

UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



Mémoire de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Ecologie végétale et environnement

Présenté par : M^{elle} DJOUGHFI Zineb

M^{elle} SEMRA Abir

Thème

**Contribution à l'étude du paléoenvironnement dans la région
de Touggourt : Apport de la paléopédologie**

Soutenu publiquement le : 24/05/2017

Devant le jury :

Président	M. DADDI BOUHOUN M.	Professeur	UKM Ouargla
Promoteur	Mme. YUCEF F.	Maître de conférences B	UKM Ouargla
Co-Promoteur	M. HAMDI-AISSA B.	Professeur	UKM Ouargla
Examineur	M. DJILI B.	Maître assistant A	UKM Ouargla

Année universitaire : 2016/2017

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A mon très cher Père (Med Nabil) et ma très chère Mère (Latifa) qui m'ont beaucoup soutenus et encouragés jusqu'au bout. Que dieu leur accorde une longue vie.

A ma grande mère (Fatima Zohra).

A tous ceux qui m'ont encouragé dans la réalisation de ce travail

A mes très chères frères : Salim et ziade

A mes très chères sœurs : Aroua et Loudjien

Et surtout a mon cosin:

BERRABAH Amor

Je n'oublier pas aussi ma très chère amie, binôme de ce travail Zineb DJOUGHI et mes amies : Sara, Zineb, Imane, Khaoula, Latifa, Soumia, Yamina, Zolikhha, Khira et Yasmine.

A toute la famille SEMRA et la famille ZIDANE.

إن الذين نحبهم و نعزهم مكانتهم ليست بين الأسطر و الصفحات لان مقامهم اجل و أعلى فالقلب سكناهم و الذكرى ذكراهم و الفؤاد لن ينساهم

SEMRA ABIR

Dédicaces

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

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de deux personnes que j'aime le plus dans ma vie:

*A ma très précieuse mère par la grâce de dieu: **Fouzia***

*A mon très cher père par la grâce de dieu: **Mohamed Rezzag***

*A ma très chère sœur : **Ikram***

A mes tantes et mes oncles.

*Je n'oublier pas ma binôme **Abir** et mes amies: **Khadidja, Maissoun, Mira et Maroua.***

*A mes cousines et mes cousins : **Hana, Rihana, Farah, Madjda, Khirdine, Chaouki.***

*A toute la famille **Djoughi** et la famille **Lamniai.***

DJOUGHI ZINEB

REMERCIEMENTS

*Nous ne pouvons pas commencer sans remercier **ALLAH** tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour terminer ce travail.*

Nos vifs et sincères remerciements s'adressent tout particulièrement à notre Université Kasdi Merbah -Ouargla-, qui nous a procurée une bonne formation.

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre encadreur: Mme **YOUCEFE Fouzia**, pour nous avoir proposée ce sujet, d'avoir offrir l'opportunité de réaliser ce travail et de bien vouloir accepter de le diriger avec beaucoup de compréhension.*

*Nous remercions aussi notre Co- encadreur **Mr. HAMDI-AISSA Baelhadj** pour son aide, ses orientations, et ses conseils.*

Les membres du jury d'avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire. Nos plus vifs remerciements vont à:

*Mr : **DADDI-BOUHOUN M.**, pour avoir accepté de faire partie de notre jury et pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de le présider.*

*Mr : **DJILI Brahim.**, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent aussi à toute l'équipe du laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques notamment Melle **MESROUK Houria**, et le laboratoire de pédologie du département des sciences agronomiques et tous les Enseignants, et Travailleurs de notre faculté.*

*Nous tenons également à remercier les deux familles: **SEMRA** et **DJOUGHJI**.*

Enfin nous remercions aussi toutes les personnes qui nous ont apportés leur Soutien et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

DJOUGHJI Z. et SEMRA A.

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la région de Touggourt (GOOGLE, 2017).	7
Figure 2: carte des reliefs d'Oued Righ (Ballais, 2010)	9
Figure 3 : coupe hydrogéologique du Complexe Terminal (A.N.R.H, 2017).	11
Figure 4 : coupe Hydrogéologie à travers le Sahara septentrionale (CRSTRA, 2013).	12
Figure 5: Variations de la température pendant la période 2006-2015.....	13
Figure 6 : Variations des précipitations pendant la période 2006-2015.	14
Figure 7 : Variations de l'évaporation pendant la période 2006-2015	14
Figure 8: Variations de l'humidité de l'air durant la période 2006-2015.....	15
Figure 9 : Variations de l'insolation pendant la période 2006-2015.....	15
Figure 10: Variations de la vitesse du vent durant la période 2006-2015.	16
Figure 11: Diagramme ombrothermique de la région de Touggourt (Période: 2006-2015). ..	17
Figure 12: Climagramme pluviothermique d'EMBERGER de la région de Touggourt (Période: 2006-2015).	18
Figure 13 : Localisation des coupes étudiées.....	20
Figure 14 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P1	27
Figure 15: Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P1	28
Figure 16 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P2	32
Figure 17 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P2	33
Figure 18 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P3	36
Figure 19 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P3.	37
Figure 20 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P4	40
Figure 21 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P4	40
Figure 22 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P5	44
Figure 23 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P5.	44
Figure 24 : Profil de la granulométrie pour la coupe S2P1	48
Figure 25 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S2P1	48
Figure 26 : Profil de la granulométrie pour la coupe S2P2	51
Figure 27 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S2P2.....	52
Figure 28 : Profil de la granulométrie pour la coupe S3P1	55
Figure 29 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S3P1	55
Figure 30 : Profil de la granulométrie pour la coupe S3P2	58

Figure 31 : Profil de la granulométrie pour la coupe S3P3	61
Figure 32 : Spectre FTIR d'absorbance de l'horizon S1P3	66
Figure 33 : Spectre FTIR d'absorbance de l'horizon S3P1	67
Figure 34 : Relation entre le taux du gypse et la profondeur.....	71
Figure 35: Relation entre le calcaire total et la profondeur.	73
Figure 36: Courbe de relation entre calcaire total et gypse	74

Liste des tableaux

Tableau I. Données climatiques moyennes de la région de Touggourt de 2006 à 2015 (O.N.M, 2017).	12
Tableau II : Classification des fractions du sol.....	22
Tableau III: Granulométrie de la coupe S1P1	27
Tableau IV: Données analytiques de la coupe S1P1	27
Tableau V : Granulométrie de la coupe S1P2.....	32
Tableau VI : Données analytiques de la coupe S1P2	32
Tableau VII: Granulométrie de la coupe S1P3.....	36
Tableau VIII: Données analytiques de la coupe S1P3.....	36
Tableau IX: Granulométrie de la coupe S1P4.	39
Tableau X: Données analytiques de la coupe S1P4.....	40
Tableau XI : Granulométrie de la coupe S1P5.	43
Tableau XII: Données analytiques de la coupe S1P5.....	44
Tableau XIII: Granulométrie de la coupe S2P1.....	47
Tableau XIV: Données analytiques de la coupe S2P1.	47
Tableau XV: Granulométrie de la coupe S2P2.....	51
Tableau XVI : Données analytiques de la coupe S2P2	51
Tableau XVII: Granulométrie de la coupe S3P1	54
Tableau XVIII: Données analytiques de la coupe S3P1	55
Tableau XIX: Granulométrie de la coupe S3P2.	58
Tableau XX: Données analytiques de la coupe S3P2.....	58
Tableau XXI: Granulométrie de la coupe S3P3	61
Tableau XXII: Données analytiques de la coupe S3P3	61
Tableau XXIII: Les minéraux argileux et non argileux détectés par spectroscopie IRTF.	62

Liste des photos

Photo 1 : a : Vue générale de l'environnement de la coupe. b : La coupe S1P1.	25
Photo 2 : L'accumulation du gypse observée dans la coupe S1P1	26
Photo 3 : La coupe S1P2.....	30
Photo 4 : La coupe S1P3.....	35
Photo 5 : a: La coupe S1P4. b: manchons de gypse et c: rode de sable.....	38
Photo 6 : La coupe S1P5.....	42
Photo 7 : La coupe S2P1	46
Photo 8 : Rose de sable au niveau de la coupe S2P1	46
Photo 9: La coupe S2P2.....	50
Photo 10: a : La coupe S3P1 b : vue générale de la coupe montrant la butte témoin.....	53
Photo 11: La coupe S3P2.....	57
Photo 12: La coupe S3P3.....	60
Photo 13: Nodules gypseux au niveau de la coupe S3P3.	60

Liste des abréviations

ANRH	: Agence National des Ressources Hydrauliques.
CI	: Continental Intercalaire.
CT	: Complexe Terminal.
FR	: Fraction.
IR	: Infrarouge.
IRTF	: Infra Rouge à Transformée de Fourier.
MIR	: Moyen Infrarouge.
O.N.M.	: Organisation national des météorologique.
SPIR	: Spectroscopie Infrarouge.

Table des matières

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

CHAPITRE I : Présentation de la région d'étude

I. Présentation de la région d'étude	6
I.1. Situation et limite géographique de la région de Touggourt	6
I.2. Topographie	7
I.3. Géologie.....	7
I.4. Le Sol.....	8
I.5. Reliefs	9
I.6. Hydrogéologie de la région de l'Oued Righ	10
I.6.1. Continental Intercalaire	10
I.6.2. Complexe Terminal (CT).....	10
I.6.3. La nappe phréatique	11
I.7. Facteurs climatiques de la région.....	12
I.7.1. Données brutes	13
I.7.2. Synthèse climatique	16

CHAPITRE II : Matériel et méthodes

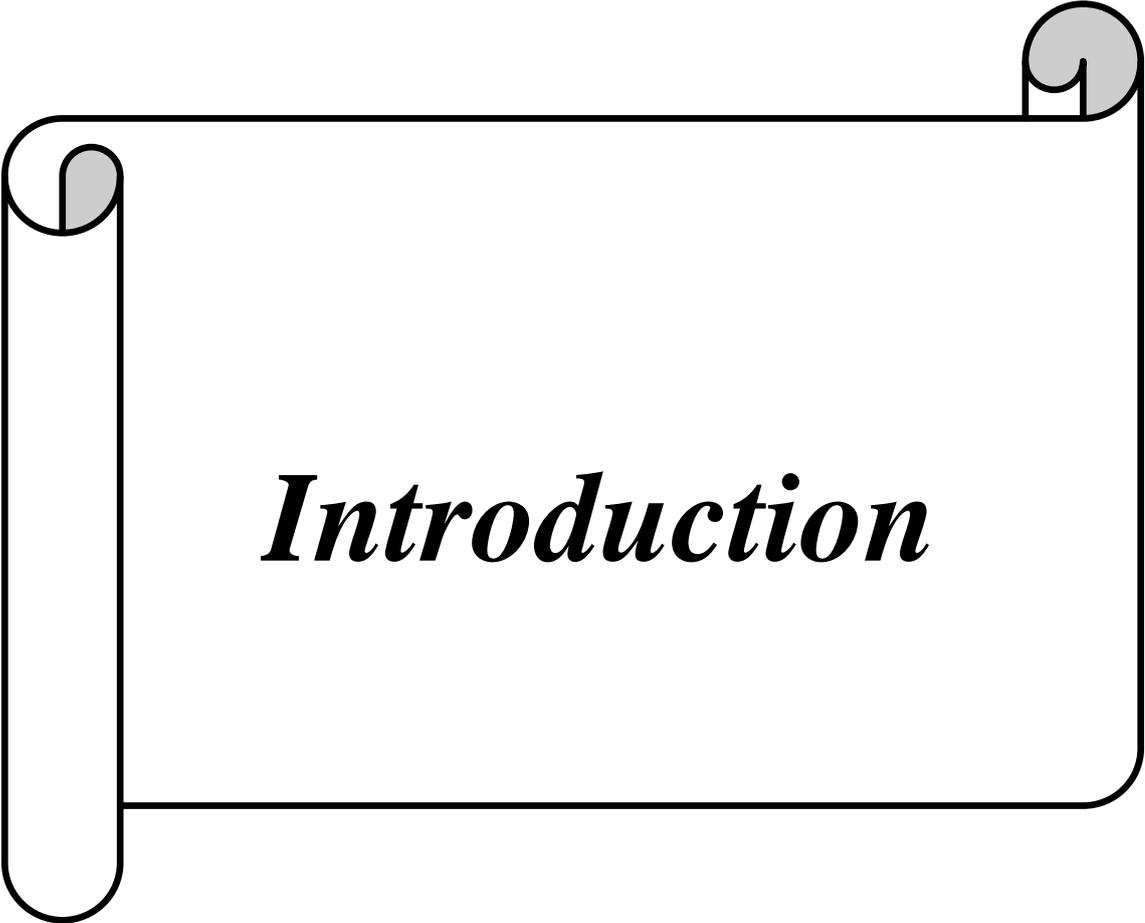
II. Matériel et méthodes	19
II. 1 Critères de choix des stations d'étude	19
II.2 Présentation des sites d'étude	19
II.3 Description des méthodes utilisées.....	20
II.3.1. Sur terrain	20
II.3.2. Au laboratoire	21
II.4. Etude des argiles par Spectroscopie Infrarouge à Transformée de FOURIER (IRTF) .	23
II.4.1. Extraction de la fraction argileuse	23
II.4.2. Etude par IRTF	23

CHAPITRE III : Résultats

III. Résultats.....	25
III. 1. Résultats morphologiques et analytiques	25
III.1.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P1	25
III.1.2. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P2	29
III.1.3. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P3	34
III.1.4. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P4	38
III.1.5. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P5	42
III.1.6. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S2P1	46
III.1.7. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S2P2	49
III.1.8. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S3P1	53
III.1.9. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S3P2	57
III.1.10. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S3P3	59
III.2. Résultats des études minéralogiques des argiles par IRTF	62
III.2.1. Interprétation	63
III.2.2. Minéraux argileux des coupes étudiées	67

CHAPITRE IV : Discussion

IV. Discussion.....	68
IV.1. Signification paléoenvironnementale et origine des accumulations gypseuses et calcaires.....	68
IV.1.1 Origine des accumulations gypseuses	68
IV.1.2 Relation entre le taux de gypse et la profondeur	70
IV.1.4 Relation entre le taux de calcaire et la profondeur	72
IV.1.5. Relation entre le gypse et le calcaire total	73
IV.2 Signification paléoenvironnementale des études par infrarouge des argiles (IRTF)....	74
Conclusion	76
Références bibliographiques.....	78
Annexe	95

A graphic of a scroll with a black outline and a light gray shadow. The scroll is unrolled, showing the word "Introduction" in a bold, italicized, black serif font. The scroll has a vertical strip on the left side and two small circular details at the top corners, suggesting it is a rolled-up document.

Introduction

Introduction

Le Sahara est le plus grand des déserts, mais également le plus expressif et typique par son extrême aridité, c'est à dire celui dans lequel les conditions désertiques atteignent leur plus grande âpreté (TOUTAIN, 1979 ; OZENDA, 1991).

Le Sahara septentrional est un désert atténué caractérisé par des facteurs climatiques contrastés, particulièrement le phénomène thermique (OZENDA, 1983).

La plupart des grands déserts du globe ont connu au cours de leur histoire des conditions morphoclimatiques diverses, plus ou moins éloignées de celles d'aujourd'hui. Beaucoup de formes de paléosurfaces ont été conservées grâce à la déficience des systèmes morphodynamiques arides ou subarides qui se sont succédé (JOLY, 2008).

La période de l'Holocène (11500 ans B.P.) au Sahara est caractérisée par des fluctuations climatiques entre des périodes arides et d'autres plus humides durant lesquelles les paléoenvironnements ont subis des modifications de leur composante biotique (flore et faune) et abiotique (milieu physique) (YOUCEF, 2016).

Le climat joue un rôle important pour l'homme. Il détermine les conditions de développement de ses sociétés. Toutefois, le climat est un système complexe. Il résulte des interactions non seulement entre l'atmosphère, les océans, la surface des continents et les glaces mais également la biosphère, c'est-à-dire le monde du vivant. Il varie à différentes échelle de temps et, pour chaque échelle, il peut impliquer des mécanismes différents (JEAN et GILLES, 2013).

Si les conditions de vie de l'homme dépendent du climat, l'homme devient également un acteur du système climatique. Il modifie la concentration des gaz à effet de serre, la quantité de particules présentes dans l'air, mais aussi la végétation à la surface des continents avec la déforestation et la mise en culture de vastes régions. C'est pourquoi comprendre comment fonctionne le climat et comment l'homme risque d'en altérer le cours est devenu une préoccupation importante pour la société. C'est un problème scientifique complexe en raison du grand nombre de rétroactions susceptibles de se développer, et l'étude des climats anciens permet de les mettre en évidence en analysant le déroulement des grands changements climatiques qui sont survenus en raison de causes purement naturelles (JEAN et GILLES, 2013).

Les archives potentiellement datables des signaux climatiques sont représentées par des supports différents (sédiments, glaces, coraux, concrétion des cavernes souvent appelées spéléothèmes...). Le choix des outils géochronologiques les plus adaptés à leur datation dépendra donc de la nature des matériaux archives, de leur âge, de la durée des phénomènes que l'on veut dater et de la précision souhaitée (JEAN ET GILLES, 2013).

La reconstitution des fluctuations climatiques Holocène au Sahara a été pendant longtemps essentiellement basée sur l'étude des formations lacustres et des paléosols associés (FEDOROFF et COURTY, 1989). En effet les reconstitutions climatiques font appel aux archives naturelles qui permettent de caractériser l'histoire de la terre. Ces dernières regroupent entre autres celles incluses dans les carottes océaniques, les sédiments lacustres, les carottes de glaces polaires, les dépôts coralliens, les loess et les paléolacs susceptibles d'enregistrer les informations les plus diverses relatives aux changements globaux (ASSI-KAUDJHIS et *al.*, 2010).

Le sol joue un rôle fondamental dans le fonctionnement présent et passé de la biosphère, et comme support des écosystèmes terrestres. En conséquence, l'étude des sols du passé, c'est-à-dire celle des paléosols et des sols reliques, offre des possibilités considérables pour réaliser des reconstitutions paléoenvironnementales et paléoclimatiques et présente de nombreux avantages comparativement aux autres disciplines traitant du paléoenvironnement (FEDOROFF et COURTY, 2002).

Les sols actuels évoluent sous nos yeux mais leur formation relève aussi d'un passé ancien. L'atout majeur des sols réside dans une mémoire hiérarchisée, c'est-à-dire que les sols conservent des caractères de fonctionnements passés résultants de nombreux phénomènes physiques, chimiques et biologiques qui y ont laissé des traces, qu'il s'agit de déchiffrer et qui peuvent être classés selon une chronologie événementielle (FEDOROFF et COURTY, 2002 ; JEANSON, 2002).

D'après RISER (1999), les paléosols des déserts chauds appartiennent à plusieurs familles géochimiques définies par un ou plusieurs éléments majeurs (fer, silice, carbonates ou sulfates) et par des minéraux argileux caractéristiques: kaolinite, smectite ou argiles évaporitiques.

À diverses périodes de l'histoire la plus récente de la terre, des changements climatiques globaux et comparables se sont produits simultanément (SMYKATZ-KLOSS et FELIX-HENNINGSEN, 2004). L'étude de ces climats passés montre que l'environnement de l'Homme a subi des variations d'une amplitude considérable (LEZINE, 1993). Ces

événements mondiaux peuvent être reconstitués à partir des reliefs, des sédiments et des paléosols et de leurs propriétés morphologiques, chimiques et minéralogiques spécifiques (SMYKATZ-KLOSS et FELIX-HENNINGSSEN, 2004).

Quoi qu'il en soit, c'est au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'époque actuelle que l'on identifiera de plus en plus sûrement les signes des changements de climat et, en particulier, d'une alternance entre périodes plus humides (ou moins sèches), dites « pluviaux », et périodes plus sèches, dites « interpluviaux » (MONOD, 1973; ROGNON, 1976). Des séquences de ce type, identifiées d'abords au Sahara, ont été depuis retrouvées ailleurs, de l'Amérique du Nord à l'Australie en passant par l'Inde et l'Asie centrale (MONOD, 1973). Il est devenu apparent que plusieurs régions désertiques sont en même temps anciennes et caractérisées par une histoire environnementale extrêmement variable (COOKE et *al.*, 1993).

Il arrive souvent que les formes du paysage désertique soient plus un héritage du passé que le résultat de l'action de facteurs actuellement au travail (MONOD, 1973; ROGNON, 1976; CALLOT et *al.*, 2000). C'est ainsi qu'ils ont été très tôt évoqués comme preuves de phases climatiques plus humides. L'étagement des formes du relief (les glacis et les terrasses) a servi très souvent à l'établissement des premières chronologies relatives, en l'absence de datations préhistoriques ou paléontologiques (ROGNON, 1976).

Les études paléoécologiques dans le Sahara ont montré la grande utilité de cette région pour comprendre les changements environnementaux passés, et ont révélées l'existence dans cet immense désert de plusieurs sites ayant une importance primordiale pour la reconstitution du paléoenvironnement (BOUHADJA et LAMINI, 2011).

La paléopédologie à contribuer aussi aux reconstitutions paléoécologiques. En effet le sol joue un rôle important dans le fonctionnement passée et présent de la biosphère. Il enregistre les impacts de végétaux, de l'Homme, des érosions ainsi que des dépôts hydriques et éoliens (FEDOROFF et COURTY, 2002 ; GIRARD et *al.*, 2005).

Au Sahara tous les auteurs s'accordent pour considérer que les accumulations carbonatées sont héritées de périodes plus humides (DUTIL, 1971; ROGNON et MISKOVSKY, 1987; FEDOROFF et COURTY, 1994). Se sont donc essentiellement des fluctuations entre des conditions sub-humides et semi-arides qui sont enregistrées dans ces accumulations (FEDOROFF et COURTY, 1989).

Les carbonates principalement CaCO_3 , apparaissent dans les sols désertiques par des formes variées comme les filaments, les efflorescences, les revêtements, les nodules, ou comme des imprégnations diffuses...etc. Fréquemment, les carbonates s'accumulent à une profondeur spécifique du profil, formant un horizon calcique (SINGER, 1995).

Le gypse et les sels solubles peuvent s'accumuler dans les sols dès que l'évapotranspiration devient nettement supérieure aux précipitations (WATSON, 1988; ESWARAN et ZI-TONG, 1991; SINGER, 1995; CHEN, 1997; BUCK et VAN HOESEN, 2005). 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).

L'étude des accumulations gypseuses qui sont très répandues dans les régions Sahariennes peut aussi contribuer aux reconstitutions paléoenvironnementales. Certaines accumulations sont considérées comme des signes d'un fonctionnement passé du sol (YOUCEF, 2016). C'est ainsi que HALITIM (1985), explique l'encroûtement gypseux de surface dans une région aride par une origine lagunaire ancienne.

L'illite et la smectite sont les minéraux argileux les plus communs des sols désertiques. En plus on trouve aussi la kaolinite qui est fréquemment présente dans ces sols. On peut trouver aussi la palygorskite (SINGER, 1995).

La reconstitution de ces changements nécessite la combinaison de plusieurs disciplines, les résultats de ces études permettent de mieux comprendre les changements climatiques qui ont touchés la terre et l'évolution en parallèle des écosystèmes, avec toutes les variations liées à leur composante biotique et abiotique. Actuellement, les changements climatiques qui représentent l'un des sujets les plus importants du débat scientifique, s'annonce d'une manière de plus en plus accélérée et nécessitent d'être étudiés pour mieux prédire leur tendance et les effets qu'ils auront sur les différents écosystèmes terrestres (YOUCEF, 2016).

La reconstitution des conditions climatiques au cours de l'Holocène pose plusieurs défis majeurs à la communauté scientifique. La faiblesse des variations de température moyenne, comparé à l'amplitude constatée au cours des âges glaciaires rend l'identification d'un signal difficile avec les indicateurs habituels. De plus, la nécessité de prendre en compte des échelles de temps subannuelles pour la description des événements marquants implique de

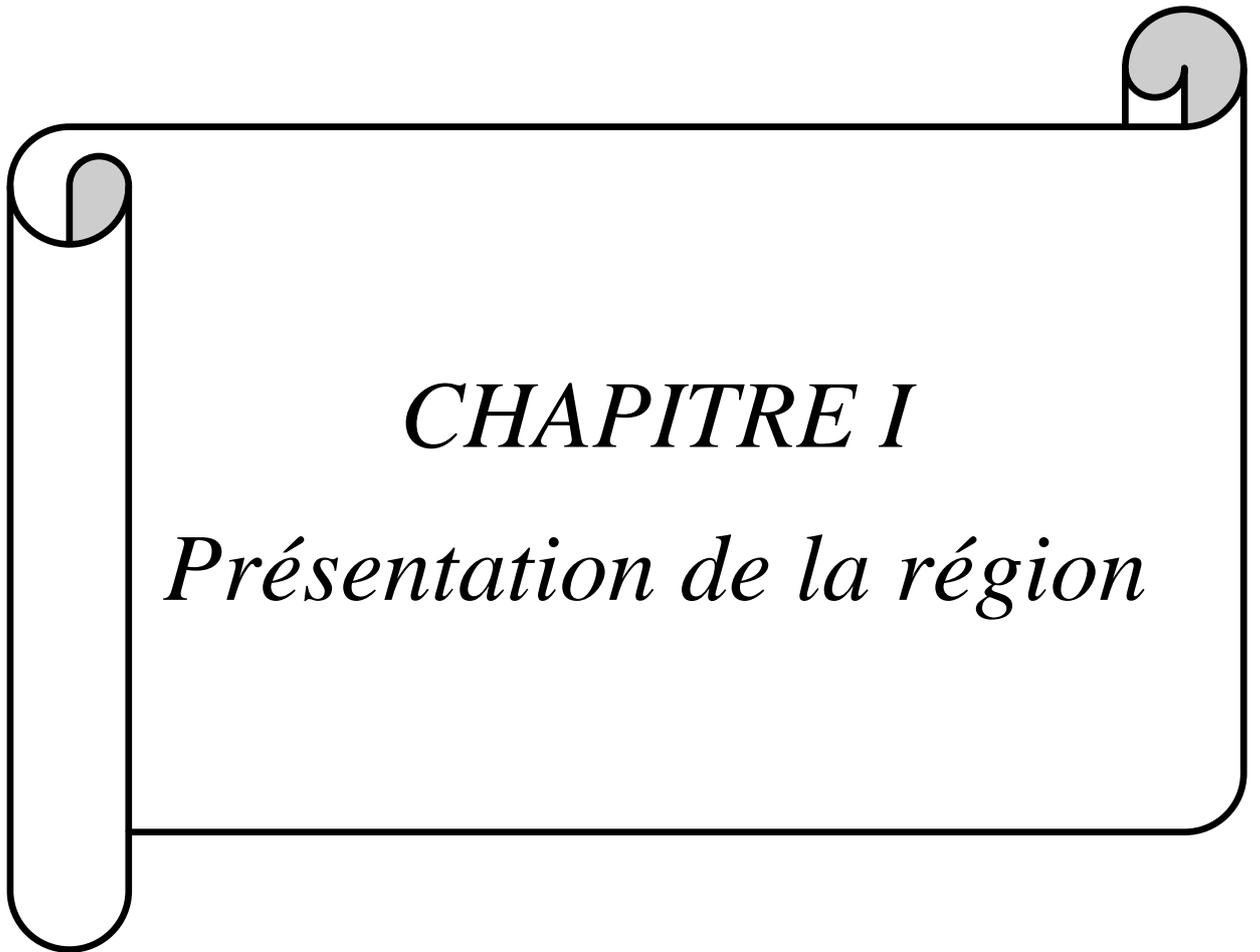
se placer à la limite d'interprétation de nombreux indicateurs climatiques, ou d'en trouver de nouveaux par rapport à ceux qu'on utilise traditionnellement en paléoclimatologie (JEAN et GILLES, 2013). La reconstitution des fluctuations climatiques Holocènes au Sahara a été pendant longtemps essentiellement basée sur l'étude des formations lacustres et des paléosols associés (FEDOROFF et COURTY, 1989).

C'est dans ce contexte et dans ce milieu saharien prometteur et plein de secrets permettant une meilleure compréhension de l'histoire de cette région de la terre, que s'inscrit ce travail, qui est une contribution à l'étude du paléoenvironnement dans la région de Touggourt, on se basant sur une approche paléopédologique et en utilisant le sol comme archive d'évènement passé. Ces derniers sont mieux conservés sous les climats arides comme celui de la région étudiée. Il consiste à mettre en évidence une partie des changements environnementaux passés de cette région et du Sahara en générale.

Ce document s'articule autour de quatre chapitres:

- CHAPITRE I: s'intéresse à la présentation de la région d'étude ;
- CHAPITRE II : présente le matériel et les méthodes mises en œuvre sur terrain et au laboratoire;
- CHAPITRE III : présente les résultats des analyses ;
- CHAPITRE IV : est consacré à la discussion des résultats obtenus ;

Et enfin une conclusion.



CHAPITRE I

Présentation de la région

I. Présentation de la région d'étude

Ce chapitre traite la présentation de la région d'étude à savoir les limites géographiques, hydrogéologique, géomorphologique, pédologique, topographique et les facteurs climatiques.

I.1. Situation et limite géographique de la région de Touggourt

La région de Touggourt se situe dans la vallée d'Oued-Righ au Nord-Est du Sahara algérien et plus exactement entre l'Oasis de Ouargla au Sud et celle des Zibans au Nord (fig.1), (LAKHDARI, 1980). La région de Touggourt se trouve à une :

- ✓ Altitude de 72 mètres ;
- ✓ Longitude : de 5° 30' à 6° 20' E;
- ✓ Latitude : de 33° 11' à 34° 9' N.

Elle couvre une superficie de 216 km² (A.N.R.H, 2017). Se trouvant à 160 km d'Ouargla au nord-est, à 225 km au sud de Biskra et 620 km d'Alger au sud-est. Elle est limitée :

- Au Nord par la wilaya de Biskra;
- A l'Est par la wilaya d'El-Oued;
- A l'Ouest par la wilaya de Djelfa;
- Au Sud par la wilaya d'Ouargla.

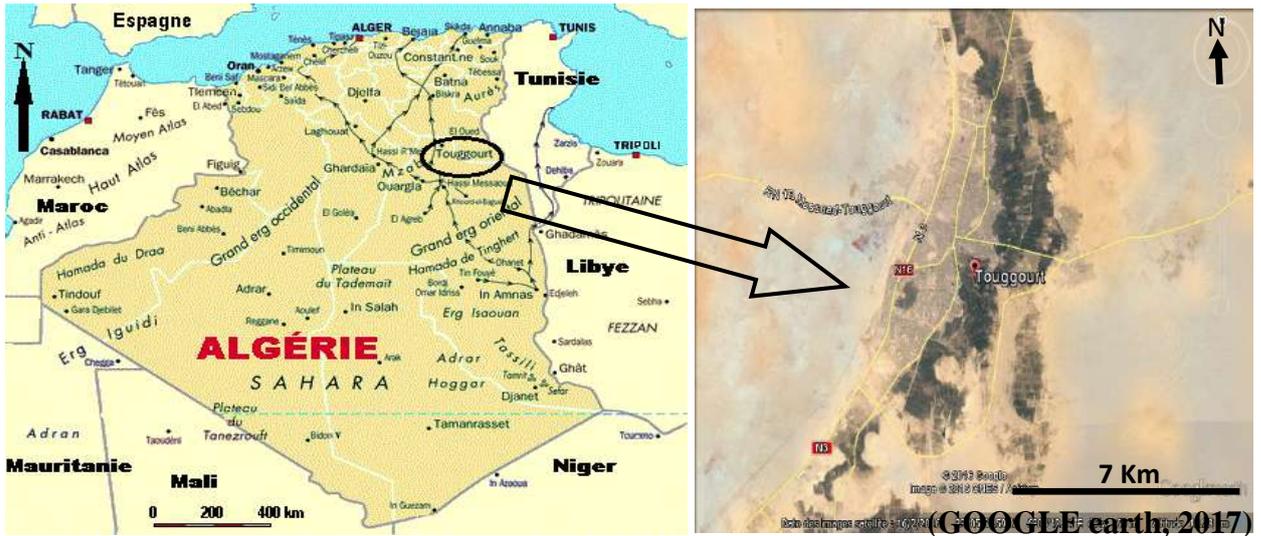


Figure 1: Situation géographique de la région de Touggourt (GOOGLE, 2017).

I.2. Topographie

Touggourt se présente comme des dunes et des palmeraies qui orientent le développement linéaire des agglomérations dans le sens méridien (MAZOUZ et al., 1999) in BASSA et TAMA, 2016. Sa topographie est subdivisée en quatre sous-ensembles (A.N.R.H, 2017) :

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

I.3. Géologie

D'après A.N.R.H. (2017), du 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 aplatis au début de l'Ere secondaire; elle se comporte actuellement comme une vaste dalle rigide et stable. 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.

C'est donc entre la bordure septentrionale du Hoggar et la bordure méridionale de l'Atlas saharien que se situe le grand bassin sédimentaire du Bas-Sahara. Avec plus de 600 km de diamètre il couvre 720 000 Km² de superficie. Il s'étend des pieds de l'Aurès au nord jusqu'au Tassilis au sud. Une grande partie du bassin est recouverte par le grand Erg oriental, soit 125 000 Km². La région de Touggourt que nous étudions fait partie de cet ensemble.

Les formations géologiques de la région de Touggourt sont en majeure partie d'âge Quaternaire résultant de l'érosion continentale du Miopliocène. Ces derniers largement représentés à l'Ouest de l'axe routier de Touggourt - Biskra (A.N.R.H, 2017).

I.4. Le Sol

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

Au Sahara, le facteur de la formation des sols est essentiellement le vent. Il s'y ajoute l'ampleur des variations thermiques, notamment journalières (DUTIL, 1971 ; DUBOST, 1991). Les sols sahariens sont généralement peu évolués et dépourvus d'humus (HALITIM, 1985). D'après BOUMAARAF (2003), l'étude pédologique menée sur la région de Touggourt fait ressortir les différents types des sols caractéristiques de cette zone, qui sont surtout les suivant :

- ✓ Sols sableux d'apport éolien ;
- ✓ Sols salés ;
- ✓ Sols gypseux où la nappe sulfatée est le facteur moteur de la genèse de ces derniers.

I.5. Reliefs

La morphologie de la région est homogène, elle se présente comme une dépression du 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 +100 m à El Gouge à, +70 m à Touggourt, +30 m à Djamaa ,0 m à Mghaïer, -37 m au milieu du chott Mérouane (DUBOST, 1991).

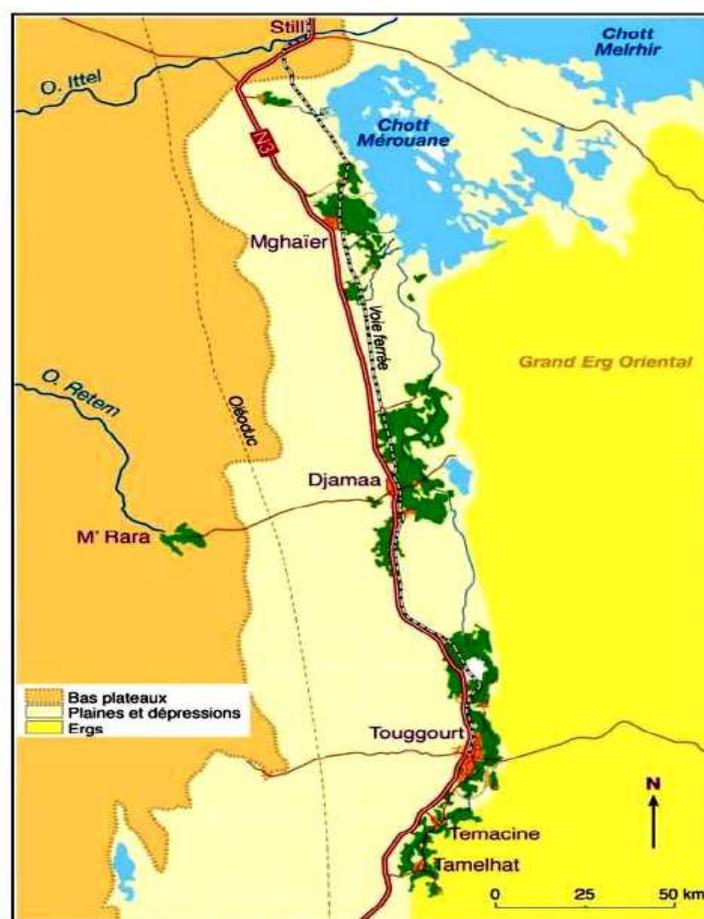


Figure 2: carte des reliefs d'Oued Righ (Ballais, 2010)

Les caractéristiques principales de la région d'Oued Righ est son inclinaison vers le Nord ou vers les grands chotts qui sont en fait des dépressions plus ou moins grandes en surface et en profondeur, la dépression la plus importante est située à la fin de la vallée (un endroit pertinent) appelé « chott Mérouane ». Les premières oasis se sont greffées pratiquement tout autour des chotts, en choisissant toujours les points les plus culminants, afin

que les eaux de drainage et de lessivage des sols de chaque palmeraie et des ménages y déversent. En résumé, les chotts permettent l'accumulation de tout les eaux usées, c'est ainsi en hiver (température basse) que ces chotts sont de grands étendus, l'origine est à base des eaux usées dont une petite partie seulement s'évapore et de la nappe phréatique par le phénomène de la remontée, ce que l'on peut appeler « lac » ; en été ces chotts se transforment en étendus blanches qui sont les sels déposés suite à une forte évaporation due aux grandes chaleurs, l'épaisseur des couches dépend de la quantité d'eau déversée et de sa concentration en sels, on les appelle alors «chotts» ou «sebkhas» (BOUTELBE, 2010).

I.6. Hydrogéologie de la région de l'Oued Righ

I.6.1. 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. Du 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 < 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 abondants de carbonate de calcium qui rendent sa distribution délicate (SAYAH LEMBAREK, 2008).

I.6.2. Complexe Terminal (CT)

Le Complexe Terminal (Fig.3) 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 variant entre 200 et 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 sénonienne carbonatée 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 (SAYAH LEMBAREK, 2008).

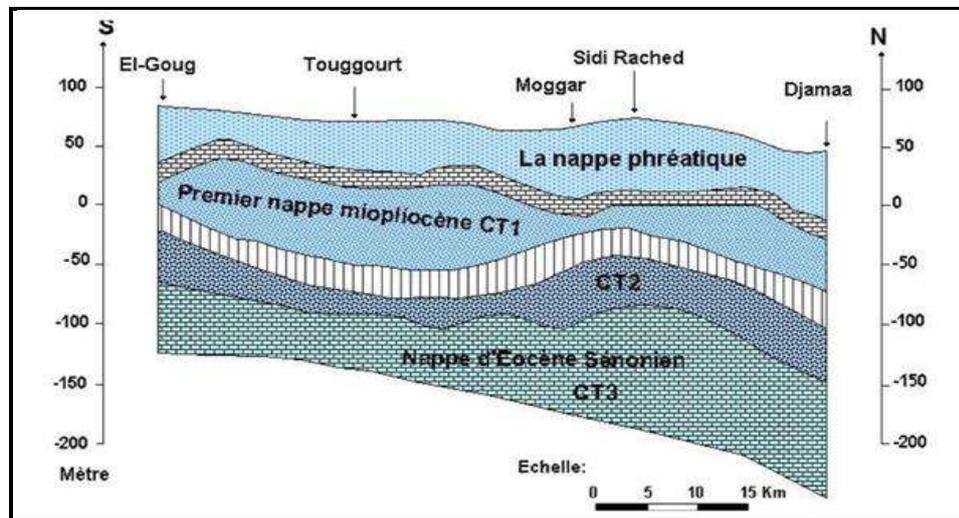


Figure 3 : coupe hydrogéologique du Complexe Terminal (A.N.R.H, 2017).

I.6.3. La nappe phréatique

C'est une nappe libre dont la profondeur varie entre 0 et 60 m. Elle affleure sur le sol en plusieurs endroits de la vallée ; la lithologie dominante est constituée de sables ou sables argileux avec gypse. Son eau est généralement très salée et excessivement chargée dans les zones mal drainées ; le résidu sec dépasse 13g/l ; l'alimentation de cette nappe provient essentiellement de l'excédent d'eau d'irrigation et avec un très faible pourcentage des précipitations, elle est rarement exploitée dans l'Oued Righ, sauf dans les zones hors vallée où on l'utilise comme par exemple, Berkadjia (El-Meghaier) et Taibet pour l'irrigation des petits périmètres éloignés de la palmeraie (SAYAH LEMBAREK, 2008).

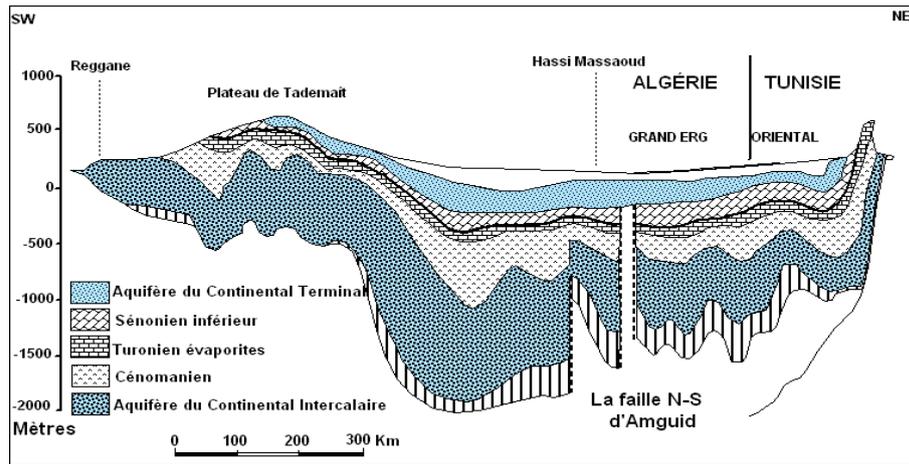


Figure 4 : coupe Hydrogéologie à travers le Sahara septentrionale (CRSTRA, 2013).

I.7. Facteurs climatiques de la région

Le climat joue un rôle fondamental dans la distribution des êtres vivants sur le globe terrestre (FAURIE et al., 2011). Dans ce qui va suivre sont développées les caractéristiques climatiques de la région d'étude.

Tableau I. Données climatiques moyennes de la région de Touggourt de 2006 à 2015 (O.N.M, 2017).

Mois	Température (°C)			Humidité moyenne %	Vents (m/s)	Evaporation (mm)	Insolation (heurs)	Précipitations (mm)
	T° max	T° min	T° moy					
Janvier	18,72	4,48	11,60	63,74	2,51	81,23	246,50	15,15
Février	19,98	5,94	12,96	54,71	2,99	117,33	237,78	4,95
Mars	24,74	9,51	17,12	48,09	3,57	150,47	269,04	5,72
Avril	30,00	13,68	21,84	44,61	3,67	199,22	284,61	9,46
Mai	34,49	18,72	26,61	38,82	3,72	232,21	328,93	1,50
Juin	39,29	23,42	31,36	33,83	3,41	269,44	325,56	0,41
Juillet	42,56	26,49	34,52	31,22	2,93	327,55	362,87	0,07
Aout	41,74	26,24	33,99	35,24	2,89	286,86	337,40	3,55
Septembre	36,79	22,13	29,46	44,66	2,79	209,72	271,72	6,27
Octobre	31,20	16,28	23,74	49,72	2,5	172,94	272,83	4,97
Novembre	23,88	9,02	16,45	57,45	2,29	124,22	257,48	2,16
Décembre	18,67	5,00	11,83	62,58	1,99	84,84	240,58	4,56
Moyenne	30,17	15,08	22,62	47,06	2,93	2256,03*	286,28	58,77*

*cumul annuel

I.7.1. Données brutes

I.7.1.1. Températures

Selon RAMADE (1984), la température est considérée comme le facteur limitant le plus important car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition géographique des êtres vivants

D'après le Tableau I et la Figure 5, la température moyenne annuelle de la région de Touggourt est de 22,62°C, avec 34,52°C en juillet pour le mois le plus chaud et 11,60°C en janvier le mois le plus froid, avec des extrêmes de T°Max=42,56°C en Juillet et T°Min=4,48°C en Janvier, pour la période de dix ans (2006-2015).

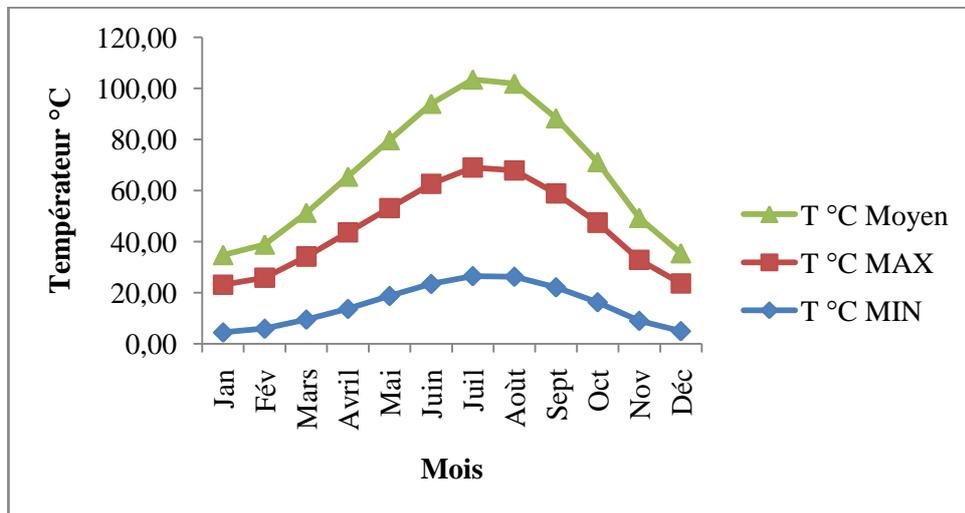


Figure 5: Variations de la température pendant la période 2006-2015.

I.7.1.2. Précipitation

Les zones arides se caractérisent par de faibles précipitations et un degré d'aridité d'autant plus élevé (RAMADE, 2003).

Les précipitations sont rares et irrégulières, leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue entre le mois de Mai et d'Août (Fig.6), estimées à une valeur de 58,77 mm, avec un maxima de 15,15 mm au mois de janvier et un minimum de 0,07 mm au mois de juillet (Tab. I) pour la période étudiée (2006-2015).

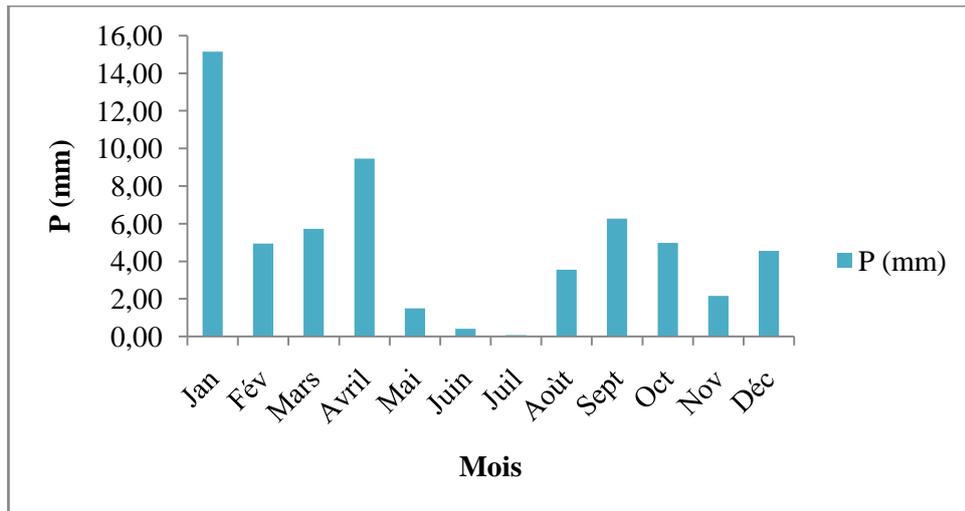


Figure 6 : Variations des précipitations pendant la période 2006-2015.

I.7.1.3. Evaporation

L'évaporation dans la région de Touggourt est très intense, elle est renforcée par les vents chauds et les températures élevées, elle est de l'ordre 2256,03 mm/an (Tab. I), avec une valeur maximale de 327,55 mm au mois de Juillet (Fig.7).

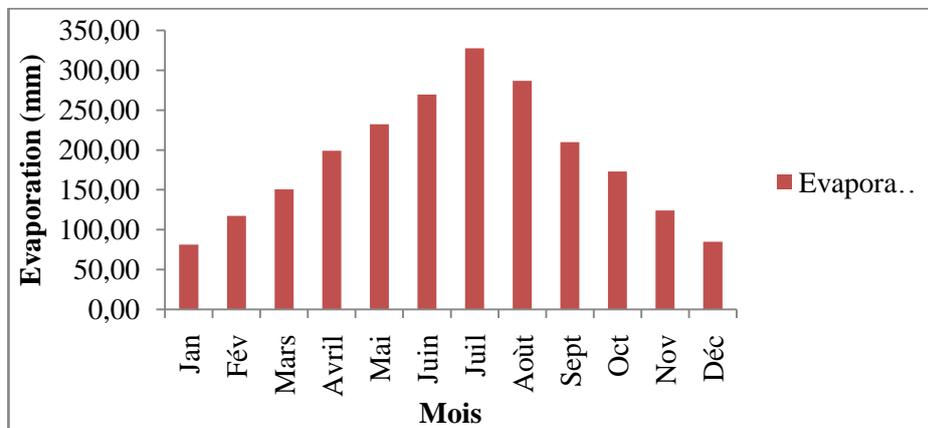


Figure 7 : Variations de l'évaporation pendant la période 2006-2015.

I.7.1.4. Humidité de l'air

La région de Touggourt est caractérisée par une faible humidité relative de l'air avec une moyenne annuelle de 47,06 %, le maxima est mentionné pour le mois de janvier (63,74%) et le mois de décembre (62,58%), au cours de la période (2006-2015) (Tab. I et Fig.8).

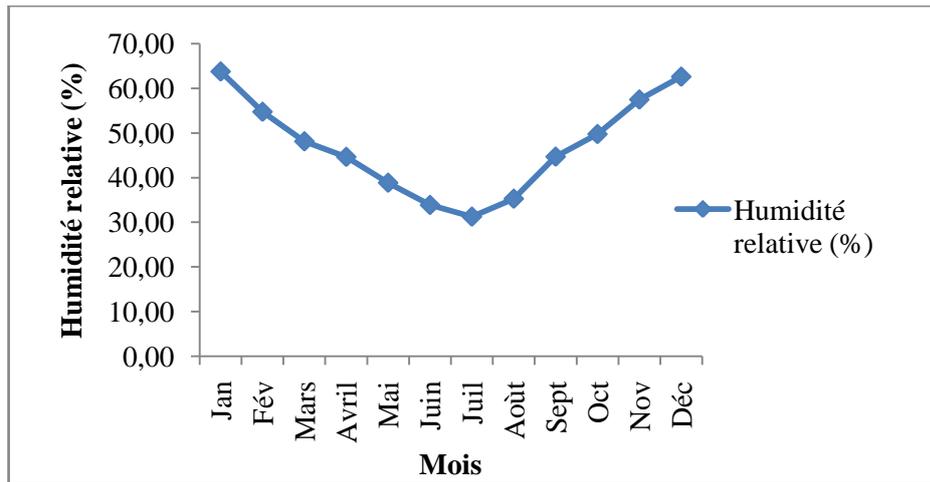


Figure 8: Variations de l'humidité de l'air durant la période 2006-2015.

I.7.1.5. Insolation

L'ensoleillement est considérable à Touggourt avec 286,28 h/an et avec un maximum de 362,87 heures en Juillet, et un minimum de 237,78 heures en Février et de 240,58 heures en Décembre (Tab. I et Fig.9).

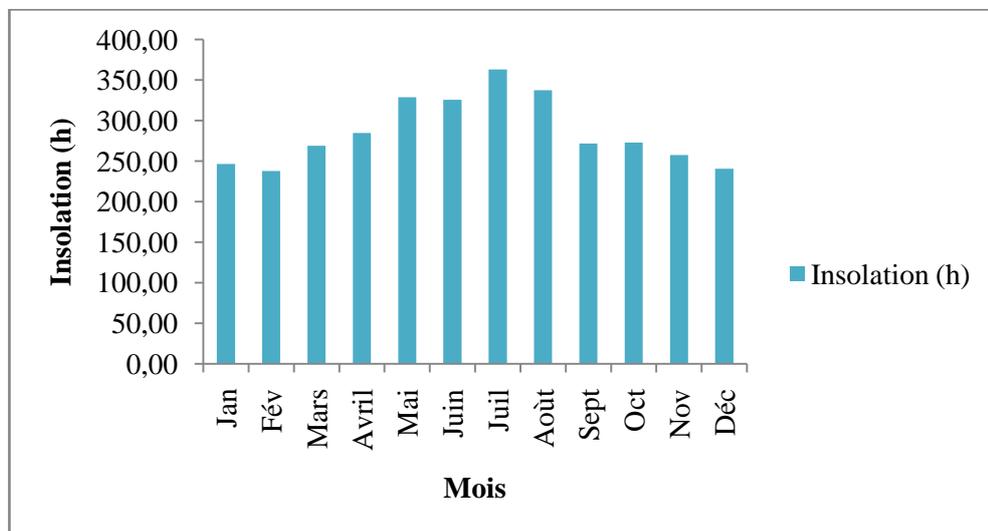


Figure 9 : Variations de l'insolation pendant la période 2006-2015.

I.7.1.6. Vents

Le maximum de vitesse du vent est enregistré au mois de Mai avec une valeur de 3,72 m/s et le minimum en Décembre avec 1,99 m/s (Tab. I et Fig.10).

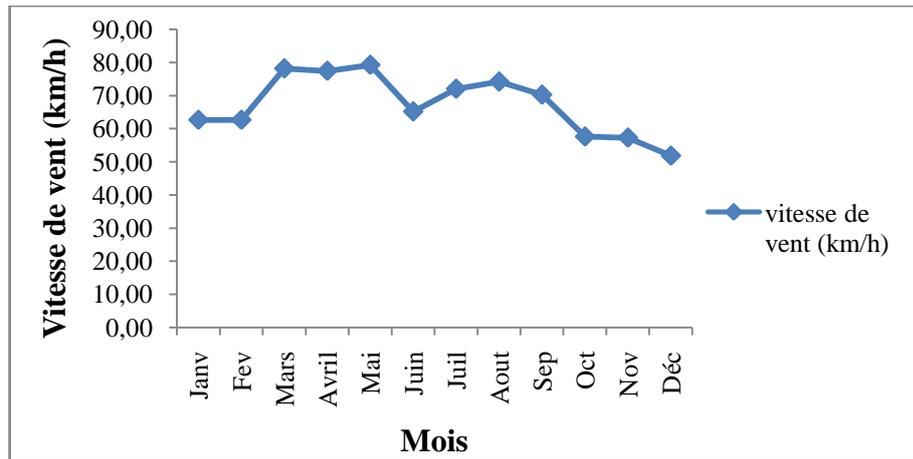


Figure 10: Variations de la vitesse du vent durant la période 2006-2015.

I.7.2. Synthèse climatique

Les différents facteurs n'agissent pas indépendamment les uns des autres (DAJOZ, 1971). La synthèse climatique comprend le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, et le Climagramme d'EMBERGER.

I.7.2.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Il est possible de caractériser le climat d'une région donnée à l'aide de diagrammes variés. Parmi eux, les diagrammes ombrothermiques permettant de figurer l'évolution des précipitations et des températures sur une année dans une région donnée (Deconinck, 2006).

Selon BAGNOULS et GAUSSEN (1953), un mois est considéré biologiquement sec, lorsque le cumul des précipitations (P) exprimé en millimètres est inférieur ou égal au double de la température (T) exprimée en degrés Celsius. L'intersection de la courbe thermique avec la courbe ombrique détermine la durée de la période sèche. Cette dernière est une suite de mois secs. Elle peut s'exprimer par $P < 2T$ (GAUSSEN et BAGNOULS, 1957).

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN est représenté :

- en abscisse par les mois de l'année ;
- en ordonnée à droite par les précipitations en mm ;
- en ordonnée à gauche par les températures moyennes en °C ;

- une échelle de $P=2T$.

La figure 11 montre que le climat de la région de Touggourt pour la période de 10 ans (2006- 2015), est caractérisé par une période sèche qui s'étale sur toute l'année, car la courbe des précipitations est inférieure à celle des températures (climat saharien).

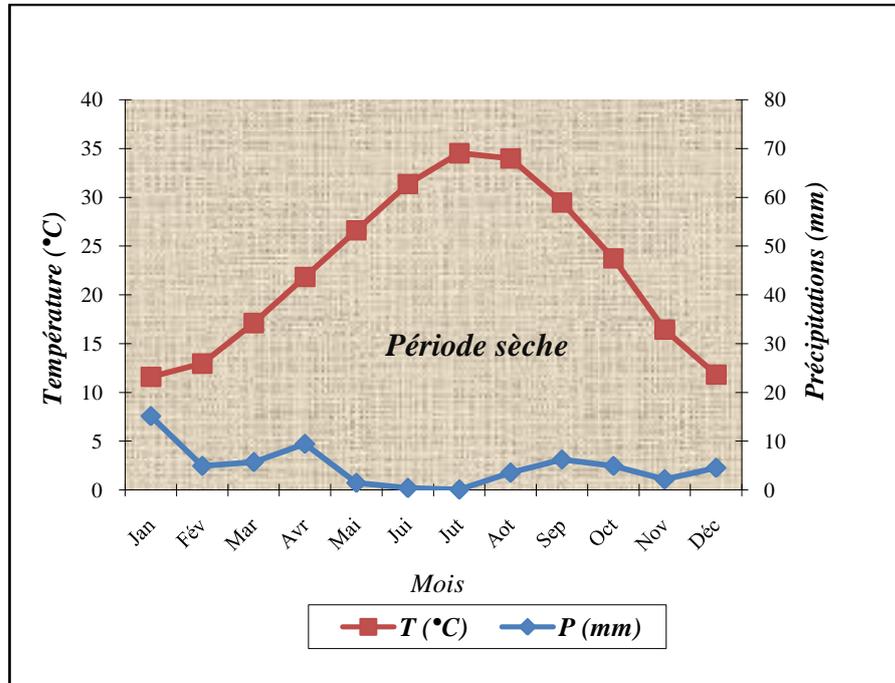


Figure 11: Diagramme ombrothermique de la région de Touggourt (Période: 2006-2015).

I.7.2.2. Climagramme pluviothermique d'EMBERGER

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude, il est représenté :

- ✦ en abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid ;
- ✦ en ordonnée par le quotient pluviothermique (Q3).

Le quotient pluviothermique de STEWART est présenté par la formule suivante :

$$Q_3 = 3,43 \times P / (M - m)$$

Q₃: Quotient pluviothermique;

P: Moyenne des précipitations annuelles exprimées en mm calculé pour les 10 ans (58,77mm) ;

M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M =42,56 °C);

m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m = 4,48 °C).

Le quotient pluviométrique (Q3) de la région de Touggourt calculé pour une période de dix ans (2006-2015) est égal à 5,3. En rapportant cette valeur sur le Climagramme d'EMBERGER, accompagnée de la valeur de la température minimale (m =4,48 °C) du mois le plus froid, on constate que la région de Touggourt appartient à l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (Fig.12).

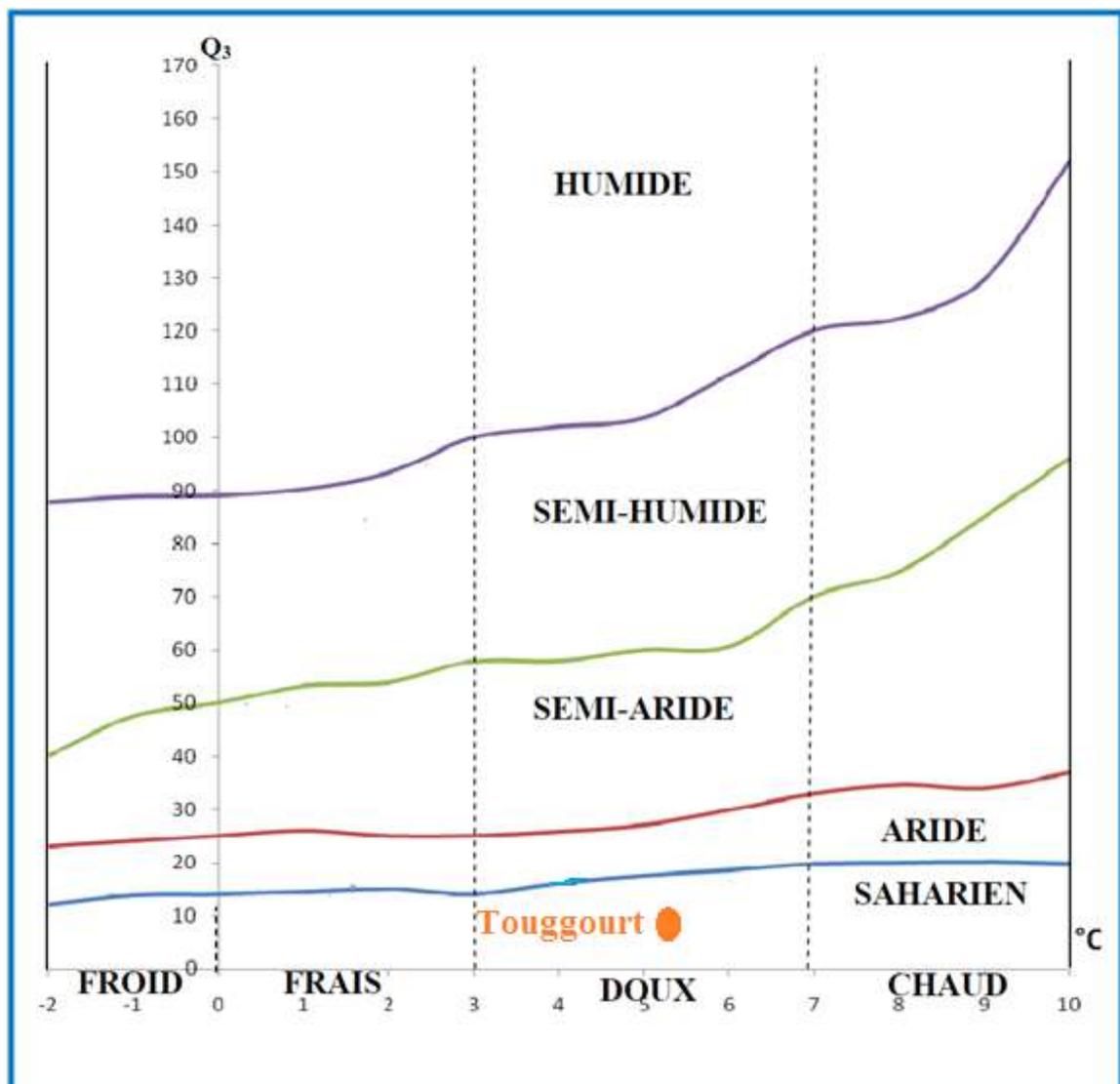
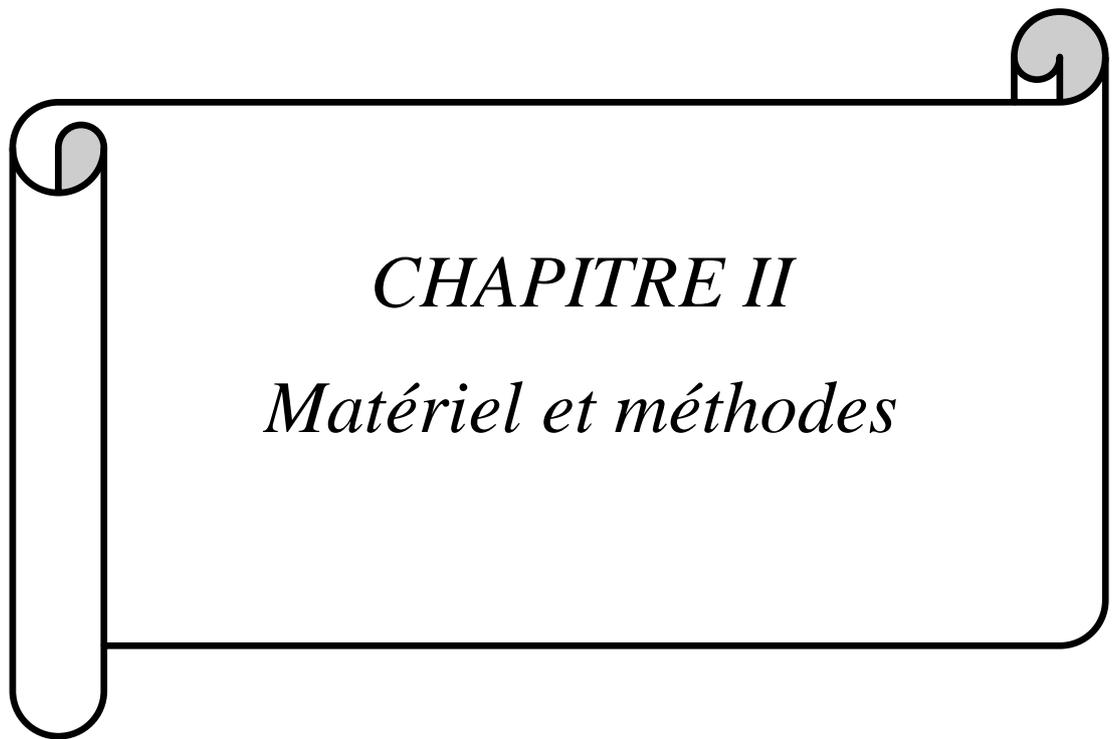


Figure 12: Climagramme pluviothermique d'EMBERGER de la région de Touggourt (Période: 2006-2015).



CHAPITRE II

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodes**II.1 Critères de choix des stations d'étude**

Après des sorties de prospection dans la région, nous avons choisi les sites à étudier dans des endroits loin d'activités anthropiques, présentant des caractères pouvant avoir une signification paléoenvironnementale, entre autre les accumulations gypseuses et calcaires. Ce sont des sites naturels et non fonctionnels.

II.2 Présentation des sites d'étude

Nous avons choisis trois sites (Blidet Amor, Témacine et La route de Messaad) dans la région de Touggourt, dans lesquels des profils de sols ont été réalisés et étudiés, comme suit (Fig 13) :

-Blidet Amor est située à 18,4 km de la commune de Touggourt, où nous avons étudié cinq coupes: S1P1, S1P2, S1P3, S1P4, S1P5.

-Témacine est située à 9,6 km de la commune de Touggourt, deux coupes ont été étudiées : S1P41, S1P42 près de la route nationale 31.

-La route de Messaad-Touggourt (RN 1B) est située à 26 km de la commune de Touggourt, où nous avons étudié trois coupes : S3P1, S3P2, S3P3.

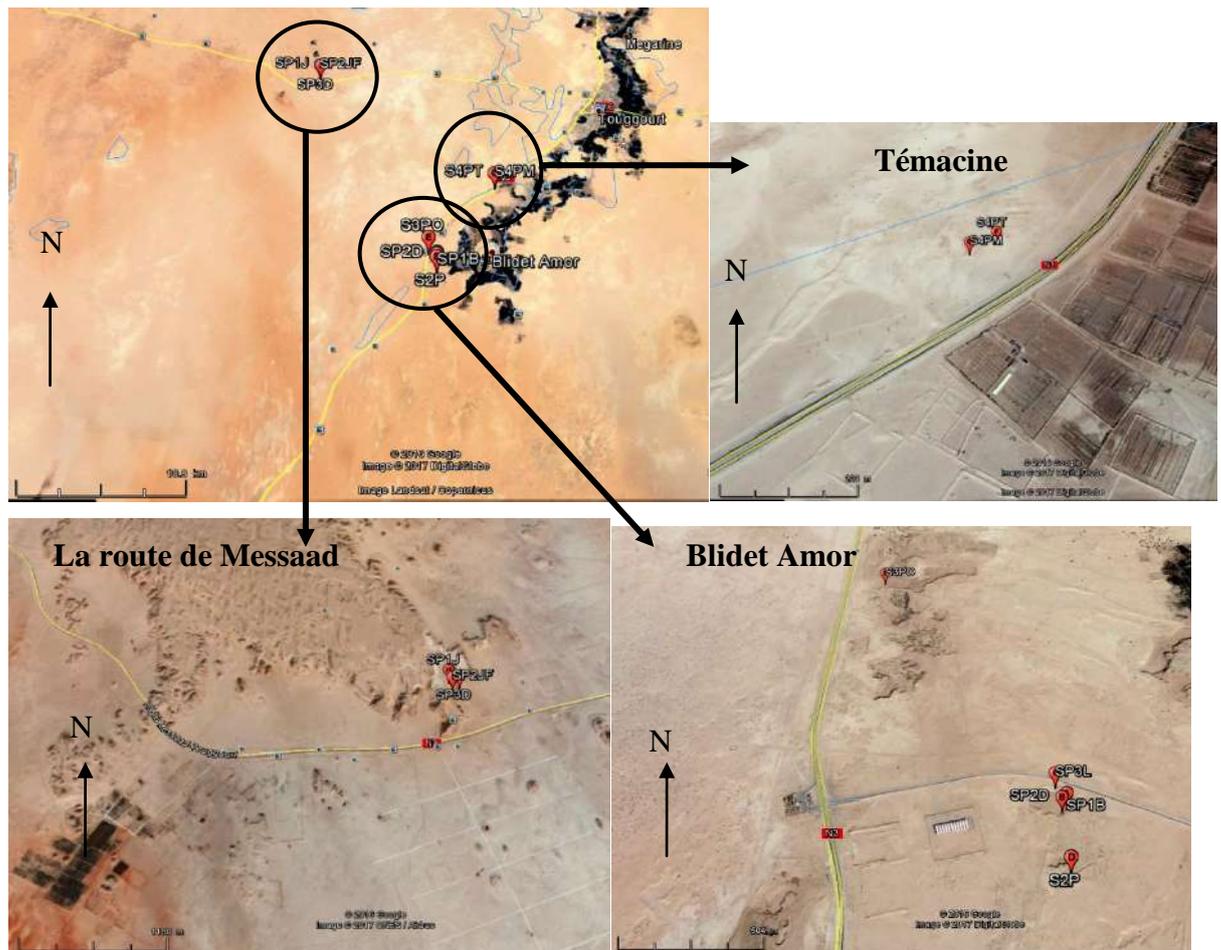


Figure 13 : Localisation des coupes étudiées.

II.3 Description des méthodes utilisées

La caractérisation des sols et la compréhension de leur dynamique actuelle nécessite des observations et des mesures de terrain ainsi que des mesures et des analyses au laboratoire (MATHIEU et PIELTAIN, 1998).

II.3.1. Sur terrain

II.3.1.1. Description morphologique

Basée sur les critères suivants déterminés par DELAUNOIS (2006) :

- Caractérisation de l'environnement de la station : localisation de la station, végétation, topographie, date et temps, l'état de surface ; les coordonnées géographiques (par le GPS) ; géomorphologie (plateau)

- Description morphologique de chaque horizon: épaisseur des horizons en (cm), la couleur (à l'état sec) (Munselle Soil Color Charts), la texture, la structure, l'état de l'humidité, la porosité, la présence de matière organique, la présence de calcaire par la réaction de l'HCl, l'existence des taches et d'éléments grossier et transition.

II.3.1.2. Prélèvement des échantillons du sol

Après la réalisation des profils pédologiques et leur description, nous avons prélevé des échantillons de terre sur toute la largeur de chaque horizon se maintenant vers sa partie centrale par rapport à ses limites supérieur et inférieur (MATHIEU et PIELTAIN, 1998), et en commençant du bas vers le haut du profil, et on les conservant dans des sachets à double étiquetage.

II.3.2. Au laboratoire

II.3.2.1. Analyses physiques et chimiques

Les analyses physiques et chimiques ont été réalisées au laboratoire de pédologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie.

Les échantillons du sol ont été transmis au laboratoire, séchés à l'air libre et tamisés à 2 mm.

II.3.2.1.1. Granulométrie

L'analyse granulométrique consiste à séparer la partie minérale de la terre en catégorie classées d'après la dimension des particules minérales inférieures à 2 mm et à déterminer, les proportions relatives de ces catégories, en pourcentage de la masse totale du sol minéral (MATHIEU et PIELTAIN, 1998).

La granulométrie est une caractéristique pédologique stable, héritée de l'histoire géologique et pédologique de la parcelle. Elle ne peut être modifiée par l'Homme en situation normale (L.A.N.O, 2011).

Elle a été faite sur des échantillons de terre fine (inférieur à 2 mm) séchée à l'air libre.

Nous avons utilisé l'analyse de granulométrie par la méthode internationale à la pipette de Robinson, après décarbonatation et destruction de la matière organique puis dispersion des

particules par un dispersant énergétique (Héxamétaphosphate de sodium) et par agitation mécanique. Des prélèvements ont été effectués à l'aide de la pipette de Robinson, dans des flacons à sédimentation, à des profondeurs et des moments déterminés, en appliquant la loi de Stokes (AUBERT, 1978; MATHIEU et PIELTAIN, 1998).

Tableau II : Classification des fractions du sol

Argile	Limons		Sables	
	Fins	Grossiers	Fins	Grossiers
0-2 μm	2-20 μm	20-50 μm	50-200 μm	200 μm - 2mm

(MATHIEU et PIELTAIN, 1998).

II.3.2.1.2. Calcaire total

Il a été déterminé à l'aide d'un calcimètre de Bernard, on se basant sur la propriété du carbonate de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide, en eau et en gaz carbonique, ce dernier est recueilli, dans un tube gradué en millilitres (AUBERT, 1978).

II.3.2.1.3. pH et conductivité électrique

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

II.3.2.1.4. Matière organique

Le dosage de la matière organique a été effectué selon la méthode Anne dont le principe est l'oxydation du carbone organique par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de Mohr, en présence de diphénylamine (AUBERT, 1978).

II.3.2.1.5. 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 précipitation avec le chlorure de baryum.

II.4. Etude des argiles par Spectroscopie Infrarouge à Transformée de FOURIER (IRTF)

II.4.1. Extraction de la fraction argileuse

La séparation de la fraction argileuse ($< 2\mu\text{m}$) a été faite suivant la méthode proposée par ROBERT et TESSIER (1974) pour les échantillons: S1P3H3, S1P3H4, S1P3H5, et S3P1H2, S3P1H3.

Tout d'abord nous commençons par la décarbonatation des échantillons présentant une effervescence à l'HCl on utilisant l'HCl (N/10) des échantillons de la terre fine ($< 2\text{ mm}$), puis la destruction de la matière organique par une solution de H_2O_2 . Ensuite, on passe à la dispersion et l'obtention d'une argile magnésienne, tout d'abord, par l'échange des ions saturant le sol par des ions Na^+ qui se fait par la digestion de la terre dans une solution de NaCl (N/10), après décantation, un siphonage puis une centrifugation sont nécessaires. Par la suite, on ajoute NaOH (N) en ne dépassant pas $\text{pH} = 9$ et pour que la dispersion de l'argile soit achevée, on procède à une agitation mécanique (4 heures). La séparation de la fraction $< 2\mu\text{m}$ est obtenue par une série de sédimentation. On procède ensuite à la neutralisation de la suspension sodique par addition ménagée d'HCl dilué. La floculation de la fraction $< 2\mu\text{m}$ est obtenue par l'ajout de MgCl_2 (N). On élimine le surnageant par siphonage, et on fait passer le flocculat dans un tube de centrifugeuse dans lequel il est ajouté de nouveau 50 ml de MgCl_2 . On effectue 3 rinçages à l'eau.

Pour obtenir la fraction $< 2\mu\text{m}$ qui sera étudiée par IRTF, on procède à un lavage à l'alcool éthylique à 70° puis à 90° . L'argile est séchée à 40°C , puis réduit en poudre par broyage.

II.4.2. Etude par IRTF

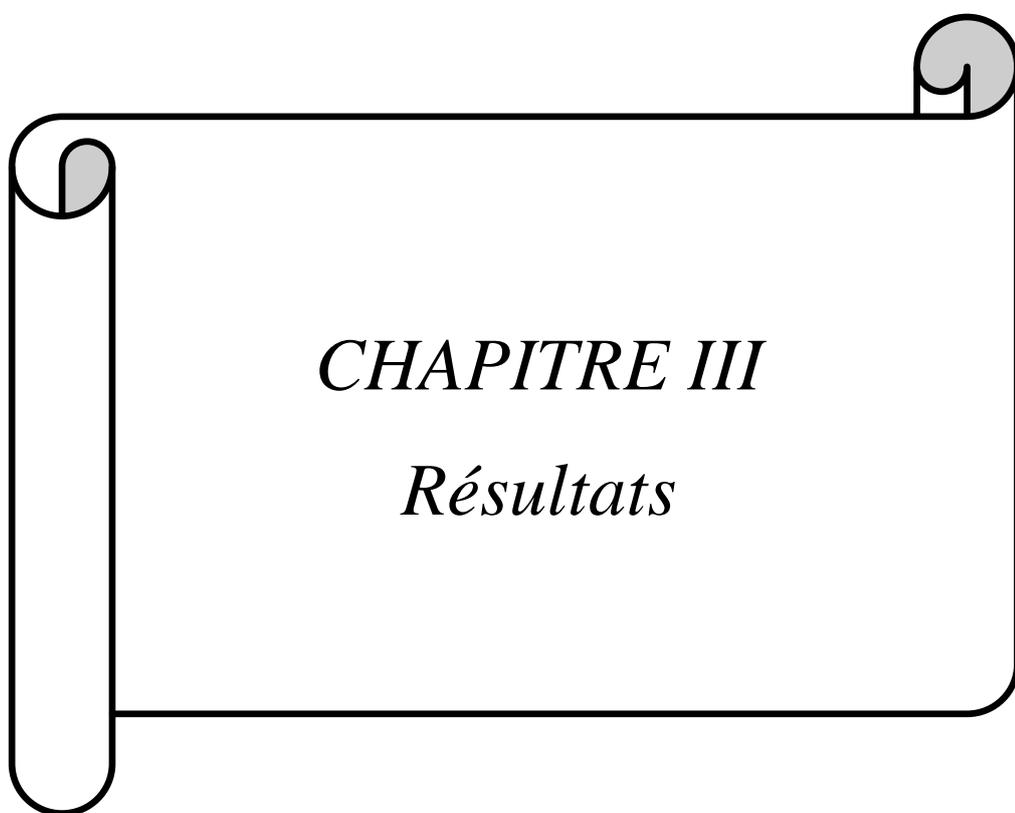
La spectroscopie infrarouge est une technique rapide, courante et économique (MADEJOVA et KOMADEL, 2001). Elle est basée sur les vibrations des atomes dans une molécule ou un minéral (PETIT et MADEJOVA, 2013). La spectroscopie IRTF utilise surtout le moyen infrarouge (MIR, $4000\text{-}300\text{ cm}^{-1}$), où les vibrations d'étirement (stretching) et de déformation (bending) des groupes caractéristiques de minéraux argileux apparaissent (PETIT et MADEJOVA, 2013).

L'utilité de cette méthode c'est qu'elle peut être employée pour différencier entre les

types de minéraux argileux (phyllosilicates de type 1:1 ou 2:1) et entre les minéraux de chaque groupe structural (Kaolinite ou dickite). Elle peut aussi nous renseigner sur les détails structurales (nature di ou trioctaédrique) et la composition (cations de couche octaédriques) des échantillons (PARIKH *et al.*, 2014).

L'appareillage utilisé dans ce travail est un spectromètre FTIR-8300 SHIMADZU. Il s'agit d'un spectromètre infrarouge à transformée de Fourier, couvrant une gamme de 500 à 4000 cm^{-1} . Ces analyses ont été réalisées au laboratoire de Biogéochimie des milieux désertiques de l'université Kasdi Merbah-Ouargla.

Pour étudier les argiles des échantillons de sol par IRTF, nous avons utilisé la technique des disques de KBr qui est la méthode la plus utilisée dans le domaine du MIR (PETIT et MADEJOVA, 2013). Elle consiste à insérer des échantillons sous forme de pastilles constituées d'environ 0,5 mg d'échantillon mélangés à 150 mg de KBr. Ces disques ont été étuvés à 120°C pendant une nuit pour éliminer l'eau adsorbée.



CHAPITRE III

Résultats

III. Résultats

III. 1. Résultats morphologiques et analytiques

Nous avons étudié 10 profils de sols situés dans la région de Touggourt. Dans cette partie nous allons présenter les résultats de la description morphologique et de la caractérisation analytique obtenus pour chacun.

III.1.1. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P1

III.1.1.1. Description morphologique

Date : 21/12/2016

Temps : Ensoleillé

Localisation : Blidet Amor

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : Sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 32°56'3,07'' N Y : 5°56'14,65'' E Alt : 49 m

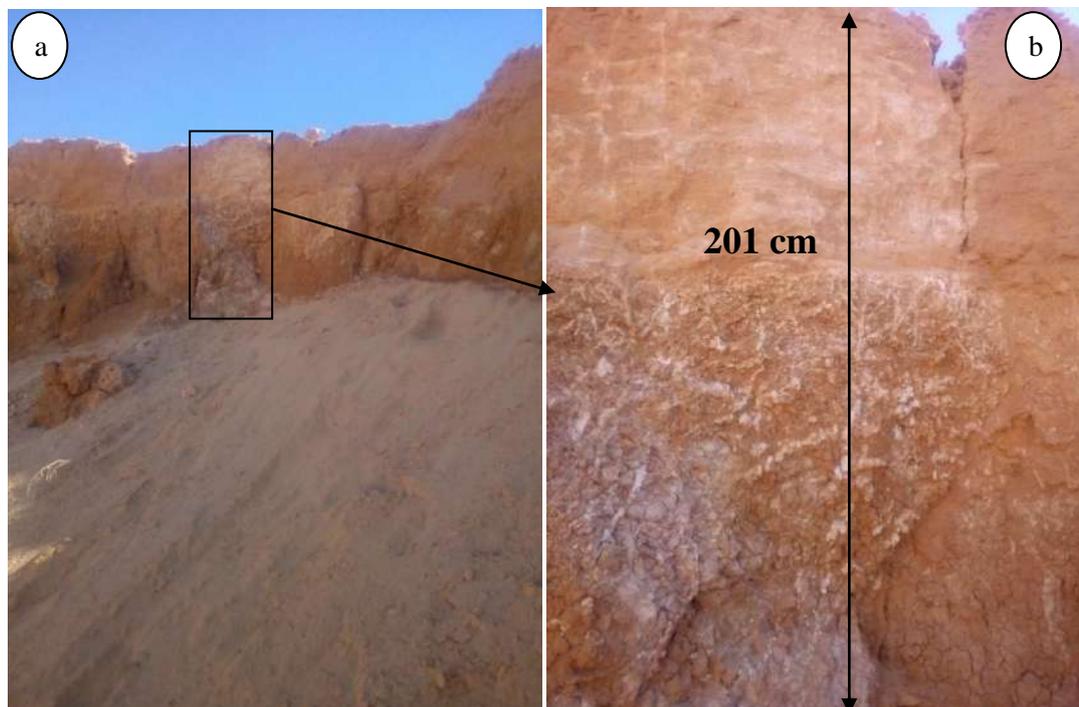


Photo 1 : a : Vue générale de l'environnement de la coupe. b : La coupe S1P1.

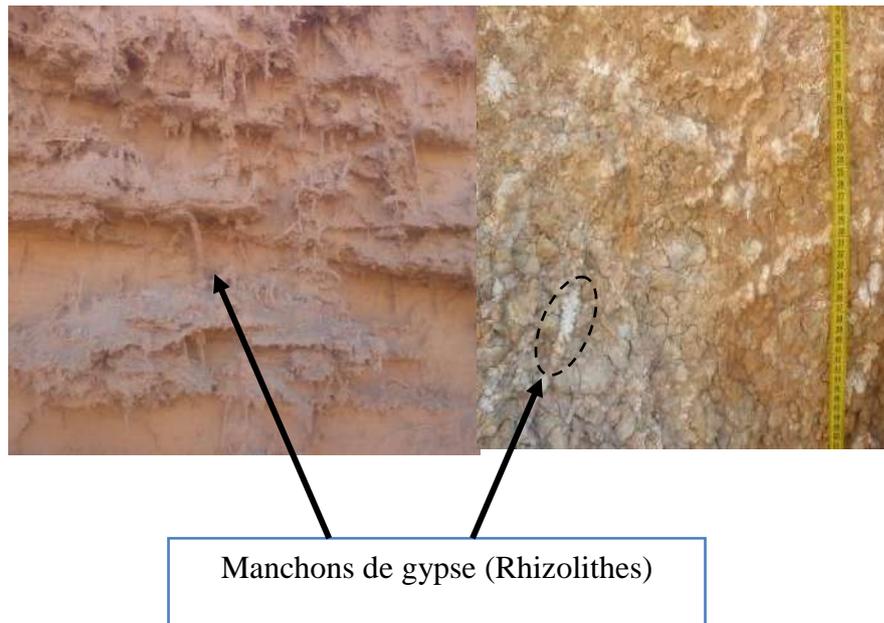


Photo 2 : L'accumulation du gypse observée dans la coupe S1P1.

S1P1H1 : 0-59 cm

Il s'agit d'un horizon, sec, de texture sablo-limoneuse, de structure particulière, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/6 (reddish yellow), présentant une faible effervescence à l'HCl, avec l'existence de racines rhizolithes (Manchons du gypse), limite régulière.

S1P1H2 : 59-116 cm

Il s'agit d'un horizon, sec, de texture limono-argileuse et de structure continue, de couleur à l'état sec 7,5 YR 5/8 (strong brown), le gypse existe sous forme de manchons. Existence de cristaux transparents de diamètre $>$ à 0,5cm, forte effervescence à l'HCl que le premier horizon.

S1P1H3 : 116-168 cm

Texture limono-argileuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 10 YR 6/8 (brownish yellow), forte effervescence à l'HCl, existence de cristaux de diamètre $>$ à 0,5cm.

S1P1H4 : 168-201 cm

Texture limono-argileuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (reddish yellow), forte effervescence à l'HCl.

III.1.1.2. Données analytiques

Les résultats des analyses physico-chimiques sont présentés au niveau des tableaux suivant :

Tableau III: Granulométrie de la coupe S1P1

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A%	LF %	LG %	SF % 50 µm	SG% 200 µm	
S1P1H1	0-59	5,30	12,59	5,33	39,92	36,86	Sablo- limoneuse
S1P1H2	59-116	17,73	43,20	16,20	8,45	14,42	loam-limoneux
S1P1H3	116-168	27,30	45,60	14,03	9,69	3,38	loam-limoneux
S1P1H4	168-201	25,10	38,40	21,74	11,15	3,61	loam-limoneux

Tableau IV: Données analytiques de la coupe S1P1

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°C
S1P1H1	0-59	4,46	18,38	0,74	9,10	0,68
S1P1H2	59-116	13,70	9,82	1,69	8,87	2,79
S1P1H3	116-168	20,43	5,54	1,14	9,20	1,55
S1P1H4	168-201	20,43	2,29	2,01	8,97	3,03

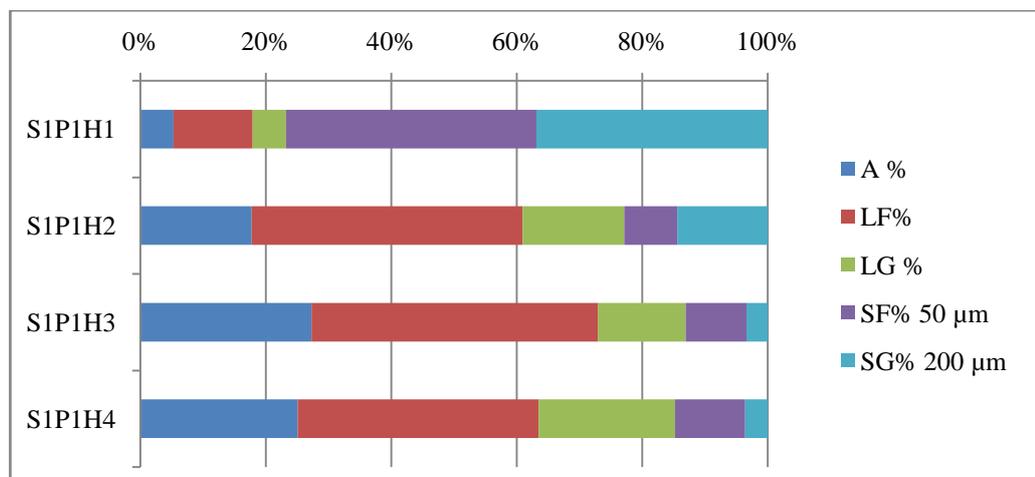


Figure 14 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P1.

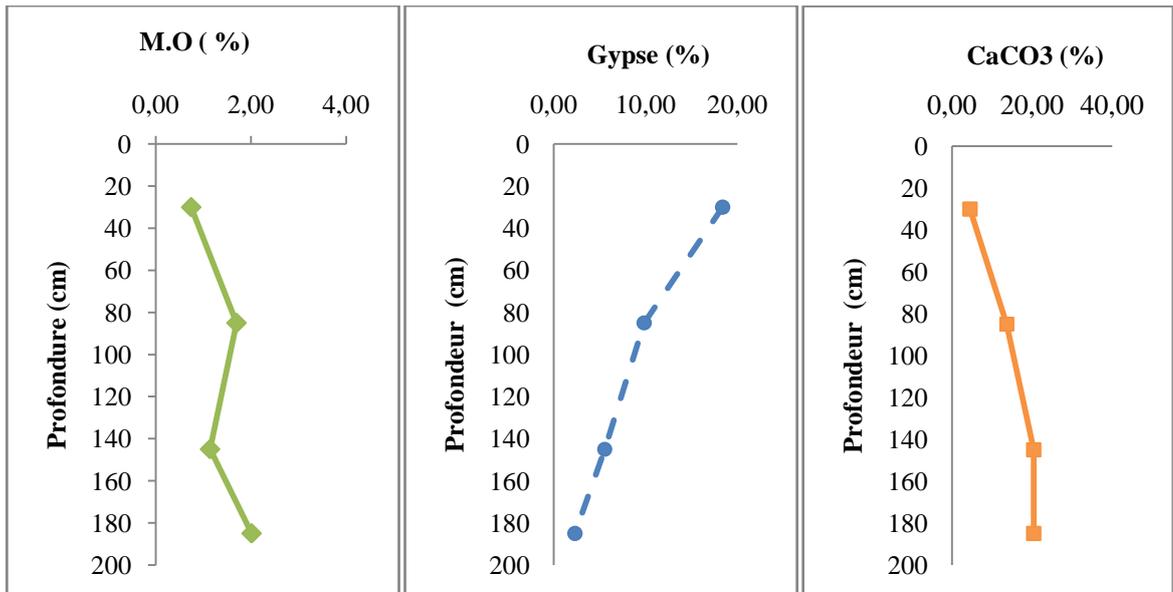


Figure 15: Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P1.

III.1.1.3. Interprétation :

L'analyse granulométrique (Tabl III et Fig 14), montre que la texture est loam-limoneux dans les horizons étudiés avec la dominance de la fraction sable fin par rapport à celle du sable grossier, la fraction de l'argile est plus importante dans les horizons S1P1H3 avec 27,30% et S1P1H4 avec 25,10 % par rapport aux autres horizons. On remarque aussi la dominance de limon fin par rapport au limon grossier.

Les résultats obtenus pour le taux du calcaire total (Tabl IV et Fig 15) permettent de classer l'horizon S1P1H1 dans la classe peu calcaire avec la valeur de 4,46%, et l'horizon S1P1H2 avec 13,70% dans la classe des sols modérément calcaire, et les horizons S1P1H3, S1P1H4 avec 20,43% dans la classe des sols calcaires. Ces valeurs augmentent avec la profondeur (Tabl 03, annexe).

Concernant le taux du gypse, les résultats d'analyse obtenues pour cette coupe (Tabl IV et Fig 15) montrent selon le tableau 02 (annexe), que l'horizon S1P1H1 est extrêmement gypseux avec une valeur de 18,38% et les horizons S1P1H2, S1P1H3 et S1P1H4 sont légèrement gypseux. Cette différence est due à l'existence du gypse sous la forme diffuse et sous la forme de rhyzolithes (Photo 02). Ces valeurs ont une tendance à diminuer avec la profondeur.

Le taux de la matière organique est très faible dans l'horizon S1P1H1 avec 0,74% et faible dans les horizons S1P1H2 et S1P1H3 et moyen dans l'horizon S1P1H4 avec 2,01%, selon le tableau 05 (Annexe). Dans cette coupe le taux de matière organique augmente avec la profondeur.

Selon les valeurs du pH et d'après le tableau 04 (annexe) on estime que le pH est supérieur à 8,5, donc c'est une coupe très alcaline.

Selon le tableau 01 (annexe), les résultats de la conductivité électrique, montrent que, les horizons S1P12 et S1P14 sont très salés et que l'horizon S1P1H1 est peu salé et S1P1H3 est salé.

III.1.2. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P2

III.1.2.1. Description morphologique :

Date : 23/12/2016

Temps : nuageux

Localisation : Blidet Amor

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : Sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 32°56'2,47'' N Y : 5°56'13,88'' E Alt : 53 m

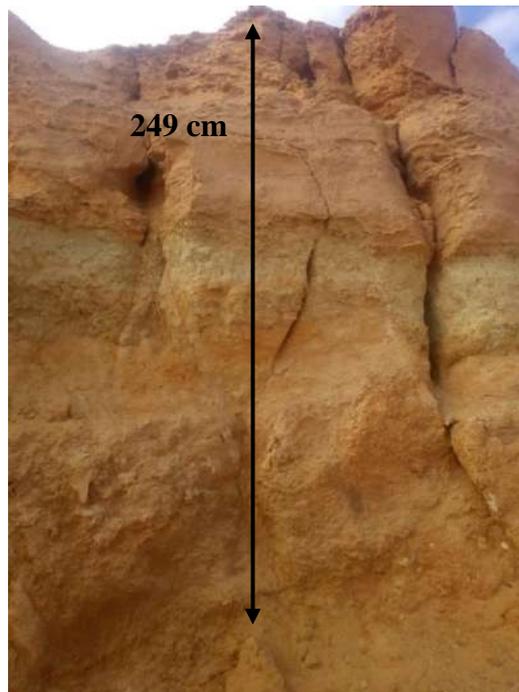


Photo 3 : La coupe S1P2.

S1P2H1 : 0-53 cm

Il s'agit d'un horizon, humide, friable de texture sableuse et de structure particulière, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/6 (reddish yellow), présentant une faible effervescence à l'HCl. Existence de pores peu abondants de diamètre de 0,1cm à 0,3cm.

S1P2H2 : 53-77 cm

Texture sablo-limoneuse et structure continue, humide, friable, de couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (reddish yellow), plus effervescent à l'HCl que le premier.

S1P2H3 : 77-85 cm

Texture sablo-argileuse et structure lamellaire, friable, humide, de couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (reddish yellow), montrant une faible effervescence à l'HCl. Présence de gravier fin de diamètre différents variant de 0,2 cm jusqu'à 2cm, existence de tache noire, limite régulière.

S1P2H4 : 85-100 cm

Texture sablo-argileuse et structure continue, humide, un peu friable, de couleur à l'état sec 2,5 YR 7/4 (pale yellow), présentant une forte effervescence à l'HCl.

S1P2H5 : 100-110 cm

Texture limono-sableuse et structure continue, humide, de couleur à l'état sec 2,5 YR 7/4 (pale yellow), présentant une faible effervescence à l'HCl. Existence de tâches abondantes de couleur 5 YR 6/1 (gray), limite régulière.

S1P2H6 : 110-137 cm

Texture sablo-limoneuse et structure continue, humide, friable, de couleur à l'état sec marron jaunâtre 10 YR 7/6 (yellow). L'effervescence à l'HCl est faible.

S1P2H7 : 137-189 cm

C'est une couche blanchâtre, dure, à texture sablo-limoneuse et structure continue, de couleur à l'état sec 10 YR 8/4 (very pale brown), pas d'effervescence à l'HCl.

S1P2H8 : 189-209 cm

Texture sableuse et structure particulière, humide, de couleur à l'état sec 10 YR 8/3 (very pale brown). Existence de petits cristaux de gypse de diamètre différents variant de 0,5cm jusqu'à 3cm. Absence d'effervescence à l'HCl et existence de taches noires, limite régulière.

S1P2H9 : 209-247 cm

Texture sablo-limoneuse et structure continue, humide, de couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (reddish yellow). Existence de petits cristaux de gypse plus abondants que l'horizon 3 et 8 de diamètre différents variant de 0,5 cm jusqu'à 3 cm, non effervescent à l'HCl. Existence de taches noires, limite régulière.

III.1.2.2. Données analytiques :

Le tableau V et VI présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe **S1P2**.

Tableau V : Granulométrie de la coupe S1P2

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A %	LF%	LG%	SF% 50 µm	SG% 200 µm	
S1P2H1	0-53	4			29	67	Sableux
S1P2H2	53-77	2,60	2,60	14,18	37,79	42,83	Sable-loameux
S1P2H3	77-85	13,08	5,23	4,06	23,33	54,30	Sable-loameux
S1P2H4	85-100	12,60	5,30	4,27	49,76	28,07	Sable-loameux
S1P2H5	100-110	10,63	12,50	7,90	55,05	13,92	Loam-sableux
S1P2H6	110-137	7,80	10,20	4,41	63,04	14,55	Sable-loameux
S1P2H7	137-189	10,40	8,20	4,01	12,24	65,15	Sable-loameux
S1P2H8	189-209	19,55			20,85	59,6	Sableux
S1P2H9	209-247	12,50	4,60	10,54	31,79	40,57	Loam sableux

Tableau VI : Données analytiques de la coupe S1P2

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°c
S1P2H1	0-53	3,73	5,02	0,19	9,20	0,98
S1P2H2	53-77	3,60	6,94	0,21	8,70	1,20
S1P2H3	77-85	2,91	9,82	1,51	8,90	0,88
S1P2H4	85-100	8,04	1,03	0,93	8,50	2,69
S1P2H5	100-110	5,59	3,47	0,32	8,60	4,21
S1P2H6	110-137	3,90	5,17	0,21	8,67	1,93
S1P2H7	137-189	0,07	12,18	0,69	9,40	1,59
S1P2H8	189-209	0	16,68	0,87	9,00	4,89
S1P2H9	209-247	5,22	6,49	1,35	8,50	4,40

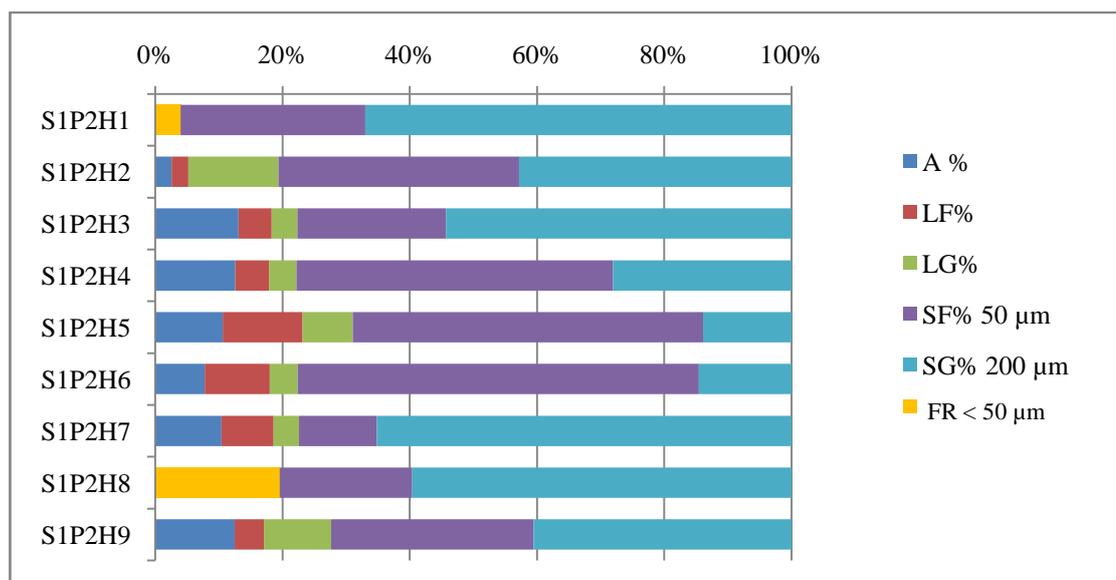


Figure 16 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P2.

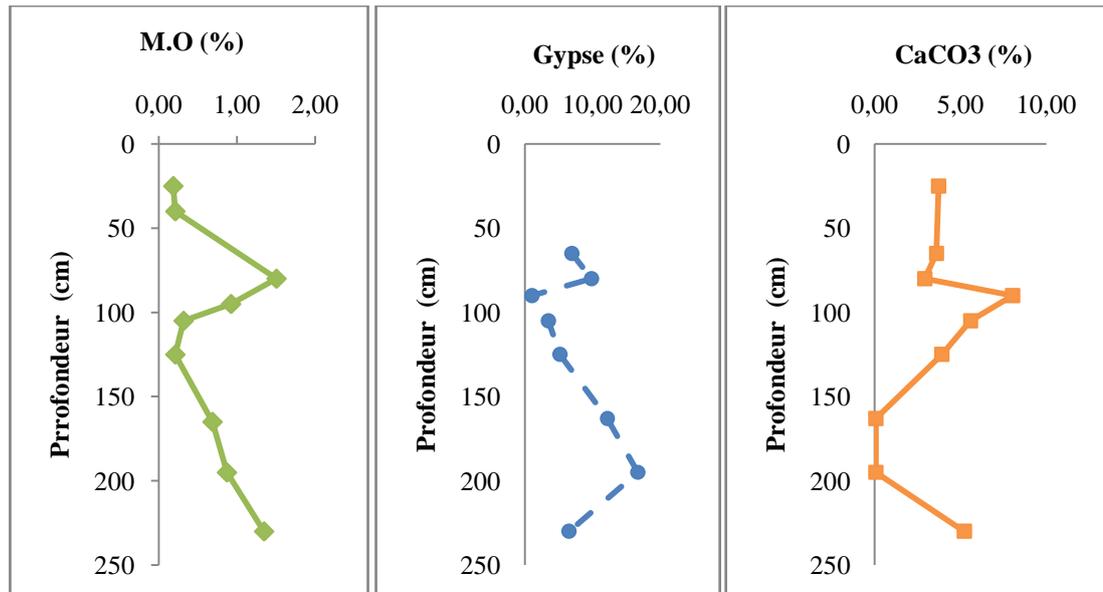


Figure 17 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P2.

III.1.2.3. Interprétation :

Les résultats de l'analyse granulométrique (Tabl V et Fig 16), montrent que la texture est Sable-loameux avec la dominance de la fraction sable fin par rapport à celle du sable grossier. Cette coupe est caractérisée par des couleurs variables. La fraction $< 50 \mu\text{m}$ est faible par rapport aux fractions de sable fin et celle du sable grossier, et le taux du limon est plus important que celui d'argile au niveau de la plupart des horizons.

Pour le dosage du calcaire total (Tabl VI et Fig 17), on observe une variabilité du taux de cet élément, entre 0,07 % et 3,90 % au niveau des horizons S1P2H1, S1P2H2, S1P2H3, S1P2H6, S1P2H7 et S1P2H8, qui sont peu calcaire et pour les horizons S1P2H4, S1P2H5 et S1P2H9, il est respectivement de 8,04 %, 5,59 % et 5,22 % et donc se sont des horizons modérément calcaire selon le tableau 03 (annexe).

Concernant le taux du gypse, les résultats d'analyses effectuées sur cette coupe (Tabl VI et Fig 17) montrent selon le tableau 02 (annexe) que les horizons S1P2H1, S1P2H2, S1P2H3, S1P2H4, S1P2H5, S1P2H6 et S1P2H9 sont légèrement gypseux et l'horizon S1P2H7 est modérément gypseux et l'horizon S1P2H8 est extrêmement gypseux avec la valeur de 16,98 %.

Le taux de la matière organique est très faible dans les horizons S1P2H1, S1P2H2, S1P2H4, S1P2H5, S1P2H6, S1P2H7 et S1P2H8 qui est estimé entre 0,19 % et 0,93 %, et les horizons S1P2H3 et S1P2H9 sont faible en matière organique, selon le tableau 05 (annexe).

Les valeurs du pH montrent que tous les horizons sont très alcalins selon le tableau 04 (annexe).

Les résultats de la conductivité électrique permettent de classer ces horizons selon le tableau 01 (annexe) en catégories :

- ✦ S1P2H1 et S1P2H3 sont peu salés.
- ✦ S1P2H2, S1P2H6 et S1P2H7 sont salés.
- ✦ S1P2H4, S1P2H5, S1P2H8 et S1P2H9 sont très salés.

III.1.3. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P3

III.1.3.1. Description morphologique

Date : 27/12/2016

Temps : Ensoleillé

Localisation : Blidet Amor

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : Sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 32°56'6,23'' N Y : 5°56'13,17'' E Alt : 71 m

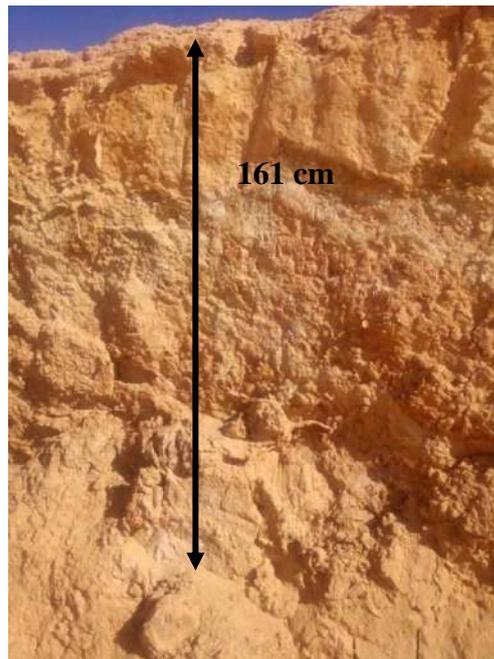


Photo 4 : La coupe S1P3.

S1P3H1 : 0-35 cm

Texture sablo-argileuse et structure particulière, sec, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/6 (reddish yellow), très faible effervescence à l'HCl. Présence des graviers fin de diamètre différents variant de 0,2 cm jusqu'à 2cm.

S1P3H2 : 35-54 cm

Texture limono-sableuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 2,5 YR 7/4 (pale yellow), moyenne d'effervescence à l'HCl que le premier horizon.

S1P3H3 : 54-76 cm

Texture limono-sableuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 7,5 YR 5/8 (strong brown), très forte effervescence à l'HCl, existence de taches noires, limite régulière.

S1P3H4 : 76-91 cm

Texture sablo-limoneuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 10 YR 6/4 (light yellowish brown). Cet horizon présente une très forte effervescence à l'HCL.

S1P3H5 : 91-161 cm

Texture Loam-limoneux structure continue, sec, de couleur à l'état sec 7,5 YR 5/6 (strong brown), l'effervescence à l'HCl est forte.

III.1.3.2. Données analytiques

Le tableau VII et VIII présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe S1P3.

Tableau VII: Granulométrie de la coupe S1P3

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A %	LF%	LG %	SF% 50 µm	SG % 200 µm	
S1P3H1	0-35	12,30	8,12	2,03	60,83	16,72	Sable-loameux
S1P3H2	35-54	7,40	30,80	24,10	35,60	2,10	Loam-limoneux
S1P3H3	54-76	7,90	28,60	27,30	35,87	0,33	Loam-limoneux
S1P3H4	76-91	15,00	20,94	12,37	51,14	0,56	Loam-sableux
S1P3H5	91-161	12,60	30,28	35,13	21,56	0,42	Loam-limoneux

Tableau VIII: Données analytiques de la coupe S1P3

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°c
S1P3H1	0-35	7,61	4,79	0,00	8,23	3,81
S1P3H2	35-54	8,82	2,53	0,71	8,47	8,19
S1P3H3	54-76	17,21	0,72	0,69	8,10	4,81
S1P3H4	76-91	18,48	0,80	0,56	7,77	7,02
S1P3H5	91-161	15,99	7,60	1,45	8,77	4,70

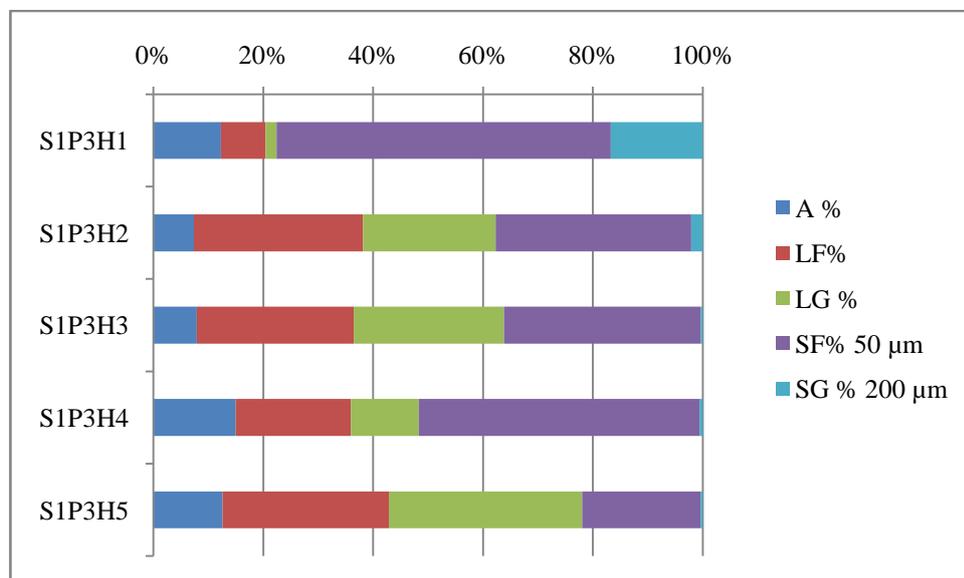


Figure 18 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P3.

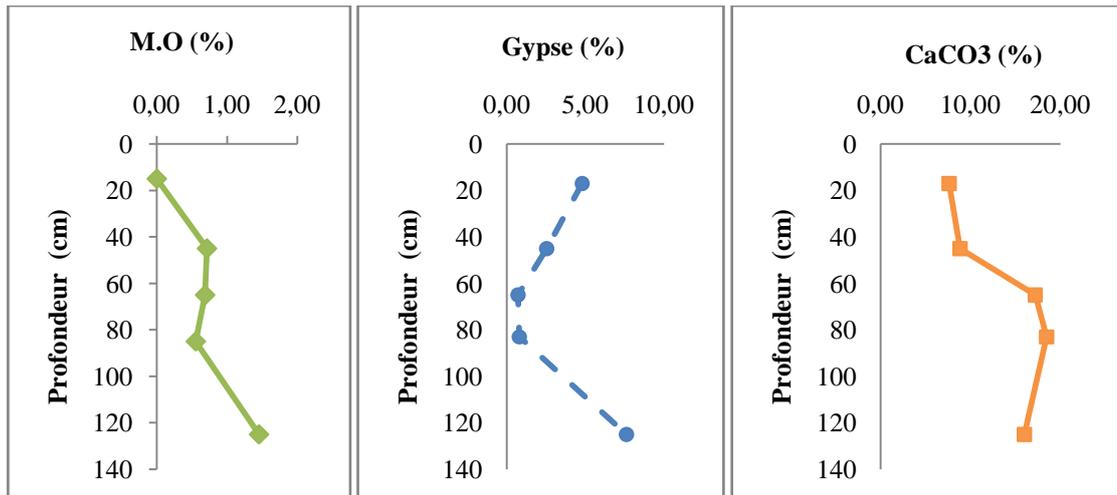


Figure 19 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P3.

III.1.3.3. Interprétation

L'analyse granulométrique (Tabl VII et Fig 18), montre que la texture est Loam-limoneux dans les horizons étudiés avec la dominance de la fraction sable fin avec 60,83% par rapport à celle du sable grossier avec 16,72 % pour l'horizon S1P3H1.

Les valeurs du calcaire total indiquent que les horizons S1P3H1 et S1P3H2 sont moyennement calcaire avec des valeurs entre 5% et 15%, et les horizons S1P3H3, S1P3H4 et S1P3H5 sont calcaire avec des valeurs supérieures à 15% (Tabl 03 en annexe).

Le taux du gypse, d'après les résultats, oscille entre 0,3 % et 10 % pour tous les horizons, donc c'est une coupe légèrement gypseuse selon le tableau 02 (annexe).

Le taux de la matière organique (Fig 19) augmente avec la profondeur. Le taux de matière organique pour les horizons de cette coupe est très faible, sauf l'horizon S1P3H5 qui est faible en matière organique selon le tableau 05 (annexe).

Concernant les valeurs du pH et d'après le tableau 04 (annexe), tous les horizons sont très légèrement alcalin, sauf l'horizon S1P3H5 qui est très alcalin.

Les horizons S1P3H1, S1P3H3 et S1P3H5 de cette coupe sont très salés, et les horizons S1P3H2 et S1P3H4 sont extrêmement salés selon les valeurs de la conductivité électrique (Tableau 01, annexe).

III.1.4. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P4

III.1.4.1. Description morphologique

Date : 28/12/2016

Temps : Ensoleillé

Localisation : Blidet Amor

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : Sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 32°55'53,59'' N Y : 5°56'14,26'' E Alt : 113 m

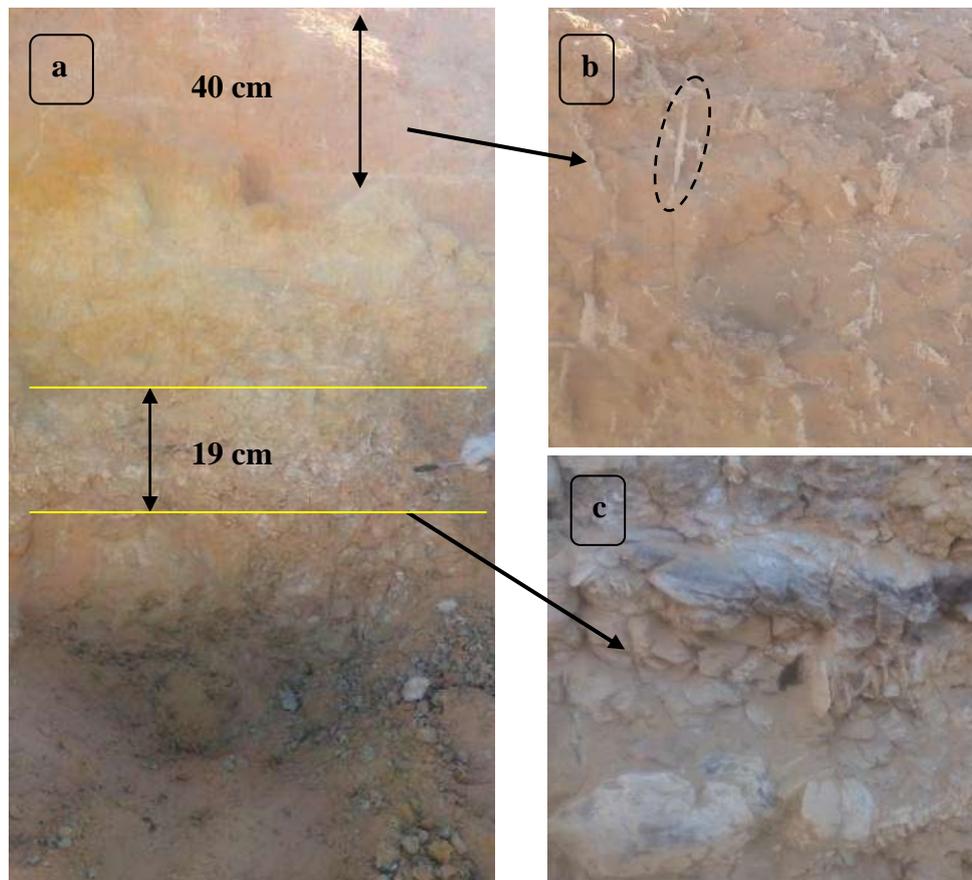


Photo 5 : a: La coupe S1P4. b: manchons de gypse et c: rose de sable.

S1P4H1 : 0-40 cm

Texture sableuse et structure particulaire, sec, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (reddish yellow), peu d'effervescence à l'HCl. Présence de manchons de gypse et de roses de sable, limite régulière.

S1P4H2 : 40-97 cm

Texture sablo-limoneuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec, 2,5 YR 7/4 (pale yellow), très faible effervescence à l'HCl. Présence de taches noires, limite régulière.

S1P4H3 : 97-116 cm

Texture limoneuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 2,5 YR 7/4 (pale yellow), très faible effervescence à l'HCl. Présence de roses de sable, limite régulière.

S1P4H4 : 116-146 cm

Texture limono-sableuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 2,5 YR 7/3 (pale yellow), très forte effervescence à l'HCl. Présence de roses de sable, limite régulière.

III.1.4.2. Données analytiques

Le tableau IX et X présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe S1P4.

Tableau IX: Granulométrie de la coupe S1P4.

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A%	LF%	LG %	SF% 50 µm	SG % 200 µm	
S1P4H1	0-40		4,35		52,15	43,5	Sableux
S1P4H2	40-97	3,40	25,20	8,53	59,29	3,58	Loam-sableux
S1P4H3	97-116	7,60	56,39	20,77	8,64	6,59	Limon
S1P4H4	116-146	14,50	20,10	22,04	38,70	4,66	Loam-limoneux

Tableau X: Données analytiques de la coupe S1P4.

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°c
S1P4H1	0-40	0,77	2,58	0,40	8,87	0,82
S1P4H2	40-97	0,21	3,25	0,61	8,80	1,56
S1P4H3	97-116	6,77	3,84	0,69	8,70	2,81
S1P4H4	116-146	16,29	3,69	1,11	8,20	3,79

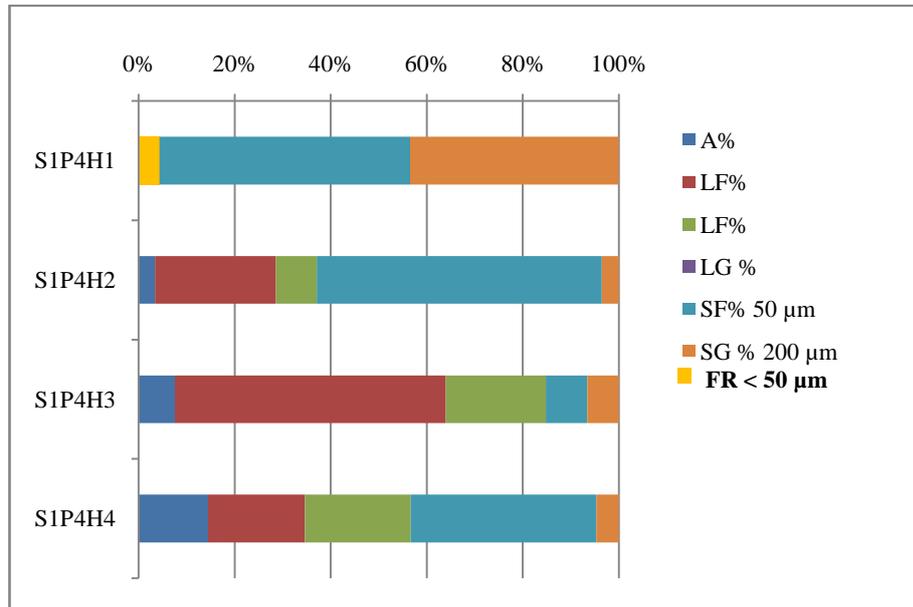


Figure 20 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P4.

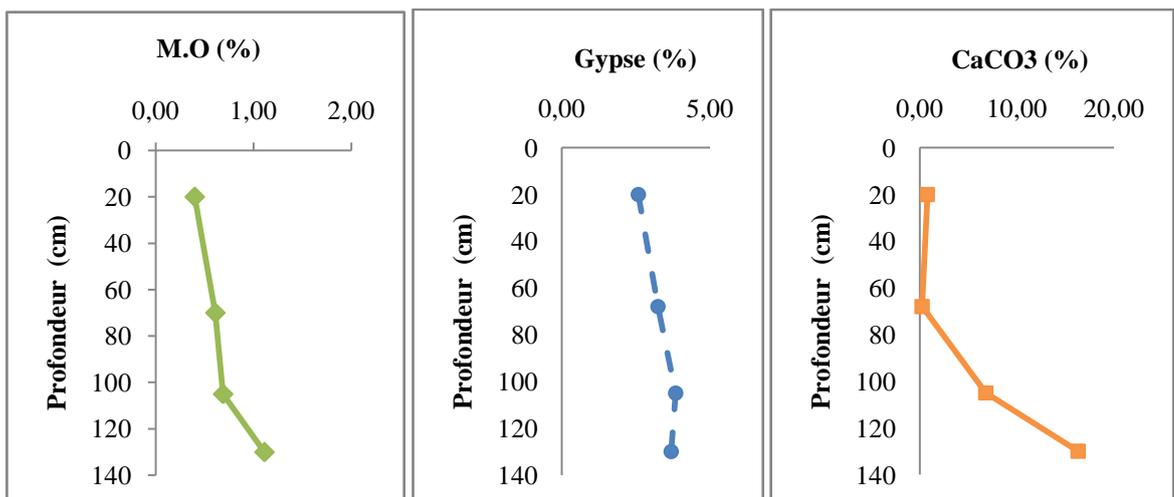


Figure 21 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P4.

III.1.4.3. Interprétation

L'analyse granulométrique (Tabl IX et Fig 20), montre que la texture est limono-sableuse dans les horizons étudiés avec la dominance de la fraction sable fin par rapport à celle du sable grossier. On observe l'augmentation des fractions < à 50 µm au niveau de l'horizon S1P4H3 par rapport aux autres horizons.

Pour le taux du calcaire total le (Tabl X et la Fig 21), permettent de classer les horizons S1P4H1 et S1P4H2 (0,21% et 0,77 %) dans la classe non calcaire et S1P4H3 (6,77 %) dans la classe moyennement calcaire et l'horizon S1P4H4 (16,29 %) comme horizon calcaire (tableau 03 en annexe).

Concernant le taux du gypse, les résultats d'analyses effectuées sur cette coupe (Tabl X et Fig 21) montrent selon le tableau 02 (annexe) que tous les horizons sont légèrement gypseux. Cette teneur du gypse augmente avec la profondeur, avec 2,58% pour S1P4H1 et 3,84% pour S1P4H3. Existence du gypse sous forme de manchons et de roses de sable (Photo 05).

Le taux de la matière organique est très faible dans les horizons S1P4H1, S1P4H2 et S1P4H3 et faible pour l'horizon S1P4H4 (tableau 05 en annexe).

Les valeurs de la conductivité électrique (Fig 21) augmentent avec la profondeur. L'horizon S1P4H1 est peu salé, l'horizon S1P4H2 est salé, cependant les autres horizons S1P4H3 et S1P4H4 sont très salés, selon le tableau 01 (annexe).

On observe une variabilité des valeurs du pH des horizons, qui tend à diminuer avec la profondeur (Tabl X). Il est très alcalin pour S1P4H1, S1P4H2 et S1P4H3, et l'horizon S1P4H4 est légèrement alcalin selon le tableau 04 (annexe).

III.1.5. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S1P5

III.1.5.1. Description morphologique

Temps : Ensoleillé

Localisation : Blidet Amor

Végétation : Absence de Végétation

Etat de surface : Sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 32°56'48,79'' N Y : 5°55'41,88'' E Alt : 74 m

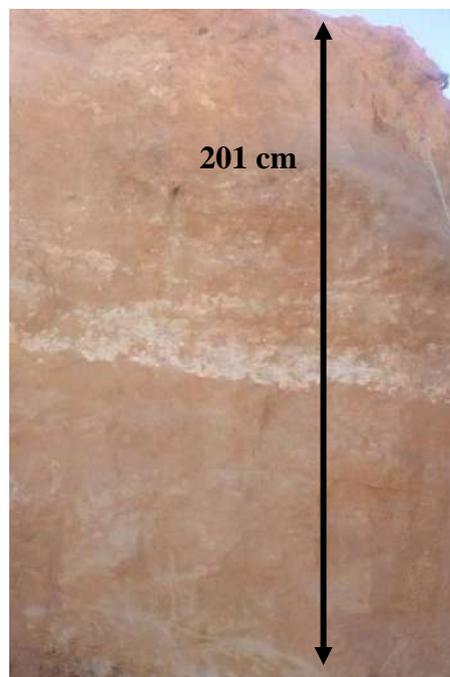


Photo 6 : La coupe S1P5.

S1P5H1 : 0-63 cm

Il s'agit d'un horizon à texture sableuse et structure particulière, sec, de couleur à l'état sec 10 YR 6/6 (brownish yellow), présentant une très faible effervescence à l'HCl, avec la présence de racines, limite régulière.

S1P5H2 : 63-81 cm

C'est une couche blanchâtre, dure, à texture sableuse et structure particulière, sec, de couleur à l'état sec 10 YR 8/3 (very pale brown), avec une effervescence à l'HCl plus importante que les autres horizons.

S1P5H3 : 81-146 cm

Texture sableuse et structure particulière, sec, de couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (reddish yellow). Pas d'effervescence à l'HCl, présence des racines, limite régulière.

S1P5H4 : 146-164 cm

Texture sableuse et structure particulière, sec, de couleur à l'état sec 10 YR 7/6 (yellow), pas d'effervescence à l'HCl. On observe une couche gypseuse.

S1P5H5 : 164-201 cm

Texture sablo-limoneuse et structure continue, sec, de couleur à l'état sec 7,5 YR 5/8 (strong brown). Cet horizon ne présente pas d'effervescence à l'HCl. Présence des racines, limite régulière.

III.1.5.2. Données analytiques

Le tableau XI et XII présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe S1P5.

Tableau XI : Granulométrie de la coupe S1P5.

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A %	LF%	LG%	SF% 50 µm	SG % 200 µm	
S1P5H1	0-63		6,6		53,05	40,35	Sableux
S1P5H2	63-81	1,30	3,20	1,60	30,50	63,40	Sable
S1P5H3	81-146		2,4		40,8	56,8	Sableux
S1P5H4	146-164		3,05		61,85	35,1	Sableux
S1P5H5	164-201	3,50	5,03	12,20	63,01	16,26	Sable-loameux

Tableau XII: Données analytiques de la coupe S1P5.

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°c
S1P5H1	0-63	6,90	1,66	0,03	8,60	1,25
S1P5H2	63-81	34,13	1,70	0,61	8,60	1,27
S1P5H3	81-146	0,04	3,69	0,79	9,20	0,40
S1P5H4	146-164	0,00	10,48	0,37	9,27	0,41
S1P5H5	164-201	0,09	5,61	0,56	8,57	0,66

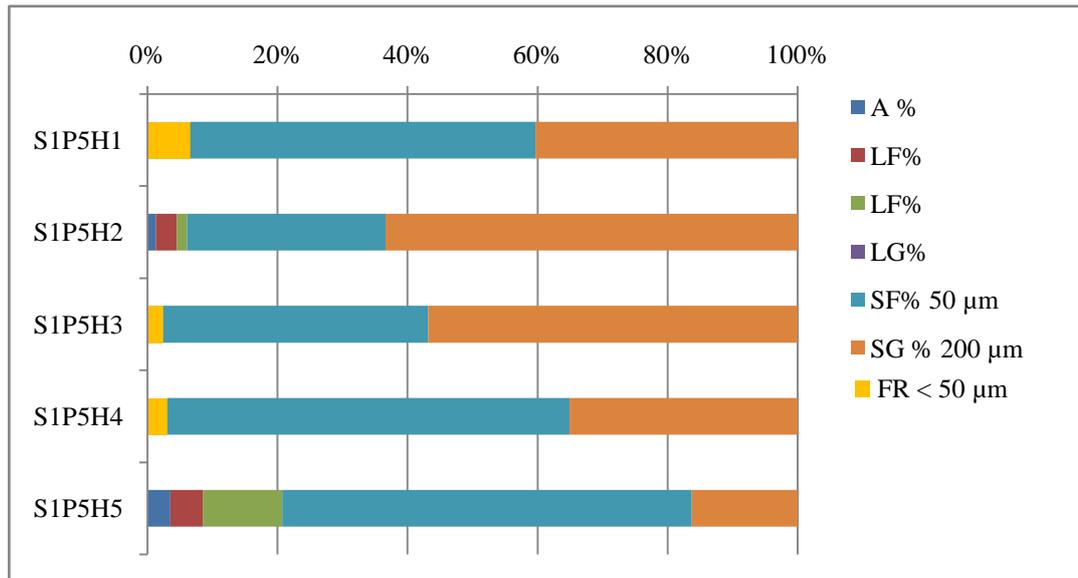


Figure 22 : Profil de la granulométrie pour la coupe S1P5

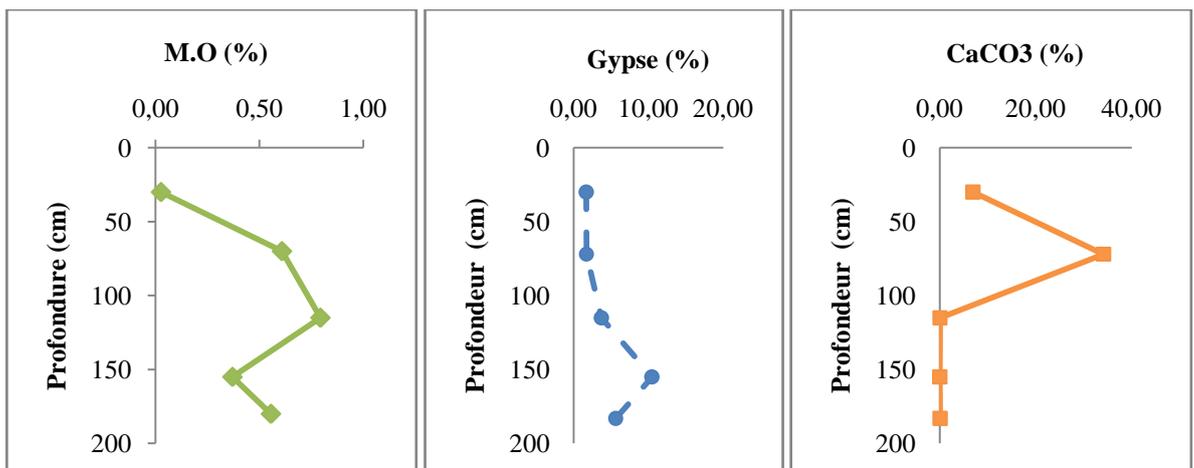


Figure 23 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S1P5.

III.1.5.3. Interprétation

L'analyse granulométrique (Tabl XI et Fig 22), montre que la texture est sableuse dans les horizons étudiés avec la dominance de la fraction sable fin par rapport à celle du sable grossier. Les fractions <50 µm sont faibles.

Les données analytiques de cette coupe montrent que le taux du calcaire total (Tableau XII et figure 23), oscillent entre 0% et 0,09% pour les horizons S1P5H3, S1P5H4, S1P5H5 qui sont non calcaire. L'horizon S1P5H1 est modérément calcaire avec 6,90% et l'horizon S1P5H2 est très calcaire avec 34,13% (Tableau 03, annexe).

Le taux du gypse et d'après les résultats d'analyses effectuées sur cette coupe (Tabl XII et fig 23) montrent selon le tableau 02 (annexe), que les horizons S1P5H1, S1P5H2, S1P5H3 et S1P5H5 sont légèrement gypseux, sauf l'horizon S1P5H4 qui est modérément gypseux.

Les taux de la matière organique sont très faibles dans tous les horizons de cette coupe (Tabl XII et Fig 23).

Les valeurs du pH montrent que ces horizons sont tous très alcalins selon le tableau 04 (annexe).

D'après les résultats de la conductivité électrique et selon le tableau 01 (annexe), les horizons S1P5H3, S1P5H4 et S1P5H5 sont peu salés et les autres horizons (S1P5H1 et S1P5H2) sont salés.

III.1.6. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S2P1

III.1.6.1. Description morphologique

Date : 04/02/2017

Temps : Ensoleillé

Localisation : Témacine N° 552

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 33°0'41,9'' N Y : 5°58'36,34'' E Alt : 78 m



Photo 7 : La coupe S2P1



Photo 8 : Rose de sable au niveau de la coupe S2P1.

S2P1H1 : 0-20 cm

C'est une croûte gypseuse, sèche, de couleur à l'état sec 10 YR 7/3 (very pale brown), ne présentant pas d'effervescence à l'HCl.

S2P1H2 : 20-83 cm

Horizon à texture sablo-limoneuse, structure continue, de couleur à l'état sec 10 YR 8/1 (white), sèche, plus ou moins dure, ne présentant pas d'effervescence à l'HCl. L'existence

d'une forme de gypse cristallisée en rose de sable.

S2P1H3 : 83-131 cm

Horizon à texture limono-sableuse, à structure continue, sèche, plus ou moins dure, avec une moyenne effervescente à l'HCl. L'existence de gypse sous forme cristallisée de rose de sable, peu abondant, de couleur à l'état sec 10 YR 7/4 (very pale brown).

S2P1H4 : 131-164 cm

Il s'agit d'un horizon, humide, friable, présentant une faible effervescence à l'HCl. Existence de tâches noires. Texture sablo-limoneuse, structure particulier, de couleur à l'état frais 7,5 YR 5/8 (strong brown), existence de roses de sable, limite régulière.

III.1.6.2. Données analytiques

Le tableau XIII et XIV présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe S2P1.

Tableau XIII: Granulométrie de la coupe S2P1.

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A %	LF %	LG %	SF % 50 µm	SG % 200 µm	
S2P1H1	0-20	18,95			18,6	62,45	Sableux
S2P1H2	20-83	9,34	38,22	5,10	8,10	39,24	Loam-limoneux
S2P1H3	83-131	12,40	58,77	5,55	8,43	14,86	Loam-limoneux
S2P1H4	131-164	15,60	30,67	8,90	36,96	7,87	Loam-limoneux

Tableau XIV: Données analytiques de la coupe S2P1.

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°c
S2P1H1	0-20	0,03	16,75	0,90	7,70	0,64
S2P1H2	20-83	0	20,15	1,88	7,90	7,97
S2P1H3	83-131	7,82	19,85	1,98	7,70	13,03
S2P1H4	131-164	0	3,08	2,19	7,67	12,98

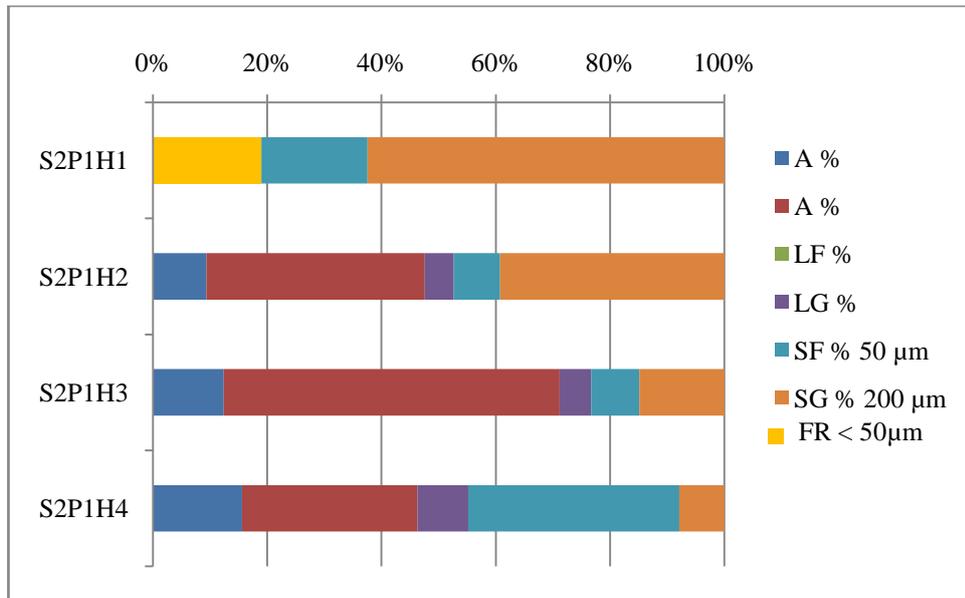


Figure 24 : Profil de la granulométrie pour la coupe S2P1.

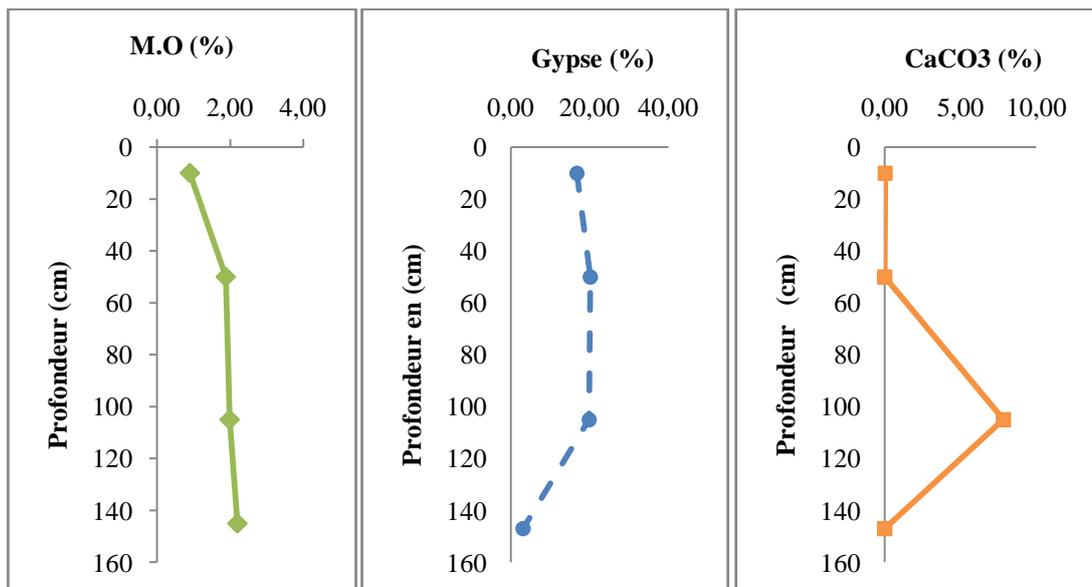


Figure 25 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S2P1.

III.1.6.3. Interprétation

La granulométrie (Tabl XIII et Fig 24), montre que la texture est Loam-limoneux avec une dominance de la fraction sable grossier par rapport à celle du sable fin, on observe pour le sable grossier diminue avec la profondeur et les particules fines < 50 µm augmentent avec la profondeur.

Pour le dosage du calcaire total (Tabl XIV et Fig 25), on observe une variabilité du taux de calcaire, entre 0 % et 0,3 % pour les horizons S2P1H1, S2P1H2 et S2P1H4 qui paraissent non calcaires, sauf l'horizon S2P1H3 qui est modérément calcaire (7,82 %) selon le tableau 03 (annexe).

Concernant le taux du gypse, les résultats d'analyses effectuées sur cette coupe (Tabl XIV et fig 25) montrent selon le tableau 02 (annexe) que les horizons S2P1H1, S2P1H2 et S2P1H3 sont extrêmement gypseux et l'horizon S2P1H4 est légèrement gypseux, ceci est en accord avec les observations morphologiques sur terrain où nous avons remarqués que les accumulations gypseuses sont plus abondantes dans les horizons de surface.

Le taux de la matière organique tableau 05 (annexe) est très faible dans l'horizon S2P1H1 (0,90 %), faible pour les horizons S2P1H2 et S2P1H3 et moyen pour S2P1H4 (Tabl XIV et fig 25).

Concernant les valeurs du pH et d'après le tableau 04 (annexe), tous les horizons sont très légèrement alcalin.

D'après les résultats de la conductivité électrique et selon le tableau 01 (annexe), les horizons de cette coupe sont extrêmement salés sauf S1P5H1 qui est non salé.

III.1.7. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S2P2

III.1.7.1. Description morphologique :

Date : 04/02/2017

Temps : Ensoleillé

Localisation : Témacine N° 552

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 33°0'40,7'' N Y : 5°58'34,55'' E Alt : 84 m



Photo 9: La coupe S2P2.

S2P2H1 : 0-70 cm

Il s'agit d'une croûte gypseuse blanchâtre, sèche, présentant une faible effervescence à l'HCl, de couleur à l'état sec 10 YR 8/3 (very pale brown). Existence de pores, peu abondant.

S2P2H2 : 70-115 cm

Texture sablo-limoneuse, structure continue, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/4 (pink), sèche, pas d'effervescence à l'HCl. Présence de cristaux de gypse et des pores, peu abondants, existence de tâches noires, limite régulière.

S2P2H3 : 115-138 cm

Il s'agit d'un horizon à texture sablo-limoneuse et à structure continue, humide, friable, de couleur à l'état sec 7,5 YR 5/4 (brown), présentant une faible effervescence à l'HCl. Présence de cristaux de gypse et des pores, peu abondant, limite régulière.

III.1.7.2. Données analytiques

Le tableau XV et XVI présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe S2P2.

Tableau XV: Granulométrie de la coupe S2P2

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A %	LF %	LG %	SF% 50 μm	SG% 200 μm	
S2P2H1	0-70		19,25		27,4	53,35	Sableux
S2P2H2	70-115	10,96	20,70	2,52	36,39	29,43	Loam-sableux
S2P2H3	115-138	9,88	30,62	7,69	37,36	14,45	Loam-sableux

Tableau XVI : Données analytiques de la coupe S2P2

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°c
S2P2H1	0-70	0	17,31	1,08	7,47	2,02
S2P2H2	70-115	0	18,23	0,79	8,27	4,24
S2P2H3	115-138	0,21	8,72	2,22	7,87	4,88

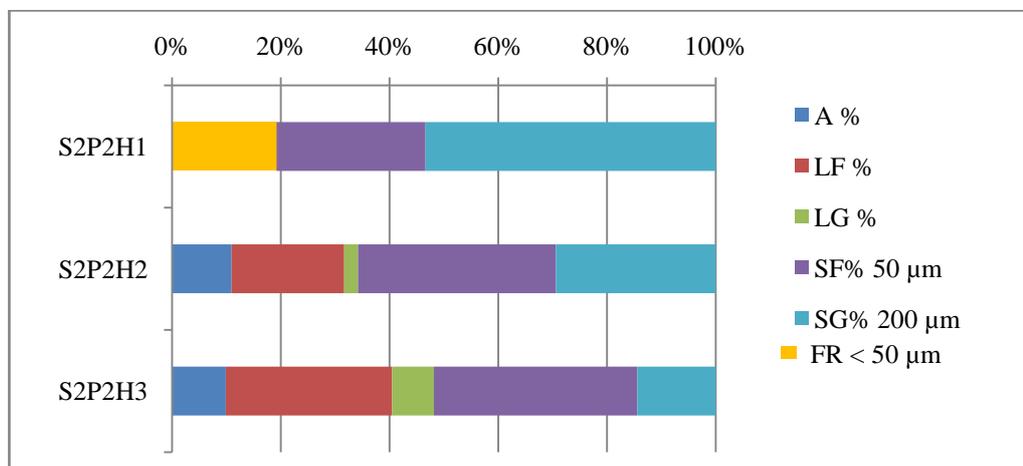


Figure 26 : Profil de la granulométrie pour la coupe S2P2.

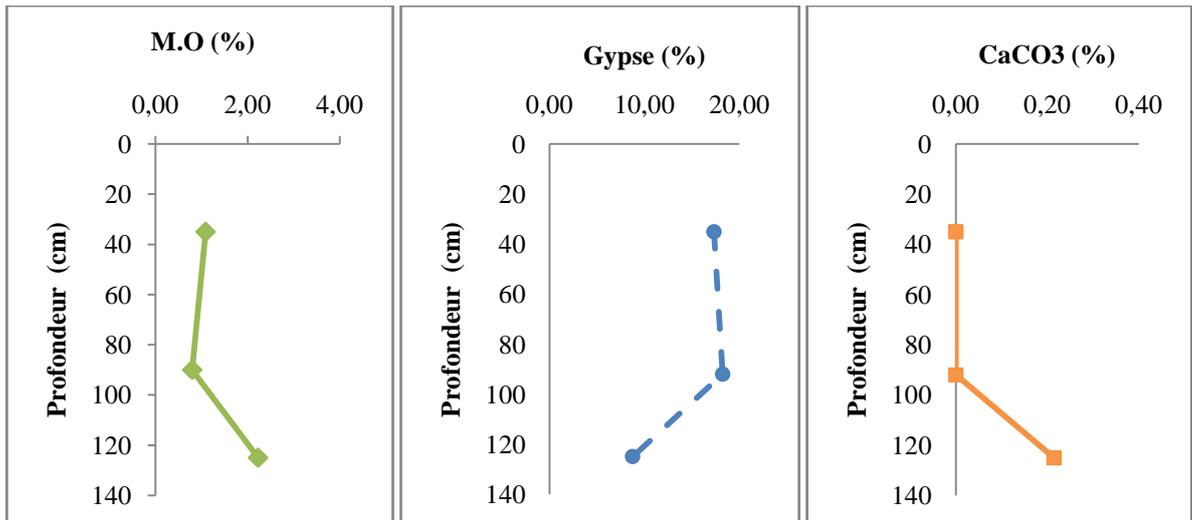


Figure 27 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S2P2.

III.1.7.3. Interprétation

Les résultats de granulométrie (Tabl XV et Fig 26), montrent que la texture est Loam-sableux dans les horizons étudiés avec la dominance de la fraction sable fin par rapport à celle du sable grossier. Les fractions de sable grossier diminuent avec la profondeur par contre les fractions de sable fin augmentent. Les fractions $<50 \mu\text{m}$ augmentent avec la profondeur.

Le taux du calcaire total (Tabl XVI et Fig 27) permet de classer tous les horizons comme non calcaire (Tableau 03 annexe).

Cependant celui du gypse d'après la figure 27 et le tableau 02 (annexe) montre que les horizons S2P2H1 avec 17,31% et S2P2H2 avec 18,23% sont extrêmement gypseux et l'horizon S2P2H3 avec 8,72% est légèrement gypseux. Ceci est expliqué par l'observation morphologique sur terrain où nous avons remarqué que les accumulations gypseuses sont plus abondantes dans les horizons de surface.

Le taux de la matière organique (Fig 27) augmente avec la profondeur, le taux de matière organique pour les horizons de cette coupe est faible, sauf pour l'horizon S2P2H2 qui est très faible en matière organique (0,79 %) selon le tableau 05 (annexe).

Les valeurs de la conductivité électrique augmentent avec la profondeur. L'horizon S2P2H1 est salé, et les horizons S2P2H2 et S2P2H3 sont très salés (Tableau 01 annexe).

Selon les valeurs du pH et d'après le tableau 04 (annexe) on observe que le pH est entre 7 et 8,5, donc c'est une coupe très légèrement alcaline.

III.1.8. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S3P1

III.1.8.1. Description morphologique

Date : 06/02/2017

Temps : Ensoleillé

Localisation : La route de Messaad (RN 1B)

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 33°6'32'' N Y : 5°47'36,13'' E Alt : 122 m

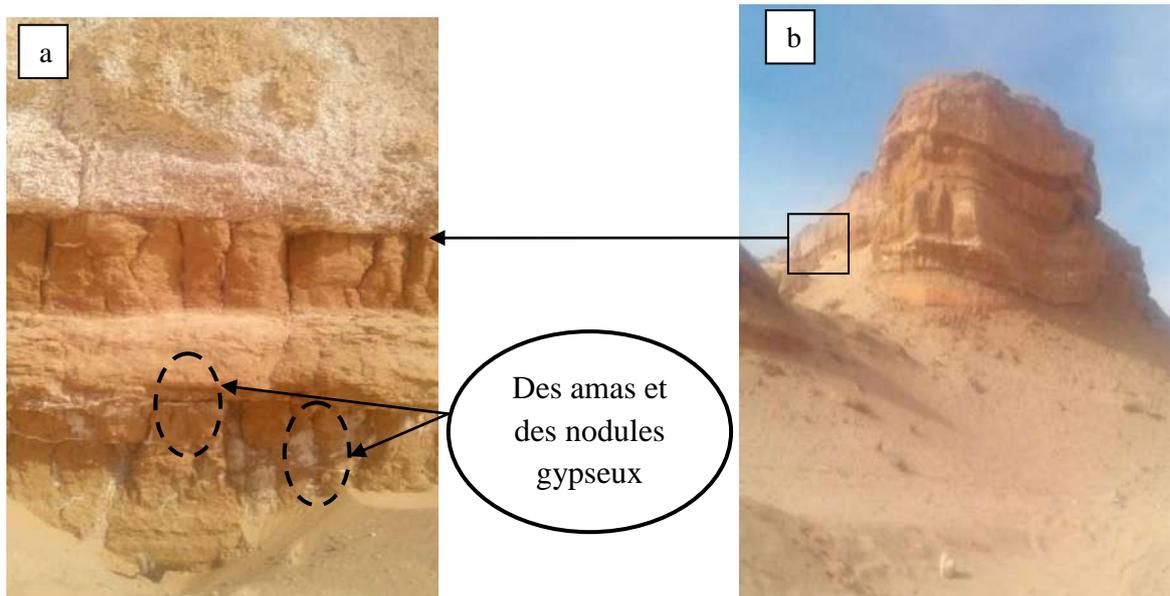


Photo 10: a : La coupe S3P1 b : vue générale de la coupe montrant la butte témoin.

S3P1H1 : 0-80 cm

C'est un horizon de croûte gypseuse à couleur blanchâtre, sec, présentant une moyenne effervescence à l'HCl de couleur blanchâtre à l'état sec 7,5 YR 7/4 (pink).

S3P1H2 : 80-123 cm

C'est une couche fissurée, sèche, présentant une très forte effervescence à l'HCl de texture sablo-limoneuse et de structure continue, de couleur à l'état sec 7,5 YR 5/8 (strong brown). Existence de petits nodules gypseux blanchâtres peu abondants, limite régulière.

S3P1H3 : 123-161 cm

Texture sablo-limoneuse et structure continue, sec, très forte effervescence à l'HCl, de couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (reddish yellow). Existence de petits nodules gypseux blanchâtres peu abondants que l'horizon précédent, limite régulière.

S3P1H4 : 161-241 cm

Texture limono-sableuse, structure continue, sec, très forte effervescence à l'HCl, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/4 (pink). Existence des amas gypseuse blanchâtre plus abondante que l'horizon précédent, et présence de tâches noires, limite régulière.

III.1.8.2. Données analytiques

Le tableau XVII et XVIII présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe S3P1.

Tableau XVII: Granulométrie de la coupe S3P1

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A %	LF %	LG %	SF% 50 μ m	SG% 200 μ m	
S3P1H1	0-80	1,30	19,30	30,73	23,41	25,26	Loam-limoneux
S3P1H2	80-123	9,60	31,16	10,86	45,63	2,75	Loam-limoneux
S3P1H3	123-161	6,40	10,60	3,55	75,78	3,67	Sable-loameux
S3P1H4	161-241	8,30	55,61	9,51	22,64	3,93	Loam-limoneux

Tableau XVIII: Données analytiques de la coupe S3P1

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°C
S3P1H1	0-80	12,90	27,37	0,40	8,00	2,96
S3P1H2	80-123	13,68	4,58	0,93	8,40	2,09
S3P1H3	123-161	29,78	4,72	0,79	7,60	0,86
S3P1H4	161-241	19,85	13,28	1,32	8,27	5,51

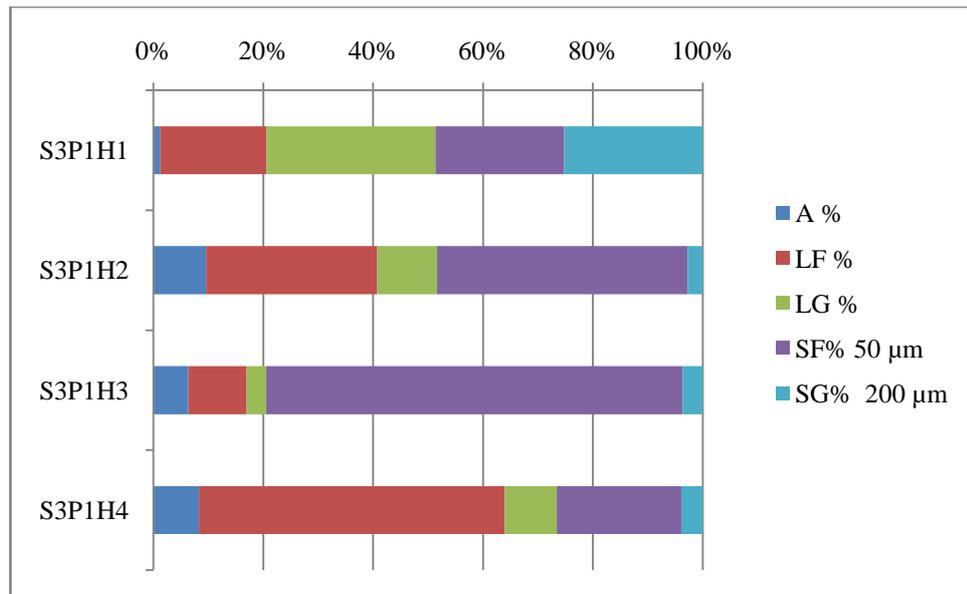


Figure 28 : Profil de la granulométrie pour la coupe S3P1.

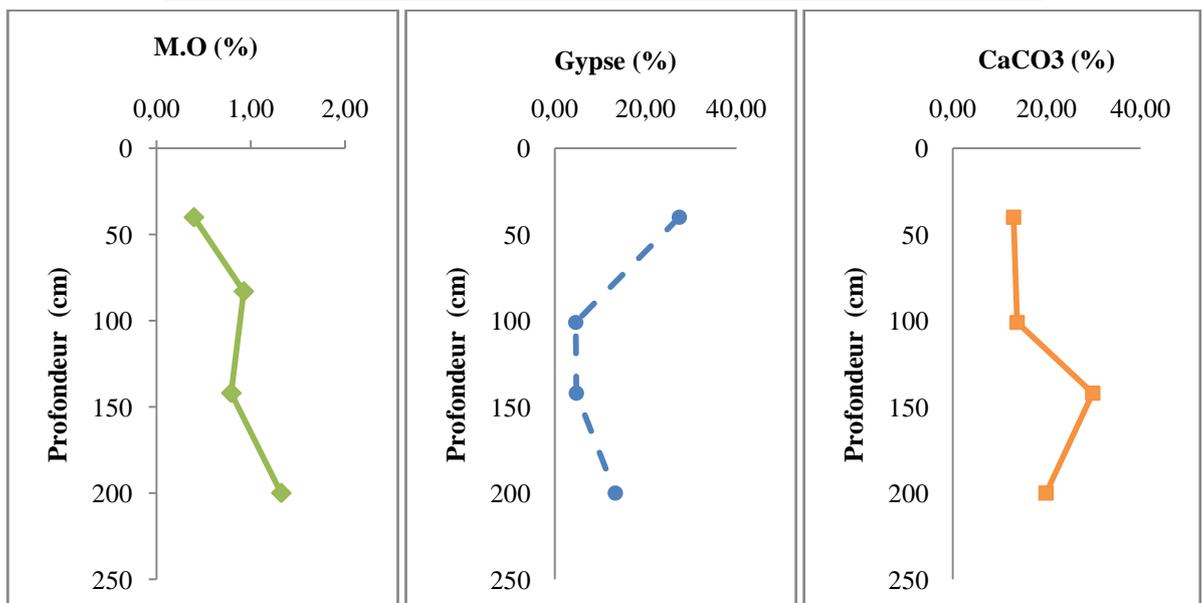


Figure 29 : Profils calcaire, gypseux et de matière organique de la coupe S3P1.

III.1.8.3. Interprétation

L'étude morphologique et analytique (tableau XVII) de cette coupe révèle une stratification plus ou moins marquée des horizons.

Pour la granulométrie (Tabl XVII et Fig 28), les résultats montrent que la texture est limono-sableuse, et on observe la dominance de la fraction sable fin par rapport à celle du sable grossier dans les horizons étudiés, par exemple, pour l'horizon S3P1H3 on constate que le pourcentage du sable fin est de 75,78% comparativement au sable grossier avec seulement 3,67%.

Les résultats obtenus pour le taux du calcaire total (Tabl XVII et Fig 29) permettent de classer les horizons S3P1H1 et S3P1H2 dans la classe modérément calcaire et l'horizon S3P1H3 et S3P1H4 dans la classe de sol calcaire avec des valeurs de 29,78 % et 19,85 % respectivement (Tableau 03 annexe).

Concernant le taux du gypse, les résultats d'analyses effectuées sur cette coupe (Tabl XVIII et Fig 29) montrent selon le tableau 02 (annexe) que les horizons S3P1H2 et S3P1H3 sont légèrement gypseux et l'horizon S3P1H4 est modérément gypseux et l'horizon S3P1H1 est extrêmement gypseux. Ceci est en accord avec les observations morphologiques sur terrain où nous avons remarqués que les accumulations gypseuses sous formes des croûtes, des nodules et des amas sont plus abondantes surtout dans les horizons S3P1H1 et S3P1H4 (photos 10).

Le taux de la matière organique (Fig 29) augmente avec la profondeur, il est très faible et ne dépasse pas 1 % sauf pour l'horizon S3P1H4 qui est faible en matière organique (1,32 %) selon le tableau 05 (Annexe).

On observe d'après les valeurs du pH de cette coupe que tous les horizons sont très légèrement alcalin selon le tableau 04 (Annexe).

Les résultats obtenus pour les valeurs de la conductivité électrique montrent selon le tableau 01 (Annexe) que l'horizon S3P1H3 est peu salé et l'horizon S3P1H2 est salé et pour les horizons S3P1H1 et S3P1H4 sont très salés.

III.1.9. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S3P2

III.1.9.1. Description morphologique

Date : 06/02/2017

Temps : Ensoleillé

Localisation : La route de Messaad (RN 1B)

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 33°6'29,23'' N Y : 5°47'37,9''E Alt : 105 m



Photo 11: La coupe S3P2.

S3P2H1 : 0-30 cm

Il s'agit d'un horizon à texture sableuse et à structure continue, sec, très dure, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/4 (Pink). Il présente une moyenne effervescence à l'HCl. On observe l'existence de manchons de gypse.

S3P2H2 : 30-145 cm

Pour cet horizon la texture est sablo-limoneuse, la structure est continue. Il est sec, très dure, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/6 (reddish yellow), faible effervescence à l'HCl.

III.1.9.2. Données analytiques

Le tableau XIX et XX présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe S3P2.

Tableau XIX: Granulométrie de la coupe S3P2.

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A%	LF%	LG%	SF% 50 µm	SG% 200 µm	
S3P2h1	0-30	10,85			23,95	65,2	Sableux
S3P2h2	30-145	5,34	15,34	4,45	28,21	46,66	Sable-loameux

Tableau XX: Données analytiques de la coupe S3P2.

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°c
S3P2h1	0-30	7,82	14,39	0,71	8,93	0,68
S3P2h2	30-145	4,50	20,66	1,82	7,97	3,53

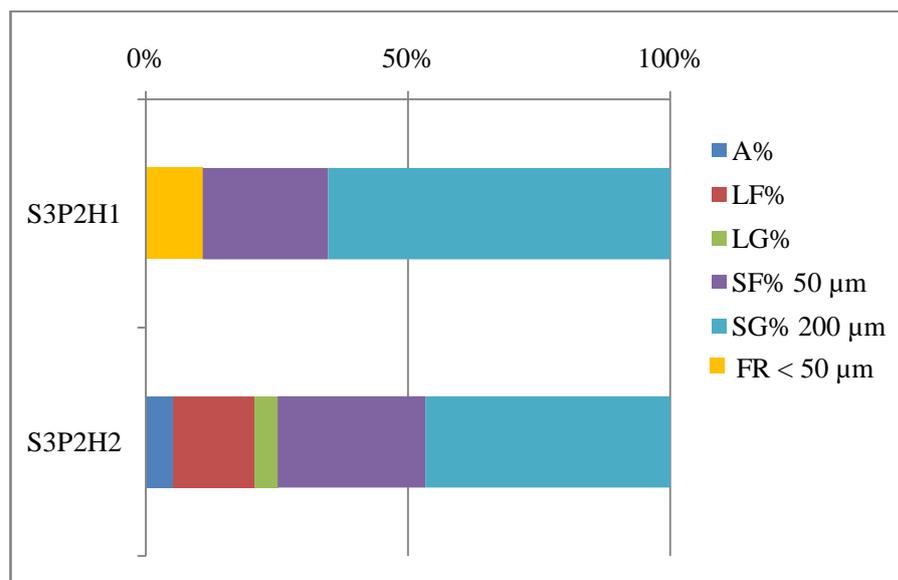


Figure 30 : Profil de la granulométrie pour la coupe S3P2.

III.1.9.3. Interprétation

La granulométrie de cette coupe (Tabl XIX et Fig 30), nous montre que la texture est Sable-loameux, et les fractions des sables fins et grossiers dominant par rapport à la fraction < à 50 µm, et on remarque que la fraction < à 50 µm augmente avec la profondeur.

Le calcaire total (Tabl XX et) tend à diminuer avec la profondeur. L'horizon S3P2H1 avec 7,82 % est modérément calcaire, et l'horizon S3P2H2 avec 4,5 % est peu calcaire (tableau 03 annexe).

Le taux du gypse de cette coupe (Tabl XX) augmente avec la profondeur, montrant selon le tableau 02 (annexe) que l'horizon S3P2H1 est modérément gypseux et l'horizon S3P2H2 est extrêmement gypseux.

Cependant le taux de la matière organique est très faible dans l'horizon S3P2H1 et faible dans l'horizon S3P2H2 (Tabl XX). Ces valeurs augmentent avec la profondeur.

Selon les valeurs du pH et d'après le tableau 04 (Annexe), nous pouvons dire que l'horizon S3P2H1 est très alcalin, et l'horizon S3P2H2 est très légèrement alcalin.

Les valeurs de la conductivité électrique (Tableau XX) montrent que l'horizon S3P2H1 est peu salé avec une valeur de 0,68 ds/m et l'horizon S3P2H2 est très salé avec 3,53 ds/m (Tableau 01 annexe).

III.1.10. Caractérisation morphologique et analytique de la coupe S3P3

III.1.10.1. Description morphologique

Date : 06/02/2017

Temps : Ensoleillé

Localisation : La route de Messaad (RN 1B)

Végétation : Végétation naturelle (*Zygophyllum album*)

Etat de surface : sableux

Topographie : Plane

Cordonnée géographique : X : 33°6'30,2'' N Y : 5°47'40,42''E Alt : 113 m



Photo 12: La coupe S3P3.



Photo 13: Nodules gypseux au niveau de la coupe S3P3.

S3P3H1 : 0-34 cm

Texture sableuse, structure continue, sec, plus ou moins dure, de couleur à l'état sec 7,5 YR 7/4 (pink), moyenne effervescence à l'HCl. Existence de pores de diamètre de 0,1 à 0,5 cm. Nous avons observé l'existence de manchons de gypse.

S3P3H2 : 34-199 cm

Texture sableuse, structure continue, sec, très dure que le premier horizon, de couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (Reddish yellow), moyenne effervescence à l'HCl. Existence de nodules gypseux très abondants de diamètre 0,2 à 3 cm.

III.1.10.2. Données analytiques

Le tableau XII présente les résultats des analyses physico-chimiques de la coupe **S3P3**

Tableau XXI: Granulométrie de la coupe S3P3

Echa.	Prof. (cm)	Granulométrie (%)					Texture
		A %	LF%	LG %	SF% 50 μ m	SG% 200 μ m	
S3P3H1	0-34	1,03	8,64	2,50	62,10	25,72	Sable-loameux
S3P3H2	34-199	1,30	5,87	5,23	70,82	16,79	Sable-loameux

Tableau XXII: Données analytiques de la coupe S3P3

Echa.	Prof. (cm)	Calcaire total %	Gypse %	M.O %	pH	CE ds/m à 25°C
S3P3H1	0-34	12,61	9,65	0,63	8,30	3,10
S3P3H2	34-199	13,59	4,10	1,19	8,07	4,15

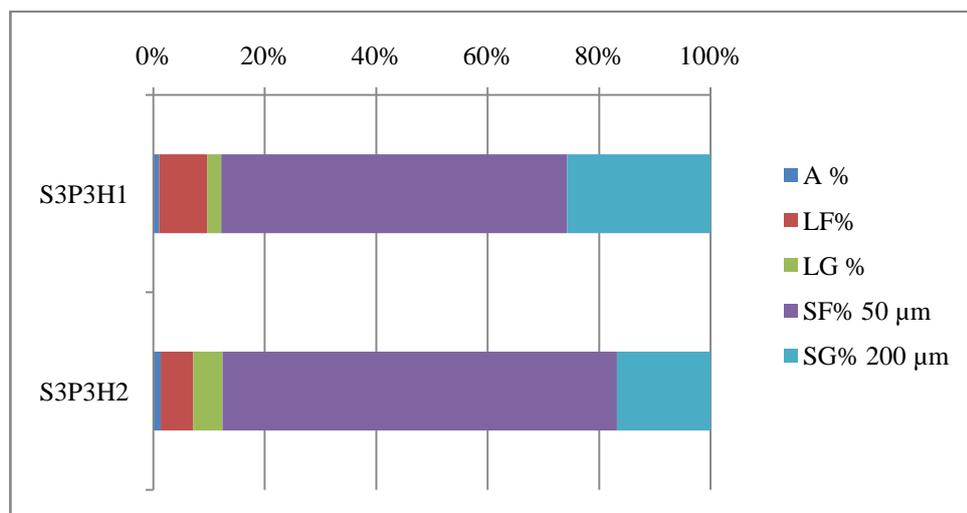


Figure 31 : Profil de la granulométrie pour la coupe S3P3.

III.1.10.3. Interprétation

L'étude granulométrique (Tabl XXI et Fig 32), montre que la texture est Sable-loameux dans les deux horizons étudiés avec la dominance de la fraction sable fin par rapport à celle du sable grossier par exemple l'horizon S3P3H1 la fraction de sable fin est de 62,10 % et le sable grossier est de 25,72 %.

Les résultats obtenus pour le taux du calcaire total (Tabl XXII) permettent de classer tous les horizons dans la classe modérément calcaire (Tableau 03 annexe). On observe que ce taux augmente avec la profondeur.

Concernant le taux du gypse, les résultats d'analyses effectuées sur cette coupe (Tabl XXII) montrent qu'il diminue avec la profondeur, et que selon le tableau 02 (Annexe) tous les horizons sont légèrement gypseux.

Cependant le taux de la matière organique selon le tableau 05 (annexe) est très faible dans l'horizon S3P3H1 et faible en matière organique dans l'horizon S3P3H2 (TablXXII).

Les valeurs du pH montrent que tous les horizons sont très légèrement alcalins selon le tableau 04 (Annexe).

D'après les résultats de la conductivité électrique et selon le tableau 01 (Annexe), tous les horizons de cette coupe sont très salés.

III.2. Résultats des études minéralogiques des argiles par IRTF

Les résultats de l'étude minéralogique de la fraction argileuse ($< 2\mu\text{m}$) par spectroscopie IRTF sont résumés au niveau du tableau XIII.

Tableau XXIII: Les minéraux argileux et non argileux détectés par spectroscopie IRTF.

Couche	Montmorillonite	Kaolinite	Illite	Palygorskite	Quartz	Calcite
S1P33	+	+	+	+	+	+
S1P34	+	+	+	+	+	
S1P35	+	+	+	+	+	
S3P12	+	+	+	+	+	
S3P13	+	+	+	+	+	

III.2.1. Interprétation

- Coupe S1P3

Les spectres IRTF des horizons de la coupe S1P3 montrent la présence de pics aux alentours de 3695, 3645 et 3625 cm^{-1} attribués à la kaolinite (FARMER et RUSSELL, 1964; FARMER, 1968; NAYAK et SINGH, 2007).

Selon FARMER (1968), une kaolinite bien cristallisée présente quatre liaisons régulières dans le domaine des OH stretching entre 3700 et 3620 cm^{-1} .

Les spectres MIR du sol contiennent généralement plusieurs régions qui peuvent être fortement influencées par les minéraux (Parikh et *al.*, 2014). La présence de kaolinite, de smectite ou d'illite entraînera un pic près de 3620 cm^{-1} en raison de l'étirement d'hydroxyle dans les aluminosilicates (Nguyen et *al.*, 1991).

Dans le domaine toujours des OH stretching, une bande aux alentours de 3541 cm^{-1} fait son apparition indiquant la présence de la palygorskite (MADEJOVA et KOMADEL, 2001).

On note aussi dans le domaine des OH stretching, une bande aux alentours de 3417 cm^{-1} qui fait son apparition indiquant la présence de la palygorskite (MADEJOVA et KOMADEL, 2001). Une autre bande aux alentours de 3402 cm^{-1} a été aussi observée au niveau des spectres de cette coupe témoignant selon BOURAS (2003), de la présence de la montmorillonite.

La calcite est présente par ses deux fréquences caractéristiques à 2854 et 2923 cm^{-1} . selon PARIKH et *al.*, (2014), les carbonates absorbent dans la région entre 2995 et 2860 cm^{-1} .

Dans le domaine des Si-O stretching, on note un pic intense aux alentours de 1033 cm^{-1} présent dans tous les échantillons de cette coupe indiquant selon NAYAK et SINGH (2007), la présence de Kaolinite et/ou d'illite (Figure 34).

La présence dans le domaine des Si-O stretching d'une bande aux alentours de 914 cm^{-1} peut indiquée la présence de la montmorillonite. La bande aux alentours de 470 cm^{-1} peut indiquer la présence de Kaolinite et/ou l'illite.

Une bande à 524 cm^{-1} qui passe parfois à 528 cm^{-1} pour certains horizons est observée au niveau de cette coupe indiquant la présence de l'illite (DAVARCIOGLU, 2011). Pour les minéraux non argileux présents dans ces échantillons, nous avons observé une bande aux alentours de 798 cm^{-1} au niveau de tous les horizons, attribuable au Quartz (MADEJOVA et KOMADEL, 2001; TRUCHE, 2010).

Il y a une bande proche de celle de 798 cm^{-1} qu'est aux alentours de 758 cm^{-1} dans tous les horizons de cette coupe indiquant selon Rousset (2002), la présence de Kaolinite et/ou d'illite (Figure 34).

- **Coupe S3P1 :**

On note pour cette coupe l'apparition de la kaolinite identifiable dans le domaine des OH stretching par ses trois bandes caractéristiques selon FARMER (1968), entre 3700 et 3620 cm^{-1} .

La bande aux alentours de 3544 cm^{-1} dans le domaine d'élongation des liaisons hydroxyles (OH stretching), indique la présence de palygorskite. La bande aux alentours de 3618 cm^{-1} dans les deux horizons selon BOUNA (2012), correspond à l'élongation des OH dans Al_2OH . Ce pic est particulièrement caractéristique de la palygorskite et dénote clairement sa nature dioctaédrique.

La présence d'un pic proche de 3417 cm^{-1} d'absorbance/transmittance dans le domaine d'élongation des liaisons hydroxyles (ν OH) peut être attribuée à la montmorillonite (BOURAS, 2003).

Le pic intense aux alentours de 1033 cm^{-1} dans le domaine des Si-O stretching indique la présence de la Kaolinite et/ou l'illite. Ce qui est aussi confirmé par la bande aux alentours de 914 cm^{-1} dans les deux horizons indiquant elles aussi la présence de la kaolinite et/ou l'illite (NAYAK et SINGH, 2007).

Dans le domaine des Si-O stretching, on note l'apparition d'un épaulement entre 1200 et 900 cm^{-1} au niveau des deux horizons de cette coupe. Selon KEONU et HAVASUR, (1965), il coïncide avec les liaisons Si-O de la montmorillonite.

La bande aux alentours de 470 cm^{-1} peut indiquer la présence de Kaolinite et/ou l'illite, et la bande aux alentours de 524 cm^{-1} indique aussi la présence de l'illite (DAVARCIOGLU, 2011).

La présence dans le domaine des Si-O stretching d'une bande aux alentours de 798 cm^{-1} dans les deux horizons de cette coupe peut indiquée la présence du Quartz (MADEJOVA et KOMADEL, 2001; TRUCHE, 2010).

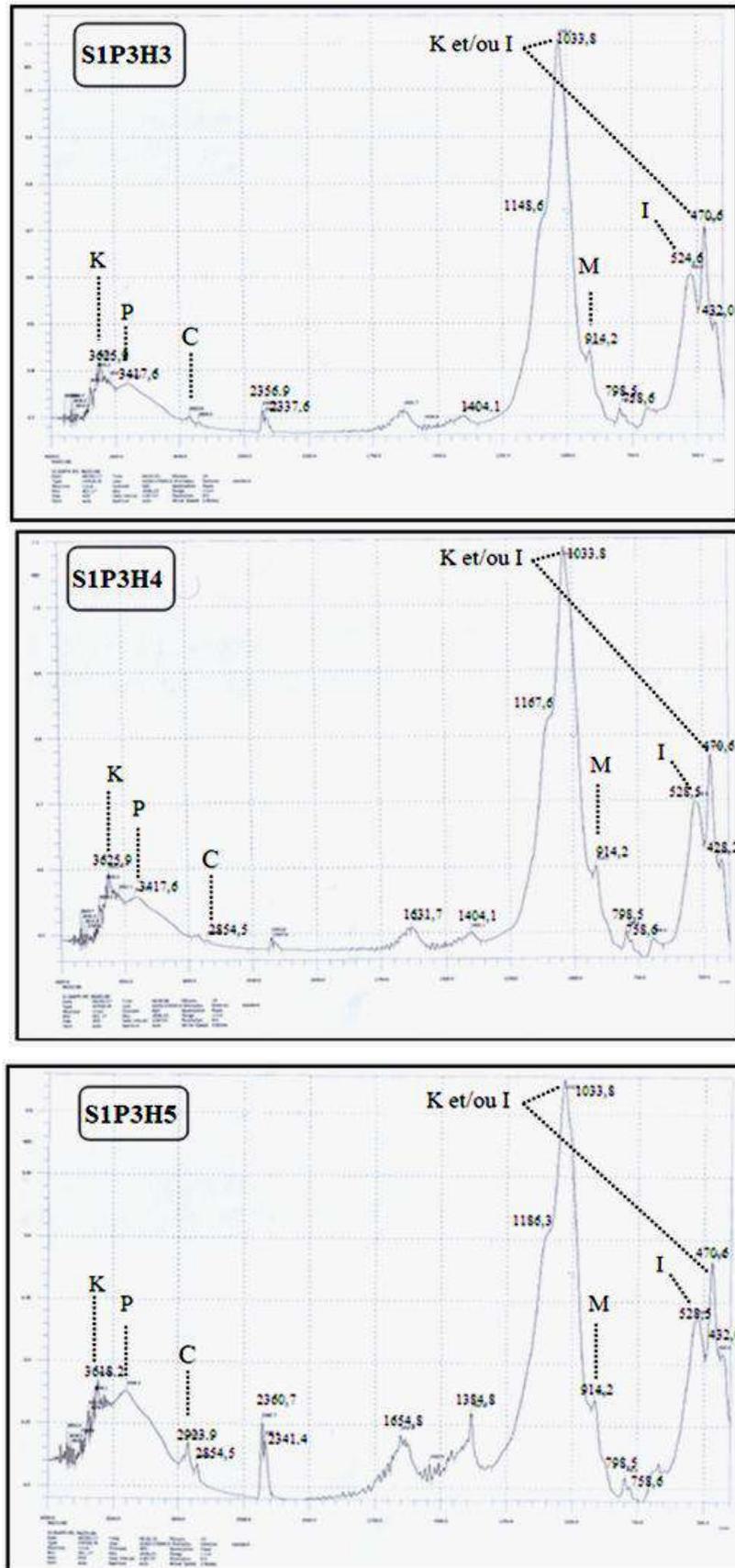


Figure 32 : Spectre FTIR d'absorbance de l'horizon S1P3

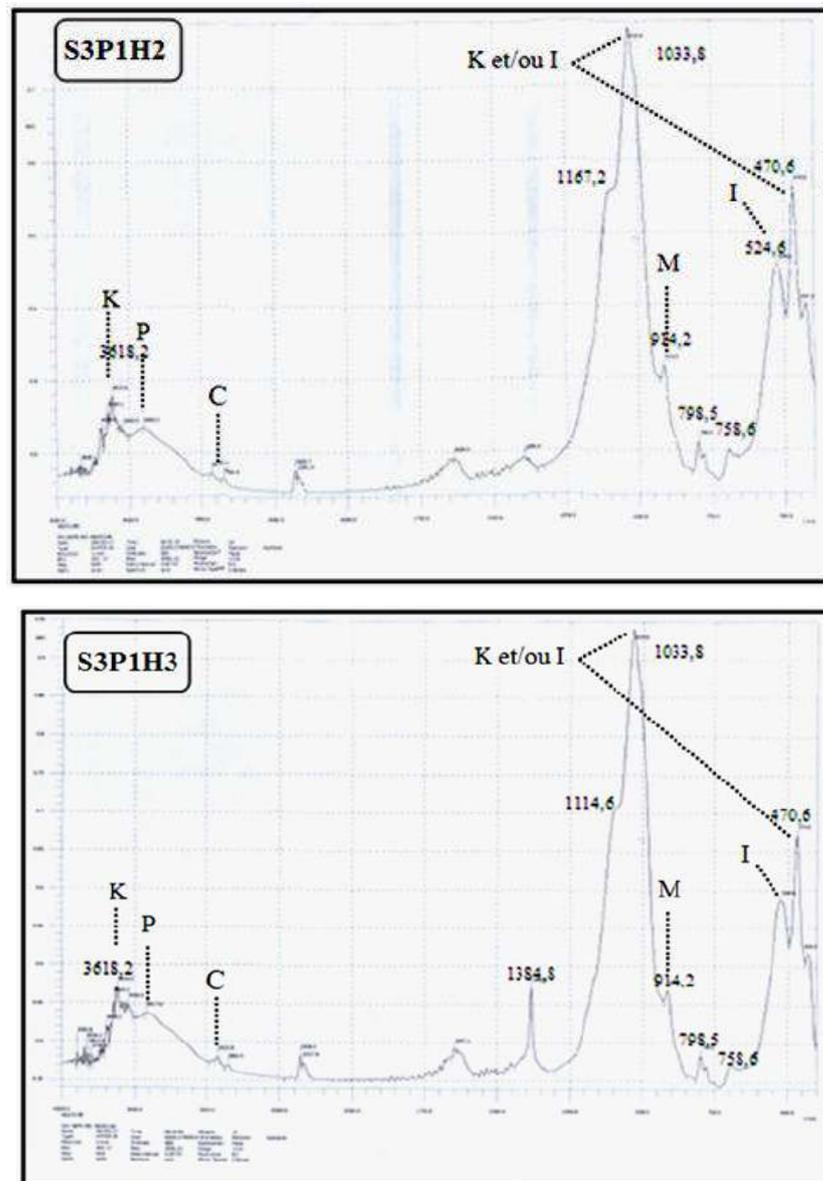
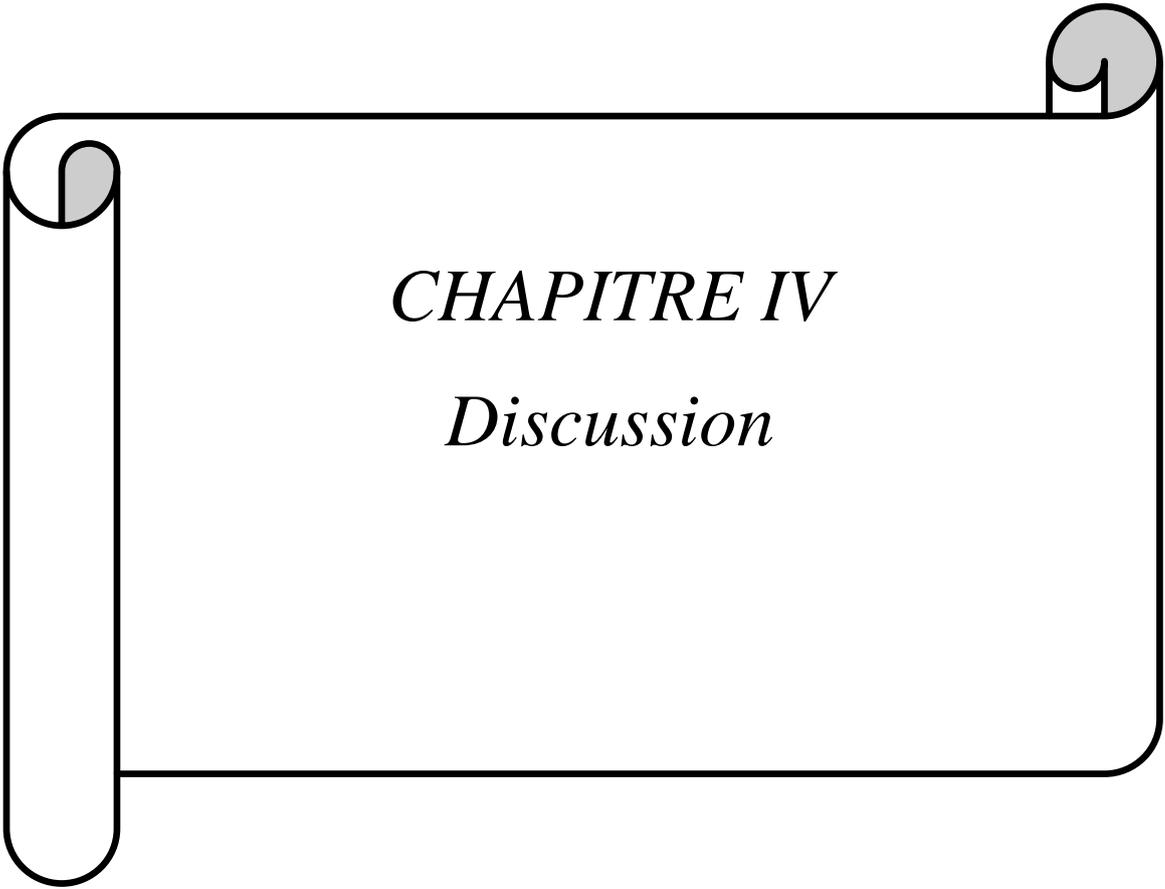


Figure 31 : Spectre FTIR d'absorbance de l'horizon S3P1

III.2.2. Minéraux argileux des coupes étudiées

Les minéraux argileux des coupes étudiées dans la région de Touggourt par IRTF sont: la Palygorskite, la montmorillonite, la kaolinite et l'illite.

Ces résultats montrent une homogénéité de la composition minéralogique dans les différentes coupes étudiées révélée par la stabilité de la position des bandes d'absorption des spectres IRTF en fonction de la profondeur, et pour les deux coupe S1P3 et S3P1 où l'intensité des bandes entre 900 et 1200 cm^{-1} diminue au niveau des spectres.



CHAPITRE IV

Discussion

IV. Discussion

Sur la base des différentes observations morphologiques et des résultats des analyses effectués sur les échantillons de sols étudiés nous allons dans cette partie discuter de la signification paléoenvironnementale de toutes ces propriétés.

IV.1. Signification paléoenvironnementale et origine des accumulations gypseuses et calcaires

D'après l'étude morphologique et analytique des coupes choisies, nous avons observé des accumulations gypseuses et des accumulations calcaires dans les sols de la région de Touggourt.

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

IV.1.1 Origine des accumulations gypseuses

Le gypse a été un élément très mobile dans le paysage du Bas-Sahara, malgré une solubilité relativement faible, de tels déplacements implique des conditions d'humidité très différentes des conditions actuelles (DUTIL, 1971).

La présence du gypse et son accumulation dans les sols sont très sensibles aux variations climatiques, particulièrement à l'alternance des périodes humides et sèches.

Les résultats d'étude montrent la présence des formes d'accumulation du gypse suivantes : croûte, cristaux de gypse transparents en fer de lance, nodules et amas gypseuses, manchons de gypse et rose de sable.

IV.1.1.1. Les croûtes gypseuses

Les croûtes gypseuses sont omniprésentes dans la région de Témacine (Touggourt), facilement repérable surtout avec leurs épaisseurs importantes et leurs couleurs blanchâtres. Le climat hyperaride de la région de Touggourt, caractérisé à la fois par un très fort ensoleillement et de faibles précipitations a permis la conservation et la non dissolution de ces croûtes gypseuses. Elles sont très dures et formées de gypse microcristallin.

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

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

La présence en surface de la forme en croûte gypseuse avec une épaisseur importante dans les coupes S1P5, S2P1, S2P2 et S3P1, est probablement d'origine de nappe (paléonappe). Cela est confirmé par POUGET (1968), qui admet qu'au début du Quaternaire les niveaux statiques des grands appareils artésiens ayant baissé de plusieurs mètres.

La teneur élevée en gypse peut être expliquée par un système hydrogéochimique dominé par SO_4^{-2} et Ca^{+2} , sous un climat supposé moins aride qu'aujourd'hui (HAMDI-AISSA, 2001).

Ce mode de formation des croûtes gypseuses (origine de nappe) intervient selon HALITIM (1988), dans les conditions suivantes:

- $\text{ETP} > \text{P}$; la plus grande partie de l'année ;
- Un niveau de nappe proche de la surface ;
- Une nappe saturée ou proche de la saturation.

La réalité de ce mode de formation est suggérée par la présence de roses de sable à la base du profil. Les roses de sables seraient liées à l'action d'une nappe superficielle active (BELLAIR, 1954 in TIR, 2007). Ce qui est le cas du profil S2P1.

IV.1.1.2. Les manchons et les cristaux de gypse

Les manchons de gypse qui sont observés dans les coupes S1P1 et S1P4, sont en rapport avec l'activité biologique. L'absorption racinaire de l'eau sous haute

évaпотranspiration augmente progressivement la concentration de la solution du sol en SO_4^{-2} et Ca^{+2} autour des racelles. Cette absorption favorise la cristallisation du gypse (HERRERO, 1991 in HAMDI-AISSA, 2001). Ou bien selon POUGET (1968), la respiration racinaire favorise la cristallisation du gypse sous l'influence du gaz carbonique (CO_2) libéré par la respiration des racines, on obtient la dissolution de calcaire qui entraîne la formation des bicarbonates (HCO^{3-}) et la libération de Ca^{+2} , ce dernier en excès sera responsable de la précipitation du gypse.

IV.1.1.3. Les nodules gypseux

Ressemblent à des petites poupées de loess, ils représentent une zone médullaire homogène à structure étoilée avec quelques éléments clastiques. Exposés à l'air, ils deviennent très durs, avec une couleur beige clair. Ils forment des bancs horizontaux dans les sols, et leur nombre passe par un maximum à une certaine profondeur. La texture des sols qui en contiennent est généralement fine (DURAND, 1963).

IV.1.2 Relation entre le taux de gypse et la profondeur

Une corrélation négative ($r = -0,14$) existe entre le taux du gypse et la profondeur (Figure 34), ce qui confirme les explications précédentes où nous avons trouvé que la plupart des accumulations gypseuses sont présentes au niveau des horizons superficiels.

Ceci indique que l'origine principale de ces accumulations est l'évaporation des eaux suite à un climat aride et une préservation de ces accumulations à la surface suite à la persistance de ces conditions arides.

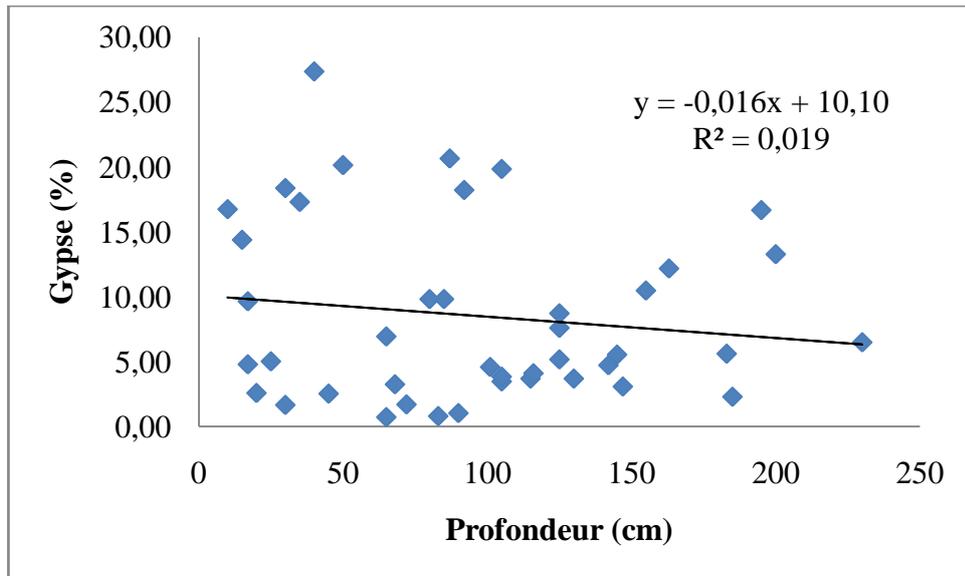


Figure 32 : Relation entre le taux du gypse et la profondeur.

IV.1.3. Origine des accumulations de calcaire

D'après FEDOROFF et COURTY (1989), ces formations constituent une archive de fluctuations entre des conditions subhumides et semi arides.

Ainsi, le calcaire dans le sol peut se trouver sous trois formes principales : diffuses, en concentrations discontinues (pseudomycelium, amas friables, nodules) ou en concentrations continues (croûtes, dalles, pellicules rubanées) en fonction des facteurs du milieu.

D'après RUELLAN (1967) et SHORTA (1979), les formes d'accumulations calcaires dans le sol se distribuent similairement du bas vers le haut du profil et de l'aval vers l'amont du paysage. Le passage progressif s'opère des distributions diffuses vers les distributions discontinues et ensuite aux distributions continues ; le même phénomène s'observe également à l'échelle du Quaternaire en fonction de l'âge de la surface sur laquelle le sol se développe.

A partir de l'étude réalisée dans cette région, on a pu déterminer les formes d'accumulation calcaire seulement sous la forme diffuse.

IV.1.3.1. La forme diffuse

Cette forme d'accumulation a été observée dans presque toutes les coupes que nous avons étudiées. Dans les conditions climatiques actuelles de la région d'étude, les précipitations ont un cumul annuel de 58,77 mm et qui sont d'après DUTIL (1971), relativement très faible pour expliquer le phénomène de l'accumulation diffuse du calcaire.

En effet, selon DJILI *et al.* (1999), pour les zones avec une pluviométrie moyenne annuelle inférieure à 350 mm, le climat actuel semble peu affecter la distribution des formes et des taux de calcaire dans les sols, c'est l'héritage des climats passés qui est conservé.

Selon PAQUET et RUELLAN (1997), il y a une transition progressive dans la distribution verticale des accumulations de calcaire en passant par des accumulations diffuses et discontinues à l'accumulation continue et enfin à des horizons indurés plus différenciés. L'accumulation du calcaire commence toujours par une accumulation diffuse (RUELLAN, 1967).

IV.1.4 Relation entre le taux de calcaire et la profondeur

Une corrélation négative ($r = -0,14$) existe entre le taux de calcaire total et la profondeur (Figure 35).

L'observation du nuage des points représentant la relation entre le taux de calcaire totale des différents horizons et la profondeur de ces derniers (Figure 35) montre que la plupart ont des taux inférieurs à 15% et se concentrent au niveau des profondeurs inférieures à 150 cm.

En effet, les traits cristallins calcitiques ou de sels plus solubles se trouvant proches de la surface du sol indiquent des conditions arides ou de longues périodes de sécheresse régulières (CATT, 1990). Les teneurs et les formes d'accumulations calcaires observées au niveau de la région de Touggourt représentent un héritage de périodes plus humides. Actuellement, la région est caractérisée par des précipitations très faibles ne permettant pas une dynamique du calcaire dans le sol. Ces conditions humides sont caractérisées par des précipitations qui ne sont pas très élevées pour évacuer le calcaire hors du profil ni très faible.

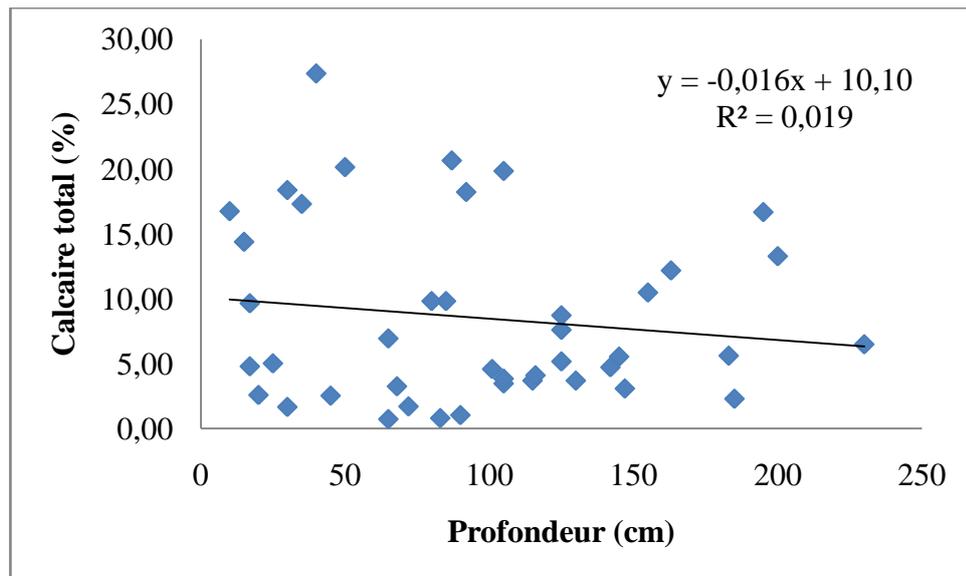


Figure 35: Relation entre le calcaire total et la profondeur.

IV.1.5. Relation entre le gypse et le calcaire total

Cette relation est représentée graphiquement, par une courbe de régression linéaire (Figure 36), qui montre une faible corrélation négative ($r = -0,29$) entre le taux du gypse et celui du calcaire total pour l'ensemble des coupes étudiées. Ce qui est en conformité avec les résultats de HAMDI-AISSA (2001), DJILI (2004) et YUCEF (2016). HAMDI-AISSA (2001) a constaté que la calcite et le gypse ne sont pas aggradés simultanément, parce que leur aggradation exige d'une façon ou d'une autre des conditions géochimiques plus ou moins antagonistes. De ce fait, la région de Touggourt a connu des fonctionnements différents de celui d'aujourd'hui. A certains moments, la précipitation des carbonates de calcium a été favorisée et à d'autres celle du gypse et en fin comme aujourd'hui celle des sels solubles (HAMDI-AISSA, 2001).

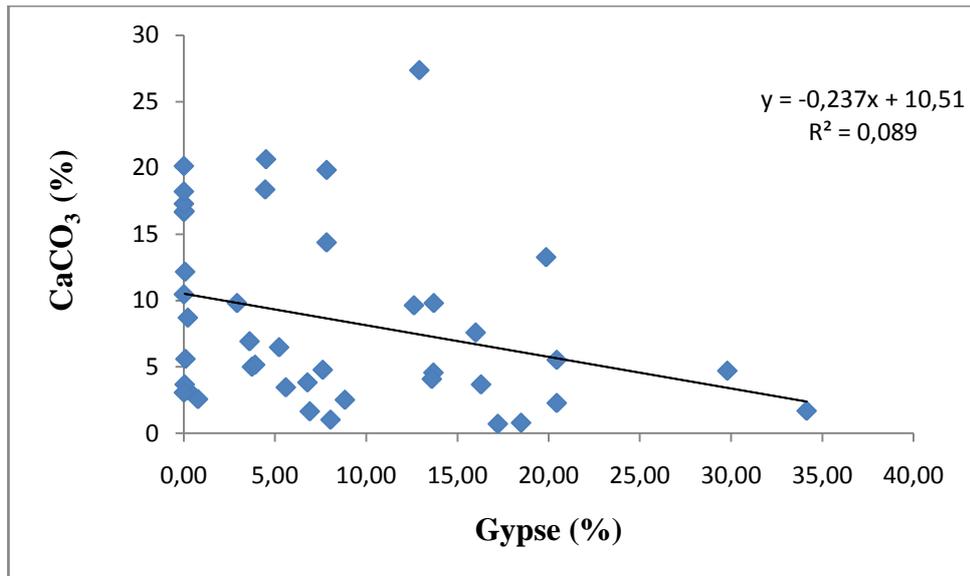


Figure 33: Courbe de relation entre calcaire total et gypse.

IV.2 Signification paléoenvironnementale des études par infrarouge des argiles (IRTF)

A travers cette étude nous avons observé que le taux d'argile est relativement important par rapport aux sols des régions sahariennes. En effet, il est connu que plusieurs briqueteries sont actives à Touggourt pour exploiter ces carrières. En effet certaines des coupes que nous avons étudiées sont proches de sites de carrières.

Pour BENSAD (2011), il s'agit d'argiles et de limons, souvent gypseux, en lits subhorizontaux, qui sont des dépôts de faible énergie.

Dans les études des minéraux argileux, les bandes d'absorption infrarouges sont dues aux groupements structuraux OH et Si-O qui jouent fréquemment un rôle très important dans la différenciation des minéraux argileux les uns des autres (MADJOVA, 2002).

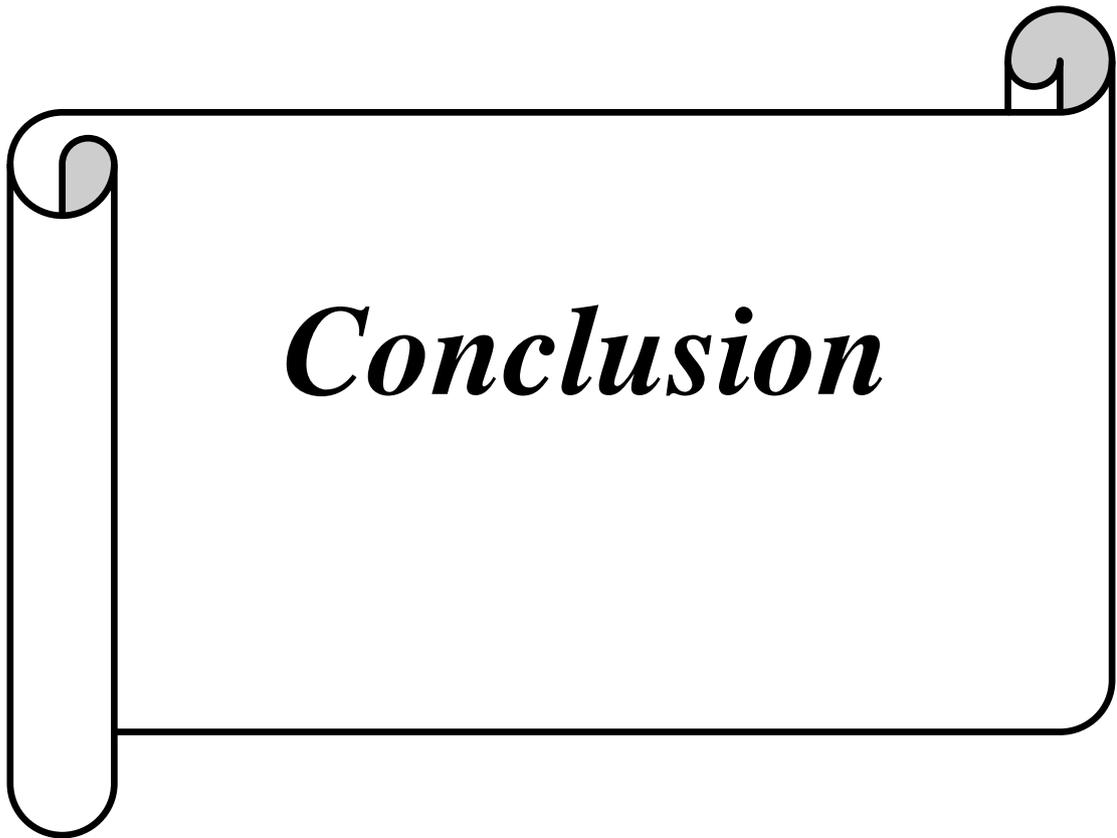
Les minéraux argileux présents dans les sols et les sédiments étudiés, révélés par la spectroscopie IRTF sont: la palygorskite, la montmorillonite, l'illite et la kaolinite. Ces minéraux ont été détectés aussi dans la fraction argileuse des sols de la région de Ouargla par Hamdi-Aïssa (2001) et YUCEF (2016) et dans la région de Touggourt par BOUMAARAF (2013).

Selon SINGER (1980), la palygorskite dans les paléosols est un excellent indicateur des conditions arides ou semi-arides. Cependant, sa néogenèse nécessite selon FEDERROF et COURTY (1989), la circulation de l'eau, soit des eaux souterraines ou de drainage.

Ainsi, sa formation dans des conditions hyperaride est exclue. Le climat actuel de la région de Touggourt est hyperaride avec 58,77 mm/an de précipitations ce qui suggère sa formation pendant une période plus humide. Son existence au niveau du gré du Mio-Pliocène signalée par des études précédentes (HAMDI-AÏSSA, 2001; CHELLAT, 2014) suppose son héritage à partir du matériau parental. Les conditions de sa stabilité (pH neutre et abondance de Mg^{2+}) n'ont pas trop changé avec le temps, ce qui a permis sa préservation dans le sol (HAMDI-AÏSSA, 2001).

La kaolinite a été aussi détectée à travers l'étude par IRTF. SINGER (1980), admet que la kaolinite témoigne d'un climat humide à bon lessivage. Lorsque le climat devient aride, il est très probable que l'argile préservera son caractère kaolinitique et le message climatique est donc préservé (SINGER, 1980). Dans le même contexte CATT (1990), admet que dans les climats chauds et humides les sols bien drainés situés dans des paysages élevés ont une fraction argileuse souvent kaolinitique alors que ceux situés dans des sites mal drainés contiennent la smectite ou d'autres minéraux argileux. La présence de la kaolinite dans les sols de la région de Touggourt indique donc une formation sous un climat plus humide que celui d'aujourd'hui.

L'illite se forme pédogénétiquement dans les horizons de surface des sols arides et semi-arides. Le potassium nécessaire pour le processus de l'illitisation est introduit dans les sols par le dépôt de poussières désertiques qui contiennent des minéraux portant du potassium. Le processus de l'illitisation est favorisé par les cycles d'humidification et de séchage qui affectent généralement les horizons de surface des sols des régions arides (SINGER, 1988).



Conclusion

Conclusion

Le travail réalisé a comme objet principal la reconstitution des événements environnementaux passés enregistrés dans les sols de la région de Touggourt.

Les études morphologiques et analytiques réalisées sur ces sols nous ont permis de constater l'existence de propriétés de sols résultants essentiellement de l'action de la succession de conditions humides et d'autres plus arides.

Les périodes arides sont représentées essentiellement par la dominance de la fraction sableuse surtout le sable fin qui indique l'importance de l'action éolienne et l'apparition de gypse à la surface (comme nous l'avons surtout observés au niveau des croûtes gypseuses étudiées) qui témoigne d'un climat aride. Cependant, le passage par des conditions humides est confirmé par :

- ✦ L'accumulation calcaire sous forme diffuse dans toutes les coupes, qui est formée sous un climat plus humide que l'actuel ;
- ✦ Une croûte gypseuse dans la coupe S2P1 et S2P2 qui est formée pendant une période plus humide que l'actuelle et qui correspond à un niveau statique maximum des nappes phréatiques plus élevé qu'aujourd'hui;
- ✦ Les minéraux argileux existants au niveau des sols de la région et même le taux relativement élevé de la fraction argileuse au niveau de ces sols.

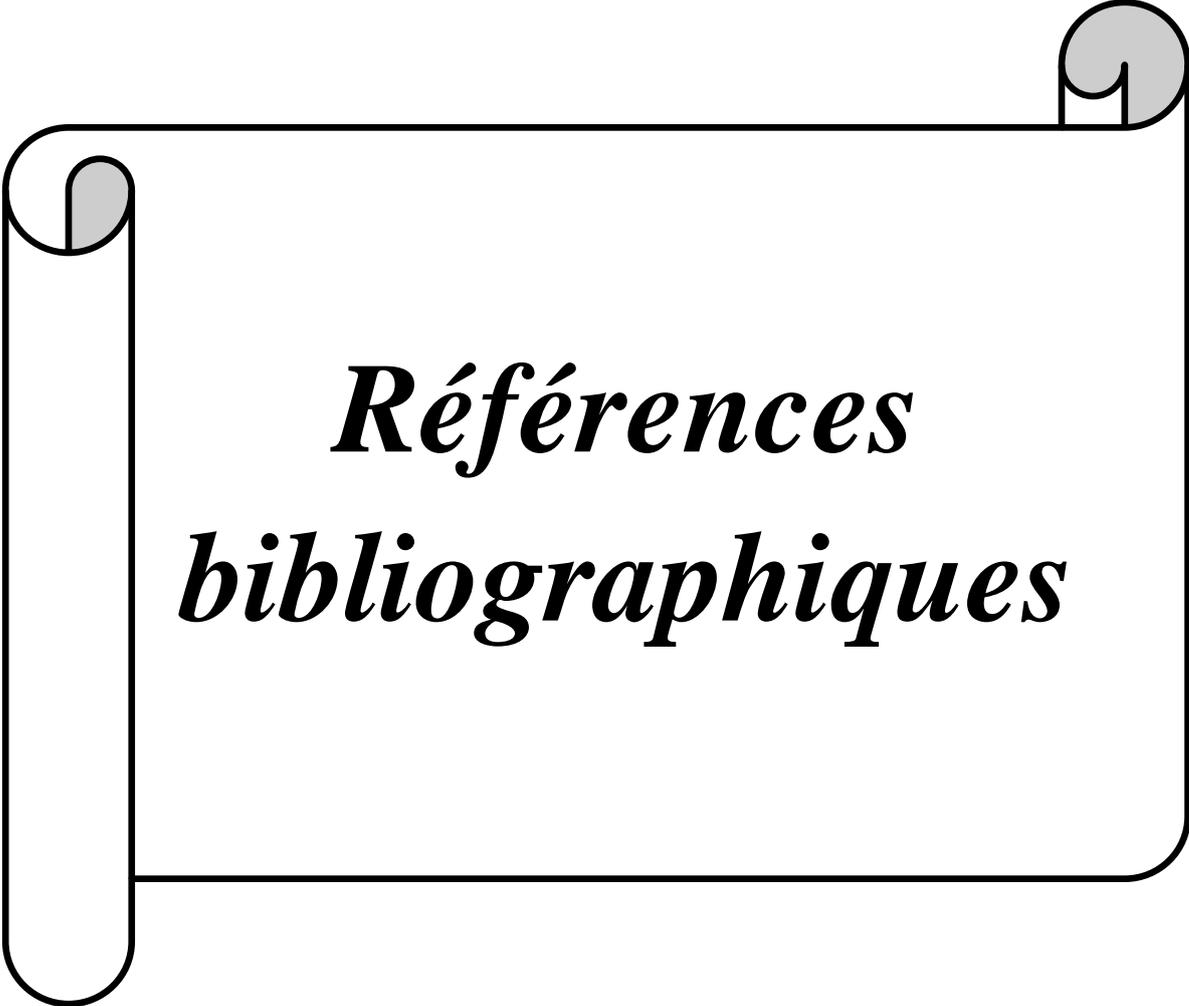
Donc, on peut conclure que la région de Touggourt a connu dans le passé des conditions climatiques variables caractérisées par l'alternance des périodes humides et des périodes arides. Ces dernières coïncident avec les conditions qui ont caractérisés le Quaternaire au Sahara.

L'étude spectroscopique par IRTF révèle l'existence de minéraux argileux (Palygorskite, kaolinite, illite, quartz et montmorillonite) présents dans les sols et les sédiments étudiés, révélés par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier et qui sont hérités. Les conditions actuelles de la région de Touggourt permettent la stabilité de ces minéraux.

L'étude des sols dans la région de Touggourt montre qu'ils conservent un certain nombre d'indicateurs de fonctionnement passé qui peuvent être utilisés comme moyen pour la compréhension des changements paléoenvironnementaux durant le Quaternaire.

Enfin, notre travail exige des travaux complémentaires incluant les résultats des autres disciplines pour mieux explorer les indicateurs trouvés dans les sols des sites d'étude tel que :

- L'étude minéralogique par diffractométrie à rayons X (DRX) des minéraux argileux des sols de la région;
- L'étude micromorphologique des sols qui nous aidera à mieux comprendre la pédogénèse de ces sols et la caractérisation des différentes formes de minéraux caractérisant ces sols et même l'étude de l'exoscopie des grains de Quartz qui peut aider à mieux comprendre leur mode de transport;



*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A.N.R.H. 2017. Agence national des ressources hydriques de la wilaya de Touggourt.

ANTOINE, D. 2006. Guide simplifié pour la description des sols.

ASSI-KHAUDJHIS, C; DIGBEHI, B; ROCHE, E & LEZINE, A. 2010. Synthèse sur l'évolution des paléoenvironnements de l'Afrique occidentale atlantique depuis la fin de la dernière période glaciaire. Influences climatiques et anthropiques. *Geo-Eco-Trope*, pp1-28.

AUBERT, G. 1967. Les sols à croutes calcaire. Institut de la recherche scientifique coloniale (Paris).pp 330-332.

AUBERT, G. 1978. Méthodes d'analyses des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 191p.

BAGNOULS, F et GAUSSEN, H. 1953. Saison sèche et indice xérothermique. *Bull. soc.hist. nat.*, Toulouse : 193 - 239.

BAGNOULS, F et GAUSSEN, H. 1957. Les climats biologiques et leur classification. *Annales de Géographie*, 66° année, N° 335 :193-220.

BALLAIS, L. 2010. Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du Bas-Sahara algérien.

BASSA, F et TAMA, Kh. 2016. Mise en évidence de lamyrmeécofaune des agrosystèmes sahariens (cas de la région de Touggourt).

BELLAIR, R. 1954. Sur l'origine des dépôts de sulfate de calcium actuels et anciens. *Académie des sciences*, pp: 1059-1061.

BENSAAD, A. 2011. L'eau et ses enjeux au Sahara. Ed. Karthala, Paris. Pp. 198.

BOUNA, L. 2012. Fonctionnalisation des minéraux d'origine Marocaine par TiO_2 en vue de l'élimination par photocatalyse de micropolluants organiques des milieux aqueux.

BOUHADJA, M et LAMINI, Kh. 2011. Contribution à l'étude paléoécologique de la région de Ouargla (cas de N'GGoussa) : approche pédo-sédimentologique.

BOUMARAF, B. 2003. Contribution à l'étude de la répartition spatiales des propriétés physico-chimique et minéralogiques des sols dans la vallée d'Oued-Righ. Thème Magister, option pédologie, département d'Agronomie, Batna. 162p.

BOURAS, O. 2003. Propriétés adsorbants d'argiles pontées organophiles : synthèse et caractérisation

- BOUTALLEB, A. 2010.** Contribution à l'étude de l'impact de l'aménagement hydro-agricole sur la dégradation de l'environnement hydro-édaphique à Oued Righ. Mém. Ing. Bio. Uni. Kasdi-Merbah Ouargla.76P.
- BUCK, B.J. et VAN HOESEN, J.G. 2005.** Assessing the applicability of isotopic pedogenic gypsum as a paleoclimate indicator, Southern New Mexico. *Journal of Arid Environments* 60: 99-114. Chen, X. Y., 1997. Pedogenic gypcrete formation in arid central Australia. *Geoderma* 77: 39- 61.
- C.R.S.T.R.A. 2013.** Chélif le 1 et 2 Juin, n° 99, pp : 25-44.
- CALLOT, Y., MARTICORENA, B. et BERGAMETTI, G. 2000.** Geomorphologic approach for modelling the surface features of arid environments in a model of dust emissions: application to the Sahara desert. *Geodinamica Acta*, pp 245–270.
- CHEN, X.Y. 1997.** Pedogenic gypcrete formation in arid central Australia. *Geoderma* 77 :39-61.
- COOKE, R.U. WARREN, A. et GOUDIE, S.A. 1993.** *Desert geomorphology*. Ed. UCL, London, 526p.
- CORTIN, A. 1969.** Réaménagement de mise en valeur d'Oued-Righ. Etude SOGETHA et SOGREAH, 201p.
- COUTINET, S. 1965.** Méthodes d'analyses utilisables pour les sols salés, calcaires et gypseux. *Agron. Trop.*, 12, pp : 1242-1253.
- DAJOZ, R. 1971.** Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 434 p.
- DAVARCIOGLU, B. 2011.** Spectral characterization of non-clay minerals found in the clays (Central Anatolian-Turkey). *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(3), pp. 511-522, 4 February, 2011, p 514.
- DELAUNOIS, A. 2006.** Guide simplifié pour la description des sols.
- DEO SHORTA, J.C. 1979.** les encroûtements calcaires et les encroûtements gypseux en géotechnique routière. *Bet. Labo, mécanique des sols*, 105p.
- DJILI, B. 2004.** Etude des sols alluviaux en zones arides. Cas de la Daya d'El-Amied (région de Guerrara), essai morphologique et analytique.
- DJILI, K., DAOUD, Y. et AYACHE, N. 1999.** Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale. *Etude et gestion des sols* 6(3): 201-213.
- DUBOST, F. 1991.** La problématique du paysage, état des lieux. *Etudes rurales* n 2 pp.121-124.
- DURAND, J.H. 1963.** Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie : formation et âge. *Bulletin de la Société Géologique de France* 7: 959-968.

- DUTIL, P. 1971.** Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse doc. d'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg, 346 p.
- ESWARAN, H. et Zi-TONG, G. 1991.** Properties, genesis, classification, and distribution of soils with gypsum. In: Occurrence, characteristics, and genesis of carbonate, gypsum, and silica accumulation in soils. Ed. W. D. Nettleton. Madison, *Soil Science Society of America Publication* 26: 89-119.
- FARMER, V.C., et RUSSELL, J. D. 1964.** The infra-red spectra of layer silicates. *Spectrochimica Acta* 20: 1149-1173.
- FARMER, V. C. 1968.** Infrared spectroscopy in clay mineral studies. *Clay Minerals* 7: 373-387.
- FAURIE et al. 2011.** Ecologie approche scientifique et pratique. N° 6 ed.
- FEDOROFF, N et COURTY, M., A. 1989.** Indicateurs pédologiques d'aridification: exemple du Sahara. Bulletin de la Société Géologique de France, 5: 43-53.
- FEDOROFF, N et COURTY, M.A. 1994.** Organisation du sol aux échelles microscopiques. In: *Pédologie: Constituants et propriétés des sols.* (Ed. P. Duchaufour et B. Souchier), pp. 349-375, Masson, Paris.
- FEDOROFF, N et COURTY, M.A. 2002.** Paléosols et sols reliques. In : géologie de la préhistoire : méthodes, techniques et applications. Ed. Miskovsky J.C. Maison de la géologie, Paris.pp227-316
- GADJA, H. 2010.** Etude de quelques formes d'accumulation du calcaire dans les sols de la région d'Ouargla.
- GIRARD, M.C., WALTER, C., REMY, J.C et MOREL, L. 2005.** *Sols et environnement.* Paléosols et sols archéologiques: mémoires des climats et des hommes. Ed. DUNOD, Paris, pp 152-160.
- HALITIM, A. 1985.** Contribution a 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 de doctorat, Rennes, 384 p.
- HALITIM, A. 1988.** Les sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p.
- HAMDI-AISSA, B. 2001.** Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Approche micromorphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale. Thèse de doctorat, Institut National Agronomique, Paris Grignon, 307p.
- JEAN, C.D et GILLES, R. 2013.** Paléoclimatologie (trouver, dater et interpréter les indices-TOME I). Ed. Malebranche. Paris. p1. p42.
- BALLAIS, J. L. 2010.** Des oueds mythiques aux rivières artificielles : l'hydrographie du Bas-Sahara algérien, p. 107-127.

- JEANSON, C. 2002.** Biostructures construites par la faune dans les sols et les sédiments. In ; Géologie de la préhistoire : Méthodes, Techniques, Applications. Ed. Miskovsky J.C. Maison de la géologie, paris, pp : 803-810.
- JOLY, F. 2008.** Paysages désertiques. In: Les formations superficielles, genèse, typologie, classification, paysages et environnements, ressources et risques. (Ed. Y. Dewolf & G. Bourrié), pp 577-592. Ellipses, Paris.
- KHADRAOUI, A. 2006.** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes gorges d'El Kantra, 324 p.
- L.A.N.O.** Laboratoire Agronomique de Normandie, 10 Novembre 2011.
- LAKHDARI, F. 1980.** Influence de l'Irrigation goutte à goutte et par rigole sur l'évolution de la salinité dans le sol, le rendement et la qualité des dattes « Deglet-Nour ». Mémoire d'ing. agr., Inst. nat. agro. , El-Harrach, 63 p.
- LEZINE, A. M. 1993.** Chemchane, Histoire d'une Sebkhah. *Sécheresse* 4(1): 25-30.
- MADEJOVA, J. et KOMADEL, P. 2001.** Baseline studies of the clay minerals society source clays: infrared methods. *Clays and Clay Minerals* 49 (5): 410-432.
- MATHIEU, C. et PIELTAIN, F. 1998.** Analyse physique des sols, méthodes choisies. Ed. Tech et doc. Lavoisier, paris, 275p.
- MONOD, T. 1973.** Les déserts. Ed.: Horizons de France, Paris, 247 p.
- NAYAK, P. S. & SINGH, B. K. 2007.** Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR. *Bulletin of Materials Science* 30(3) : 235-238.
- OUAMER-ALI, K.** Contribution à l'étude des sols gypseux d'Algérie: valorisation d'une banque de données et détermination des profils références. *Mém. Mag. INA (Alger)*. 119p.
- O.N.M. 2016.** Données climatiques de la station de Touggourt.
- OZENDA, P. 1983.** Flore du Sahara. Ed. C.N.R.S., paris, 622 p.
- OZENDA, P. 1991.** Flore de Sahara (3 édition mise à jour et augmentée) Paris, Edition du CNRS. 622 p.
- PAQUET, H. et RUELLAN, A. 1997.** Calcareous Epigenetic Replacement (Epigénie) in Soils and Calcrete Formation. In: *Soils and Sediments Mineralogy and Geochemistry*. (Ed. H. Paquet & N. Clauer), pp. 21-48. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- PARIKH, S. J., GOYNE, K. W., MARGENOT, A. J., MUKOME, F.N.D. et CALDERON, F. J. 2014.** Soil Chemical Insights Provided through Vibrational Spectroscopy. *Advances in Agronomy* 126: 1-148.

- PETIT, S. et MADEJOVA, J. 2013.** Fourier Transform Infrared Spectroscopy. In: Handbook of Clay Science (Ed. F. Bergaya & G. Lagaly), pp. 213-231, *Developments in Clay Science*, Volume 5, Seconde édition, Elsevier.
- POUGET, M. 1968.** Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le Sud tunisien. *Cahier de l'ORSTOM, série Pédologie* 6: 309-365.
- RAMADE, F. 1984.** Eléments d'écologie - Ecologie fondamentale-. Ed. Mc Graw-Hill, Paris. 397 p.
- RAMADE, F. 2003.** Elements d'écologie-écologie fondamentale-. Ed. Dunod. Paris. 690p.
- Robert, M., & Tessier, M. 1974.** Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. *Annales Agronomiques* 25: 859-882.
- RUELLAN, A. 1967.** Individualisation et accumulation du calcaire dans les sols et les dépôts Quaternaires du Maroc. *Cahier O.R.S.T.O.M. série Pédologie* 5(4): 421-462.
- RISER, J. 1999.** La quaternaire : géologie et milieux naturels. Ed. Dunod. 328p.
- ROBERT, M. et TESSIER, M. 1974.** Méthode de préparation des argiles des sols pour des études minéralogiques. *Annales Agronomiques* 25: 859-882.
- ROGNON, P. 1976.** Les oscillations du climat saharien depuis 40 millénaires. Introduction à un vieux débat. *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*, Numéro spécial: oscillation climatiques au Sahara depuis 40 000 ans, Vol. XVIII, Fasc.2-3: 147-156.
- ROGNON, P. et MISKOVSKY, J. C. 1987.** Changements climatiques et pléoenvironnements. In:Géologie de la préhistoire: méthodes, techniques et applications. (Ed. Miskovsky, J.C.), pp. 89-99. Maison de la géologie, Paris.
- SAYAH LEMBAREK MOHAMMED, 2008.** étude hydraulique du canal oued righ détermination des caractéristiques hydrauliques. p : 30.
- SINGER, A. 1980.** The paleoclimatic interpretation of clay minerals in soils and weathering profiles. *Earth Science Reviews* 15: 303-326.
- SINGER, A. 1995.** The mineral composition of hot and cold desert soils. In : Arid ecosystems.
- SMYKATZ-KLOSS, W. & FELIX-HENNINGSSEN, P. 2004.** The Importance of Desert Margins as Indicators for Global Climatic Fluctuations (Introduction). *Paleoecology of Quaternary Drylands* Werner Smykatz-Kloss Peter Felix-Henningsen (Eds.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- TIR, C. 2007.** Genèse des sols à accumulations gypso- calcaires et salines dans la région de Ain Ben Noui (Biskra). Approche minéralogique et morphoscopique. Mém. Mag. INA (Alger). 128 p.

TOUTAIN, G. 1979. Elément agronomie saharienne, de la recherche au développement. Ed :I.N.R.A., Paris. 276p.

TRUCHE, C. 2010. Caractérisation et quantification des minéraux argileux dans les sols expansifs par spectroscopie infrarouge aux échelles du laboratoire et du terrain. Thèse Doc Minéralogie. Univ Toulouse, pp 41-48.

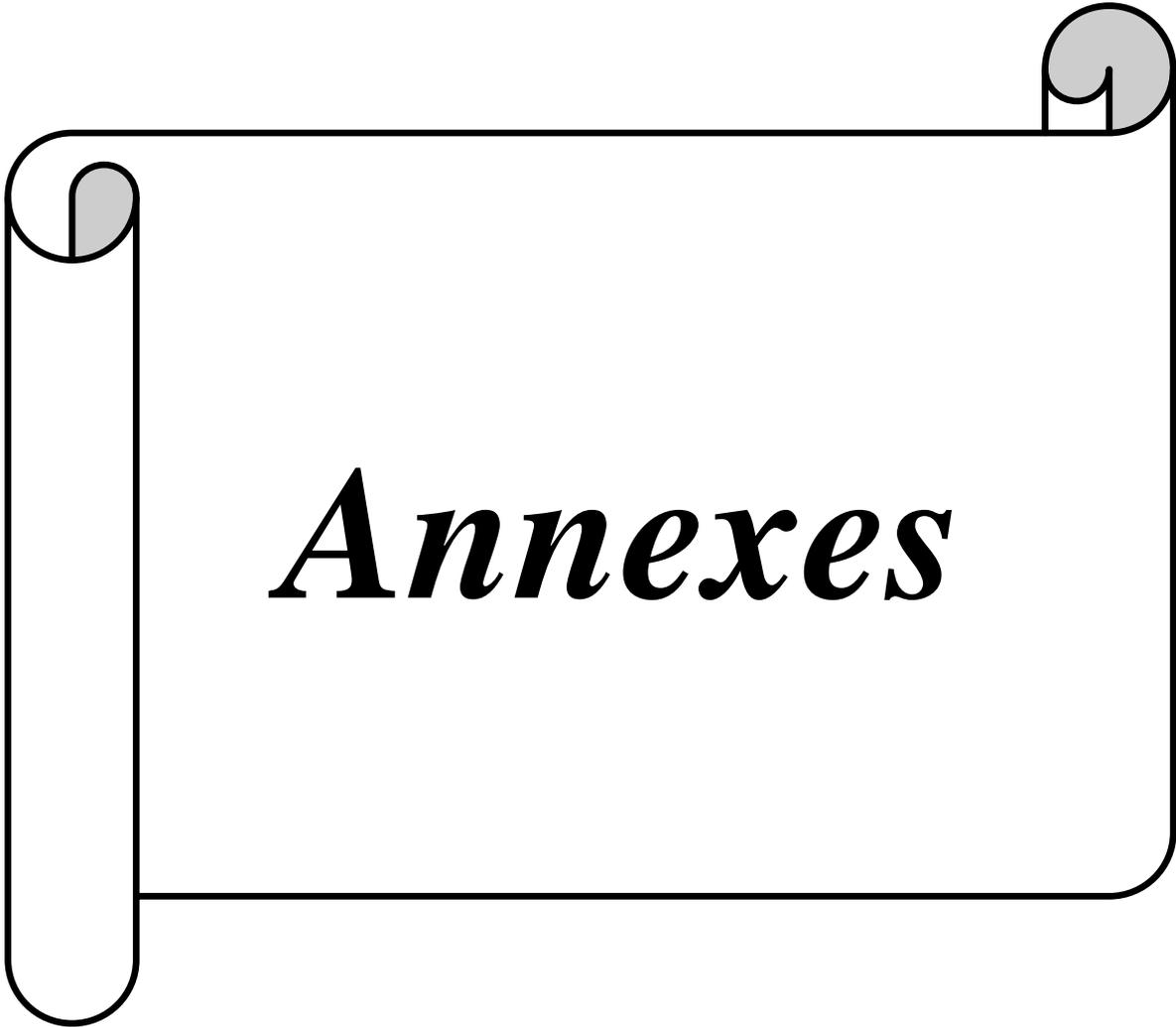
WATSON, A. 1988. Desert gypsum crusts as palaeoenvironmental indicators: A micropetrographic study of crusts from southern Tunisia and the central Namib Desert. *Journal of Arid Environments* 15: 19-42.

YOUCEF, F. 2016. Contribution à la reconstitution du paléoenvironnement au Sahara septentrional dans les sols de bassins endoréiques: Cas de la région de Ouargla. Thèse. Université Kasdi Merbah Ouergla.

Références électriques :

GOOGLE earth, 2017

GOOGLE, 2017



Annexes

Annexe

I: Echelle d'interprétation

Tableau 01 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (Aubert, 1978)

CE (dS/m) à 25 °C	Degré de salinité
$\leq 0,6$	Sol non salé
$0,6 < CE \leq 1,2$	Sol peu salé
$1,2 < CE \leq 2,4$	Sol salé
$2,4 < CE \leq 6$	Sol très salé
$CE > 6$	Sol extrêmement salé

Tableau 02 : Classe des sols gypseux (Barzanji, 1973)

Gypse %	Nom de classe
$\leq 0,3$	Non gypseux
0,3-10	Légèrement gypseux
10-15	Modérément gypseux
15-25	Extrêmement gypseux

Tableau 03 : Echelle de calcaire totale (Baize, 2000) :

CaCO ₃	Horizon
≤ 1	Horizon non calcaire
$1 < CaCO_3 \leq 5$	Horizon peu calcaire
$5 < CaCO_3 \leq 15$	Horizon moyenne (ou modérément) calcaire
$15 < CaCO_3 \leq 30$	Horizon calcaire
> 30	Horizon très calcaire

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

Valeur du pH	Classe
$< 4,5$	Extrêmement acide
4,5 - 5,0	Très fortement acide
5,5 - 6	Fortement acide
6 - 6,5	Moyennement acide
6,5 - 7	Légèrement acide
7 - 7,5	Très Légèrement acide
7 - 8,5	Très Légèrement alcalin
8,5 - 8	Légèrement alcalin
8 - 8,5	Moyennement alcalin
$> 8,5$	Très alcalin

Tableau 05 : L'échelle de MO % (Morand, 2001)

MO%	Nom de classe
0.1 à 1 %	Très faible en MO
1 à 2 %	Faible en MO
2 à 3 %	Moyenne (ou modérée) en MO
3 à 5 %	Elevée en MO
> 5 %	Très élevée en MO



Quelques échantillons de sol



Pipette de Robinson



Les discs de KBr



Spectromètre infrarouge à transformée de Fourier (IRTF).

Contribution à l'étude du paléoenvironnement dans la région de Touggourt: apport de la paléopédologie

Résumé

Ce travail a été réalisé dans le but d'une contribution à la reconstitution du paléoenvironnement du Sahara à partir de l'étude des sols de la région de Touggourt.

Le choix des sites, la description morphologique et l'échantillonnage ont été effectués suite à une étude préliminaire sur le terrain. Au laboratoire, une panoplie d'analyses physiques, chimiques, physico-chimiques, et minéralogiques a été appliquée pour la caractérisation de ces sols.

Les résultats obtenus montrent que la région de Touggourt a connu au cours de l'Holocène des fluctuations climatiques entre des périodes arides et d'autres plus humides. Ces changements sont visibles sur terrain par la présence d'indicateurs comme les formes d'accumulations de gypse et de calcaire.

Les résultats de l'étude par infrarouge des argiles ont révélé l'existence des minéraux argileux suivant: la palygorskite, l'illite, la montmorillonite et la kaolinite qui peuvent témoigner du passage de la région par des périodes plus humides que l'actuelle. Ces minéraux argileux sont hérités. Les sols étudiés conservent des caractères anciens qui traduisent la fluctuation des conditions climatiques durant le Quaternaire.

Mots clés : Paléoenvironnement; Sol; Touggourt; Gypse; Calcaire; Argile; Sahara

Contribution to the study of paleoenvironment in the region of Touggourt: contribution of the Paleopedology

Abstract

This work was carried out for the purpose of a contribution to the reconstruction of the paleoenvironment of the Sahara from the study of soil of the region of Touggourt.

A field preliminary study was necessary for the selection of sites, morphological descriptions and sampling. In the laboratory, physical, chemical, physico-chemical, and mineralogical analyzes were applied to the characterization of these soils.

The obtained results show climatic fluctuations between dry and humid conditions in the area of Touggourt during the Holocene. Indicators of these changes are already visible in the field (gypsum and calcareous accumulations...).

The results of the infrared study of clays revealed the existence of the following clay minerals: palygorskite, Illite, Montmorillonite, and kaolinite, that can testify to the passage of the region through wetter periods than the present. These clay minerals are inherited. The soils studied retain ancient traits that reflect the fluctuation of climatic conditions during the Quaternary.

Key words: paleoenvironment, Soil, Touggourt, gypsum, limestone, Clay, Sahara.

المساهمة في دراسة البيئة القديمة في منطقة تقرت: بمساهمة التربة

ملخص

هذا العمل يهدف للمساهمة في إعادة بناء البيئة القديمة للصحراء الناتجة عن دراسة التربة في منطقة تقرت. الدراسة الأولية في الميدان تعتبر ضرورية من أجل اختيار المواقع، والوصف المورفولوجي وأخذ العينات في المختبر، قمنا بإجراء مجموعة من التحليلات الفيزيائية والكيميائية، و المعدنية لتحديد خصائص هذه التربة. أظهرت النتائج أن منطقة تقرت شهدت تقلبات مناخية بين فترات جافة وأخرى أكثر رطوبة. بعض مؤشرات هذه التغيرات يظهر فعليا في الميدان (تراكم الجبس والكلس).

أظهرت نتائج الدراسة بالأشعة تحت الحمراء عن وجود المعادن الطينية التالية: palygorskite, illite, montmorillonite, kaolinite التي يمكن ان تتل على مرور المنطقة بفترات رطبة أكثر من الفترة الحالية. هذه المعادن الطينية موروثه. وتحفظ التربة المدروسة بالسمات القديمة التي تعكس تقلب الظروف المناخية اثناء الحقبة الرباعية. **الكلمات الدالة:** البيئة القديمة، التربة، تقرت، الجبس، الكلس، الطين، الصحراء.