

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المعهد الوطني للعلوم الفلاحية بالحرش
INSTITUT NATIONAL D'AGRONOMIE-EL-HARRACH.

Thèse

En vue l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques
Option : Pédosphère

THEME

**GENESE DES SOLS A ACCUMULATION GYPSO- CALCAIRE
ET SALINES DANS LA REGION DE AIN BEN NOUI – BISKRA-.
APPROCHE MINERLOGIQUE ET MORPHOSCOPIQUE.**

Présentée par :
TIR Chafia

Devant le jury composé de :

Monsieur DAOUD Y.	Professeur	Président.
Monsieur BENSALD R.	Maître de conférence	Directeur de thèse.
Monsieur DJILI K.	Professeur	Examineur.
Monsieur DRIDI B.	Maître de conférence	Examineur.

Soutenue le : 12-09-2007.

ANNEE UNIVERSITAIRE :2006-2007

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout louange à ALLAH tout puissant pour m'avoir donné la santé, la force, la patience, la foi en moi, de m'avoir permis et aidé à réaliser ce travail.

A l'issue de ce travail, je ne manquerai pas d'exprimer mes sincères et profondes reconnaissances à

- Mr BENSALD R, mon directeur de thèse, Maître de conférence au département d'agronomie de Batna, que je l'adresse ma très vive et respectueuse gratitude pour sa bien vaillance, ses précieux conseils, aides, encouragement et soutien moral.

- Mr DAOUD Y, Professeur au département de science du sol à l'INA d'El Harrach, et son directeur, d'avoir accepté de présider mon jury et pour ses orientations et ses précieux conseils tout le long de la réalisation de ce travail.

- Mr DJILI K, Professeur au département de science du sol à l'INA d'El Harrach, que je remercie chaleureusement d'avoir voulu juger mon travail et de nous avoir aidés dès l'inscription au magistère en tant que chef d'option, enseignant ainsi que pour ses aides scientifiques.

- Mr DRIDI B, Maître de conférence au département de science du sol à l'INA d'El Harrach, que je remercie vivement de l'honneur qu'il me fait d'accepter de juger mon travail, je lui exprime mes sincères reconnaissances pour son aide bienveillante et ses conseils ainsi que ses encouragements constants.

Mes remerciements vont également à

A tous ceux qui ont participé dans ma formation dès ma première année primaire.

A tous ceux qui ont contribué dans la réalisation de ce travail, en particulier

Les gens du département de pédologie de l'INA (El Harrach).

Ceux du département d'Agronomie de BATNA.

Les ingénieurs des laboratoires de l'INSID (El Harrach), de l'ORGM (Mr AOUN), du CRD (Mr BELKADI) de Boumerdes, CRSTRA (Mr MOSTEFAOUI-Magister-) et aussi de l'ITIDAS de Biskra.

A la famille BALA, MIKAWSI et KAMELI.

Un remerciement particulier à FATOMA, HAYET et AISSA pour leur patience et aides.

Que dieu vous garde tous à vos familles.

DEDICACE

C'est avec un grand plaisir que je dédie ce modeste travail

A la plus belle des belles, celle qui nous est plus chère que nos prunelles, dieu sais que son amour reste éternel et nous la sommes toujours fidels; notre patrie l'Algérie.

A toi ma mère ; le premier mot que la nature m'a appris ; signe de tendresse et de guide moral.

A la bougie qui éclaire mon chemin dès ma naissance, source d'amour et de force, mon ami intime mon père.

La réalisation de ce travail vous prouve que vos efforts et bienfaits n'ont pas été vains.

A mes chères soeurs: Meriem, Naima, Mounira, Amina, Ahlem et bien sure Soussou.

Ames chères frères : Mohcine, Amine, Adel et Nabil.

. A la petite rose de la famille: Arar.

Au petit bourgeon que toute la famille attend inpatiemment : Mohamed ALI.

A ma tante Zahia et ses filles.

A mes oncles: Moussa, Abdellah, ISmail, Farouk, Abderrahmane ainsi que leur petites familles.

A grand père.

**A Saida, Souad et soraya pour leur aides et soutient.
Je vous aime tous.**

A la mémoire de nos chères, qui nous ont quitté ; que dieu nous réunisse au paradis – in chae ALLAH-

A mes ami (es), que leur citation seulement nécessite la rédaction d'un autre mémoire.

A mes collègues de l'INA et de l'IA de Batna.

A tous ceux qui connaissent Anissa.

Que dieu vous garde et réserve les plus belles places au paradis.

Chafia

Liste des tableaux

	pages
Tableau 01: Distribution et extensions des sols gypseux dans le monde (Jafarzadeh et Zinc, 2000). (Superficie x 1000 ha).	05
Tableau 02: Les plus importants minéraux formés en conditions de sédimentation (Bullock et al, 1985).	13
Tableau 03: Minéraux de néoformation dans la fraction supérieure à 10 μm dans les sols des zones arides (Bullock et al, 1985).	14
Tableau 04: Classification des encroûtements calcaires proprement dits (Ruellan, 1976)	25
Tableau 05: Evapotranspiration calculée par la méthode de PENMAN (1977- 2001).	31
Tableau 06: Vitesses minimales et maximales du vent (1992-2001).	31
Tableau 07: Le nombre moyen d'heures d'insolation (1971-1997).	32
Tableau 08: Données analytiques du profil P1	51
Tableau 09: Données analytiques du profil P2	53
Tableau 10: Données analytiques du profil P3	55
Tableau 11: Données analytiques du profil P4	57
Tableau 12: Données analytiques du profil P5	59
Tableau 13: Données analytiques du profil P6	61
Tableau 14: Données analytiques du profil P7	63
Tableau 15: Données analytiques du profil P8	65
Tableau 16: Données analytiques du profil P9	67

Liste des figures

	Pages
Figure 01: Morphologie schématique d'un sol gypseux polygonale (Halitim, 1985).	10
Figure 02: Types de profils salins (Halitim., 1988).	20
Figure 03: Présentation de la topocéquence étudiée sur la carte topographique de Biskra (1/50.000).	28
Figure 04: Emplacement des profils étudiés sur la carte topographique de Biskra (1/200.000).	29
Figure 05: Précipitations moyennes mensuelles en mm (1977-2004).	30
Figure 06: Températures moyennes mensuelles (°c) enregistrées durant (1977-2004).	30
Figure 07: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Biskra (1977-2004	32
Figure 08: Climagramme d'EMBERGER de la région de Biskra (1977-2004).	33
Figure 09: Esquisse litho-géologique (extrait de la carte géologique de Biskra n°48 (1/200.000).	35
Figure 10: Coupe géologique schématique de la région de Biskra.	38
Figure 11: Coupe géomorphologique de la région de Biskra.	40
Figure 12: Coupe hydrogéologique du Zab Gharbi en partie (MAUGET, 1967).	42
Figure 13: Emplacement des profils en fonction des pentes.	46
Figure 14: Photo de paysage du profil P1.	50
Figure 15: Photo du profil P1	50
Figure 16: Photo du paysage du profil P2	52
Figure 17: Photo du profil P2	52
Figure 18: Photo du profil P3.	54
Figure 19: Photo du profil P4.	56
Figure 20: Photo du profil p5.	59
Figure 21: Photo du profil p6	60
Figure 22: Photo du profil p7.	62
Figure 23: Photo du profil p8.	64
Figure 24: Photo du paysage Sebkha.	69
Figure 25: Photo du paysage séquence étudiée.	69
Figure 26: Résultats diffractométriques (échantillon total) de P1H2	75

Figure 27: Résultats diffractométriques du P1H2 (traitement d'argile).	76
Figure 28: Résultats diffractométriques de P3H2 (échantillon total).	78
Figure 29: Résultats diffractométriques de P4H2 (échantillon total).	80
Figure 30: Résultats diffractométriques de P5H1 (échantillon total).	82
Figure 31: Résultats diffractométriques de P5H2 (échantillon total).	83
Figure 32: Résultats diffractométriques de P5H3 (échantillon total).	85
Figure 33: Résultats diffractométriques de P6H2 (échantillon total).	86
Figure 34: Résultats diffractométriques de P8H1 (échantillon total).	87
Figure 35: Résultats diffractométriques de P8H2 (échantillon total).	89
Figure 36: Résultats diffractométriques de P9H1 (échantillon total).	90
Figure 37: Résultats diffractométriques de P9H3 (échantillon total).	91
Figure 38: Morphoscopie des sables de l'horizon superficiel du domaine calcaire (P1H1) (Lumière polarisée)	94
Figure 39: Morphoscopie des sables de l'horizon superficiel du domaine calcaire (P2H3) (Lumière polarisée)	94
Figure 40: Morphoscopie représentative de l'horizon superficiel de la zone de transition entre le domaine calcaire et le domaine gypseux (P3H2).	95
Figure 41: Morphoscopie représentative de l'horizon profond de la zone de transition entre le domaine calcaire et gypseux (P4H4).	95
Figure 42: Morphoscopie représentative de l'horizon de surface du domaine gypseux (P5H1).	96
Figure 43: Morphoscopie représentative de l'horizon profond du domaine gypseux (P5H2)	96
Figure 44: Morphoscopie représentative de l'horizon de surface de la zone de transition entre le domaine gypseux et salé (P6H1).	97
Figure 45: Morphoscopie représentative de l'horizon profond de la zone de transition entre le domaine gypseux et salé (P7H2).	97
Figure 46: Morphoscopie représentative de l'horizon de surface du domaine salé (P9H1).	98
Figure 47: Morphoscopie représentative de l'horizon profond du domaine salé (P9H3).	98
Figure 48: Micromorphologie de P3H2 (LP).	99
Figure 49: Micromorphologie de P4H2 (LP).	99

Figure 50: Micromorphologie de P5H1 (LP).	100
Figure 51 : Micromorphologie de P5H3 (LP).	100
Figure 52: Micromorphologie de P8H2 (LP).	101
Figure 53: Micromorphologie de P9H1 (LP).	101
Figure 54: Micromorphologie de P9H3 (LP).	101
Figure 55 : Règle utilisée lors de la détermination de la taille des grains	102
Figure 56: Mécanismes responsables de la formation des sols étudiés.	105

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION GENERALE	01
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
INTRODUCTION	03
CHAPITRE 1 : LES SOLS GYPSEUX	
1-1- Généralités	04
1-2- Répartition des sols gypseux	04
1-3- Genèse des accumulations gypseuses	06
1-3-1- Origine des nappes « théorie Per Ascensum »	07
1-3-2- Origine des apports éoliens	07
1-3-3- Origine des apports lagunaires	08
1-3-4- Origine colluvionnaire	08
1-3-5- Origine biologique	08
1-3-6- Origine géologique	8
- Le Trias supérieur (Salifère principal)	08
- Le Jurassique moyen.	08
- Le Crétacé	09
1-4- Les formes du gypse et des accumulations gypseuses dans le sol	09
1-4-1- Les accumulations généralisées	09
1-4-1-1- Les croûtes	09
- La croûte de nappe	10
- La croûte zonière	10
- La croûte gypseuse	10
1-4-1-2- Les surfaces polygonales	10
1-4-1-3- Les encroûtements	11
1-4-2- Les accumulations localisées	11
1-4-2-1- Les amas	11
1-4-2-2- Les nodules	11
1-4-2-3- Les racines pétrifiées	11
1-4-2-4- Les pseudomyceliums	12
1-4-2-5- Le gypse diffus	12
1-5- Cortège minéralogique des sols gypseux des zones arides	13
1-6- Conclusion	14
CHAPITRE 2 : LES SOLS SALES	
2-1- Généralités	15
2-2- Répartition des sols salés	15
2-3- Formation des sols salés	16
2-4- Origine de la salinité des sols	17
2-4-1- Salinisation d'origine géologique	18
2-4-2- Salinisation d'origine marine ou lagunaire	18
2-4-3- Salinisation d'origine anthropique	18
2-5- Les variations de la salinité au niveau des profils	18
2-5-1- Le premier type	18
2-5-2- Le deuxième type	18
2-5-3- Le troisième type	19
2-6- Minéralogie et micromorphologie des sols salés	19
2-7- Conclusion	21

CHAPITRE 3 : LES SOLS CALCAIRES

3-1- Généralités	22
3-2- L'origine du calcaire dans le sol	22
3-3- Les formes du calcaire et ces accumulations dans le sol	22
3-3-1- La distribution diffuse	23
3-3-2- Les concentrations discontinues	23
3-3-2-1- Les pseudomycelium	23
3-3-2-2- Les amas friables	23
3-3-2-3- Les nodules	23
3-3-3- Les concentrations continues.	23
3-3-3-1- Les encroûtements non feuilletés	24
3-3-3-2- Les encroûtements feuilletés	24
3-3-3-3- Les encroûtements lamellaires ou pellicules rubanées	24
3-4- Conclusion	25
CONCLUSION.	26

DEUSIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

CHAPITRE 1 : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE

1-1- Introduction	27
1-2- Présentation de la zone d'étude	27
1-3- Le climat de la zone d'étude	27
1-3-1- Les précipitations	27
1-3-2- La température	30
1-3-3- L'évapotranspiration	31
1-3-4- Le vent	31
1-3-5- L'insolation	32
1-3-6- Classification du climat	32
1-3-6-1- Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN	32
1-3-6-2- Climagramme d'EMBERGER	32
1-3-7- Le Pédoclimat	34
1-3-7-1- Le régime Thermique	34
1-3-7-2- Le régime Hydrique	34
1-4- Géologie de la région d'étude	34
1-4-1- Géologie régionale	34
1-4-1-1- Dépôts de quaternaire actuel	34
1-4-1-2- Dépôts de quaternaire moyen	34
1-4-1-3- Dépôts de quaternaire ancien (terrasse)	34
1-4-1-4- Dépôts de l'ère tertiaire	36
1-4-1-4-1- Pliocène	36
1-4-1-4-2- Miocène	36
- Miocène supérieur (Pontien)	36
1-4-1-4-3- Paléogène	36
1-4-1-4-4 - Eocène inférieur (ypresien)	36
1-4-1-5- Dépôt de l'ère secondaire	36
1-4-1-5-1- Le crétacé supérieur	36
- Le cénomanien supérieur	36
- Le cénomanien inférieur	36
- Turonien	37
- Cénomanien	37

1-4-1-5-2- Le crétacé inférieur	37
- Albien	37
- Aptien	37
- Barrémien	37
1-4-2- Les terrains sédimentaires affleurant dans la zone d'étude	37
1-5- Géomorphologie de la région d'étude	
- La Combe du Djebel Boughzel	39
- Les cheverons	39
- Les cônes de déjection	39
- Les glacis.	41
- Les escarpements d'érosion	41
- Les accumulations de sable	41
1-6- Hydrogéologie de la zone d'étude	41
1-6-1- La nappe phréatique du quaternaire	41
1-6-2- La nappe de grès (profonde)	41
1-6-3- La nappe des calcaires de l'Eocène et Sénonien	41
1-6-4- La nappe des sables du miopliocène	43
1-7 - La végétation	43
1-8 – Conclusion	43
CHAPITRE 2 : METHODES D'ETUDE	
2-1- Choix de la zone d'étude	45
2-2- Dates de prélèvement et échantillonnage	45
2-3- Méthodes d'analyse	45
2-3-1- Analyses physique et physico-chimique	45
2-3-1-1- Le pH (eau)	45
2-3-1-2- La CE	45
2-3-1-3- Le calcaire total	45
2-3-1-4- Le carbone organique	45
2-3-1-5- l'Analyse granulométrique	47
2-3-1-6- Le gypse	47
2-3-1-7- Le Bilan ionique	47
2-3-1-7-1- Les anions	47
2-3-1-7-2- Les cations	47
2-3-1-8- La CEC et les bases échangeables	48
2-3-2- Analyses micro morphologiques	48
2-3-3- Analyses minéralogiques	48
2-3-4- La morpho-scopie des sables	48
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION	
INTRODUCTION	50
CHAPITRE 1 : CARACTERISATION MORPHO-ANALYTIQUE DES SOLS	
1-1- Introduction	50
1-2- Caractérisation morpho-analytique du sol	
1-2-1- Le premier profil (P1)	50
1-2-2- Le deuxième profil (P2)	52
1-2-3- Le troisième profil (P3)	54
1-2-4- Le quatrième profil (P4)	56
1-2-5- Le cinquième profil (P5)	58
1-2-6- Le sixième profil (P6)	60

1-2-7- Le septième profil (P7)	62
1-2-8- Le huitième profil (P8)	64
1-2-9- Le neuvième profil (P9)	66
1-3- Conclusion	70
CHAPITRE 2 : CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES SOLS	
2-1-Introduction	72
2-2- Choix des échantillons	72
2-2-1- La première étape	72
2-2-2-La deuxième étape	73
2-3- Résultats et interprétation	
2-3-1- La minéralogie de P1H2	74
2-3-2- La minéralogie de P3H2	77
2-3-3- La minéralogie de P4h2	79
2-3-4- La minéralogie de P5H1	79
2-3-5- La minéralogie de P5H2	81
2-3-6- La minéralogie de P5H3	84
2-3-7- La minéralogie de P6H2	84
2-3-8- La minéralogie de P8H1	84
2-3-9- La minéralogie de P8H2	88
2-3-10- La minéralogie de P9H1	88
2-3-11- La minéralogie de P9H3	88
2-4-Conclusion	92
CHAPITRE 3 : CARACTERISATION MICROSCOPIQUE DES SOLS	
3-1- Introduction	93
3-2- Choix des échantillons	93
3-2-1 la morphoscopie	93
3-2-2- la micromorphologie	93
3-3- Résultats et interprétation	93
3-3-1- Etude morphoscopique	93
3-3-1-1- Etude morphoscopique des sables du domaine calcaire	93
- Pour l'horizon superficiel	93
- Pour l'horizon de profondeur	94
3-3-1-2- Etude morphoscopique des sables de la zone de transition entre le domaine calcaire et gypseux	
-Pour l'horizon superficiel	95
-Pour l'horizon profond	95
3-3-1-3- Etude morphoscopique des sables du domaine gypseux proprement dit	
- Concernant l'horizon de surface	96
- Concernant l'horizon profond	96
3-3-1-4- - Etude morphoscopique de la zone de transition entre le domaine gypseux et salé	
- pour l'horizon de surface	97
- pour l'horizon profond	97
3-3-1-5- Etude morphoscopique de la zone du domaine salé	
- Concernant l'horizon de surface	97
- Concernant l'horizon profond	98
3-3-2- Etude micromorphologique	
3-3-2-1- Etude micromorphologique de l'horizon P3H2	99
3-3-2-2- Etude micromorphologique de P4H2	99
3-3-2-3- Etude micromorphologique de P5H1	99

3-3-2-4- Etude micromorphologique de P5H3	100
3-3-2-5- Etude micromorphologique de P8H2	100
3-3-2-6- Etude micromorphologique de P9H1	101
3-3-2-7- Etude micromorphologique de P9H3	101
3-4- Conclusion sur l'étude microscopique	102
3-4-2-Synthèse sur la formation du sol	104
CONCLUSION GENERALE	106
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

Introduction générale

Le Sahara a longtemps été perçu comme un milieu pédologiquement non fonctionnel, la surface du sol étant constituée que d'affleurements rocheux très peu altérés. Durand (1954) pensait que les sols constamment remaniés par le vent ne présentaient pas de profil pédologique.

En Algérie, le Sahara occupe 2.000.000 km² sur une superficie totale de 2.376.391 km² soit 85% du pays. Malgré la grandeur des surfaces sahariennes, les études pédologiques restent limitées.

Les sols des zones arides sont insuffisamment connus (Pouget, 1980), mais les études sur ces sols restent très localisées.

De nombreuses études ont été publiées sur les sols des zones arides d'Algérie (Durand, 1954; 1963; Aubert, 1960; Dekkiche, 1974; Halitim, 1988), cependant ces études sont en général descriptives, cette étape est intéressante mais reste insuffisante. L'étude des processus de formation et surtout d'évolution du sol demeure nécessaire.

Les sols des zones arides ont longtemps été considérés comme des milieux qui ne représentent aucun intérêt du point de vue économique, mais devant le besoin incessant d'une population en croissance démographique rapide, l'instauration de nouveaux périmètres devient impérative pour maintenir l'équilibre socio-économique dans cette région. Surtout après l'aide offert par le projet du PNDA (projet national de développement agricole) qui supporte et soutient les efforts fournis dans ce domaine et dans cette zone. Cependant la mise en culture de ces espaces ne doit pas être soumise à des critères d'évaluation reposant seulement sur une caractérisation pédologique à partir des données physico-chimiques.

Il devient nécessaire de tenir compte de toutes les particularités que font la structure complexe du milieu saharien, et de réunir les conditions favorables à l'accroissement de la production (Boumaaraf, 2003).

Comme tous les sols des régions arides du monde, les sols de la zone saharienne d'Algérie se caractérisent par une évaporation qui prédomine sur l'ensemble de l'année, une rareté de pluies et une sécheresse chronique actuelle (Hamdi, 2001).

Ces sols contiennent des quantités relativement importantes de sels solubles qui s'accumulent et présentent souvent des croûtes calcaires ou gypseuses ou les deux à la fois. C'est le cas des sols de Ain Ben Noui.

La présence de ces accumulations gypseuses, calcaires et salines, d'une manière générale pose d'énormes problèmes de mise en valeur.

Dans ce contexte, des études ont été menées sur ces types de sols en Algérie (Halitim, 1988; Aoun, 1995; Halitim et Robert, 1991; Abdesselem, 1998; Bensaid, 1999; Khechai, 2001; Hamdi, 2001; Boumaaraf, 2003).

Cependant l'étude de la genèse de ces sols n'a attiré l'attention des chercheurs que récemment, en se basant sur le fait que la caractérisation moderne des sols découle avant tout de la nature de la pédogenèse qui les a engendré, c'est l'objectif initial de l'étude courante.

Notre travail tente d'identifier à partir des données morpho analytiques, minéralogiques et microscopique, les mécanismes responsables de la formation des sols de la zone de Ain Ben Noui, tout en tenant compte des paramètres du milieu (climat, géologie et hydrogéologie).

Cette étude comporte trois parties :

- La première partie comprend une étude bibliographique, où nous passons en revue les caractéristiques, la répartition, les facteurs de formation et la minéralogie des sols des zones arides, en particulier ceux gypseux, salés et calcaires.
- Dans la deuxième partie nous présentons d'une part le milieu naturel de la zone d'étude et d'autre part les méthodes d'analyses suivies en justifiant souvent notre choix.
- La troisième partie est consacrée aux résultats obtenus et leurs interprétations à travers l'analyse des données morpho-analytiques, minéralogiques et microscopiques.

Enfin nous concluons par une synthèse sur les mécanismes responsables de la formation des sols de la séquence.

Introduction

Les sols des zones arides se trouvent partout et sont les plus communs des sols dans le monde (Brady, 1990). Ils occupent en effet le 1/3 de la surface terrestre, leur concentration surtout en Afrique fait que 55% de la superficie, est constituée de désert ou de régions désertiques à divers degrés (Balba, 1982 cité par Halitim, 1988).

Pour Aubert (1960), la zone aride est caractérisée à la fois par son climat toujours peu pluvieux et parfois très sec, et très irrégulier.

Ces sols présentent un certain nombre de caractères constant ; évolution lente, matière organique fortement évoluée, structure faiblement définie et en général présence des croûtes calcaires, gypseuses et accumulations salines.

Les sols arides sont caractérisés par des capacités d'humidité faibles qui limitent leurs réactions chimiques et physiques (Claridge et al, 1982 cité par Cantan et al, 2003).

La zone aride elle-même peut être dans son ensemble subdivisée en zone désertique, zone aride proprement dite et zone sub-aride, en fonction des conditions climatiques, et des caractères de la végétation (Aubert, 1960).

Ces zones arides et semi- arides se distinguent au niveau pédologique par la présence des sels solubles, carbonate et gypse. Généralement ces sels constituent les traits caractéristiques des zones arides (Halitim, 1988).

En fonction du niveau des sels, les principaux types de sols individualisés dans les zones arides de l'Algérie sont en nombre de cinq :

- Les sols sans accumulation des sels (au sens large du terme sels) ;
- Les sols calcaires ;
- Les sols gypseux ;
- Les sols calcaires et gypseux ;
- Les sols salés.

Les cinq types des sols sont différents entre eux surtout par leur texture, morphologie, mode d'évolution pédogénétique et par le niveau et le mode de salinisation.

CHAPITRE 1 : LES SOLS GYPSEUX

1-1- Généralités

Le gypse est un minéral répandant à la formule $\text{Ca SO}_4 2\text{H}_2\text{O}$ (Lozet et Mathieu, 1990). C'est la forme la plus répandue de sulfate de calcium dans le sol (Eswaren et Gong, 1991; Porta et al, 1990). Sa solubilité (2,4g/l à 25°C et 1 atmosphère), (Porta et al, 1990) dépend de la composition chimique des solutions aqueuses, la température et la pression (Ellorza et al, 1998) et aussi de la taille des cristaux de gypse, elle croit avec la finesse des particules (F.A.O, 1990).

Dans le sol, les cristaux de gypse apparaissent sous plusieurs formes et arrangements dont on peut citer : Cristaux rhomboïdaux lenticulaires, roses de sable, prismatiques pseudo hexagonaux, prismatiques pinacoidaux, aciculaires, fibreux, tubulaires, en ficelles et granulaires (Jafarzadeh et al, 1992).

Un sol est gypseux, lorsqu'il contient des quantités suffisantes de gypse, qui interrompent le développement normal des plantes (F.A.O, 1990).

Boyadjiev (1974), considère un sol comme gypseux, s'il présente l'une des caractéristiques suivantes

- Un horizon à accumulation du gypse (horizon gypsique), plus épais que 15cm dans une partie du sol à moins d'un mètre de profondeur et dont la teneur en gypse est supérieur à un taux de 25%;
- Un produit de teneur du gypse multipliée par la profondeur (jusqu'à 100 cm), supérieur à 150.

1-2- Répartition des sols gypseux

Les sols gypseux sont largement répandus, puisqu'à l'exception de l'antarctique, ils s'étendent à tous les continents. Ils apparaissent typiques et caractérisent généralement les zones arides et semi-arides, ou le bilan hydrique est largement déficient (Coque, 1962; Pouget, 1968; Boyadjiev, 1974; Watson, 1985; Pouget, 1989; F.A.O, 1990; Kadri et Gallali, 1991; Brenda et John, 2002). Leur régime hydrique est aridique, xérique ou ustique (Watson, 1979; Coque, 1962; F.A.O, 1990; Khademi et Mermut, 2003). Avec des conditions de précipitations annuelles comprises entre 250 et 400mm (Watson, 1985; Pouget, 1968). On peut aussi les rencontrer localement dans les régions humides, quand le milieu n'est pas favorable au drainage (Djili, 2000).

L'étendu des sols gypseux à travers le monde est difficile à limiter (Herrero et Porta, 2000). Ces sols occupent plus de 200 millions d'hectares (F.A.O, 1990; Nettleton, 1991; Eswaren et

Gong, 1991; Mashali, 1993; 1996; Boyadjiev et Verhey, 1996). Ces résultats sont loin d'être précis (Jafarzadeh et Zinc, 2000), car seulement de petites surfaces de sols gypseux ont été étudiés (Herrero et Porta, 2000).

Ces sols se rencontrent spécialement au Nord d'Afrique, Sud Ouest d'Asie et l'Europe méditerranéenne (Van Alphen et al, 1971) ,45% de ces sols sont concentrés en Chine, Somalie et en Algérie (F.A.O, 1990).

En Algérie, la superficie couverte par les sols gypseux est estimée à 7966,3 km² (F.A.O, 1990), soit 3,3% de la surface totale du pays et 12,2% de la superficie totale des sols gypseux du monde (Tableau 01)

Tableau 01 : Distribution et extension des sols gypseux dans le monde
(Jafarzadeh et Zinc, 2000). (Superficie x 1000 ha).

Continents	Pays	Surface totale	Surface cultivée et labourée en permanence.	Surface Irriguée	Sols gypseux	
					Superficies	%
EST-CENTRAL	Bahrain	68	2	1	6	8,8
	Iran	163600	18150	9400	28851	17,6
	Irak	43737	5450	2550	12503	28,6
	Jordanie	8893	405	63	81	0,9
	Kowait	1782	5	2	355	19,9
	Oman	21246	63	58	7649	36,0
	Qatar	1100	5	-	<1	-
	Arabie saoudite	214969	3740	435	20250	9,4
	U.A. Emirates Yémen	8360 52797	39 1481	5 360	<1 2931	- 5,6
Eurasie	Afghanistan				<1	-
	Chine	650209	8054	2760	21056	2,3
	Inde	932641	95975	49872	1500	0,5
	Mongolie	297319	169650	48000	61	<0,1
	Pakistan	15667088	1401	80	1500	1,9
	Ex. URSS		21250	17100	27450	-
Mediterranean	Algérie	238174	7850	555	7966	3,3
	Cyprus	924	158	39	<1	-
	Egypte	99545	2800	2800	10000	10,1
	Liban	1023	306	86	<1	-
	Libye	175954	2170	470	5000	2,8
	Maroc	44630	9920	1258	1116	2,5
	Espagne	49944	19656	3453	3500	7,0
	Syrie	18378	5775	906	4095	22,3
	Tunisie	15536	4952	285	5250	33,8
	Turquie	76963	27535	3674	395	0,5

Afrique	Ethiopie	100000	12650	190	2500	2,5
	Mali	122019	2503	78	3050	2,5
	Mauritanie	102522	208	49	513	0,5
	Namibie	82329	622	6	5328	6,5
	Somalie	62734	1030	180	10163	16,5
	Soudan	237600	12975	1946	785	0,3
Nord - Amérique	Mexique	190869	24730	6100	1100	0,6
	U.S.A	-	-	-	1400	-
Australie	Australie	-	-	-	23	-

Malgré que ces sols sont peu abondants dans les régions du Nord du pays et se localisent dans les dépressions, ils ont fait l'objet de plusieurs études pédologiques (Durand, 1953; 1963; Boyadjiev, 1974), d'approches microscopiques (Dekkiche, 1974; 1976) et statistiques (Djili, 2000).

Cependant, les sols gypseux proprement dits se rencontrent au Sud Algérien, surtout au Zehrez, Ziban, Ouf, Oued R'hir et la région de Ouargla et n'ont bénéficié que de peu d'études (Halitim, 1985; 1988; Halitim et Robert, 1987; 1991; Abdessalem, 1991; 1998; Bensaid, 1999; Hamdi et al, 1996; Hamdi, 2001; 2002; Khechai, 2001; Bomaaraf, 2003).

1-3- Genèse des accumulations gypseuses

Il a eu beaucoup de débats sur les processus de formations gypseuses, leur âge et leur influences en long terme (Drak, 1997).

La formation et la distribution géographique des accumulations gypseuses pédogénétiques sont le résultat d'une combinaison de plusieurs facteurs tels que la topographie, la nature du matériaux parental, l'âge et l'histoire climatique et les conditions géomorphiques (Watson, 1988; Eswaren et Gong, 1991; Cooke et al, 1993; Ellorza et Santa ana, 1998; Toomanian et al, 2001). Ces formations se rencontrent généralement dans les régions, dont le régime d'humidité des sols est de type ustique, xérique ou aridique (F.A.O, 1990), et plus spécialement dans les zones arides du Maghreb (Durand, 1954; Morris et Dickey, 1957; Bureau et Roederer, 1961; Pouget, 1968; Dulti, 1971; Halitim et Robert, 1987).

Cependant, les accumulations du gypse dans les sols sont communes dans les régions arides et semi-arides (Chen, 1997; Chen et Hseu, 1997; Van Hoesen et Buck, 2002). Elles apparaissent généralement dans les zones présentant des précipitations comprises entre 100 et 250mm

(Brierre, 2000) et deviennent moins fréquentes dans les régions hyper- arides (précipitation < 100mm) (Hamdi Aissa, 2002).

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

Les principales théories ou hypothèses sont

1-3-1- Origine des nappes « théorie Per Ascensum »

Les accumulations gypseuses dont leur genèse tient à ce type de modèle ont été décrites par plusieurs auteurs (Durand, 1949; Bellair, 1954; kulke, 1974; Pouget, 1968; Watson, 1979; Risacher, 1978; Jafarzadeh et Burnham, 1992; Podwojewski et Arnold, 1994).

Cette théorie implique des mouvements par ascension capillaire à partir d'une nappe superficielle (Bureau et Roederer., 1961; Drak, 1997). Le processus de formation des croûtes de nappe est lié à l'évaporation au niveau de la nappe, ainsi que son degré de saturation.

D'après Halitim (1985), la genèse par mouvement « Per Ascensum » peut jouer pour trois raisons.

- Une ETP>P la plus grande partie de l'année ;
- Un niveau de nappe proche de la surface ; le niveau piézométrique de la nappe permettant un dépôt de gypse est fonction de la texture, la température, mais aussi de la composition chimique de cette nappe. En effet l'encroûtement gypseux serait d'autant plus éloigné de la nappe, que cette dernière sera moins saturée vis-à-vis du gypse ;
- Une nappe saturée ou proche de saturation vis-à-vis du gypse ;

La réalité de ce mode de formation est suggérée par la présence des nodules gypseuses en « rose de sable » à la base du profil. Les roses de sable seraient liées à l'action d'une nappe superficielle active (Bellair, 1954).

1-3-2- Origine des apports éoliens

La contribution du vent dans le phénomène de formation des accumulations gypseuses a été démontrée par plusieurs auteurs (Trichet, 1963; Watson, 1988; Taimeh, 1992; Van Hoesen et Buch, 1999; Van Hoesen, 2000).

La déflation éolienne sur une surface pulvérulente contenant du gypse, et le dépôt de ce matériau fait apparaître de nombreuses accumulations de gypse. C'est le cas des lunettes et

des minces croûtes de Nebkha (Pouget, 1968). Le vent serait responsable de la formation et la mise en place des formations gypseuses de la Tunisie pré-saharienne (Coque, 1962).

Watson (1979), qualifie ce processus de mouvement "Per-descensum"

1-3-3- Origine des apports lagunaires

La concentration de l'eau sous l'influence de l'évaporation, conduit au dépôt de sulfate de calcium, en présence de chlorure de sodium provoquant sa précipitation sous des formes plus ou moins hydratées (Durand, 1953; Waren, 1982). C'est le mécanisme responsable de la formation du gypse pulvérulent. Ces dépôts sont caractérisés par une grande pureté du minéral et une rareté des éléments clastiques.

L'origine lagunaire serait donc à envisager pour expliquer le maintien de cet encroûtement à ce niveau. Il semble que le dépôt de gypse s'est produit beaucoup plus tard que celui du calcaire, c'est à dire au cours du dernier pluvial, il a plus de 12000 ans (Durand, 1953).

1-3-4- Origine colluvionnaire

D'après Halitim (1988), des cas de gypse colluvionné ont été observés dans la région du Zehrez. La formation des fentes de retraites dans les sols très argileux, et les processus de dissolution et de recristallisation pourraient être à l'origine de leur intégration dans le matériau pédologique.

1-3-5- Origine biologique

L'activité des racines libérant du gaz carbonique permet la formation de bicarbonates, donc des ions Ca en excès, responsables de la précipitation des sulfates. Elle favorise aussi la concentration des solutions. Ainsi, les amas gypseux se localisent au niveau des racines et des radicelles (Pouget, 1968).

1-3-6- Origine géologique

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

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

- Le Trias supérieur (Salifère principal)

Pendant lequel se sont déposées les couches évaporitiques (Salines, gypseuses, et argileuses excessivement carbonatées). Plus épaisses et volumétriquement les plus importantes de tous les temps, et en particulier des temps mésozoïques sur le Sahara (Buisson et Carnee, 1989).

- Le Jurassique moyen

Le gypse peut être intercalé dans les formations du Jurassique et surtout dans les marnes vertes du bathonien (Kadri, 1987).

- Le Crétacé

Les couches évaporitiques du crétacé, principalement les formations du crétacé supérieur constituent une source continue d'ion calcium (Kadri, 1987).

1-4- Les formes du gypse et des accumulations gypseuses dans le sol

Dans le sol, le gypse peut se présenter sous différentes formes en fonction des conditions dans lesquelles il précipite (Djili, 2000). Il apparaît sous forme pulvérulente, en pseudomycelium, en amas, en nodule, en rose de sable, en encroûtement, en croûte massive ou en croûte polygonale (Bureau et Roederer, 1961; Martin, 1963; Pouget, 1968; Boyadjiev, 1974; Kulke, 1974; Dekkiche, 1974; 1976; Stoops et Ilaiwi, 1981; Nettleton et al, 1985; Waren, 1982; Abrukova et Isayer, 1983; Ali et West, 1983; Reheis, 1987; Watson, 1985; 1988 et 1989; Panhova et Yammova, 1987; Halitim, 1988; Harden et al, 1991; Boyadjiev et Sayegh, 1992; Drak, 1997).

Abdessalem (1998), en se reposant sur le degré de précipitation du gypse au niveau du profil, subdivise les accumulations gypseuses en deux types ou groupes. Le premier englobe les croûtes, les surfaces polygonales et les encroûtements avec le nom d'accumulations généralisées. Le deuxième regroupe les nodules, les amas, les racines gypsifères, les pseudomyceliums et le gypse diffus appelés accumulations localisées.

1-4-1- Les accumulations généralisées

Le caractère le plus essentiel qui permet de distinguer entre les croûtes et les encroûtements est purement agronomique, c'est la pénétration des racines. Les taux de gypse et de salure sont plus élevés dans la croûte que dans l'encroûtement (Pouget, 1968).

1-4-1-1- Les croûtes

La plupart des croûtes du gypse sont rencontrées dans le Nord d'Afrique, surtout en Algérie (Durand, 1949; 1963; Kulke, 1974; Horta, 1982; Halitim, 1985), en Tunisie (Coque, 1955; 1962; Le Houerou, 1960; Vieillefon, 1976; Watson, 1979). On les rencontre également dans le désert central du Namibie (Martin, 1963; Scholz, 1972; Watson, 1980; 1988), le Sud -Ouest d'Australie (Waren, 1982) et l'Asie centrale (Akhvlediani, 1962; Kondorskaya, 1967). Elles sont aussi présentes en Egypte (Alice et West, 1983) en Israël (Dan et al, 1972; 1982), en Iraq (Tucker, 1978), en Iran (Gabriel, 1964), au sud Ouest des USA (Hunt et Mabey, 1966; Reheis, 1987), et en Amérique du sud (Risacher, 1978).

Selon la diversité des régions dans lesquelles les croûtes se sont développées, les principales définitions sont

- La croûte de nappe

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

- La croûte zonière

Bureau et Roederer (1961), la définit comme la partie zonée (la plus durcie et souvent superficielle) de la formation, généralement désignée par la croûte gypseuse. Elle apparaît comme une partie plus dure, pellicule zonée de quelques millimètres.

- La croûte gypseuse

C'est la partie endurcie, superficielle des formations, désignée par le terme de croûte gypseuse, Elle correspond à la croûte zonnaire des pédologues (Kadri, 1987).

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

1-4-1-2- Les surfaces polygonales

Cette macrostructure est liée aux phénomènes de dessiccation de la surface. Morphologiquement, elles présentent des bords courbés, limités par une remontée de fines particules gypseuses. Ces formations ont été décrites en Tunisie (Bureau et Roederer, 1961), en Syrie (Stoops et Ilaiwi, 1981), et en Algérie (Halitim, 1985) (Fig 01)

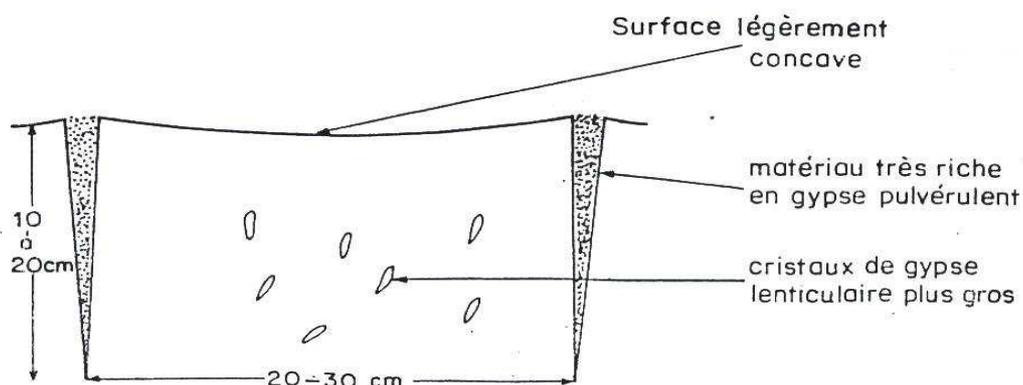


Figure 01 : Morphologie schématique d'un sol gypseux polygonal (Halitim, 1985).

1-4-1-3- Les encroûtements

Se sont des formations dures d'allure plus ou moins scoriacée, se présentant sous l'aspect d'un gré (Durand, 1953). C'est le reste de la formation enrichie en sulfate de calcium et assez compact, se trouvent sous la croûte gypseuse (Bureau et Roederer, 1961). Ces formations pouvant dépasser 1,50m d'épaisseur, plus dures à leur partie supérieure qu'à leur base, ils sont souvent entremêlés de racines pétrifiées et se rencontrent le plus souvent dans des sables. Elles sont toujours situées au dessus d'une nappe. L'horizon se trouvant en surface ou en profondeur est enrichi en gypse ou seulement consolidé par la nappe (Pouget, 1968).

Pour Vieilleffon (1976), l'encroûtement gypseux peut être de structure polygonale amorphe farinée, onctueuse et beige.

1-4-2- Les accumulations localisées

1-4-2-1- Les amas

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

1-4-2-2- Les nodules

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).

1-4-2-3- Les racines pétrifiées

Ce sont des racines entourées dans leur zone pilifère de cristaux de gypse et de calcaire, elles peuvent avoir deux origines (Durand, 1959).

- Grosses racines pétrifiées des encroûtements

Elles prennent naissance dans les conditions analogues des encroûtements mais le phénomène est plus accéléré par la plante qui évapore plus que le sol, ce qui crée une concentration de la solution au voisinage de la racine. A un moment donné, la solution sera sursaturée ce qui permet une précipitation des sels autour des racines qui se couvrent d'un feutrage gypseux. Au fur et à mesure que le dépôt continue, le feutrage grossit et joue le rôle d'un cristal plongé dans les solutions sur saturée (Durand, 1959).

- Racines feutrées de gypse

Les racines se forment par le processus déjà décrit précédemment, mais ne dépasse pas le stade feutrage, il peut prendre naissance par l'utilisation de l'eau hygroscopique suite à une forte évaporation, ces conditions sèchent la plante bien avant que le dépôt ne se produise (Durand, 1953). Ces formations sont appelées, aussi, rhyzolithes ou manchons racinaires (Benmati et Nefil, 1996).

Il existe aussi des racines ferrugineuses, elles ne doivent pas être confondues avec les fulgurites, qui sont particulièrement abondantes au Sahara.

1-4-2-4- Les pseudomyceliums

Le gypse se concentre dans les pores ou au niveau des racines, sous forme très fine de traînées blanchâtres. Pour différencier les formes gypseuses des formes calcaires il faut utiliser le terme verniforme (Herrero et al, 1992).

1-4-2-5- Le gypse diffus

Il ne peut être détecté que par l'analyse chimique (Abdessalem, 1998).

Le gypse pédogénique peut s'accumuler dans le sol d'une manière similaire à celle du carbonate pédogénique : filaments, nodules, horizon induré massif (Gile et al, 1966 ; Reheis., 1987), mais il y a une morphologie unique au gypse (Harden et al, 1991). Celle dernière peut être utilisée pour déterminer l'âge relatif des sols. Cette morphologie plus commune appelée « Snowball morphology » par Brenda et Van Hoesen (2002), est associée à la matière organique et les micro-organisme surtout les actinomycètes.

L'évolution des accumulations gypseuses, s'est faite à des vitesses différentes au cours des pulsations sèches et humides du quaternaire; un encroûtement gypseux se forme plus vite qu'un encroûtement calcaire.

Les croûtes résultent d'un processus lent et complet, où peuvent intervenir successivement des phénomènes très variés tel que, le lessivage, les remontées, la dissolution, la précipitation et la cristallisation. Leur formation a eu lieu à un climat chaud sec, mais présentant néanmoins des phases d'humidité accentuées (Boulaine, 1957).

Jafarzadeh et al (1992) expliquent la formation gypseuse dans la surface en zones arides, par la dominance du mouvement « Per axensum » au mouvement « Per descensum ».

L'hypothèse avancée pour expliquer le durcissement des encroûtements gypseux, fait intervenir des ciments, en particulier calcaires et argileux (Kulke, 1974; Dekkiche, 1974). Mais récemment Halitim et Robert (1991), dans une analyse microscopique de sols gypseux en zone aride d'Algérie, ont montré que cette hypothèse est insatisfaisante puisque d'une part, ils constatent expérimentalement que l'élimination par voie chimique du calcaire et de l'argile

n'affecte pas la cohésion de l'encroûtement gypseux, et d'autre part, que ces encroûtements gypseux se sont formés dans un matériau essentiellement quartzeux. Ils ont donné une explication à ce durcissement suggérée par l'observation au microscope électrique à balayage (M.E.B). Comme hypothèse, ils ont noté que l'accolement par interpénétration des cristaux de gypse, sans intervention de ciment, serait dû au durcissement des encroûtements gypseux.

1-5- Cortège minéralogique des sols gypseux des zones arides

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

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

Bullock et al (1985) ont illustré dans des tableaux, les minéraux les plus connus, hérités et de néoformation rencontrés dans ces sols (Tableau 2 et3).

Tableau 02 : Les plus importants minéraux formés en conditions de sédimentation (Bullock et al, 1985)

Minéral	En sédiments	Stabilité
Quartz	Mineur	Très stable.
Feldspath- k	Mineur	Modérément stable.
Calcite	Majeur	Facilement dégradé
Dolomite	Majeur	Facilement dégradé
Glaucosite	Majeur	Facilement dégradé
Goethite	Majeur	Modérément stable.
Magnetite	Majeur	Très stable.
Pyrite	Mineur	Facilement dégradé

Tableau 03 : Minéraux de néoformation dans la fraction supérieure à 10 µm dans les sols des zones arides (Bullock et al, 1985).

<i>Minéral</i>	<i>Composition</i>	<i>Apparence en sols/Climats</i>
<i>Calcite</i>	CaCO ₃	(Semi)- aride et substrat calcaire
Barite	BaSO ₄	Sols avec nappe salée
Thénardite	NaSO ₄	Sols salés
Celestite	SrSO ₄	Sols gypseux
Anhydrite	CaSO ₄	Sols des déserts
Gypse	CaSO ₄ 2H ₂ O	(Semi)- aride
Basanite	CaSO ₄ 1/2H ₂ O	sols gypseux

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

1-6- Conclusion

Dans le sol, le pourcentage du gypse varie de 1% à 100%, suivant le climat, la topographie, la physiographie (Herrero et Porta, 2000), ainsi que le régime hydrique et thermique du sol (Toomanian et al, 2001). Son influence sur les propriétés pédologiques et agronomiques n'est plus à démontrer (Djili, 2000).

Il est généralement admis qu'en petite quantité, le gypse a un effet favorable sur les propriétés physiques et chimiques du sol et par voie de conséquence sur la croissance des plantes. Cependant lorsque ces teneurs deviennent considérables, elle serait plutôt défavorables (Abdesselam, 1998). En dépassant le taux de 25%, le gypse peut influencer les rendements des cultures et provoque leur chute (Sys et Requier, 1980) in F.A.O 1990; Barzanji, 1973).

La forme du gypse aussi peut avoir des effets sur les cultures. Par exemple la présence de croûtes gypseuses a un effet direct et majeur sur la production des cultures sur des terres Irriguées (Abdesselam, 1998). Ce qui nous amène à dire que l'utilisation des sols gypseux, nécessite la connaissance approfondie du gypse, ces propriétés physiques, chimiques, minéralogiques, ainsi que les formes de sa présence dans le sol et les conditions de sa formation et c'est ce qu'on a essayé de passer en revue dans le chapitre "les sols gypseux".

CHAPITRE 2 : LES SOLS SALES

2-1- Généralités

On désigne ordinairement sous le terme de salinisation, le processus pédologique ou l'ensemble de mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles, acquérant à un degré plus ou moins fort, le caractère salé (Servant, 1973; Lozet et Mathieu, 1990).

Elle apparaît au moment où les sels s'accumulent dans le sol, c'est plutôt un phénomène dynamique que statique (Herrero et Synder, 1997).

Elle peut aussi se définir comme toutes teneurs excessives en ions, pouvant se présenter dans les sols ainsi que dans les eaux (Herrero et Aragues, 1990).

Les sols sont dits salés, lorsqu'ils contiennent une certaine quantité d'éléments minéraux, dont notamment le sodium, sous forme dissoute, échangeable ou précipitée (Girard et al, 2005).

Ces minéraux doivent être plus solubles que le gypse (Aubert, 1960; Dogar, 1980).

Coutinet (1965), considère un sol comme salé, lorsque la végétation climatique est remplacée par une végétation spécialisée; halophile.

2-2- Répartition des sols salés

Avec un caractère azonal, les sols salés sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils occupent des surfaces étendues à l'échelle du globe terrestre (Mihai et Dincu, 1976; Servant, 1976), couvrant une superficie estimée à environ 9,55 millions de Km² (Szabolcs, 1994; Girard et al, 2005).

Ces sols se rencontrent en milieu méditerranéen (Sud de la France, Portugal, Espagne), continental (Autriche, Bulgarie, Roumanie..) et sur le littoral atlantique. En Amérique du sud presque tous les pays sont confrontés à ce problème. Tous les pays d'Asie, à l'exception de la Turquie sont affectés par les sels.

En Australie, ces surfaces présentent un pourcentage très important de la superficie totale, non seulement dans les régions arides, mais dans les parties plus humides du sud et Sud- Est, les vallées des rivières et les zones récemment irriguées.

L'Afrique présente de vastes régions affectées par les sels (notamment les zones arides à proximité des grands fleuves) (Chevery, 1995).

En Algérie, les sols salés occupent de grandes étendues (Durand, 1958; Aubert, 1975; Halitim, 1985). Les sols agricoles sont dans leur forte majorité affectés par le sel ou susceptible de l'être (Halitim, 1973).

D'après Le Houerou (1993), les sols salés sont localisés tant au Nord qu'au Sud

- Au Nord-Est, principalement la région comprise entre les Wilayas de M'sila, Sétif, Batna, Oum El Bouaghie, Annaba et Taref.
- Au Nord- Ouest, la vallée de Tafna, les plaines d'Oranie.
- Dans les hautes plaines et les régions Sahariennes, ils se localisent dans les bassins des chotts et au niveau des Oasis.

Les sols salés sont concentrés dans les régions à climat aride, où les possibilités d'évaporation sont considérable et les précipitations pluviale limitées (environ 25% de la surface cartographiées en Algérie (Halitim, 1988)). Nous les rencontrons également sous des climat sub-humides et même humides (Durand, 1983; Szabolcs, 1994).

2-3- Formation des sols salés

Les sols salés sont formés à partir de trois processus physico- chimiques; salinisation, sodisation et alcalisation, que Girard et al, (2005) définit comme suit:

- La salinisation, processus produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux..).
- La sodisation, processus produit lorsque le complexe organo-minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion Na^+ , les agrégats deviennent instables à partir d'un certain seuil et la dégradation des propriétés physiques du sol est potentielle (Servant, 1970).
- L'alcalisation, intervient lorsqu'un sol à complexe saturé en sodium se transforme physiquement suite d'échange entre l'ion Na^+ et les protons au moment d'une humectation.

La sodisation et l'alcalisation sont étroitement liées, on parle plus globalement de processus d'alcalinisation.

Selon l'intensité des processus mis en jeu et leurs caractéristiques physico-chimiques, on définit plusieurs types de sols salés (Servant, 1970; Loyer, 1995). Leur classification pose encore des problèmes et la majorité des systèmes recommandent une subdivision en trois catégories (Dogar, 1980; Daoud, 1993). On parle des sols salés, sols salins à alcalins et sols alcalins non salés, qu'on distingue entre eux en recourant à leur pH, conductivité électrique, ESP et SAR (USSL, 1954; CPCS, 1967).

- Les sols salés, sols dont la conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte à saturation est supérieur à 4 mmhos/ cm à 25°C et dont le pourcentage de sodium échangeable (ESP) est inférieur à 15% généralement le pH est inférieur à 8,5.

Ces sols correspondent aux "solonchaks " dans la classification russe.

A cause de la présence de sels en excès et de l'absence de quantité suffisante de sodium

échangeable, les sols salés sont généralement floculés, et en conséquence la perméabilité est supérieure ou égale à celle des sols similaires non salés (Dogar, 1980).

Quand un système de drainage adéquat est installé, les sels solubles en excès peuvent être éliminés par lessivage, et les sols deviennent normaux.

Les sols salés à alcalins; de conductivité de l'extrait de pâte saturé >4 mmhos/cm à 25°C et le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à 15%. Ces sols sont le résultat de processus continus de salinisation et d'alcalinisation. Dans les conditions où les sels sont en excès, le pH monte rarement au dessus de 8,5 et les particules restent floculées. Autrement il peut arriver autour de 9. Si les sels en excès sont lessivés, les propriétés de ces sols peuvent changer d'une manière déterminante et devenir semblable à celles de sols alcalins non salés (Dogar, 1980).

D'après Aubert (1983), les sols salins à alcalin s'observent dans les Oasis du sud Algérien, comme Touggourt et aussi dans la vallée du Chelif.

Selon Daoud (1993), sa perméabilité dépend du rapport entre la CE et l'ESP, de la teneur et de la nature de la fraction argileuse du sol.

- Les sols alcalins non salés, sols ayant une valeur de l'ESP supérieure à 15%, celle de la CE inférieure à 4mmhos/cm à 25°C et le pH varie habituellement de 8,5 à 10 (Dogar, 1980).

Dans la légende F.A.O de la carte du monde, les sols salés du Maghreb sont pour la plupart des solonchaks. Les solonetz y sont rarement représentés (Aubert, 1975).

2-4- Origine de la salinité des sols

Les facteurs de formation des sols salés sont nombreux (Salim et Tessier, 1998), on en distingue deux types de salinisation:

- Salinisation primaire, due aux sels se formant in-situ au cours du processus d'altération des roches. La migration et le dépôt de ces sels solubles dépendent de l'intensité et de la répartition des précipitations, du degré de porosité du sol et autres caractéristiques du milieu naturel (Aubert, 1975; 1983; Loyer, 1991; Chevery, 1995; Oster et Shainberg, 2001).

- Salinisation secondaire, qui affecte plus de 76 millions d'hectares de terres dans le monde (Ghassemi et al, 1995), processus qui suit une irrigation avec une eau de mauvaise qualité (provoquant la dégradation chimique et physique des sols), un lessivage insuffisant, un drainage déficient, des infiltrations à partir des canaux et des zones adjacentes (Gaucher et Burdin, 1974; Mauget, 1987; Amindganov et al, 1990; Valles et Marlet, 1987; Cherbuy, 1991; Suarez, 1992; Sumner., 1993; Daoud et Halitim, 1994; Ghassemi et al, 1995; Johnson et Lewis, 1995; Marlet, 1996; Badraoui et al, 1998; Chevery et Bourrier, 1998; Hachicha et Mhir, 2003 in Bala, 2005; Askri et al, 2003; Messahel et Meza, 2003).

Concernant l'origine de la salinité des sols, on peut distinguer trois grands types (Aubert, 1975)

2-4-1- Salinisation d'origine géologique

L'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques, magnésiens, donnent des sels solubles. En zones basses et zones bossées du paysage (Cherbuy, 1991; Loyer, 1991; Salim et Tessier, 1998; Bellaredj, 2000).

2-4-2- Salinisation d'origine marine ou lagunaire

Il s'agit des dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux même des sols et fournir leurs sels aux Oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines où ils déposent à leur surfaces (Gaucher et Burdin, 1974; Aubert, 1976; Cherbuy, 1991; Loyer, 1991).

2-4-3- Salinisation d'origine anthropique

Qui entraîne l'apparition du caractère halomorphe sur des sols exempts de salinité c'est la "salinisation secondaires" déjà expliquée. C'est la conséquence de pratiques inadaptées aux conditions pédoclimatique (Chevery, 1991).

2-5- Les variations de la salinité au niveau des profils

D'après Halitim (1988), il existe trois types de profils salins dans la zone aride de l'Algérie.

2-5-1- Le premier type

Le maximum de salinité se trouve dans la partie inférieure du profil. Ce type de distribution est observé dans les sols à croûtes et encroûtements calcaires et dans les sols à encroûtement gypseux de la surface des parties amont et médianes de la séquence du Zehrez. Ce type de profil salin a été qualifié de descendant par Servant (1975).

Il indique en général que le profil a subi une phase de lexiviation des sels solubles.

2-5-2- Le deuxième type

Le maximum de salinité s'observe dans la partie supérieure du profil. Il correspond aux sols influencés par une nappe salée peu profonde, qui sont en général localisés dans les zones basses et déprimées des séquences. Les horizons les plus salés se localisent alors au-dessus des horizons gypseux et calcaires quand ces derniers sont présents. C'est le profil salin ascendant ou le type A de Servant (1975). Quand la concentration en sels est très fortes et que la texture est argileuse; on observe à la surface du sol une texture en pseudo- sables et des efflorescences salines, cependant la texture en pseudo- sables peut exister même s'il n'y a pas

de nappe, à condition que les autres caractéristiques, (une texture argileuse et une forte salinisation) soient présent.

2-5-3- Le troisième type

La partie médiane du profil correspond à un maximum de salinité. Les profils concernés par ce mode de distribution des sels sont en général situés dans la partie médiane des deux séquences étudiées par Halitim, (1988). Il s'agit en général de sols dont la dynamique saline est caractérisée par une remontée capillaire et une lexiviation des sels. Il correspondent au type B de Servant (1975) et peut aussi caractériser une phase de désalinisation des profils du 2^{ème} type (figure 02).

2-6- Minéralogie et micromorphologie des sols salés

La micromorphologie détaillée des sols salés généralement, et des croûtes salines spécialement a attiré des attentions limitées. Cela est dû à leur inaccessibilité relative et aux problèmes rencontrés lors de leurs analyses routines causées par la solubilité des minéraux.

Girard et al, (2005), suggèrent la présence de trois groupes de sels recensés dans les efflorescences salines:

- Pour la voie acide: la rozeinite ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), l'alunogène ($\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$), la tamarugite ($\text{Na Al} (\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), la natrojarosite.
- Pour la voie saline neutre : la calcite (CaCO_3), le gypse ($\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), les sulfates magnésiens ($\text{Mg} (\text{SO}_4) \cdot \text{N H}_2\text{O}$), l'halite (Na Cl) et la Sylvite (KCl).
- Pour la voie alcaline : la calcite ou la calcite magnésienne, la fluorine (Ca Fe), la thenardite ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$), la mirabilite ($\text{Na}_2 \text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), les silicates magnésiens, le natron ($\text{Na}_2 \text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), le trôna ($\text{Na}_3 \text{H} (\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

L'étude de Shahid et Jenkins (1994), sur 25 croûtes a donné des compositions minéralogiques dominées ou co-dominées par : la thenardite dans 13 échantillons, mirabilite dans 8 échantillons et halite dans 4 échantillons. Cependant Mees et Stoops (1991), ont trouvé l'assemblage : halite -trôna- thenardite-burkcite. La déposition de l'halite (Na Cl) en désert, a été toujours interprétée comme évaporites lagunaires ou lacustre, qui se trouvent généralement dans les Sebkhas (Watson, 1989).



Figure 2-1 : Premier type de profil salin.

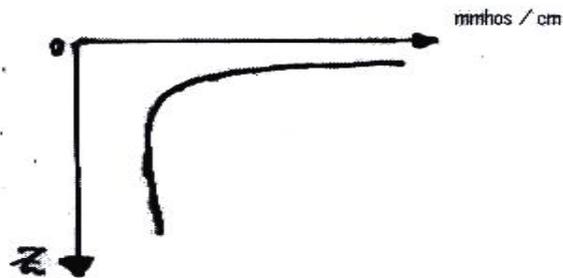


Figure 2-2 : Deuxième type de profil salin.

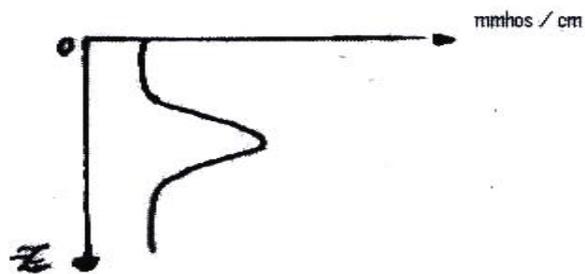


Figure 2-3 : Troisième type de profil salin.

Figure 02 : Types de profil salin (Halitim., 1988).

2-7- Conclusion

La dégradation des sols est souvent associée à la salinité (Herrero et Aragues, 1990).

La présence des sels solubles dans le sol en grande quantité peut affecter ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (Daoud et Halitim, 1994). Ces sols présentent une faible porosité, une perméabilité relativement faible comme conséquence directe de la dispersion des colloïdes par les ions, une stabilité structurale moyenne à médiocre, un accroissement considérable de la rétention de l'eau (hygroscopique) conférant au sol la capacité de rester humide même en saison sèche (Servant, 1970 ; Halitim, 1973; Tessier et al, 1992; Daoud, 1993; Daoud et Halitim, 1994 ; Daoud, 1999).

Toutes ces caractéristiques des sols salés et autres peuvent affecter le développement des cultures, en accentuant les effets de la sécheresse qui limite le prélèvement de l'eau par la plante en exerçant un effet toxique (Boulaine, 1972; Daoud et Halitim, 1994 ; Loyer, 1991).

CHAPITRE 3 : LES SOLS CALCAIRES

3-1- Généralités

Le calcaire occupe une place importante dans les sols. En effet il se rencontre non seulement dans les sols des régions arides et semi-arides, mais aussi dans les régions à climat humide et sub-humide.

Le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique, est le constituant essentiel des calcaires (Horta De Os, 1982; Djili et Daoud, 1999; Djili, 2000).

Le calcaire se caractérise par sa teneur, mais aussi par sa forme dans le sol. Dans beaucoup de cas c'est la forme qui détermine le trait essentiel du profil, surtout, quand le calcaire s'individualise sous forme continue (Djili, 2000).

Un sol calcaire est un sol qui contient surtout ou une partie de son épaisseur, du carbonate de calcium libre dans la terre fine ou pour le moins dans la fraction grossière, le calcaire (CaCO_3) doit être en quantité suffisante pour présenter une effervescence visible, sous l'action de l'acide chlorhydrique à froid (Lozet et Mathieu, 1990).

Ces sols calcaires sont en général caractérisés par la présence de trois horizons principaux (Ruellan, 1976)

- Dans la partie moyenne du sol, un horizon d'accumulation du calcaire (horizon Bca), qui peut être plus ou moins développé.

- Au dessus, un horizon A moins calcaire, il peut être non calcaire.

- Au dessous, un horizon C également moins calcaire que l'horizon Bca. La distribution du calcaire dans ces trois horizons qui sont étroitement liés entre eux, définit le profil calcaire.

C'est le caractère essentiel de ses sols (Ruellan, 1976).

3-2- L'origine du calcaire dans le sol

le calcaire du sol provient essentiellement de la roche mère, en particulier dans les régions arides, dont les roches sont fréquemment carbonatées (calcaire et dolomie), ou simplement riche en calcium, c'est le cas du basalte (Ruellan, 1976 ; Djili et Daoud, 1999 ; Djili, 2000; Djili et al, 1999).

La présence du calcaire dans le sol peut être due à sa précipitation et son accumulation dans les horizons Bca et Cca (Duchaufour, 1977), ou à un apport latéral après migration oblique (Ruellan, 1971 ; Djili et Daoud, 1999).

3-3- Les formes du calcaire et ces accumulations dans le sol

De nombreux auteurs se sont intéressés aux formes d'accumulations calcaire dans les sols (Durand, 1959 ; Vogt, 1984 ; Horta De Os, 1982).

Le calcaire peut se trouver sous trois formes principales en distribution diffuse, concentrations discontinues et concentrations continues.

3-3-1- La distribution diffuse

Le calcaire se présente sous forme de particules fines de dimensions égales ou inférieures à 1mm. Ces particules, sont distribuées au hasard dans la base de l'horizon (Ruellan, 1971).

A l'œil nu, il est donc souvent assez difficile de reconnaître l'existence de ce calcaire.

3-3-2- Les concentrations discontinues

Le calcaire est concentré d'une façon visible en un nombre de points séparés les uns des autres par des zones moins calcaires à distribution diffuse (ces zones peuvent même être très peu calcaires). Il existe trois formes de ces concentrations discontinues.

3-3-2-1- Les pseudomycelium

Soulignant principalement les zones d'origines radiculaires.

3-3-2-2- Les amas friables

Qui sont de fortes concentrations non consolidées de calcaire qui imprègnent un ou plusieurs agrégats ou bien tapissent les parois des agrégats ou les surfaces de graviers et des cailloux, de couleur blanche à crème avec des taches de teinte rouge ou noire.

3-3-2-3- Les nodules

Ils constituent dans la majorité des études la première étape dans les formations calcaires (Wieder et al, 1982), ce sont les amas durs, que Durand (1959) divise en nodules farineux et nodules concrétionnés qui peuvent avoir une taille qui ne dépasse pas la taille d'un œuf de moineau en Algérie. Il cite également les nodules pulvérulents qui sont des dépôts tendres dans les fentes de retrait. La nature et la distribution des nodules carbonatés dans le sol sont importantes dans les études pédogénétiques des régions arides (Wieder et al, 1982).

3-3-3- Les concentrations continues

elles apparaissent à partir du moment où dans un horizon, la concentration du calcaire qu'elle soit diffuse, en amas ou en nodules devient telle qu'elle fasse disparaître en très grande partie ou totalement, la couleur brune ou rubéfiée habituelle des sols et des dépôts. On donne à cet horizon le nom d'encroûtement calcaire. La teneur en carbonate est alors le plus souvent supérieure à 60% et la consolidation de l'horizon peut être très accentué (Ruellan, 1976). Ces formations sont, selon Durand (1959), dures, plus ou moins scoriacées et gréseuses, formées par les sédiments, cimentées par le calcaire. C'est ainsi qu'on distingue trois types de concentrations continues.

3-3-3-1- Les encroûtements non feuilletés

Ces concentrations peuvent être massifs, d'aspect crayeux ou tufeux (Durand, 1959), de couleur assez homogène à tendance claire et de dureté variable mais en général plutôt faible, ou spongieux (Belouam, 1976). Ces encroûtements nodulaires sont constitués de nodules plus ou moins nombreux pris dans une gangue très calcaire (Tableau 4), de couleur également claire mais moins homogène.

3-3-3-2- Les encroûtements feuilletés

Ils peuvent être des croûtes sensu-stricto constituées de feuillets superposés et discontinus d'encroûtement massif ou nodulaire. Vogt (1984) les considère comme des accumulations calcaires en couches individualisées continues qui affleurent largement et profondément dans les régions semi-arides. Durand (1959), cite aussi la croûte zonnaire qui est une lame travertineuse à structure zonée très dure qui se rencontre au sommet de nombreuses roches calcifiées qu'elle masque et elle est toujours mince. Les teneurs en calcaire dans ces croûtes varient de 60% à 90%. On a aussi la dalle calcaire compacte constituée de feuillets de croûtes pétrifiées qui sont extrêmement dures et peuvent avoir jusqu'à un mètre d'épaisseur.

3-3-3-3- Les encroûtements lamellaires ou pellicule rubanées

Se sont des formations très dures et très calcaires (plus de 70% de calcaire). Ces formations sont très nettement stratifiées et constituées par la superposition d'une ou plusieurs séries de lamelles très fines. Ils sont des dépôts de films d'eau de ruissellement et d'infiltration (Horta De Os, 1979).

**Tableau 4 : Classification des encroûtements calcaires proprement dits
(Ruellan, 1976)**

<i>Dénomination</i>		<i>Description</i>	<i>Teneur en calcaire</i>	<i>Epaisseur</i>	<i>Rapports mutuels</i>
Encroûtements non feuilletés.	Encroûtements massifs	structure massive ou polyédrique	> 60	0.3 à 2.0m le plus souvent	Sous les encroûtements non feuilletés, il y a toujours des amas friables avec ou sans nodules.
	Encroûtements nodulaires.	Structure nodulaire et polyédrique.			
Encroûtements feuilletés	Croûte sensu stricto	Feuillets superposés et discontinues d'encroûtement massif ou nodulaire d'épaisseur millimétrique à centimétrique croissant du bas vers le haut.	< 70.	Quelques centimètres à >1m.	Sous les croûtes il y a presque toujours des encroûtements non feuilletés. Les dalles compactes n'existent qu'au sommet des croûtes et peuvent remplacer entièrement celles-ci. Des pellicules rubanées sont presque toujours associées à la dalle compacte, dont elles tapissent la surface supérieure et les fissures.
	Dalles compactes	Feuillets de croûtes pétrifiés, épaisseur de quelques centimètres à plusieurs centimètres.			

3-4- Conclusion

Le calcaire occupe une place importante dans le sol.

Il peut se trouver sous trois formes principales : diffuse, en concentrations discontinues et en concentrations continues.

Les accumulations calcaires ont fait l'objet de travaux nombreux et approfondis au Maghreb (Gaucher, 1947; Durand, 1956; Boulaine, 1957; Ruellan, 1970; Aubert, 1974; Charles, 1976; Vogt, 1984). Tous ces auteurs ont constaté la diversité de la morphologie des accumulations calcaires en fonction de nombreux facteurs ; âge de la surface encroûtée, nature du matériau, situation topographique. Leur genèse a alimentée et alimente encore la littérature scientifique, sur le fait en particulier de savoir si ces accumulations sont dues à des processus sédimentologiques ou pédologique.

Conclusion

Les sels, au sens large du terme, constituent les traits caractéristiques des paysages arides d'Algérie. Plus de 95% des sols de ces régions sont en effet soit calcaires, soit gypseux, soit salsodiques.

Les sols salés, calcaires et gypseux diffèrent surtout par leur texture, leur morphologie, le mode d'évolution pédogénétique et par le niveau et le mode de salinisation. Leur extension spatiale est très variable, mais cette diversité ne doit pas cacher leur caractère principal et quasi général ; le grand rôle que jouent les sels au sens large du terme (le calcaire, le gypse et les sels solubles).

Ces derniers se répartissent dans les zones arides de manière séquentielle et s'interpénètrent souvent. Ils jouent un rôle essentiel dans la genèse, le fonctionnement et le comportement des sols de ces régions et donc dans leur mise en valeur.

En définitive, les régions arides sont le domaine privilégié de la pédogenèse des sels (exception faite dans les milieux très alcalins) à l'opposé des régions humides caractérisées beaucoup plus par une pédogenèse des silicates (Halitim, 1988).

Deuxième partie : Matériel et méthodes d'étude

CHAPITRE 1 : ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE

1-1- Introduction

La pédogenèse recouvre classiquement l'ensemble des processus qui traitent la formation et l'évolution du sol à la surface du globe (Pedro, 197). Les éléments les plus importants à prendre en considération dans cette étude sont; la situation ou présentation de la zone d'étude, le climat, la géologie, la géomorphologie, l'hydrogéologie et la végétation existante au niveau de notre zone.

1-2- Présentation de la zone d'étude

Sur une superficie de l'ordre de deux millions de km², s'étend le Sahara Algérien dont la région de Biskra en fait partie.

La wilaya de Biskra s'étend sur une superficie de 21671.24 km². Limitée administrativement au Nord par la wilaya de Batna, au Nord Ouest par la wilaya de M'sila, au Nord-Est par la wilaya de Khenchela, au Sud par la wilaya d'El-Oued et au Sud-Ouest par la wilaya de Djelfa. La zone d'étude est située à 14km au Sud-Ouest de la ville de Biskra, dans la région de Ain Ben Noui (figure 03 et 04) , sur les cartes de Biskra à échelles : 1/200.000 et 1/50000, la zone d'étude est située entre les coordonnées :

- X: 34°54'59`` et 34°53' 32`` N.

- Y: 05°46'42`` et 05°49' 46`` E.

Son altitude varie entre 50 et 150m. Elle est limitée au Nord par la série de Djebel Oumach, à l'Est par Oued Ain Ben Noui, à l'Ouest par la Seghia Oumach et au Sud par la Sebkha de Chemora.

1-3- Le climat de la zone d'étude

Le climat est un facteur déterminant de la nature du sol. (Boulaine, 1971; Torrent, 1995).

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

1-3-1- Les précipitations

Le climat du désert est caractérisé par des précipitations qui n'ont pas lieu tout les ans et peuvent survenir à tout moment de l'année (Durand, 1983). Concernant notre région et comme nous montre la figure 05.

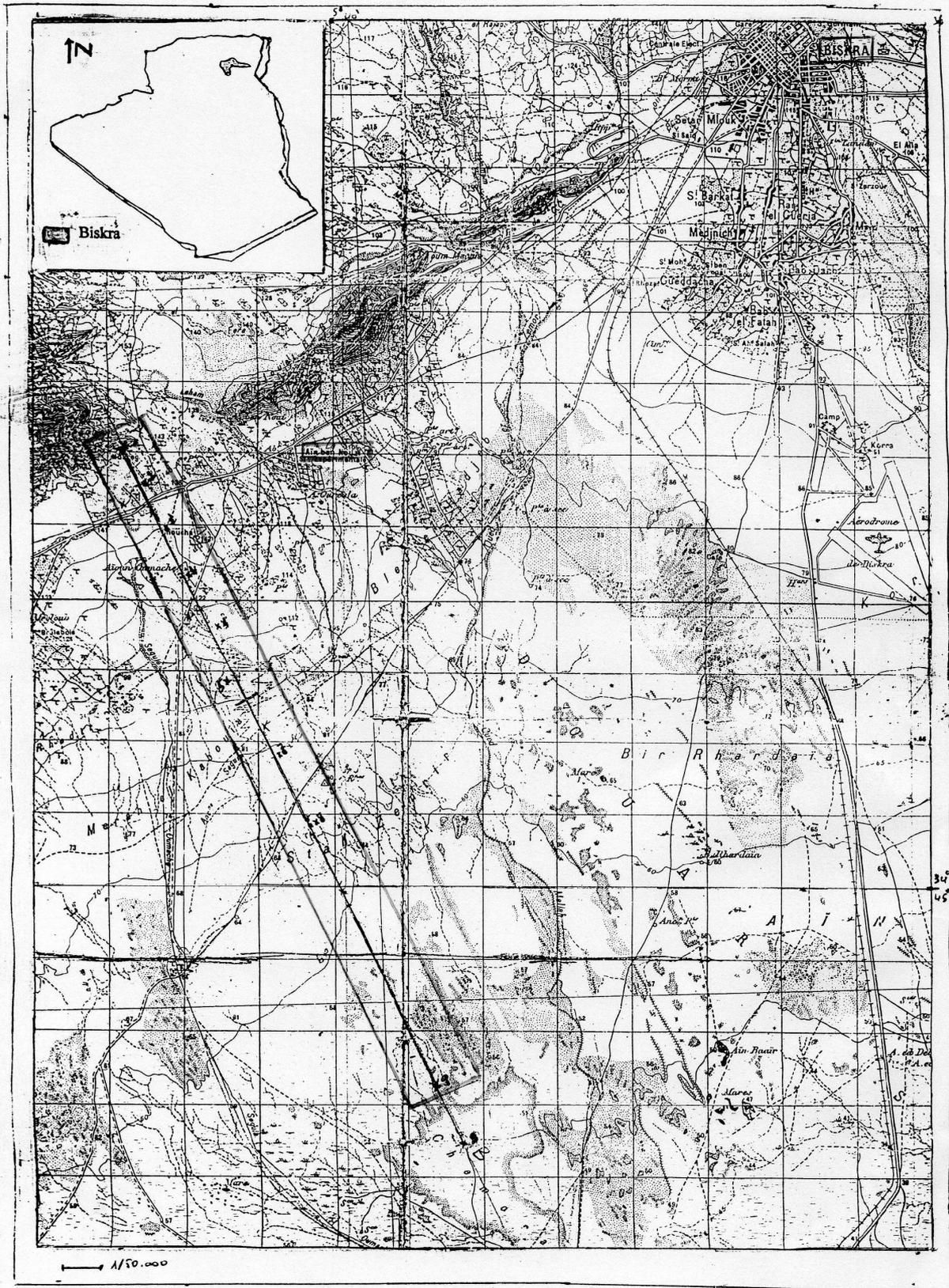


Figure 03: Présentation de la zone d'étude sur la carte topographique de Biskra (1/50.000).

Figure 03: Présentation de la zone d'étude sur la carte topographique de Biskra (1/50.000).

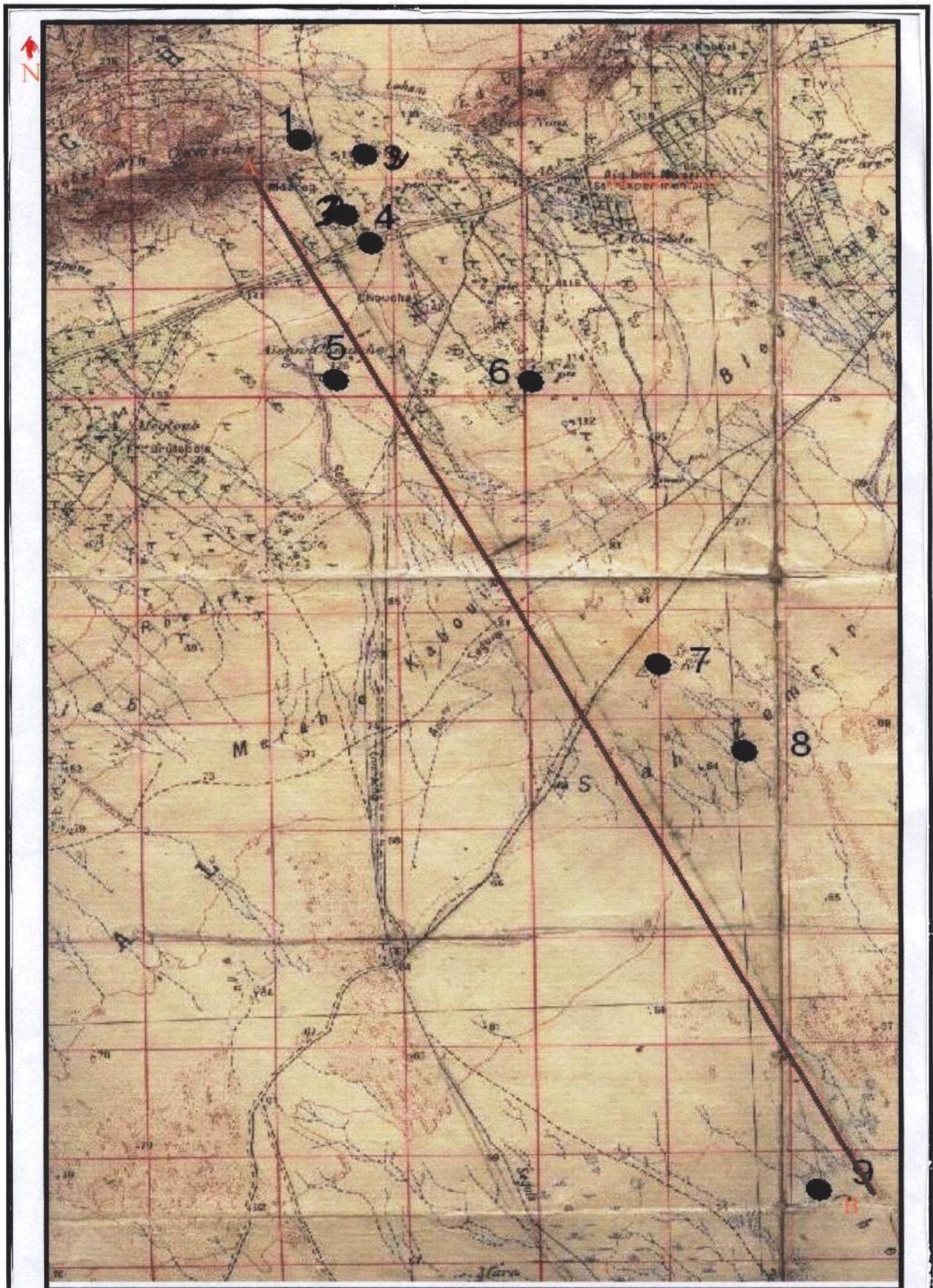


Figure 04: Emplacement des profils étudiés sur la carte topographique de Biskra (1/200.000).

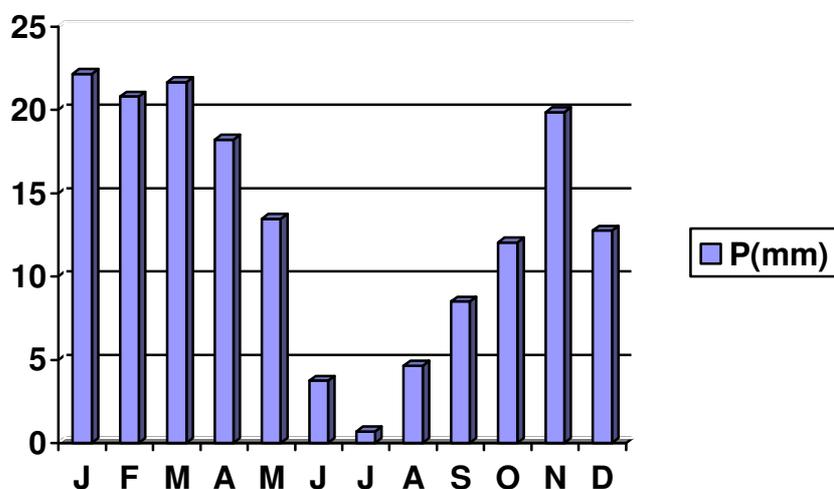


Figure 05 : Précipitations moyennes mensuelles en mm (1977-2004).

La moyenne annuelle de la précipitation est de 158.4 mm/an, avec une irrégularité des précipitations mensuelles moyennes, qui varient de 0.7 mm (Juillet) à 22.5mm (Janvier).

1-3-2- La température

La température est un facteur important dans l'appréciation du climat

La figure 06, nous montre que la température moyenne annuelle sur la période (1977-2004) est de l'ordre de 22.43°C, avec des fortes variations saisonnières (33.98°C en Juillet et 11.48°C en Avril).

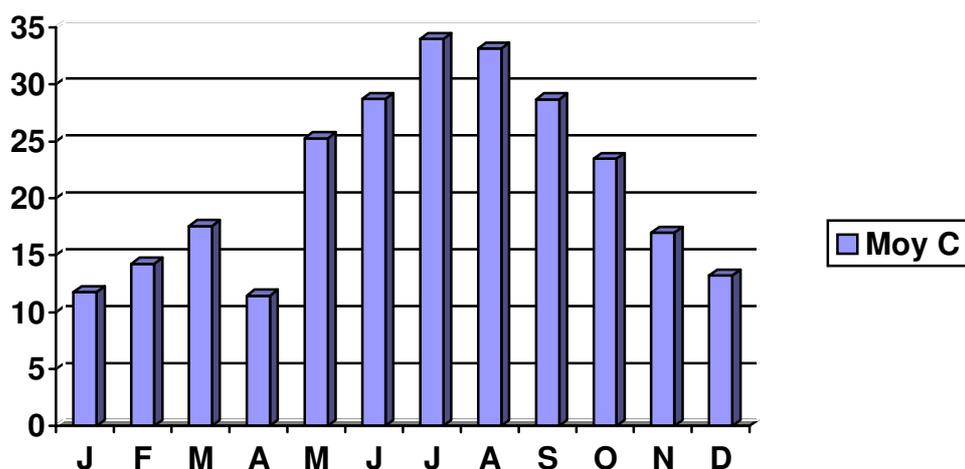


Figure 06 : Températures moyennes mensuelles en °C (1977-2004).

1-3-3- L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante dans la région. Son intensité est fortement renforcée par le vent en particulier celui du sirocco.

Tableau 5 : Evapotranspiration calculée par la méthode de PENMAN (1977-2001).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
ETP (mm)	126.22	149.5	183.8	128.12	262	370	444.7	402.7	319.4	214.77	150.33	101.68	237.81

Il ressort du tableau 5 que l'ETP la plus faible est observée au mois de Décembre avec une valeur de 101.68 la plus élevée au mois de Juillet avec 444.7 mm.

1-3-4- Le vent

Dans les régions arides, les vents jouent un rôle primordial dans la formation des reliefs et des sols, ainsi que dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols (Halitim, 1988). Il revêt trois aspects : déflation, corrosion et accumulation (Coque, 1977).

Les vents sont relativement fréquents dans la région en fin de printemps et en été où le sirocco souffle violemment. En période hivernale ; prédominent les vents Nord-Ouest amenant l'humidité de l'Atlantique du Nord. Les vents de sables sont fréquents surtout pendant le printemps et l'été. Leurs conséquences les plus graves sont le déplacement des dunes de sable sous formes de Nabkhas et de Lunettes.

Tableau 6 : Vitesses minimales et maximales du vent (1992-2001)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Vitesse maximale (km/h)	35.15	4.032	40.18	40.78	43.38	44.65	40.21	37	37.58	35.81	42.47	42.47	39.74
Vitesse minimale (km/h)	21.09	23.45	23.46	26.73	25.09	27.27	27	23.55	27.73	25.27	20.36	20.64	24.32

Il ressort du tableau que les vitesses maximales et minimales du vent dans notre région varient dans un intervalle de 20 à 45 km/h.

1-3-5- L'insolation

Les radiations solaires sont importantes dans la région car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année. La durée d'insolation moyenne est d'environ 9h par jour.

Le nombre moyen d'heures d'ensoleillement est de 283.65.

Tableau 7: Le nombre moyen d'heures d'insolation (1971-1997).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Insolation (h)	225	220	257	274	322.2	333	365.9	338	335	280	237	218.7	283.6

1-3-6- Classification du climat

1-3-6-1- Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Comme il apparaît clairement sur la figure 07, le climat de la zone d'étude est caractérisé par une période sèche qui dure toute l'année.

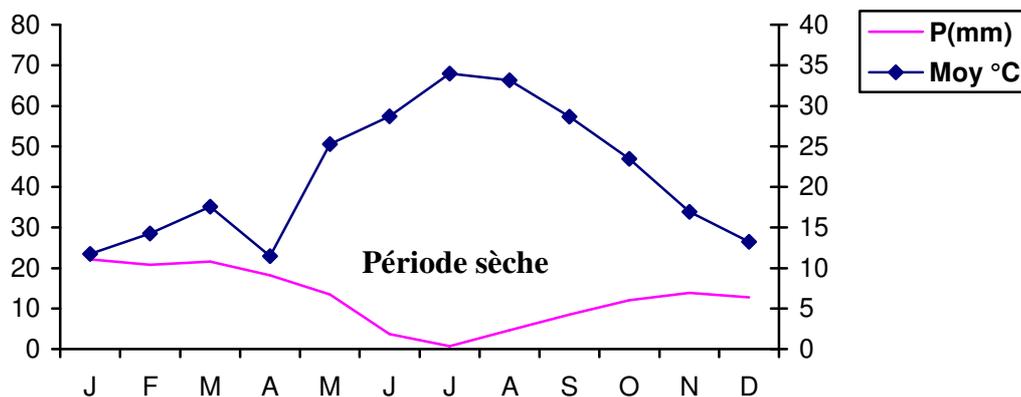
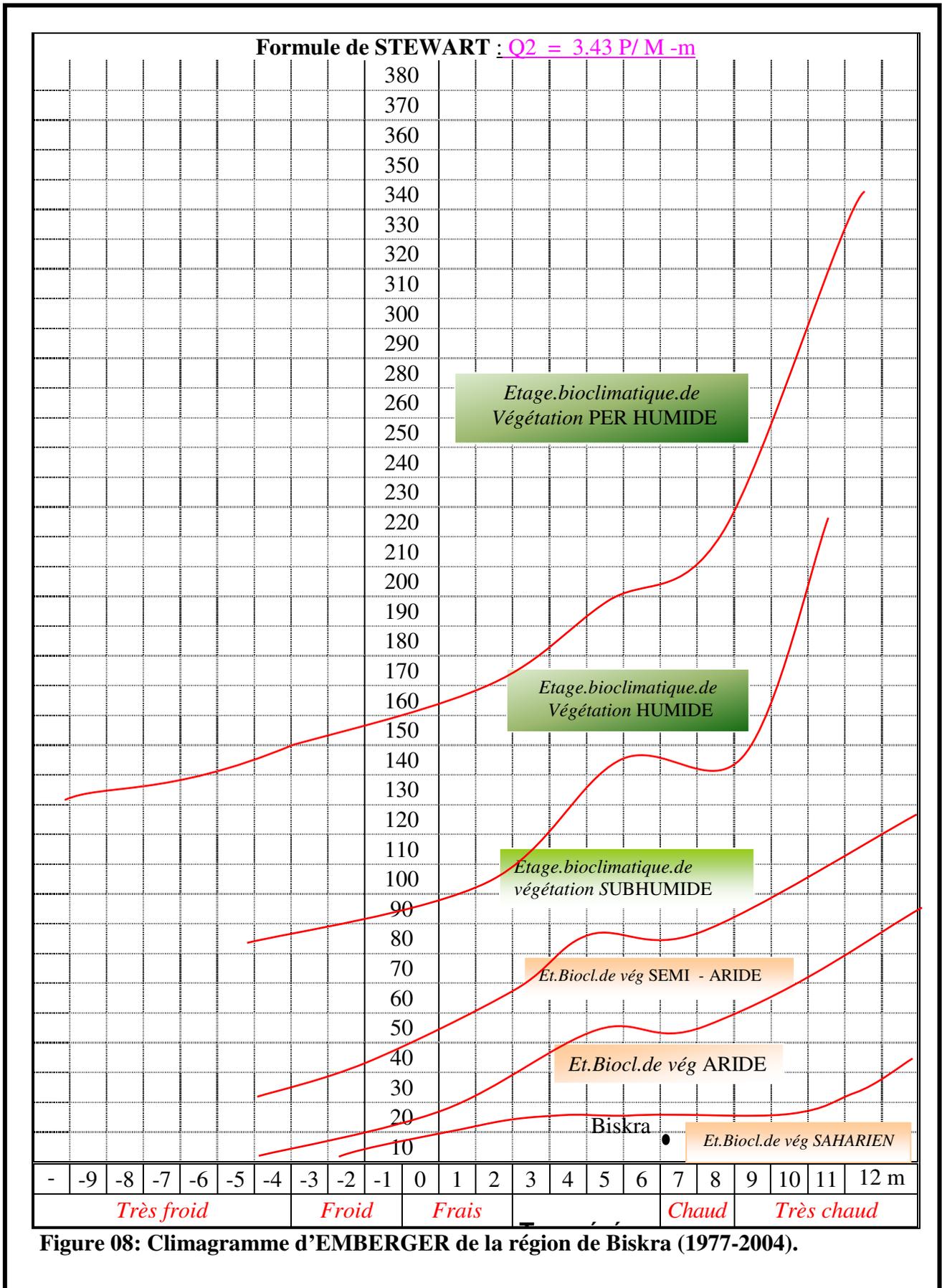


Figure 07 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Biskra (1977-2004).

1-3-6-2- Climagramme d'EMBERGER

Après avoir calculé le quotient pluviométrique d'EMBERGER, Biskra appartient à l'étage bioclimatique saharien à hiver chaud (figure 08). Avec $Q=3.43 \times 158.4 / 40.56 - 6 = 15.72$.



1-3-7- Le Pédoclimat

La combinaison des trois facteurs : température, humidité, aération et leurs variations saisonnières, constitue le pédoclimat ou climat interne du sol (Duchaufour, 1977).

Il est caractérisé par deux paramètres

1-3-7-1- Le régime Thermique

D'après les travaux de Tavernier et Van Wambek (1976), le régime thermique de Biskra est de type hyperthermique, avec une température annuelle moyenne du sol supérieure à 22°C et une différence entre les moyennes de température, à 50°C dans le sol pour l'été et l'hiver supérieure à 5°C.

1-3-7-2- Le régime Hydrique

Les travaux de Tavernier et Van Wambek (1976), en appliquant le modèle mathématique de New Hall, ont révélé que le régime hydrique de Biskra est de type aridic.

1-4- Géologie de la région d'étude

1-4-1- Géologie régionale

Les principaux stades géologiques repérés sur la région de Biskra en allant du plus récent vers le plus ancien (d'après l'étude géologique de Gousskov, 1964). (Figure 09) sont

1-4-1-1- Dépôts de quaternaire actuel

Se sont principalement des éboulis et des cailloutis au pied des montagnes et sur les pentes, des dunes constamment en mouvement et des alluvions sableuses et caillouteuses dans les lits actuels des oueds.

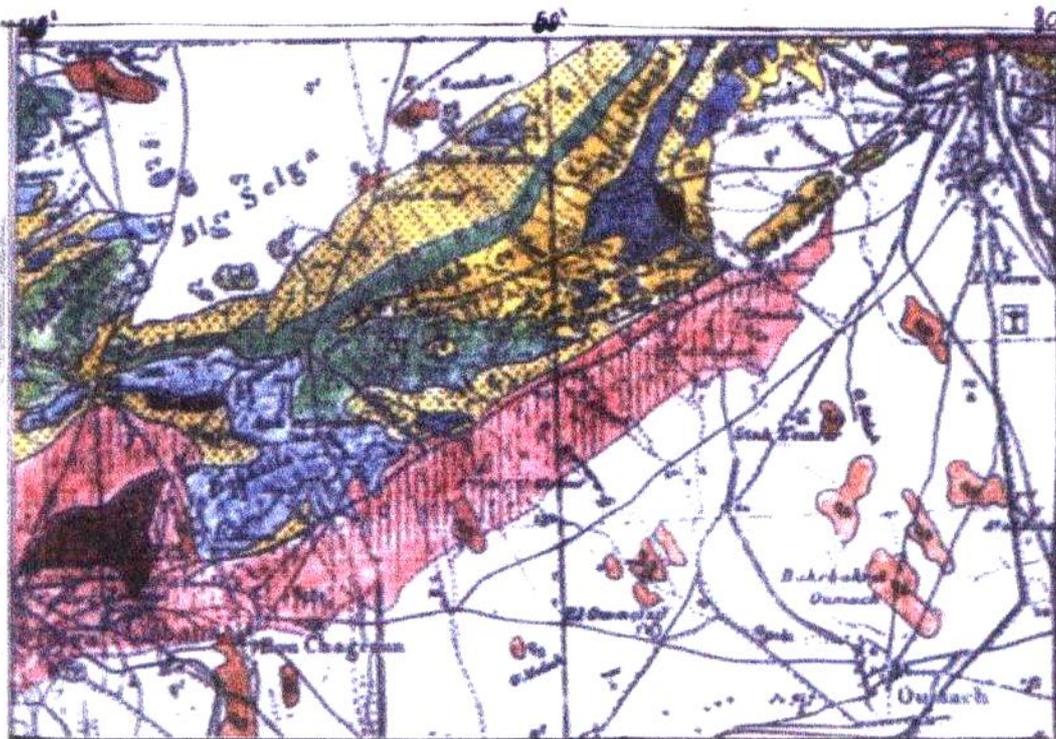
1-4-1-2- Dépôts de quaternaire moyen

Il se présente sous forme de croûtes dites «deb-deb», dont le dépôt se poursuit sans doute encore de nos jours. C'est une formation calcaire-gypseuse atteignant jusqu'à deux mètres d'épaisseur. Elle occupe les contours des montagnes qui présentent des flancs calcaires (Tolga, Bouchagroun, Lichana, Ain Ben Noui), des travertins de sources anciennes qui datent aux environs des sources Oumache, Mlili et Meghloub. Les sources actuelles sondent 4 à 5 m au dessous des anciens dépôts travertineux.

Des alluvions sablonneuses et argileuses dans toutes les grandes plaines sur la rive gauche de l'Oued Djedi.

1-4-1-3- Dépôts de quaternaire ancien (terrasse)

Cette terrasse est bien développée dans la partie Est de la région, vers l'Oued Biskra. Aux environs montagneux, elle est principalement formée de poudings. Remplacés progressivement par un dépôt sableux et argileux vers le Sud de Biskra.



Légende:

Symboles	Géologie	Lithologie
	Actuel et Quaternaire récent	Eboulis sur les pentes et au pied de montagnes.
		Dunes de sables.
		Cailloutis, gravier, sable dans les lits des Oueds.
	Quaternaire moyen	Croûtes calciro-argineuses (deb deb).
		Travertins de sources.
		Alluvions sablonneuses et argileuses dans les grandes plaines.
	Quaternaire ancien	Pondings, gravier et sables de l'ancienne terrasse
	Pliocène	Pondings, grès
	Miocène supérieur continental	Argiles, sables, gravier et marnes.
	Eocène inf	Calcaire blanc riche en silex noir
	Sénonien	Calcaires, calc, marneux e et dolomitique.
		Calcaires, calc, marneux et marnes blanchâtre
	Turonien	Calcaires massifs, dolomitiques cristallins.
	Cénomanienn	Alternance de calcaire, calc, dolomitiques et de marnes souvent gypseuses.
	Albien	Grès et argiles rouges.

Figure 09: Esquisse litho-géologique (extrait de la carte géologique de Biskra n° 48 à échelle: 1/200.000).

1-4-1-4- Dépôts de l'ère tertiaire

1-4-1-4-1- Pliocène

Il est représenté par des poudings, des bancs de grés et d'argiles sableuses à proximités des massifs (Chetma, Chaiba et Ouled Djellal) passant à des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine. Aussi il est représenté par la croûte calcaire-gypseuse, englobant souvent des masses des poudings, des sables et des graviers dans le Sud de l'Oued Djedi.

1-4-1-4-2- Miocène

- Miocène supérieur (Pontien)

Il affleure seulement dans la dépression (Combe) de l'anticlinal du Djebel Boughezal. Il est représenté par des argiles et marnes multicolores souvent très sableuses. C'est un dépôt continental détritique : argiles, sable, graviers et marnes.

1-4-1-4-3- Paléogène

C'est un dépôt exclusivement lagunaire présenté par des argiles ; du gypse en couches épaisses, anhydrite et des calcaires dolomitiques.

Il affleure au sud du Djebel Kahila et au Sud du Djebel El Ksoum.

Les couches gypseuses et calcaires sont très développées dans la région de Ouled Djellal, où elles forment des niveaux constants d'une extension considérable (rive gauche de l'Oued Djedi).

1-4-1-4-4 - Eocène inférieur (ypresien)

Sa puissance varie entre 150 et 200 mètres représenté par des calcaires blancs riche en silex noir, il affleure au Nord de Tolga

1-4-1-5- Dépôt de l'ère secondaire

1-4-1-5-1- Le crétacé supérieur

- Le cénomanien supérieur

Il est représenté par des calcaires cristallins et dolomitiques en couches très épaisses, des intercalations lagunaires et gypseuses très nombreuses à l'Ouest (Djebel Gouara et sur le flanc Nord du Djebel Boughezal), calcaires maestrichtiens reposant sur les marnes noirâtres du campanien (à Dalaat et Hamra).

- Le cénomanien inférieur

Il affleure sur le flanc Nord de Djebel Boughezal, sa puissance est de 300 à 400 m de calcaires gris ou blanc alternant régulièrement avec des marnes grisâtres, parfois gypseuses.

- Turonien

Il est représenté uniformément dans toute la zone montagneuse par un niveau massif de 200 à 300 m d'épaisseur composé de calcaires cristallins, calcaires marneux et de calcaires dolomitique.

- Cénomanién

Ce terrain affleure aux deux extrémités de la région de Biskra, à la combe de l'anticlinal du Djebel Boughzel et au Nord-Est du Bordj Chaiba, sa puissance est de 500 m de calcaire marneux avec intercalations marneuses et gypseuses.

1-4-1-5-2- Le crétacé inférieur

- Albien

Il affleure dans la combe de l'anticlinale du Djebel Boughzel et au Nord-Est de Chaiba, il est constitué en majeure partie par des grés rouges ou gris avec intercalation d'argiles rouges, sa puissance est d'environ 250 m.

- Aptien

Cette couche est visible seulement vers Chaiba, elle présente un faciès lagunaire avec intercalations marines, il est constitué par des argiles et des marnes multicolores, anhydrites, calcaire dolomitiques et dolomies. Sa puissance est d'environ 60 m.

- Barrémien

Cette couche affleure uniquement vers Chaiba, elle est constituée par les grés rouges avec quelques intercalations argileuses, le Barrémien est le terme le plus ancien visible dans la région de Biskra.

1-4-2- Les terrains sédimentaires affleurants dans la zone d'étude

La coupe géologique montre une succession de couches allant de l'albien jusqu'au pliocène (figure 9), avec des couches généralement concordantes. Néanmoins le miocène se dispose en discordance sur les formations sous-jacentes et de même que le pliocène qui lui est superposé avec une légère discordance.

Lors des phases orogéniques post miocènes, l'érosion très active affectant la région contribue à la disposition de l'Oligocène. De ce fait, il n'apparaît qu'au Nord de Biskra dans la plaine d'El Outaya et au Nord-Est dans les Aurès. La couverture superficielle dans notre zone est constituée principalement par le quaternaire moyen où on trouve la formation calcaire-gypseuse dans la partie Nord.

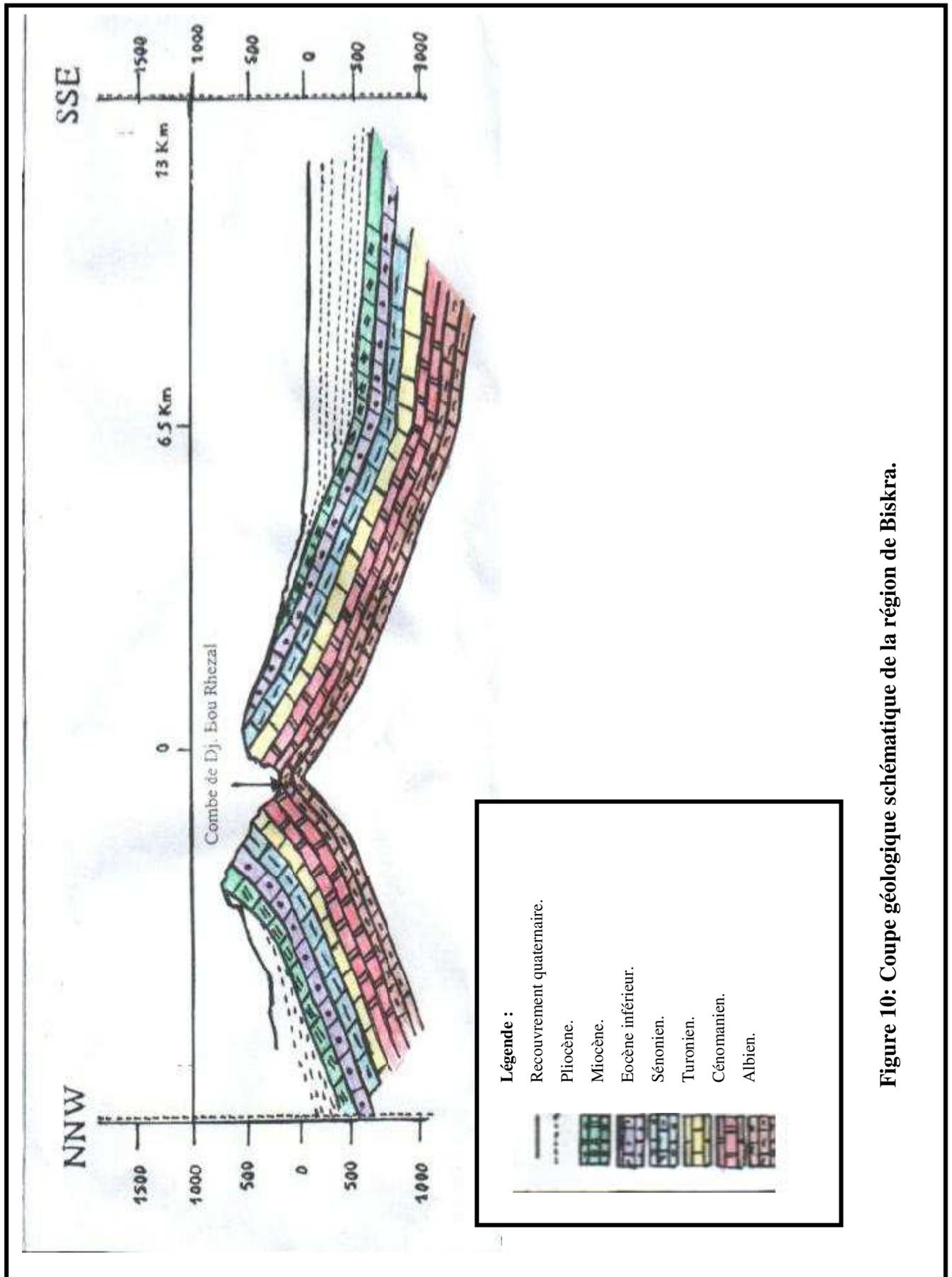


Figure 10: Coupe géologique schématique de la région de Biskra.

1-5- Géomorphologie de la région d'étude

La région de Biskra constitue une partie de la transition entre les domaines atlasiques plissés du nord (Atlas Saharien) et les étendues plates et désertiques du Sahara.

Telles est le grand Erg occidental et oriental, au plateau de Mzab, du Tadmait (Buisson et al, 1989).

L'ensemble de ces étendues est appelé la plate forme saharienne qui s'étend jusqu'à la Tunisie. Elle correspond au bassin mésozoïque saharien type pour les géologues. Conventionnellement limité vers le Nord par la flexure saharienne, vers le sud et vers l'Ouest par des limites d'érosion qui prouvent que l'extension originelle était plus grande que l'extension résiduelle.

Par ailleurs, les terrains paléozoïques qui ont formé le substratum et dans certains cas les bordures de ce bassin mésozoïque sont actuellement observables dans les affleurements des massifs de Bechar, Ouargla et dans les Tassili.

Dans cette plate forme le mésozoïque est largement recouvert par des atterrissements tertiaires et quaternaires des dunes de sables constamment en mouvements et des croûtes dite deb-deb.

L'établissement du croquis géomorphologique a permis de constater les formes suivantes: (figure 11)

Pour les structures ; une seule structure est perceptible, celle de l'anticlinal du Djebel Boughzel.

Concernant les formes d'érosion on a

- La Combe du Djebel Boughzel

L'anticlinal du Djebel Boughzel a subi une érosion énergique aboutissant à une inversion totale du relief.

Les parois rocheuses sont constituées par les calcaires Cénomaniens plus tendres. Le noyau de cet anticlinal est érodé (Combe) jusqu'aux grés rouges albiens.

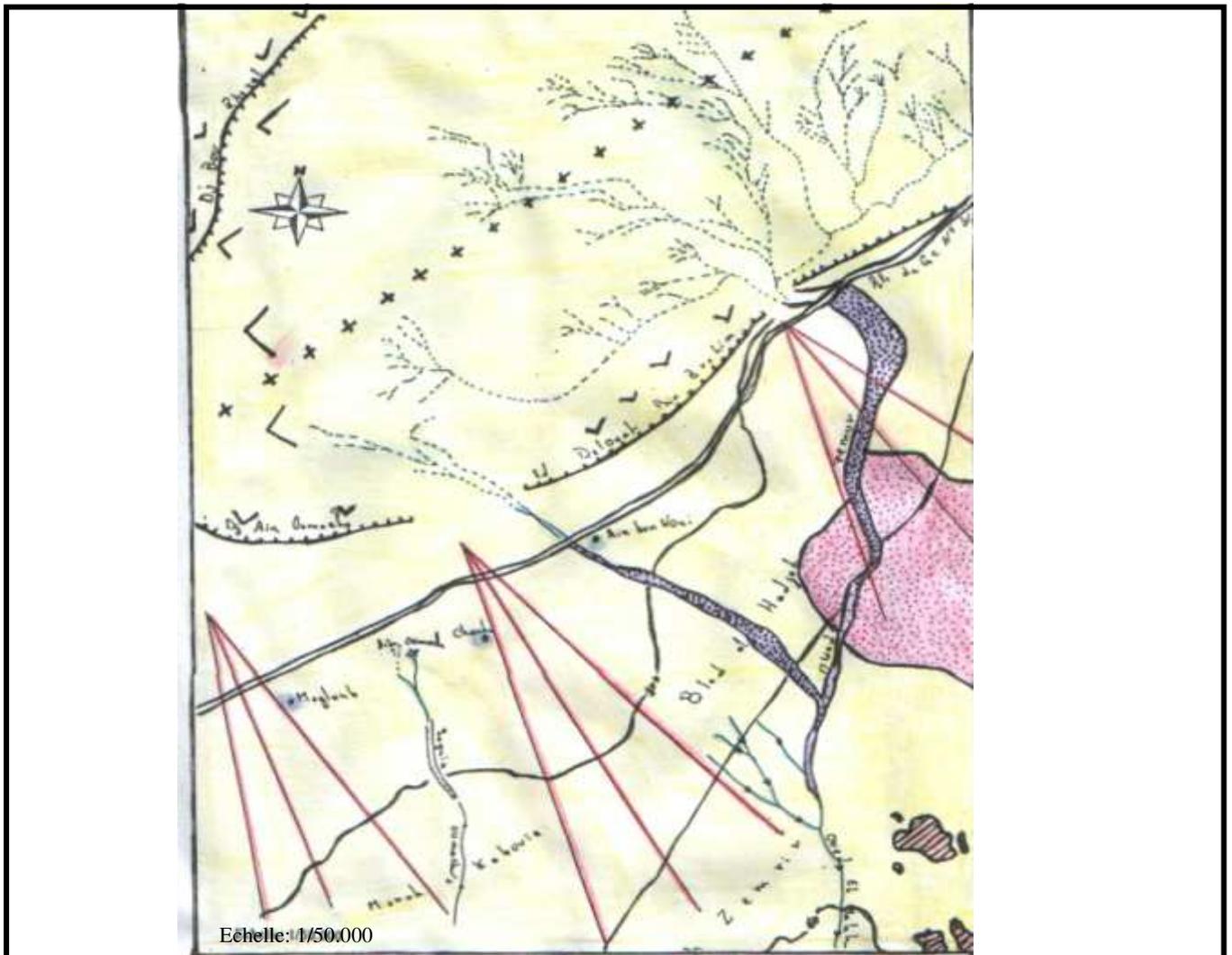
Cette combe a été formée lors de l'érosion oligocène très active qui a affecté le relief montagneux.

- Les cheverons

Qui sont visibles surtout sur le contour de la combe.

- Les cônes de la déjection

La combe constitue un bassin de réception des eaux déversées qui se concentrent au noyau pour former des cônes de déjections.



Légende:

Eléments de relief :

- Combe
- Réseau hydrographique secondaire
- Réseau hydrographique principal.
- Alluvion de l'Oued
- Escarpement d'érosion.
- Sable dunaire
- Efflorescences salines.
- Glacis
- Cheverons.

Eléments de structure :

- Axe de l'anticlinal
- Eléments de toponymie :
- Route nationale
 - Piste
 - Courbe de niveau
 - Agglomération

Figure 11: Coupe géomorphologique de la région de Biskra.

- Les glacis

Ce sont des formations du quaternaire moyen, dites «deb-deb» qui représentent une formation calcaire-gypseuse.

- Les escarpements d'érosion

Ils se localisent dans les Oueds et ils sont façonnés par l'action des eaux ; on les rencontre dans l'Oued Zemor et Oued Ain Oumache.

- Les accumulations de sable

Elles sont constituées par de vastes dépôts de sable transportés par le vent.

1-6- Hydrogéologie de la zone d'étude

D'après la notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra (Notice exp, 1980) et la figure 12, on distingue les nappes suivantes :

1-6-1- La nappe phréatique du quaternaire

Contenue dans des formations récentes et se localise souvent sur des accumulations alluvionnaires.

Le substratum est formé par une épaisse formation argileuse, contenant quelques niveaux de sable, de gravier et de marnes (Mimeche, 1999). On classe dans cette catégorie, la nappe de l'Oued de Biskra et celle de l'Oued Djedi. Elles doivent leur alimentation aux précipitations pluviales et aux eaux d'irrigation. La plupart des eaux de cette nappe sont salées ou très salées.

1-6-2- La nappe de grès (profonde)

Appelée souvent albiennaise, caractérisée par une température très élevée, rarement exploitée sauf à Ouled Djellal ou Sidi Khaled ou les formations gréseuses de l'albien ou de barrémien sont touchées à une profondeur de 1500 à 2500 mètres.

1-6-3- La nappe des calcaires de l'Eocène et Sénonien

Cette nappe est localisée dans la totalité de la région de Biskra. Son réservoir est constitué essentiellement de calcaire de l'Eocène inférieur et du cénomaniens supérieur, avec un toit composé des formations argilo sableuses du miopléocène au nord et des marnes gypseuses moyenne au sud.

Elle recèle des réserves très importantes qui sont liées d'une part aux faciès et à l'état de fissuration de la roche, et d'autre part à sa recharge souterraine à partir de l'Atlas Saharien. L'alimentation de cette nappe se fait par deux zones d'affleurement de l'éocène inférieur, la première au Nord de Tolga, entre Foughala et Bouche-pores et les versants de la plaine de l'Outaya, la seconde à l'Ouest de Doucen et Ouled Djellal.

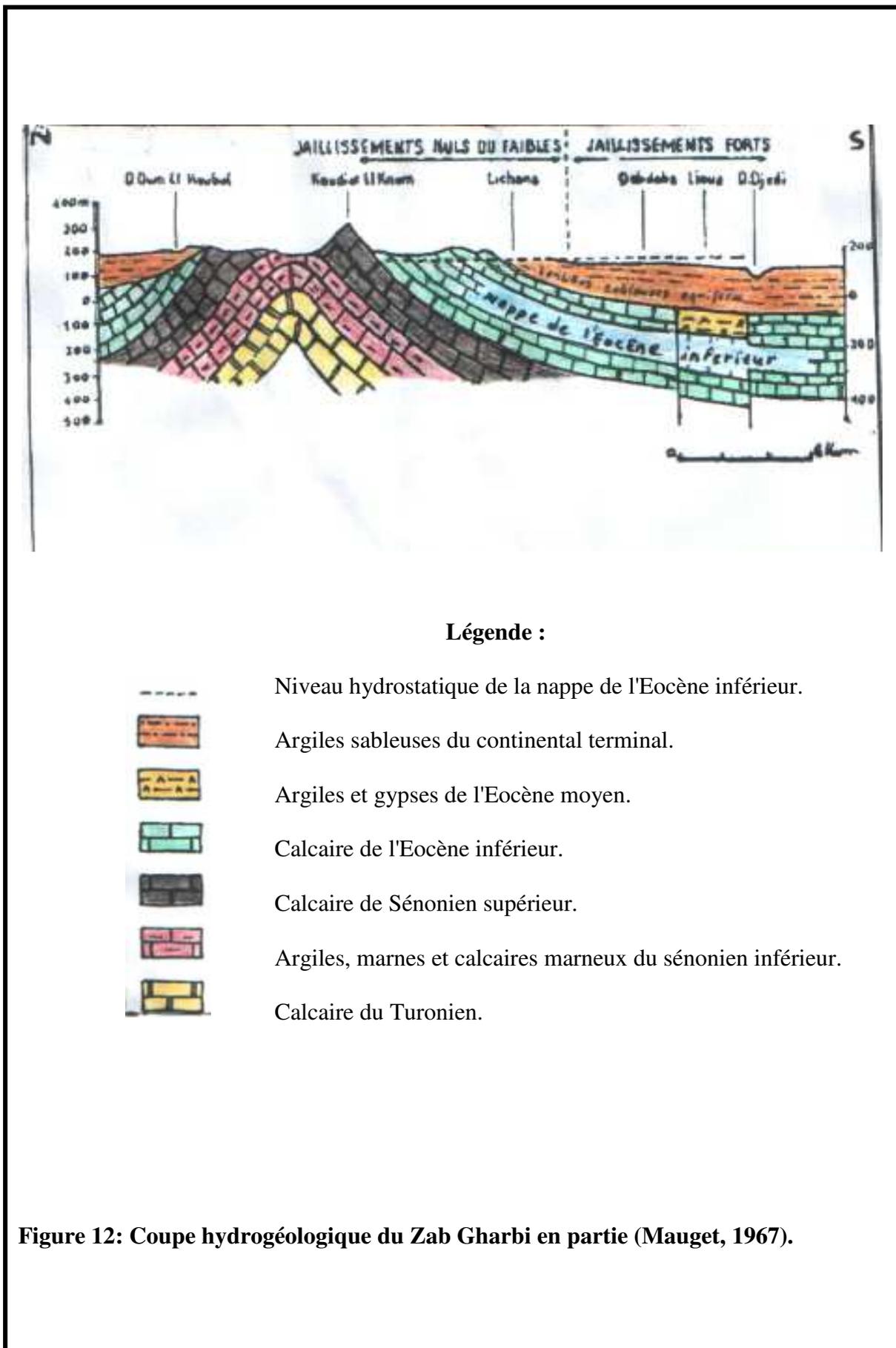


Figure 12: Coupe hydrogéologique du Zab Gharbi en partie (Mauget, 1967).

1-6-4- La nappe des sables du miopliocène

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

Ces eaux sont de mauvaise qualité, alimentées à partir des zones d'affleurement du miopliocène.

1-7 - La végétation

Dans notre zone, on peut rencontrer les espèces herbacées et arbustives suivantes :

- Salsola Vermiculata (Salsols).
- Tamarix Articulâta, Atriplex Halimus, Heliantémun (Héliathéne).

L'existence des nappes artésiennes a favorisée le développement des palmiers dattiers dans les Oasis.

Les montagnes situées au Nord sont généralement dénudées ou presque de toute végétation naturelle, qui est généralement localisée dans des listes des Oueds.

1-8 – Conclusion

L'étude du milieu physique nous a permis de citer et de montrer les facteurs les plus importants qui agissent directement sur la genèse et l'évolution de ces sols jusqu'à nos jours.

Biskra appartient à l'étage bioclimatique Saharien, son climat est chaud et de type méditerranéen aride, avec une pluviométrie annuelle très faible et très irrégulière, des températures moyennes très élevées, une luminosité importante et une évaporation intense.

La zone d'étude et ses bordures sont constituées par des calcaires et des marnes du crétacé, avec des intercalations gypseuses. Ces derniers forment en général le cadre montagneux. Cependant, l'ensemble des terrains étudiés est constitués par des dépôts de formations récentes du quaternaire qui sont composées d'alluvions sableuses et de formations calcairo-gypseux provenant des roches tendres (marnes, dépôts, sableux) arrachées par l'érosion des zones montagneuses sur lesquelles interviennent les processus pédologiques et de subsidence.

Du point de vue pédologique, cette lithologie confère à la zone des sols d'accumulations gypso-calcaire et salines. Les formations existantes de la région, ont été affectées de mouvements tectoniques, suivis de phénomènes d'érosion suffisamment actifs pour engendrer des dépôts d'amas locales.

Du point de vue géomorphologique, la zone d'étude comprend l'anticlinal du Dj Boughzel qui fait partie de l'Atlas Saharien et ses glacis d'accumulation, résultant d'une longue dégradation des reliefs.

Deuxième partie : Matériel et méthodes d'étude. Chapitre 1: Etude du milieu physique.

Dans la zone d'étude, le réseau hydrographique endoréique constitue en quelque sorte le principal agent de salinisation des sols développés. La présence des nappes souterraines constitue une source de sels qui influent notamment sur la formation des accumulations gypseuses très fréquentes dans les sols de cette région.

CHAPITRE 2 : METHODES D'ETUDE

2-1-Choix de zone d'étude

Comme notre étude porte sur la genèse des sols à accumulation gypso-calcaire et saline, le choix de la zone d'étude s'est porté sur une séquence allant du pied de Djebel Boughzel à l'entrée du Sebkhia de Chemora. Ce choix est décidé par le fait que cette zone englobe une partie amont celle de Djebel Boughzel (calcaire), une partie intermédiaire gypseuse et une partie en aval saline (entrée de la Sebkhia).

En croisant la carte géologique n° 48 de Biskra portant l'échelle de 1/200000 avec la carte topographique et en se référant aussi aux photos aériennes n° 42, 43, 57, 58, les différents niveaux de terrasses ont été identifiés et localisés par GPS.

La figure (13), nous indique l'emplacement des profils sur la séquence étudiée en fonction des pentes.

Ainsi, les profils ont été décrits et analysés.

2-2- Dates de prélèvement et échantillonnage

Les premiers prélèvements ont été effectués le 23-12-2005, il s'agit des profils (1, 2, 3 et 4), les profils (5, 6, 7,8 et 9) ont été prélevés le 25-12-2005.

Des fosses ont été ouvertes et des échantillons de terre ont été pris après description des profils.

Des échantillons en mottes ont été réservés pour la micromorphologie.

2-3- Méthodes d'analyse

2-3-1- Analyses physique et physico-chimique

Sur des échantillons séchés à l'air libre, broyés et tamisés à 2mm ; les analyses ont été effectuées aux laboratoires de l'I.N.A et du département de pédologie de l'université de BATNA et à l'I.N.S.I.D (El Harrach).

2-3-1-1- Le PH (eau)

Avec un rapport sol / eau égal à 1/2,5, par un pH mètre.

2-3-1-2- La CE

La conductivité électrique est exprimée en dS/m, mesurée au conductimètre avec un rapport sol/eau égal à 1/5.

2-3-1-3- Le calcaire total

Déterminé par la méthode du Calcimètre de Bernard.

2-3-1-4- Le carbone organique

Il a été dosé par la méthode de Walkley et Black.

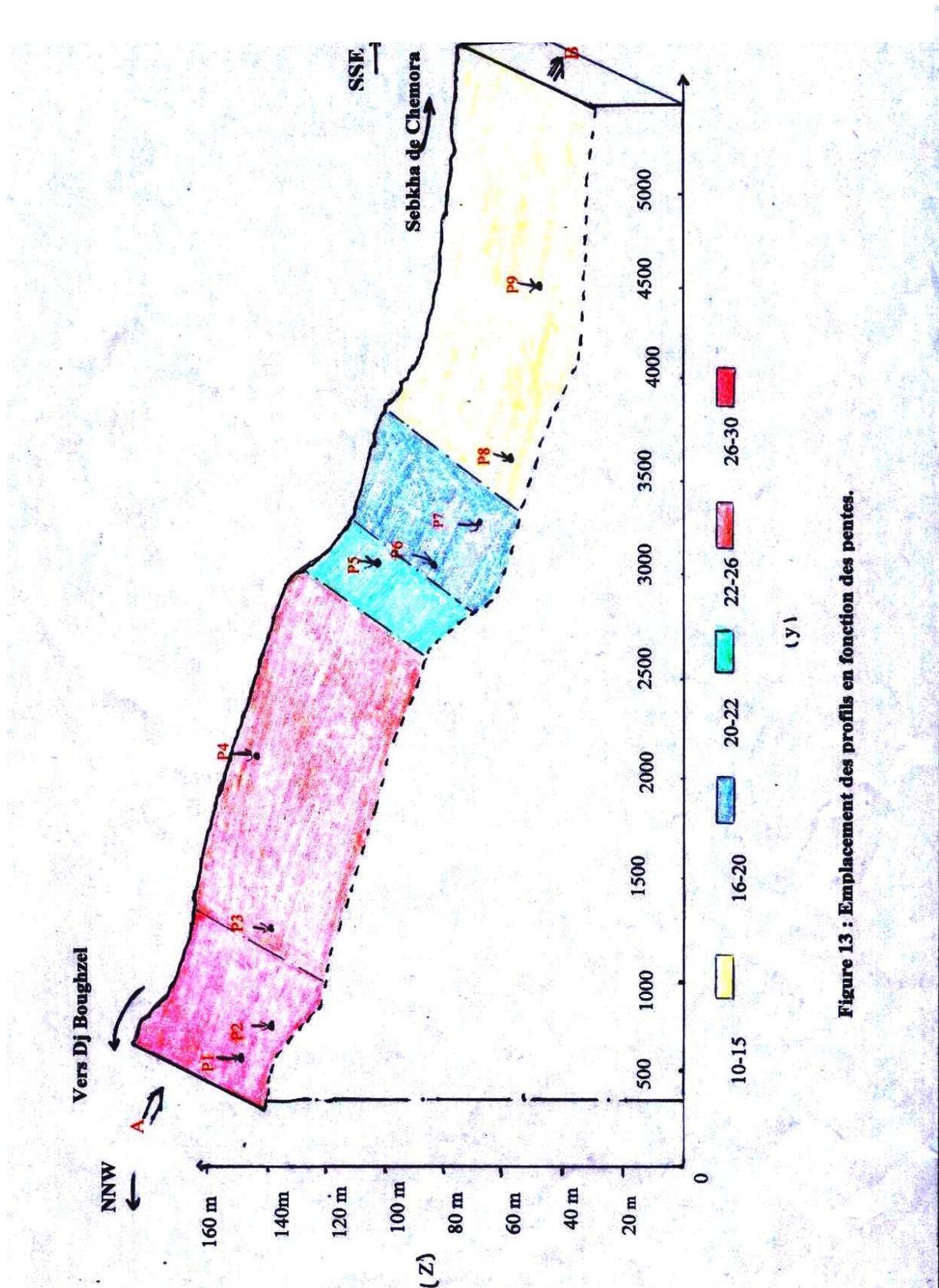


Figure 13 : Emplacement des profils en fonction des pentes.

2-3-1-5- l'Analyse granulométrique

Dans le cas de nos sols, la méthode internationale à la pipette de Robinson est déconseillée. Les auteurs (Vieilleffon, 1976; Poch, 1992), proposent quelques améliorations qui consistent ; d'une part à traiter l'échantillon contenant du gypse par le Chlorure de Baryum afin d'enrober les particules de gypse par un mince film de Sulfate de Baryum pour empêcher la floculation. D'autre part, il faut modifier les paramètres de prélèvement maximum, la température de séchage à l'étuve des diverses fractions.

La méthode suivie consiste à :

- L'élimination de la M.O de la quantité de terre fine à analyser (soit 10 à 20 g), avec de l'eau oxygénée.
- L'agitation mécanique de l'échantillon en utilisant la solution de l'oxalate d'ammonium.
- La séparation des sables fins des sables grossiers par tamisage.
- La récupération de la fraction argile plus limon restante.
- Porter les échantillons à l'étuve à une température ne dépassant pas 70°C.

2-3-1-6- Le gypse

Le gypse possède plusieurs caractéristiques physico-chimique, c'est pour quoi il existe plusieurs méthodes pour son dosage ; toutes aussi différentes les unes des autres (voir annexe 1).

Dans notre cas et en se basant sur les résultats obtenus par Aoun (1995), sur une étude analytique des méthodes d'analyse de gypse dans les zones arides d'Algérie ; nous avons tester les trois méthodes au début (Vieilleffon, Coutinet et Richards). Seul celle de Richards modifiée a donné des résultats claires et fiables.

2-3-1-7- Le Bilan ionique

2-3-1-7-1- Les anions

Les chlorures (Cl^-) par la méthode de Mohr (argentimétrie, titré en présence du chromate).

Les sulfates (SO_4^{2-}) par la méthode gravimétrique, en précipitant l'anion sulfates à l'état de sulfate de baryum.

Les carbonates et bicarbonate (CO_3^{2-} et HCO_3^-) par la méthode à l'acide sulfurique, en présence des indicateurs ; phénylphthaléine pour CO_3^{2-} et orange de méthyle pour HCO_3^- .

2-3-1-7-2- Les cations

Ca^{++} , Na^+ et K^+ , dosés par spectrophotométrie à flamme (à l'I.N.A).

Mg^{++} , à l'INSID (Institut Nationale, des Sols, Irrigation et Drainage EL Harrach).

2-3-1-8- La CEC et les bases échangeables

Par la méthode de BOWER modifiée pour les sols calcaires et salés ; extraction du Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ échangeables par l'acétate de sodium 1 N à pH 8,2.

Lavage à l'alcool.

Déplacement du Na^+ par l'acétate d'ammonium à pH7, la valeur trouvée donne lieu à la valeur de la CEC.

Le dosage des bases échangeables est le même que celles des cations du bilan ionique.

2-3-2- Analyses micro morphologiques

Après prélèvement des mottes à étudier, la fabrication des lames minces passe par quatre étapes : la déshydratation des échantillons, leur imprégnation dans une résine, la réalisation proprement dite de lame mince à partir de l'échantillon induré, et enfin son polissage (Benrad, 1996).

Dans notre cas, nos lames minces ont été préparées au niveau de l'ORGM (Office National de Recherche Géologique et Minière) de Boumerdes. Du fait de l'insuffisance de l'imprégnation et du polissage, les lames ont été finies au niveau du laboratoire de pédogenèse au département d'agronomie de Batna.

L'observation de ces lames et leurs photos a été faite au laboratoire de Géologie au département d'Agronomie à l'université de Batna.

La détermination des minéraux a été faite en se référant souvent aux tableaux de l'annexe 2.

2-3-3- Analyses minéralogiques

Les échantillons ont été passés aux rayons X sur la fraction totale, sous forme de poudre broyée.

Il s'agit de 20 échantillons dont 11 ont été analysés à l'O.R.G.M et 9 au C.R.D de Boumerdes suite à une panne de l'appareillage de l'O.R.G.M.

Le choix des 20 échantillons est guidé par les analyses physico-chimiques.

2-3-4- La morpho-scopie des sables

La morpho-scopie des sables permet de remonter aux origines du matériau et aux conditions (climatiques) qui ont prévalu lors de leurs formations (New Deal et Abed, 1998 cités par Bernou, 2001).

La forme des grains est évaluée par comparaison visuelle par rapport à une charte donnée par Cailleux, 1963 in Bernou, 2001) (annexe 03).

A partir de nos sols, on a prélevé par tamisage les sables et on les a enrobé de résine, puis observé par microscope et photographié au laboratoire de géologie du département d'Agronomie - Université de Batna.

Troisième partie : Résultats et discussion

Introduction

Dans le but de faire ressortir les processus responsables de la formation des sols étudiés, nous abordons en premier lieu leurs caractéristiques morphologiques et analytiques, la présentation et l'étude de leur caractéristiques minéralogiques puis leur micromorphologie (et morphoscopie des sables) et enfin une synthèse sur leur genèse.

Chapitre 01 : Caractérisation morpho-analytique des sols

1-1- Introduction

Parmi les indicateurs du développement des sols, la morphologie et les propriétés physico-chimiques sont les plus importants (Nayak et al, 1999).

1-2- Caractérisation morpho-analytique du sol

1-2-1- Le premier profil (P1)

- Date de description : le 23-12-2005.

- Situation : au pied de Djebel Boughzel,
avec les coordonnées

X= 34° 54 ' 59 '' N.

Y= 005° 46 '42'' E.

Z₀= 148.69 m.

- Topographie : pente de 30%.

- Drainage : normal.

- Végétation : presque inexistante.

- Très forte charge en cailloux (50-70%).

- Profil AC

- Classification : **Xeric Torrifiant**.

A (0-30 cm)

Marron foncé(7.5 YR 5/6) à l'état sec, vive effervescence à l'HCl, structure massive, texture sableuse, non collant et non plastique, transition nette

C (30-150 cm)

Marron très clair (10YR 7/4) à l'état sec, effervescence remarquable à l'HCl,

Structure massive avec la présence des bancs de gravier de 30 à 70 cm, texture sableuse.



Figure 14: Photo de paysage du profil P1.



Figure 15: Photo du profil P1.

Tableau 08 : Données analytiques du profil P1

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH eau (1/2.5).	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables. (Cmol/Kg)		
		SG	SF	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P1H1	A	43.71	44.98	12.16	8.22	0.14	21.36	0.29	0.28	2.39	0.63	0.53	0.04
P1H2	C	22.46	67.96	9.17	8.13	0.26	24.10	0.15	0.15	2.91	0.65	0.51	0.08

L'analyse granulométrique a révélé que le profil étudié présente une texture sableuse pour le premier et le deuxième horizon avec une dominance du sable fin expliquée par son origine éolienne.

Le pH est moyennement alcalin le long du profil. La conductivité électrique est inférieure à 0.6 dS/m, il s'agit d'un sol non salé d'apport éolien.

D'après Halitim (1988), le profil salin est du premier type, indiquant que le maximum de salinité se trouve dans la partie inférieure du profil.

La teneur en calcaire total qui est de 21.36% pour le premier horizon et 24.36% pour le seconde confère à ce sol un caractère modérément calcaire (Baize, 1988). Le gypse se présente en très faibles pourcentages le long du profil avec des valeurs inférieures à 0.3% ; il s'agit d'un sol non gypseux (Barzanji, 1973) et présentant des horizons non gypsiques (Boyadjiev, 1974). Il est souvent admis que lorsque la quantité du calcaire dans le sol augmente, celle du gypse diminue et vis versa (FAO, 1990; Boyadjiev, 1974; Baci, 1984).

Ce sol est très pauvre en matière organique avec des valeurs passant de 0.28% à 0.15% respectivement pour le premier et le deuxième horizon.

La CEC faible présente des valeurs de 2.39 et 2.91Cmol/Kg de sol pour le premier et le deuxième horizon. Ces faibles valeurs sont dues au faible pourcentage de M O et de la texture sableuse.

Ce profil est le représentant du domaine calcaire typique, des glacis calcaire du versant Sud de l'Atlas Saharien.

1-2-2- Le deuxième profil (P2)

- Date de description : 23-12-2005.
- Situation : à peu près à 500 m du premier profil (Sur le tracer de la toposéquence), portant les coordonnées :

$X = 34^{\circ} 51' 31''$ N.

$Y = 005^{\circ} 48' 52''$ E.

$Z = 138.398$ m.

- Topographie : pente de 28%.

- Drainage : normal

- Végétation : nouvelle plantation de palmeraie.

- Classification : Xeric Calcigypsis.

Ap (0-25cm)

Marron très clair (10YR 7/3) à l'état sec, effervescence vive à l'HCl, structure particulière, sableux et transition diffuse.

AC (25-55 cm)

Gris clair (2.5 Y 7/2) à l'état sec, forte

effervescence à l'HCl, structure massive, plus limoneuse que H₁, avec transition diffuse.

C (55-120 cm)

Gris clair (2.5 Y 7/2) à l'état sec, forte effervescence à l'HCl, structure massive, plus frais et sableux contenant des traces jaunâtre d'oxydo- réduction.



Figure 16: Photo du paysage du profil p2.



Figure 17: Photo du profil 2.

Tableau 09 : Données analytiques du profil P2

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH eau (1/2.5).	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		S G	S F	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P2H1	AP	62.46	35.27	02.27	8.03	2.44	20.05	68.72	1.16	4.17	0.78	0.77	0.03
P2H2	AC	61.68	28.65	09.67	8.03	3.18	23.39	3.41	0.46	2.09	0.78	1.44	0.12
P2H3	C	56.27	35.02	08.71	8.40	2.70	25.31	20.26	0.27	2.60	0.69	1.54	0.04

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			ΣCations (meq/l)	ΣAnions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻		
28.49	0.09	1.01	1.34	0.18	19.91	3.69	31.02	23.85
37.15	0.17	0.78	0.88	0.14	28.29	2.57	40.08	32.71
31.29	0.09	0.74	0.10	0.12	24.17	2.71	33.11	22.82

Le profil présente une texture sableuse avec une dominance du sable grossier dans les trois horizons, contrairement au premier profil où le sable fin domine, la fraction argile plus limon ne dépasse en aucun des trois horizons 10%. On peut dire que ce sable provient du déb.

Le pH est faiblement alcalin. La CE prend sa valeur maximale de 3.18 dS/m au niveau de l'horizon médian. Sa valeur minimale (2.44 dS/m) est signalée au niveau du premier horizon et le troisième horizon présente une valeur de 2.70 dS/m. Ces teneurs en sels confèrent à ce sol un caractère très salé (Gros, 1979). Avec une valeur maximale de salinité au niveau de l'horizon médian, le profil salin est du troisième type (Halitim, 1988).

L'anion dominant est le Cl⁻ passant d'une valeur de 19.91 meq/l à l'horizon de surface à sa valeur maximale de 28.29 meq/l dans l'horizon médian puis recule à 24.17 meq/l au troisième. Le cation dominant est le Na⁺, prenant les valeurs de 28.49, 37.15 et 31.29 de l'horizon de surface au profondeur.

Le faciès chimique est de type chloruré-sodique.

Concernant le calcaire, il augmente avec la profondeur passant par les valeurs de 20.05 %, 23.39% et 25.31% respectivement pour le premier, le deuxième et le troisième horizon. Selon Baize (1988), ce sol est modérément à fortement calcaire.

Le taux du gypse passe de 68.72 % en surface à 3.41% dans la partie médiane pour arriver à 20.26% en profondeur. D'après Boyadjiev (1974) se sont des horizons gypsiques.

Le taux de la matière organique est relativement plus élevé en surface. Il est aussi plus élevé par rapport à P1.

La CEC présente des valeurs faibles tout au long du profil passant par 4.17, 2.09 et 2.61 Cmol/Kg de sol respectivement pour le premier, deuxième et troisième horizon. Ces valeurs traduisent la texture sableuse.

Ce profil représente les sols de transition entre le domaine calcaire et le domaine gypseux du deb deb riche en gypse et en sels.

1-2-3- *Le troisième profil (P3)*

- Date de description : 23-12-2005

- Situation :

X = 34° 48' 38" N.

Y = 005° 50' 13" E.

Z = 138.93 m.

- Topographie : pente de 26%.

- Drainage : normal

- Végétation halophyte très dense.

- Apparition des efflorescences salines, blanchâtres à la surface.

- Présence d'une nappe à plus de 150 cm.

- Pas de charge en cailloux.

- Classification : **Xeric Calcigypsid.**



Figure 18: Photo du profil P3.

A (0-35 cm)

Marron très clair (10 YR 7/4) à l'état sec frais, effervescence moyenne à l'HCl, structure particulière, présence d'efflorescences salines à la surface et transition graduelle.

B (35-105 cm)

Marron très clair (10 Y 8/4) à l'état sec, faible effervescence à l'HCl, texture présentant des grains de sable et de gypse (Louiza) et frais.

Tableau 10 : Données analytiques du profil P3

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH eau (1/2.5).	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		S G	S F	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P3H1	A	42.03	35.98	21.99	8.47	10.35	13.36	25.51	0.40	4.56	1.08	1.64	0.07
P3H2	B	35.92	42.86	21.22	8.27	8.38	2.05	03.37	0.33	5.65	1.12	1.63	0.04

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			Σ Cations (meq/l)	Σ Anions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
99.01	0.47	1.10	0.80	0.16	102.44	6.90	101.38	108.78
78.247	0.222	1.01	0.70	0.21	76.87	6.17	80.27	83.25

La texture de ce sol sableuse affiche une plus grande teneur de fractions fines.

Le pH est toujours légèrement alcalin, un peu plus élevé que les deux profils précédents, passant d'une valeur de 8.47 dans l'horizon de surface à 8.27 pour celui sous-jacent. C'est un sol dont les horizons sont extrêmement salés. Traduisant une salinité plus élevée dans ce profil par rapport aux deux autres précédents.

Cette CE élevée et généralisée dans le profil, traduit un début de l'influence du domaine salé dans le deb deb. Le profil salin est du deuxième type, avec une baisse de salinité dans le sens de la profondeur (Halitim, 1988).

Le cation dominant de la solution du sol est toujours le Na⁺ avec un pourcentage de 99.01% pour le premier horizon et 78.24% pour le deuxième. L'anion dominant est le Cl⁻ passant d'un pourcentage de 102.44 % pour le premier horizon à 76.87% dans le deuxième.

Le faciès chimique est de type chloruré-sodique

Le calcaire total prend sa valeur maximale de 13.36% au premier horizon en lui donnant le caractère modérément calcaire puis passe à une valeur de 2.05% dans le deuxième horizon qui est peu calcaire. On remarque que le calcaire total a changé de caractère concernant sa

répartition au niveau des profils. Ces valeurs augmentent en sens de la profondeur pour le premier et deuxième profil, tandis qu'au troisième il suit un chemin inverse.

Le gypse passe d'une valeur de 25.51% dans le premier horizon à 3.37% au deuxième.

La matière organique prend toujours et comme les deux profils précédent, des valeurs faibles. Bien que la CEC un peu plus élevée que celle des deux profils précédent, elle demeure toujours faible passant d'une valeur de 4.56 Cmol/ Kg de sol à 5.65 Cmol/ Kg de sol respectivement pour le premier et le deuxième horizon.

1-2-4- Le quatrième profil (P4)

- Date de description : 23-12-2005.

- Situation :

X = 34° 62 ' 15'' N.

Y = 005° 3' 55'' E.

Z = 143.125 m.

- Topographie : pente de 24%.

- Drainage : normal.

- Végétation : couvert végétal halophyte plus dense que P3.

- Présence d'une nappe mais à plus de 3m.

- Classification : **Xeric Calcigypsis**.

A (0-35cm)

Marron très clair (10 YR 8/3) à l'état sec, effervescence remarquable à l'HCl structure particulière, texture sableuse, quelques efflorescences et transition graduelle.

B (35-55 cm)

Blanc (2.5YR 8/2) à l'état sec, effervescence moyenne à l'HCl, compact, structure polyédrique grossière, plus limoneux que le premier horizon, transition graduelle.

C1 (55-110 cm)

Blanc rosâtre (7.5YR 8/2) à l'état sec, effervescence moyenne à l'HCl structure massive, transition diffuse.

C2 (110-200 cm)

Blanc (10YR 8/2) à l'état sec, effervescence moyenne à l'HCl, structure massive et blanchâtre.



Figure 19: Photo du profil P4.

Tableau 11 : Données analytiques du profil P4

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)°			pH (1/2.5).	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		S G	S F	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P4H1	A	63.91	27.36	08.73	8.03	3.11	21.97	4.31	0.38	2.96	0.90	0.53	0.03
P4H2	B	25.21	33.18	41.61	8.14	15.45	12.56	46.25	0.59	3.67	1.06	1.66	0.07
P4H3	C1	36.21	47.16	16.63	8.65	4.74	16	33.12	0.28	3.48	0.92	1.40	0.04
P4H4	C2	35.57	35.57	29.18	8.17	4.00	19.54	28.35	0.33	4.56	0.98	1.23	0.03

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			Σ Cations (meq/l)	Σ Anions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
23.82	0.18	1.12	0.42	0.20	27.14	3.97	25.54	31.30
135.40	0.80	1.46	0.75	0.19	144.27	10.04	138.42	154.5
67.39	0.17	1.28	0.73	0.23	42.43	4.74	69.52	47.4
49.71	0.16	1.26	0.88	0.22	35.56	4.21	52.02	40

On a remarqué aussi l'apparition de la croûte en profondeur.

Le profil présente des textures, qui diffèrent d'un horizon à l'autre car avec la dominance du sable le premier horizon acquiert une texture sableuse, le taux d'argile plus limon s'élève remarquablement offrant au deuxième horizon une texture argilo-sableuse, redevient sableuse au troisième et enfin argilo-sableuse au dernier horizon.

La texture de surface peut être liée à l'apport éolien, tandis que celle de la partie médiane et profonde traduisent plus clairement l'influence du deb deb.

Le pourcentage du calcaire nous informe qu'il s'agit d'un profil modérément calcaire partant d'une valeur de 21.97% au premier horizon à 12.65 % et 16% au deuxième et troisième puis s'élève un peu à 19.54 %. Le gypse passe d'une valeur minimale de 4.31% dans le premier horizon à une valeur maximale de 46.25% au deuxième puis diminue dans le sens de la profondeur prenant les valeurs de 33.12 % à 28.352% respectivement pour le troisième et quatrième horizons. Il s'agit d'un premier horizon non gypsique et gypsique pour les trois horizons restants. La faible valeur au premier horizon peut confirmer l'origine éolienne de cette couche.

Le pH est légèrement alcalin et prend sa valeur maximale de 8.65 au niveau du troisième horizon du profil. La CE prend sa valeur minimale de 3.11 dS/m au premier horizon et celle maximale de 15.45dS/m au deuxième, avec un abaissement de 4.74 et 4.05 dS/m respectivement pour le troisième et quatrième horizon, indiquant qu'il s'agit d'un deuxième horizon extrêmement salé et très salé pour le reste des horizons. Le profil salin est du deuxième type (Halitim, 1988).

Concernant la solution du sol, le cation dominant est le Na^+ avec des pourcentages de 83.47%, 97.82 %, 97.16 % et 95.56%. L'anion dominant est le Cl^- avec des valeurs de 27.13%, 144.26% ,42.432% et 35.56% meq/l.

Le faciès chimique du sol est de type chloruré-sodique.

La matière organique est toujours faible tout au long du profil avec une moyenne de 0.52%.

La CEC se baisse légèrement par rapport au profil précédent, mais reste faible avec des valeurs de 2.95, 3.67et 3.48 Cmol/ Kg de sol.

La CEC n'est pas affectée par la fraction argile plus limon dans le deuxième et quatrième horizon. Cela peut être expliqué par le fait que cette fraction est constituée du gypse et des sels solubles.

1-2-5- Cinquièmes profils (P5)

- Date de description : 25-12-2005.

- Position :

X= 34° 62' 46'' N.

Y= 005° 48' 43'' E.

Z = 103.816 m.

- Topographie : pente de 21%.

- Drainage : normal

- Végétation : présence d'une végétation halophyte.

- Présence d'une nappe à peu près 5 m.

- Classification : **Xeric Haplogypsids.**

A (0-25 cm)

Marron très clair (10YR 7/4) à l'état sec, très faible effervescence à l'HCl, texture particulière avec les trois premiers centimètres feuilletés, transition graduelle.

AB (25--75 cm)

Marron très clair (10YR 8/4) à l'état sec, très faible effervescence

à l'HCl, structure polyédrique grossière à massive, plus compact que le premier horizon, transition diffuse.

C (75-140 cm)

Marron très clair (10YR 8/4) à l'état sec, très faible effervescence à l'HCl structure massive, plus compact que les deux autres horizons.



Figure 20: Photo du profil P5.

Tableau 12 : Données analytiques du profil P5

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH eau (1/2.5)	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		S G	S F	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P5H1	A	24.18	41.33	34.49	8.21	4.03	1.21	76.34	1.15	3.39	0.96	1.58	0.07
P5H2	AB	18.11	44.18	37.14	7.94	14.38	0.40	18.53	0.93	4.74	0.99	1.69	0.19
P5H3	C	14.76	43.60	31.64	8.25	10.14	0.40	73.88	0.89	3.95	1.09	1.66	0.14

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			Σ Cations (meq/l)	Σ Anions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻		
42.70	0.26	1.35	0.79	0.21	34.71	5.14	45.10	40.06
134.30	1.17	1.71	0.74	0.21	134.29	9.29	137.91	143.8
87.99	0.71	1.10	0.87	0.15	94.94	6.31	90.66	101.4

Avec des valeurs qui excèdent les 30% d'argile plus limon dans les trois horizons le profil acquiert une texture argilo sableuse.

Le pH est moyennement alcalin passant par les valeurs de 8.21, 7.94 et 8.25 respectivement pour le premier, deuxième et troisième horizon. La CE prend sa valeur maximale de 14.38dS/m à l'horizon médian, sa valeur minimale de 4.03 dS/m a l'horizon de surface et la valeur de 10.14 dS/m pour le troisième horizon ; donnant au profil le caractère très salé à extrêmement salé, signalant un profil salin du deuxième type (Halitim, 1988).

L'anion dominant dans la solution du sol est le Cl^- avec une valeur maximale de 134.29meq/l observée au deuxième horizon. Le cation dominant est le Na^+ atteignant sa valeur maximale de 134.29 meq/l au même horizon.

Le faciès chimique est de type chloruré-sodique.

La matière organique est faible et s'abaisse très légèrement dans le sens de la profondeur.

Le taux du calcaire total est faible donnant au profil l'aspect peu calcaire.

Le gypse est très abondant dans le profil avec des valeurs voisines dans le premier et le troisième horizon avec respectivement 76.34% et 73.88% et une valeur de 18.53% pour le deuxième horizon. D'après Boyadjiev (1974) les trois horizons sont gypsiques.

La CEC est faible avec une valeur moyenne de 4.03 Cmol/ Kg de sol, cette dernière n'est pas loin de celle du profil précédent. Le premier et le troisième horizon présentent des valeurs élevées de gypse avec CEC faible. Mousli (1981) et Poch (1992) suggèrent que les valeurs de la CEC décroissent généralement avec l'augmentation de la teneur en gypse.

C'est le profil représentant du domaine gypseux.

1-2-6- Le sixième profil (P6)

- Date de description : 25-12-2005.

- Position :

X= 34° 55' 24'' N.

Y= 005° 39' 53'' E.

Z = 83.16 m.

- Topographie : pente de 19%.

- Drainage : normal.

- Végétation : halophyte très

Abondante.

- Nappe à 8m à peu près.

- Pas d'efflorescences saline

Classification

Xeric Haplogypsis.

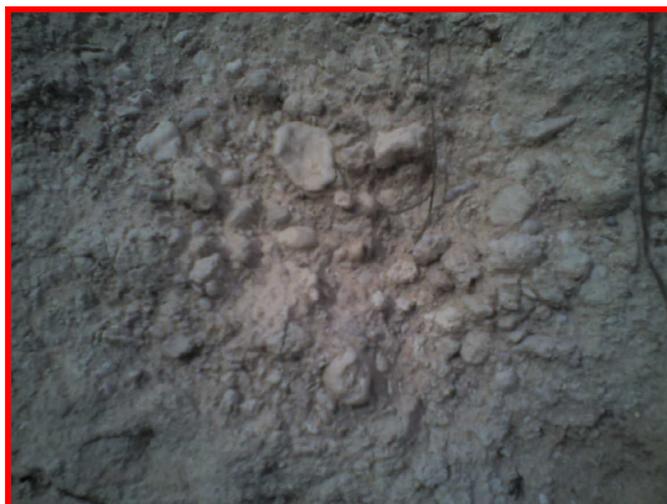


Figure 21: Photo du profil p6.

A (0 à 15 cm)

Brun jaunâtre (10YR 6/4) à l'état sec, faible effervescence à l'HCl, structure polyédrique moyenne à grossière, transition diffuse.

AB (15-55 cm)

Marron très clair (10YR 7/4) à l'état sec, faible effervescence à l'HCl, structure polyédrique grossière un peu plus compact que les deux autres horizons du profil, transition diffuse.

Bw (55cm et plus)

Marron très clair (10YR 7/4) à l'état sec, faible effervescence à l'HCl, structure polyédrique moyenne à grossière.

Tableau 13 : Données analytiques du profil P6

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH (1/2.5).	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		S G	S F	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P6H1	A	42.65	49.20	8.11	8.30	3.02	3.54	52.64	1.54	4.35	0.902	1.00	0.06
P6H2	AB	14.08	39.22	46.7	8.75	14.6	2.43	63.89	1.39	4.56	0.91	1.68	0.17
P6H3	BW	20.63	46.28	37.09	8.79	7.78	4.66	53.17	1.03	3.09	0.95	1.68	0.18

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			Σ Cations (meq/l)	Σ Anions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²		
20.49	0.70	1.32	0.46	0.22	30	4.50	22.98	34.73
130.96	0.93	1.27	0.29	0.26	135.4	10.34	133.45	145.94
90.38	0.97	1.55	0.47	0.20	70.59	7.07	93.37	77.73

La texture du profil est sableuse au premier horizon avec dominance du sable fin 39.30%, argileux pour le deuxième horizon et argilo- sableux au troisième.

Le pH est légèrement alcalin et augmente dans le sens de la profondeur passant par les valeurs de 8.40 ,8.75 arrivant à 8.79 au troisième horizon. Les résultats de la conductivité électrique traduisent une salinité maximale de 14.60 dS/m dans l'horizon médian qui se qualifie comme extrêmement salé, valeur minimale de 3.02 dS/m au premier qui est très salé et 7.78 dS/m au troisième et c'est le même cheminement que p5 et p4. Comme P4 et P5, le profil salin est du deuxième type (Halitim, 1988).

L'anion dominant est le Cl^- qui suit la même répartition dans le profil que Na^+ , avec des valeurs de 30 meq/l, 135.4 meq/l et 70.592 meq/l respectivement pour le premier, deuxième et troisième horizon.

Le faciès chimique est de type chloruré-sodique.

Le gypse suit la même répartition que la conductivité électrique signalant son maximum de 63.89 % dans l'horizon médian, une valeur minimale de 52.64 % à l'horizon de surface et enfin 53.17% au dernier horizon. Pour Boyadjiev (1974), les trois horizons sont gypseux. Le profil est en général peu calcaire avec des valeurs de 3.54%, 2.43 % et 4.66% respectivement pour le premier deuxième et troisième horizon.

Le sol est toujours pauvre en matière organique qui porte des valeurs s'abaissant dans le sens de la profondeur partant de 1.54% au premier horizon à 1.03% au troisième et c'est la même répartition que p5.

La CEC est toujours faible tout au long du profil avec une moyenne de 4.26 Cmol/ Kg de sol et légère augmentation au niveau de l'horizon médian comme le profil précédent.

Le cation dominant dans la solution du sol est le Na avec une valeur maximale de 130.96 meq/l dans l'horizon médian, minimale de 20.49 meq/l au premier horizon et 90.380 meq/l au niveau du troisième horizon.

Ce sol est de même type que P5. Il en a les mêmes caractéristiques.

1-2-7- Le septième profil (P7)

- Date de description : 25-12-2005.
- Position :
 $X = 34^\circ 48' 34''$ N.
 $Y = 005^\circ 49' 36''$ E (prés de certaines ruines romaines).
- $Z = 67.433$ m.
- Topographie : pente de 16 %.
- Drainage : normal.
- Végétation : presque inexistante.



Figure 22: Photo du profil p7.

- On remarque à la surface du sol, de nombreux restes de fragments de racine pétrifiée.

- Classification: **Xeric Calcigypsis**.

A (0-30 cm)

Blanc rosâtre (7.5YR 8/2) à l'état sec, forte effervescence à l'HCl, structure lamellaire dans les 10 cm premiers et elle est polyédrique moyenne dans le reste de l'horizon, transition diffuse.

AC (30 et plus)

Marron très clair (10 YR 7/3) à l'état sec, forte effervescence à l'HCl, structure massive, nombreuses traces de coquillage (ça prouve qu'il y' avait une nappe).

Tableau 14 : Données analytiques du profil P7

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH (1/2.5).	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		SG	SF	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P7H1	AP	25.91	43.84	30.25	8.31	2.61	17.82	34.45	0.25	3.48	0.87	0.02	0.04
P7H2	AC	33.80	51.46	14.74	8.17	2.55	19.04	27.58	0.15	2.69	0.87	0.98	0.03

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			Σ Cations (meq/l)	Σ Anions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
39.29	0.39	1.31	0.33	0.20	20	6.88	40.99	27.08
34.78	0.37	1.26	0.50	0.21	21.24	4.05	36.44	25.5

Le profil présente une texture sableuse que se soit dans le premier ou le deuxième horizon.

Le pH est légèrement alcalin et diminue faiblement d'une valeur de 8.31 au premier horizon à 8.17 au deuxième. La CE traduit une très forte salinité pour le premier horizon ainsi que le deuxième, exprimée respectivement par les valeurs de 2.61 dS/m et 2.55 dS/m.

Le profil salin est du deuxième type (Halitim, 1988), avec un faible abaissement de salinité. Pour la solution du sol, le cation dominant est le Na⁺ avec des valeurs de 39.286 meq/l pour le premier horizon et 34.781 meq/l pour le deuxième.

L'anion dominant est le Cl^- avec des valeurs presque identiques dans le premier et le deuxième horizon, respectivement 20 meq/l et 21.24 meq/l.

Le faciès chimique du sol est de type chloruré-sodique.

Le sol est très pauvre en matière organique avec des valeurs inférieures à 0.3% dans les deux horizons du profil. La CEC est faible et subit un léger abaissement au deuxième horizon par rapport au premier avec des valeurs de 3.47 Cmol/Kg du sol pour le premier et 2.69 Cmol/Kg de sol pour le deuxième.

Le pourcentage du calcaire total augmente dans ce profil par rapport à celui précédent et prend respectivement les valeurs de 17.82% et 19.04% dans le premier et deuxième horizon. Le gypse s'abaisse légèrement au deuxième horizon 27.58% par rapport au premier 34.45%, il s'est baissé par rapport au profil précédent.

- Il s'agit d'une zone d'épandage.
- La nappe phréatique est dissable.
- On propose une hypothèse qui reste à prouver, il s'agit d'un milieu élevé de la sebkha actuelle.

C'est le domaine des sels.

1-2-8- *Le huitième profil (P8)*

- Date de description : 25-12-2005.
- Position :
 $X = 34^\circ 53' 32''$ N.
 $Y = 005^\circ 49' 46''$ E.
 $Z = 58.023$ m.
- Topographie : pente de 14 %.
- Drainage : normal
- Végétation : Halophyte très abondante.
- **Classification : Xeric Calcigypsid**



Figure 23: Photo du profil p8.

A (0-20 cm)

Gris clair (5Y 7/2) à l'état sec, très forte effervescence à l'HCl, structure particulière. C'est un horizon d'accumulation alluviale en milieu humide (zone d'épandages) horizon friable, contenant beaucoup de poupées et de reste de racines pétrifiées, transition diffuse.

B (20-80 cm)

Blanc (2.5 8/2) à l'état sec, très forte effervescence à l'HCl, structure poléhydrique moyenne, plus compact que P₈H₁, traces d'oxydo- réduction.

Tableau 15: Données analytiques du profil P8

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH (1/2.5)	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		SG	SF	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P8H1	A	43.80	35.53	20.67	8.15	2.63	34.12	9.06	0.06	3.39	0.80	1.02	0.04
P8H2	B	16.80	27.61	55.59	8.59	7.61	33.41	16.86	0.06	1.30	1.16	1.76	0.05

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			Σ Cations (meq/l)	Σ Anions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻		
23.650	0.373	1.331	1.057	0.194	20	4.007	26.411	24.201
83.972	0.411	1.471	1.527	0.194	80	5.926	87.381	86.12

A travers l'analyse granulométrique on a remarqué que le premier horizon présente une texture sableuse tandis que le deuxième reste argileux avec 55.19 % d'argile plus limon.

Le pH passe d'une valeur de 8.15 au premier horizon à 8.5 au deuxième traduisant un sol légèrement alcalin. Le premier horizon est très salé, or le deuxième est extrêmement salé traduisant l'apparition du profil salin du premier type (Halitim, 1988). Les valeurs de la CE sont respectivement de 2.63 dS/m et 7.61dS/m. Elle est élevée par rapport à la valeur moyenne du profil précédent qui ne dépasse pas 2.61dS/m.

L'anion dominant dans l'extrait 1/5 est toujours le Cl⁻ qui prends une valeur de 20meq/l au premier horizon puis s'élève à 80meq/l au deuxième. Le cation dominant est Na⁺

, passant d'une valeur de 23.65 meq/l au premier horizon à 83.97meq/l pour le deuxième

Le faciès chimique est de type chloruré sodique.

Le sol est toujours pauvre en matière organique qui ne dépasse pas 0.8%.

Avec ces valeurs de la CE on s'approche du cote basses de la Sebkhas.

Les valeurs du calcaire total continuent à s'élevée par rapport aux deux profils précédents, arrivant à son maximum dans toute la séquence étudiée, avec des valeurs de 34.12% et 33.41% respectivement dans le premier et deuxième horizon.

Comparé au profil précédent le gypse affiche des teneurs un peu plus faibles aussi bien dans le premier horizon que dans le deuxième avec des valeurs respectivement de 9.06% et 16.86%.

- C'est un profil avec des traces d'oxydo- réduction.
- nappe disslable .
- très nombreuses racines calcifiées en surface.
- présence en surface de surfaces enrobées de petite rose de sable

Le sol est toujours pauvre en matière organique avec une moyenne ne dépassant pas 0.4%.

La CEC aussi reste faible, avec une diminution remarquable au niveau du deuxième horizon avec une valeur de 1.304 Cmol/Kg de sol par rapport à 3.390meq/100gde sol au premier.

Dans le deuxième horizon on a remarqué la présence de beaucoup poupées et de reste de racines pétrifiées. D'après Durand (1959) se sont des racines entourées dans leurs zones pilifères de cristaux de gypse et de calcaire, que Benmati et Néfil (1996) appellent monchons racinaires.

1-2-9- Le neuvième profil (P9)

-Date de description : 25-12-2005.

- Position :

X= 34° 53' 32'' N[□] à l'entrée de la sebkha

Y= 005° 49' 46'' E.

Z = 50.596 m.

Topographie : pente de 11 %.

- Drainage : normal.
- Végétation halophyte très dense.

- Efflorescences généralisée dans tout le profil, blanchâtre.

- Classification : **Xeric Calcigypsis**.

A (0-25 cm)

Blanc (7.5YR 7/4) à l'état sec, très faible effervescence à l'HCl, structure particulière les cinq premiers cm et polyédrique moyenne dans le reste de l'horizon, transition diffuse, très nombreuses galeries.

B (25-75 cm)

Marron très clair (10YR 8/4) à l'état sec, faible effervescence à l'HCl, structure polyédrique moyenne, plus argileux que le premier horizon, nombreuses galeries, transition graduelle.

BC (75 cm-2m)

Blanc (2.5 YR 8/4) à l'état sec, très forte effervescence à l'HCl, structure polyédrique moyenne noirâtre.

Tableau 16 : Données analytiques du profil P9

Echantillon	Symboles	Granulométrie (%)			pH (1/2.5).	CE (1/5) dS/m	CaCO ₃ (%)	CaSO ₄ H ₂ O (%)	M.O (%)	CEC (Cmol/Kg)	Bases échangeables (Cmol/Kg)		
		SG	SF	A+L							Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺
P9H1	A	23..13	42.32	34.55	8.85	20.5	0.82	56.51	2.05	4.13	0.76	1.73	0.37
P9H2	B	3.21	39.3	57.43	8.67	18.1	3.65	53.01	1.14	1.74	1.03	1.68	0.23
P9H3	BC	13.89	39.70	46.41	8.57	4.83	21.43	70.53	0.71	3.87	0.93	1.51	0.04

Bilan ionique								
Cations (meq/l)				Anions (meq/l)			Σ Cations (meq/l)	Σ Anions (meq/l)
Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²		
236.29	1.02	1.72	0.75	0.25	210	17.53	239.78	227.78
142.204	1.04	1.81	0.78	0.17	190	8.53	145.84	198.7
38.978	1.03	1.46	0.75	0.20	40	4.75	42.22	44.95

Le premier horizon présente une texture sableuse, les deux autres horizons ont une texture argileuse.

La valeur moyenne de pH est de 8.63, le sol est légèrement alcalin. Les deux premiers horizons sont extrêmement salés et le troisième très salé. La moyenne de la CE est

remarquablement élevée par rapport au profil précédent. Remarquant aussi que la valeur de 22.53 dS/m est la plus élevée par rapport à toutes les conductivités électriques de toute la séquence. Son profil salin est du deuxième type (Halitim, 1988).

Le faciès chimique est de type chloruré sodique.

L'anion dominant est le Cl avec la valeur moyenne la plus élevée dans tous les profils de la séquence, un maximum de 210meq/l, minimum de 40meq/l et valeur de 190meq/l respectivement pour le premier troisième et deuxième horizon.

Le cation dominant est Na^+ , sa valeur moyenne est aussi comme le Cl pour les anions la plus élevée de tous les échantillons de la séquence, diminue dans le sens de la profondeur passant par les valeurs de 236.29 meq/l, 142.20 meq/l et 38.97meq/l pour le premier, deuxième et troisième horizon.

Le calcaire total prend une valeur moyenne inférieure à celle du huitième et septième profil. Elle passe de 0.82% dans le premier horizon à 3.65% dans le deuxième atteignant sa valeur maximale de 21.43% au troisième.

Le pourcentage du gypse indique que les trois horizons sont gypsiques (Boyadjiev, 1974) avec des valeurs de 56.51% 53.01% et 70.53% pour le premier, deuxième et troisième horizon. La moyenne de la matière organique est toujours faible mais elle est un peu élevée par rapport aux deux derniers profils p7 et p8. Elle diminue dans le sens de la profondeur, passant d'une valeur de 2.052% dans l'horizon de surface, aux valeurs de 1.14% et 0.70% respectivement pour le premier deuxième et troisième horizon.

La CEC est toujours faible tout au long du profil.

Le faciès chimique est de type chloruré sodique.

L'anion dominant est le Cl avec la valeur moyenne la plus élevée dans tous les profils de la séquence, un maximum de 210meq/l, minimum de 40meq/l et valeur de 190meq/l respectivement pour le premier trois-mâts et deuxième horizon.

Le cation dominant est Na, sa valeur moyenne est aussi comme le Cl pour les anions la plus élevée de tout les échantillons de la séquence, diminue dans le sens de la profondeur passant par les valeurs de 236.29 meq/l, 142.20 meq/l et 38.97 meq/l pour le premier, deuxième et troisième horizon.



Figure 24: Photo du paysage Sebkha

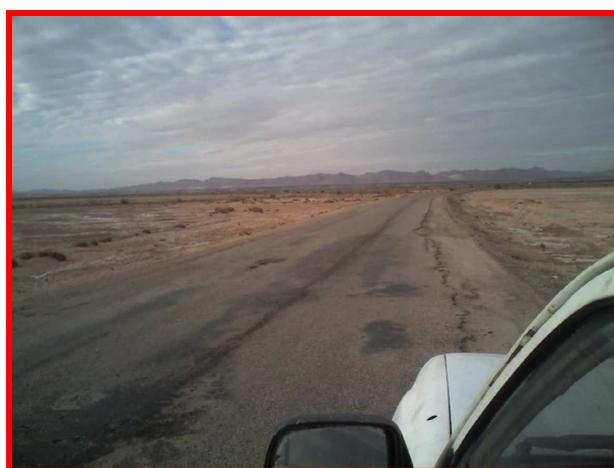


Figure 25: Photo du paysage séquence étudiée.

1-3- Conclusion

A travers les résultats obtenus dans ce chapitre on peut tirer les constatations suivantes:

La texture est dans la majorité des horizons des profils sableuse exception faite pour P4h2, P5h1, P5h2, P5h3, P6h3, P9h1 et P9h3 qui présentent des textures sablo-argileux et P9h2 qui est argileuse.

Le pH ne présente pas des variations ou changements significatifs d'un horizon à l'autre et d'un profil à l'autre. Il prends des valeurs inférieurs à 9, ce sont des sols alcalins à légèrement alcalins. Ceci est confirmé par l'absence totale des carbonates dans toutes les solutions du sol de nos échantillons. A part le profil P1; tous les autres sont salés à extrêmement salés.

Concernant la distribution de la salinité dans les profils, on a remarqué qu'il s'agit de trois types de répartitions :

Une répartition de type descendante pour : P3, P7 et P9 avec des valeurs qui augmentent dans le sens de la profondeur.

Une répartition de type ascendante, au niveau de P1 et P8.

Une répartition avec une CE élevée dans l'horizon médian pour P2, P4, P5 et P6.

La valeur la plus élevée de la CE est rencontrée dans la Sebka (à P9H1 avec 22.53 dS/m).

Le sol est non calcaire pour P9h1, P5h2, P5h3, peu calcaire dans les horizons P3h2, P6h1, P6h2, P6h3 et P9h3 et modérément calcaire dans le reste des échantillons. Pour sa répartition verticale dans les profils on remarque qu'il prend des pourcentages descendant (dans le sens de la profondeur) pour P1, P2, P3, P8 et ascendante (le sens inverse) pour P6, P7 et P9 et prend ces plus faibles valeurs à l'horizon médian pour P4 et P5. Mais pour P4 les valeurs les plus élevées se trouvent au premier horizon et croient dans le sens de la profondeur.

Le gypse est présent dans tous nos échantillons à l'exception du premier profil, avec un pourcentage inférieur à 1% donnant à ce profil le caractère non gypseux. Le reste des profils présentent les appréciations peu, modérément et extrêmement gypseux.

Concernant la répartition spatiale du gypse on peut constater les faits suivants :

- répartition descendante remarquée au niveau de P1, P3 et P7, ascendante pour P8 et P6.

Pour P2 et P5 les valeurs les plus élevées et faibles sont présentes respectivement dans le premier et le deuxième horizon puis reprennent leur augmentation pour le troisième horizon. Tandis que pour P4 les valeurs les plus faibles et élevées sont remarquées au niveau du premier et deuxième horizon respectivement puis reprennent leur diminution. Pour P9 les valeurs les plus élevées et faibles sont remarquées au niveau du troisième et deuxième horizon et reprennent leur augmentation au niveau du premier horizon.

La MO est très faible dans tous nos échantillons analysés.

La CEC est faible au niveau de tous les profils et ces variations verticales d'un horizon à autre sont insignifiantes. Et cela est justifié par les faibles teneurs en argile et en matière organique.

Le faciès chimique de la solution du sol est le même dans tous nos échantillons, il est de type chloruré-sodique.

D'après toutes nos constatations et résultats et en se référant aux caractéristiques topographiques (pente) de la séquence étudiée on peut segmenter la séquence en trois parties ou domaines :

- Partant de P1 à P4 : c'est le domaine des sols riches en calcaire.
- Le domaine des sols gypseux : partant de P5 à P7.
- Le domaine des sols salés : il s'agit de P8 et P9.

Chapitre 2 : Caractérisation minéralogique des sols

2-1- Introduction

La diffraction des rayons X est une méthode très utilisée pour l'identification des minéraux cristallins, particulièrement dans l'étude des minéraux de taille inférieure à 2μ qui ne sont pas aisément accessibles par d'autres moyens (Fitzpatrick, 1992 in Fares, 2005).

2-2- Choix des échantillons

L'analyse minéralogique a porté sur vingt échantillons et réalisée en deux étapes:

2-2-1- La première étape

Dans cette étape le choix s'est porté sur onze (11) échantillons seulement et ceci par manque de moyens.

Le choix des échantillons a été guidé par un raisonnement basé sur les propriétés physico-chimiques obtenues. Il s'agit des échantillons suivants :

- **P1H2** : le deuxième horizon du premier profil qui représente le domaine des sols calcaires de notre séquence ; considéré comme le matériel originel de la zone calcaire (il s'agit du substrat calcaire).

- **P3H2** : le profil appartient à la zone de transition entre les deux domaines gypseux et calcaire. Le deuxième horizon a été choisi après avoir détecté une chute remarquable des pourcentages du calcaire et du gypse par rapport au premier horizon.

- **P4H2** : il appartient aussi à la zone de transition entre les deux domaines ; calcaire et gypseux.

Le choix de cet échantillon est justifié par la présence d'une forte CE et un pourcentage élevé de gypse par rapport aux trois autres horizons du profil. Ces deux facteurs marquent leurs valeurs les plus élevées au niveau de cet horizon.

- **P5H1** : représente l'horizon superficiel du profil représentatif des sols gypseux.

- **P5H2** : l'horizon médian qui présente les valeurs minimales du gypse au niveau du profil.

- **P5H3** : il s'agit de l'horizon représentatif du substrat gypseux du deb deb.

- **P6H2** : c'est un profil appartenant au domaine des sols gypseux. Au niveau de l'horizon H2 on trouve la valeur la plus élevée du gypse dans le profil.

- **P8H1** : retour à la dominance du calcaire par rapport au gypse.

- **P8H2** : le même caractère que P8H1 avec l'objectif de découvrir la particularité de la matière organique et du gypse ; qui prend leurs valeurs les plus élevées à cet horizon par rapport au premier.

- **P9H1** : il s'agit des sols de la Sebkha ; cet horizon représente la partie supérieure des sols salés de la séquence.

- **P9H3** : l'horizon de profondeur ; représente le substrat des sols salés.

2-2-2-La deuxième étape

Dans cette étape, des traitements des échantillons ont été menés et ceci pour identifier et confirmer la présence de certains minéraux. Il s'agit des échantillons suivants:

- **P5H1**: pour confirmer que le pic de 7.647\AA (figure 30), représente vraiment le gypse et pas un autre constituant, on a décidé de chauffer l'échantillon entier (poudre) à 200°C .

- **P1H2, P3H2, P4H2, P5H1, P8H1** et **P9H1** sont mis en suspension pour détecter la présence des argiles.

- **P5H3** et **P9H1**: traitement d'argile avec chauffage à 200°C .

2-3- Résultats et interprétation

De manière générale,

Les résultats d'analyse par diffractométrie aux rayons X ont permis d'identifier la présence de plusieurs minéraux dans les échantillons. Les minéraux les plus fréquents sont :

- La calcite, identifiée par ses principales raies D1:3.03, D2 : 2.28, D3 : 2.09 et vérifiée à l'aide de l'affiche A.S.T.M d'identification : 5-586.

- Le gypse, identifié par ses principales raies D1 : 7.63, D2 : 4.28, D3 : 3.06 et vérifiée à l'aide de l'affiche A.S.T.M d'identification : 333-311.

- L'halite, identifiée par ses principales raies D1 : 2.82, D2 : 1.99, D3 : 1.62 et vérifiée à l'aide de l'affiche A.S.T.M d'identification : 5-628.

- Le quartz, identifié par ses principales raies D1 : 3.34, D2 : 4.25 D3 : 1.81 et vérifiée à l'aide de l'affiche A.S.T.M d'identification : 33-1161.

Les traitements de la deuxième étape ont donné les résultats suivants :

- Quartz : 4.36\AA , 3.34\AA , 1.81\AA .

- Calcite : 3.03\AA , 3.86\AA , 2.49\AA , 2.28\AA .

- Gypse : 3.06\AA , 7.57\AA , 4.2\AA , 3.79\AA , 3.16\AA , 2.86\AA , 2.78\AA , 2.68

- Feldspaths : 3.19\AA , 3.24\AA , 3.29\AA .

- Dolomite : 2.88\AA , 2.89\AA , 2.19\AA .

- Basanite : 3.00\AA , 6.01\AA , 3.46\AA , 2.80\AA .

- Halite : 2.82\AA et 3.26\AA .

On remarque que les minéraux argileux n'ont été détectés que dans P1H2 mais en traces ; il s'agit de la kaolinite, l'illite et quelques interstratifiés.

2-3-1- La minéralogie de P1H2

Le profil P1 représente la partie amont de la séquence, les minéraux essentiels dans cet échantillon sont le gypse et la calcite.

Le gypse est représenté par les pics : 7.63 Å, 4.292 Å, 3.803 Å, 3.177 Å, 2.875 Å, 2.730 Å, 2.735 Å et beaucoup d'autres.

La Calcite avec les pics : 2.498 Å, 2.28 Å, 2.088 Å, 1.622 Å, 1.601 Å et autres, très peu de quartz avec les pics de 3.41 Å, 2.454 Å et 1.955 Å.

La deuxième analyse confirme la présence de la calcite et le quartz. Avec la dolomite et les feldspaths en très faibles quantités. Pour les argiles la présence de la Kaolinite, de l'illite et des interstratifiés en traces est signalée (figure 26 et 27).

Cet échantillon présente des pourcentages élevés de sable et de calcaire (tab 08) ceci est confirmé par l'apparition des pics représentant la calcite et le quartz dans l'analyse minéralogique. Le gypse dans cet échantillon est présent en faible quantité (tab 08), sa présence est signalée en analyse diffractométrique, ce qui nous amène à penser que la plupart de ces minéraux rentrent dans la fraction granulométriques fine.

Les mêmes résultats ont été trouvés par un grand nombre d'auteurs (Barzanji et Stoops, 1974; Dekkiche, 1976; Gumuzzio et Casas, 1988; Stoops et Poch, 1994).

Pour la fraction argileuse l'apparition en trace de :

L'illite qui est une argile de type 2/1, résultante de l'altération de produits micacés, considérée comme le produit des premiers stades d'altération de la biotite. Représentée par le pic 10.03 Å (Fig 26). La présence de l'illite serait due vraisemblablement à un héritage par des procédés géochimiques de micro division à partir de la muscovite. Ce minéral se manifeste habituellement dans les alluviaux à grès micacés et les sables (Aubert, 1978).

Singer (1989b) explique la distribution de l'illite dans les sols des zones arides par la durabilité et l'intensité du cycle de déflation-déposition / humectation-déssiccation. Il avance l'hypothèse d'une source éolienne de potassium libre qui s'incorpore dans le matériau du sol.

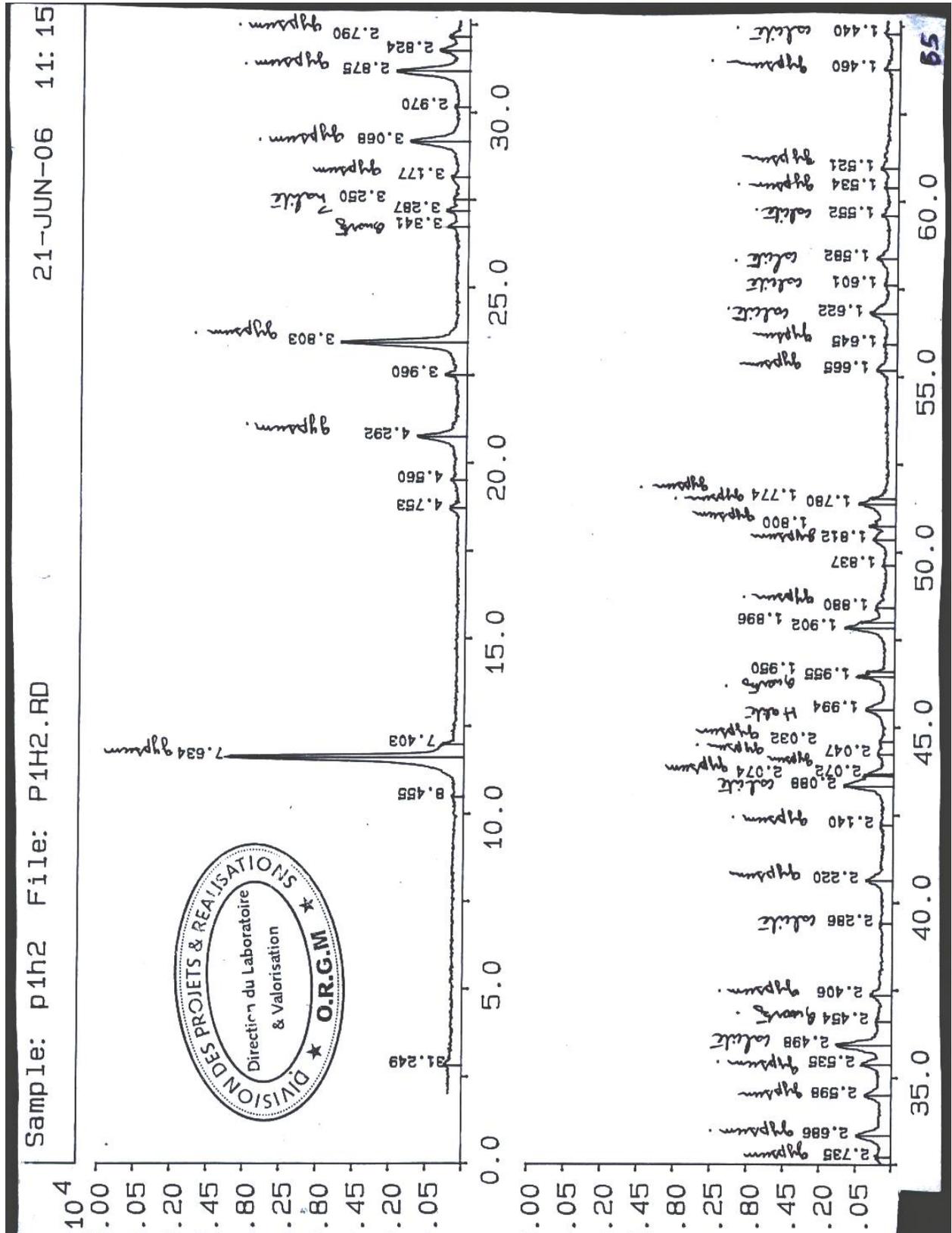


Figure 26 : Résultats diffractométriques (échantillon total) de P1H2.

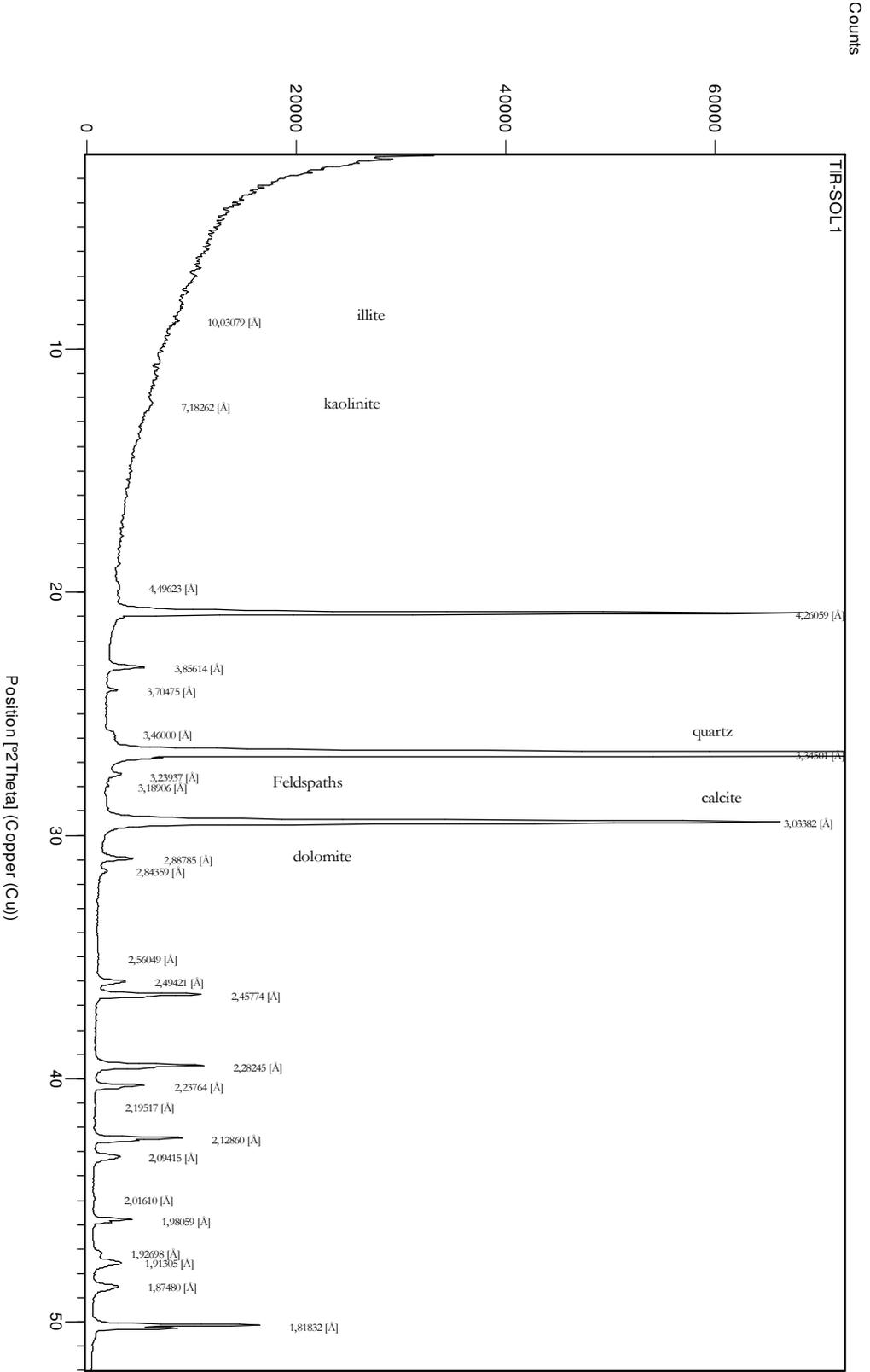


Figure 27: Résultats diffractométriques du PIH2 (traitement d'argile).

La kaolinite, une argile de type 1/1, qui peut provenir de l'altération des feldspaths potassiques où se forme in situ dans les profils intensément lessivés. La présence de la kaolinite reflète un héritage suite à une altération différentielle au niveau de la roche mère (Paquet, 1969).

La présence des interstratifiés, dans le sol est due soit à l'héritage à partir du matériau parental, soit à l'altération pédogénitique suite à la perte ou le gain d'ions ou feuillets dans la couche silicatée (Bernou, 2001).

Les minéraux gonflants ont souvent été signalés dans les zones arides (Paquet, 1969; Dulti, 1971), pour prouver l'appartenance des zones arides au domaine de bisiallisation (carte de distribution de minéraux argileux à travers le monde (Pedro, 1964) in Halitim, 1988). Dans notre cas ce type d'argiles n'est pas signalé du fait de l'envahissement des sables.

2-3-2- La minéralogie de P3H2

Les résultats diffractométriques révèlent dans cet échantillon, la présence essentiellement du gypse et du quartz (figure 28).

Le gypse avec les pics 4.277 Å, 2.884 Å, 2.741 Å, 2.693 Å, 2.605 Å, 2.542 Å, 2.501 Å et autres.

Le quartz avec les pics de : 3.355 Å, 2.800 Å, 2.287 Å, 2.243 Å, 1.554 Å.

Très peu de calcite avec 2.833 Å, 1.904 Å et 1.624 Å.

Avec un pourcentage élevé de sable et une CE élevée, nos résultats analytiques sont en confirmation avec ceux diffractométriques qui signalent l'abondance du quartz et de l'halite (l'halite est très abondant dans les zones arides, sa présence caractérise les horizons salins (Servant, 1975; Eswaren et al, 1980).

Malgré que les pourcentages du gypse et calcaire soient très faibles dans notre échantillon, la diffractométrie signale leur présence (annexe 06), ils sont donc présents dans la fraction granulométrique fine.

La présence des trois minéraux (gypse, quartz et de calcite) paraît logique pour Watson (1980); Herrero et Porta (1987); Boyadjiev et Sayegh (1992).

Nos résultats révèlent la présence aussi de Feldspath, que Bullock et al (1985) signalent aussi son existence dans ce type de sol.

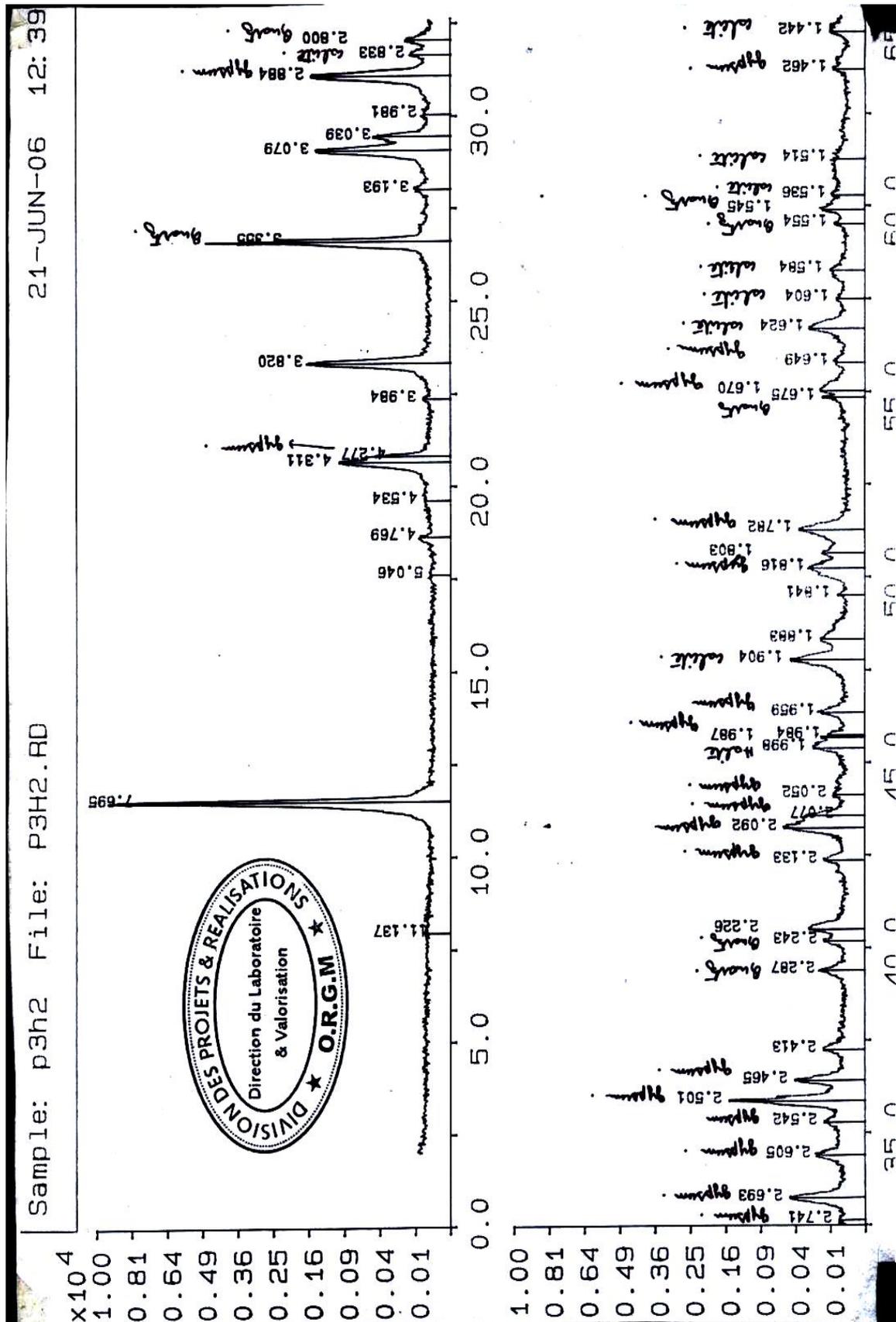


Figure 28: Résultats diffractométriques de P3H2 (échantillon total).

2-3-3- La minéralogie de P4h2

L'examen minéralogique révèle que cet échantillon est constitué principalement du gypse et de la nitratite.

Le gypse est représenté par les pics : 4.34 Å, 2.73 Å, 2.53 Å, 2.47 Å et autres. D'après les pics on trouve qu'il y a présence de la calcite mais elle est très peu abondante. Le quartz est aussi très peu abondant (figure 29).

La deuxième analyse minéralogique confirme la présence du gypse, pas de pics de Nitratite et aussi en traces le quartz, la calcite, les feldspaths et l'halite. Les argiles sont inexistantes (annexe 06).

Par rapport aux résultats analytiques (tableau 11), nos résultats minéralogique paraissent de manière générale logique. Avec une CE élevée et un faciès chimique chloruré sodique, la présence de l'halite même en traces est justifiée et même pour le gypse, le quartz qui présentent des pourcentages élevées pour le premier et moyen pour le deuxième. La calcite se présente en trace et cela est confirmé par son faible pourcentage.

La présence de feldspath (même en trace) est prouvée dans les sols arides par Bullock et al (1985). Il est considéré comme un minéral primaire caractéristique de la roche mère de la zone d'étude.

Quand au gypse, calcite et quartz leur abondance est toujours confirmés par plusieurs auteurs (Barzanji et Stoops, 1974; Watson, 1980; Boyadjiev et Sayegh, 1992).

En outre, la présence de la nitratite n'a jamais été signalée dans ce type de sol.

2-3-4- La minéralogie de P5H1

Les résultats diffractométriques montrent que cet échantillon est constitué du gypse et de quartz :

Que le gypse prend les pics de : 7.647 Å, 4.300 Å, 3.809 Å, 2.88 Å, 2.87 Å, 2.79 Å, 2.73 Å, 2.69 Å, 2.60 Å, 2.53 Å et 2.40 Å, le quartz qui est moins abondant par rapport au gypse présente les pics : 4.26 Å, 3.56 Å, 2.46 Å, 2.13 Å, 1.82 Å, 1.78 Å, 1.66 Å et 1.55 Å.

La deuxième analyse prouve la présence toujours de gypse, du quartz et en traces la calcite, les feldspaths et l'halite. Pas d'argiles (figure 30).

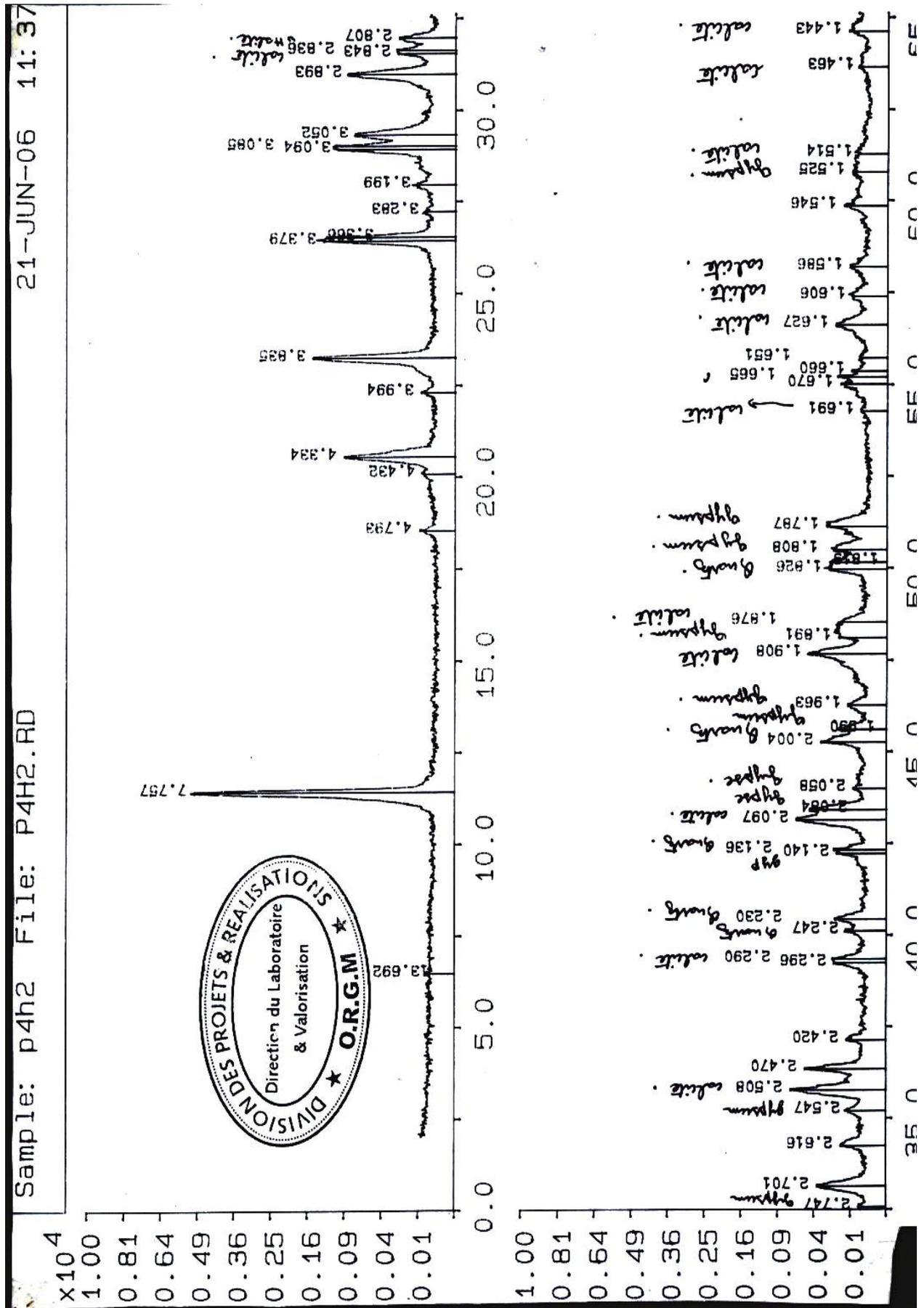


Figure 29: Résultats diffractométriques de P4H2 (échantillon total).

Comparés aux résultats analytiques (tableau 12) la présence des quarts et du gypse est logique, mais la calcite présente un très faible pourcentage, elle apparaît en traces.

De point de vue minéralogique, la présence du gypse, quartz, calcite est prouvée par : Dekkiche, 1976; Watson, 1980; Boyadjiev et Sayegh, 1992.

Bullock et al (1985) prouvent la présence du feldspath dans les sols des zones arides.

Quand à l'halite, sa présence n'est justifiée qu'en sols salés (Girard et al, 2005) en parallèle avec le gypse, la calcite, les sulfates magnésiens et la sylvite.

2-3-5- La minéralogie de P5H2

A partir des résultats diffractométriques obtenus (Fig 31), on remarque la présence du gypse et l'halite. Le gypse est plus abondant que l'halite.

- Le gypse avec les pics : 7.70 Å, 2.18 Å, 2.88 Å, 2.73 Å, 2.6 Å, 2.41 Å, 2.22 Å, 2.07 Å et autres.

- L'halite par les pics : 3.25 Å, 2.83 Å, 1.90 Å et 1.69 Å.

En observant les pics et en se référant aux notices explicatives à l'annexe (06) on remarque la présence de peu de calcite et de quartz.

La présence de l'halite paraît logique suite à la valeur très élevée de la CE (tableau 12). On trouve aussi la présence du gypse et de quartz qui présente dans les résultats analytiques des pourcentages importants quand à la calcite, elle prend de très faibles pourcentages et se présente sous forme de traces dans les résultats minéralogiques.

Comparés aux résultats obtenus par : Barzanji et Stoops, 1974; Dekkiche, 1976; Watson, 1980; Herrero et Porta, 1987; Gumuzzio et Cassas, 1988; Boyadjiev et Sayegh, 1992; Stoops et Poch, 1994, ces résultats paraissent logiques sauf pour l'halite. Ce dernier sa présence a été prouvée par de nombreux auteurs (Girard et al, 2005; Shahid et Jenkins, 1994; Mees et Stoops, 1991), mais dans les sols à caractère salé.

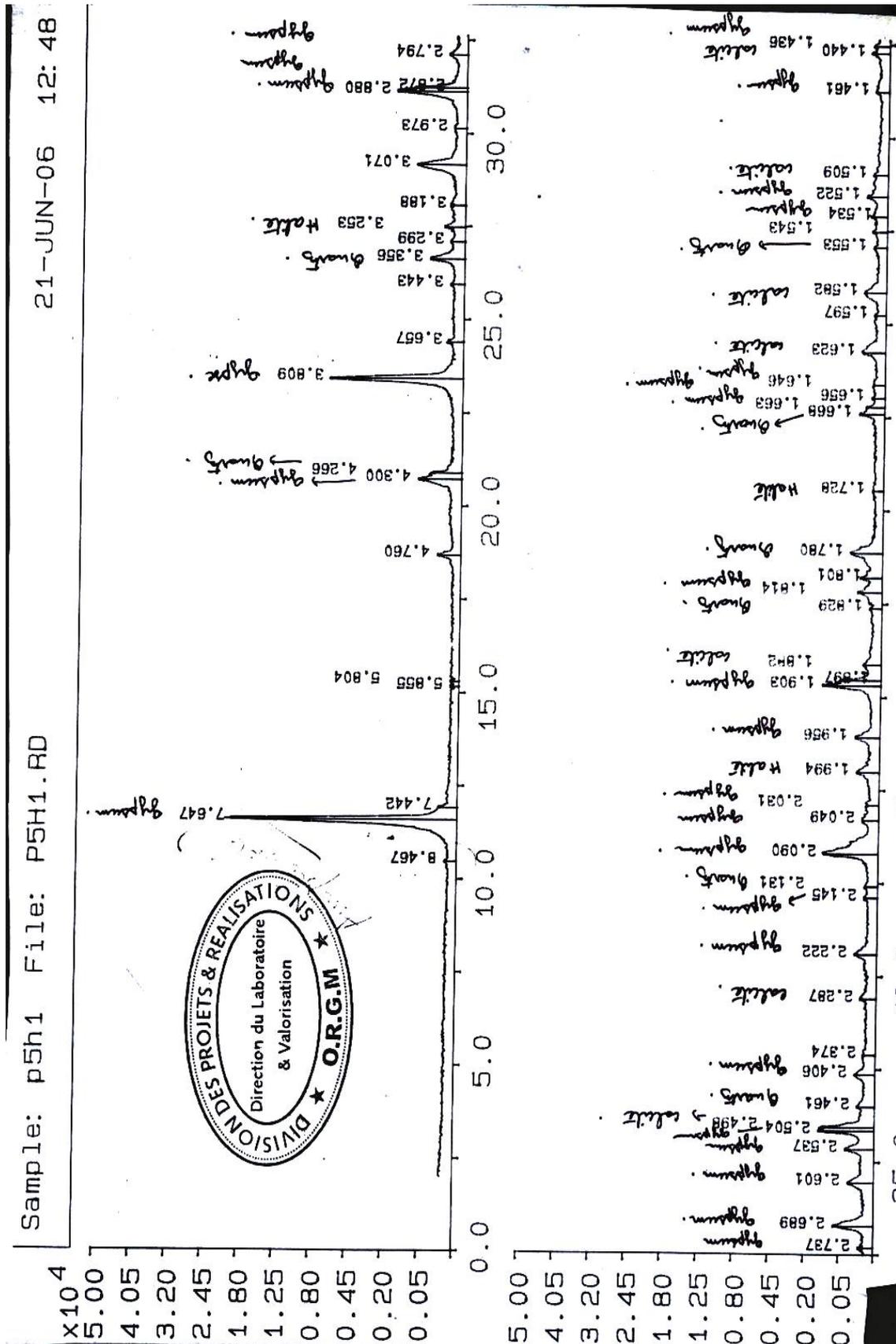


Figure 30: Résultats diffractométriques de P5H1 (échantillon total).

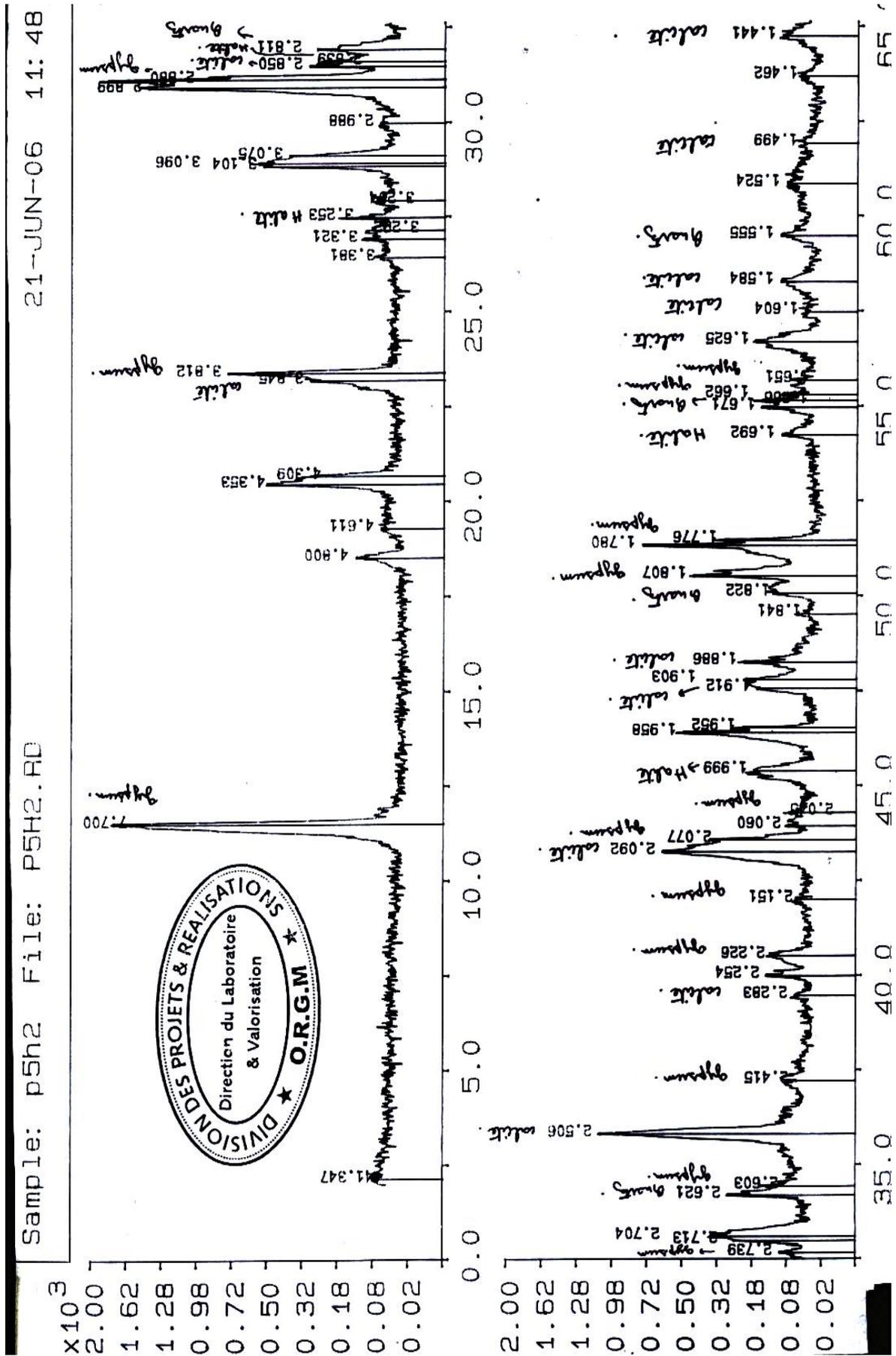


Figure 31: Résultats diffractométriques de P5H2 (échantillon total).

2-3-6- La minéralogie de P5H3

L'analyse diffractométrique indique que cet échantillon comporte principalement comme minéraux essentiels, le gypse et l'halite.

- Le gypse avec les pics : 4.29 Å, 3.80 Å, 3.17 Å, 3.07 Å, 2.87 Å, 2.79 Å, 2.73 Å, 2.68 Å, 2.59 Å et autres.

- L'halite avec le pic 1.995 Å et très peu de calcite et quartz.

L'existence du gypse et la présence en traces de quartz, calcite, feldspaths et basanite. L'argile est toujours inexistante dans la deuxième analyse (figure 32). (Et les figures de l'annexe 06).

En se référant aux résultats analytiques (tableau 12), les résultats minéralogiques paraissent logiques en ce qui concerne la présence du gypse, halite et quartz qui signalent des pourcentages élevés dans cet échantillon. La calcite aussi prend un pourcentage faible et elle est présente sous forme de traces.

2-3-7- La minéralogie de P6H2

On remarque la présence de la calcite en premier lieu puis le gypse (fig 33).

La présence du gypse est justifiée par son pourcentage élevé, tandis que la calcite présente un faible pourcentage (tableau 13) (et figure dans les résultats minéralogiques de l'annexe 06).

2-3-8- La minéralogie de P8H1

On signale l'abondance des trois constituants essentiels :

- La calcite : 3.78 Å, 2.49 Å, 2.22 Å, 1.91 Å et autres.

- Quartz : 2.46 Å, 2.13 Å, 1.98 Å, 1.81 Å et autres.

- Gypse : 7.67 Å, 4.28 Å, 3.17 Å, 2.88 Å, 2.74 Å, 2.60 Å et autres.

La deuxième analyse prouve l'existence de la calcite, le quartz et le gypse, la présence de feldspaths en trace et l'inexistence des argiles (figure 34) (annexe 06).

Les données minéralogiques signalent aussi la présence du feldspath en trace.

L'apparition du cortège minéralogique, gypse, calcite et quartz est logique pour les auteurs déjà signalés.

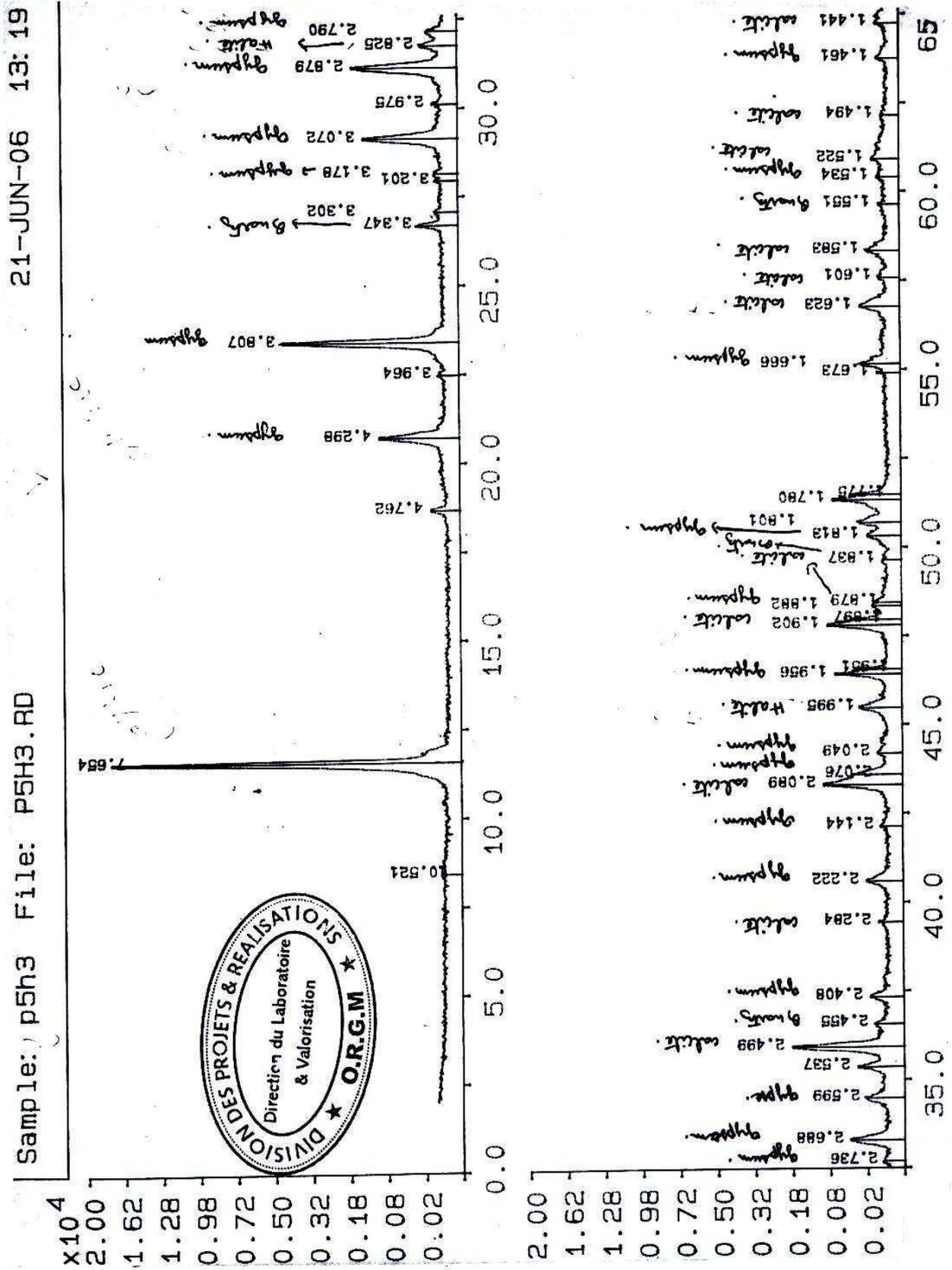


Figure 32: Résultats diffractométriques de P5H3 (échantillon total).

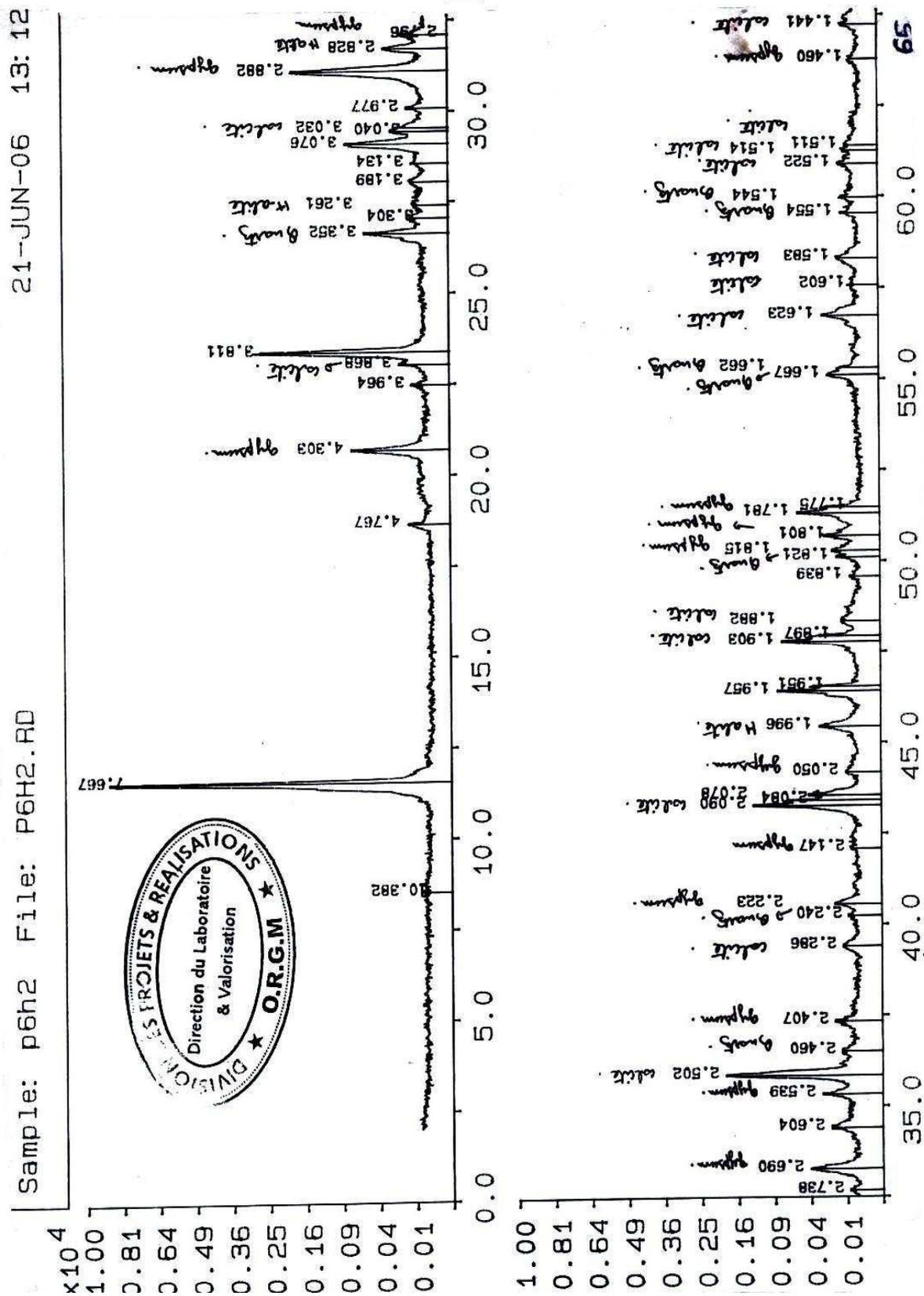


Figure 33: Résultats diffractométriques de P6H2 (échantillon total).

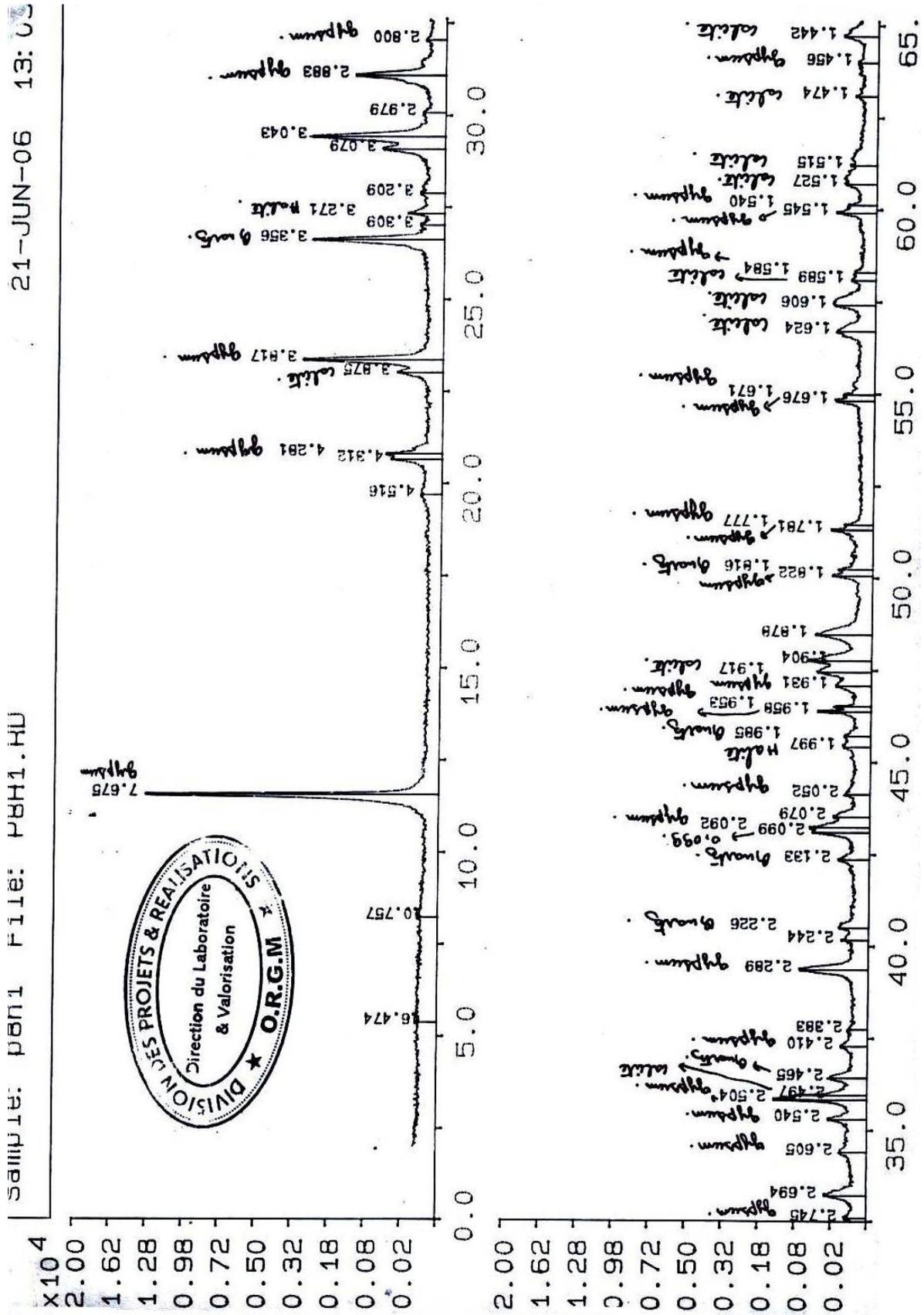


Figure 34: Résultats diffractométriques de P8H1 (échantillon total).

La présence du feldspath dans ce type de sol est prouvée aussi par Bullock et al (1985).

L'abondance des pics de gypse, quartz et calcite signalés dans les résultats minéralogiques confirme les résultats analytiques (tableau 15).

2-3-9- La minéralogie de P8H2

Les mêmes constituant que P8H1, calcite, quartz et gypse (figure 35)

2-3-10- La minéralogie de P9H1

On a remarqué la présence du gypse, de quartz et de l'halite:

- Le gypse avec les pics : 7.63 Å, 4.29 Å, 3.20 Å, 3.0 Å, 2.79 Å, 2.73 Å et autres.
- Quartz avec les pics : 3.35Å, 2.46 Å, 2.12 Å, 1.98 Å, 1.95 Å.
- Halite avec les pics : 3.26Å, 2.82 Å ,1.99 Å (figure de l'annexe 06).

On remarque dans la deuxième analyse la présence du quartz, l'halite et aussi la calcite, les feldspaths et la basanite en traces et l'inexistence des argiles même en traces (figure 36).

L'apparition des pics d'halite explique la valeur très élevée de la CE, le quartz aussi avec les pourcentages élevés des sables. Malgré que la calcite présente un très faible pourcentage ces pics apparaissent dans les résultats minéralogiques (ce qui suggère toujours sa présence dans la fraction granulométrique fine).

La présence de l'halite dans ce type de sol a été signalée par plusieurs recherches, ceux de Girard et al (2005) suggèrent la dominance de la voie saline neutre et dans les efflorescences salines où on trouve : la calcite, le gypse, les sulfates magnésiens, la sylvite et l'halite.

Pour Shahid et Jenhins (1994) dans le même type de sols, on trouve la dominance de la thenardite, mirabilite et l'halite.

Mees et Stoops (1991), ont signalé la présence de l'halite, la trôna, le thenardite et la buskovite.

Les résultats des recherches de Bullock et al (1985) affichent la présence du feldspath et de la basanite dans les sols des zones arides.

2-3-11- La minéralogie de P9H3

L'examen minéralogique révèle la présence du gypse qui apparaît clairement à travers les pics à la figure 37.

Malgré que les résultats analytiques traduisent la présence du calcaire avec un pourcentage élevé par rapport a celui de P9H1 ainsi que ceux de sable avec une CE plus ou moins élevée, les résultats minéralogiques n'ont signalés que l'apparition des pics de gypse qui prend dans les résultats analytique un pourcentage très élevé.

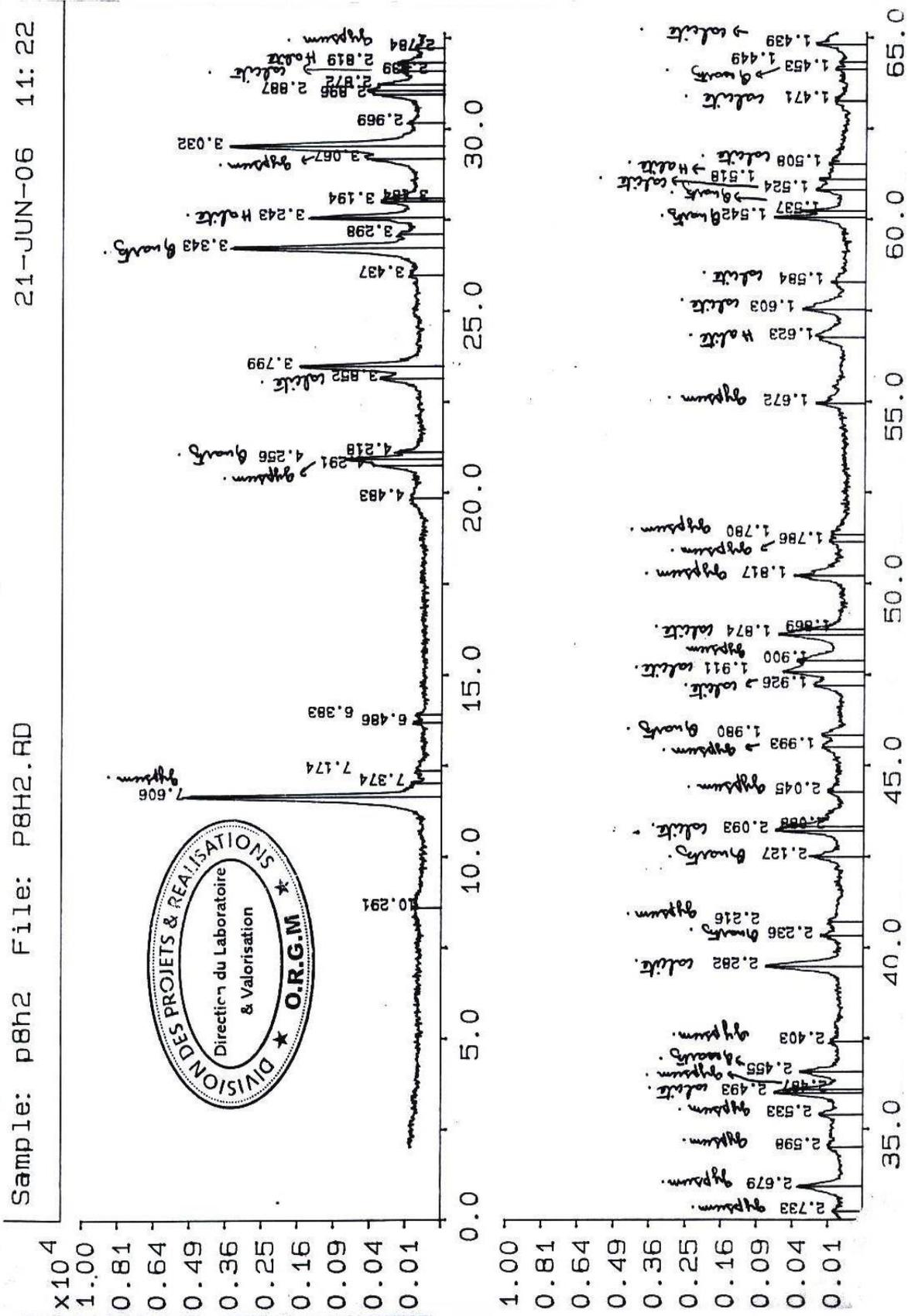


Figure 35: Résultats diffractométriques de P8H2 (échantillon total).

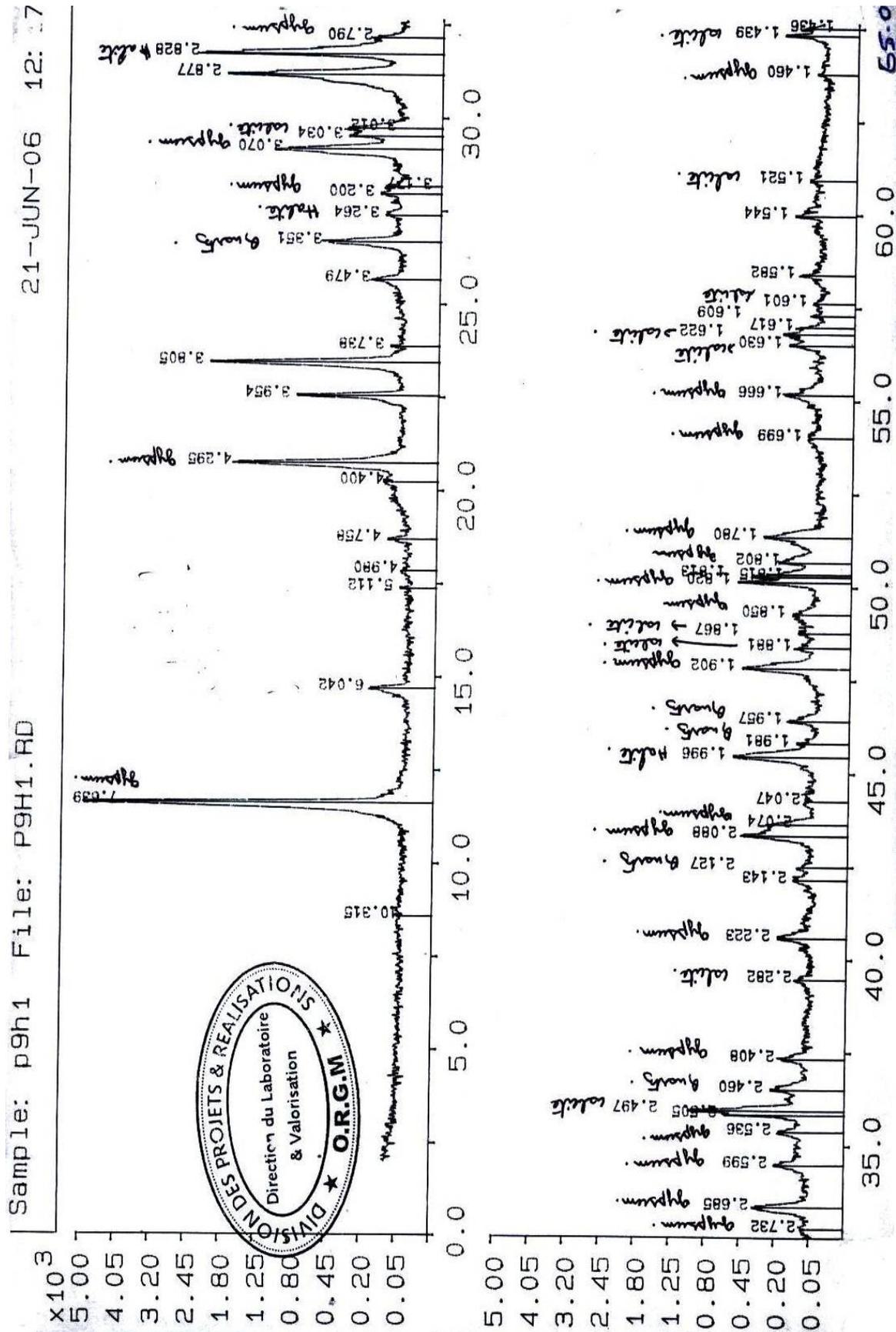


Figure 36: Résultats diffractométriques de P9H1 (échantillon total).

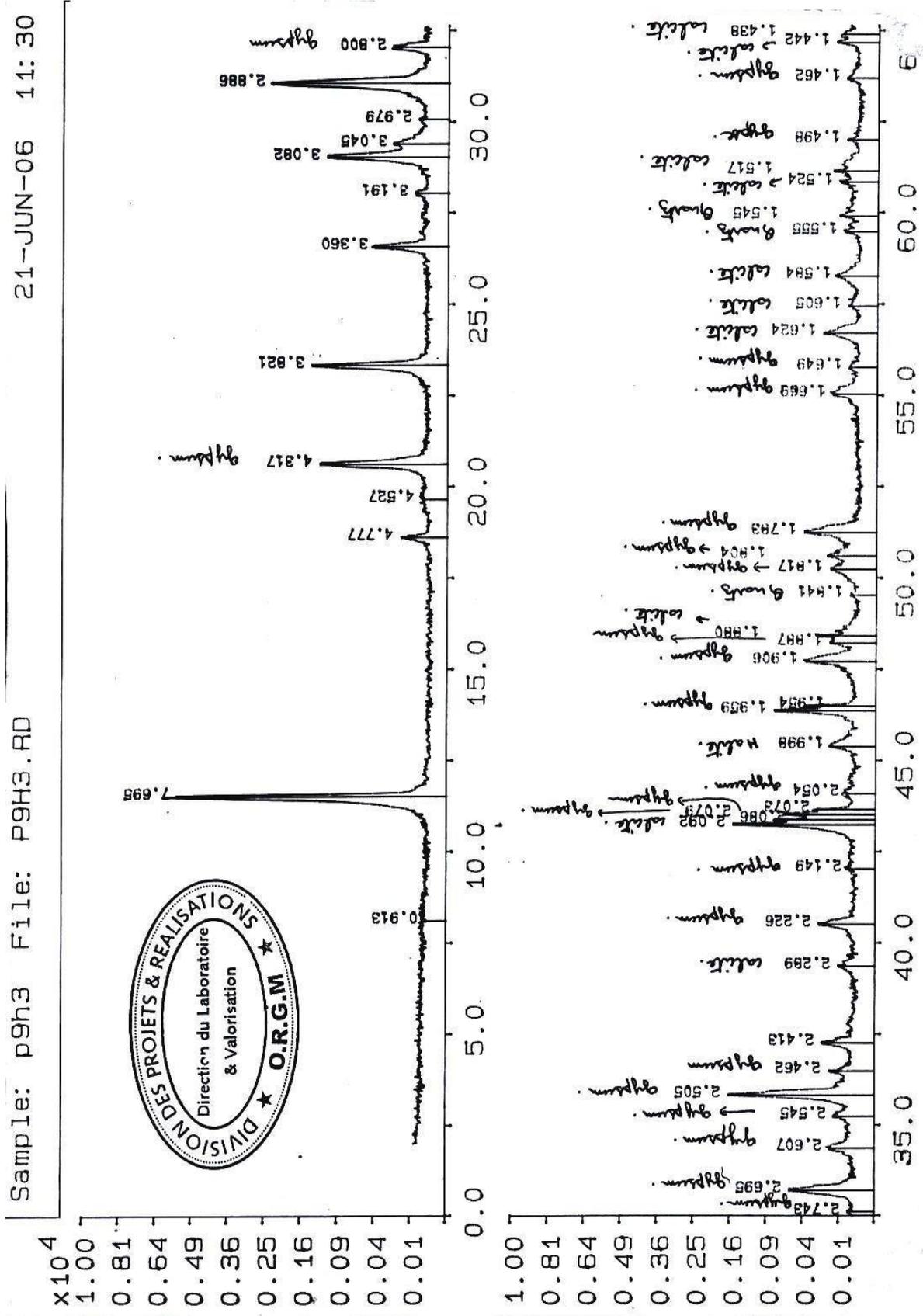


Figure 37: Résultats diffractométriques de P9H3 (échantillon total).

2-4- Conclusion

A partir des résultats diffractométriques obtenus, la première observation retenue sur l'ensemble des échantillons analysés est la dominance manifestée des trois minéraux primaires: le quartz, le gypse et la calcite (confirmant les résultats analytiques), malgré que leur abondance diffère d'un échantillon à l'autre. Ces minéraux sont soit hérités ou transportés par le vent (surtout concernant les couches superficielles des profils; transport éolien).

On n'a signalé la présence de quelques minéraux argileux que pour un seul échantillon (P1H2), il s'agit de l'illite, la kaolinite et quelques interstratifiés, qu'on suggère qu'elles ont une origine héritée.

La kaolinite est sans doute un produit d'héritage de l'altération antérieure kaolinisation, car le milieu actuel de ces régions n'est jamais suffisamment lessivé et désaturé, pour permettre la genèse de la kaolinite, son héritage résulte du crétacé et plus spécialement du stock initial grés-calcaire (Boumaaraf, 2003).

Halitim (1988), propose l'idée que dans les régions arides, les sels constituent des milieux conservateurs vis-à-vis de la fraction argileuse et inhibe toute transformation dans le sens d'une dégradation, et que les minéraux argileux existants se sont développés sous un environnement pédoclimatique différent de celui qui règne aujourd'hui.

On remarque que P1H2 est constitué de sable avec un peu de calcite (les argiles : illite et kaolinite) sont à l'état de traces.

Le reste des échantillons; P3H2, P4H2, P5H1, P5H3, P8H1 et P9H1 sont essentiellement constitué de gypse et accessoirement de quartz, calcite, feldspaths, halite et basanite. Ils correspondent à des évaporites qui sont presque dépourvus d'argiles.

Chapitre 3 : Etude microscopique des sols

3-1- Introduction

En plus de l'observation de la morphologie du sol, le microscope polarisant permet la reconnaissance des minéraux présents par détermination de leurs caractéristiques optiques (Chamayou et al, 1989).

Dans notre cas, nous utiliserons cette méthode dans la morphoscopie des sables et la micromorphologie des échantillons.

3-2- Choix des échantillons

3-2-1- La morphoscopie

La morphoscopie a concerné tous les échantillons au début puis le choix est tombé sur les plus représentatifs (en se basant sur le fait que notre séquence est subdivisée en trois domaines, calcaire, gypseux et salin).

3-2-2- La micromorphologie

Nous avons préparé normalement dix (10) lames minces pour l'observation mais on n'en a pu observer que huit (08) seulement, selon les critères suivants :

- P3H2 : c'est le substrat de la zone de transition entre les deux domaines calcaire et gypseux.
- P4H2 : suite à la particularité qu'il présente pour le pourcentage du gypse élevé par rapport au reste des horizons du même profil.
- P5H1 ; P5H2, P5H3 : qui représentent successivement l'horizon superficiel, médian et substrat du domaine gypseux proprement dit.
- P8H2 : substrat de la zone considérée comme pré-salée.
- P9H1 : c'est l'horizon superficiel du domaine salé.
- P9H3 : c'est le substrat du même domaine salé.

3-3- Résultats et interprétation

3-3-1- Etude morphoscopique

En se basant sur le critère signalé dans le choix des échantillons, nos résultats se présentent comme suit :

3-3-1-1- Etude morphoscopique des sables du domaine calcaire

Représenté par les deux premiers profils P1 et P2.

- Pour l'horizon superficiel

La figure (38) montre clairement que notre lame est constituée de deux types de minéraux, il s'agit du gypse et du quartz.

Le quartz (b), plus abondant que le gypse, de forme arrondie à très arrondie

(Cailleux, 1963 in Bernou, 2001), ne présent pas de fissuration au niveau interne et dont le diamètre varie entre 0.08 et 0.17mm. Ces grains sont en général enrobés par la calcite en leur donnant des colorations vives.

Quelques grains de gypse (a) de couleur brunâtre, de forme émoussée à arrondie et de diamètre de 0.07 à 0.19 mm que Watson (1985; 1988) considère comme des méso-cristaux avec un diamètre entre 100 et 50 μm .

- Pour l'horizon de profondeur

La figure (39) montre toujours la présence des deux types de grains de minéraux, quartz et gypse.

Le quartz qui apparaît sous deux aspects ; aspect net (b1) qui est transparent et d'autre grains (b2) colorés (enrobés de calcite), la forme des deux reste arrondie avec une tendance angulaire. Leur taille varie entre 0.08 et 0.16mm.

Le gypse qui est très peu abondant (a), a

une forme arrondie et un diamètre variant entre 0.07 et 0.14mm. Ce sont des méso-cristaux de gypse (Watson, 1985 ; 1988).

3-3-1-2- Etude morphoscopique des sables de la zone de transition entre le domaine calcaire et gypseux

Cette zone est représentée par les deux profils P3 et P4.

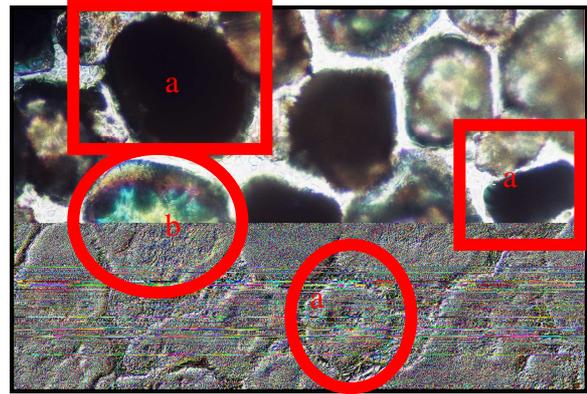


Figure 38: Morphoscopie des sables de l'horizon superficiel du domaine calcaire (P1H1) (LP).

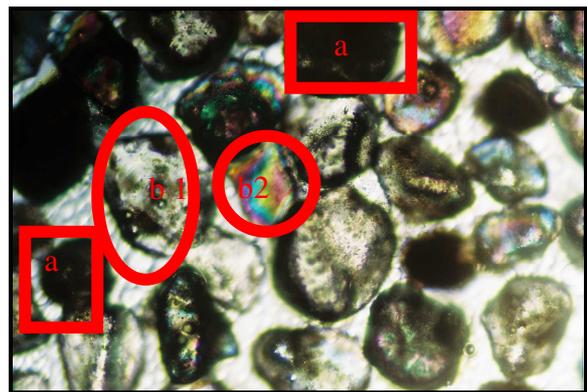


Figure 39: Morphoscopie représentative de l'horizon profond du domaine calcaire (P2H3) (LP).

-Pour l'horizon superficiel

D'après la figure (40), on remarque la présence de grains de gypse, quartz et calcite de différentes formes, qu'on distingue

Le quartz en deux types ; (b1) transparent de forme presque arrondie, de taille 0.04 mm et en (b2) enrobé par la calcite de taille de 0.95 à 0.07mm.

Le gypse (a) qui présente des tailles plus importantes que celles du quartz variant entre 0.03 et 0.15mm.

La calcite qui est très peu abondante (c), a une forme arrondie avec un diamètre variant entre 0.03 et 0.15mm.

Par rapport au domaine calcaire ; ce domaine est marqué par l'abondance des grains de gypse par rapport au quartz et à la calcite.

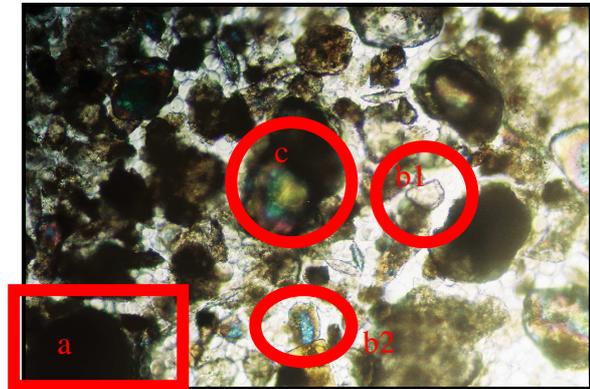


Figure 40: Morphoscopie représentative de l'horizon superficiel de la zone de transition entre le domaine calcaire et le domaine gypseux (P3H2) (LP).

-Pour l'horizon profond

Comme il apparaît clairement sur la figure (41), l'abondance des trois minéraux initiaux, reste toujours présente.

Le gypse (a) qui représente les plus grandes tailles, de couleur brunâtre, à une forme presque arrondie.

Un peu de quartz (b), avec des formes arrondies à un peu angulaire. Très peu de calcite (c) de forme arrondie.

Les grains de l'horizon superficiel sont un peu plus angulaires que ceux de l'horizon

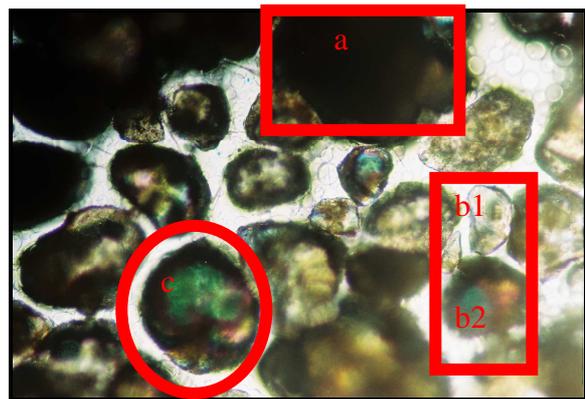


Figure 41: Morphoscopie représentative de l'horizon profond de la zone de transition entre le domaine calcaire et gypseux (P4H4) (LP).

profond. On peut penser que les constituants de l'horizon superficiel sont peut être transportés par le vent, par contre ceux de l'horizon profond (arrondis) peuvent être transportés avant leur dépôt final par l'eau.

3-3-1-3- Etude morphoscopique des sables du domaine gypseux proprement dit

Il s'agit du profil P5 (profil représentatif de la zone gypseuse)

- Concernant l'horizon de surface :

La figure (42) nous indique la présence des trois constituants initiaux ; le gypse, le quartz et la calcite.

Le gypse (a) est très peu abondant.

Le quartz (b1), (b2) apparaît comme le minéral le plus abondant avec une forme presque arrondie. Il en est de même pour la calcite(c).



Figure 42: Morphoscopie représentative de l'horizon de surface du domaine gypseux (P5H1) (LP).

- Concernant l'horizon profond

Comme nous le montre la figure (43), on remarque la présence des grains de quartz gypse et calcite.

Le gypse (a), très peu abondant.

La calcite (c) aussi très peu abondante de très petite taille.

Le quartz (b), le constituant dominant de différentes formes.

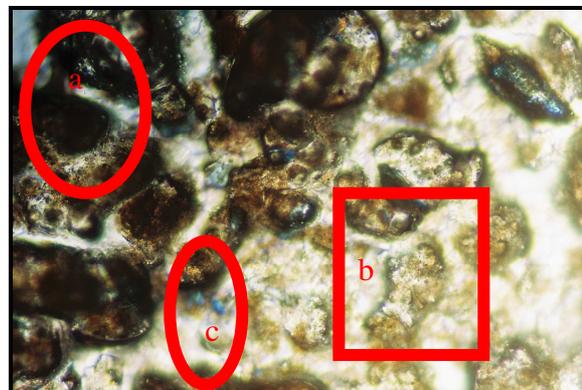


Figure 43: Morphoscopie représentative de l'horizon profond du domaine gypseux (P5H2) (LP).

3-3-1-4- Etude morphoscopique des sables de la zone de transition entre le domaine gypseux et salé

Cette zone comprend les profils P7 et P8.

- Pour l'horizon de surface

La figure (44) nous montre qu'il s'agit de

Quelques grains de grandes tailles de gypse (a).

Très peu de calcite (c) de très petite taille comparés à celle du gypse.

Un peu de quartz (b).

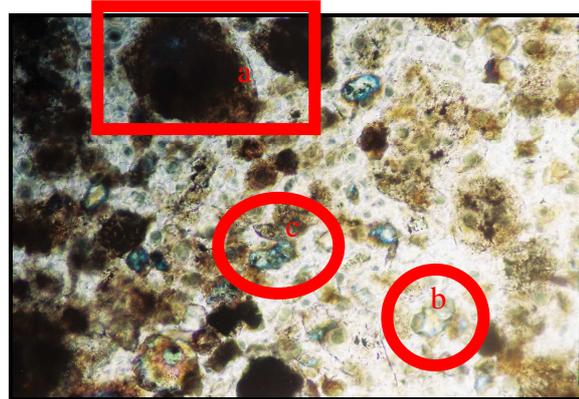


Figure 44: Morphoscopie représentative de l'horizon de surface de la zone de transition entre le domaine gypseux et salé (P7H1)

- Pour l'horizon profond

La figure (45) nous montre qu'il s'agit de

Dominance des grains de grandes tailles de gypse (a).

Très peu de calcite (b) de petite taille comparés à celle du gypse.

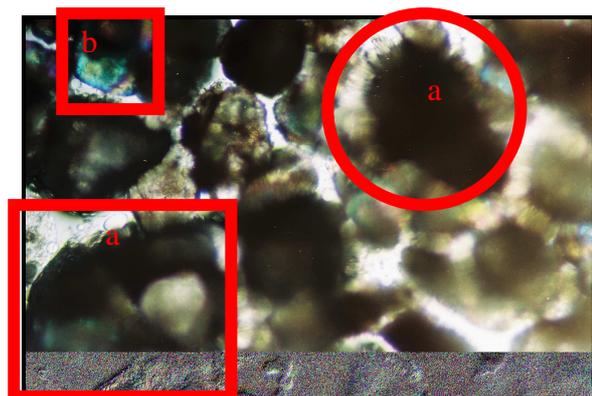


Figure 45: Morphoscopie représentative de l'horizon profond de la zone de transition entre le domaine gypseux et salé (P7H2) (LP)..

3-3-1-5- Etude morphoscopique de la zone du domaine salé**- Concernant l'horizon de surface**

Sur la figure (46) on remarque l'existence seulement du gypse, avec des grains brunâtre de tailles variables.

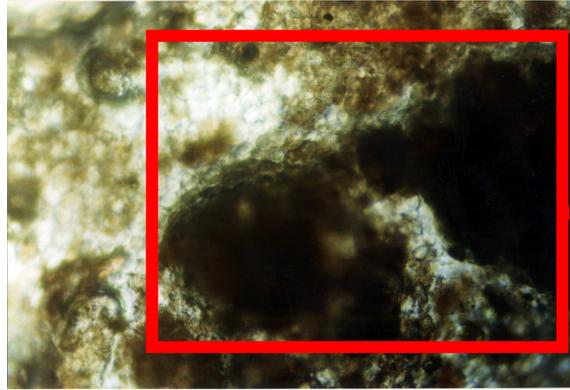


Figure 46: Morphoscopie représentative de l'horizon de surface du domaine salé (P9H1) (LP).

- Concernant l'horizon profond

La figure (47) nous indique la présence de grains du gypse (a) de petites tailles comparés a ceux du profil précédent avec quelques grains de quartz (b) et présence de quelques grains de sels (d).

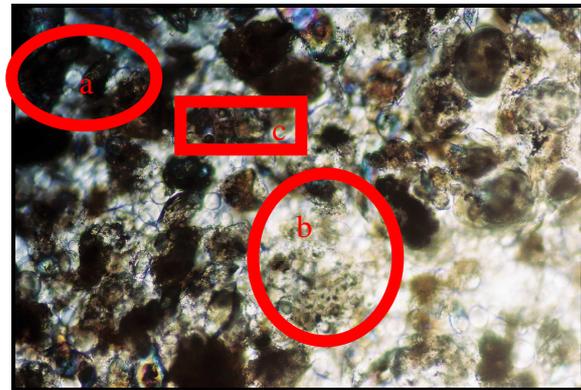


Figure 47: Morphoscopie représentative de l'horizon profond du domaine salé (P9H3) (LP).

3-3-2- Etude micromorphologique

Cette étude est considérée comme complémentaire de l'étude morphoscopique des sables.

3-3-2-1- Etude micromorphologique de l'horizon P3H2

La figure (48) sous lumière polarisante, nous montre l'apparition d'un grain de calcite (c) colorée avec un très petit diamètre qui est de l'ordre de 0.035mm. Quelques grains aussi de gypse (a) de diamètre compris entre 0.05 et 0.07mm. L'existence de quartz (b) aussi de diamètres variés.



Figure 48: Micromorphologie de P3H2 (LP).

3-3-2-2- Etude micromorphologique de P4H2

Comme il apparaît dans la figure (49) nous remarquons la présence de différents grains ; presque tous de petites tailles, il s'agit de : Grains de quartz (b) transparents. Grains de calcite (c). Grains de gypse (a), très peu abondants.

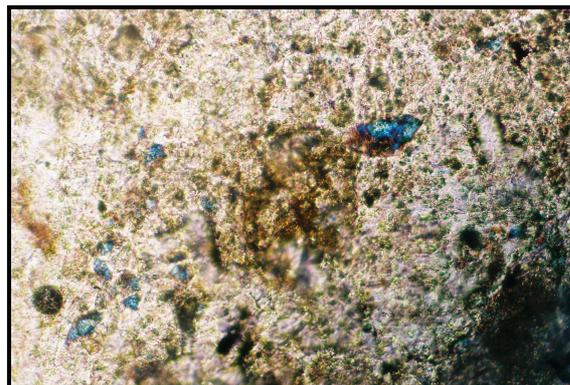


Figure 49: Micromorphologie de P4H2 (LP).

3-3-2-3- Etude micromorphologique de P5H1

C'est l'horizon superficiel du profil représentatif du domaine gypseux proprement dit. On remarque (figure 50) la présence de grains de quartz (b) de forme arrondies à un peu angulaire et de diamètre variant entre 0.07 et 0.08mm.

Des grains de gypse (a)
allongés, très fracturés et cassés
et de taille variante entre 0.041
à 0.63 mm.

L'apparition de traces de calcite
(c) marquée par l'apparition de
coloration mais un peu claire
sur la lame.

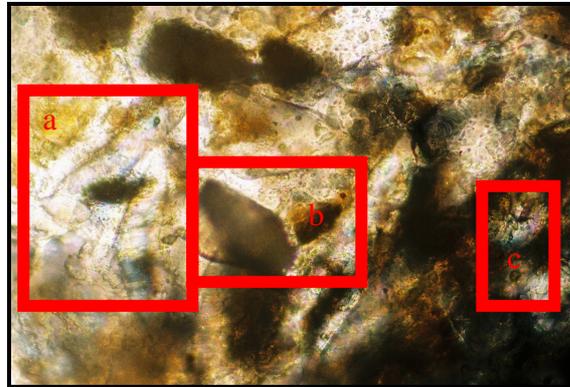


Figure 50: Micromorphologie de P5H1 (LP).

L'aspect fracturé et anguleux peut nous amener à proposer l'idée que ce matériaux est transportée par le vent.

3-3-2-4- Etude micromorphologique de P5H3

La figure (50) nous montre que la
lame comprend des grains de gypse
(a) noirâtres de diamètre variant
entre 0.05 et 0.11 mm.

Des grains de quartz (b) enrobés par
des sels solubles.

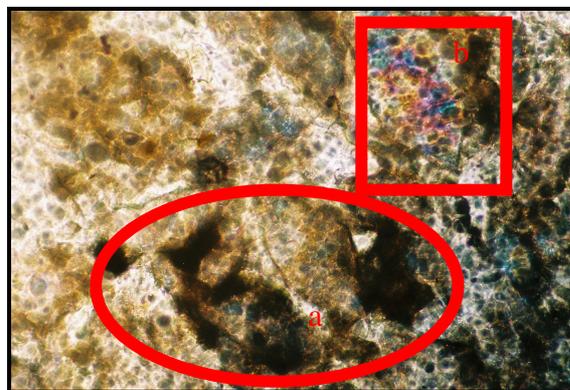


Figure 51: Micromorphologie de P5H3 (LP).

3-3-2-5- Etude micromorphologique de P8H2

C'est l'horizon profond d'un des deux profils représentatifs du domaine pré-salé.

La figure (52) nous montre clairement des gros grains de gypse (a) de formes lenticulaires allongés de taille variable entre 0.62 à 0.43mm.

Quelques grains de quartz (b)
de formes allongées, enrobés
de sels et de taille comprise
entre 0.22 et 0.38 mm.

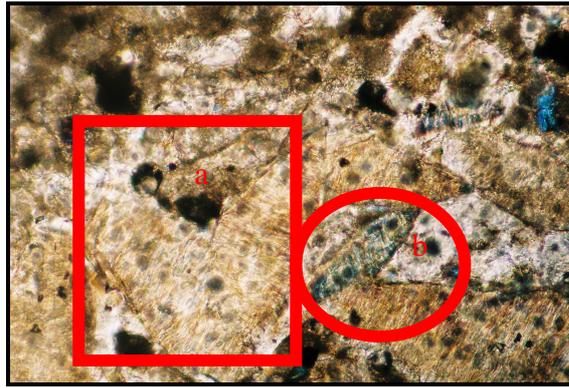


Figure 52: Micromorphologie de P8H2 (LP).

3-3-2-6- Etude micromorphologique de P9H1

C'est l'horizon superficiel du profil
représentatif du domaine salé.

On remarque (Figure 53),
l'apparition d'un matériau cimenté
qu'on peu à peine distinguer entre
les grains de gypse (a), de calcite
(c) et des grains de quartz (b) de
tailles un peu plus grandes que les
autres.

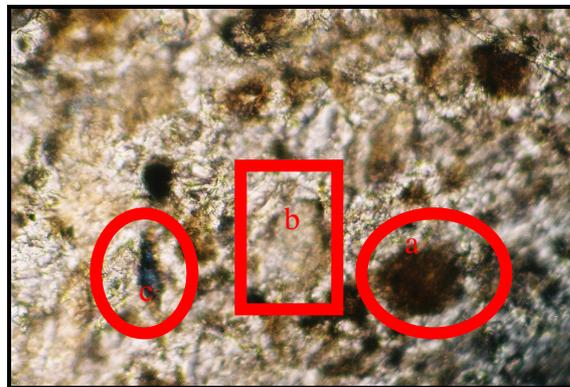


Figure 53: Micromorphologie de P9H1 (LP).

3-3-2-7- Etude micromorphologique de P9H3

Bien que la Figure (54) ne soit pas bien claire, elle nous indique seulement que cet échantillon
comprend des grains de gypse (a), de quartz (b) et sels (d).

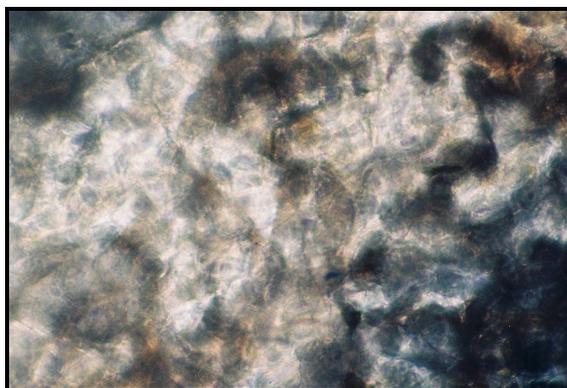


Figure 54: Micromorphologie de P9H3 (LP).

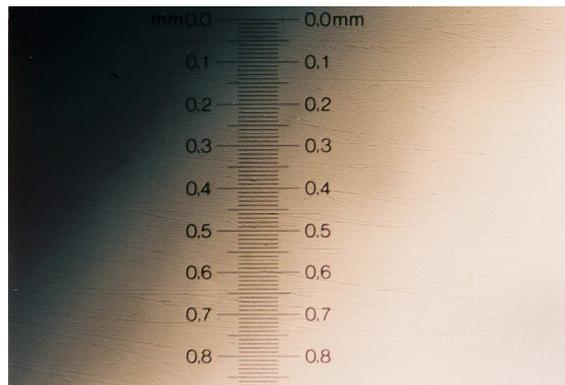


Figure 55: La règle utilisée lors de détermination des tailles des grains.

3-4- Conclusion sur l'étude microscopique des sols

La morphoscopie des sables et la micromorphologie des échantillons étudiés laissent ressortir les constatations suivantes:

- La morphoscopie des sables du domaine calcaire nous informe que les deux minéraux existants que se soit dans l'horizon superficiel ou profond sont le gypse et le quartz.

La calcite et malgré son pourcentage élevé y est presque absente, confirmant l'idée que le calcaire peut être inclut dans la fraction fine du sol.

La taille de chacun des deux constituants, quartz et gypse est presque la même dans l'horizon superficiel et profond. Sauf que pour le gypse, il est un peu moins abondant et de forme arrondie.

On propose l'idée que l'horizon superficiel est issu de l'action éolienne, tandis que celui profond de l'héritage (formé surplace).

- La morphoscopie des sables de la zone de transition entre le domaine calcaire et gypseux nous a indiquée que dans ce domaine, on remarque l'absence des grains de gypse par rapport au quartz qui est peu abondant et la calcite qui est très peu abondante comparée au domaine calcaire.

Les grains de l'horizon superficiel sont un peu plus angulaires que ceux de l'horizon profond, on peut penser que les constituants de l'horizon superficiel sont peut être transportés par le vent, par contre ceux de l'horizon profond (arrondis) peuvent être transportés par le vent avant leur dépôt final. On remarque aussi le début de l'influence du domaine salé dans le deb deb, surtout avec une nappe proche de la surface (presque à 3m).

- La morphoscopie des sables du domaine gypseux nous informe que le gypse est très peu abondant, malgré qu'il s'agit de son propre domaine, ce qui nous amène toujours à penser qu'il se présente dans la fraction fine.

La calcite, un peu plus abondante au niveau de l'horizon de surface par rapport à celui profond, mais elle apparaît avec de très petites tailles.

Le quartz reste le constituant initial avec une forme presque arrondie.

- La morphoscopie des sables de la zone de transition entre le domaine gypseux et salé, confirme l'idée que cette zone est peu influencée par l'apport éolien comparée à ceux déjà décrits. Elle est beaucoup plus influencée par la nappe préexistante dans ce domaine. Cela a été déjà prouvé par la description de la zone, ainsi que par la présence en surface de nombreux restes de fragments de racines pétrifiés et micromorphologiquement par l'enrobage des grains de quartz par les sels en profondeur.

- La morphoscopie des sables du domaine salé; bien que du point de vue descriptif, la présence des efflorescences blanchâtres à la surface du sol, la morphoscopie des sables de ce domaine n'a pas pu donner une explication claire sur l'origine de ces sels ainsi du gypse et quartz existant.

- Les résultats micromorphologiques sont en conformité avec ceux morphoscopiques, surtout en ce qui concerne le domaine gypseux où apparaissent clairement les grains de gypse.

1-3-4-2- Synthèse sur la formation du sol

A partir des résultats morpho-analytiques, minéralogiques et morphoscopique on peut tirer les constatations suivantes concernant la genèse des sols étudiés :

Les facteurs influençant la formation de ces sols sont :

- La topographie, qui favorise la richesse de la zone qui se situe en amont (au pied du Djbel Boughzel p1 et p2) en calcaire, la richesse la deuxième zone P3 et P4 en gypse et calcaire, la richesse de la troisième zone (P5) en gypse, et enfin la richesse des domaines pré-salé et salé en sels solubles.
- Le substrat géologique du deb deb gypso-calcaire qui est à la base de la présence du gypse et sels solubles.
- L'influence non négligeable du vent. Celui dernier marque ses traces au niveau de toute la séquence étudiée, par des dépôts de sable et même du gypse transportés et présent dans tous les profils étudiés. Son influence apparaît un peu plus accélérée au niveau des premiers profils de la séquence.
- La pré- existence de la nappe phréatique au niveau des domaines calcaire et gypseux (le niveau piezométrique a baissé actuellement par un usage abusif. Elle apparaît un peu plus proche de la surface du sols en s'approchant de la Sebkha. Son influence apparaît dans les profils ou la matière organique élevée. Cette présence est aussi remarquée avec l'existence de petites roses de sable et des racines pétrifiées au niveau de P7.

Les résultats minéralogiques nous ont informé que les argiles de notre séquence ont été reçues par héritage et que les conditions qui règnent aujourd'hui ne peuvent pas favoriser leur évolution.

Toutes ces constatations ont été portées sur la figure 56.

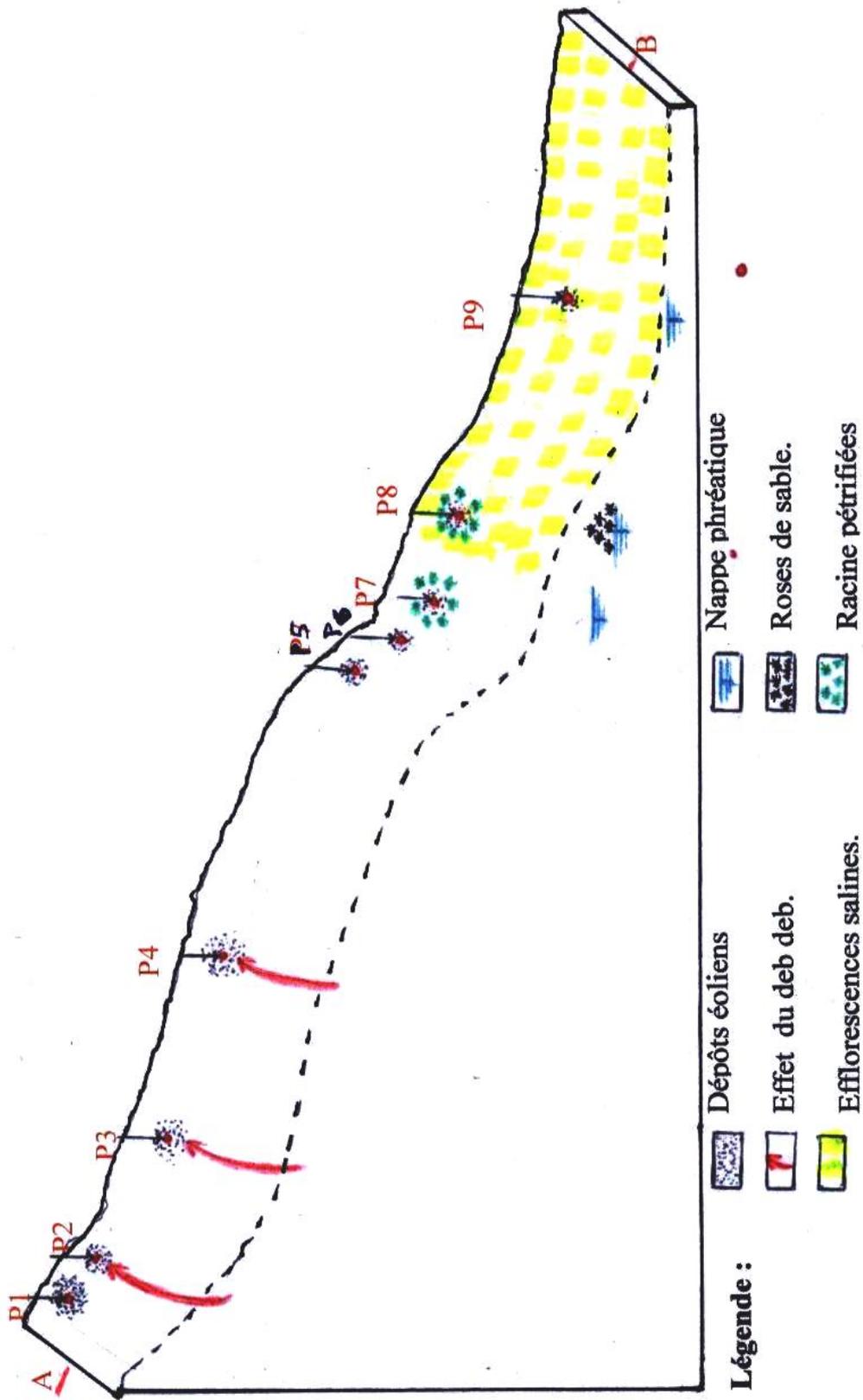


Figure 56 : Mécanismes responsables de la formation des sols étudiés.

Conclusion générale

Le travail réalisé a porté sur la genèse des sols de la région de Ain Ben Noui, en se basant sur les études morpho- analytiques, minéralogiques et morphoscopiques. Ces sols ont un régime hydrique aridic avec des teneurs élevée en calcaire et en gypse combinées à une forte salinité. Ils sont communément appelés sols à accumulations gypso-calcaire et salines.

A travers les résultats morpho-analytiques on a tiré les constatations suivantes

La texture est dans la majorité des horizons des profils sableuse, le pH ne présente pas des variations ou changements significatifs d'un horizon à l'autre et d'un profil à l'autre, ce sont des sols alcalins à légèrement alcalins.

A part le profil P1; tous les autres sont salés à extrêmement salés. On a remarqué l'apparition de trois types de profils salins (Halitim, 1988), avec un faciès chimique du type chloruré-sodique dans tous nos échantillons.

La majorité des échantillons sont peu à modérément calcaires, avec des répartitions distinctes d'un profil à l'autre.

Le gypse est présent dans tous nos échantillons à l'exception du premier profil. Concernant sa répartition, elle change d'un profil à l'autre d'une façon non homogène.

Avec un taux très faible en matière organique et une texture sableuse, le sol acquiert une faible CEC.

Le terrain est segmenté en trois principales zones ; zone calcaire, zone gypseuse et zone salée, avec entre chaque deux domaines existe une zone de transition.

Au regard des résultats minéralogiques obtenus, le gypse, la calcite et le quartz sont les minéraux les plus distingués dans l'ensemble des diffractomètres que se soit dans les horizons superficiels ou profonds, avec une abondance de quartz et de gypse aux horizons de surface et qu'on peut l'expliquer par l'effet de leur transport par le vent.

Il apparaît que le gypse est le produit d'une altération au niveau de la zone où la nappe est un peu plus proche de la surface du sol. Ceci parait clairement dans la zone intermédiaire avec par la présence des racines pétrifiées à la surface de certains profils et des roses de sable en profondeur.

La calcite, quant à elle serait plutôt le résultat d'un processus lié à des conditions bioclimatiques antérieurs à celles de la formation du gypse.

Nos résultats minéralogiques sont en conformité avec ceux de Halitim., (1988), en ce qui concerne de la dominance des trois minéraux, gypse, calcaire et quartz). Les autres minéraux argileux font défaut dans ces sols.

Dans notre zone d'étude les résultats minéralogiques n'ont détectés la présence de minéraux argileux que dans un seul échantillon et avec une très faible intensité. Il s'agit de l'illite et de la kaolinite, avec l'absence des minéraux argileux fibreux qui constituent pour, Halitim., (1988), les minéraux caractéristiques des zones arides et en particulier de la zone aride d'Algérie.

Cette absence presque totale des argiles prouve que les conditions qui règnent aujourd'hui ne favorisent pas leur évolution.

La morphoscopie et la micromorphologie confirment les données morpho-analytiques et minéralogiques.

La formation des sols de la séquence étudiée reste influencée essentiellement par

- La topographie.
- La géologie de la région.
- Le climat (une période sèche tout au long de l'année, le vent qui exerce un effet considérable dans le transport des matériaux).
- L'existence de la nappe phréatique.

Références bibliographiques

- ABDESSELAM S., 1991-** Contribution à l'étude des sols à accumulations gypseuses de la région de Ain Ben Noui (Biskra). Thèse ing. Agr. Batna, 88p.
- ABDESSELAM S., 1998-** *Contribution à l'étude des sols gypseux au Nord-Est du Sahara Algérien: Caractérisation et genèse. Cas des oasis de Tolga (région de Zebane). Mém Mag. INA (EL HARRACH), 147p.*
- ABRUKOVA L.P., ISAYER V.A., 1983-** Structural mechanical of Gray-Brown gypsiferous soil. Soviet soil sciences 15(6).pp: 90-100.
- AKHVLEDIANI G.K., 1962-** Classification of Gypsum bearing soils in the Trans-Caucasus. Soviet soil science. Pp: 52-534.
- ALI Y.A., WEST I., 1983-** Relationships of modern Gypsum nodules in Sabkha of loess to composition of brines and sediments in Northern Egypt. Journal of sedimentary, petrology, 53. PP.1151-68.
- AMIAMINDGANOV M.A., AKRAMOV UA., ALIEV IS., 1990-** The base phenomenon of salt accumulation in soils vertical zones of Tajikistan. 6th international meeting on soils with Mediterranean type of climate. pp: 521-523.
- AOUN S., 1995 -** Etude comparative de quelques méthodes d'analyse du gypse des sols sahariens (Oued Righ –Ouargla et Biskra). Thèse ing. Inst Agro BATNA. 32 p.
- ASKRI B., BOUHLILA R., OLIVIER J., 2003-** Modélisation des transferts d'eau et de sels dans les systèmes Oasiens. Cas de Segdoud dans le sud Tunisien. Congrès de : ADENIT Association des anciens de l'école Nationale d'ingénieurs de Tunisie –SHF société Hydrotechnique de France-, ENITE ECOLE nationale d'ingénieurs de Tunisie – et INAT Institut National Agronomique de tunisien et avec le soutien de la direction de l'eau de Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable de la République française. Tunis, les 20,21 et 22 mai 2003, pp: 175- 183.
- AUBERT J., 1960-** les sols de la zone aride, Colloque de Paris. Communication N°5,30p.
- AUBERT J., 1978-** Précis de minéralogie. Ed Masson, 332 p.
- BACI L., 1982-** Contribution à l'étude de la salinisation des sols du Hodna (M'sila). Mem. Ing. INA, El Harrach, 110p.
- BADRAOUI M., SOUDI B., FERHAT A., 1998-** Variation de la qualité des sols une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au

- Maroc. Etude et gestion des sols, 5, 4, pp.227-234.
- BAIZE D., 1988-** Guide d'analyses courantes en pédologie, 2^{ème} édition.I.N.R.A.Paris, 257p.
- BALA S., 2005-** Evolution de la salinité des sols sous serre en milieu aride. Cas de la station de l'ITDAS Biskra. Mém Magi INA El Harrach.129p.
- BARZANJI AF., 1973-** Gypsiferous soils in Iraq.P.H.D.Thesis .University of Belgium ,174p.
- BARZANJI AF., STOOPS G., 1974-** Fabric and mineralogy of gypsum accumulation in some soils of Iraq. Proc. 10th Int. Congress of science (Moscow) volume VII. pp: 271-277.
- BELLAIR R., 1954 -** Sur l'origine des dépôts de sulfate de calcium actuels et anciens Ac des scie, pp: 1059- 1061.
- BELLANCA A., NERI R., 1993-** Dissolution and precipitation of gypsum and carbonates in soils on evaporits. Central Sicily: isotope geochemistry and microfabric analysis. Geoderma 59.pp:263-277.
- BELLAREDJ B., 2000-** Méthodes d'approche des problèmes de salinisation et d'alcalinisation des sols, avant projet de développement intégré et lutte contre la remontée des eaux à Oued Souf. Congrée scientifique Arabe, El Oued. Pp: 181-187.
- BELLOUAM N., 1976-** Contribution à la connaissance des sols de la région de Souk Ouled Nadja (Hodna, Algérie). Thèse Université de Gand, Belgique.221p.
- BOULAINE J., 1957-** Les sols des plaines du chelif. Thèse doct. d'état, Univ d'Alger, 357p.
- BOULAINE J., 1971-** Hydropédologie. Ecole nationale de génie rurale, des eaux et des Forêts. Alger, 122p.
- BENRAD Y., 1996-** Les techniques de fabrication des lames minces de sol. Cah. Tech.INRA,37:29-42 .
- BOULAINE J., 1972-** Cours d'hydro pédologie. Ecole National de génie rurale des eaux et des forêts, Alger. 122p.
- BOUMAARAF B., 2003-** Contribution à l'étude de la répartition spatiale des propriétés physico-chimiques et minéralogiques des sols dans la vallée de l'Oued Righ. Thèse mag. Inst Agro BATNA .162 p.
- BENMATI A., NEFIL S., 1996-** Les accumulations calcaires et gypseuses dans la rhizosphère des soles sous climat méditerranéen aride et semi-aride. Groupe de recherche agronomique méditerranéen. Qualité des sols et des eaux. 10-11 Décembre.
- BENSAID R., 1999 -** Les sols à accumulation gypso- calcaires de la région de Ain Ben Noui (Biskra). Annales de l'I.N.A El Harrach.Vol, 20 n°1 et 2. Pp:1-8.

- BUISSON G., CARNEE A., 1989-** Quelques données sur les antécédents climatiques du Sahara: la désignation des couches détritiques rouges et évaporites du Trias du Lias Dogger. In Bull. Soc. Scie. Fr. IV N°1, pp: 3-11.
- BERNOU S., 1996-** Contribution à la création d'une banque de données pédologiques des sols gypseux de l'Algérie du Nord. Mémo ing INA (El Harrach), 49p.
- BERNOU S., 2001-** Différenciation pédologiques des dunes pré littorales du Sahel Ouest Algérois. Evolution de la fraction minérale du sol. Thèse magister. INA. El Harrach. 105p.
- BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G, TURSINA T., 1985-** Hand Book for soil thin section description, Waine Res. Publ, Wolverhampton England, 152p.
- BUREAU P.,ROEDERER P., 1961-** Contribution à l'étude des sols gypseux de la partie Sud du Golf de Gabes. Bull. Ass. Fr. Etude sols N° spécial, pp:150-176.
- BOYADJIEV T.G., 1974-** Contribution à la connaissance des sols gypseux. The Euphrate pilot irrigation project. F.A.O, Iraqi, 22p.
- BOYADJIEV T.G., SAYEGH, 1992-** Forms of gypsum in arid soils and soil parent materials. Pédologie, XL II -2.pp 171-182.
- BOYADJIEV T.G.,VERHEYE W.H., 1996-** Contribution to a utilitarian classification of Gypsiferous soils. Géoderma, 74.pp: 321-338.
- BRADY N.C., 1990-** The nature and proprieties of soils (6th ed).Mc Milan, New York.
- BRENDA J.B, JOHN G.V.O., 2002-** Snowball morphology and SEM analysis of pedogenic gypsum. Southern New Mexico. U.S.A Journal of Arid Environments 51. pp: 469-487.
- BRIERRE P.R., 2000-** Playa, playa lake, sebkha, proposed definitions for old term. J. Arid. Environ 45.pp: 1-7.
- CANTAN Y., SOLE-BENET A., LAZARO R., 2003-** soil geomorphology relations in gypsiferous materials of the tabernas desert (Almeria S-E Spain).Géoderma.
- CARTER B.J., INSKEEP W.P., 1988-** Accumutation of pedogenic gypsum in Western Oklahoma soils. Soil. Soc. Am. J. 52:1107-1113.
- CHAMAYOU H., LEGRO J.P., 1989-** Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Agence de publication cultural et technique.593p.
- CHEN X.Y, 1997-** Pedogenic gypcret formation in Arid central Australia. Geoderma 77.pp : 39-61.
- CHEN Z.S., HSEU Z.Y., 1997-** Total organic carbon pool in soils of Taiwan. Proceeding of the national science concil. Republic of China. Part B. Life sciences, 21, 3. pp:120-127.

- CHERBUY B., 1991-** Les sols salés et leur réhabilitation. Etude bibliographique
CEMAGRAF. Ecole Nat.Sup. Agro. Rennes, 124p.
- CHEVERY C., 1995–** Comportement des plantes en milieu salé. Compte rendu de l'Acad
d'agri de France. Action N° 04 (1995) Rev. Bimestrielle, Vol 81 (2), Paris, pp:42-46.
- CHEVERY C., BOURRIER., 1998–** La salinisation des sols. In Stengel et Sgelin (ed) sol :
Interface fragile. INRA, Paris, pp : 109-127.
- COOKE R.U., WAREN A., GOUDIE S.A., 1993-** Desert geomorphology. U.C.L press.
London.526p.
- COQUE R., 1962-** La Tunisie pre-saharienne. Etude géomorphologie Arm colin Ed, paris.
Thèse d'état. 488p.
- COQUE R., 1977–** Géomorphologie. Ed, Librairie Armand colin. Paris ,430p.
- CPCS., 1967-** Classification Française des sols. Commission de pédologie et de cartographie
des sols INRA, Paris.79p.
- COUTINET S., 1965-** Méthodes d'analyse utilisables pour les soles salés, calcaire et
gypseux. Argon tropicale 12, pp: 1242-1253.
- DAN J., YAALON D.H., KOYMUDJISKY H., RAZ Z., 1972–** The soil association map of
Israel (1:1000 000). Israel journal of Earth sciences, 21:29-49.
- DAN J., YAALON D.H., MOSHE R., NISSIM S., 1982 –** Evolution of reg soils in
southern Israel and Siani. Geoderma, 28:173-202.
- DAOUD Y., 1993-** Contribution à l'étude des sols des plaines de Cheliff. Le phénomène de
salinisation. Conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse doct.
D'état. INA. Alger, 277p.
- DAOUD Y., HALITIM A., 1994-** Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse;
3(5), pp: 151-160.
- DAOUD Y., 1999-** Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des sols des
Plaines du Cheliff. Séminaire national sur la salinisation des terres agricole en Algérie,
Cheliff. Edit. C.R.S.T.R.A. pp: 5-15.
- DEKKICHE B., 1974-** Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique
des eaux de nappe. Thèse Univ. Gant. Belgique, 210p.
- DEKKICHE B., 1976-** Notes Sur quelques sols à accumulation de gypse dans Hodna.
Annales INA (el Harrach) vol n°1. Pp: 139- 148.
- DJILI K., 2000-** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Création
d'une banque de données informatisées et utilisation d'un système d'information
géographique pour la spatialisation et valorisation des données pédologiques. Thèse Doct

- d'état. INA (El Harrach). 243p.
- DJILI K., DAOUD Y., AYACHE N., 1999**– Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale. Etude et gestion des sols. Vol 6,3, pp: 201-213.
- DJILI K., DAOUD Y, 1999**- Distribution latérale et verticale de l'ESP dans les sols du Nord d'Algérie. Séminaire Nationale sur la salinisation des terres Agricole en Algérie Cheliff Edit. C.R.S.T.R.A.25-42.
- DOGAR M.A., 1980**- Méthodes d'analyses des sols salés-Alcalins. Cours polycopie: INA Alger. 35p.
- DRAKE N.A., 1997**- Recent eolian origin of surficial gypsum crusts in southern Tunisia Geomorphologic, Archaeological and remote sensing evidence. Earth surface process and landforms vol 22.pp:641-656.
- DUCHAUFOR PH., 1977**- Pédologie., Pédogenèse et classification. Ed MASSON, Paris. 477p.
- DULTI P., 1971**- Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse d'état. Fac .Sci. Univ de Strasbourg, 346p.
- DURAND JH., 1949**- Formation de la croûte gypseuse du Souf (Sahara). Compte rendu Sommaire des sciences de la société géologique de France, 13. pp, 303-305.
- DURAND JH., 1953**- Etude géologique, hydrogéologique et pédologiques des croûtes en Algérie S.E.S Alger, 209p.
- DURAND JH., 1954**- Les sols d'Algérie S.C.H., S.E.S pédologie N°2. 244p.
- DURAND JH., 1959**- Les sols irrigables. Etude pédol. Scs. D'Alger. 198p.
- DURAND JH, 1963**- Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie, formation et âge. Bull. Soc. Géol., Fr (7),pp: 959-958.
- DURAND JH., 1983**- Les sols irrigables. Études pédologiques. Edit imprimerie Boudin, Paris, 339p.
- ELLORAZA MG., SANTOLLALA F.G., 1998**- Geomorphology of the tertiary gypsum formations in the Ebro depression (Spain). Géoderma (87). Pp: 1-29.
- ESWAREN H., STOOPS G., ABTAHI A., 1990**- SEM micromorphology of halite in soils. J of Microscopy.120, pp 343-352.
- ESWAREN H., GONG Z.T., 1991**- Proprieties, genesis, classification and distribution of soils with gypsum. In Nettleton, w.d. et al, 1991. Proprieties, characteristics and genesis of carbonate gypsum and silica. Accumulation in soils. SSSA spec. Pub, n° 26. Madison. Pp: 89-119.

- F-A-O., 1990-** Management of gypsiferous soils. FA.O Bull N° 62 Rom- 81p.
- FARES L., 2005-** Contribution à la connaissance de quelques sols rouges développés sur différentes roches mères du littoral Algérois. Mémo Mag INA (El Harrach). 94p.
- FRIEDEL B., 1978-** Zum Bestimmung von gips in Boden, Zeitschrift Fur pflanzernahrung undbadenkunde 141, pp:231-239.
- GABRIEL A., 1964-** Zum problem des formenschatzes in extrem- ariden Raumen. Mitteilunger der osterreichschen geographishen gesellschaft .106, pp: 3-15.
- GAUHER G, BURDIN S., 1974-** Géologie, géomorphologie et hydrogéologie des terrains salés. Press. Univ de France, 231p.
- GHASSEMI F., JAKEMAN A.NIX HA., 1995-** Salinisation of land and water resources. Human causes, extents, management and case studies. Australia-Center for resources and environmental studies. 520p.
- GILE L.H., PETERSON F.F., GROSSMAN R.B., 1991-** Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation in desert soils. Soil. Sci, 101: 347-60.
- GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTHEL J, MOREL J.L., 2005–** Sols et Environnement, cours, exercice et étude de cas. Edi : Dunod, Paris 2005. 475p.
- GUMUZZIO J., CASAS J., 1988–** Accumulation of salts and gypsum in soil of the central region. Spain. Cah ORSTOM, sér pédol. Vol XX IV, n°3: 215-226.
- GOUSCOV N., 1964-** Notice explicative de la carte géologique de Biskra (1/200000).Pub. Ser .Geol .Algérie. 130p.
- GROS A., 1979-** Engrais, guide pratique de fertilisation 7ème edition.Maison rustique 533p.
- HALITIM A., 1973-** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse Doct. 3^{ème} cycle. Univ de Renne. 171p
- HALITIM A., 1985-** Contribution à l'étude des sols arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse Univ Rennes. 384p.
- HALITIM A., ROBERT M., 1987-** Interaction du gypse avec les autres constituants du sol. Analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et étude expérimentales. In Fedoroff et al (ed) «soil micromorphology ». A.F.E.S. Plaisir, France. PP: 179-186.
- HALITIM A., ROBERT M., 1991-** Genesee of gypseous and calcareous formations in arid zone (Algeria).pp:1-10.
- HALITIM A., 1988-** Les sols des régions arides d'Algérie. Ed.O.P.U. Alger. 385p.
- HAMDI A.B., FEDOROFF N., 1996-** Macro and micromorphology of gypsum in desertic soils (Northern Sahara. Algeria). Proceeding of the international symposium on soils with

gypsum. Lleida, Catalonia. Spain.6p.

HAMDI A.B., 2001- Le fonctionnement actuel et passé de sol du sud Sahara (cuvette de Ouargla) approche micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse doct. I.N.A Paris Grignon. 281 p.

HAMDI A.B., 2002- Paléogéochimical interpretation of some gypsum microfabrics in hyper-desert soils. Symposium n°20. Paper n° 1861. p1-8.17th WCSS 14-21 August 2002. Thailand. Presentation poster. N° 1861.pp:1-9.

HARDEN J.W., TAYLOR EM., FADDEN MC. LD, REHEIS MC., 1991- Calcic, gypsic and seliceous soil chronosequences in arid and semi-arid environments. SSSA Special publication, 26, pp: 1-16.

HERRERO J., ARAGUES R., 1990 - Corrélation apportés en Aragon à la dégradation des sols et à la salinité associée à l'irrigation.9p.

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

HERRERO J., PORTA J., FEDOROFF N ., 1992- Hypergypsic soils micromorphology and landscape relationships in Northern Spain. Soil. Sci. Soc. Am. J, 56, pp: 1188-1194.

HERRERO J , SYNDER L., 1997- Aridity and irrigation in Aragon, Spain. Journal of arid environments (35). Spain, pp: 535-547.

HERRERO J., PORTA J., 2000- The terminology and the concepts of gypsum rich soils. Geoderma 96.pp:47-61.

HORTA DE OS.,1979- Les encroutements calcaires et les encroutements gypseux en geotechnique routiere. B.E.T.L Laboratoire de mecanique des sols .1,105p.

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

HUNT C.B., MABEY D. R., 1966- Stratigraphy and structure. Death valley California. United States geological Survey. Professional paper.494p.

ILLAIWI M., 1977- Elimination and determination of gypsum in highly gypsiferous soil. Mast Doct Thesis, State University of Gent, p p: 1-17.

JAFARZADEH A.A., BURNHAM C.P., 1992- Gypsum crystals in soils. Journal of soil science, 43. pp: 409-420.

JAFARZADEH A.A., ZINC J.A., 2000- Worldwide distribution and sustainable management of soils with gypsum. pp: 1-6.

JOHSON D.L., LEWIS L.A., 1995- Land degradation: creation and distruction.

- Blachweller, Cambridge, 335p.
- KADRI A., 1987-** Pédologie des milieux gypseux. D.E.A. Fac des sciences de Tunis. 171p.
- KADRI A., GALLALI T., 1991-** Contribution à l'étude hydro-pédologique et géochimique des accumulations gypso- salines dans le Nefzaoua- Tunisie prés-saharienne. Revisita, di, Agricultura subtropical E tropical. Pp: 189-240.
- KHADEMI H., MERMUT A.R., 2003-** Micromorphology and classification of Argids and associated gypsiferous aridisols from central Iran. Science direct Catena. Pp: 1-14.
- KHAN S.U., 1968-** Determination of gypsum in solnetzic soils by a ray X technique. Department of soil science, Univer Canada, vol 93, pp: 400-402.
- KHECHAI S., 2001-** Contribution à l'étude du comportement hydro-physique des sols du périmètre irrigué de l'ITDAS, dans la plaine de l'Outaya (Biskra). Thèse Mag. I.A.Batnq.179 p
- KONDORSKAYA N.I., 1967-** Areal of present – day salt accumulation. Soviet. Soil. Science.pp: 462-73.
- KOVALENKO T.A., 1972-** Determination of gypsum in soils. pp: 373-376.
- KULKE H ., 1974-** Zur géologie und Mineralogie der kalk und gibskrusten Algeriens. Geologichan, 63,pp: 970-78.
- LAGERWERFF J.V.,1965-** Detection and determination of gypsum in soils.Proceeding of the Soil Science Society of America, 29pp:535-540.
- LE HOUEROU N.H., 1960-** Contribution à l'étude des sols du Sud Tunisien Agron..., 11, 3, pp: 241-308.
- LOVEDAY J., 1974-** Methods for analyses of irrigated soils .CAB.chap:16 gypsum determination .N°54.pp:135-137.
- LOYER J.Y., 1991-** Classification des sols salés: les sols salic. Cah. ORSTOM, Ser pédo XXVI. 1.51-61.
- LOZET J., MATHIEU C., 1990-** Dictionnaire de science du sol. Ed technique de document. Lavoisier. 384p.
- MARLET S., 1996-** Alcalinisation des sols dans la vallée du fleuve Niger. Modélisation des mécanismes physico- chimiques et évolution des sols sous irrigation. Thèse Doctorat, Ensam, Montpellier.
- MARTIN H., 1963-** A Suggested theory for the origin and a brief description of some gypsum deposits of southern- West Africa. Transactions of the geological society of south Africa, 66: 345-51.
- MAUGET G., 1967-** Etude de la nappe de Tolga. Etude S.E.S N°25.25 /Dh I,

- G.R.H.A .Constantine, 40p.
- MASHALI A.M., 1993-** Management practices for gypsiferous soils under irrigated conditions. Proceeding int. World classification and management of Arid Desert soils. Uramiqi, china.
- MASHALI A.M., 1996-** Soil management practices for gypsiferous soils In POCH R.M (ed). Proceeding syr gypsum. Lleida, Spain.
- MESSAHEL M., MEZA M., 2003-** Evaluation de l'évolution des eaux de la nappe phréatique et profondeur de drainage dans les terres irriguées en milieu saharien. Gestion du risque eau en pays semi-arides. Congrès de ADENIT, SHF, ENIT, INAT et avec le soutien de la direction du ministère de l'Ecologie et du développement durable de la république Française, Tunis, les 20, 21,22 mai 2003. Pp: 157- 162.
- MIMECH L., 1999-** Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la Region de Biskra (Sud-Est Algerien). Thèse Mag en hydrolique. Batna, 165p.
- MEES F.,STOOPS G., 1991-** Mineralogical study of salt efflorescence on soils of the geque tepeque valley, northern Peru, Geoderma, 49,pp: 255-272.
- MIHAI GH.I., DINCU I., 1976-** Influence des travaux d'amélioration des caractères des sols à exés de sels solubles. Ann de l'INA (El Harrach), vol. VI n°01, pp: 197-214.
- SUMNER M .E., 1993-** Gypsum and acid soils: the world scene. Advances in Agronomy, 51, 1-32.
- SZABOLCS I., 1994-** Prospects of soil salinity for the 21st century Agrokémia és Talajtan. Tom .43. NB (1-2). Budapest, pp: 5-24.
- TAIMEH A.Y., 1992-** Formation of gypsic horizons in some arid region. Soil of Jordan. Soil. Sci 135, 6, pp: 486- 498.
- TAVERNIER R ., VAN WANBEK A.,1976 –** Détermination du régime hydrique des sols d'après NEW WALL. Ann El HARRACH. Vol VI, n°2: 5-13.
- TESSIER ET AL., 1992-** Relation between the macroscopic behaviour of clays and their microstructural properties. Appl.Geochem, 1:151-161.
- TOOMANIAN N., JALALIAN A., EGHBAL M.K., 2001-** Genesis of gypsum enriched soils in North West Isfahan. Iran. Geoderma 99,3 pp: 199-224.
- TORRENT J., 1995-** Genesis and properties of the sols Mediterranean region universita degli studi di Napoli Federico II, Dip .di Sci.Chimi-Agrarie, 111 p.
- TRICHET J., 1963-** Description d'une forme d'accumulation de gypse par voie éolienne dans le Sud Tunisien. Bull. Soc. Géol. France. Pp : 617-628

- TUCKER M.E., 1978-** Gypsum crust (gypcrete) and patterned ground from Northern Iraq. *Zeitschrift fur. Geomorphology*. NF, 22, 89-100.
- USSL., 1954-** Diagnostic and improvement of salin and alcalin soils. USDA, Hand book n° 60, 160p.
- VALLES V., MARLET., 1987-** Modélisation des transferts d'eaux et des sels dans un sol argileux. Application aux calculs des doses d'irrigation thèse ing. Sci. Géol. Mém, 148p.
- VAN HOESEN J.G., BUCK B.J, 2002-** Crystal morphology of pedogenic gypsum from Buried soils of Holocene to late. Pleistocene Age in southwestern New Mexico, geological society of America. Abstracts with programs, 31, 1.
- VAN HOESEN J.G., 2000-** Pedogenic gypsum in southern New Mexico: genesis, morphology and isotopic signature. MS thesis, Las Vegas University of Nevada. Las Vegas, 183p.
- VIEILLEFFON J., 1976-** Etude de l'application des phénomènes de déshydratation et de réhydratation du sulfate de calcium à l'estimation teneurs en eau et en gypse des sols gypseux. E.S.146.D.R .E.S. Tunis 36p.
- VOGT., 1984-** Croûte calcaire: type et genèse. Exemple d'Afrique du Nord de France méditerranéenne. Thèse doct. D'état, Univ Louis Pasteur, Strasbourg, 228
- WARREN J.K., 1982-** The hydrological setting, occurrence and significance of gypsum in late Quaternary salt lakes in Southern Australia *sedimentology*, 15: 609-37.
- WATSON A., 1979-** Gypsum crusts in deserts. *Journal of arid environments* 2 (1). Oxford, 3.20.
- WATSON A., 1980-** Vegetation polygon in the central Namib desert. *Madogua serie*, 11-12
- WATSON A., 1985-** Structure, chemistry and origins of gypsum crusts in Southern Tunisia and central Namib Desert. *Journal of Arid Environment*, 15, 19-42.
- WATSON A., 1988-** Desert gypsum crusts as paler environmental indicators: A Micropetrographic study of crusts from southern Tunisia and the Central Namib desert. *Journal of arid environments*, pp: 19-42.
- WATSON A ., 1989-** Desert crusts and rock varnish (Arid zone geomorphology) HALSTON press New York. Pp: 28-44.
- WIEDER M., YAALON D.H., 1982-** Micromorphological fabrics and developmental stages of carbonate nodular forms related to soil characteristics. *Geoderma* 28, 203-220.

Annexe 1: Les principales méthodes du dosage du gypse

Méthodes	Principe	Remarques
PIECE G., 1952	Basé sur la mesure par différence, traitement de séchage et de hydratation.	Cette méthode est employée notamment dans l'industrie des plâtres. Il est demandé à être expérimenté d'avantage.
USSL. , 1954	Se base sur la différence entre les teneurs en calcium et magnésium dans l'extrait aqueux dilué.	/
RICHARDS L.A., 1954	20 ml d'acétone pur ajoutée à 20 ml d'extrait aqueux 1/20 de sols. le précipité est séparé par centrifugation, dissout dans 40 ml d'eau distillée et sa conductivité électrique est mesurée et comparée à une gamme étalon.	Cette méthode permet un dosage du gypse jusqu'à 5.2 % avec un extrait de 1/20 et 26% avec un extrait 1/100.
PIECE R., 1959	Le gypse est déterminé par les échangeurs d'ion.	Cette méthode est rapide mais l'interférence des chlorures doit être étudié .
COUTINET ., 1965	Le gypse est mesuré à partir de la décomposition avec du carbonate d'ammonium ou de sodium 5% .l'ion sulfate libéré est précipité au chlorure de baryum 20% à chaud. La mesure gravimétrique de l'ion sulfate donne la teneur en gypse	Cette méthode est applicable à toutes les teneurs en gypse.
Lagerweff et al., 1965	Méthode 1 (détection du gypse) la différence entre la CE d'un extrait dilué et d'un autre saturé permet de détecter la présence de gypse dans l'échantillon du sol en se referant à la CE d'une solution concentrée en gypse. Méthode 2 (détermination du gypse) : On utilise les 02 extraits précédents. L'addition d'un premier réactif provoque la précipitation du gypse après	/

	<p>Centrifugation, après une deuxième extraction. Le calcium est tiré par l'EDTA et les SO₄ sont dosés.</p> <p>Après séchage du précipité à 110°C, il sera dissout dans l'eau et la CE sera mesurer. La teneur en gypse est déduite par une formule.</p>	
KOVALENKO T.A., 1972	<p>Consiste à la détermination des carbonates de (Mg, Ca) par la mesure du CO₂ produit par réaction avec HCl ,0.2N. Le gypse est déterminé par subtraction du calcium total des carbonates.</p>	<p>C'est une des trois méthodes proposées par le même auteur, c'est la plus rapide.</p>
LOVEDAY J., 1974	<p>Reposée sur la détermination séparative des Ca et So₄ dans un extrait saturé et le So₄ dans un extrait dilué.</p> <p>Elle se base sur une solution saturée avec le gypse à la conductivité électrique autours de 2.3 dS/m et à 25°C Ainsi qu'une concentration de 30 à 32 meq/l du Ca et SO₄ respectivement correspondant à une solution de 2.16 g/l pour le gypse</p>	/
ILAIWI M., 1977	<p>Le gypse est transformé en H₂SO₄ en équilibrant le sel avec un fort cation (H⁺) .leSO₄ produit est titré par NaOH 0.5 N de gypse sont traités avec 12 g de H⁺ (pendant 30'). Tout le gypse passe dans la solution et sera tiré avec NaOH (2N).</p>	
NELSON H.A. ,1978	<p>L'estimation du gypse est basée sur la mesure de l'eau de cristallisations du gypse. Cette dernière est réalisée après passage de l'échantillon du sol dans un dessiccateur avec gels de silice puis dans une étuve à 105°C.</p>	<p>Utilisée par les auteurs Anglo – saxons.</p>

VIELLEFFON J. ,1978	Séchage d'un échantillon du sol à différentes températures permet de déterminer l'eau de cristallisation du gypse, sur la base de laquelle la teneur en gypse sera estimée par formule	Facile, nécessite peu de matériel.
KHAN SU., 1968	Détermination de gypse semi-quantitatif, elle peut se faire grâce aux rayons x avec présence du chlorure de potassium (2%) comme référence. Les pics représentatifs de l'intensité maximale pour le gypse et le KCl apparaissent respectivement à 11.70° et 28.41°. ces pics sont utilisés dans la détermination semi – quantitatifs du gypse dans un sol.	
FRIEDEL B., 1978	Elle se fait grâce aux rayons x, avec la présence des références, qui peuvent être préparés par un échantillon issue de la déshydratation du gypse original en ajoutant des quantités connues de ce minéral. il est possible de comparer les Echantillons par rapport aux références.	C'est une détermination du gypse quantitative

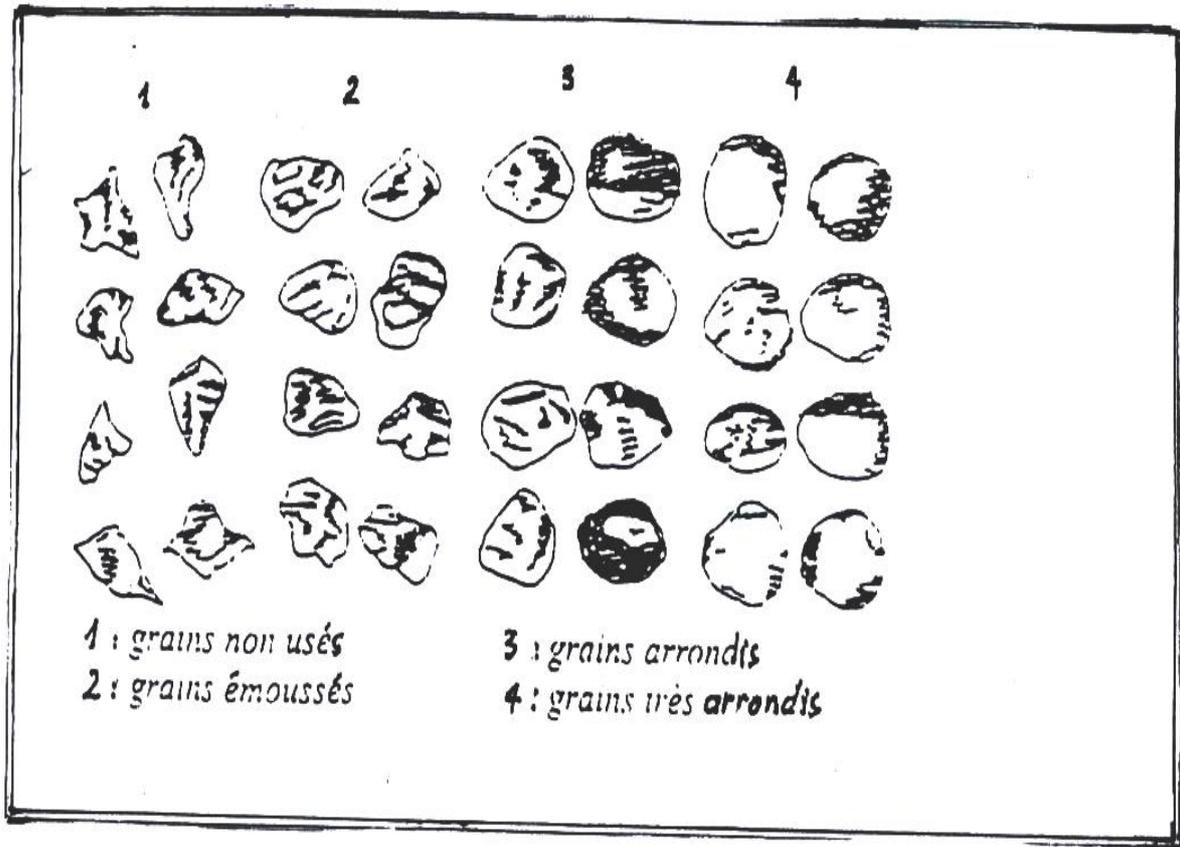
Annexe 2: Nature et forme de quelques sels et protocole de détermination d'un minéral**2-1- Protocole de détermination d'un minéral (Chamayou et al, 1982)**

Minéral	Morphologie	Couleur	Plochoïsme	Biréfringence	Angle d'extinction
Quartz	Grains de formes variés	Incolore.	Nul.	Grés calcaires blanchâtre, jaunâtre.	0°.
Feldspath orthose.	Grains avec macle de calcsad fréquente.	Incolore.	Nul.	Gris	0° à 5°
Feldspath plagioclases	Grains présentant la macle polysynthétique de l'albite	Incolore.	Nul.	Gris	5° à 40°
Mica blanc muscovite	Paillettes à nombreux clivage.	Incolore.	Nul.	Teinte vive du 2ème ordre	0°
Calcite	Grains grossiers à clivage en losanges (sparite) ou grains fins agglomérés (micrite)	Incolore à jaunâtre..	/	/	/
Oxyde de fer.	Nodules.	Brun rouge opaque.	/	/	/

2-2- Nature et forme de quelques sels –leur relation avec le substrat (Halitim, 1988) :

Forme macroscopique	Nature des sels	Forme microscopique	Relation sels substrat
Croûtes salines	halite	cubique	Absence de substrat
Salan blanc	halite	Cubique et cristallite	Peu de contact
Croûtes lamellaires	halite	vitreux	Bon contact
	MgSO ₄	prismes	Bon contact
Salan humide	Halite et sels hygroscopiques	Vitreux non définie	Bon contact
Horizon profond	Halite thénardite	Vitreux et cubiques, prisme très serrés	Bon contact

Annexe 3 : Morpho scopie des grains de quartz (classe de Cailleux, 1963 in Bernou, 2001)



Annexe 4 : Résultats analytiques

Echantillons		Granulométrie (%)			PH (1/2.5)	CE (dS/m)	Calcaire (%)	GYPSE (%)	MO (%)	Bases échangeables (Cmol /Kg)			CEC (Cmol /Kg)
		Sg (%)	Sf (%)	A+1 (%)						Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	
P1H1	R1	15.95	44.15	39.9	8.21	0.14	19.64	0.92	0.26	0.622	0.538	0.04	2.390
	R2	43.71	39.99	12.16	8.20	0.12	21.08	0.28	0.29	0.635	0.526	0.04	2.390
	R3	/	/	/	8.24	0.17	23.11	0.29	0.27	/	/	/	/
	R	43.71	44.15	12.16	8.22	0.14	21.36	0.29	0.27	0.629	0.532	0.04	2.392
P1H2	R1	21.23	67.96	/	8.10	0.31	29.75	0.15	0.19	0.662	0.510	0.085	0.915
	R2	22.46	65.02	/	8.16	0.27	22.70	0.15	0.11	0.649	0.507	0.07	0.910
	R3	/	/	/	8.14	0.25	19.85	0.15	0.155	/	/	/	/
	R	22.46	67.96	09.17	8.13	0.26	24.10	0.15	0.15	0.655	0.508	0.078	2.912
P2H1	R1	57.61	35.27	/	8.02	2.40	20.27	68.74	1.16	0.788	0.775	0.025	4.170
	R2	62.46	27.65	/	8.03	2.47	20.08	68.73	1.17	0.780	0.765	0.030	4.175
	R3	/	/	/	8.05	2.46	19.82	68.7	1.17	/	/	/	/
	R	62.46	35.27	02.27	8.03	2.44	20.05	68.7	1.16	0.784	0.771	0.027	4.173
P2H2	R1	59.24	28.65	/	8.02	3.20	23.51	3.43	0.45	0.783	1.450	0.122	2.082
	R2	61.68	28.29	/	8.03	3.19	23.18	3.40	0.46	0.772	1.41	0.114	2.090
	R3	/	/	/	8.04	3.16	23.48	3.41	0.459	/	/	/	/
	R	61.68	28.65	09.67	8.03	3.18	23.39	3.41	0.456	0.777	1.445	0.118	2.086
P2H3	R1	50.24	33.94	/	8.40	2.70	25.51	20.25	0.272	0.690	1.544	0.038	2.608
	R2	56.27	35.02	/	8.39	2.74	25.12	20.28	0.275	/	/	/	/
	R3	/	/	/	8.40	2.67	25.30	20.25	0.286	/	/	/	/
	R	56.27	35.02	08.71	8.40	2.70	25.31	20.26	0.278	0.690	1.544	0.038	0.608
P3H1	R1	42.03	33.05	/	8.48	10.40	13.78	25.50	0.40	1.073	1.646	0.075	4.560
	R2	40.05	35.98	/	8.46	10.36	12.97	25.54	0.36	1.085	1.635	0.075	4.567
	R3	/	/	/	8.46	10.33	13.33	25.0	0.45	/	/	/	/
	R	42.03	35.98	21.99	8.47	10.35	13.36	25.51	0.40	1.079	1.641	0.07	4.564
P3H2	R1	29.76	36.50	/	8.24	8.40	2.53	3.40	0.30	1.128	1.630	0.036	5.650
	R2	35.92	42.86	/	8.30	8.39	1.80	3.34	0.35	1.118	1.633	0.036	5.653
	R3	/	/	/	8.29	8.36	1.82	3.36	0.35	/	/	/	/
	R	35.92	42.86	21.22	8.27	8.38	2.05	3.37	0.33	1.122	1.631	1.036	5.654
	R1	63.91	22.14	/	8.01	3.11	23.0	4.34	0.40	0.90	0.512	0.32	2.960
	R2	59.74	27.	/	8.06	3.14	23	4.30	0.39	0.913	0.544	0.02	2.950

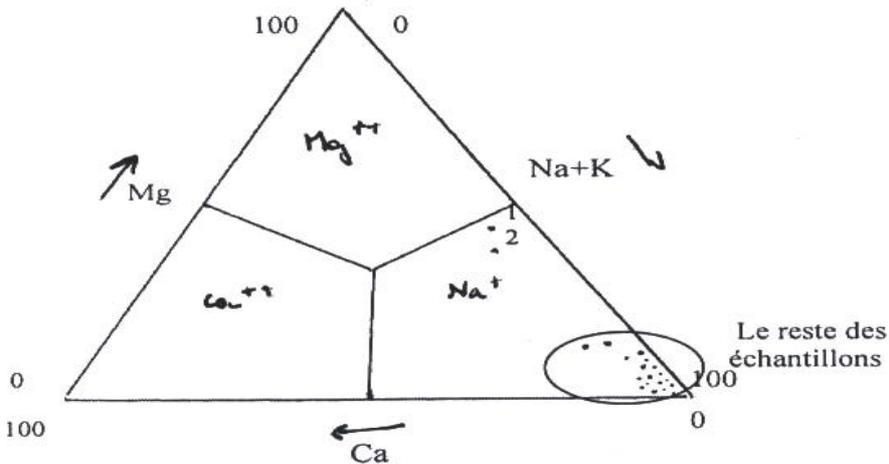
			36										
	R3	/	/	/	8.05	3.09	21.21	4.30	0.35	/	/	/	/
	PR	63.91	27.36	08.73	8.03	3.11	21.70	4.31	0.38	0.906	0.532	0.031	2.955
P4H2	R1	25.21	31.46	/	8.18	15.45	12.55	46.30	0.56	1.066	1.5	0.06	3.70
	R2	22.65	33.18	/	8.09	15.43	12.70	46.29	0.64	1.050	1.82	0.07	3.640
	R3	/	/	/	8.16	15.48	12.90	46.17	0.58	/	/	/	/
	R	25.21	33.18	41.61	8.14	15.45	12.65	46.25	0.59	1.058	1.66	0.068	3.670
P4H3	R1	36.21	41.25	/	8.50	4.74	16	33.11	0.26	0.925	1.402	0.040	3.70
	R2	30.43	47.16	/	8.80	4.72	15.75	33.12	0.29	0.914	1.390	0.032	4.85
	R3	/	/	/	8.70	4.75	16.26	33.12	0.30	/	/	/	/
	R	36.21	47.16	16.63	8.65	4.74	16	33.11	0.25	0.919	1.396	0.036	4.47
P4H4	R1	35.57	37.25	/	8.15	4.00	19.70	28.356	0.33	0.996	1.244	0.029	4.60
	R2	/	/	/	8.18	3.97	19.40	28.35	0.34	0.966	1.222	0.035	4.51
	R3	/	/	/	8.18	4.05	19.53	28.35	0.32	/	/	/	/
	R	35.57	37.25	29.18	8.17	4.00	19.54	28.35	0.33	0.985	1.233	0.032	4.55
P5H1	R1	17.55	33.15	/	8.19	4.04	1.20	76.30	1.20	0.955	1.582	0.074	3.46
	R2	/	/	/	8.20	4.03	1.21	76.32	1.13	0.963	1.585	0.068	3.42
	R3	24.18	41.33	/	8.22	4.3	1.21	76.40	1.12	/	/	/	/
	R	24.18	41.33	34.49	8.21	4.03	1.21	76.34	1.15	0.959	1.583	0.071	3.44
P5H2	R1	18.68	41.67	/	7.92	14.40	0.40	18.50	1.00	1.00	1.652	0.190	4.728
	R2	18.11	44.18	/	7.97	14.36	0.42	18.55	0.88	0.974	1.71	0.198	4.748
	R3	/	/	/	7.93	/	0.39	18.55	1.00	/	/	/	/
	R	18.11	44.18	37.14	7.94	14.38	0.40	18.53	0.93	0.987	1.692	0.191	4.738
P5H3	R1	24.76	43.52	/	8.24	10.14	/	73.85	0.90	1.061.12	1.606	0.150	396
	R2	24.46	43.60	/	8.25	/	0.38	73.90	0.87	/	1.676	0.138	3.94
	R3	/	/	/	8.25	10.15.	0.42	73.90	0.90	1.09	/	/	/

	R	24.76	43.60	31.64	8.25	10.14	0.4	73.8 8	0.89		1.666	0.144	3.95
P6H1	R1	17.32	49.87	/	8.16	3.02	3.50	52.6 5	1.58	0.902	1.00	0.055	4.340
	R2	42.65	49.20	/	8.24	3.04	3.58	52.6 2	1.51	0.882	1.00	0.063	4.354
	R3	/	/	/	8.36	3.00	3.55	52.6 4	/	/	/	/	/
	R	42.65	49.20	08.11	8.30	3.02	3.54	52.6 4	1.54	0.892	1.00	0.059	4.347
P6H2	R1	13.82	39.22	/	8.80	14.60	2.45	63.9 0	/	0.900	1.665	0.175	4.562
	R2	14.08	38.57	/	8.70	/	2.42	63.9 0	1.38	0.912	1.689	0.171	4.566
	R3	/	/	/	8.74	14.61	2.42	63.8 8	1.40	/	/	/	/
	R	14.08	39.22	46.7	8.75	14.60	2.43	63.8 9	1.39	0.906	1.677	0.173	4.564
P6H3	R1	19.28	43.94	/	8.77	7.78	4.66	53.1 72	1.04	0.952	1.670	0.178	3.08
	R2	20.63	46.28	/	8.80	/	4.59	53.1 7	1.00	0.950	1.680	0.174	3.092
	R3	/	/	/	8.82	/	4.73	/	1.00	/	/	/	/
	R	20.63	46.28	37.09	8.79	7.78	4.66	53.1 7	1.013	0.951	1.675	0.176	3.086
P7H1	R1	25.69	43.84	/	8.29	2.60	17.84	34.5 0	0.250	0.880	0.020	0.40	3.473
	R2	25.91	43.80	/	8.32	2.62	17.80	/	0.258	0.866	0.026	0.40	3.481
	R3	/	/	/	8.34	2.61	17.83	34.4 0	0.252	/	/	/	/
	R	25.91	43.84	30.25	8.31	2.61	17.82	34.4 5	0.253	0.873	0.023	0.040	3.477
P7H2	R1	28.91	45.90	/	8.17	2.53	19.08	27.5 5	0.150	0.870	0.980	0.40	2.690
	R2	33.80	51.46	/	8.17	2.58	18.99	27.6 0	0.155	0.864	0.984	0.28	2.700
	R3	/	/	/	8.18	2.55	/	27.6 0	0.152	/	/	/	/
	R	33.80	51.46	14.74		2.55	19.04	27.5 8	0.152	0.867	0.982	0.034	2.695
P8H1	R1	43.80	32.56	/	8.13	2.61	34.18	9.00	0.049	0.800	1.026	0.045	3.395
	R2	41.53	35.53	/	8.16	2.64	34.09	9.10	0.067	0.801	1.021	0.041	3.385
	R3	/	/	/	8.15	2.65	34.10	9.08	0.058	/	/	/	/
	R	43.80	35.53	20.67	8.15	2.63	34.12	9.06	0.058	0.801	1.023	0.043	3.390
P8H2	R1	16.80	27.61	/	8.58	7.62	33.40	16.8 8	/	/	/	/	/
	R2	/	/	/	8.60	7.60	33.43	/	0.740	1.160	1.762	0.054	1.300
	R3	/	/	/	/	/	/	/	0.728	1.160	1.762	0.054	1.300

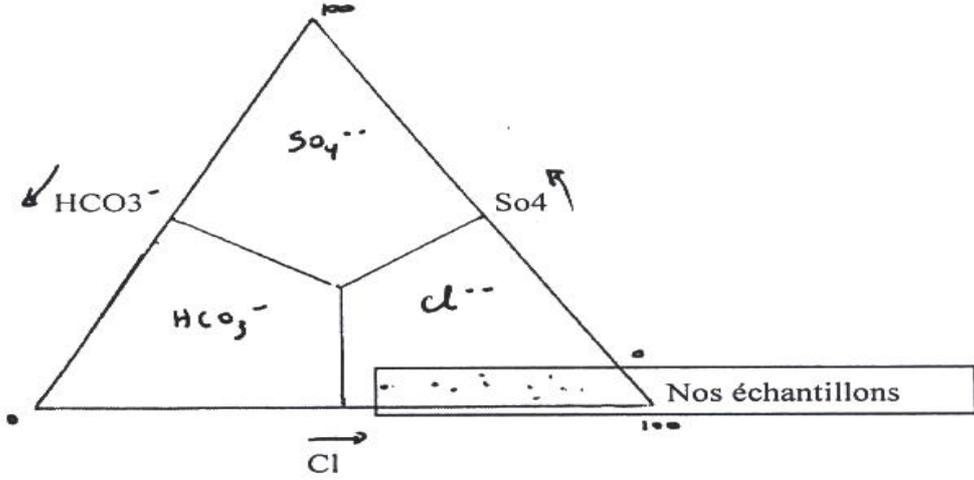
	R	16.80	27.61	55.59	8.59	7.61	33.41	16.86	0.734	1.161	1.756	0.054	1.304
P9H1	R1	6.18	37.23	/	8.90	22.53	0.80	56.50	2.05	0.768	1.730	0.360	4.130
	R2	/	/	/	8.80	22.55	0.85	56.54	2.05	0.758	1.726	0.372	4.129
	R3	23.13	42.32	/	8.80	22.50	0.80	56.50	2.06	/	/	/	/
	R	23.13	42.32	34.55	8.84	22.53	0.82	56.51	2.052	0.763	1.723	0.366	4.129
P9H2	R1	2.92	39.3	/	8.62	18.4	3.60	53.0	1.14	1.030	1.680	0.238	1.740
	R2	3.21	38.32	/	8.66	18.12	3.64	/	1.18	/	/	/	/
	R3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	R	3.21	39.3	57.43	8.67	18.11	3.65	53.0	1.14	1.028	1.685	0.232	1.738
P9H3	R1	11.43	39.70	/	8.50	4.82	21.45	70.50	0.71	0.932	1.510	0.40	3.900
	R2	13.89	38.94	/	8.63	4.86	21.45	70.56	0.71	0.924	1.514	0.43	3.839
	R3	/	/	/	8.56	4.82	21.40	70.56	0.71	/	/	/	/
	R	13.89	39.70	46.41	8.57	4.83	21.43	70.53	0.709	0.928	1.512	0.041	3.868

Remarque : les valeurs prises en considération lors de l'interprétation des résultats analytiques sont ceux de **R**.

Annexe 5 : Représentation des faciès chimiques des échantillons étudiés sur le diagramme de PIPER



5-1 : Les cations



5-2 : Les anions

Annexe 6 : Résultats minéralogiques utilisés dans la lecture de la nature des pics et quelques graphes représentant nos résultats diffractométriques.

33- 311: GYPSUM, SYN Inorg Min *

D spacing	I						
7.63021	100	4.28389	100	3.06458	74		
7.63021	100	2.21893	15	1.68496	3	1.40137	2
4.28389	100	2.14146	2	1.66347	6	1.36564	5
3.80031	17	2.08658	25	1.64538	4	1.34427	1
3.17184	4	2.07342	15	1.62116	9	1.33226	2
3.06458	74	2.04736	6	1.60032	1	1.32582	4
2.87375	44	2.03188	1 S	1.58482	4	1.32307	4
2.78877	10	1.99245	4	1.53298	2	1.27847	1
2.73209	2	1.96246	3	1.52096	1	1.27216	1 S
2.68567	34	1.90018	16	1.51199	1	1.26766	1 S
2.59744	6	1.87984	12	1.49811	1 S	1.24794	3
2.53401	2	1.86443	3	1.49514	1 S	1.24437	2
2.49492	11	1.81199	13	1.45892	3	1.23368	3
2.47564	1	1.79938	6	1.43958	5	1.23101	2
2.45179	6	1.78457	9	1.43573	3		
2.40645	4	1.77891	12	1.42805	2		
2.29071	1 S	1.70886	1	1.41753	3		

61 lines in pattern from 1990 PDF data base: APDINO:

Accessed 476 times

Copyright JCPDS

33-1161: QUARTZ, SYN Inorg Min *

D spacing	I						
3.34256	100	4.25689	22	1.81775	14		
4.25689	22	1.65920	2	1.22835	1	1.04727	1
3.34256	100	1.60863	1 S	1.20007	2	1.04386	1 S
2.45654	8	1.54204	9	1.19743	1	1.03451	1 S
2.28196	8	1.45407	1	1.18427	3	1.01500	1
2.23735	4	1.41849	1 S	1.18077	3	0.98960	1
2.12658	6	1.38156	6	1.15288	1	0.98706	1
1.97865	4	1.37499	7	1.14074	1 S	0.97860	1 S
1.81775	14	1.37218	8	1.11398	1 S	0.97607	1
1.80166	1 S	1.28842	2	1.08138	2	0.96339	1 S
1.67204	4	1.25599	2	1.06345	1 S		

39 lines in pattern from 1990 PDF data base: APDINO:

Accessed 5838 times

Copyright JCPDS

Listed DI file name : PLH2.DI

Peak no	Angle (deg)	Tip width (deg)	Peak (cts)	Backg (cts)	D spac (Ang)	I/I _{max} (%)	Type			Sign
							A1	A2	Ot	
1	2.8250	0.08	69.	38.	31.2491	0.32	X	X	0.98	
2	10.4550	0.12	18.	34.	8.4546	0.09	X	X	1.00	
3	11.5825	0.12	21550.	25.	7.6340	100.00	X	X	83.18	
4	11.9450	0.06	151.	25.	7.4031	0.70	X	X	0.98	
5	18.6550	0.16	79.	25.	4.7527	0.37	X	X	4.68	
6	19.4500	0.12	50.	25.	4.5602	0.23	X	X	1.58	
7	20.6800	0.12	858.	27.	4.2916	3.98	X	X	10.00	
8	22.4350	0.10	137.	31.	3.9597	0.64	X	X	3.09	
9	23.3725	0.14	5730.	32.	3.8030	26.59	X	X	50.12	
10	26.6575	0.08	104.	40.	3.3413	0.48	X	X	1.12	
11	27.1025	0.10	146.	40.	3.2875	0.68	X	X	2.69	
12	27.4175	0.12	46.	40.	3.2504	0.21	X	X	1.29	
13	28.0650	0.06	71.	40.	3.1769	0.33	X	X	0.78	
14	29.0775	0.16	1246.	40.	3.0685	5.78	X	X	19.50	
15	30.0625	0.10	44.	40.	2.9702	0.20	X	X	0.85	
16	31.0800	0.20	1998.	40.	2.8752	9.27	X	X	45.71	
17	31.6625	0.14	303.	40.	2.8236	1.40	X	X	7.94	
18	32.0550	0.12	125.	40.	2.7899	0.58	X	X	2.69	
19	32.7175	0.16	45.	40.	2.7349	0.21	X	X	1.45	
20	33.3350	0.18	416.	40.	2.6857	1.93	X	X	12.30	
21	34.4925	0.16	219.	38.	2.5982	1.02	X	X	6.76	
22	35.3750	0.10	306.	38.	2.5353	1.42	X	X	3.24	
23	35.9175	0.14	1122.	38.	2.4983	5.21	X	X	13.49	
24	36.5950	0.24	48.	38.	2.4536	0.22	X	X	0.93	
25	37.3475	0.06	123.	38.	2.4058	0.57	X	X	0.89	
26	39.3825	0.24	14.	38.	2.2861	0.07	X	X	0.85	
27	40.6100	0.14	207.	38.	2.2198	0.96	X	X	4.79	
28	42.1925	0.24	18.	36.	2.1401	0.09	X	X	0.98	
29	43.2950	0.14	870.	35.	2.0881	4.04	X	X	11.75	
30	43.5950	0.08	299.	35.	2.0745	1.39	X		1.26	
31	43.6400	0.08	231.	35.	2.0724	1.07	X	X	2.04	
32	44.2025	0.16	62.	34.	2.0473	0.29	X	X	1.15	
33	44.5525	0.16	38.	34.	2.0321	0.18	X	X	0.76	
34	45.4550	0.12	279.	32.	1.9938	1.29	X	X	4.57	
35	46.4025	0.08	506.	31.	1.9553	2.35	X		5.01	
36	46.5400	0.04	228.	31.	1.9546	1.06		X	3.16	
37	47.7925	0.12	888.	29.	1.9016	4.12	X		7.76	
38	47.9475	0.06	449.	29.	1.9005	2.09		X	1.58	
39	48.3700	0.20	110.	29.	1.8802	0.51	X	X	1.95	
40	49.5750	0.16	28.	28.	1.8373	0.13	X	X	0.83	
41	50.3025	0.08	166.	27.	1.8124	0.77	X	X	1.07	
42	50.6750	0.06	225.	27.	1.8000	1.04	X	X	0.79	
43	51.2975	0.12	488.	26.	1.7796	2.27	X		4.07	
44	51.4650	0.06	228.	26.	1.7786	1.06		X	1.48	
45	55.1100	0.10	130.	28.	1.6652	0.60	X	X	1.70	
46	55.8475	0.32	35.	28.	1.6449	0.16	X	X	1.29	
47	56.7200	0.14	253.	28.	1.6217	1.17	X	X	4.90	
48	57.5300	0.20	28.	28.	1.6007	0.13	X	X	1.07	
49	58.2800	0.08	137.	28.	1.5819	0.64	X	X	1.20	
50	59.5100	0.06	71.	28.	1.5521	0.33	X		1.41	
51	60.3000	0.24	35.	27.	1.5337	0.16	X	X	1.26	
52	60.8400	0.10	96.	27.	1.5213	0.45	X		1.51	
53	63.6675	0.06	67.	27.	1.4604	0.31	X		1.48	
54	64.6750	0.16	61.	27.	1.4401	0.28	X	X	1.51	

Peak no	Angle (deg)	Tip width (deg)	Peak (cts)	Backg (cts)	D spac (Ang)	I/I _{max} (%)	Type			Sign
							A1	A2	Ot	
1	8.5850	0.64	16.	37.	10.2915	0.31	X	X		1.45
2	11.6250	0.12	5127.	23.	7.6061	100.00	X	X		39.81
3	11.9925	0.08	42.	23.	7.3739	0.82	X	X		0.78
4	12.3275	0.20	28.	23.	7.1742	0.55	X	X		0.83
5	13.6425	0.08	38.	22.	6.4855	0.75	X	X		1.26
6	13.8625	0.08	30.	21.	6.3831	0.59	X	X		0.78
7	19.7875	0.28	52.	24.	4.4831	1.01	X	X		1.48
8	20.6850	0.10	299.	25.	4.2906	5.84	X	X		0.81
9	20.8575	0.12	676.	27.	4.2555	13.19	X	X		9.55
10	21.0450	0.06	135.	27.	4.2180	2.62	X	X		1.41
11	23.0725	0.14	269.	32.	3.8517	5.25	X	X		5.62
12	23.4000	0.12	1568.	36.	3.7986	30.59	X	X		16.60
13	25.9025	0.12	48.	37.	3.4370	0.93	X	X		1.17
14	26.6450	0.14	3457.	37.	3.3429	67.44	X	X		36.31
15	27.0175	0.12	119.	37.	3.2976	2.32	X	X		0.89
16	27.4775	0.10	1310.	37.	3.2434	25.56	X	X		10.72
17	27.9150	0.14	276.	37.	3.1936	5.38	X			6.03
18	28.0000	0.16	188.	37.	3.1919	3.66		X		1.02
19	29.0900	0.12	400.	38.	3.0672	7.80	X	X		3.16
20	29.4400	0.16	3457.	38.	3.0315	67.44	X	X		39.81
21	30.0775	0.16	50.	38.	2.9687	0.98	X	X		1.07
22	30.8525	0.06	331.	38.	2.8959	6.46	X			0.83
23	30.9525	0.12	412.	38.	2.8868	8.04	X	X		2.57
24	31.1175	0.08	289.	38.	2.8718	5.64	X	X		1.00
25	31.4875	0.06	114.	38.	2.8389	2.23	X	X		1.15
26	31.7150	0.10	119.	38.	2.8191	2.32	X	X		1.35
27	32.1200	0.16	23.	40.	2.7844	0.45	X	X		0.91
28	32.7400	0.12	26.	40.	2.7331	0.51	X	X		1.15
29	33.4225	0.08	282.	40.	2.6789	5.51	X	X		2.14
30	34.4975	0.20	48.	40.	2.5978	0.93	X	X		1.26
31	35.4025	0.14	102.	40.	2.5334	1.99	X	X		3.09
32	35.9975	0.12	562.	41.	2.4929	10.96	X			6.17
33	36.0875	0.06	433.	41.	2.4869	8.44	X	X		1.41
34	36.5800	0.08	250.	41.	2.4545	4.87	X	X		1.58
35	37.3975	0.16	40.	41.	2.4027	0.77	X	X		1.07
36	39.4600	0.16	692.	42.	2.2818	13.49	X	X		14.79
37	40.3075	0.06	90.	41.	2.2357	1.76	X	X		1.20
38	40.6875	0.16	55.	41.	2.2157	1.07	X	X		0.91
39	42.4600	0.10	166.	38.	2.1272	3.25	X	X		1.05
40	43.1875	0.12	543.	38.	2.0931	10.59	X			5.62
41	43.3050	0.10	437.	37.	2.0877	8.52	X	X		1.48
42	44.2475	0.20	58.	37.	2.0454	1.13	X	X		2.04
43	45.4675	0.20	98.	35.	1.9933	1.91	X	X		2.29
44	45.7950	0.10	110.	35.	1.9798	2.15	X	X		1.38
45	47.1575	0.12	164.	32.	1.9257	3.20	X	X		2.19
46	47.5325	0.14	458.	32.	1.9114	8.93	X	X		5.75
47	47.8425	0.08	324.	31.	1.8997	6.32	X	X		1.05
48	48.5425	0.12	511.	31.	1.8739	9.96	X			5.50
49	48.6900	0.08	296.	31.	1.8732	5.77		X		0.83
50	50.1600	0.08	335.	29.	1.8172	6.53	X	X		2.29
51	51.0900	0.12	64.	28.	1.7863	1.25	X			0.98
52	51.2800	0.32	52.	27.	1.7802	1.01	X	X		3.98
53	54.8750	0.10	156.	25.	1.6717	3.05	X	X		2.69
54	56.6800	0.24	154.	25.	1.6227	3.00	X	X		3.72
55	57.4475	0.10	272.	25.	1.6028	5.31	X			3.09
56	58.1950	0.24	52.	25.	1.5840	1.01	X	X		2.14
57	59.9600	0.08	630.	25.	1.5415	12.29	X			5.50
58	60.1375	0.08	272.	25.	1.5412	5.31		X		2.57
59	60.7200	0.08	172.	25.	1.5240	3.35	X			1.23
60	61.0075	0.06	149.	25.	1.5175	2.90	X			1.45

⇒ **Diffractogrammes des sept échantillons de sols**

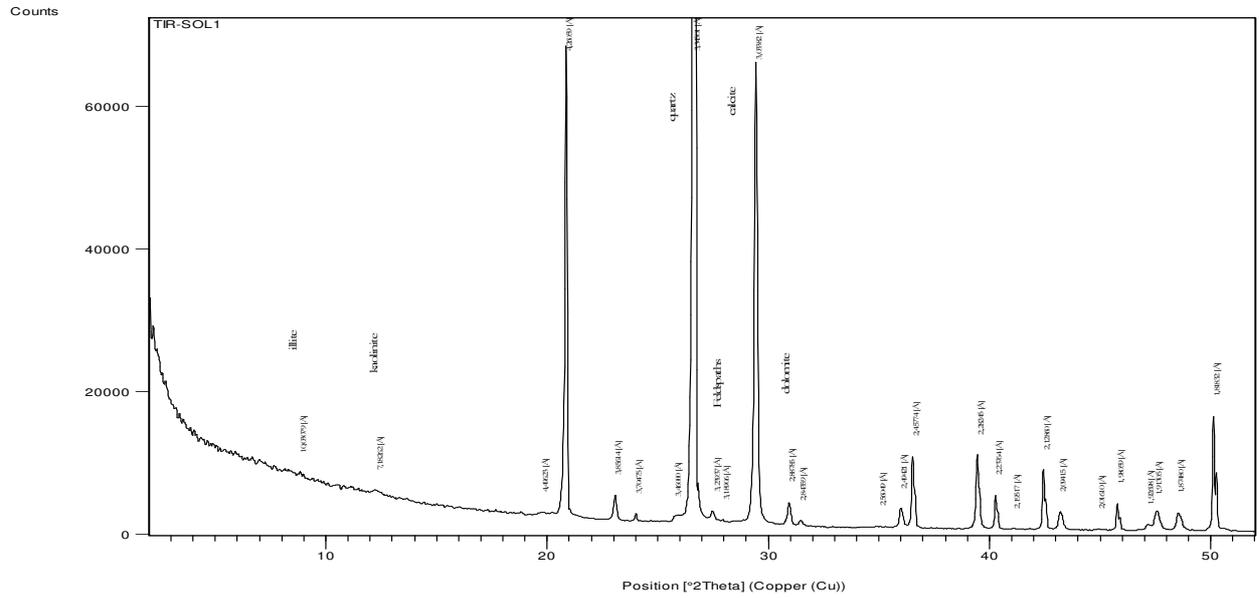


Figure 1: Résultats minéralogiques de P1H2 (traitement d'argile)

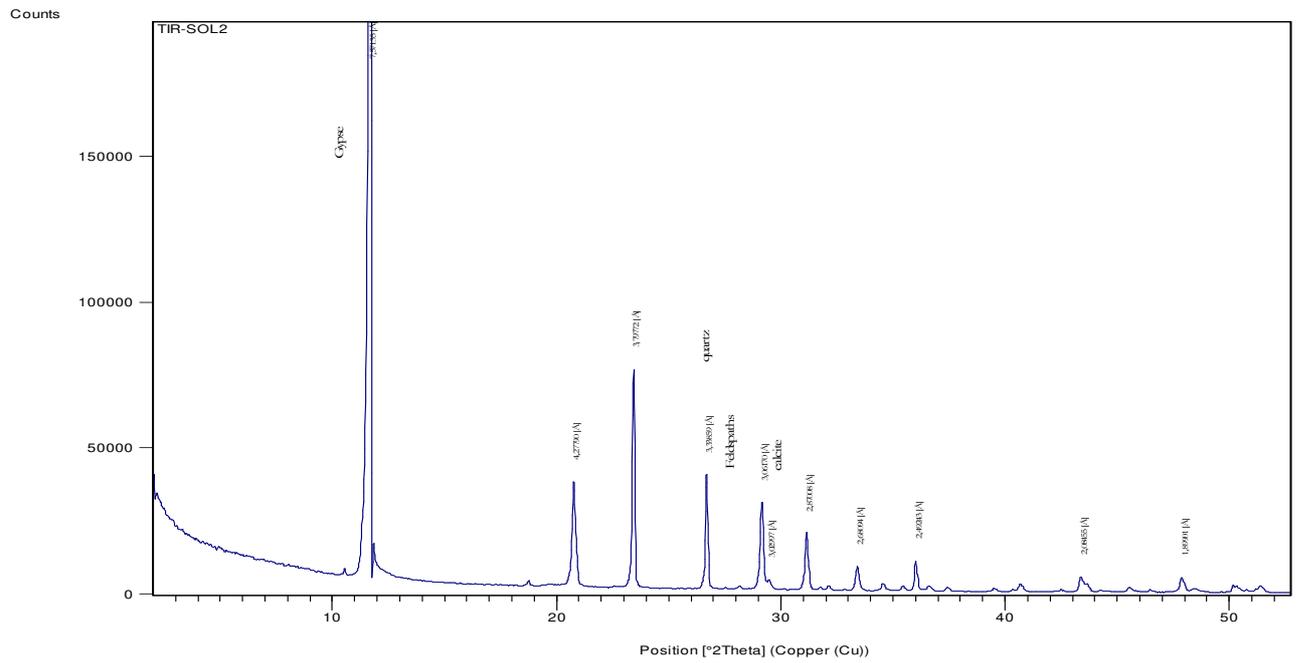


Figure 2: Résultats minéralogiques de P3H2 (traitement d'argile)

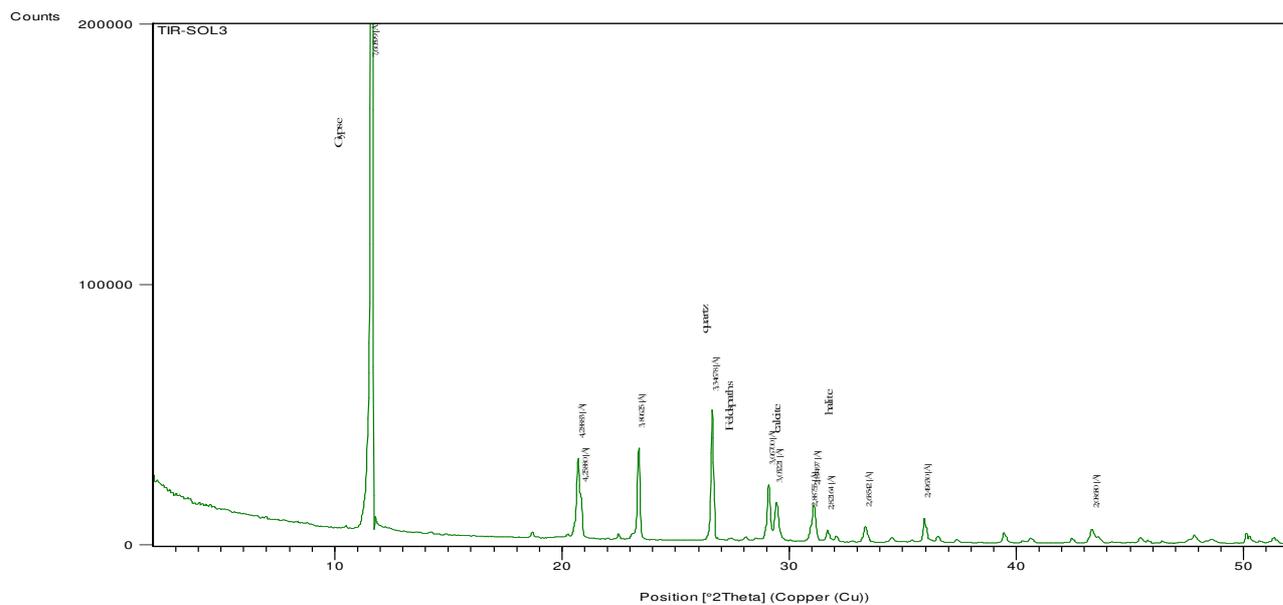


Figure 3: Résultats minéralogiques de P4H2 (traitement d'argile)

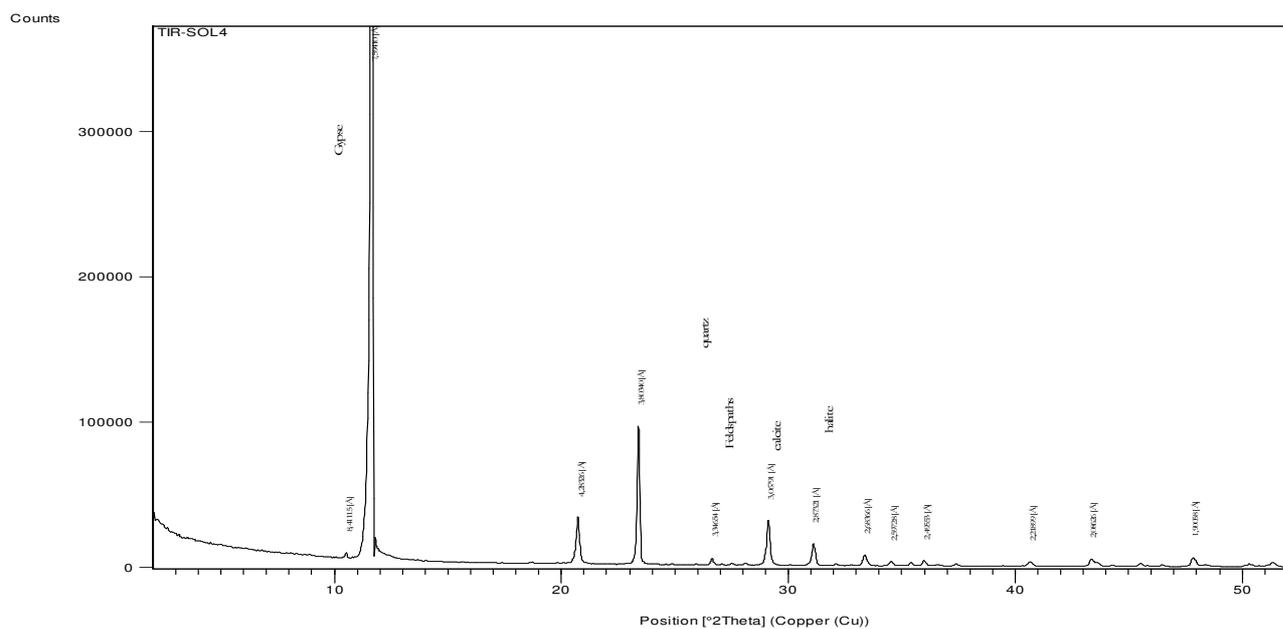


Figure 4: Résultats minéralogiques de P5H1 (traitement d'argile)

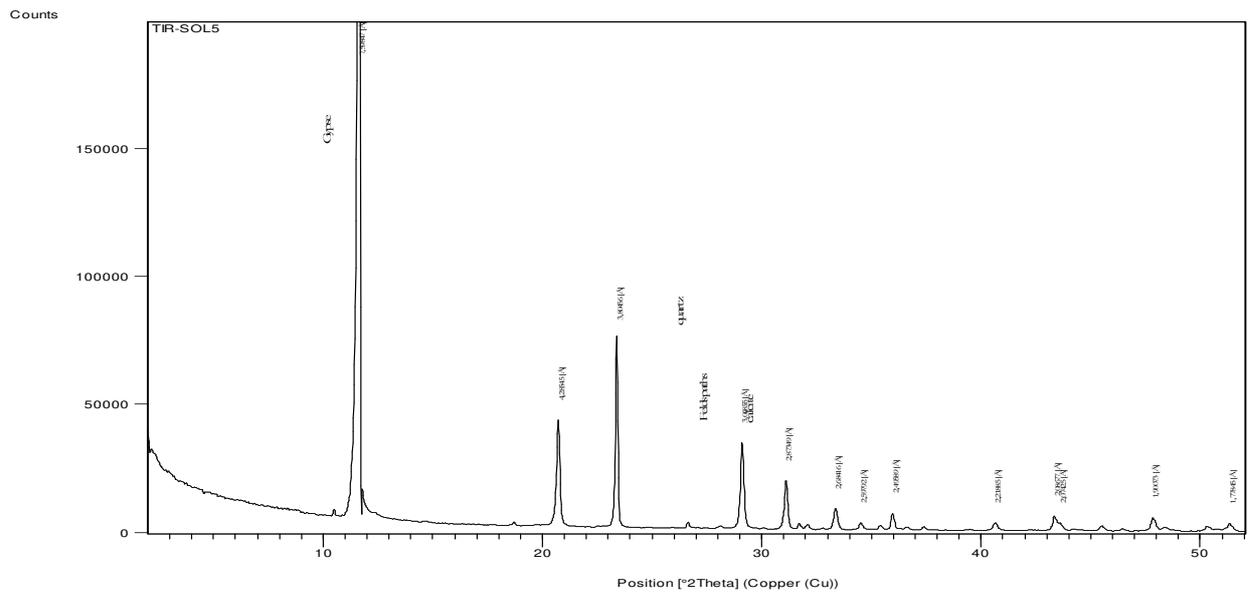


Figure 5: Résultats minéralogiques de P5H3 (traitement d'argile)

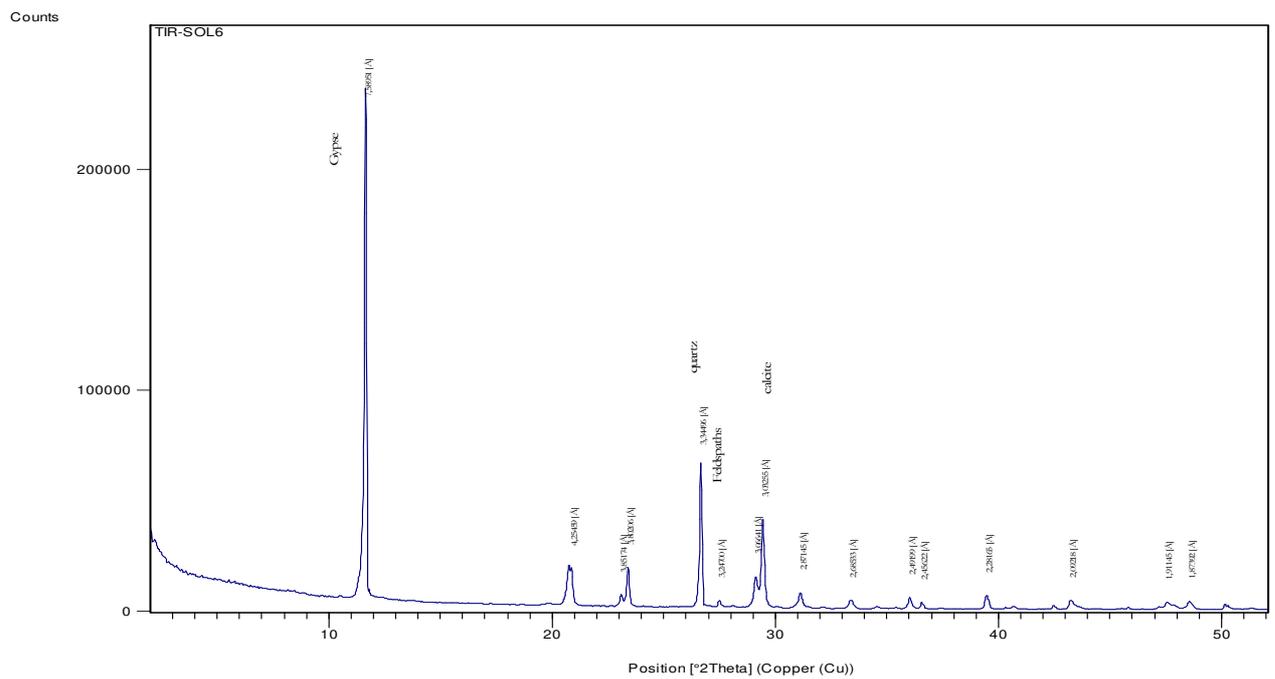


Figure 6: Résultats minéralogiques de P8H1 (traitement d'argile)

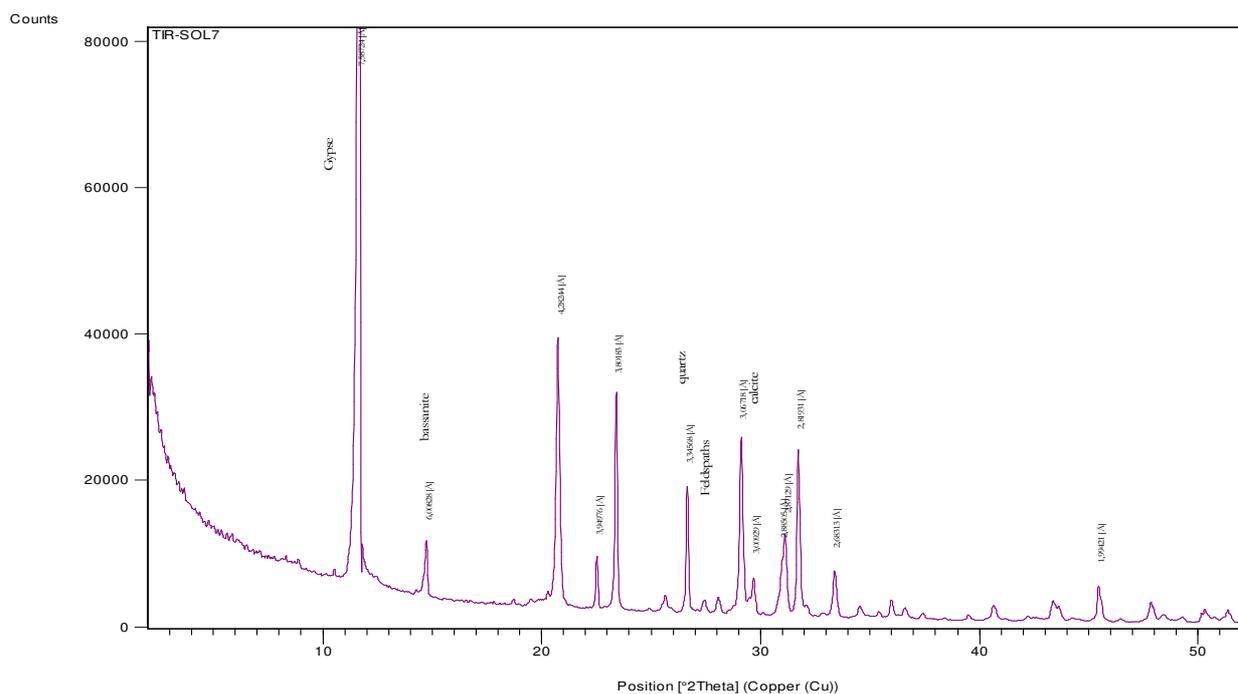


Figure 7: Résultats minéralogiques de P9H1 (traitement d'argile)

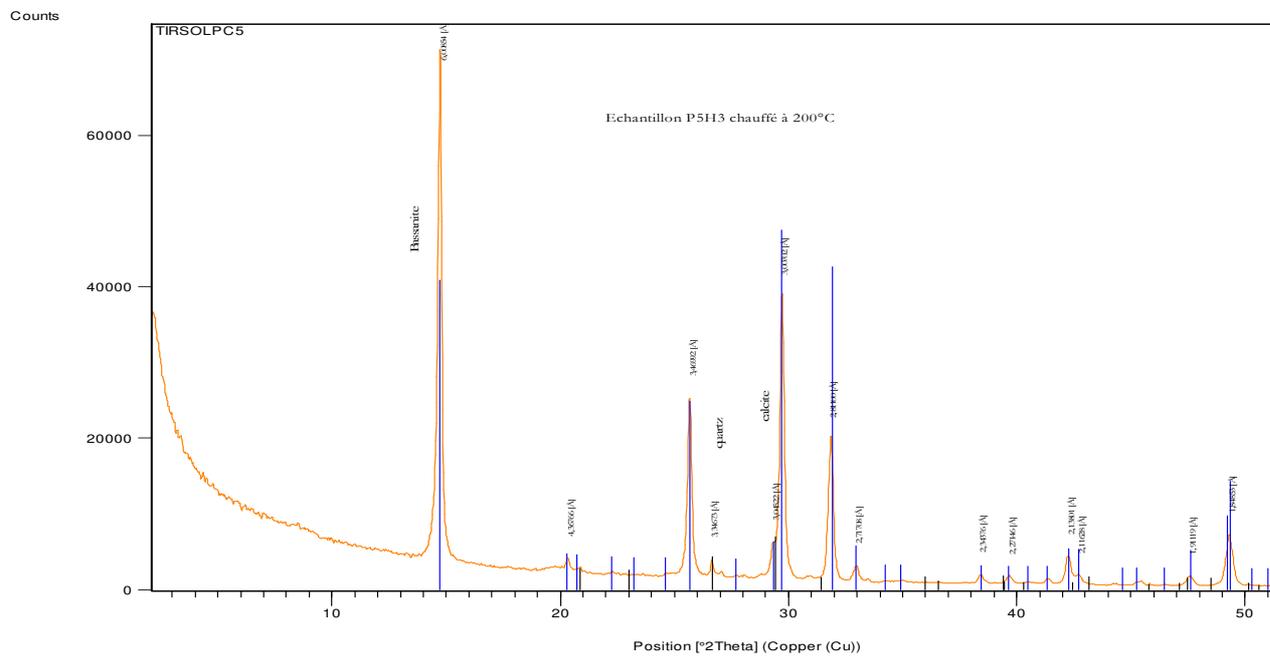


Figure 8: Résultats minéralogiques de P5H3 (chauffé à 200°C).

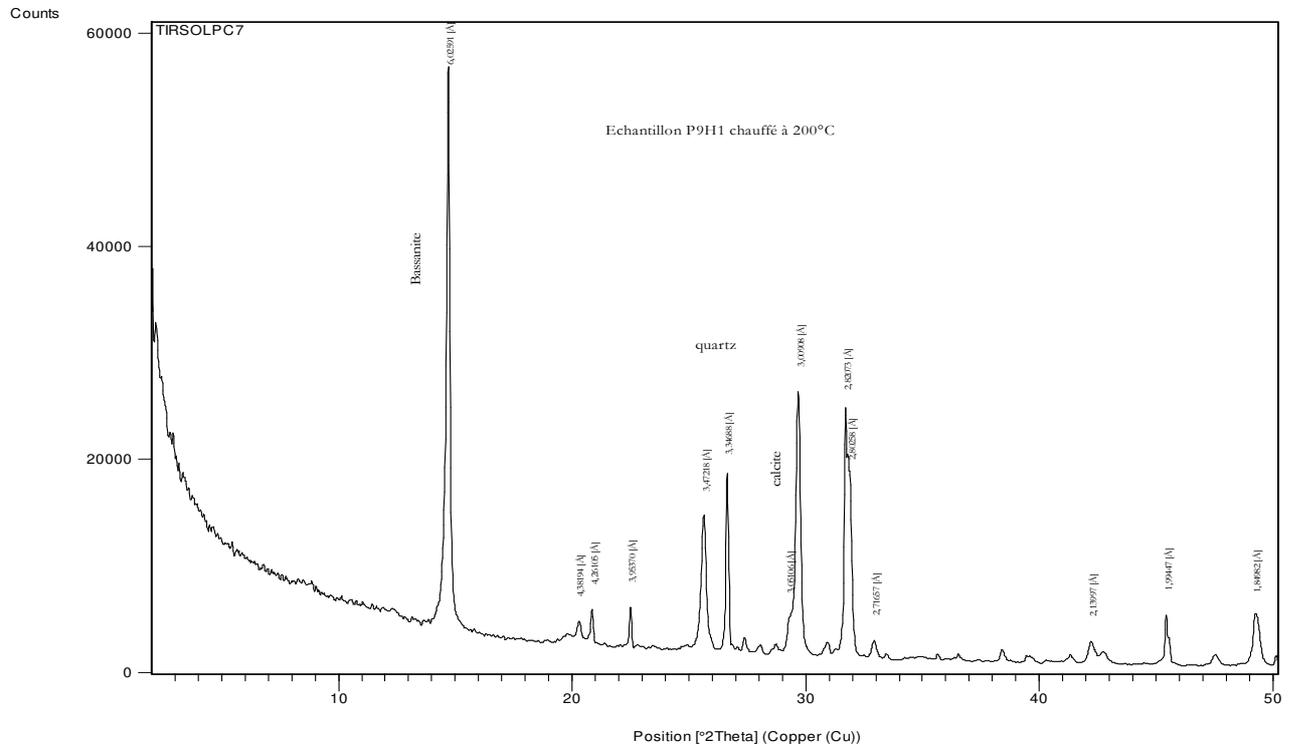


Figure 9: Résultats minéralogiques de P9H1 (chauffé à 200°C).

Résumé

Malgré la grandeur des surfaces sahariennes en Algérie que Biskra en fait partie, les études pédologiques restent limitées. Si elles existent, elles sont en général descriptives donc insuffisante, ce qui rend l'étude des processus de formation du sol demeure nécessaire pour tout essai de mise en valeur.

L'étude du milieu physique nous a informé que la région de Ain Ben Noui (située à 10 Km vers le Sud Ouest de Biskra), appartient à l'étage bioclimatique Saharien, son climat est chaud et de type méditerranéen aride, avec une pluviométrie annuelle très faible et très irrégulière, des températures moyennes très élevées, une luminosité importante et une évaporation intense.

Du point de vue géologique, la zone d'étude et ses bordures sont constituées par des calcaires et des marnes du crétacé, avec des intercalations gypseuses constituées par des dépôts de formation récentes du quaternaires qui sont composées d'alluvions sableuses et de formations calcaire-gypseuses. Cette lithologie confère à la zone des sols d'accumulations gypso calcaire et salines. En se basant sur les résultats morpho analytiques, le terrain est segmenté en trois principales zones ; zone calcaire, zone gypseuse et zone salée, avec entre chaque deux domaines existe une zone de transition.

Au regard des résultats minéralogiques obtenus, le gypse, la calcite et le quartz sont les minéraux les plus distingués dans l'ensemble des diffractomètres et dans tous les échantillons étudiés.

Il apparaît que le gypse est le produit d'une altération au niveau de la zone ou la nappe est un peu plus proche de la surface du sol. Ceci paraît clairement dans la zone intermédiaire avec la présence des racines pétrifiées à la surface des certains profils et des roses de sable en profondeur.

La calcite, quant à elle serait plutôt le résultat d'un processus lié à des conditions bioclimatiques antérieures à celles de la formation du gypse.

Nos résultats minéralogiques sont en conformité avec ceux de Halitim, (1988), en ce qui concerne la dominance des trois minéraux gypse, calcaire et quartz ; mais les minéraux argileux font défaut dans ces sols.

Cette absence presque totale des argiles prouve que les conditions qui règnent aujourd'hui ne favorisent pas leur évolution.

Donc la formation des sols de la séquence étudiée reste influencée essentiellement par

- La topographie.
- La géologie de la région.
- Le climat.
- L'existence de la nappe phréatique.

Mots clés : genèse, gypse, calcaire, sels solubles.

ملخص

بالرغم من شساعة المساحات الصحراوية في الجزائر التي تنتمي إليها بسكرة تبقى دراسات التربة فيها محدودة، إن وجدت فهي بصفة عامة وصفية، غير كافية وهذا ما يجعل دراسة مراحل تشكل التربة ضرورية لكل محاولة استصلاح في هذه المنطقة.

بينت دراسة الوسط الفيزيائي أن منطقة "عين بن نوي" الواقعة على بعد 10 كلم جنوب غرب بسكرة - ذات مناخ صحراوي حار متوسطي وجاف.

من الناحية الجيولوجية، فإن المنطقة المدروسة متكونة من تركيب كلسي صلصالي من العهد الكريتاسي، تتخلله مركبات جبسية حديثة من العهد الكواتيرنيري، مما يعطي المنطقة خاصية تواجد تراكمات جبسو - كلسية وملحية.

مكنت النتائج المورفولوجية والتحليلية من تقسيم الميدان المدروس إلى ثلاث مناطق: منطقة كلسية، منطقة جبسية وأخرى مالحة حيث يتخلل كل اثنتين منها منطقة انتقالية.

بالنظر إلى النتائج المعدنية المحصل عليها يظهر كل من الجبس، الكلس المعدني والكوارتز كمركبات أساسية غالبية في التركيبة المعدنية للمنطقة، حيث يبدو أن الجبس قد نتج عن التجوية في المنطقة التي تكون فيها المياه الجوفية قريبة من السطح وهذا يظهر جليا في المنطقة الإنتقالية بتواجد الجذور المحاطة على سطح بعض المقاطع وورود الرمال في الأعماق.

أما الكلس المعدني فقد نتج عن الظواهر المرتبطة بالظروف المناخية السابقة لتلك التي أدت على ظهور التكونات الجبسية.

بدأت النتائج المتحصل عليها مطابقة لتلك التي تحصل عليها حليتيتم (1988)، فيما يتعلق بغلبة المعادن الثلاث: الجبس الكلس المعدني والكوارتز، لكن بالنسبة للمعادن الطينية فهي تختلف حيث أنها تؤول إلى الإنعدام في دراستنا، وهذا الإنعدام الشبه كلي يؤكد أن الظروف الحالية لا تحفز تطور هذه المعادن.

مما سبق نصل إلى خلاصة أن تكون تربة المنطقة المدروسة يبقى متأثرا بالأخص بـ:

- التضاريس
- جيولوجيا المنطقة،
- المناخ،
- تواجد مياه جوفية قريبة من السطح.

الكلمات الأساسية: تكون، جبس، كلس، أملاح ذائبة.

Summary

In spite of size of Saharan surfaces in Algeria (That Biskra belongs) the pedological studies remains limited if they exist, they are in general descriptive and insufficient, wich returns the study of the prosses of formation of soils necessary for any test of development.

The study of the physical environement, informes that area of "Ain Ben Noui" (located at 10km towards the western south of Biskra), belongs on the saharan bioclimatic of the Mediterranean raid type.

Geological studies inform that the zone of study consisted of the limestone and marls of the cretaceous, with gypseous intercalations, consisted deposits of recent formations of quaternary.

This lithology confers of the zone of accumulations gypso-cacareous and salt works.

The morpho –analytical results segmented our zone in three principal zones; calcareous zone, gypseous zone and salted zone; with between each two fields exist a zone of transition.

Taking into consideration mineralogical result obtained, the gypsum, calcite and quartz are the minerals most distinguished in the whole of the diffraction, all the studies samples.

It appears that the gypsum is the product of the deterioration on the level of the zone of the tablecloth is a little closer to the surface of the ground. This appears clearly in the intermediate zone with the presence of the petrified roots at surface of intermediary profiles and of in depth sound rose.

Calcite would be the result of the process related to bioclimatic conditions former to those of the formation of gypsum.

Our mineralogical results are in conformity with those of Halitim (1988), with regard to the predominance of the three minerals, gypsum, calcite and quartz, but the clays minerals are missing in our zone.

This almost total absence of clays proves the conditions wich reign today do not support their evolution. Thus the formation of the grounds of the studies sequence remains influenced primarily by:

- Topography.
- The geology of the area.
- Climate.
- The existence of the ground water.

Key Words: Geneses, gypsum, limestone, soluble salt.