particulière, peu compacte, présence des racines morts, faible effervescence à

l'HCl, présence des amas, des nodules et des macrocristaux de gypse, limite régulière avec une transition nette.

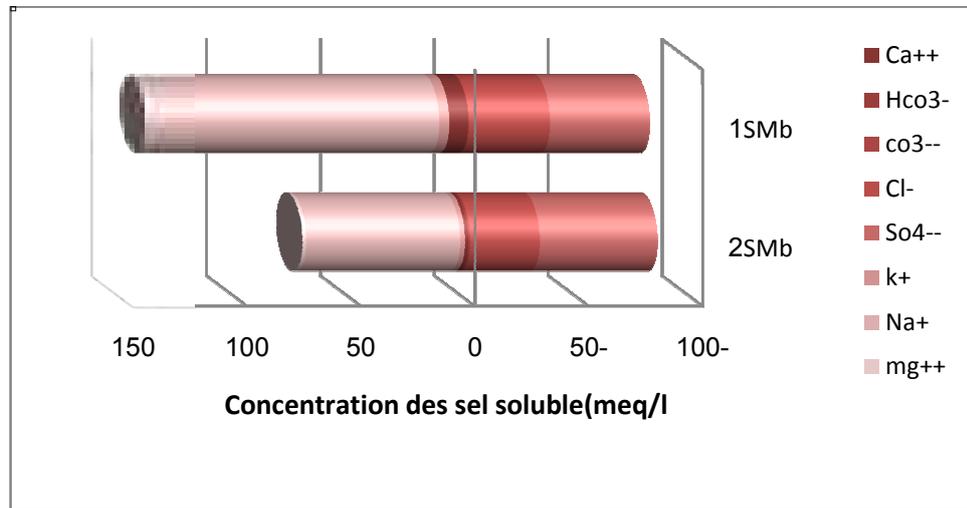


Figure 9 : Profil ionique du solum SMb

SMc 03 (110- 130 cm): Couleur à l'état humide 7.5 YR 5/6 (strong brown), frais, argilo gypseuse, structure fragmentaire polyédrique, compacte, présence de filonnet de gypse fibreux, moyenne effervescence localisée à l'HCl, présence des traces des racines morts, limite net et régulière.

SMc 04 (≥ 130cm) : idem à l'horizon (SMc2) sauf il est caractérisé par une faible effervescence à l'HCl.

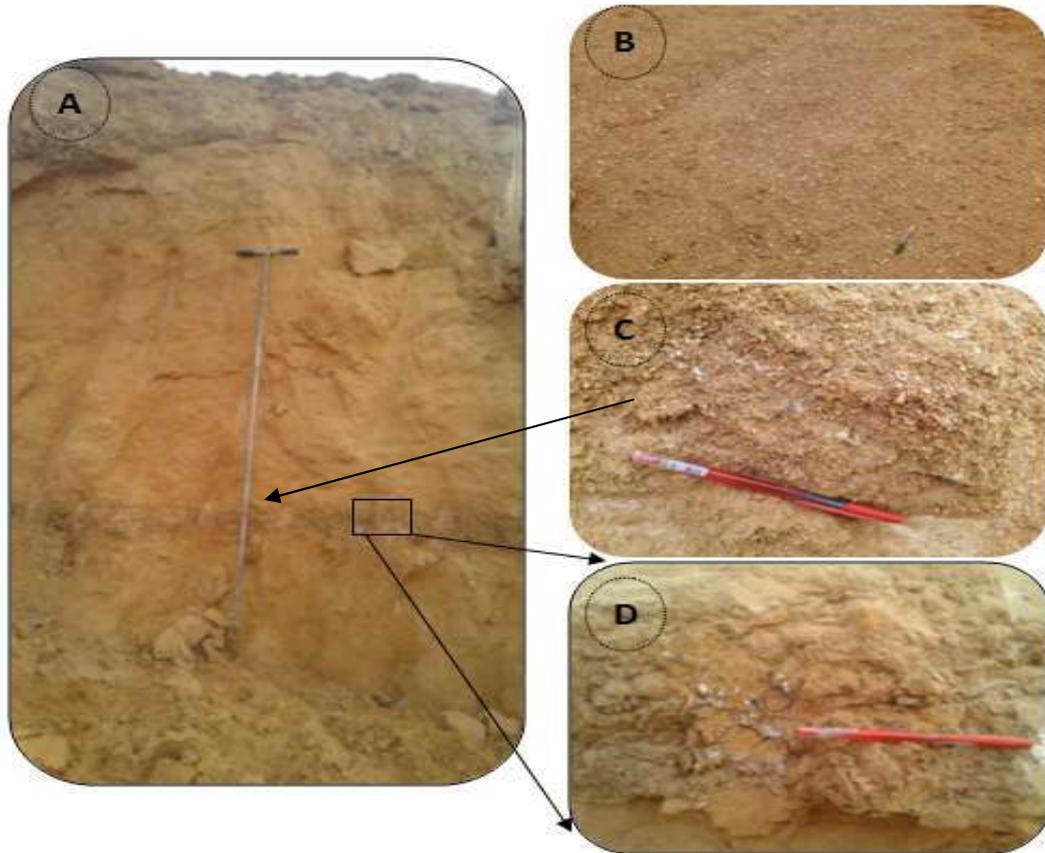


Photo 05: A- Vue générale de la coupe SMc, B- Couverture de surface du sol par les lames gypseuses ; C-Accumulation de gypse sous forme des macrocristaux et des amas dans l'horizon SMc ; D- Cristallisation de gypse dans les fissures de l'horizon.

4.1.3.2. Données analytiques

Tableaux 05 : Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe SMc

Hz	Prof (cm)	Granulométrie (%)					Calc (%)	T	Gypse (%)	MO%	Classe textural
		A	Lf	Lg	Sf	Sg					
SMc01	0-10	10.5	10.1	3.9	72.5	3.0	30	52.38	1.6	Sablo- limoneux	
SMc02	10-110	5.1	9.5	4.4	80.5	0.5	33	52.67	1.9		
SMc03	110-130	19.7	10.5	0.8	58.7	10.3	35	63.85	1.6		
SMc04	≥130	7.2	10.0	7.1	70.5	5.2	31	62.8	1.6		

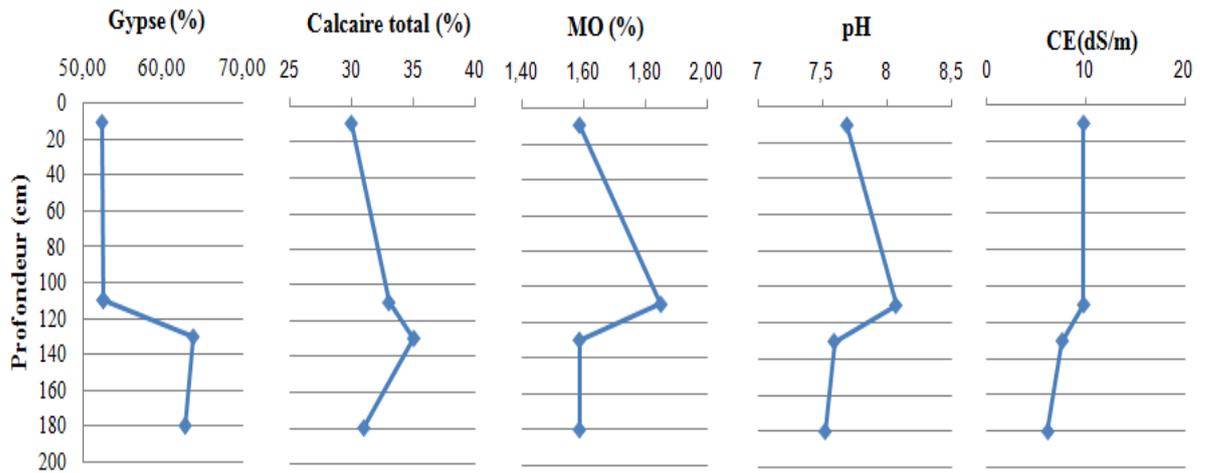


Figure 10 : Profils de gypse, calcaire total, MO, pH et salin de la coupe SMc

4.1.3.3. Interprétation

Le tableau 05: Présente les résultats d'analyses physico- chimiques de la coupe SMc.

Les valeurs de la granulométrie, montrent que la fraction de sable fin est la plus dominante dans tous les horizons plus 50%.

Les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total (Tableau 05), montre que le sol de cette coupe est fortement calcaire d'après l'échelle de Baize (2000) (tableau 02. Annexe I), surtout l'horizon SMc 03 enregistre la plus grande valeur (35 %). La distribution de calcaire se fait d'une manière inégale.

D'après l'échelle de Barzanji (1973) (tableau 01 ,Annexe I); la teneur de gypse dans toutes les horizons extrêmement gypseux . La plus grande valeur marque dans l'horizon SMa02 (63.85%).

D'après (Morand, 2001) (tableau 05, Annexe I), le taux de matière organique est faible dans tous les horizons,

D'après l'échelle de salure pour un extrait 1/5 de (Aubert, 1978), le sol est extrêmement salé dans tous les horizons, Alors que le pH de sol est légèrement alcalin, sauf l'horizon SMc04 est très légèrement alcalin, les valeurs variées entre 7.5 et 8.1 (Tableaux 03 et 04. Annexe I).

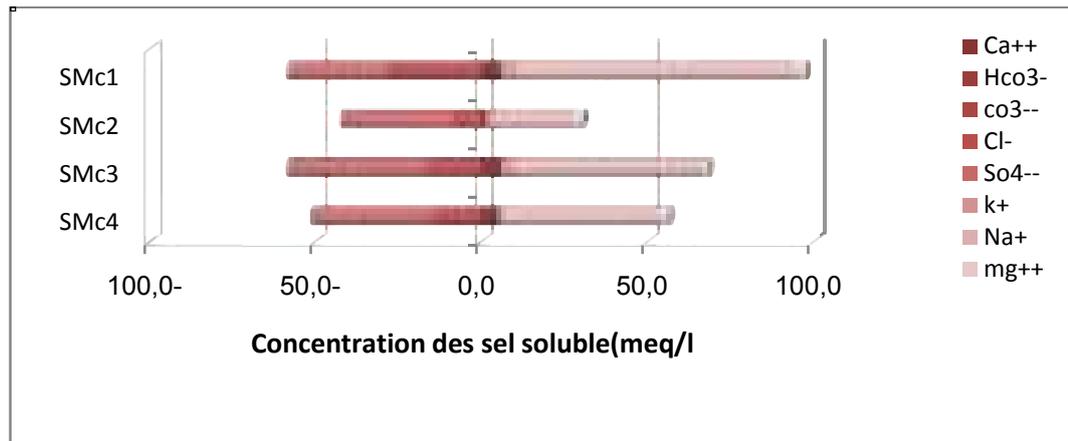


Figure 11 : Profil ionique du solum SMC

Le faciès géochimiques est sulfaté-sodique chloruré- pour toutes les profils (Figure13, Tableau 03. Annexe II).

4.1.4.Profil N° 04: Temacine (TE)

4.1.4.1.Description morphologique

Localisation: à gauche de la route nationale N°3 qui mène à Ouargla (Touggourt-Ouargla)

Coordonnées géographiques

- Latitude : 32°59'49.34"N
- Longitude : 5°57'43"E
- Altitude : 99 m

Topographie : plane

Etat de surface : partiellement couvert de voiles de sable éolien

Végétation : *Zygophyllum album*

Temps : ensoleillé

Date : 05/02/2017

TE 01 (0-54cm): Couleur à l'état humide 7.5YR5/6 (strong brown), frais, sablo-gypseuse, structure particulière fondue, compacte, présence des manchons gypseux, des roses de sable et des macrocristaux très abondants, pas d'effervescence à l'HCl, absence des racines, limite irrégulière avec transition diffus ;

TE 02 (54-110cm): Couleur à l'état humide 7.5YR5/6 (strong brown), sec, sableuse, structure massive, compacte, forte effervescence à l'HCl, présence des taches noires (racines morts), présence des macrocristaux très abondants en plus des nodules de différents tailles, limite régulière et transition diffuse ;

TE 03 (110-190 cm): Couleur à l'état humide 5Y7/3 (pale yellow), sec, argilo-gypseuse, structure fragmentaire polyédrique, compacte, forte effervescence à l'HCl, remplissage des vides et des fissures entre les fragments argileux par des cristallisations gypseux, limite net ;

TE 04 (≥ 190 cm): Couleur à l'état humide 5.7YR5/3 (raddish brown), sec, sablo-argileuse, structure particulière fondue, peu compacte, présence de quelques taches noires des racines morts ,des amas gypseux et des nodules, pas d'effervescence à l'HCl.



Photo06: A- Aspect de surface sableux, B- Vue globale de la coupe TE, C- Rose de sable, D- Remplissage des fissures par le gypse, e- Revêtements gypseux

4.1.4.2. Données analytiques

Tableau 06: Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe TE.

Hz	Prof (cm)	Granulométrie (%)					Calc T(%)	Gypse (%)	MO (%)	Classe textural
		A	Lf	Lg	Sf	Sg				
TE01	0-45	0.4	5.4	11.2	65.8	17.3	30	52.38	1.6	Sablo-limoneux
TE02	45-110	1.1	5.5	10.0	73.0	10.4	26	64.30	1.9	
TE03	110-190	13.8	4.9	0.2	79.9	1.3	26	62.83	1.9	
TE04	≥190	5.5	6.2	0.2	79.6	8.6	31	52.47	1.9	

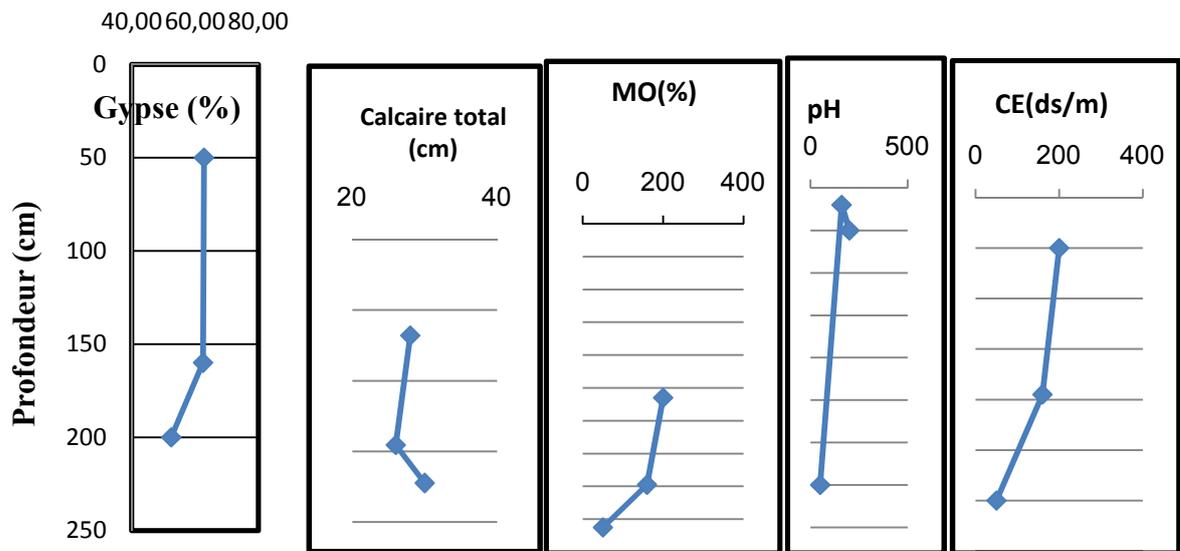


Figure 12: Profils de gypse, calcaire total, MO, pH et salin de la coupe TE

4.1.4.3. Interprétation

On a trouve dans cette coupe du gypse fibreux, gypse formant des filons au sein des fragments d'argile. Ce gypse se dépose par circulation de fluide puis précipitation dans des fractures, il existe aussi dans cette coupe les manchons gypseux et les roses de sable concentrent surtout dans les horizons de surface.

Le tableau (06) présente les résultats d'analyses physico- chimiques de la coupe TE. Les valeurs de la granulométrie, montrent que la fraction de sable fin est la plus dominante dans tous les horizons plus 60%.

Les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total (Tableau 06), montre que le sol de cette coupe est fortement calcaire d'après l'échelle de Baize (2000) (tableau 02. Annexe I), surtout l'horizon TE04 enregistre la plus grande valeur (31%). La distribution de calcaire se fait d'une manière inégale. D'après l'échelle de Barzanji (1973) (tableau 01 ,Annexe I) , la teneur de gypse dans tous les horizons est extrêmement gypseuse. La plus grande valeurs marque dans l'horizon TE02 (64.30%)

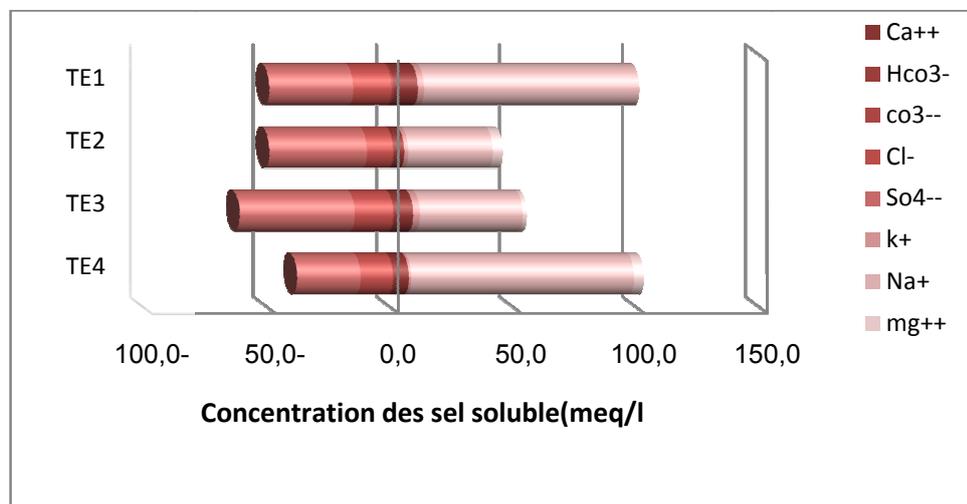


Figure 13: Profil ionique du solum TE

D'après l'échelle de classement de Morand (2001) (tableau 05, Annexe I) , le taux de matière organique est faible dans tous les horizons,.

le sol est extrêmement salé dans tous les horizons, la conductivité électrique est supérieur à 6 dS/m. Alors que le pH de sol est légèrement alcalin, dans l'horizon TE02, TE04 et très légèrement alcalin dans l'horizon TH01, TH03, varie entre 7,4 et 7,6. Le faciès géochimique est sulfaté-sodique pour la totalité des horizons de la coupe TE

4.1.5. Profil N° 05: Sidi Mahdi (SMd)

4.1.5.1. Description morphologique

Localisation: à droit de la route nationale N°16 qui mène à Touggourt (El Oued-Touggourt)

Coordonnées géographiques :

- Latitude : 33°6'41.18"N
- Longitude : 6°8'54.89"E
- Altitude : 109 m

Topographie : plane

Etat de surface : Etat de surface sableuse avec une abondance en éléments grossiers de 50% à 60% de forme différente et de nature gypseuse

Végétation : *Zygophyllum album*

Temps : ensoleillé

Date : 12/03/2017

SMd 01 (0-50 cm) : Couleur à l'état humide 5Y7/3 (pale yellow), sec, sableuse, structure particulière, peu compacte, présence de quelques taches noires (racines mortes décomposées), vive effervescence à l'HCl, forte abondance des fissurations colmatées par des cristallisations gypseuses, présence important des manchons de gypse, transition graduelle avec limite diffuse.

SMd 02 (50-160 cm) : idem à l'horizon précédant sauf la charge gypseuse est moins importante.

SMd 03 (160-200 cm) : Couleur à l'état humide 5Y8/3 (pale yellow), frais, sableuse, structure particulière fondue, compacte, présence des macrocristallisations gypseuses, faible effervescence à l'HCl.

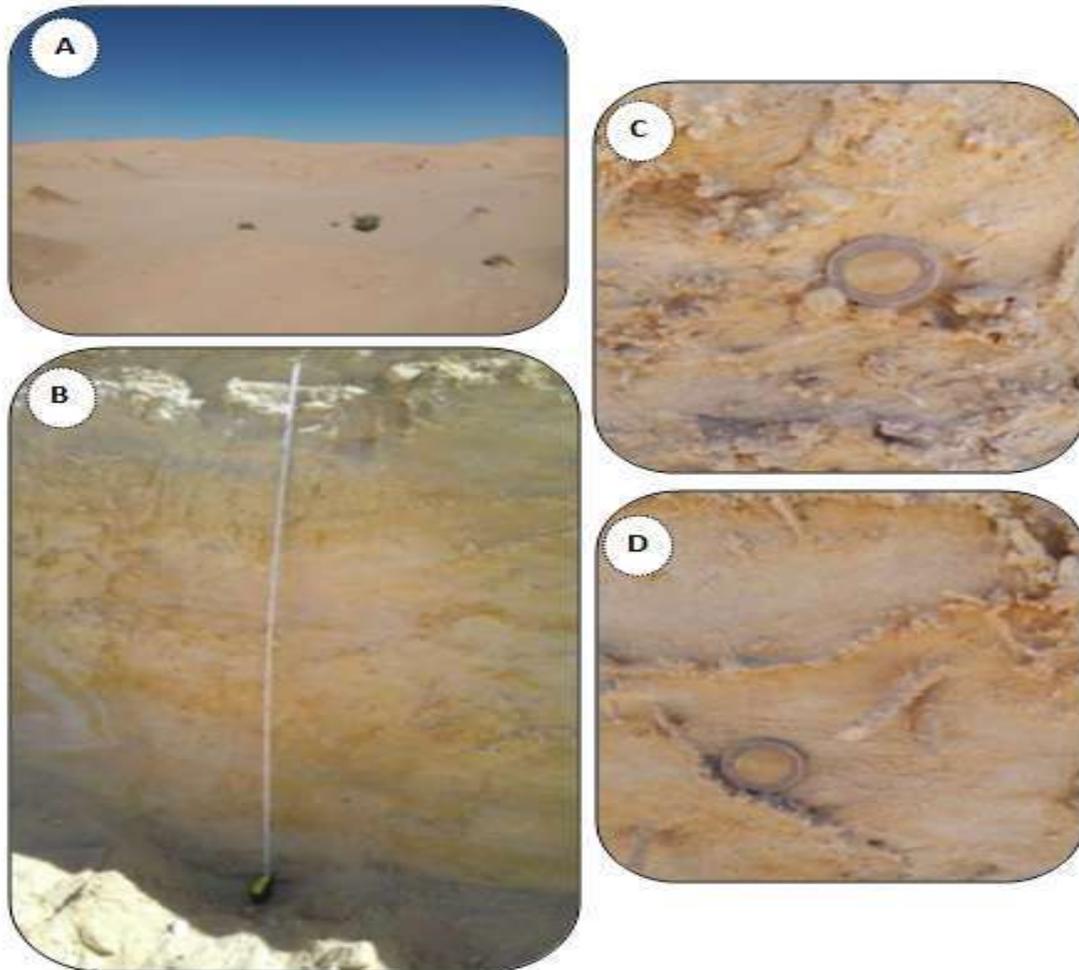


Photo 07: A- Vue générale de l'environnement, B- Vue de la coupe SMD , C- Macrocristaux de gypse et de rose de sable, D- Manchons de gypse.

4.1.5.2. Données analytiques

Tableaux 07: Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe SMD

Hz	Prof (cm)	Granulométrie (%)					Calc T(%)	Gypse (%)	MO (%)	Classe textuel
		A	Lf	Lg	Sf	Sg				
SMd01	0-50	0.6	4.6	13.0	73.0	8.9	30	62.80	1.9	Sablo-limoneux
SMd02	50-160	1.2	3.5	3.1	74.5	17.6	30	62.52	1.6	
SMd03	160-200	0.1	0.2	6.3	79.6	13.8	36	52.49	1.1	

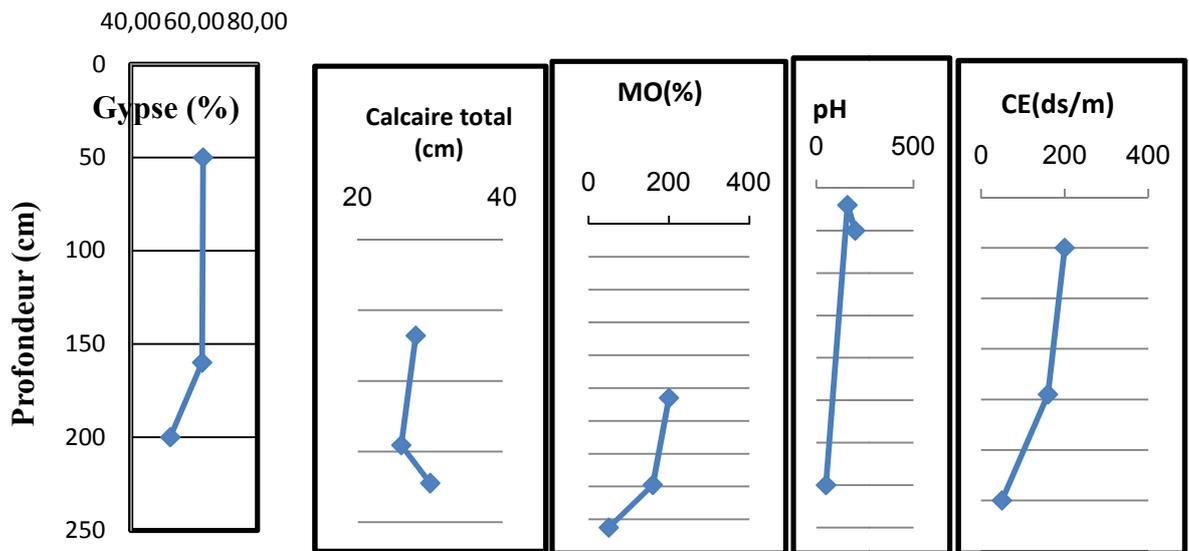


Figure 14: Profils de gypse, calcaire total, MO, pH et salin de la coupe SMD

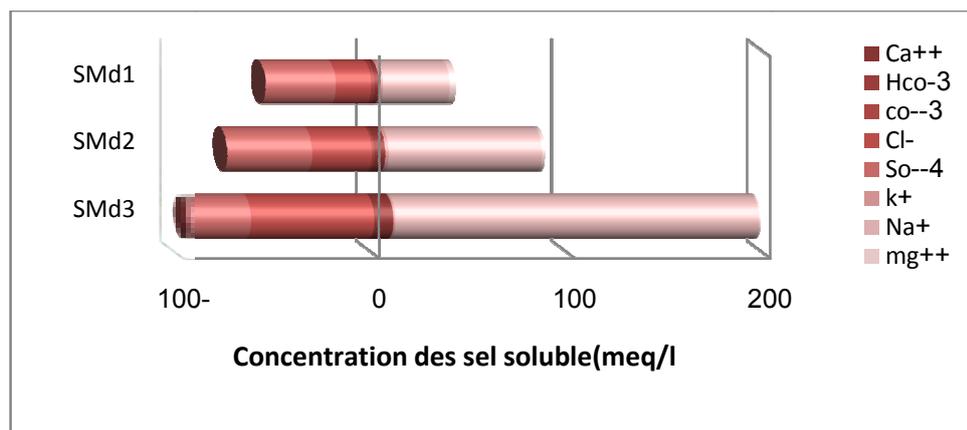


Figure 15 : Profil ionique du solum SMD

4.1.5.3. Interprétation

La description morphologique de la coupe SMD, montre la présence de quelques formes d'accumulation gypseuses comme les roses de sable et les manchons de gypse en différentes tailles.

Le tableau 07 présente les résultats d'analyses physico-chimiques de la coupe SMD. Les valeurs de la granulométrie, montrent que la fraction de sable fin est la plus dominante dans tous les horizons plus 70%

Les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total (Tableau 07), montre que le sol de cette coupe est modérément calcaire total, surtout l'horizon SMd03 enregistre la plus grande valeur de 36%. D'après l'échelle de Barzanji (1973), la teneur de gypse dans tous les horizons extrêmement gypseux. La plus grande valeur marque dans l'horizon SMd01 (62.80%),

Le taux de matière organique est faible dans tous les horizons (tableau 05, Annexe I), D'après l'échelle de salure pour un extrait 1/5 de Aubert (1978), le sol extrêmement salé dans tous les horizons. Alors que le pH de sol est légèrement alcalin, et varie entre 7.6 et 7.8.0 (Tableaux 03 et 04. Annexe I).

Pour le bilan ionique, la concentration de cation le plus dominant dans la solution du sol, est le sodium (Na^+), qui est présent dans tous les horizons, les valeurs variées de 23.5 à 83.8 (meq/l). la concentration d'anion dominant dans la solution du sol est le Sulfate (SO_4^{2-}) dans toutes les horizons (Tableau 05, Annexe II). Donc le faciès géochimique est sulfaté-sodique (Figure16).

4.1.6. Profil N° 06: El Goug (GOa)

4.1.6.1. Description morphologique

Localisation: à gauche de la route qui lie le village d'El Goug à la route nationale n°3.

Coordonnées géographiques :

- Latitude : 32°6'53.41"N
- Longitude : 5°54'58.74"E
- Altitude : 127 m.

Topographie : bordure d'une carrière

Etat de surface : Etat de surface sableuse avec une abondance en éléments grossiers de 50% à 60% de forme différente et de nature gypseuse

Végétation : *Zygophyllum album*, *Anabasis articulata*, *tamarix aphylla*

Temps : ensoleillé

Date : 25/03/2017

GOa 01 (0-136 cm): Couleur à l'état humide 10 YR 6/6 (brownish yellow), frais, croûte gypseuse, compacte, pas d'effervescence à l'HCl, transition graduelle limite diffuse.

GOa 02 (136-155 cm): Couleur à l'état humide 7.5 YR 5/8 (strong brown), frais, sablo-gypseuse, structure particulaire fondue, compacte, présence de quelques taches noirs des racines morts, pas d'effervescence à l'HCl, limite régulière.

GOa 03(155-190 cm): Couleur à l'état humide 5 YR 5/6 (yellowish red), frais, sableuse structure particulaire, peu compacte, faible effervescence à l'HCl, présence des manchons de gypse de différents tailles et des macrocristaux de couleur blanche brillante.

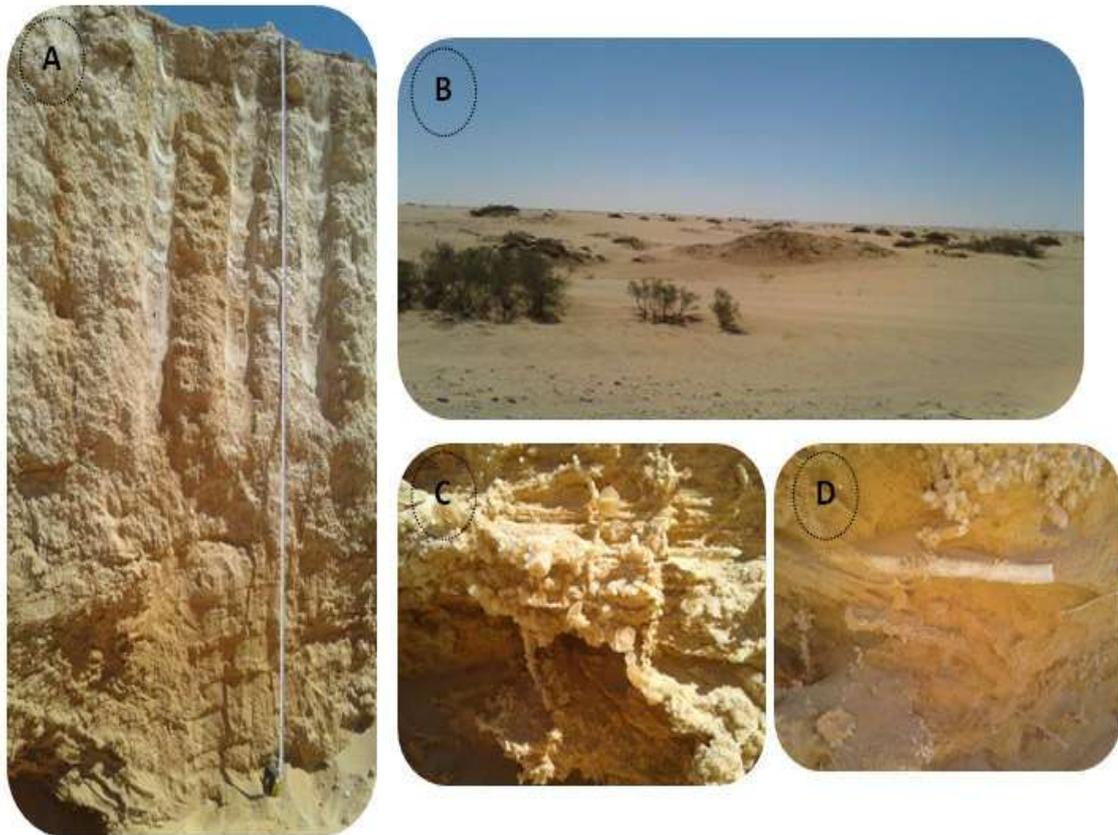


Photo 08 : A- Vue de la coupe GOa, B- Vue général de l'environnement de la coupe GOa C- Rosette de sable, D- Manchons de gypse en différents tailles.

4.1.6.2. Données analytiques

Tableaux 08: Les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe GOa .

Hz	Prof (cm)	Granulomètre (%)				Calc T(%)	Gypse (%)	Classe textuel
		A+L	Sf	Sm	Sg			
GOa01	0-136	10.84	60.03	18.97	10.16	28	67.10	Sablo-limoneux
GOa02	136-155	10.31	62.33	19.81	7.55	26	67.35	
GOa03	155-190	8.48	68.55	20.94	2.03	30	47.90	

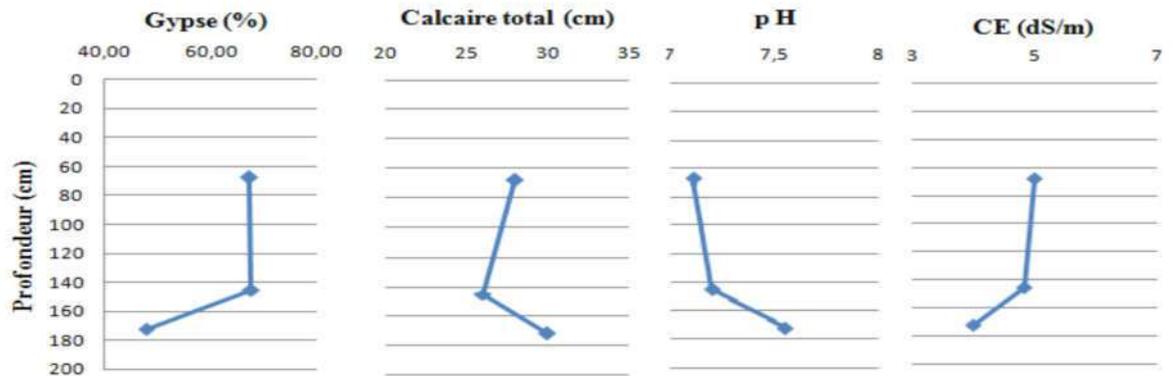


Figure 16: Profils de gypse, calcaire total, pH et salin de la coupe GOa

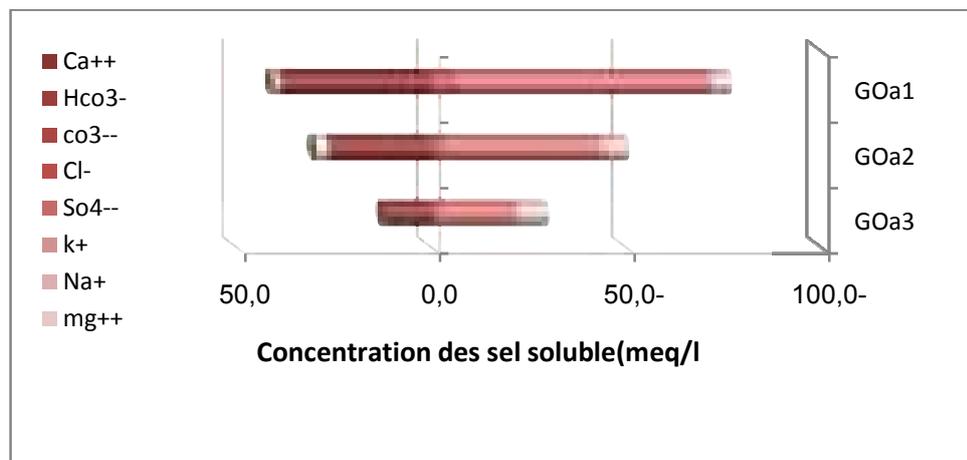


Figure 17: Profil ionique du solum Goa

4.1.6.3. Interprétation

Le tableau 08 présente les résultats d'analyses physico- chimiques de la coupe GOa. Les valeurs de la granulométrie, montrent que la fraction de sable fin est la plus dominante dans tous les horizons plus 70%,

Les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total (Tableau 08), montre que le sol de cette coupe est modérément calcaire d'après l'échelle de Baize (2000) (tableau 02. Annexe I), surtout l'horizon GOa 03 enregistre la plus grande valeur 30%,

D'après l'échelle de classement des sols gypseux (Barzanji, 1973) (tableau 01, Annexe I); la teneur de gypse dans tous les horizons est extrêmement gypseux. La plus grande valeur marque dans l'horizon Goa3 (67.35%).

D'après l'échelle de salure pour un extrait 1/5 (Aubert, 1978), le sol très salé dans tous le horizon puisque la conductivité électrique est supérieur à 6 dS/m . Alors que le pH de sol est très légèrement alcalin, et varie entre 7.1 et 7.6 (Tableaux 03 et 04. Annexe I).

Pour le bilan ionique , la concentration des cations les plus dominant dans la solution du sol, est le calcium (Ca^{2+}), qui est présent dans tous les horizons pour les valeurs de 12.0.à26.4(meq/l) . la concentration d'anion dominant dans la solution du sol est le Sulfate ($So4^{2-}$) dans tous les horizons(Figure19,Tableau 06. Annexe II).

4.1.7. Profil N°07: El Goug (GOB)**4.1.7.1. Description morphologique**

Localisation: à gauche de la route qui lie le village d'El Goug à la route nationale n°3, pas loin aux palmeraies de El Goug.

Coordonnées géographiques :

- Latitude : 32°53'48.46"N
- Longitude : 5°59'58.45"E
- Altitude : 120 m

Topographie : petite butte témoin

Etat de surface : Etat de surface sableuse avec une abondance en éléments grossiers de 50% à 60% de forme différente et de nature gypseuse

Végétation : *Zygophyllum album*, *tamarix aphylla*

Temps : ensoleillé

Date : 25/03/2017

GOB 01 (0-70 cm): Couleur à l'état humide 5YR 6/6 (reddish yellow), sec, sableuse, à structure particulière, vive effervescences à l'HCl, présence des fissures du surface au fond de l'horizon remplies par des concentrations gypseuses, présences de quelques manchons du gypse, limite diffus.

GOB 02 (70-110 cm) : Couleur à l'état humide 7.5YR 6/6 (reddish yellow), sec, sablo-gypseux, à structure massive, présences des manchons et des nodules de gypse, forte effervescences à l'HCl, le gypse se trouve aussi sous forme diffuse cimentant les particules de sable.

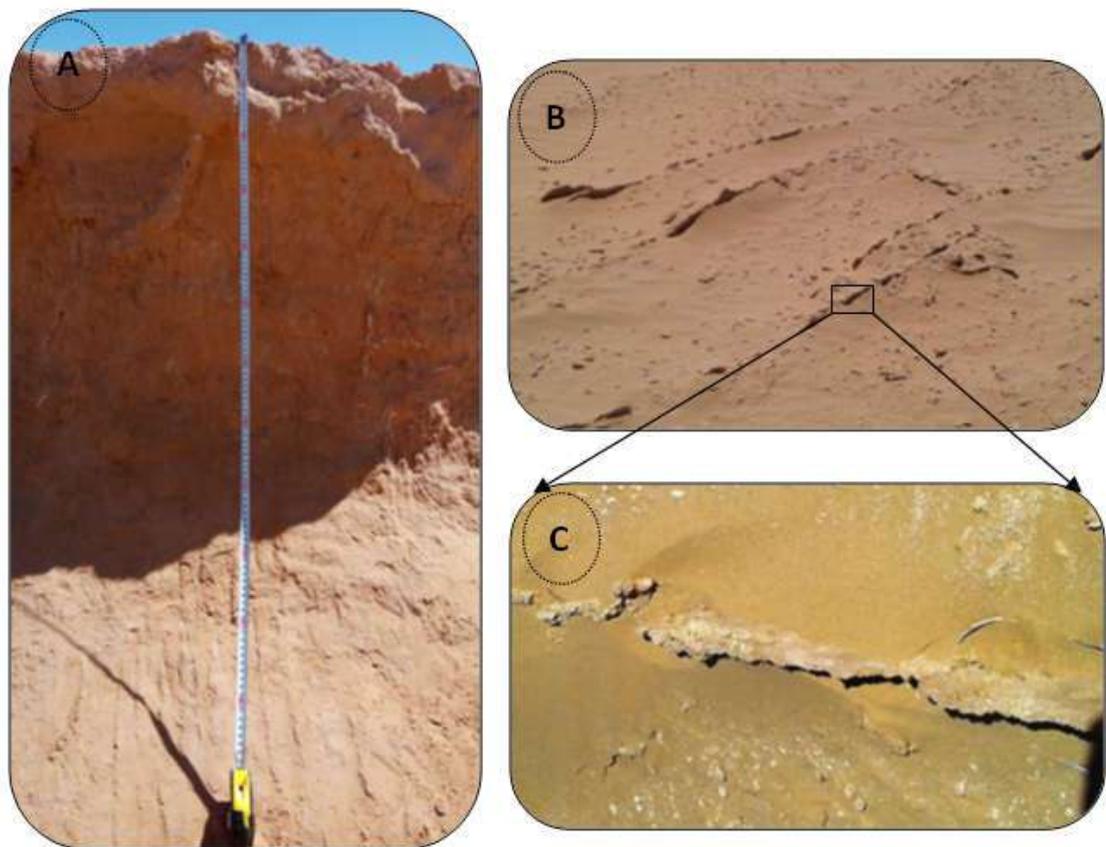


Photo 09 : A- Vue général de la coupe GOB, B- Vue de l'aspect de surface avec des plaques de gypse inclinées, C- Vue agrandie d'une plaque de gypse.

4.1.7.2. Données analytiques

Tableaux 09: Les résultats des analyses physico-chimiques.

Hz	Prof (cm)	Granulométrie (%)				CalcT (%)	Gypse (%)	Classe textuel
		A+L	Sf	Sm	Sg			
GOb01	0-70	9.26	79.07	9.07	2.6	26	67.26	Sablo-limoneux
GOb02	70-110	11.77	70.30	8.93	9	30	51.48	

Figure 20 : Profils de gypse, calcaire total , pHsalin de la coupe GOb

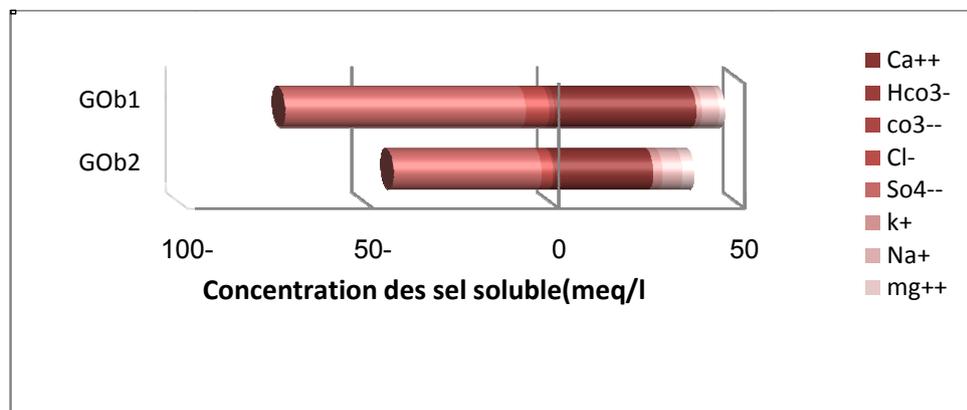


Figure 18 : Profil ionique du solum GOb

4.1.7.3. Interprétation

L'état de surface de sol dans ce site est caractérisé par la présence des plaques de gypse inclinées, ces plaques sont très dures avec des épaisseurs variables. Les cristaux de gypse (les fibres) ont crû dans une fracture en train de s'ouvrir dans laquelle circulait une eau saturée en sulfates. La cristallisation a commencé sur les deux bords de la fissure et les cristaux se sont approximativement rejoints en son milieu.

Le tableau 09, présente les résultats d'analyses physico-chimiques de la coupe GOa. Les valeurs de la granulométrie, montrent que la fraction de sable fin est la plus dominante dans tous les horizons plus 70%

Les résultats obtenus pour le dosage du calcaire total (Tableau 09), montre que le sol de cette coupe est modérément calcaire d'après l'échelle de Baize (2000) (tableau 02. Annexe

I), surtout l'horizon GOb 02 enregistre la plus grande valeur (30 %). L'allure de courbe de calcaire total est descendante.

la teneur de gypse dans tous les horizons est extrêmement gypseux , qui renferme la plus grande valeurs marque dans l'horizon GOB 01 (67.26%). D'après l'échelle de salure pour un extrait 1/5 de (Aubert, 1978), le sol est très salé dans tous les horizons. Alors que le pH de sol est très légèrement alcalin, et varie entre 7.2 et 7.3 (Tableaux 03 et 04. Annexe I), le faciès géochimique est sulfaté-calcique dans cette coupe (figure 21).

Chapitre V

Discussion

Chapitre V : Discussion

D'après l'étude morphologique des coupes choisies, nous avons observé des formes différentes des accumulations gypseuses entre autre; des macrocristallisations gypseuses (rose et rosette de sable), les manchons de gypse, les barbes, les amas, le filonnet de gypse en plus la croûte gypseuse.

Dans cette partie, nous essayerons d'expliquer l'origine de ces accumulations gypseuses et de tirer des interprétations paléoenvironnementales à partir des résultats obtenus.

5.1. Synthèse morpho-analytique des sites d'étude

5.1.1. Site de Sidi Mahdi (SMa, SMb, SMc et SMd)

D'après les résultats obtenus pour les analyses physiques et chimiques du sol, toutes les coupes présentent une texture dominée par la fraction de sable fin, sauf la coupe SMb la dominance de la fraction argileuse est très nette, le taux de matières organiques est très faible à faible, le sol est fortement à modérément calcaire, avec une salinité extrême, le pH est légèrement alcalin, le faciès géochimique est varié entre chloruré-sodique et sulfaté -sodique.

La totalité des coupes sont caractérisées par un sol extrêmement gypseux ou la teneur de gypse dépasse le 50% pour tous les horizons, cette teneur provient l'existence de différentes formes d'accumulation gypseuse dans les coupes de ce site; les amas, les nodules, les macrocristaux, le filonnet (dans la coupe SMb) et de manchon de gypse (SMa et SMd)

5.1.2. Site de Temacine (TE)

Cette coupe est caractérisée par la dominance de sable fin, un faible taux en matière organique et un taux de calcaire total élevé, elle est extrêmement salée, a un pH légèrement à très légèrement alcalin, le faciès géochimique sulfaté –sodique.

La totalité des coupes sont caractérisées par un sol extrêmement gypseux ou la teneur de gypse dépasse le 50% pour tous les horizons, ces valeurs élevées de gypse expliquent la présence de différentes formes d'accumulation du gypse dans cette coupe: les roses de sable, les manchons de gypse et les filons au sein des fragments d'argile.

5.1.3. Site de Goug: GOa GOb

Ce sont des coupes de texture dominée par la fraction de sable fin plus de 60% pour la majorité des horizons, sont caractérisées par un faible taux de matière organique, un sol modérément calcaire, très salé avec un pH très légèrement alcalin et un faciès géochimique sulfaté – calcique pour les deux coupes.

Concernant la teneur du gypse, la totalité des coupes sont caractérisées par un sol extrêmement gypseux où la teneur de gypse dépasse le 40% pour tous les horizons, ces valeurs élevées de gypse expliquent la présence de différentes formes d'accumulation de gypse dans ces coupes comme les macrocristaux de gypse, les roses et les rosettes de sable gypse et de rose de sable, les manchons de gypse et les plaques de surface inclinées de nature gypseuse.

5.2. Origine du gypse et des accumulations gypseuses dans les sols de l'Oued Righ

Dans la vallée de l'oued Righ, l'origine du gypse est due essentiellement à l'influence de la nappe sub-affleurante trop chargée en sels solubles et à l'intensité de l'évaporation qui peut atteindre dans la région de chott Mérouane 2712.64 mm/an (Mrabet, 2011). Un autre facteur non négligeable est aussi responsable de cette distribution, c'est le vent, caractéristique climatique actuelle des régions sahariennes.

La description morphologique des coupes et leurs surfaces montre la richesse de la région d'Oued Righ par le gypse et les formes de concentration de ce dernier. Ces formations sont le résultat de précipitation par les ruissellements des eaux, ou une origine de nappe ancienne, soit une origine d'activité biologique ou lagunaire. Ces accumulations ont évolué sous des conditions climatiques avec une alternance de périodes humides et arides (Youssef, 2006).

Timpson et al (1986) démontre que la précipitation du gypse n'est pas générée par le type de texture, mais surtout par un processus qui se déclenche dès que le produit $(SO_4^{2-})(Ca^{+2})$ de la solution dépasse la valeur du produit de solubilité. Elle est corrélativement liée au taux des chlorures de sodium, et à la force ionique de la solution. Cette précipitation est aussi favorisée par des cristaux de gypse préexistants (d'origine éolienne) qui offrent des sites

de croissance sur leur surface.

5.2.1. Cristaux du gypse

On a observé cette forme dans le site de Sidi Mahdi au niveau des coupes SMA, SMB, SMD et dans le site de Goug au niveau de la coupe GOa

D'après Riché (1976), la formation de cristaux du gypse est l'action d'une nappe alluviale chargée en gypse qui remonte plus ou moins haut dans les alluvions. Ou bien selon Dutil (1971), les cristaux du gypse résulte de l'érosion par ruissellement (érosion hydrique), et peut accompagner des périodes humide de Quaternaire, où le gypse a été un élément très mobile dans le paysage du bas – Sahara, à tel point qu'il venu tapisser tous les bas-fonds de cette région. On a observé cette forme aussi dans le site de Goug: au niveau de la coupe GOB .

Il a y un type de cristaux « rose de sable et/ou rosette de sable », ces roses de sable ont des cristallisations lenticulaires de gypse dont la disposition rappelle les pétales de roses. Elles se forment principalement par évaporation d'eau infiltrée sur des grains de quartz ou de sables support qui peuvent en constituer parfois plus de la moitié de la masse. on a remarqué cette forme dans les coupes SMD, GOa et TE (photo 09), cette forme existe en générale dans l'horizon sableux ou sablo – limoneux, situés sous les croûtes gypseuses d'origine en nappe formée sur sable éolien gypseux (Pouget, 1968).

5.2.2. Manchons du gypse

Ces formations sont appelées aussi rhyzolithes ou les racines pétrifiées. Cette forme d'accumulation existe dans la coupe SMA et GOa et SMD (photo 08), cette forme a probablement une origine d'activité biologique des anciennes racines. L'absorption racinaire de l'eau sous haute évapotranspiration augmente progressivement la concentration de la solution du sol en SO_4^{2-} et Ca^{2+} autour des radicales. Cette absorption racinaire favorise la cristallisation de gypse (Herrero, 1991 in Hamdi – Aissa, 2001).

Ou bien selon Pouget (1968), l'activité des racines libérant du gaz carbonique permet la formation de bicarbonates, donc des ions Ca^{++} en excès responsables de précipitation des sulfates, ces deux derniers déclenchent la précipitation du gypse autour les racines. Selon Durant (1953), ces conditions sèchent la plante bien avant que le dépôt ne se produise

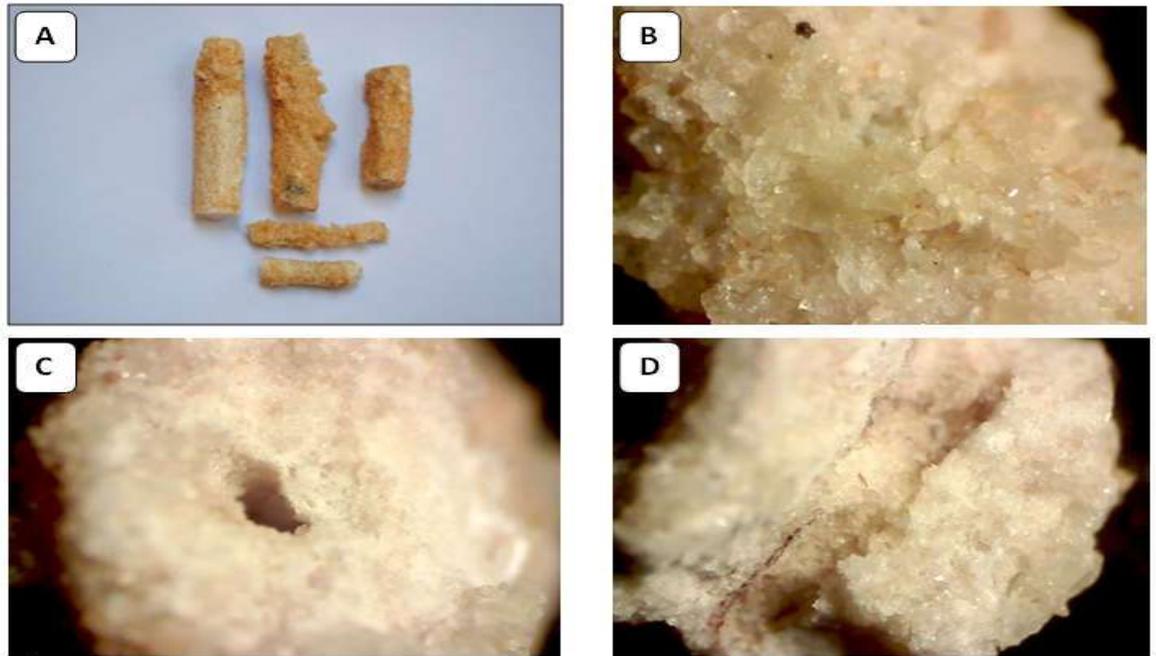


Photo 10 : A- des manchons du gypse en différents taille, B- Vue agrandie ($\times 20$) de la surface de manchon, C- Vue agrandie ($\times 20$) d'une coupe horizontale d'un manchon du gypse, C- Vue agrandie d'une coupe longitudinale de manchon ($\times 20$).

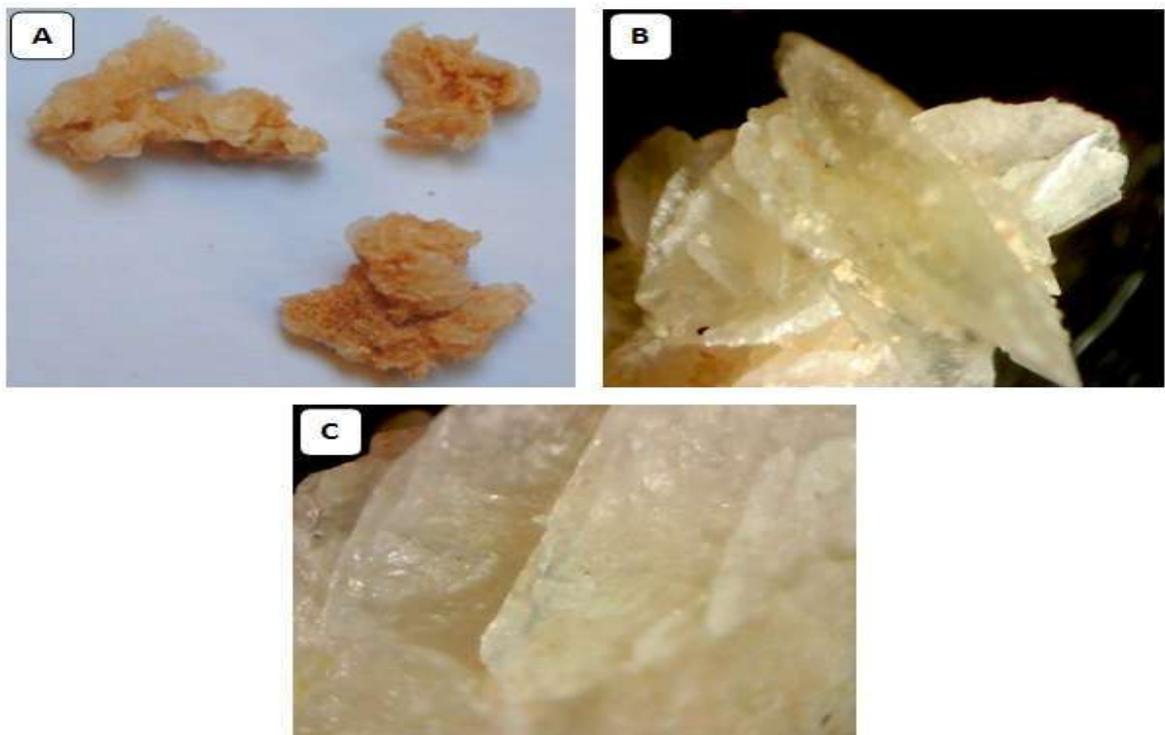


Photo 11 : A- Rosette de sable, B- Vue agrandie ($\times 20$) d'une rosette de sable, C- Agrandissement ($\times 20$) des cristaux de gypse lenticulaire

5.2.3. Croûte gypseuse

Watson (1985), définit les croûtes gypseuses comme des dépôts gypseux endurés et compacts. ces dépôts contiennent au moins 15% de leur poids en gypse

Cette forme d'accumulation de gypse présente dans les sites de Sidi Mahdi au niveau de la coupe SMC et dans le site de Goug au niveau de la coupe GOa, où elle révèle un taux élevé en gypse supérieur à 70 %, ce qui devrait être expliqué d'après Hamdi-Aissa (2001) par un système hydrogéochimique dominé par SO_4^{2-} et Ca^{2+} sous un climat supposé moins aride qu'aujourd'hui avec plus d'apports d'eaux vraisemblablement allogènes.

D'après Bureau (1960), la croûte gypseuse consiste dans une concentration des éléments les plus solubles du ciment, principalement le gypse, à la suite d'alternance de dissolutions et de précipitations dans sa partie superficielle. Les pluies occasionnelles et surtout les condensations liées à l'importance des amplitudes thermiques diurnes en certaines saisons, semblent pouvoir fournir l'humidité nécessaire au remaniement périphérique des sels. L'intensité de l'insolation explique leur dépôt en surface, sous la forme de feuillets.

D'après Fedoroff et Courty (1989), dans les conditions climatiques actuelles du Sahara, les eaux sont trop rares pour véhiculer les ions nécessaires à la formation des grandes accumulations gypseuses. selon Bureau et Roederer (1960) il n'y a aucune surprise à trouver d'anciennes formations gypseuses de nappe en des lieux topographiquement élevés par rapport aux niveaux actuels de nappe car le niveau statique des grands appareils artésiens a baissé de plusieurs mètres durant le quaternaire.

5.2.4. Amas et nodules de gypse

Ces formations existent dans les coupes SMb, SMC et TE, où la différence de texture favorise la formation d'amas et de nodule gypseux ovoïdes dans les horizons à texture plus fine sablo – argileuse.

La percolation d'une eau très salée et riche en sulfates entraîne une précipitation de gypse en fins amas dans les pores, immédiatement au dessous de l'horizon de surface. L'étude de Pouget (1968) dans les sols oasiens, montre que la formation des amas et des nodules dans

le sol se dessèchent dans les horizons de surface. Mais en profondeur, au niveau de l'enracinement du palmier se forme un véritable horizon d'amas et nodule gypseux plus ou moins cristallise avec des racines gypsifères.

5.2.5. Cristallisation de gypse fibreux (bancs, filons et plaques de gypse)

Cette forme d'accumulation des cristaux fibreux de gypse présente dans le site de Sidi Mahdi au niveau de la coupe SMB ,dans le site de Goug au niveau de la coupe GOB et dans la coupe de TE.

D'après Thomas (2012), Le gypse fibreux, gypse formant des filons au sein d'autres roches sédimentaires. Ce gypse se dépose alors par circulation d'une eau saturée en sulfates puis précipitation dans des fractures, et il forme des petits filons parallèles ou sécants aux strates. L'allure fibreuse de ce gypse est due à la coalescence des cristaux aciculaires de gypse qui ont crû perpendiculairement aux bords de fissures en cours de colmatage.

La cristallisation a commencé sur les deux bords de la fissure et les cristaux se sont approximativement rejoints en son milieu. Les bancs de gypse fibreux se sont formés au sein d'anciennes lagunes. Le sulfate de calcium a cristallisé en couches plus ou moins épaisses, en alternance avec des dépôts de marne gypseux.

Pour les plaques ou les filons de gypse observent à la surface de sol de la coupe GOB cette formation est due probablement au remplissage des fissures subverticales par des cristallisations de gypse fibreux.

Conclusion

Conclusion générale

L'objectif de notre travail était d'une part la contribution à la connaissance des sols de la région de l'Oued Righ, et d'autre part la caractérisation de quelques formes d'accumulation du gypse dans le sol à fin de mieux comprendre leur origine. Les résultats d'étude morpho – analytique des coupes choisis dans la région d'Oued Righ, montrent que :

- **Le pH** : les sols étudiés possèdent des pH alcalin à légèrement alcalin pour la majorité des coupes.
- **La conductivité électrique CE** : mesurée dans l'extrait 1/5 en dS/m des sols des sites étudiés, est très élevée, les horizons sont classés comme des sols salés à extrêmement salés.
- **Le faciès géochimique** : La concentration en éléments solubles des extraits dilués suit en général l'allure du profil salin. Globalement le faciès géochimique des solutions du sol est sulfaté-sodique pour la plupart des horizons et sulfaté-calcique pour quelques uns.
- **Le calcaire CaCO₃** : le pourcentage de calcaire dans le sol de la majorité des coupes est élevé. Le sol classé comme modérément à fortement calcaire, La distribution de calcaire se fait d'une manière inégale entre les horizons et est lié inversement au pourcentage de gypse.
- **La Matière organique MO** : Les profils étudiés ont des horizons pratiquement dépourvus de matière organique où le pourcentage de matière organique ne dépasse pas le 2%.
- **Le gypse**: les valeurs de gypse sont très élevés dépassent pas les 50% pour la majorité des horizons des coupes étudiées, la valeur maximale est 67%.

L'étude morphologique des profils pédologiques nous ont permis de distinguer différentes formes d'accumulation du gypse comme les macrocristaux de gypse (rose de sable), les manchons du gypse, les amas et les nodules, la croûte gypseuse et les bancs de gypse. Ces formations sont les résultats de précipitation par les ruissellements des eaux, ou une origine de nappe ancienne, soit une origine d'activité biologique ou lagunaire. Ces accumulations ont évoluées sous des conditions climatiques avec une alternance de périodes humides et arides.

Cette étude ouvre la porte à la caractérisation et l'étude des sols gypseux sur l'ensemble

de la vallée de l'Oued Righ afin de préciser les différentes formes d'accumulation de gypse qui existe dans cette région, et de prendre en compte l'utilisation d'autres techniques comme la micromorphologie et la minéralogie qui peuvent donner des informations plus précises et plus complètes concernant la connaissance de l'origine de ces formes d'accumulation.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- 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 Ziban).Mem. Mag.INA, 174p.
- A.N.R.H., 1999.** Notes relatives à la remontée des eaux dans la cuvette d'Ouargla, 11p.
- Aubert C.N.,1965** . Classification des sols,Tableaux des Classes, Sous classes,Groupes et Sous Groupes de Sols utilisés par la section de Pédologie de l'O.R.S.T.O.M. Cahiers O.R.S.T.O.M. Sér. Ped., III, N° 3.
- Aubert G., 1978.** Méthodes d'analyses des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 191p.
- Baize D. et Jabiol, B., 1995.** Guide de description des sols. Ed. AFES-INRA, Paris, 388p.
- Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie .2ème édition. INRA, France, 257p.
- Barriand P. Cesbron F et Geffroy J., 1978.** Les minéraux, leurs gisements, leurs associations. Editions du B.R.G.H., 298p.
- Belghemmaz S., 1991.** Contribution des sols à accumulation gypseuses de la région de Ain Benoui (Biskra) Essai sur a minéralogie des sol. Thèse Ing, Agro, Batna, 84 p.
- Benmati A., (1993)** : Contribution à l'étude de l'altération des roches carbonatées tendres en milieu semi-aride de Souaghi (Béni-Slimane). Relation avec la pédogenèse fersiallitique et la formation des croûtes et encroûtements calcaires. Thèse de magister, I.N.A. El Harrach, 255p.
- Berguiga N et Bedoui R., 2012.** Contribution à l'étude phytoédaphique des zones humides de l'Oued Righ. Mém.Ing.Bio.Uni. Kasdi Merbah Ouargla. PP8-17.
- Barzanji, A.F. 1973.** Gypsiferous soils of Iraq.phd. Thesis. univ.Gent, 199p.
- Bureau P. et Roederer P., (1960):** Contribution à l'étude des sols gypseux du sud tunisien: croûtes et encroûtements gypseux de la partie sud du Golfe de Gabes (Tunisie), ORSTOM collection de référence n° 10512.
- Cheradid S., 2013.** Etude de quelques accumulations du gypse et du calcaire dans les sols du Sahara septentrional (cas de Djamaa).Ing. Université d'Ouargla, 77p.
- Coque R., 1955.** Les croûtes gypseuses du sud tunisien", Bulletin de la société des sciences naturelles de la Tunisie-tome 07.
- Coutinet S., 1965.** Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. Agron. Trop., 12p, 1242-1253.
- C.P.C.S., 1967.** Classification des sols. Laboratoire de géologie, pédologie de l'E.N.S.A, Paris. Grignon, 87 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 D., 1991. Ecologie, aménagement des oasis algérienne, Thèse Doctorat de Géographie, Université François Rebellais, Tours, 548p.

Durand.J, 1963: Les croutes calcaires et gypseuses en Algérie, formation et age . *Bull .Soc. Géol de France*, Vol n° V , pp959-963.

Durand J.H., 1968. Sols Calciques mélaniques du Pré-Rif occidental. Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol, VIII, 2, pp :173-186.

Dutil P., 1971. Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse Doc. d'Etat, faculté des sciences de l'université de Stransbourg. 346 P.

Emberger L., 1955. Une classification biogéologique des climats. Trav. Inst., Montpellier, n°7, pp 3-43.

FAO, 1998. Topsoil characterization for sustainable land management. Land and water Development Division Soil Resources Management and Conservation Service,DRAFT,Rome. 71p.

F.A.O, 1990. Management of gypsiferous soils.Soils Bulletin62, 81 p .

F.A.O. 2005. Utilisation des engrais par culture en Algérie. F.A.O. Rome, 61p.

Fedoroff, N. and Courty, M.A., 1987. Morphology and distribution of textural features in arid and semiarid regions. In soil Micro morphology (Eds. N.Fedoroff, L.M. Bresson et M.A. Courty), Pp. 213-219, A.F.E.S., Paris.

Fedoroff N. et Courty M A., 1989. Indicateurs pédologiques d'aridification: exemple du Sahara. Bul. Soc. Géol. Fr., 5, 43-53. 77p.

Gousskov N., 1952. Le problème hydrogéologique du bassin artésien de l'Oued Righ. La géologie et le problème de l'eau en Algérie. T II .données sur l'hydrogéologie algérienne. ixè congrées géologique international. Alger,61p.

Guemache M M S., 2008. Présentation du secteur d'étude et analyse des observations de terrain, Etude géophysique à M'Rara, Daira de Djamaa Wilaya El Oued. CRAAG, 124p.

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 Doc. univ Renne, 384 p.

Halitim A., 1988. Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. OPU., 361p.

- Hamdi-Aissa, B., 2001.** Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla). Approche micro morphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale. PhD dissertation, Institut National Agronomique, Paris Grignon, 307p.
- Helal. F. et Ourihane. D., 2004.** Etude hydrogéologique du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal de la région de Touggourt. Aspect hydrochimique et problèmes techniques poses. Mém ing, option: hydrogéologie. Univ. Houari Boumediene, p 129.
- Herrero J et Boixadera J., 2002.** Gypsic Soils. Encyclopedia of Soil Science., pp: 635-639.
- Jafarzadeh, A A., Burnham C.P. et Jafarzadeh A.A., 1992.** Gypsum crystals in soils. Cristaux de gypse dans les sols", J. Soil SCI., 43(3): 409-420. Soil SCI j. 43 (3) 409-420.
- Khadraoui. A, 2005.** Eau et sols en Algérie ; Gestion et impact sur l'environnement, pp 29-32.
- Lembarek M., 2008.** Etude hydraulique du canal Oued Righ. Mém, Mag Hydraulique Université Kasdi Merbah Ouargla. P30 . **Mrabet S, 2011 :** Etude comparative de deux systèmes aquatiques dans le Sahara septentrional (Chott Merouane et Ain El Beida), environnement et signes de dégradation thèse de magister universit2 de Ouargla .p162.
- Morad D T., 2001.** Soil landscape of the wood burn 1:100000 sheet. Department of land and water conservation, Sydney. pp 271-273.
- Mostephaoui T., 2015.** Les sols Gypseux: Localisation et relation avec le milieu physique.doc, Université EL-Hadj Lakhdar BATNA, 240p.
- Nesson C., 1978.** L'évolution des ressources hydrauliques dans les oasis du bas Saharien Algérien p291.
- ONM., 2017 -** Donnée climatiques de Touggourt. Office Nationale de la Météorologie, 5p.
- Ozonda P., 1983.** Flore du Sahara. Ed C.N.R.S. Paris, 622 p
- Poch R M., 1996.** Proceedings of the International symposium on soils with gypsum. Ed. Univ. Lleida, Catalonia, Spain, 97p.
- 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., 1969.** Contribution à l'étude des croutes et encroutement gypseux de nappe dans le sud tunisien. Cah . ORSTOM, ser. Pédol., vol. VI, N°3-4, 362 p.
- Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud Algéroises. Trav. Doc. ORSTOM. 116, 555P Soil Sci. Am.. Publ. 26, Madison, WI, pp: 17-35.
- Pouget M., 1995.** Les Gypsosols. Ed. I.N.R.A., Référentiel pédologique français, 6^{ème} version, 332p.

Rahmouni A. et Djlli, K., 2012. Morphologie et propriétés des gypsisols références du Hodna (géochimie, eau et environnement). Science du sol, 2 Colloque International sur la Géologie du Sahara, 309p.

Razis ., 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.

Riché G., 1976. Les processus de formation des sols dans le bassin du Wabi Shebelle (Ethiopie). Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, pp 227-243.

SOGREQH., 2003. Participation à la mise en valeur de l'Oued-Righ. Rapport : étude agro-pédologique. Ed. Ministère travaux publics construction, serv. Ét. Sci., Algérie,
SOLTNER D., 1989. Les bases de la production végétale. Tome 1. Le sol. 17ème Ed. C.S.T.A. Angers, 276p.

Stewart P., 1969. Un nouveau climagramme pour l'Algérie et son application au barrage Vert. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Mord. 65: 1-2.

Thomas P., 2012 : Filonnets de gypse fibreux, près de l'oasis de Siwa (Égypte), ENS Lyon publié le 16/01/2012, Gypse, évaporites... comme sur Mars ?

Timpson M. E, . Richardson J. L, . Keller L. P. Mccarthy G. J, 1986: Evaporite Mineralogy Associated With the Saline Seeps In South Western North Dakota. *Soil. Sci. Soc* Vol 50 Pp490-494.

UNESCO., 1972. Projet Reg100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional sur les résultats du projet. Paris.

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

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 15: 19-42.

Youcef F., 2006. Indicateurs paléo-écologiques dans les sols des bassins endoréiques (Sebkha et Daya) du Sahara septentrional. Exemple des Sebkhas d'Ouargla et Mellala et de la Daya d'El-Amide. Mémoire Mag, université d'Ouargla, 86p.

Annexes

Annexe I: Echelles d'interprétation des résultats analytiques

Tableau 01: 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

Tableau 02: Echelle d'interprétation des valeurs du calcaire total (CaCO₃) (Baize,2000)

CaCO ₃	Horizon
CaCO ₃ <1	Non calcaire
1<CaCO ₃ <5	Peut calcaire
5<CaCO ₃ <25	Modérément calcaire
25<CaCO ₃ <50	Fortement calcaire
50<CaCO ₃ <80	Très calcaire
80>CaCO ₃	Excessivement calcaire

Tableau 03: Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25° C (Aubert, 1978)

CE(dS/m)à25 °C	Degré de salinité
≤0.6	Sol non salé
0.6<CE≤1.2	Sol peut salé
1.2<CE≤2.4	Sol salé
2.4<CE≤6	Sol très salé
CE≥6	Sol extrêmement salé

Tableau 04: Echelle d'interprétation des valeurs de pH 1/5 (Aubert, 1978)

pH	Classes
< 4.5	Extrêmement acide
4.5 – 5	Très fortement acide
5.1 – 5.5	Fortement acide
5.6 – 6	Moyennement acide
6.1 – 6.5	Légèrement acide
6.6 – 7.3	Neutre
7.4 – 7.8	Légèrement alcalin
7.9 – 8.4	Moyennement alcalin
8.5 – 9	Fortement alcalin
> 9	Très fortement alcalin

Tableau 05: Echelle d'interprétation des valeurs de matière organique (Morand, 2001)

M.O (%)	Caractérisation
0.5 – 1	Très faible en M O
1 – 2	Faible en M O
2 – 3	Moyen en M O
3 – 5	Riche en M O
> 5	Très riche en M O

AnnexeII: Bilan ionique

Tableau 01: Caractérisation de la solution du sol (extrait 1/5) de la coupe SMa

Hz	Prof (cm)	pH	CE (dS/m)	Anions (meq/l)				Cations (meq/l)			
				Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	Hco ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
SMa01	0-27	7.6	9.59	63.0	0	0.5	28.7	8.0	2.4	120.2	1.7
SMa02	27-36	7.8	9.78	183.5	0	1.0	41.3	9.6	0.8	103.4	2.2
SMa03	36-43	7.7	10.76	123.0	0	1.0	27.9	4.8	10.5	204.2	4.3
SMa04	43-63	7.6	7.79	123.0	0	1.0	30.8	10.0	0	342.8	1.9
SMa05	63≥	7.58	8.71	93.0	0	0.5	37.9	9.2	0.8	212.3	6.0

Tableau 02: Caractérisation de la solution du sol (extrait 1/5) de la coupe SMb

Hz	Prof (cm)	pH	CE (dS/m)	Anions (meq/l)				Cations (meq/l)			
				Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
SMb01	0-40	7.6	8.0	35.5	0	0.5	43.8	8.0	2.4	126.6	4.4
SMb02	40-47	/	/	/	0	/	/	/	/	/	/
SMb03	≥47	7.9	8.71	30.5	0	1.0	51.7	1.2	1.6	67.4	2.1

Tableau 03: Caractérisation de la solution du sol (extrait 1/5) de la coupe SMc

Hz	Prof (cm)	pH	CE (dS/m)	Anions (meq/l)				Cations (meq/l)			
				Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
SMc01	0-10	7.7	9.78	28.0	0	0.5	30.2	6.0	3.2	83.8	4.4
SMc02	-110 10	8.1	9.79	8.0	0	0.5	34.2	1.6	3.2	23.5	2.1
SMc03	-130 110	7.6	7.61	15.5	0	1.0	42.2	6.0	1.6	57.1	3.7
SMc04	130≥	7.5	6.15	13.0	0	1.5	37.0	5.2	2.4	47.7	1.2

Tableau 04: Caractérisation de la solution du sol (extrait 1/5) de la coupe TE

Hz	Prof (cm)	pH	CE (dS/m)	Anions (meq/l)				Cations (meq/l)			
				Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
TE01	0-45	7.74	4.64	15.5	0	1.0	34.0	9.6	0	87.3	2.5
TE02	45-110	7.51	2.6	10.5	0	0.5	39.5	4.0	4.1	34.2	1.6
TE03	110-190	7.55	3.62	15.5	0	0.5	46.6	7.6	1.6	41.7	2.7
TE04	≥190	7.95	2.6	13.0	0	0.5	25.7	6.0	4.1	90.3	0.9

Tableau 05: Caractérisation de la solution du sol (extrait 1/5) de la coupe SMd

Hz	Prof (cm)	pH	CE (dS/m)	Anions (meq/l)				Cations (meq/l)			
				Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
SMd01	0-50	8.0	8.6	18.0	0	2.0	35.8	2.0	3.2	34.0	1.9
SMd02	50-160	7.65	7.6	30.5	0	1.5	43.3	5.2	1.6	78.2	1.8
SMd03	160-200	7.71	7.7	63.0	0	0	32.8	9.6	0.8	185.7	1.0

Tableau 06: Caractérisation de la solution du sol (extrait 1/5) de la coupe GOa

Hz	Prof (cm)	pH	CE (dS/m)	Anions (ppm)				Cations (meq/l)			
				Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Goa01	0-136	7.1	5	6.4	0	1.5	64.6	38.0	1.6	4.7	1.5
Goa02	136-155	7.2	4.83	3.0	0	0.5	39.7	26.4	3.2	5.3	2.5
Goa03	155-190	7.6	4	2.0	0	0.5	19.5	12.0	0	8.4	0.2

Tableau 07: Caractérisation de la solution du sol (extrait 1/5) de la coupe GOB

Hz	Prof (cm)	pH	CE (dS/m)	Anions (ppm)				Cations (meq/l)			
				Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
GOB01	0-70	7.33	2.62	6.4	0	1.5	64.6	38.0	1.6	4.7	1.5
GOB02	70-110	7.22	3.6	3.0	0	0.5	39.7	26.	3.2	5.3	2.5

Etude de quelques accumulations gypseuses dans les sols de la région d'Oued Righ

Résumé :

L'objectif de cette étude est de contribuer à l'étude du sol de la région de Oued Righ avec la description des différents types d'accumulations de gypse en vue de comprendre les conditions environnementales qui ont conduit à leur formation.

A travers l'étude morpho- analytique effectuée sur les sept coupes choisis dans la région d'Oued Righ, nous avons trouvé que la fraction de sable fin est dominante. Le pH du sol est alcalin à légèrement alcalin, quant à la salinité, les profils sont extrêmement à très salé. L'étude a également montre que la nature géochimique du sol diffère entre : sulfaté- sodique et sulfaté - calcique, La proportion de gypse est très élevée ; Le sol est modérément à fortement calcaire.

Les accumulations de gypse que nous avons remarqué sont: manchon du gypse, macrocristaux de gypse (rose de sable), amas et nodule gypseux, croûte de gypse et le filons de gypse indiquant soit une origine d'activité biologique sur les anciennes racines, ou paléo-nappe ou dépôts de précipitation par les eaux de ruissellement. Donc on peut dire que ces accumulations sont le résultat de fluctuation des conditions climatiques arides et d'autres plus humides.

Mots clés : étude, sol, Accumulation gypseuse, sol gypseux, Oued Righ

Study of some gypsum accumulations in the soils of the Oued Righ region

Abstract:

The objective of this work is a contribution to the study of the soil in the region of Oued Righ with the description of the different types of gypsum accumulations to understand the environmental conditions that led to their formation.

Through the morpho-analytic study of seven soil profiles selected in the Oued Righ region, we found that the fine sand fraction is dominant. The pH of the soils is alkaline to slightly alkaline, for the salinity, the profiles are extremely to very salty. The study also shows that the geochemical nature of the soil differs between: sulphured - sodic and sulphured-calcic. The proportion of gypsum is very high in the all region, the soil is moderately to strongly calcareous

Noticed gypsum accumulations are: sleeve of gypsum, gypsum crystals, sand crystals, clusters and gypsum nodules, crust of gypsum and fibrous gypsum strand indicating an origin of bioactivity on old roots, or paleo- water table. So we can say that these accumulations are the result of fluctuations of arid climatic conditions and other more humid

Key words: Study, soil, gypsum accumulations, gypsum soil, Oued Righ

الملخص

دراسة بعض التراكبات الجبسية في تربة الصحراء الشمالية

الهدف من هذه الدراسة هو المساهمة في دراسة التربة في منطقة وادي ريغ مع معرفة أنواع التراكبات الجبسية

التراكبات الجبسية الملاحظة في منطقة وادي ريغ هي: تبلور جبسي , عقد و تكديسات جبسية,وردة الرمال,القشرة الجبسية و العروق الجبسية. يعود اصل هذه التراكبات الى وجود نشاط بيولوجي حول جدران قديمة, او طبقة من المياه القديمة او ترسبات ناتجة عن جريان الماء, لذا يمكن ان نقول ان تشكل الجبس ناتج عن تتابع الظروف المناخية بين رطوبة و اخرى اكثر جفافا.

الكلمات المفتاحية: دراسة, تربة, تراكبات جبسية, تربة جبسية, وادي ريغ