

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Projet PNR : ALLUVSOL



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de :

Magister

Spécialité : Géosciences & Environnement

Option : Géochimie de surface

Thème

**Caractérisation micromorphologique et minéralogique
des matériaux pédo-sédimentaires des systèmes des
Dayas: cas de Dayet El-Amied, Guerrara**

Présenté par
DOUFENE SAFIA

Soutenu publiquement le : / 2012

Devant le jury composé de :

M. HACINI Messaoud	M.C.A	Université de Ouargla	Président
M. HAMDI-AISSA Belhadj	Professeur	Université de Ouargla	Promoteur
M. DJERRAB Abderrezak	Professeur	Université de Tébessa	Examineur
M. MESSEN Nacer	M.R	CRNB, Ain Ouessara	Examineur
Mme YOUCEF Fouzia	M.A.A	Université de Ouargla	Invitée

Promotion 2011/2012

Dédicaces



A mes parents

A mes frères et sœurs....

A mon très cher mari

A mes nièces, et neveux...

A mes beaux parents, mes belles sœurs et mes beaux frères....

A toute la famille

Remerciements



Je voudrais avant tout remercier M. HAMDI-AISSA B qui m'a fait confiance en acceptant de m'encadrer sur ce sujet. Je lui suis très reconnaissante de l'opportunité qu'il m'a donnée. Ses remarques pertinentes et son esprit de synthèse m'ont permis d'avoir une autre vision sur la problématique. Je le remercie pour l'intérêt et le suivi qu'il a porté à mon mémoire.

J'estime avoir énormément appris à son contact, Son dévouement et sa rigueur scientifique resteront pour moi des modèles. Je voudrais également saluer ses qualités humaines, son humour mais aussi sa compréhension et son soutien dans les moments difficiles.

Je voudrais aussi que mon co-encadreur Madame YOUCEF F, trouve ici mes meilleures salutations et ma reconnaissance pour son soutien, ses conseils, sa grande disponibilité, pour l'intérêt qu'elle a porté à ce travail, pour son aide permanente, et aussi pour ses compétences scientifiques et ses qualités humaines tout au long de ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ceux qui m'ont fait l'honneur de juger mon travail, à savoir M. HACINI M qui a accepté de lire

et de juger ce modeste travail et M. DJERRAB A et M. MESSEN N qui ont accepté aussi d'examiner ce travail.

Mes plus sincères remerciements vont aussi à M. BEL AMRI, qui m'a favorablement accueilli au sein de son unité de recherche (C.R.N.A).

Je tiens à remercier M. CHELLAT et M. BOUTRIKA (Enseignants à l'Université de Ouargla) pour leurs remarques pertinentes qui m'ont été très utiles pour l'interprétation des lames minces.

Je remercie également le personnel du laboratoire de géologie qui a contribué par leur gentillesse et leur professionnalisme à la réalisation de ce travail. Je tiens particulièrement à remercier M. HADJMAHAMMED M directeur du laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques et son équipe pour leur soutien financier.

Un grand merci à tous les étudiants qui ont permis que ces deux années se déroulent dans la bonne humeur et ont contribué par nos discussions et rires à la réussite de ce travail et au tissage de liens d'amitié. Alors, merci à KADRI. M, HOUARI. I, AKDIM. A, ZATOUT. M...etc.

Mes pensées vont également à toute ma famille et particulièrement à mes parents pour leur soutien et leur encouragement permanent.

Je réserve enfin le meilleur remerciement à mon mari, qui m'a bien sur beaucoup aidé mais surtout qui m'a supporté et soutenu dans les moments difficiles.

Résumé

L'étude des sols et sédiments anciens fournit des informations sur les changements paléo-environnementaux. Notre approche de changement climatique s'appuie dans le présent travail sur l'étude micromorphologique et minéralogique des formations pédo-sédimentaires de la région de Guerrara (Dayet El Amied). Les investigations ont mises en évidence une alternance de couches limoneuses et sableuses, correspondant probablement à une succession de sédiments hydro-éoliens.

Les sols de Dayet El Amied conservent des traits pédologiques caractéristiques (traits cristallins, texturaux et ferrugineux) indiquant des conditions climatiques instables dans le passé.

Les couches sableuses présentent des teneurs plus élevées en Palygorskite, signifiant ainsi leur accumulation sous un climat plus sec et aride. Par conséquent, les couches limoneuses qui sont plus riches en Halloysite, seraient formées durant les périodes plus humides.

Le Quartz, qui présente l'essentiel des couches sableuses, évolue de façon inverse avec le reste des minéraux composés de calcite et de phyllosilicates. Ce qui ainsi indique deux voies d'apport : éolienne et hydrique. La cratérisation sédimentaire nous a montré que les couches sableuses sont transportées essentiellement par voie éolienne, tandis que les couches limoneuses et le calcaire total sont déplacés par voie hydrique.

Mots clés : Micromorphologie, Paléoclimatique, Alluviaux, Dayet El Amied, Trait pédologique, Palygorskite, Halloysite, Phyllosilicate, Pédogénèse et Pédo-sédimentaire.

Summary

The study of various types of soil and ancient sediments provides information on paleo-environmental changes. In this work, our approach of climate change is based on the micromorphologic and mineralogical study of the pedo-sedimentary formations of the region of Guerrara (Dayet El Amied). Our investigation has highlighted an alternation of loam and sandy layers, probably corresponding to a succession of hydrous and wind sediments.

The soil of Dayet El Amied preserve characteristic pedological features (crystalline features, textural and ferruginous), indicating unstable climatic conditions in the past.

The sandy layers present the more elevated contents of Palygorskite, thus signifying their accumulation under a drier and arid climate. Consequently, the loam layers which are richer in Halloysite, would be formed during the more humid periods.

The Quartz, which presents the main part of sandy layers, evolves in an inversed way, with the rest of minerals, composed of Calcite and Phyllosilicate, what thus indicates two ways of contribution: wind and hydric. The characterization of sedimentary sources have showed us that the sandy layers are transported essentially by wind way. While the loam layers and limestone is rather displaced by hydric way.

Keywords: Micromorphology, Paleoclimate, Alluvial soil, Dayet El Amied, Pedological features, Palygorskite, Halloysite, Phyllosilicate, Pedogenesis and Pedo-sedimentary.

ملخص

إن دراسة التربة والترسبات القديمة تعبر عن تغيرات بيئية قديمة.

واتبعنا في اطار دراستنا للتغيرات المناخية في هذا البحث على الدراسة الميكرومورفولوجية (micromorphologie) والمعدنية (minéralogie) للتشكيلات الرسوبية لمنطقة القرارة (ضاية العميد).

لقد كشفت البحوث المعمقة في هذا المجال على وجود تناوب بين الطبقات السلتية (limoneuse) والرملية (sableuse) مما يدل على وجود سلسلة من الرواسب المائية و الرواسب الناتجة عن الرياح (hydrique et éolienne).

تحتوي تربة ضاية العميد على ملامح بيدولوجية (traits pédologiques) مميزة (ملاح بلورية ,تكوينية و حديدية) مما يفسر الطقس الغير المستقر في الماضي.

و تحتوي الطبقات الرملية على نسبة عالية من الباليكورسكيت (Palygorskite) , هذا ما يبرر تراكمها في مناخ أكثر جفافاً، بينما الطبقات السلتية الغنية بالألوزيت (Halloysite) تكونت خلال فترات مناخية رطبة.

يكون الكوارتز (Quartz) أغلبية التراكمات و يتزايد بصفة مضادة مع بقية المعادن المكونة من الكالسيت (Calcite) و الفيلوسيليكات (Phyllosilicate) مما يدل على وجود منبعين : منبع رياحي و منبع مائي.

ان دراسة منبع التراكمات أوضحت لنا أنّ الطبقات الرملية منبعها رياحي، بينما الطبقات السلتية و الكلسية أصلها المنبع المائي.

الكلمات المفتاحية: الميكرومورفولوجية، المناخ القديم، التربة الغروية، الضاية العميد، الملاح البيدولوجية، الباليكورسكيت، الألوزيت، الفيلوسيليكات، التراكمات القديمة.

Table des figures



Figure I.01 : Processus d'évolution du sol alluvial peu altéré et peu humifère	5
Figure I.02 : Evolution des sols alluviaux en bordure de rivières. (Duchaufour, 1977)	5
Figure I.03 : Les sols alluviaux dans la classification française (CPCS, 1967)	6
Figure I.04 : Les sols alluviaux dans la classification américaine (U.S.D.A.1998)	7
Figure II.01 : Situation géographique de la région de Dayet El Amied	11
Figure II.02 : Coupe hydrogéologique transversale du CI (UNESCO, 1972)	14
Figure II.03 : Coupe hydrogéologique transversale du CT (UNESCO, 1972)	15
Figure II.04 : Carte géologique régionale du Sahara (OSS, 2003)	18
Figure II.05 : Colonne lithostratigraphique synthétique du Sahara Nord-Est	21
Figure II.06 : Carte et coupe géologique de la région de Guerrara.....	24
Figure III.01: Schéma des carottes prélevées dans la coupe AG	29
Figure III.02: Diagramme de classification détaillée des textures.....	31
Figure III.03 : Démarche d'analyse géochimiques et microscopiques des échantillons...	34
Figure IV.01 : Colonne lithologique de la coupe AG de Dayet El Amied (Guerrara).....	38
Figure IV.02 : Indice de classement en fonction de la profondeur dans la coupe AG	42
Figure IV.03 : Indice d'asymétrie en fonction de la profondeur dans la coupe AG	42
Figure IV.04 : planche photographiques des grains de quartz	43
Figure IV.05 : Analyse du calcaire total en fonction de la profondeur	44
Figure VI.01 : La variation des concentrations des éléments majeurs le long de la coupe AG (Dayet El Amied	64
Figure VI.02 : Relation entre Si et le Sable.....	66
Figure VI.03 : Relation entre Si et le limon	66
Figure VI.04 : évolution du calcium et du calcaire total en fonction de la profondeur ...	67
Figure VI.05 : Variation de la radioactivité en fonction de la profondeur dans le puits AG	70
Figure VI.06 : Variation du rapport ($\text{Th}^{232}/\text{U}^{238}$) dans la coupe AG.....	71
Figure VI.07 : Age des épisodes humides - Coupe AG	74

Table des photos



Photo III.01 : Terrain expérimental de Dayet El Ameid (Guerrara).....	26
Photo III.02 : Vue d'une buse et son ouverture latérale.....	27
Photo III.03 : Mesures et Prélèvements	27
Photo III.04 : Echantillons non perturbés pour la fabrication de lames minces.....	28
Photo III.05 : Description morphologique de chaque horizon de la coupe AG.....	30
Photo V.01 : Revêtement en croissant, l'argile est concentrée autour d'un nodule calcitique.	58
Photo V.02 : Remplissage des vides par les grains de quartz.....	58
Photo V.03 : Cavités partiellement remplies de grains de quartz..	58
Photo V.04 : Revêtement cutanique autour d'un nodule calcaire	58
Photo V.05 : Concentration d'oxydes à l'intérieur du fond matriciel.....	58
Photo V.06 : Intercalations limono-argileuses	58
Photo V.07 : Limite nette entre deux lits différents et remplissage des vides.....	59
Photo V.08 : Revêtements ferrugineux autour d'un nodule calcaire	59
Photo V.09 : L'oxyde de fer en abondance sous forme des petites taches opaque.....	59
Photo V.10 : Revêtements cutaniques (Siltanes) sur les grains de quartz	59
Photo V.11 : Concrétion argileuse de forme allongée, fortement orienté et fissuré.....	59
Photo V.12 : Un trait pédologique : un siltane de vide	59
Photo V.13 : Illuviation d'argile, limite nette entre deux couches différentes.....	60
Photo V.14 : Pédoreliques calcaires de forme arrondie horizon L11B de quartz.....	60
Photo V.15 : Revêtements argileux microlités. C : trait calcitique.....	60
Photo V.16 : Intercalations argileuses, revêtements calcitiques blanchâtres autour des vides	60
Photo V.17 : Les fissures qui traversent la structure sont colmatées par matériel fin	60
Photo V.18 : Nodules ferrugineux	60

Table des tableaux



Tableau II.01 : Données climatiques de la région de Ghardaïa, période (1994 - 2004) ...	17
Tableau IV.01 : Les analyses granulométriques et analytiques de la coupe AG.....	45
Tableau V.01 : Les principaux caractères micromorphologiques de la coupe AG.....	51
Tableau VI.01 : Importance semi-quantitative des phases cristallines dans la coupe.....	63
Tableau VI.02 : Corrélation entre les éléments de l'analyse chimique totale	65
Tableau VI.03 : Tableau récapitulatif des analyses chimiques de la coupe AG.....	69
Tableau VI.04 : La variation des éléments radioactifs en fonction de la profondeur.....	72
Tableau VI.05 : Datation des sédiments alluviaux par ¹⁴C	73

ANNEXE



Figure A.01: Spectres de diffraction de la fraction fine des sédiments
Figure A.02 : Relation des éléments majeurs avec la concentration de silice du sol
Figure A.03 : Relation entre la concentration des éléments majeurs
Tableau A.01 : Données des indices de classement (S_0)
Tableau A.02 : Données des indices d'asymétries (S_k)
Tableau A.03 : Tableau récapitulatif des analyses chimiques effectuées sur les 29 échantillons de la coupe AG

Liste des abréviations



T_{min} : température minimale

T_{max} : température maximale

T_{moy} : température moyenne

S₀ : indice de classement

S_k : indice d'asymétrie

LPA : lumière polarisée analysée

LPNA : lumière polarisée non analysée

EDXRF: energy dispersive x-ray fluorescence spectrometry

DRX : diffraction des rayons X

ASM : accélérateur couplé à un spectromètre de masse

Sommaire



Dédicaces

Remerciements

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des Photos

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre I. Généralité Sur Les Sols Alluviaux</i>	4
<i>Chapitre II. Présentation de la région d'étude</i>	10
<i>Chapitre III. Matériels et Méthodes</i>	25
<i>Chapitre IV. Etude Morphologique & Sédimentologique</i>	35
<i>Chapitre V. Etude micromorphologique</i>	46
<i>Chapitre VI. Etude géochimique</i>	61
<i>Conclusions générales</i>	76
<i>Bibliographie</i>	79
<i>Annexes</i>	

Table des matières

Introduction	1
---------------------------	----------

CHAPITRE I : Généralités Sur Les Sols Alluviaux

I-1 : Généralité	4
I-2 : Evolution des sols alluviaux.....	5
I-3 : Classification des sols alluviaux.....	6
I-3-1 : Classification française (CPCS, 1967)	6
I-3-2 : Le référentiel pédologique (AFES, 1995).....	7
I-3-3 : La classification américaine ou soil taxonomy (U.S.D.A, 1998)	7
I-3-4 : Classification de la F.A.O	8
I-4 : La répartition des sols alluviaux	8
I-4-1 : Dans le monde	8
I-4-2 : Dans les zone arides	8
I-4-3 : En Algerie	8

CHAPITRE II : Présentation De La Zone D'Etude

II-1 : Introduction	10
II-2 : La situation géographique	10
II-3 : Cadre géomorphologique	11
II-3-1 : Les formations structurales	11
II-3-2 : Formation des versants	12
II-3-3 : Formations superficielles	12
II-3-4 : L'encroutement	13
II-4 : Contexte hydrogéologique	13
II-4-1 : L'hydrogéologie locale	13
II-4-1-1 : La nappe du continental intercalaire	14
II-4-1-2 : Le complexe terminal	14

II-4-1-3 : Nappe phréatique	15
II-5 : Contexte climatique.....	15
II-5-1 : Pluviométrie	16
II-5-2 : Température	16
II-5-3: Humidité relative de l'air	16
II-5-4 : Le Vent	16
II-5-5 : Durée d'insolation.....	16
II-5-6 : Evaporation	17
II-6: Classification climatique.....	17
II-7: Cadre géologique régional	18
II-8: Tectonique	22
II-9: Cadre géologique local	22

CHAPITRE III: Matériels & Méthodes

III-1 : Introduction.....	25
III-2 : Présentation de site d'étude	25
III-2-1 : Choix de la zone d'étude	25
III-2-2 : La réalisation du puits (AG).....	26
III-3 : Méthodes et matériels utilisés	28
III-3-1 : Sur le terrain	28
III-3-1-1 : Prélèvements	28
III-3-1-2 : Description morphologique	29
III-3-1-3: Radioactivité.....	30
III-3-2 : Au laboratoire	30
III-3-2-1 : Préparations des lames minces.....	30
III-3-2-2 : Méthode d'approche micromorphologique.....	30
III-3-2-3 : Analyse granulométrique	30
III-3-2-4 : Analyse analytique de la coupe AG	32
III-3-2-4-1: Calcaire total	32
III-3-2-4-2: pH	32
III-3-2-4-3 : Conductivité électrique.....	32
III-3-2-5: Etude Diffractométrique des rayons X	32
III-3-2-5-1 : Technique d'analyse	32

III-3-2-6 : Analyse chimique des éléments majeurs par EDXRF	33
III-3-2-6-1 : Technique d'analyse	33
III-3-2-7 : Carbone ¹⁴ C	34

CHAPITRE IV: Etude Morphologique & Sédimentologique

IV-1 : Introduction	35
IV-2 : Description morphologique de la coupe AG	35
IV-2-1 : Discussion sur la morphologie de la coupe AG	39
IV-3 : Caractères sédimentologiques et analytiques de la coupe AG.....	40
IV-3-1 : Analyse granulométriques	40
IV-3-1-1: Indice de classement S ₀	40
IV-3-1-2 : Indice d'asymétrie Sk	41
IV-3-1-3 : Interprétation des résultats	41
IV-3-2 : Analyse morphoscopique	42
IV-3-3 : L'analyse du calcaire total.....	44
IV-3-4 : pH	44
IV-3-5 : Conductivité électrique	44

CHAPITRE V: Etude Micromorphologique

V-1 : Introduction.....	46
V-2 : Description micromorphologique de la coupe AG	46
V-3 : Discussion sur la micromorphologie	53
V-3-1 : Les traits pédologiques.....	54
V-3-1-1 : Traits cristallins.....	54
V-3-1-2 : Traits texturaux.....	55
V-3-1-3 : Traits ferrugineux	56
V-4 : Les planches Photographies.....	58

CHAPITRE VI: Etude Minéralogique & Géochimique

VI-1 : Introduction	61
VI-2 : Composition minéralogique	61
VI-3 : Analyse chimique totale (Eléments majeurs)	64
VI-3-1 : Relation entre les éléments majeurs.....	65
VI-3-2 : Variation de la teneur en Si	65
VI-3-2-1 : Relation entre le Si et la granulométrie	65
VI-3-3 : Variation de la teneur en Ca	66
VI-3-4 : Variation de la teneur en Fe	67
VI-3-5 : Variation de la teneur en K	68
VI-3-6 : Variation de la teneur en Ti et Mn	68
VI-4 : La radioactivité.....	70
VI-4-1 : Rapport ^{232}Th / ^{238}U	71
VI-5: Datation des sédiments alluviaux par ^{14}C	73
VI-6: Conclusion	75
Conclusion générale	76
Bibliographie.....	79
Annexe	

Introduction générale

Introduction Générale

Dans le monde, les sols alluviaux occupent approximativement 356 million d'hectares (F.A.O, 1993). La recherche sur ces sols n'est pas aussi vaste que l'on pourrait s'attendre, vue la grande proportion de secteurs arides et semi arides occupés par eux (F.A.O, 1990). Mais à partir de la fin des années 1970, l'intérêt porté à l'étude de ces sols a considérablement augmenté (Halitim, 1988 ; Brimhall, 1991; Hamdi-Aissa, 1995 ; McCarthy *et al.*, 1998 ; Fedoroff et Courty, 2002 ; Candy, 2003 ; Bronger, 2003; Djili, 2004 ; Messen, 2004).

Ces études ont porté essentiellement sur les problèmes d'analyses physiques (granulométrie, teneur en eau,...etc) et chimiques (solution du sol, capacité d'échange cationique) (Rognon, 1980 ; Hamdi-Aissa, 2001 ; Hacini, 2007). En revanche, l'approche microscopique n'a connu de véritable développement que très récemment (Halitim et Robert, 1987; Hamdi-Aissa, 2001; Cremaschi *et al.*, 1998 ; Kemp, 1999; Youcef, 2006 ; Aouam, 2007).

Il est généralement admis qu'un sol est un système qui tend spontanément vers un état "d'équilibre" avec son environnement (Ruellan, 1971 ; Chesworth, 1973 ; Duchaufour et Souchier, 1977 ; Pedro, 1987). En conséquence, tout changement dans l'environnement du sol modifie son comportement (Pedro, 1987), c'est-à-dire les processus pédogénétiques, et donc les traits pédologiques qui lui sont associés.

Très tôt, les contraintes de changement climatique ont été reconnues comme entraînant des modifications importantes de l'environnement du sol (Laveuf, 2009).

Le système sol à une capacité de stocker des informations sur les facteurs de sa formation pendant la pédogenèse. Ce concept est connu comme étant la « mémoire du sol » (Targulian et Goryachkin, 2004). Dokuchaev fût le premier à postuler que les sols ont la mémoire de leur histoire et de leur genèse. Ce postulat a ensuite été formalisé par ses successeurs selon la formule "facteurs → processus → traits", schématisant qu'un trait pédologique est la mémoire du processus pédogénétique qui l'a créé, et des principales caractéristiques environnementales au cours de la pédogenèse (Yaalon, 1971). C'est sur ce constat, sans doute, le plus important en pédologie que s'appuient les pédologues pour retracer l'histoire d'un sol.

Les sols contiennent souvent la seule preuve des conditions locales pour une période de temps géologique (Catt, 1991). Cependant, l'interprétation d'un enregistrement «mémoire du sol» n'est pas simple et les méthodes sont limitées.

Les propriétés du sol sont liées aux facteurs environnementaux à travers des processus complexes de la pédogenèse. Et ces facteurs évoluent à la fois pendant et après la pédogenèse (Retallack, 1990 ; Kemp, 2001).

L'objectif du présent travail est de montrer l'apport de la micromorphologie et de la minéralogie dans la reconstitution des événements climatiques passés dans les sols alluviaux de la région de Guerrara. Notre préoccupation à travers cette étude était d'une part de comprendre les phénomènes naturels de sédimentation qui aboutissent à des dépôts finement stratifiés, et d'autre part de définir des caractéristiques minéralogiques.

L'étude de cette sédimentation est susceptible de nous apporter des informations sur l'histoire du climat, combler le manque flagrant en données climatiques et fournir des données relatives à la succession lithologique, et à sa composition chimique.

L'apport des techniques de la micromorphologie et de la minéralogie revêt ici un rôle essentiel dans l'appréhension des processus pédo-sédimentaires en vigueur lors de la sédimentation.

Le présent travail rentre dans le cadre du programme national de recherche (PNR) qui s'intitule « ALLUVSOL : les sols des milieux alluvionnaires en zone sahariennes : inventaire, organisation spatiale, qualité des sols et approche paléo-écologique », mené par le laboratoire de recherche Biogéochimie des milieux désertiques (Université de Ouargla).

Organisation de l'étude

L'étude est organisée en deux grandes parties. **La première partie** s'intéressant à la synthèse bibliographique, est divisée en deux chapitres.

- **Chapitre I** : présente des généralités sur les sols alluviaux.
- **Chapitre II** : est consacré à la présentation du contexte géologique et climatique de la région d'étude.

La deuxième partie est consacrée à l'étude expérimentale. Il s'agit de la caractérisation des processus pédo-sédimentaires par une étude micromorphologique et minéralogique des sols alluviaux. Pour cela, plusieurs échantillons seront prélevés et analysés au laboratoire.

Elle comporte quatre chapitres :

- **Chapitre III** : est réservé aux prélèvements réalisés et aux expérimentations mises en place.
- **Chapitre IV** : il a été axé sur l'interprétation des résultats de l'étude morphologique réalisée en 2006, par une équipe pluridisciplinaire, dans le cadre du projet de recherche « DAYACLIM », ainsi que des données granulométriques du paléo rivage du Guerrara.
- **Chapitre V** : ce chapitre repose surtout sur l'analyse microscopique des sédiments. Le but est d'affiner l'interprétation paléo-environnementale enregistrée dans les sédiments.
- **Chapitre VI** : s'intéresse à l'étude minéralogique et géochimique des éléments majeurs (Si, Fe, K, Ti, Mn, Ca).

Enfin une conclusion générale.

Chapitre I
Généralité sur les sols
alluviaux

I.1 Généralité

Les sols alluviaux appartiennent au groupe des sols peu évolués d'apport alluvial (CPCS, 1967), ils sont des sols azonaux de type AC. Ils se distinguent par leur position géomorphologique, leur origine et leur régime hydrique.

Les sols alluviaux constituent les dépôts récents des vallées où ils occupent le « lit majeur » très souvent inondé des rivières. Ils sont caractérisés par la présence d'une nappe phréatique qui circule, et n'est donc pas réductrice mais subit de fortes oscillations saisonnières.

Les sols alluviaux ont des caractères particuliers : absence de structure, grande porosité, bonne aération superficielle, absence de différenciation du profil et texture hétérogène (CPCS, 1967).

Sur le plan de leur texture, de leur composition minéralogique, et de leur degré d'altération, les sols alluviaux ont essentiellement la composition et la propriété de matériau transporté. Or, celles-ci sont extrêmement variables et reflètent d'une part les circonstances de l'alluvionnement (vitesse du courant en particulier) d'autre part les conditions géomorphologiques et géologiques des régions traversées.

C'est ainsi que les sols alluviaux peuvent être calcaires, acides, sableux, limoneux, argileux, peu altérés (sols alluviaux « gris ») ou au contraire altérés et assez riches en fer (sol alluviaux brunifiés) (Duchaufour, 1977).

Cependant, les sols alluviaux, si hétérogène qu'ils soient, ont en commun certaines propriétés liées surtout à leur régime hydrique (Duchaufour, 1977) :

- Présence constante d'une nappe phréatique permanente à forte oscillation : cette nappe étant renouvelée constamment et pauvre en matière organique ;
- Hétérogénéité fréquente de texture et de granulométrie ;
- Humification généralement activée par les conditions favorables de l'humidité du sol ;
- Brunification des sols alluviaux en climat tempéré, et qui sont relativement riches en argiles et en fer libre.

I.2 Evolution des sols alluviaux

Les apports alluvionnaires plus ou moins fréquents freinent l'évolution des sols alluviaux, et provoquent le rajeunissement du profil, cependant beaucoup de sols alluviaux manifestent une évolution plus ou moins marquée vers d'autres types de sol, soit par l'interruption des apports, soit par abaissement de la nappe ou modification de son potentiel d'oxydoréduction par de fortes oscillations (Duchaufour, 1977) (figure I.01 et figure I.02).

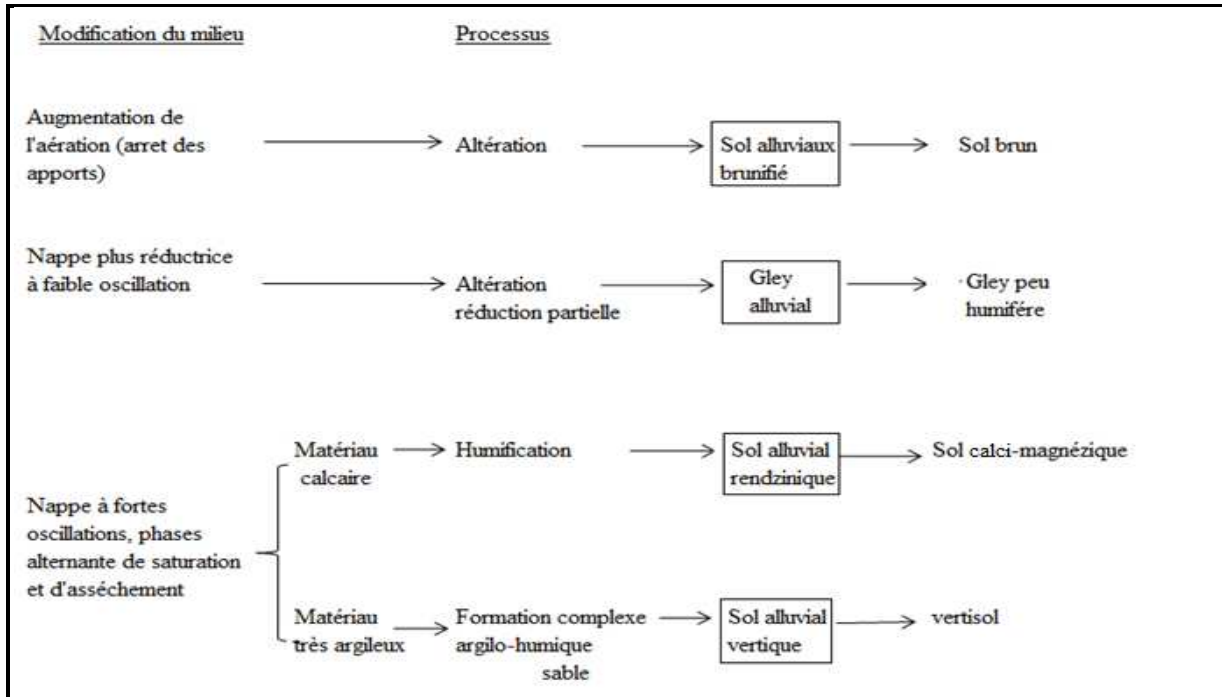


Figure I.01 : Processus d'évolution du sol alluvial peu altéré et peu humifère (Duchaufour, 1977)

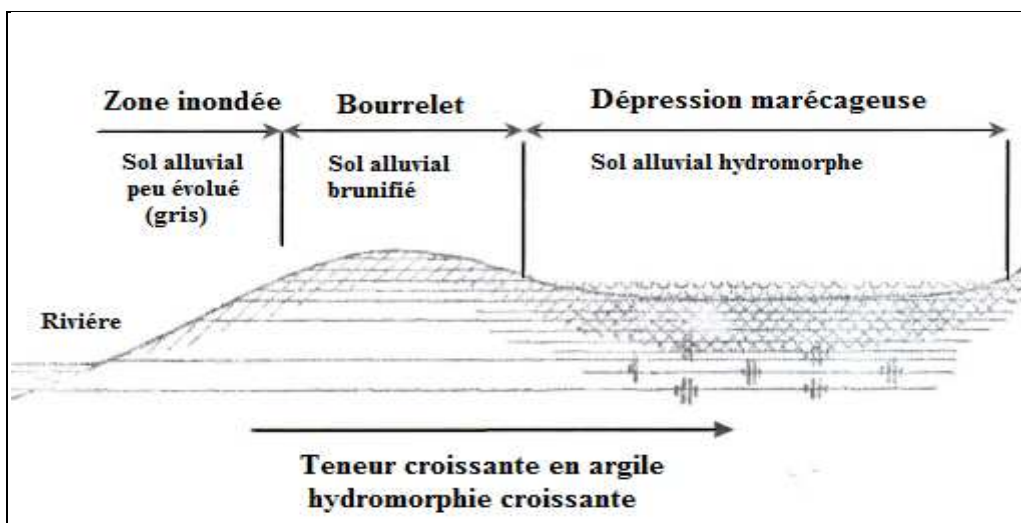


Figure I.02 : Evolution des sols alluviaux en bordure de rivière (Duchaufour, 1977)

I.3 Classification des sols alluviaux

I.3.1 Classification française (CPCS, 1967)

Dans ce type de classification, les sols alluviaux sont subdivisés en deux groupes (figure I.03) :

1) Sols alluviaux à faible évolution hydromorphe

- sols alluviaux peu humifères ;
 - Sols alluviaux gris (peu évolués) : deux variétés, acide ou calcaire ;
 - Sols alluviaux brunifiés : deux variétés, acide ou calcaires.
- Sols alluviaux humifères :
 - Sols alluviaux rendziniques à mull calcaire;
 - Sols alluviaux chernozemiques ou vertiques.

2) Sols alluviaux hydromorphes

- Sols alluviaux peu humifères, à gley ;
- Sols alluviaux tourbeux ou à anmoor.

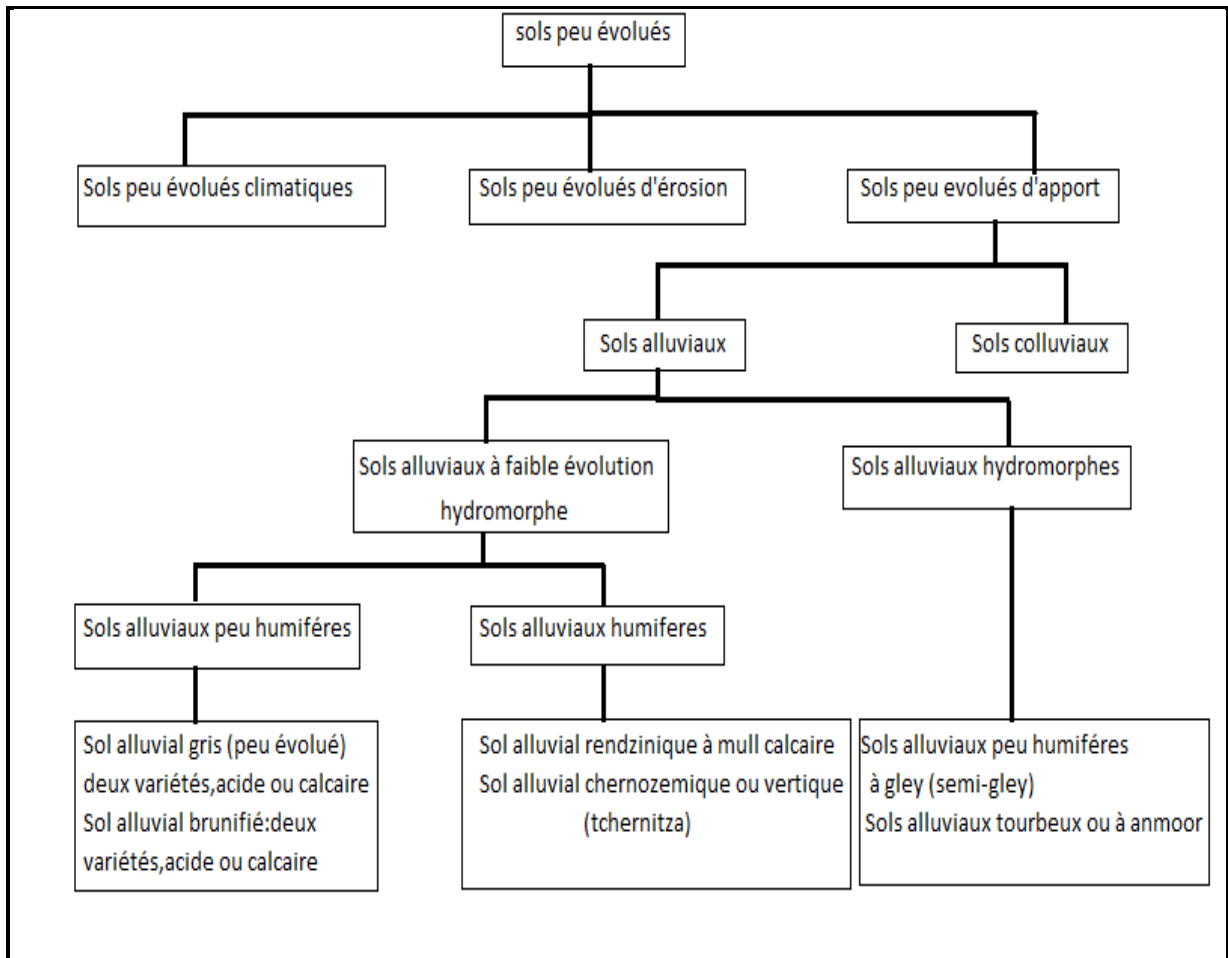


Figure I.03: Les sols alluviaux dans la classification Française (CPCS, 1967)

I.3.2 Le référentiel pédologique

Les sols alluviaux dans ce référentiel pédologique (AFES, 1995) sont rattachés à la grande référence des fluviolsols, qui n'ont pas d'horizons de référence spécifique. Il regroupe trois références: fluviolsols bruts, typiques et brunifiés. Suivant leur degré d'évolution, les sols développés de matériaux alluviaux fluviatiles peuvent être rattachés à d'autres catégories de référence à savoir : Aréolsols, Vertisols, Pélosols, Brunisols, Plansols...etc.

I.3.3 La classification américaine ou soil taxonomy (U.S.D.A, 1998)

Cette classification est basée sur l'identification des horizons diagnostics où les sols alluviaux sont classés comme suit (figure I.04):

Torrifluents----- Torride (chaud et sec)

Tropofluents-----Tropical (chaud et humide)

Udifluents-----Humide (humide la majorité de l'année)

Ustifluents-----Semi-aride (entre Udic-Aridic)

Xerofluents-----Semi-aride (climat méditerranéen).

D'après Halitim (1988), les sols alluviaux des zones arides de l'Algérie sont rattachés aux grands groupes de Torrifluents et Ustifluents de la soil taxonomy.

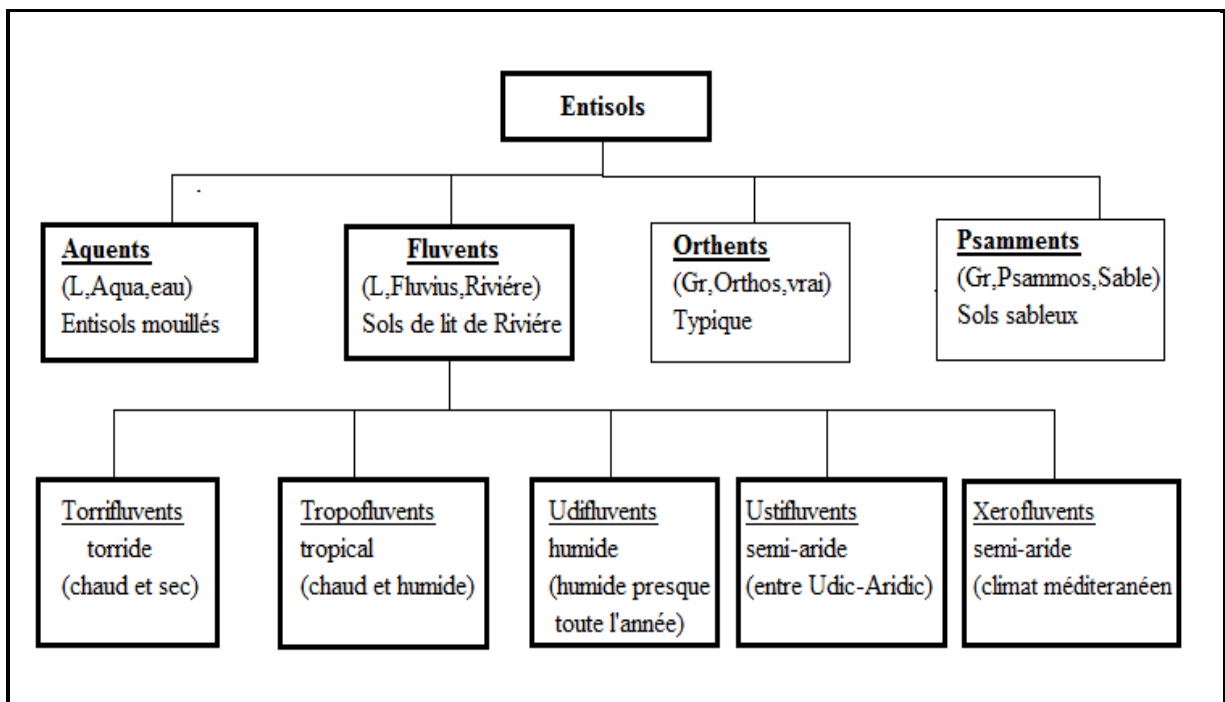


Figure I.04: Les sols alluviaux dans la classification américaine (U.S.D.A, 1998)

I.3.4 Classification de la F.A.O

C'est une classification plus proche de la classification américaine dans la mesure où elle utilise la même notion d'horizon diagnostique fondamental. De ce fait, et suivant les caractéristiques des sols alluviaux, nous pouvons trouver certains d'entre eux rattachés à l'unité des Fluvisols, d'autres rattachés à l'unité des Vertisols (F.A.O, 1998).

I.4 La répartition des sols alluviaux**I.4.1 Dans le monde**

Selon la FAO (1993), les sols alluviaux sont très répandus dans le monde. Leur surface totale est estimée à plus de 356 millions d'hectares. L'Afrique possède 98 million d'hectares de sols alluviaux, notamment dans les vallées de Chari, Niger, Sénégal et Nil.

I.4.2 Dans les zones arides

Les sols alluviaux des zones arides sont ceux des sols des lits d'oued et de leurs zones d'épandage. Les apports sont très limités dans le temps par la rareté de pluies d'intensité suffisante, et par la quantité des écoulements qui n'intéressent souvent que quelques tronçons du bassin ou de fond des Dayas (Dutil, 1971; Cooke *et al.*, 1993).

Les produits entraînés vers les points bas sont constitués principalement par des sables fins, une partie de limon et très peu d'argile. Souvent, dans les oueds il ne s'agit que d'un remaniement interne des dépôts de leur lit, se traduisant par un transfert en un autre point en aval du bassin. Les produits accumulés sont généralement des sables fins sans cohésion.

Par ailleurs on peut constater des remaniements superficiels des matériaux argileux. Dans ce cas, les produits remaniés par l'eau donnent naissance à une organisation se traduisant par une forte polygonation. Ce phénomène est une conséquence de la dessiccation amorçant la formation d'un réseau de fentes de retrait. Selon Toutain (1979), ces terres sont riches en éléments minéraux notamment en potassium, phosphore et calcium.

I.4.3 En Algérie

Selon Djili (2004), en Algérie plusieurs travaux ont été réalisés sur l'étude des sols alluviaux, à savoir l'étude de Boulaine (1957) sur les sols des plaines de Chelif, Dutil (1971) sur les sols et les paléosols du Sahara, Pouget (1980) sur les steppes sud algéroises, Halitim (1988) sur les sols des régions arides, Dadi Bouhoun (1997) sur l'évolution de la salinité des

sols alluviaux du M'zab, Djili (2004), Youcef (2006) et Aouam (2007) sur les aspects analytique et morphologique des sols alluviaux en zones arides (cas de la Dayet El Amied), et Khadraoui (2010) sur l'aspect minéralogique et micromorphologique des sols alluviaux de dayat Mrara.... etc.

Chapitre II
Présentation de la
région d'étude

II.1 Introduction

L'objet de ce chapitre est la présentation du contexte global de la région étudiée en prenant compte des données géographiques, hydrologiques, géomorphologiques et climatiques. Le résultat de cette synthèse bibliographique est présenté dans ce qui suit.

II.2 La situation géographique

La zone d'étude est localisée dans la région de Guerrara (figure II.01), située à environ 120 Km au nord-est de Ghardaïa, chef lieu de la wilaya du même nom. Le site étudié se situe dans la partie inférieure de oued Zgrir, dans une cuvette inondable appelée Dayet El Amied qui recouvre une superficie de 2 Km².

Le site d'El Amied est situé à 32° 46' 27'' N et 4° 32' 26'' E, n'est pas un paléolac mais plutôt un paléo-rivage qui s'est formé après un effondrement karstique suivi d'une érosion et régression (Messen *et al.*, 2007). Il s'étale sur les alluvions d'oued Zgrir.

Il est limité :

Au nord par la route de Ghardaïa et quelques collines ;

A l'est par une ancienne palmeraie et une digue de 1000 m de longueur ;

Au sud par des formations dunaires, des buttes témoins (Gara) et des sols du Mio-pliocène ;

A l'ouest par les glaciaires du Mio-pliocène (Hacini *et al.*, 2007).

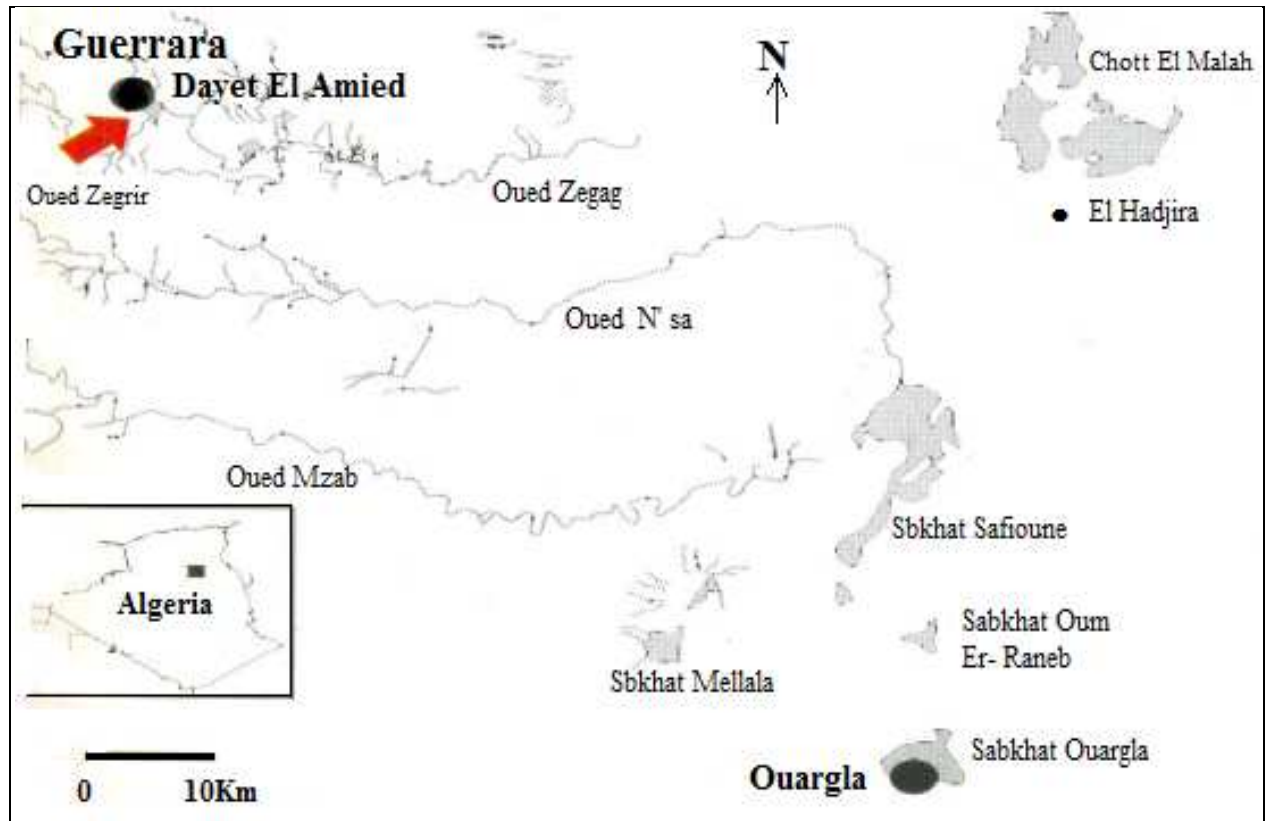


Figure II.01 : Situation géographique de la région de Dayet El Amied (Guerrara)

II.3 Cadre géomorphologique

Selon Ville 1872 (in Djili, 2004), les terrains de la région de Guerrara sont dénudés, par une forte érosion fluviale qui a entaillé les plateaux du Pliocène continental. Ils sont par la suite remodelés par l'érosion éolienne.

Le travail réalisé par Aiteur et Hamdani (2006) sur la géomorphologie de la région d'étude a permis de constater la présence de plusieurs unités géomorphologiques, à savoir :

II.3.1 Formations structurales

- **Hamadas** : plateau structural défini par des calcaires gréseux et des grés. il se réduit en deux dalles hamadienne légèrement inclinées vers le sud-est, ces dernières se terminent par des fronts aux talus entaillés dans des grés gypseux en pente forte et très tendues surplombés par des corniches abruptes. Ces dalles sont à une dénivellation de 75 m sur une distance qui varie de 2 à 3 Km.

- **Garas (battes témoins)**: plateaux tabulaires isolés par l'érosion et couronnés par une table de roche dure (Capot-Rey *et al.*, 1969). La plaine de Daya El Amied est limitée au sud

et au sud - est par une série de Garas. Ces dernières sont façonnées par le fonctionnement du réseau hydrographique.

- **Dayas** : on appelle Daya le point le plus bas d'un bassin fermé. Le terme est plus scientifiquement appliqué aux dépressions de faibles dimensions pouvant varier d'un à quelques dizaines d'hectares, que l'on trouve un peu partout en milieu aride ou saharien (Dutil, 1971 ; Cooke *et al.*, 1993).

On peut aussi considérer les Dayas comme étant des points bas qui réservent de grandes quantités d'eau qui s'infiltreront assez rapidement dans la formation géologique sous-jacente. Ces eaux contiennent des particules minérales en suspension qui constituent un alluvionnement fin composé, principalement de sable et de limon. Elles offrent ainsi le caractère de sédiments récents qui reposent sur un substratum perméable (Dutil, 1971).

Les Dayas les plus reconnus dans la région de Guerrara sont :

- Les Dayas isolées sur le plateau et le glacis.
- Les Dayas liées au réseau d'oued Zegrir comme zones d'épandage fermées (Dayet Ben feilah à l'est de Guerrara), ou possédant un exutoire prolongeant ainsi le lit d'oued (Dayet El Amied).

II.3.2 Formations des versants

- **Glacis** : selon Ville 1872 (in Djili, 2004), le versant nord de la grande dépression de Guerrara présente deux niveaux d'étage de Glacis (glacis de terrasse). il se caractérise par l'affleurement du substratum gréseux de Mio-pliocène. Ce dernier est caractérisé par des sables et des graviers gréseux.

- **Cônes d'éboulis** : il s'agit des éboulis de pente qui ont subi le phénomène de gélifraction et de thermoclastisme qui les ont ameublés, le ruissellement à son tour leur a conféré un aspect de cône d'éboulis complexe. Le remplissage est essentiellement sablo-limoneux issu des formations gréseuses. l'aire d'alimentation en eau de Dayet Hadjou est très restreinte tandis que Dayet Ben Feileh reçoit directement les écoulements de l'oued Zgrir.

II.3.3 Formations superficielles

- **Glacis supérieurs** : les formations sont essentiellement sablo-limoneuses à graveleuses. Elles sont tapissées de couverture caillouteuse qui leur confère un aspect de

Reg. L'épaisseur est considérable tandis que la couleur est blanche pale comme elle parait sur l'image satellite. Ce qu'est dû aux cailloutis calcaires.

- **Glacis du golf de Guerrara (Amied)** : les formations dépassent 14 m d'épaisseur avec une couleur rougeâtre. La texture est sablo-limoneuse et les surfaces sont légèrement parsemées de nodules de grés, mise à part les glacis de Drin qui marquent une formation sablo-limoneuse mêlée de gypse poudreux.

II.3.4 L'encroutement

- **Croûtes grésocalcaires** : elles sont situées au nord de la palmeraie de Guerrara et également à Saguiet El Djanain. Elles apparaissent sous la forme de dépôts béchiques constitués de nodules de calcaires. Elles sont d'une épaisseur variant de quelques centimètres à 1 mètre en aval des glacis supérieurs de Ras Echaabe.

- **Croûtes gypseuses** : elles se trouvent au dessous des dépôts sableux entrecroisés et grésifiés. Elles sont de couleur beige claire à l'affleurement, blanchâtre en coupe. On outre elles sont assez compactées à leurs parties supérieures, mais souvent pulvérulentes en dessous. L'épaisseur de la formation varie de 25 cm à Saguiet El Djanain au nord et 1m à Dayet ben Feileh au sud-est.

II.4 Contexte hydrogéologique

Le Sahara qui se trouve actuellement au cœur de la ceinture des hautes pressions subtropicale est caractérisé par une aridité accrue et par un paysage désertique.

Cependant, des études hydrogéologiques montrent que le Sahara renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines. Ces réserves qui ne peuvent pas être expliquées par le climat actuel, sont à la base du développement agricole et urbain dans cette zone.

Le climat du Sahara n'a donc toujours pas été semblable à celui qu'on connaît actuellement. Pendant le Quaternaire, des conditions climatiques plus humides étaient observés, Ces dernières sont la cause des stocks d'eau qu'on constate dans nos jour.

II.4.1 L'hydrogéologie locale

Sur le plan hydrogéologique, la région de Guerrara est riche en ressources hydriques souterraines. Les études de Cornet *et al.* (1952) ; Guendouz (1985) ont mis en évidence la présence de deux nappes souterraines : celle du continental intercalaire et celle du complexe terminal qui comprend à son tour trois grandes nappes.

II.4.1.1 La nappe du continental intercalaire (CI)

Elle est formée par des formations grés-argileuses, et exploitée à des profondeurs de 250 à 1000 m. L'écoulement de cette nappe se fait de l'ouest à l'est. La recharge du continental intercalaire se fait indirectement par les pluies au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident sud atlasique (ANRH, 1999) (figure II.02).

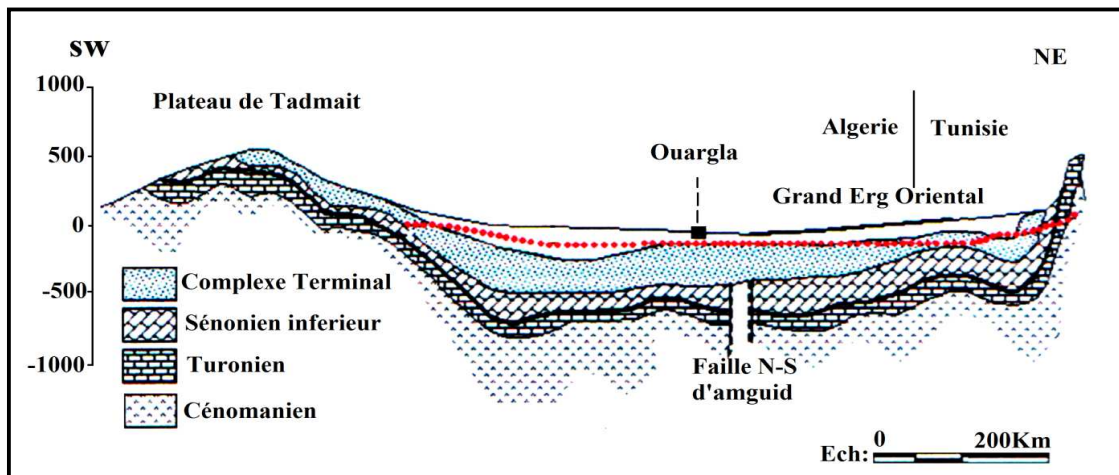
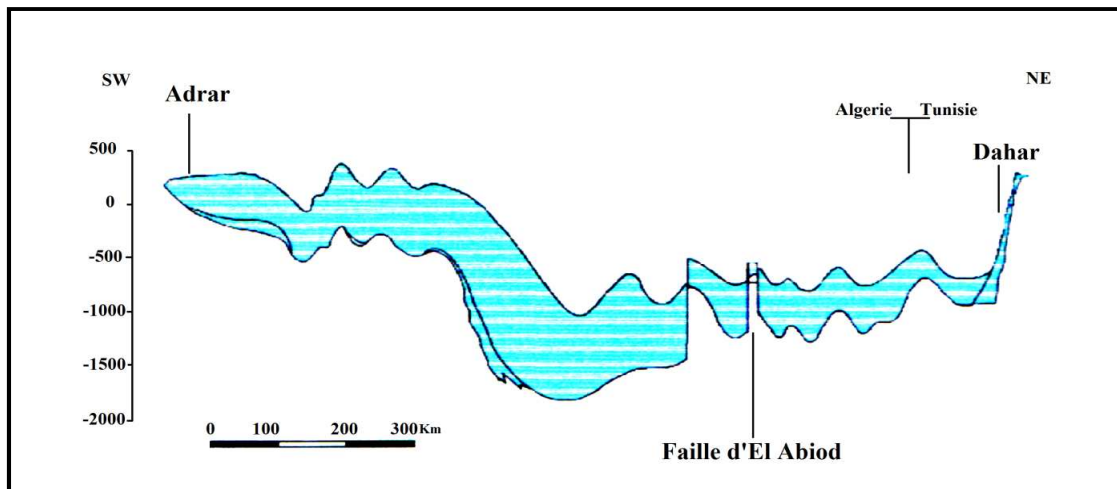


Figure II.02 : Coupe hydrogéologique transversale du continental intercalaire (CI)
(UNESCO, 1972)

II.4.1.2 Le complexe terminal

Est un ensemble assez peu homogène. Il inclue des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970 ; Fabre, 1976). Dans notre secteur d'étude, le complexe terminal est caractérisé par les aquifères de Mio-pliocène, de l'Eocène, du Sénonien carbonaté et du Turonien carbonaté (figure II.03).



**Figure II.03 : Coupe hydrogéologique transversale du complexe terminal (CT)
(UNESCO, 1972)**

II.4.1.3 Nappe phréatique

La nappe superficielle de Guerrara est une nappe d'oued où l'alimentation se fait suivant les cycles des crues d'oued Zgrir. Au début, avant 1951 (date de création du premier forage Albien), l'oasis de Guerrara vivait uniquement de cette nappe, artificiellement gonflée par un petit barrage « garde-crue ». Dans les années de sécheresse, elle peut être exploitée sur une période maximale de cinq ans avec un usage uniquement agricole. Au-delà de cette période, les puits de profondeur variant de 15 à 35 m, seront secs. Actuellement, le niveau piézométrique est toujours élevé, car l'agriculture exploite très peu cette nappe (Cornet *et al.*, 1952).

II.5 Contexte climatique

Le climat saharien est caractérisé notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations, une luminosité intense, une forte évaporation et des températures élevées.

La température moyenne annuelle est de l'ordre de 25°C, avec des étés chauds et des hivers froids. Les pluies se caractérisent par leurs grandes variabilités interannuelles. Ces conditions désertiques extrêmes influent sur l'hydrographie saharienne. En conséquence, le maigre couvert végétal qui subsiste développe des stratégies d'adaptation.

II.5.1 Pluviométrie

Les précipitations constituent un des paramètres les plus importants du bilan hydrologique. Pour caractériser les précipitations, nous avons jugé utile de prendre les données météorologiques de la station de Ghardaïa. Ces dernières s'échelonnent sur une période de 10 années d'observation (1994 - 2004).

Les données recueillies sur cette station sont résumées dans le tableau (II.01)

L'analyse de la répartition annuelle des précipitations montre une faiblesse et une hétérogénéité dans la distribution de la pluie au cours de l'année. Cette distribution pluviométrique est typique du climat saharien (Thierry et Matari, 1998).

II.5.2 Température

Les températures moyennes mensuelles au cours de la période 1994 - 2004 montrent que la région de Ghardaïa est caractérisée par un climat saharien aride. Les températures sont très élevées en été puisque la moyenne des mois les plus chauds (juillet et août) dépasse les 30 °C. Cependant, elles sont basses en hiver car la température du mois le plus froid (janvier) est inférieure à 12 °C.

II.5.3 Humidité relative de l'air

L'humidité est faible au cours de l'année. Elle est généralement comprise entre 25 % et 35% pendant l'été et s'élève parfois à 60 % aux mois de décembre et janvier.

II.5.4 Le Vent

Le vent est l'un des éléments caractéristiques du climat car il régit l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. Les résultats des moyennes de la vitesse du vent enregistré au niveau de la station de Ghardaïa sont représentés dans le tableau (II.01).

L'exploitation des données montre que la vitesse du vent la plus élevée est relevée au mois d'avril et la plus faible au mois d'août.

II.5.5 Durée d'insolation

La région de Ghardaïa reçoit une quantité de lumière solaire très forte durant toute l'année (Toutain, 1979). Le maximum est atteint au mois de juin avec une durée moyenne de 347 heures, tandis que le minimum est enregistré au mois de février avec une durée de 188 heures.

II.5.6 Evaporation

Selon Dubief (1959), le Sahara apparait comme une région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée. Les données du tableau (II.01) montrent des valeurs très importantes car le cumul annuel est de 2757,6 mm. Le maximum est enregistré aux mois de Juin et août avec une moyenne de 408,6 mm. Alors que Le minimum est enregistré durant le mois de janvier (114 mm).

II.6 Classification climatique

La région de Dayet El Ameid, est une zone où la pluviométrie est faible et l'évaporation est élevée. Selon De Martonne et Thornthwaite (1948), cette région est classée en zone semi-aride.

Tableau II.01: Données climatiques de la région de Ghardaïa, période (1994 - 2004) (O.N.M 2005)

Mois	Précipitation (mm)	Températures			Humidité (%)	Vent (m/s)	Insolation (Heure)	Evaporation (mm)
		Tmin C°	Tmax C°	Tmoy C°				
Janvier	10,19	5,93	17,02	11,47	54,6	3,5	246,59	114,4
Février	2,52	7,78	19,65	13,71	48,57	3,9	188,15	124,7
Mars	9,23	10,89	23,83	17,36	43,53	4,4	266,42	170,7
Avril	10,39	14,17	27,15	20,66	38,57	4,6	296,22	237,7
Mai	2,06	19,38	32,78	26,08	31,13	4,2	324,46	286,9
Juin	1,24	24,39	38,16	31,28	26,93	4,1	347,85	355,4
Juillet	0,81	26,54	40,84	33,69	22,23	3,8	342,22	408,6
Août	5,52	27,15	40,59	33,87	25,6	3,3	346,63	380,5
Septembre	13,75	22,54	34,76	28,65	35,7	3,6	283,74	263,9
Octobre	8,63	17,2	28,84	23,02	43,33	3,3	226,00	197,00
Novembre	7,72	10,69	21,7	16,20	57,67	3,3	237,89	115,6
Décembre	7,13	6,73	17,73	12,23	59,53	3,4	235,07	102,3
Moyenne	*79,19	16,12	28,59	22,35	40,61	3,51	278,44	*2757,6

* Cumul annuel

II.7 Cadre géologique régional

Dans cette partie, nous allons exposer une synthèse des travaux de nombreux auteurs qui ont publié des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, parmi eux nous citons les plus célèbres: Busson (1970) et Fabre (1976).

La région de Guerrara fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional (figure II.04) dont les grands traits de la géologie sont :

Au sud de l'occident sud atlasique, le bouclier précambrien est formé de terrains éruptifs, plissés et métamorphosés par des milliers de mètres de sédiments allant du Cambrien jusqu'au Quaternaire. Le Paléozoïque du Sahara correspond à des dépôts du climat désertique périglaciaire (Fabre, 1976).

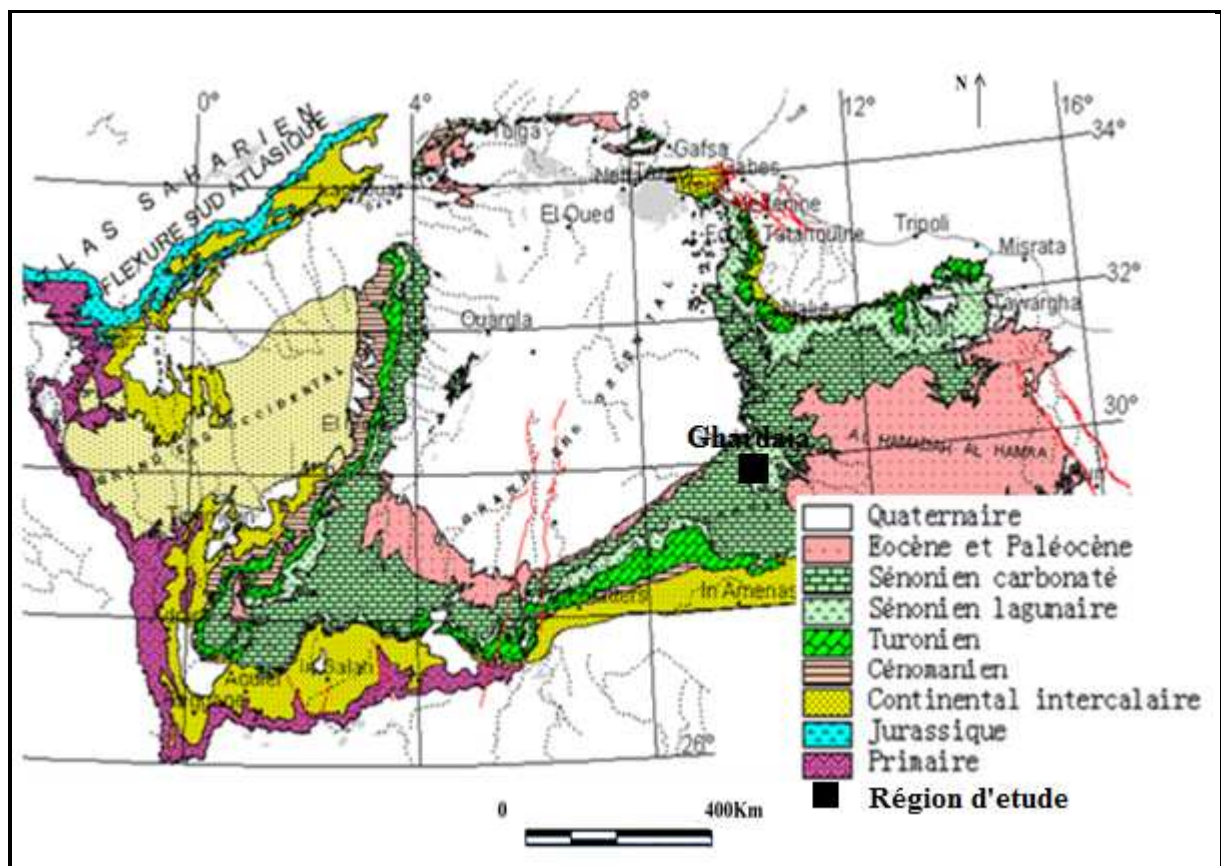


Figure II.04: Carte géologique régionale du Sahara (OSS, 2003)

Autour des affleurements du socle s'étagent des couches gréseuses et schisteuses des Tassilis. Les mouvements hercyniens du Périmo-Carbonifère vont provoquer l'érosion du bouclier. Il s'installe alors une grande période continentale avec pénéplation post-hercynienne (pendant le Trias et le Jurassique) et formation d'un manteau de grés, de sable et d'argile qui va constituer le « Continental Intercalaire » (Fabre, 1976) (figure II.05).

➤ **Trias** : divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui peuvent être :

- Salifères ;
- argilo-gréseuses ;
- carbonatées.

L'épaisseur de ces différentes formations varie principalement là où s'intercale des bancs salifères.

L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le nord-ouest (150 – 180 m). Elle diminue dans les zones des hauts - fonds (Hassi Messaoud et R. El Baguel).

Le Trias salifère présente une grande épaisseur : 700 m au nord - est de Ghadamès et 1300 m à Hassi Messaoud (Busson, 1972).

➤ **Jurassique** :

- **Jurassique inférieur** : comprend principalement des couches évaporitiques constituées essentiellement de sel, d'anhydrite et d'argile auxquelles se superposent des couches franchement marines et qui se présentent sous forme de calcaires et d'argiles.

- **Jurassique moyen** : caractérisé par une transgression couvrant tout le bassin du grand erg oriental.

- **Jurassique supérieur** : caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieux confinés (Busson, 1972).

➤ **Crétacé** : il est constitué par des couches terrigènes fluvio-deltaïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur. Il comprend, en partant des formations les plus anciennes:

- **Néocomien** : comprend des argiles rouges et vertes avec l'anhydrite. Elles sont surmontées par une alternance de dolomies et d'argiles.

- **Barrémien** : ces formations se présentent sous forme de grés fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar).

- **Aptien** : il est représenté par 20 à 30 m en moyenne de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignites.

- **Albien** : cet étage regroupe la masse des sables et d'argiles, comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sus-jacent attribué au Cénomaniens. On remarque que le

changement de régime sédimentaire et l'arrivée en masse des sédiments détritiques se sont produits entre le Néocomien et le Barrémien et se sont poursuivis au cours de l'Albien (Fabre, 1976).

- **Cénomaniens** : il est formé par une alternance de bancs de dolomies, de calcaires dolomitiques, d'argiles et évaporites (Bel et Cuche, 1969).

- **Turonien** : il se présente sous trois faciès différents du sud au nord :

Au sud du parallèle d'El Golea, il est calcaro - marneux ;

Entre El Golea et Djamaa, il est essentiellement calcaire ;

Au Nord de Djamaa, il est à nouveau calcaro - marneux.

Son épaisseur moyenne varie entre 50 à 100 m. Elle augmente cependant dans la région des chotts où elle dépasse les 300 m (Bel et Cuche, 1969).

- **Sénonien** : il s'individualise en deux faciès :

- Sénonien inférieur à sédimentation lagunaire caractérisée par des formations argileuses et salifères à anhydrites. Il est très peu perméable (Busson, 1970).

- Sénonien supérieur (Sénonien carbonaté) se présente par des formations carbonatées perméables.

- **Eocène** : on distingue deux ensembles différents du point de vue lithologique à sa base :

- Eocène carbonaté : formé par des dolomies et des calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes.

- Eocène évaporitique : formé par une alternance de calcaire, d'anhydrite et de marnes.

- **Mio-Plio-Quaternaire** : il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec des gypses. Dans le bas du Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme des séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental Terminal (Mio-Pliocène). On identifie dans la région d'oued Rig deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu.

L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de la sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes et des chotts (Busson, 1970).

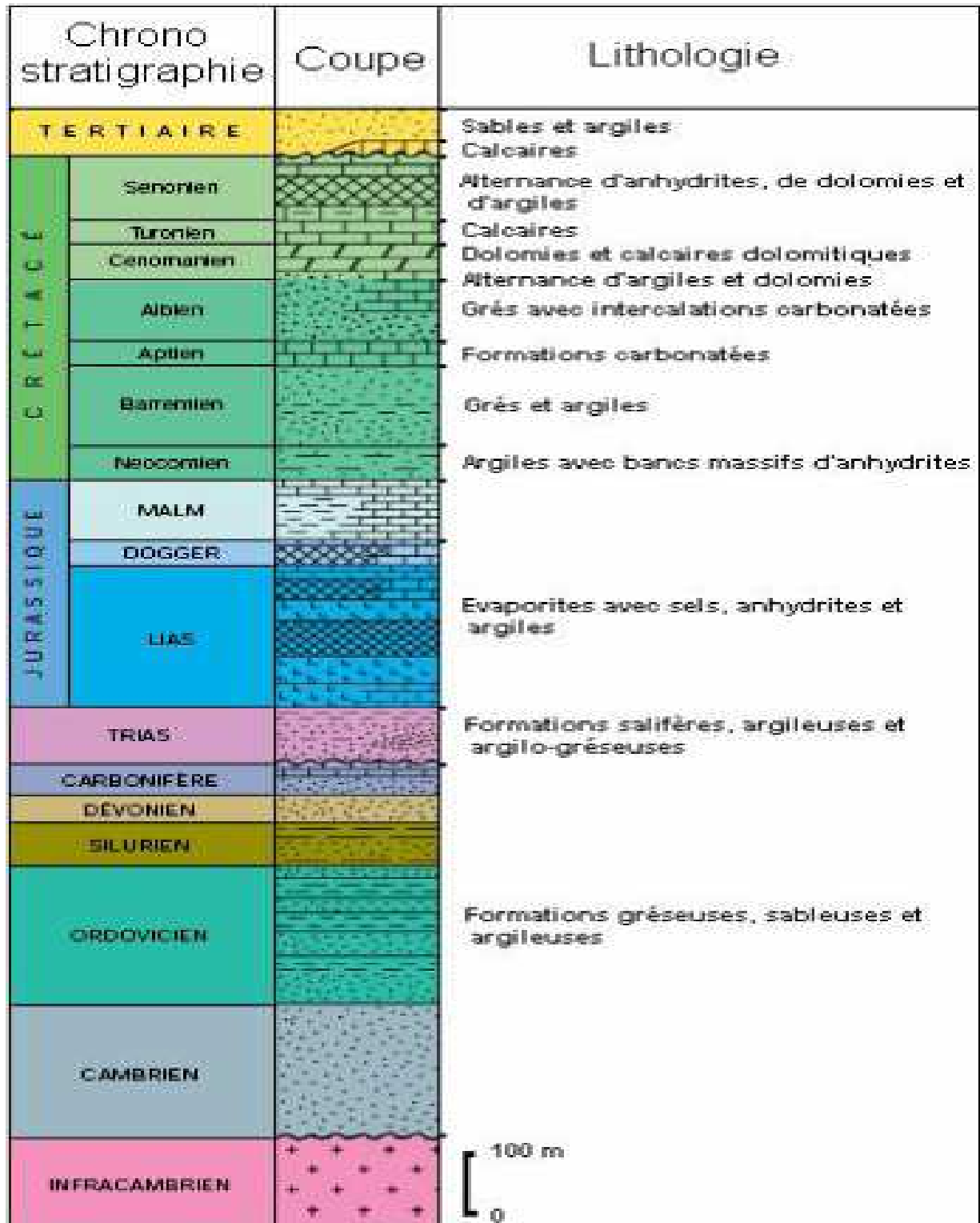


Figure II.05 : Colonne litho-stratigraphique synthétique du Sahara nord-est Septentrional (Document SH/EXP. Géologie d'Algérie)

II.8 Tectonique

Durant le Secondaire, la partie centrale du Sahara septentrional a subi des mouvements verticaux d'ensemble qui se sont traduits par un effondrement progressif.

Au début du Crétacé, cet affaissement est comblé par un dépôt lagunaire accusant au centre de la cuvette des épaisseurs considérables. Le mouvement de descente se poursuit très lentement pendant le Turonien et une partie du Sénonien. Les deux étages présentent des épaisseurs et des facies peu variables sur toute l'étendue de la cuvette saharienne (Boudjema, 1987).

A l'Eocène moyen, réapparaît un dépôt lagunaire qui correspond au comblement définitif de la cuvette saharienne. Par la suite, les mouvements dans cette dernière se sont traduits par : un exhaussement d'ensemble suivi d'un mouvement de descente qui a débuté au Miocène, et qui dure encore actuellement. Ce mouvement de descente correspond à la sédimentation continentale du Mio-Pliocène et du Quaternaire (Boudjema, 1987).

Une phase orogénique plus récente datant de la fin du Pliocène engendre des plissements dans la région saharienne qui se sont traduits par le bombement qui plonge dans sa partie orientale sous les chotts (Busson, 1970).

D'après les travaux géologiques menés en 1972 dans la région, ils semblent que les mouvements tectoniques dans le Sahara septentrional soient assez anciens. Puisque ils sont datés du Secondaire et du Tertiaire. Ces mouvements sont traduits par la mise en place de grandes ondulations.

Durant l'ère Quaternaire des oscillations importantes se sont produites expliquant ainsi la présence des chotts et des reliefs du bas Sahara (Fabre, 1969).

II.9 Cadre géologique local

Une vue d'ensemble de la carte géologique à l'échelle 1/500.000^{ème} et la coupe géologique ouest-est de la région d'étude, permet de distinguer quatre formations géologiques principales rencontrées dans la région de Guerrara (figure II.06).

➤ **Crétacé supérieur**

La carte géologique du sud algérien, montre l'existence d'une double dalle de nature calcaro-dolomitique renfermant un contenu fossilifère composé essentiellement de coquilles marines. Cette double dalle est datée du Crétacé supérieur et occupe la zone de Bel Bouaicha au nord-est de Guerrara. La nature des sédiments observés correspond à une période de transgression marine qui a affecté le Sahara durant cette période (Fabre, 1976).

➤ **Néogène**

La dépression de Guerrara est creusée dans un dépôt du continental terminal daté du Pontien qu'est localement équivalent au Miocène continental anti-Pontien. Le dépôt est tant connu sous le nom du Mio-pliocène, et constitué de formations détritiques récentes qui occupent les dépressions de l'Atlas saharien et qui s'étendent largement au sud. Ces formations sont rattachées au Miocène supérieur et au Pliocène sans que l'on puisse établir une discrimination exacte.

➤ **Pliocène continental**

Constitue tout le reste des terrains tertiaires. Ce sont des dépôts lacustres, à fortes étendues, formées de calcaire blanchâtre qui correspond à une carapace hamadienne plus au moins continue et plus au moins épaisse. D'une manière générale, cette formation calcaire avec phénomènes superficiels de corrosion et de décalcification s'étend principalement dans la région des DAYAS (SCG, 1933).

➤ **Quaternaire continental**

Présente des formations sédimentaires spécifiquement sahariennes. Ce sont des alluvions quaternaires et fluviales qui ne se trouvent pas exclusivement dans la vallée de ruissèlement mais remplissent aussi de grandes aires déprimées dans les chaînes plissées de l'Atlas saharien (SCG, 1952).

Les formations géologiques présentes dans la région d'étude ne montrent pas de traces des mouvements tectoniques puissants.

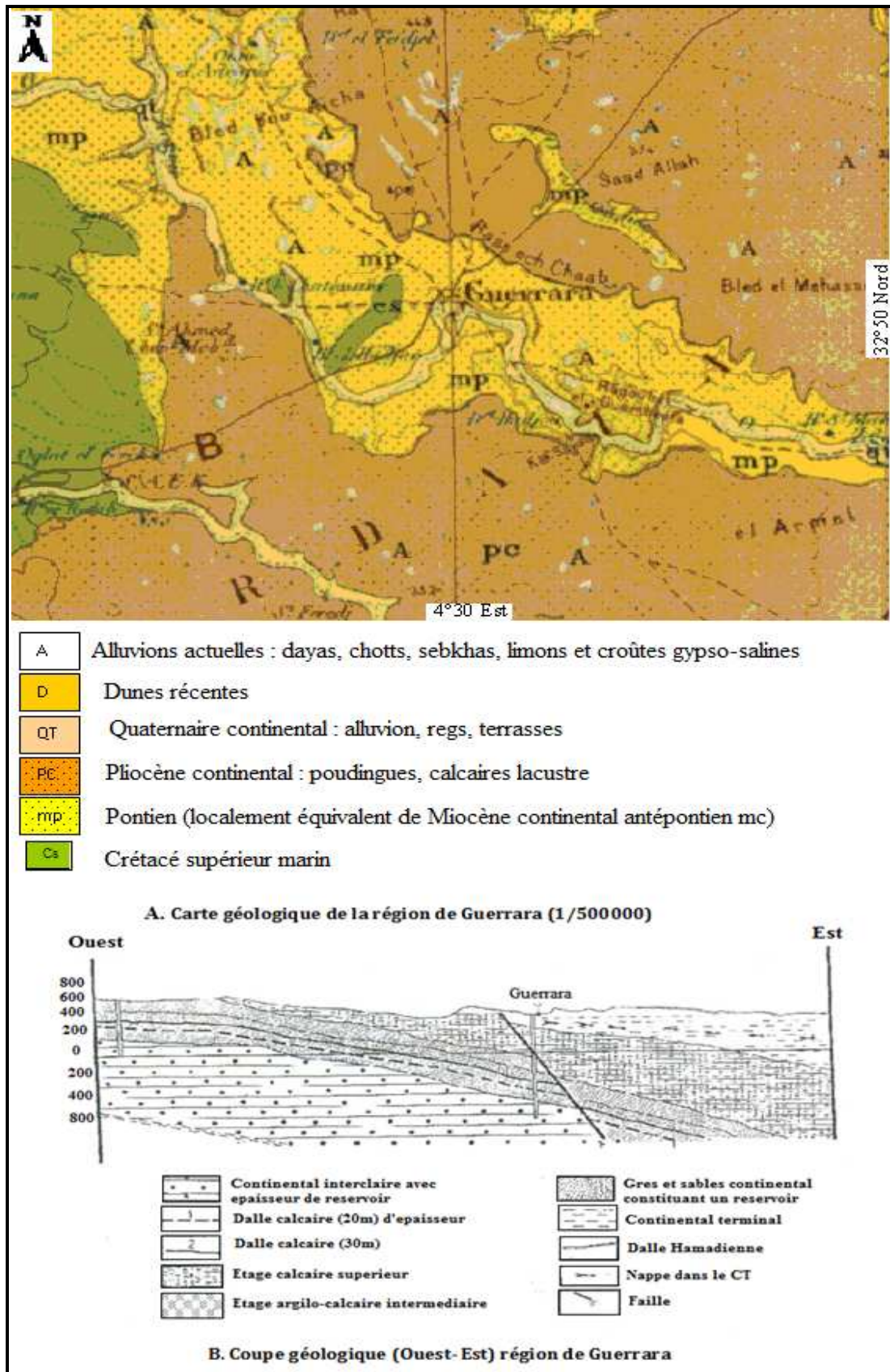


Figure II.06 : Carte et coupe géologique de la région de Guerrara

(D'après S.C.G, 1952 ; Gautier et Gouskov, 1951)

Chapitre III
Matériels & Méthodes

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons l'ensemble des méthodes mises en œuvre dans les différentes approches ; travaux de terrains, description morphologique des horizons, caractérisation micromorphologique et mineralogique des constituants des sols et les méthodes analytiques employées pour leur caractérisation physique et chimique au laboratoire.

III.2 Présentation du site d'étude

III.2.1 Choix de la zone d'étude

Le choix du site de Daya El Amied (Photo III.01) a été proposé dans le cadre du projet de recherche « DAYACLIM » (17/03/01/02/MN, intitulé "Reconstitution des changements climatiques en Afrique du Nord à partir des fluctuations du cycle hydrologique") par une équipe intersectorielle (Le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les régions arides (CRSTRA), Université de Ouargla (Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques et Laboratoire ECOSYSTME), CRNB, CRNA, USTHB et Centre Universitaire Tébessa) et pluridisciplinaire (Géologie, Géomorphologie, Pédologie, Physique,...etc).

Le choix du site a pour but de faire ressortir les changements climatiques à travers les fluctuations du cycle hydrologique dans un bassin sédimentaire du sud algérien ; d'autre part pour:

- Constituer une banque de données sur la pédologie, la géologie, la micromorphologie et l'environnement
- Assurer une datation des épisodes secs et humides enregistrés par les dépôts alluviaux et éoliens dans un bassin sédimentaire, ces dépôts doivent présenter les caractéristiques suivantes (Messen *et al.*, 2004) :
 - L'épaisseur de couche doit être sur une profondeur accessible sans forage en grande profondeur;
 - Dans sa grande partie, le dépôt éolien et le matériel alluvial qui y arrivent y sont bloqués.



Photo III.01 : Terrain expérimental de Dayet El Ameid (Guerrara)

III.2.2 La réalisation du puits (AG)

Dans une première prospection plusieurs coupes ont été effectuées dans les sédiments de Dayet El-Amied (Djili, 2004 ; Youcef, 2006 ; Aouam, 2007 ; Melouah et Bennamia, 2007).

Les profondeurs de ces coupes ne dépassent pas trois mètres environ. Pour détailler l'étude dans cette Daya l'équipe du projet « DAYACLIM » avait opté pour la réalisation de la coupe AG qui est l'objectif de notre étude ; Il s'agit d'une coupe de 12.39 m de profondeur, où le substratum est atteint.

Cette coupe est située en aval de la Daya d'El Amied dans un sol non cultivé, sa situation à coté de l'oued Zgrir et au prés des buttes témoins, lui permet de bénéficier de deux types d'apports, éolien et hydriques (Djilli, 2004 ; Djilli *et al.*, 2006).

Au cours des travaux de cette coupe (coupe AG), et vu la nature du terrain, des buses ont été réalisées par les ateliers du Centre de Recherche Nucléaire de Birine (CRNB) de Aïn Ouessera (Photo III.02).

Leur conception doit permettre :

- Une protection contre l'effondrement des parois ;
- L'introduction des dosimètres dans des ouvertures le long de la coupe.



Photo III.02 : Vue d'une buse et son ouverture latérale

La réalisation de la coupe AG doit nous permettre de :

- Retrouver le long de la séquence les formes les plus diversifiées d'accumulation des argiles, sable et limons ;
- Retrouver dans la coupe les couches développées sur des matériaux de textures différentes et couramment rencontrées en zones arides :
 - Les argiles rouges du Mio-Pliocène;
 - Les apports éoliens et les alluvions.
- Enfin, faire intervenir aux facteurs importants dans le développement du profil (Climat).

Pour chacun des différents horizons rencontrés, l'ensemble des membres de l'équipe intervient. Le pédologue définit la nature des horizons, les géologues et les physiciens assurent les mesures et les prélèvements (Photo III.03).



Photo III.03 : Mesures et Prélèvements

III.3 Méthodes utilisées

III.3.1 Sur le terrain

III.3.1.1 Prélèvements

Durant la campagne d'échantillonnage, réalisée au début 2006 par les membres du projet « DAYACLIM », trente échantillons représentatifs de la coupe AG ont été collectés dans chaque horizon (sans distinction pour les éléments grossiers, excepté les cailloux encombrants dont le diamètre est supérieur à 5cm).

Environ, 2kg de chaque échantillon ont été prélevés manuellement et conditionnés dans des sacs en plastique, codés en fonction du numéro de l'horizon.

Des échantillons non perturbés et orientés ont été aussi prélevés dans la coupe AG de Dayet El Amied (Photo III.04), à partir d'échantillons de sol non remaniés prélevés des horizons AP, S1, L1, S2, L2, S3, L3, S6, L6, S7, L7, S8 et L11A-L11B (figure III.01).



Photo III.04: Echantillons non perturbés et orientés pour la fabrication de lames minces

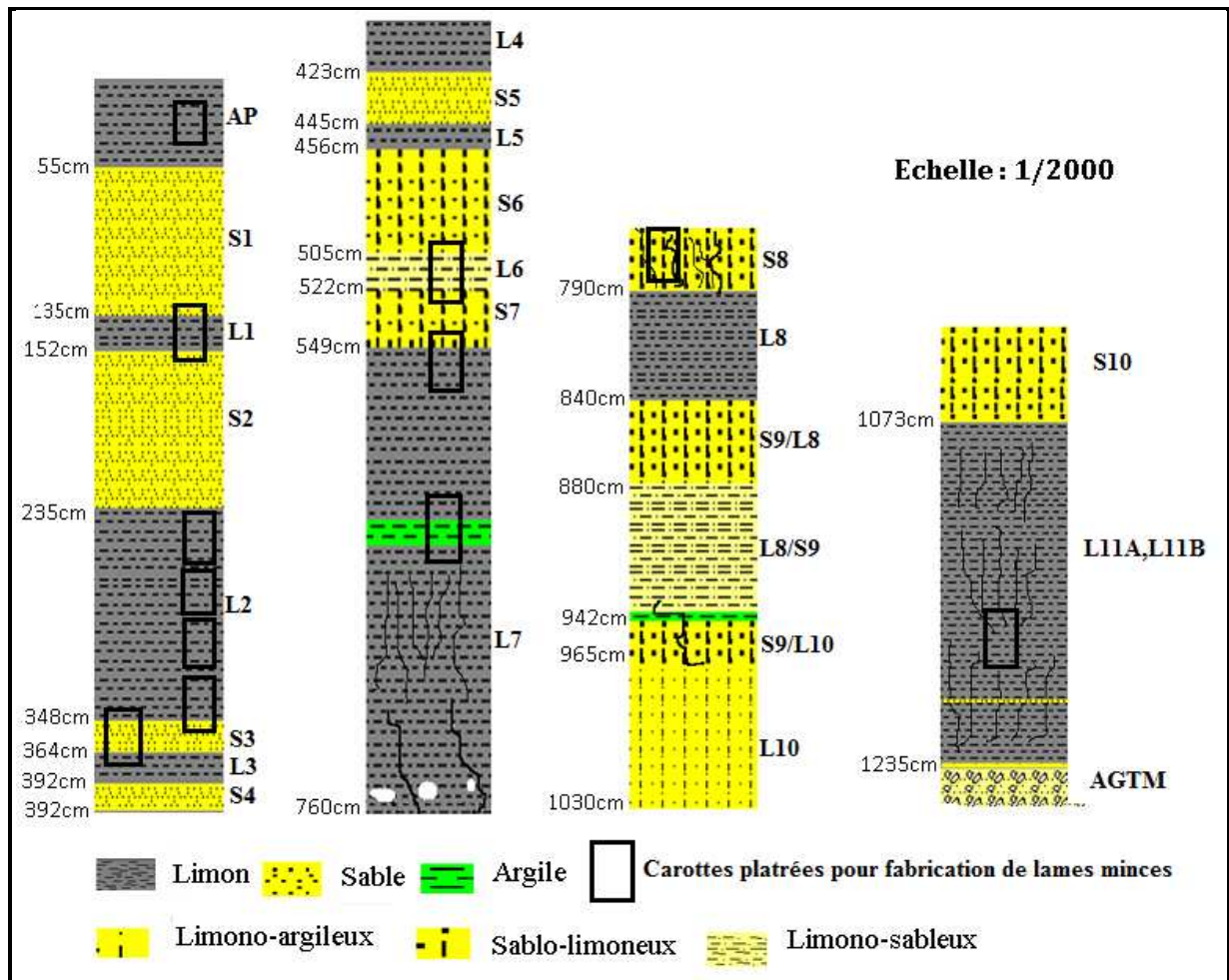


Figure III.01: Schéma des carottes prélevées dans la coupe AG

III.3.1.2 Description morphologique

La description morphologique de chaque horizon de la coupe AG a été faite suivant les recommandations de Baize et Jabiol (1995) ; Maignien (1969) (Photo III.05).

Les critères décrits sont les suivants :

- L'épaisseur de chaque horizon (cm);
- Estimation de la couleur selon le code MUNSELL;
- Appréciation au toucher de la texture;
- Réaction à l' HCl mettant en évidence la présence de calcaires dans la coupe;
- Limite entre les horizons;
- La texture;
- Les éléments grossiers.



Photo III.05 : Description morphologique de chaque horizon de la coupe AG

III.3.1.3 Radioactivité

L'identification et la détermination de ^{40}K et des radionucléides des deux séries de décroissance radioactives naturelles (^{238}U et ^{232}Th) ont été effectuée par le département d'analyse par activation neutronique (DTAN) du Centre de Recherche Nucléaire de Birine (Ain Ouessera) (CRNB).

III.3.2 Au laboratoire

III.3.2.1 Préparations des lames minces

Les échantillons non perturbés ont été imprégné au laboratoire par des résines de type polyester.

Des lames minces de grand format ont été fabriquées suivant la technique de Guilloché (1985) au laboratoire de micromorphologie de l'UER. DMOS de l'INA-PG (Institut National Agronomique Paris - Grignon).

La recherche dans cette continuité verticale des sédiments a été réalisée afin de décrire et interpréter les processus de formation sédimentaires et leurs implications paléo environnementales.

III.3.2.2 Description micromorphologique

Dans le site de Dayet El Amied (Guerrara), nous avons étudié les différentes couches de la coupe AG. La méthode est basée sur les concepts et les méthodes de la micromorphologie des sols de Bullock *et al.* (1985) ; Fedoroff et Courty (1994) ; Stoops (2002).

L'analyse se déroule en quatre étapes essentielles (Fedoroff et Courty, 1994) :

- La caractérisation des vides et du système poral, ainsi que la microstructure ;
- L'analyse de la matrice non différenciée (fraction fine) ;
- Un inventaire, suivi éventuellement d'une analyse de tous les traits et organisations pédologique ;
- Ensuite une synthèse des observations consiste à hiérarchiser les traits pédologiques, c'est-à-dire à les ordonner dans l'ordre de leur fonctionnement en utilisant les principes de la stratigraphie, dont on transpose les lois aux échelles microscopiques.

III.3.2.3 Analyse granulométrique

Cette analyse consiste à séparer les particules du sol au moyen d'une série de tamis normalisés montés en colonne, en plusieurs catégories de grains de diamètres différents et décroissants. L'objectif de la granulométrie est de déterminer la texture en classant par catégorie de diamètre, les particules minérales du sol sur un diagramme des textures (figure III.02).

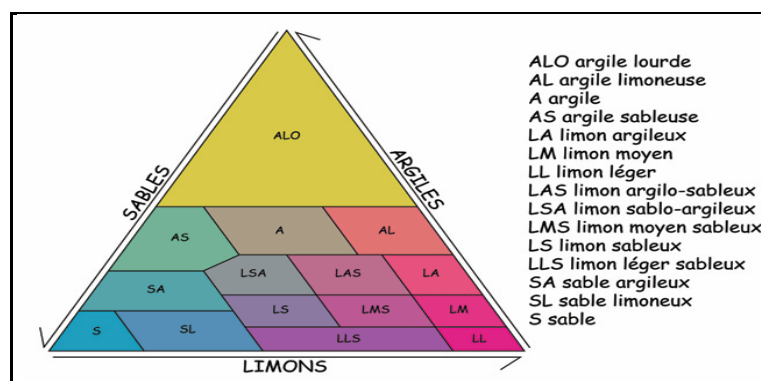


Figure III.02: Diagramme de classification détaillée des textures

(Mathieu et Pieltain, 1998)

III.3.2.4 Etude analytique de la coupe AG**III.3.2.4.1 Calcaire total**

Les mesures s'effectuent avec un calcimètre de Bernard, afin de déterminer la teneur en carbonate de calcium (CaCO_3) des échantillons (Aubert, 1978).

III.3.2.4.2 pH

Il représente l'acidité actuelle, il est mesuré par la voie électrométrique (pH-mètre) par enfoncement d'une électrode, dans une solution (1/5) de sol, après avoir agité pendant une demi-heure (AFNOR, 1999a).

III.3.2.4.3 Conductivité électrique

Mesurée par un conductimètre sur des extraits dont le rapport (terre/eau) est de 1/5 (Aubert, 1978 ; AFNOR, 1999a).

Les résultats de l'étude sédimentologique et analytique sont empruntés du travail réalisé par Garadi et Faradji (2007), dans le cadre du projet de recherche « DAYACLIM ».

III.3.2.5 Etude diffractométrique des rayons X

La minéralogie totale a été effectuée au laboratoire de Caractérisation Post-Irradiation des Matériaux (Département Etudes Mécaniques et Essais sur Matériau du Centre de Recherche Nucléaire de Birine Ain Ouessera).

III.3.2.5.1 Techniques d'analyses

La composition minéralogique des échantillons alluviaux a été déterminée par la diffraction des rayons X (DRX). Ces analyses permettent également de vérifier l'origine des sédiments, et de mettre en lumière les processus d'altérations des minéraux primaires et la néoformation des minéraux secondaires.

Les diffractogrammes de poudres, ont été réalisés à l'aide d'un diffractomètre « X'PERT PRO MPD » de Philips en mode Θ - Θ , utilisant la radiation $\text{Cu } K_{\alpha}$; ($\alpha = 1.54060 \text{ \AA}$) et fonctionnant sous 40 kV, 30 mA. Les diffractogrammes ont été traités par le logiciel Diffracplus D Quant version 2.2.

III.3.2.6 Analyse chimique des éléments majeurs par EDXRF

La préparation de la poudre fine pour 29 échantillons est réalisée dans le laboratoire de Génie civile d'Ouargla. Les échantillons ont tout d'abord été broyés dans un broyeur et tamisés pour récupérer la fraction inférieure à 45µm. La fraction fine a été ensuite analysée par la fluorescence X.

Les analyses chimiques par EDXRF (Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry) ont été réalisées au laboratoire X.R.F du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (C.R.N.A). Elles concernent essentiellement les éléments Si, K, Ca, Ti, Mn, et Fe. Les analyses ont portées sur 29 échantillons (tamisés à 45µm) prélevés sur l'ensemble du profil AG.

III.3.2.6.1 Technique d'analyse

Les analyses chimiques ont été réalisées avec un spectromètre.

Le système de mesure comprend:

- Un détecteur Si (Li) (Un semi - conducteur de silicium dopé au lithium) de marque PGT refroidi à l'azote liquide et dont la résolution mesurée est de 170 eV pour la raie 5,9 keV du ⁵⁶Fe;
- Un tube de rayons X SIEMENS FK 60 - 04 avec anode en molybdène;
- Un générateur SIEMENS-KRITALLOFLEX 710/710H qui alimente le tube par une tension de 45 kV et un courant de 10 mA.
- Un dispositif électronique associé qui permet le dépouillement des spectres de fluorescence X à l'aide d'un programme AXIL (Analyse of X-Ray By Itérative Least Square) offert par l'AIEA, Vienne Autriche.

Les spectres sont caractéristiques de la composition de l'échantillon, en analysant ces spectres, on peut en déduire la composition élémentaire, c'est -à- dire les concentrations massiques en éléments.

III.3.2.7 Carbone ¹⁴C

Les résultats du cadonne ¹⁴C sont impuretés du travail réalisé par Messen *et al.* (2004) dans le cadre du projet « DAYACLIM » sur la « reconstitution des changements climatiques en Afrique du Nord à partir des fluctuations du cycle hydrologique ». La datation ¹⁴C par accélérateur couplé à un spectromètre de masse (AMS) a été effectuée à leibniz labor fur altersbestimmung und isopenforschung Christian-Albrechts, Université Kiel – Allemagne.

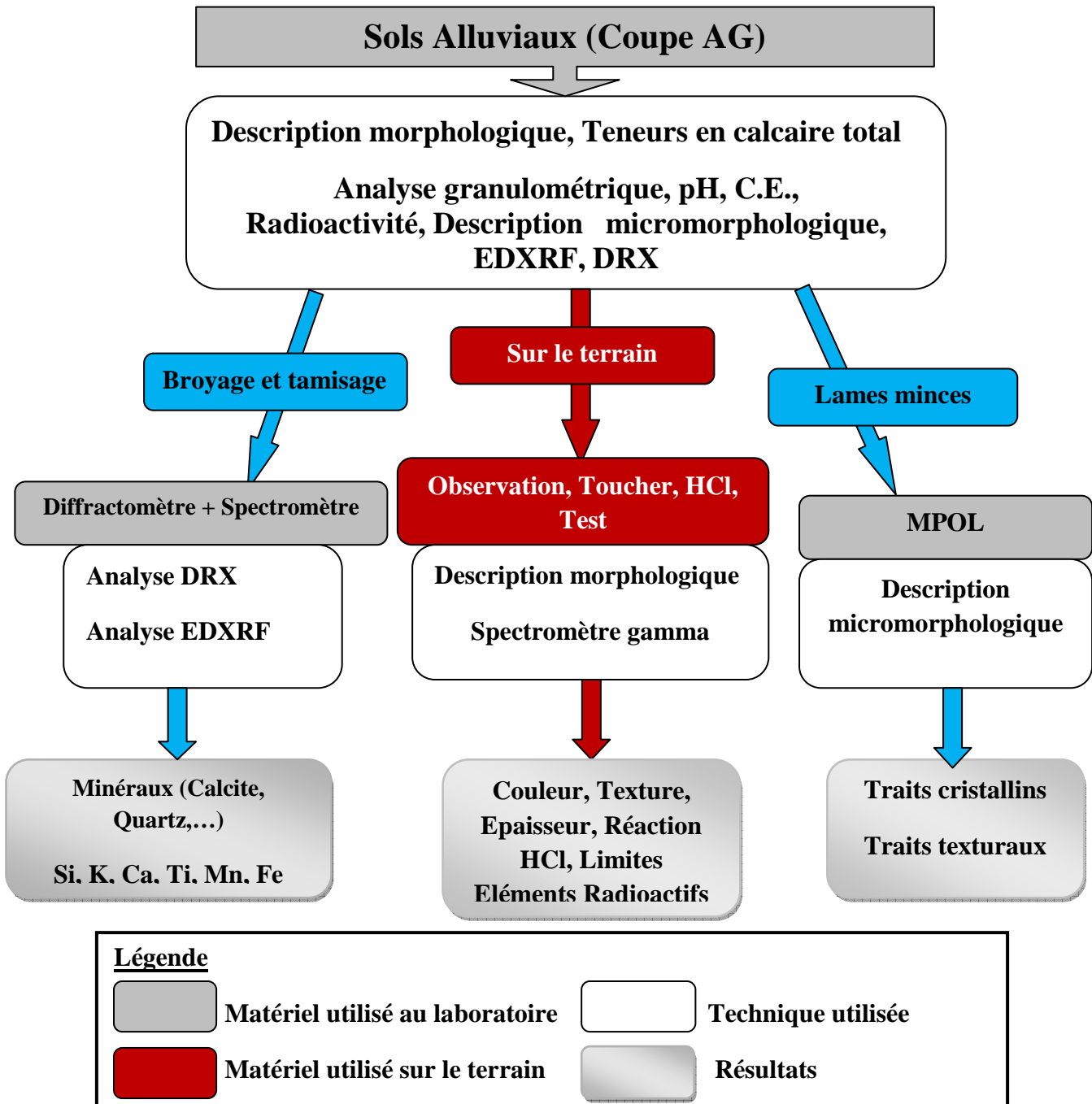


Figure III.03 : Démarche d’analyse géochimiques, minéralogiques et microscopiques des échantillons de sols alluviaux sur le site d’étude de Dayet El Amied (Guerrara)

Chapitre IV
Etude Morphologique
& Sédimentologique

IV.1 Introduction

Dans le but de bien comprendre le fonctionnement et la variabilité du sol alluvial nous montrerons dans ce chapitre les résultats morphologiques et analytiques du paléo rivage de Guerrara (coupe AG) qui sont inspirés des travaux réalisés par une équipe pluridisciplinaire dans le cadre du projet de recherche « DAYACLIM ».

IV.2 Description morphologique de la coupe AG

La coupe AG est située dans le sud - est de Dayet El Amied. Le remplissage représente plus de 12m de sédiments. Il s'agit de l'intercalation de niveaux sablonneux, limoneux et argileux (figure IV.01).

AP (0-55 cm): couche à texture limoneuse, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/3 (light redish Brown), structure peu développée, faible effervescence à l'HCl, la partie supérieure est perturbée par des actions anthropiques.

S1 (55-135 cm) : couche à texture sableuse (sable fin), structure particulaire, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (redish brown), faible effervescence à l'HCl, avec quelques taches (<1%) blanchâtres, de forme arrondie, de diamètres de 1 à 2cm non calcaire, limite diffuse.

L1 (135-152 cm): couche à texture limoneuse, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/4 (redish yellow) avec des stratifications micro-litées dans la partie inférieure, forte effervescence à l'HCl, limite distincte.

S2 (152-235 cm) : couche à texture sableuse (sable fin), structure particulaire, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 8/4 (pink) faible effervescence à l'HCl, avec quelques taches (<1%) blanchâtres, de forme arrondie, de diamètres de 1 à 2cm non calcaire, limite distincte, présence de deux micro horizons à limons et argile de 2 à 3 cm d'épaisseur.

L2 (235-348 cm) : couche à texture limoneuse, structure continue, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 5/6 (strong brown), moyenne effervescence à l'HCl, présence d'un Lit sableux fin de 1cm d'épaisseur et un Lit argilo-limoneux brun foncé de 1cm d'épaisseur.

S3 (348-364 cm) : couche à texture sableuse (sable fin), structure particulaire, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 8/3 (pink) faible effervescence à l'HCl, limite distincte.

L3 (364-381 cm) : Couche à texture limoneuse, structure continue, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 8/3 (pink) moyenne effervescence à l'HCl, limite distincte.

S4 (381-392 cm): couche à texture sableuse (sable fin), structure particulière, frais, couleur à l'état sec 5 YR 6/6 (redish yellow), faible effervescence à l'HCl.

L4 (392-423) : couche à texture limoneuse, structure continue frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (redish brown), forte effervescence à l'HCl.

S5 (423-445 cm) : couche à texture limoneuse, structure continue, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/6 (redish yellow), faible effervescence à l'HCl.

L5 (445-456 cm) : couche à texture limoneuse, structure continue, frais, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/4 (light brown), moyenne effervescence à l'HCl.

S6 (456-505 cm): couche à texture sablo-limoneuse (sable fin), humide, couleur à l'état sec 7,5 YR 5/8 (strong brown) moyenne effervescence à l'HCl, avec des micro-lits limoneux.

L6 (505-522 cm): couche à texture limono-sableuse (sable fin), couleur à l'état sec 5 YR 6/4 (light redish brown), compacte, humide, très forte effervescence à l'HCl, avec un micro-litage argilo-limoneux brun foncé.

S7 (522-549 cm): couche à texture sablo-limoneuse (sable fin), couleur à l'état sec 7,5 YR 6/4 (light brown) humide, moyenne effervescence à l'HCl, avec un micro-litage limoneux brun foncé.

L7 (549-760 cm): couche à texture limoneuse, couleur à l'état sec 5 YR 6/3 (light redish brown), humide, structure continue, très forte effervescence à l'HCl, avec des intercalations de micro-litage sablo-limoneux, Présence d'une Couche argilo-limoneuse de 10 cm, humide, et des Gravieres sub-arrondis de diamètres de 0,5 à 5 cm, blanchâtre de nature gréseuse à gypse et calcaire.

S8 (760-790 cm): couche à texture sablo-limoneuse (sable fin), humide, structure continue, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (redish brown) moyenne effervescence à l'HCl, avec des graviers sub-arrondis de diamètres de 0,5 à 5 cm blanchâtre de nature gréseuse à gypse et calcaire et couvrant moins de 1% du matériau ; des filaments verticaux de migration et de précipitations de matériau fin (limon et argile) sont observés dans les fissures.

L8 (790-840 cm): couche à texture limoneuse, couleur à l'état sec 5 YR 6/3 (light redish brown), humide, structure continue, forte effervescence à l'HCl, limite distincte.

S9/L8 (840-880 cm): couche sablo-limoneuse à dominance de sable, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (redish brown) , humide, structure continue, moyenne effervescence à l'HCl, avec des petits niveaux discontinu de limons et des fissures verticales de 40cm de longueurs remplis de sable.

L8/S9 (880-942 cm): couche limono-sableuse à dominance de limons, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (redish brown) humides, structure continue, forte effervescence à l'HCl, avec des petits niveaux discontinus de limons et des veines verticales d'argiles dans les fissures. Présence d'une Couche d'argile de 14 cm d'épaisseur.

S9/L10 (942-965 cm): couche à texture sablo-limoneuse (sable fin), couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (redish brown), humide, structure continue, moyenne effervescence à l'HCl. Une pierre à été observée, elle est sous forme de conglomérat de diamètre de 15cm, entouré d'argile dans ses cavités.

L10 (965-1030 cm): couche à texture limono-argileuse, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (redish brown) humide, structure continue, forte effervescence à l'HCl.

S10 (1030-1053 cm): couche à texture limono-argileuse, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (redish brown) humide, moyenne effervescence à l'HCl.

S10/L11 (1053-1073 cm) : couche sablo-limoneuse à dominance de sable, couleur à l'état sec 7,5 YR 6/4 (light brown) humide, structure continue, forte effervescence à l'HCl ; avec des veines verticales de sable fin dans les fissures.

L11A et L11B (1073-1235 cm): couche limoneuse avec du sable, couleur à l'état sec 7,5 YR 7/3 (pink brown) humide, structure continue, moyenne effervescence à l'HCl, très nombreuses fissures verticales avec du remplissage en argile.

AGTM (> 1235 cm): couche de grés rougeâtre.

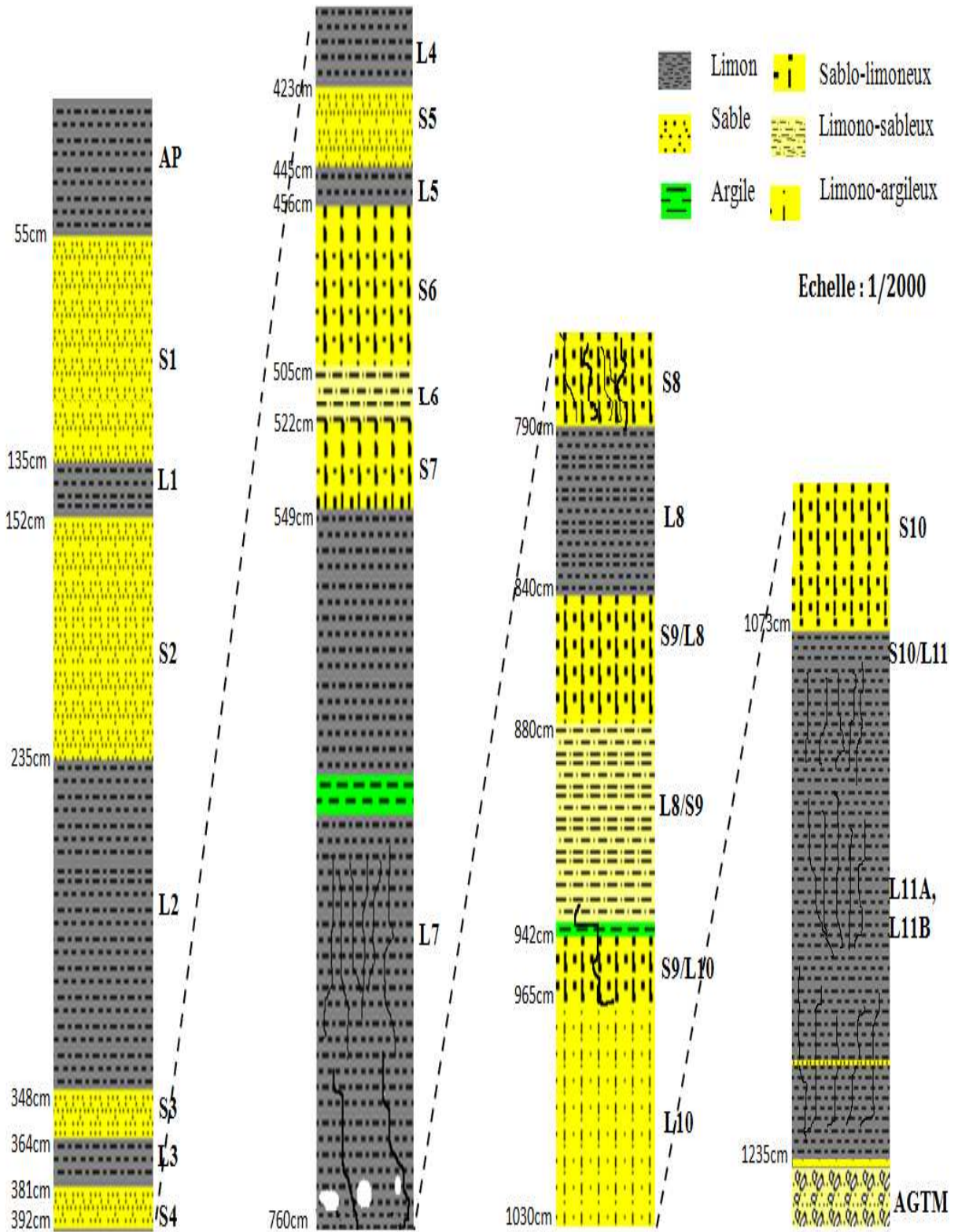


Figure VI.01 : Colonne lithostratigraphique de la coupe AG de Dayet El Amied (Guerrara)

IV.2.1 Discussion sur la morphologie de la coupe AG

Cette coupe présente une stratification de couches bien visibles. Elle s'agit des accumulations alluvionnaires de texture tantôt sableuse et tantôt limoneuse à l'exception des couches S9/L8, L8/S9 et S10/L11 où la texture est sablo-limoneuse, limono-argileuse et limono-sableuse. Cette alternance témoigne d'une succession de périodes humides et de périodes sèches.

Les premiers mètres sont des formations alluvionnaires compactées et perturbées sous l'effet des actions anthropiques.

La partie supérieure de la coupe est caractérisée par l'abondance des sables éoliens. Par contre, les couches limoneuses se concentrent dans les parties inférieures de la coupe indiquant ainsi une humidification des climats durant leur mise en place. Cette constatation signifie que le climat de la région est de plus en plus désertique.

Les couches sableuses présentent une texture à dominance de sable fin qui reflète probablement une origine éolienne remaniée par les eaux de crues.

Les couches limoneuses présentent une épaisseur plus grande par rapport aux autres couches, ce qui reflète l'influence d'apports hydriques sur la formation du sol.

Au niveau de la couche L7, où la texture est limoneuse, on rencontre des graviers de 0,5 à 5 cm de diamètre. Tandis qu'au niveau de la couche S9/L10 on trouve des conglomérats de pierres de 15 cm de diamètre.

Les couches à texture sableuse (surtout en sable fin) sont caractérisés par une structure particulière, de couleur claire (rose, jaune) et des teneurs très faibles en calcaire (faible effervescence à l'HCl). Ces couches sont influencées par des apports d'origine éolienne qui reflètent des périodes très peu pluvieuses ou sèches.

Par contre, les couches ayant une texture limoneuse, sablo-limoneuse et limono-argileuse sont caractérisées par une structure continue, de couleur plus sombre (brun rouge, brun foncé) et des teneurs plus ou moins élevées en calcaire. Elles sont influencées beaucoup plus par les apports d'origine alluviale liés à l'écoulement de l'oued, et qui reflètent des périodes pluvieuses qui ont touchées le bassin versant de l'oued Zgrir. Djili (2004), est arrivé à la même conclusion en travaillant sur la coupe AZ à Dayet El Amied.

On peut constater que ce profil de sol comporte une succession de couches dont les teintes varient, du haut vers le bas, du jaune et du brun rouge. Cette variation de teinte est due au lessivage du sol qui est constitué de matériaux sablo-limoneux à argileux.

Selon Turner (1980), ces variations de teinte sont interprétées comme une preuve de zones arides, semi-arides ou humides saisonnièrement.

La distinction des transitions et la netteté des limites entre les horizons nous amène à déduire qu'il s'agit des apports bruts peu évolués conservant des données très précieuses.

IV.3 Caractères sédimentologiques et analytiques de la coupe AG

L'ensemble des analyses physico-chimiques a été fait au laboratoire de la faculté des sciences de la nature et de la vie, des sciences de la terre et de l'univers, de l'Université de Ouargla par Guerradi et Feradji (2007).

Les résultats sédimentologiques et analytiques de chaque couche sont consignés dans le tableau (IV.01).

IV.3.1 Analyse granulométrique

Les analyses granulométriques présentées dans le tableau (IV.01) montrent que la majorité des couches est de texture limoneuse à limono-sableuse, sauf pour les couches S1, S2, S3.....S8 où les sables représentent plus de 50% et la texture varie de sableuse à sablo-limoneuse. Notant que la fraction sableuse est dominée par des sables fins, ce qui signifie une bonne perméabilité et un bon drainage.

A l'issue de l'analyse granulométrique on a pu calculer les paramètres suivants (Tableau annexe A.01):

- L'indice de classement des sables ;
- L'indice d'asymétrie.

IV.3.1.1 Indice de classement S_0

L'examen des indices de classement permet d'estimer la durée d'action des courants :

- Un sable/Un grés, bien trié ayant subi une action prolongée des courants;
- Une origine éolienne est caractérisée par un bon tri et des grains arrondis;
- Des grains anguleux et mal classés, seraient fluviaux;

- Des grains bien classés sub-anguleux à arrondis seraient les témoins d'un environnement marin.

IV.3.1.2 Indice d'asymétrie S_k

Ce coefficient donne le taux d'énergie selon l'échelle proposée par Folk (1959 - 1965):

- $S_k > 1$: forte énergie et mauvais classement;
- $S_k = 1$: équilibre dynamique et classement moyen;
- $S_k < 1$: faible énergie et bien classé.

IV.3.1.3 Interprétation des résultats

Les résultats représentés dans la figure (IV.03) montrent que les premières couches sableuses représentent un coefficient d'asymétrie supérieur à un (01) jusqu'à une profondeur de 5m, indiquant ainsi une forte énergie et un mauvais classement des sables.

Dans les couches profondes l'indice est inférieur à un, constituant ainsi un indicateur de faible énergie et des sédiments bien classés. Par conséquent, à partir de 5 m les sédiments indiquent une longue période humide et une zone totalement inondée.

Au contraire, les sables fins éoliens ont subi un transport par le vent, et ensuite par les eaux d'oued, pour s'enfuir enfin dans la Daya à cause de la chute des agents de transport (vent et eau) (Hacini *et al.*, 2007).

La figure (IV.02) montre une alternance de classement moyen à bon, qui définit un environnement fluvial perturbé par des apports éoliens.

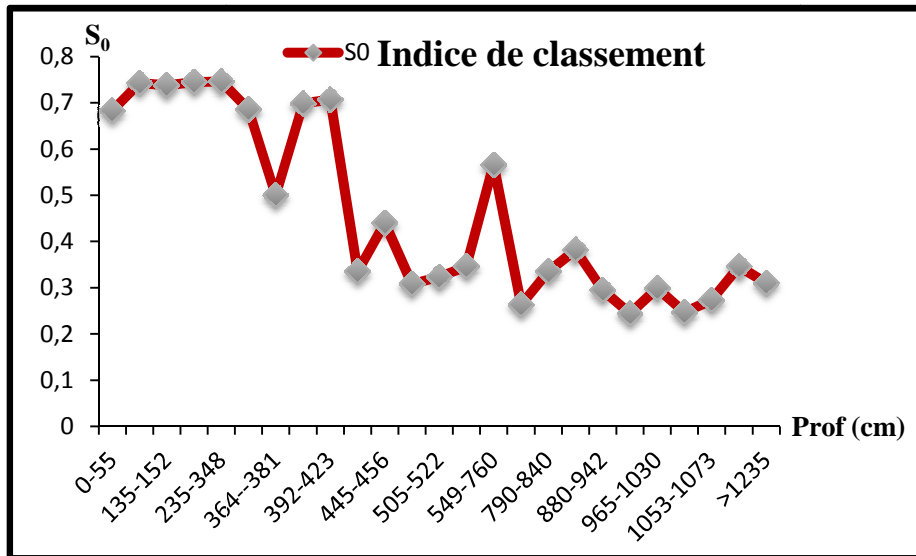


Figure IV.02: Indice de classement en fonction de la profondeur dans la coupe AG

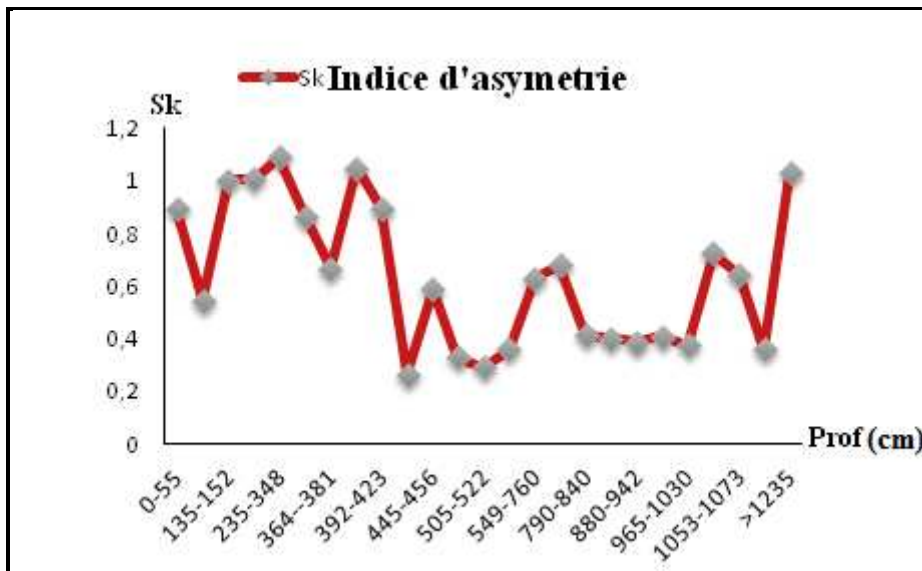


Figure IV.03 : Indice d'asymétrie en fonction de la profondeur dans la coupe AG

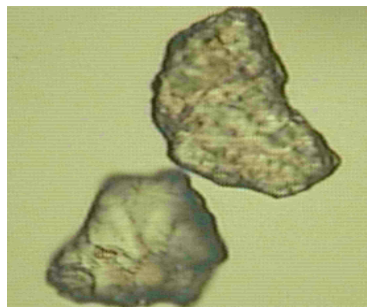
IV.3.2 Analyse morphoscopique

Elle permet d'observer sous une loupe binoculaire l'état d'usure, la sphéricité et l'aspect de surface des grains de quartz une fois lavé à l'eau.

La forme des grains est un indice d'identification de l'origine des grains de sable. D'après la figure (IV.04) effectuée par Guerradi et Feradji (2007), on peut citer deux exemples qui présentent l'origine fluviatile et éolienne.

Les sables fluviatiles sont caractérisés par des éléments de forme sud-anguleuse, non usée, et d'aspect peu luisant. Ils sont souvent mal classés.

Les sables éoliens sont très caractéristiques. Les grains de taille moyenne (autour de 0.5 mm) sont très arrondis et dépolis. Par contre, les grains fins sont très peu arrondis et ne sont pas dépolis. Cet aspect et cet arrondissement se produisent à la suite de nombreux chocs des grains entre eux. Au contraire, pour les grains fins, l'énergie cinétique est trop faible pour qu'il puisse y avoir usure du grain.



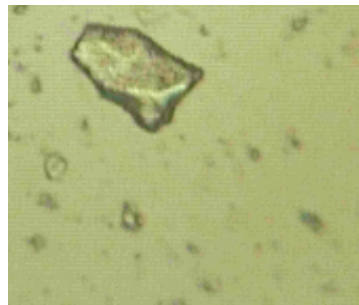
**Grain de quartz Sub-arrondi
couche S3 (×100)**



**Grain de quartz Sub-anguleux
couche L1 (×100)**



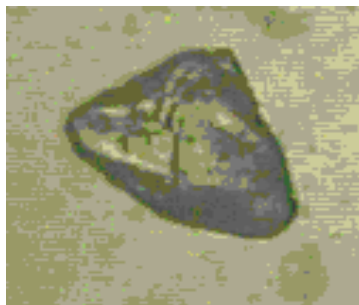
**Grain de quartz Sub-arrondi
couche S4 (×100)**



**Grain de quartz Sub-anguleux
couche L2 (×100)**



**Grain de quartz Sub-arrondi
couche S5 (×100)**



**Grain de quartz Sub-anguleux
couche L7 (×100)**

Figure IV.04 : planche photographique des grains de quartz

IV.3.3 L'analyse du calcaire total

L'analyse du calcaire total dans la coupe AG a montré que le taux du calcaire est infiniment variable, entre 3% en surface et 30% en couches profonde (figure IV.05).

Il faut bien noter que le milieu est devenu de plus en plus carbonaté durant les périodes anciennes ou durant la mise en place des couches limoneuses. En revanche, un phénomène de lessivage post-sédimentaire est bien marqué par l'appauvrissement en calcaire des parties supérieures.

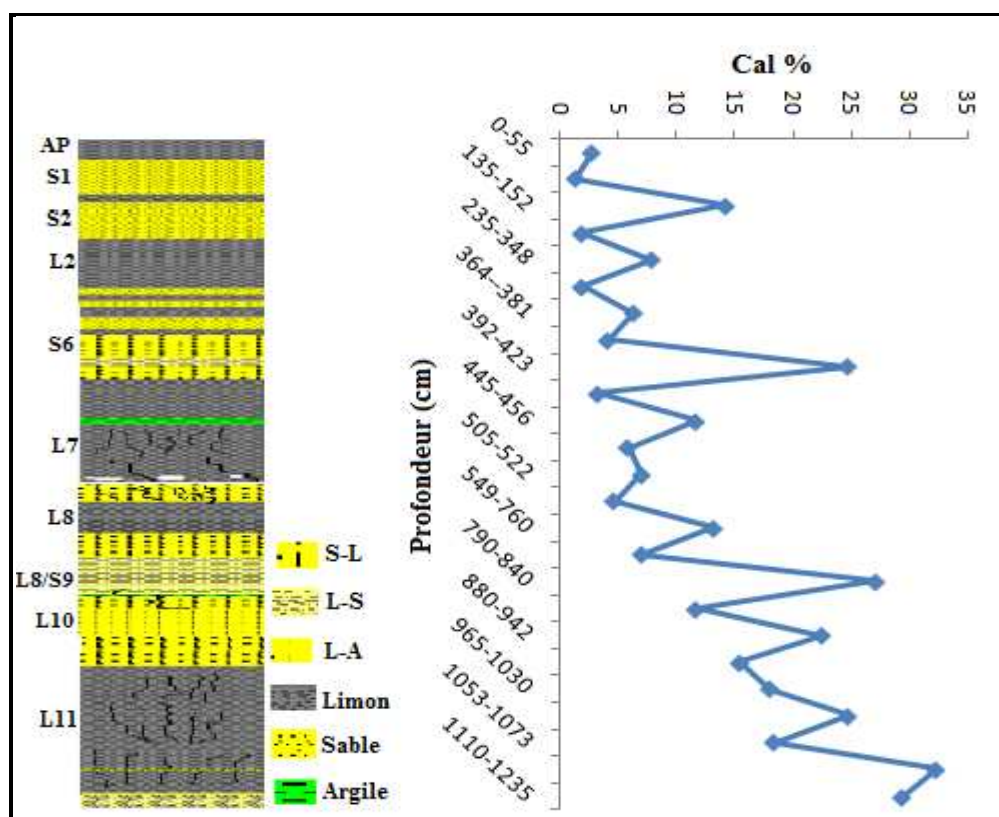


Figure IV.05 : Analyse du calcaire total en fonction de la profondeur

IV.3.4 pH

Les couches sableuses et limoneuses sont légèrement acides, leur pH demeure compris entre 5,45 et 7,09.

IV.3.5 Conductivité électrique (C.E)

La conductivité électrique est inférieure à 1,30 dS/m dans l'ensemble de la coupe AG, ce qui traduit une faible teneur en sels solubles. Cette faible salinité peut être expliquée par le bon drainage de ces sols et la nature peu salée des eaux de crues.

Tableau IV.01 : Les analyses granulométriques et analytiques de la coupe AG

Horizons	Profond (cm)	Granulométrie (%)			Texture	Calcaire total(%)	pH	C, E (dS/m)
		SG	SF	L et A				
AP	0-55	28,11	31,75	40,15	sableuse	2,81	-	0,51
S1	55-135	3,28	67,4	29,32	sableuse	1,4	5,45	0,24
L1	135-152	1,08	22,6	76,32	limoneuse	14,26	7,02	0,25
S2	152-235	2,55	64,3	33,15	sableuse	1,87	6,62	0,28
L2	235-348	3,39	37,39	59,22	limoneuse	7,87	6,68	0,24
S3	348-364	1,35	62,52	57,59	sableuse	1,96	6,56	0,31
L3	364-381	1,28	36,2	62,52	limoneuse	6,39	6,94	0,67
S4	381-392	0,7	55,8	43,5	sableuse	4,22	6,7	0,62
L4	392-423	2,93	24,44	72,63	limoneuse	24,85	6,78	0,46
S5	423-445	1,06	61,27	37,67	sableuse	3,28	6,94	0,31
L5	445-456	8,51	33,32	58,17	limoneuse	11,8	6,97	0,33
S6	456-505	30,95	38,71	30,34	sablo-limoneuse	5,6	6,82	0,21
L6	505-522	2,65	36,71	60,64	limono-sableuse	7,03	6,98	0,51
S7	522-549	1,05	52,43	46,52	sablo-limoneuse	4,69	6,93	0,2
L7	549-760	9,43	31,48	59,09	limoneuse	13,27	6,93	0,37
S8	760-790	6,72	58,6	34,68	sablo-limoneuse	7,03	7,02	0,19
L8	790-840	10,78	37,07	52,15	limoneuse	27,14	7,03	1,25
S9/L8	840-880	5,31	56,22	38,47	sablo-limoneuse	11,75	6,69	0,36
L8/S9	880-940	10,53	28,12	61,35	limono-sableuse	22,5	6,71	0,42
S9/L10	940-965	3,86	64,62	31,52	sablo-limoneuse	15,46	6,78	0,36
L10	965-1053	11,02	57,7	31,28	limono-argileuse	18,09	7,09	0,42
S10/L11	1053-1073	8,1	70,73	21,17	sablo-limoneuse	24,84	6,73	0,50
L11A-L11B	1073-1235	11,29	32,56	56,15	limoneuse	26,88	7	0,82

SG : sable grossier, SF : sable fin, L : limon, A : Argile

Chapitre V
Etude
Micromorphologique

V.1 Introduction

Notre étude repose surtout sur l'analyse microscopique des sédiments alluviaux. Cette dernière est faite à l'aide de référentiels issus de la minéralogie, la pétrologie sédimentaire et la micromorphologie des sols (Adams *et al.*, 1997; Bullock *et al.*, 1985; Courty *et al.*, 1989; Fedoroff et Courty, 1994; Stoops *et al.*, 2007 ; Freytet, 1989).

L'observation microscopique des sédiments est orientée vers la mise en évidence de leurs mécanismes de mise en place. Le but est d'affiner l'interprétation paléo-environnementale enregistrée dans les sédiments.

V.2 Description micromorphologique de la coupe AG

Le dépôt de la coupe AG montre sur une grande épaisseur des matériaux pédogéniques relativement peu perturbés, seuls les premiers mètres supérieurs semblent avoir subi des remaniements.

Au dessous, on trouve les stratifications bien exprimées. On peut donc espérer d'observer les empreintes des processus pédologiques qui ont suffisamment imprimé leur marque sur les matériaux.

L'examen des lames minces au microscope sous lumière polarisée et analysée (LPA) et sous lumière polarisée non analysée (LPNA) permet de :

- Suivre avec précision la transformation du matériau parental ou au contraire de mettre en évidence des enrichissements du sol par des apports de sédiments (Courty, 2001);
- Identifier, caractériser, hiérarchiser les traits pédologiques et par conséquent tous les processus pédologiques dont le paléosol a été le siège (Fedoroff et Goldberg, 1982);
- Identifier le processus pédogénétique, les paramètres paléoclimatiques et diagénétiques d'altérations (FitzPatrick, 1993 ; Stoops, 2003).

La description microscopique d'une douzaine de lames minces des sédiments alluviaux de la coupe AG présente, de haut en bas, les phénomènes qui ont marqué les alluvions dès leur dépôt (tableau V.01).

Description de la coupe AG

- AP 0 - 55cm** — Cette couche est caractérisée par une couleur jaune-brun, une microstructure particulière quartzreuse. La distribution de la fraction grossière est hétérogène, la porosité est élevée (45%), elle est constituée de fissures et des cavités passant à des vésicules allongées. Ces dernières ayant un revêtement cutanique. Le matériel grossier, présente plus de 80% de grains de quartz à contours sub-angulaire à émoussés et une forte biréfringence. La fraction fine est de couleur jaune-brun, elle est très poussiéreuse, et présente moins de 20% ; constituée de limon fin. La distribution relative du matériel grossier par rapport au matériel fin est de type chitonique.
- L1 135 - 152cm** .--- Cette couche est de couleur brune, caractérisée par une microstructure massive à cavité résiduelles. Le rapport g/f = 10/90. La fraction fine contient de petits grains opaques de couleur noir, probablement riche en fer. La porosité de cette couche est comparée de cavités et de nombreuses petites fissures peu développées (30%), et remplis du matériau hâte sableux. Les traits texturaux sont représentés par la présence d'intercalations poussiéreuses sombres, des imprégnations microsparitiques dans la masse basale, et dans les cavités, on observe des revêtements d'argiles limoneuses de couleur brune.
Photos 01et 02
- L2 255 - 354cm** — Cette couche présente une microstructure massive à cavités résiduelles (rapport g/f=20/80), elle contient des intercalations argileuses cassées par la porosité de fissures. La porosité est élevée (40%), la majorité des pores sont des cavités (fermées et irrégulières) et des fissures, certaines des cavités sont partiellement remplies de grains de quartz, les concrétions noires ferrugineuses existent dans l'ensemble de l'horizon. En revanche, le matériau grossier est composé de grains de quartz, celui-ci disposé en micro-lits de 1 à 3cm d'épaisseur (stratification nette). Ces grains de quartz ne montrent aucun signe d'altération. Le matériau se caractérise
Photos 03,04, 05 et 06

par l'abondance de poussière micro-sparitique et micritique autour de grains de quartz formant un assemblage chitonique.

Les pores sont bordés de revêtement d'argile et des taches sombres brunes ont été distribuées dans différentes positions au niveau de cet horizon. On distingue deux types de revêtements autour et entre les grains.

Le premier est plus interne constitué par un matériel cutanique (argilane) assez épais de couleur rouge. Le second externe confère la teinte à l'horizon, entièrement imprégné de fer.

- C5 343 - 380cm** — On peut constater que cette couche comporte une succession de micro-lits dont les limites sont nettes et les textures varient de haut en bas. La partie supérieure de la couche C5 se distingue par une microstructure massive avec un matériel composé principalement de limon fin (g/f=10/90). La porosité est cavitaire, la surface totale des vides est estimée à 40%, orientation aléatoire. Le fond matriciel de couleur brun jaune présente des taches jaunes brunes, des revêtements sur les faces des vides. Remplissage des vides par les grains de quartz. La partie centrale (environ 5cm) présente une microstructure particulière à assemblage chitonique, avec très peu de matériel fin (10%), elle forme ainsi une porosité d'entassement très importante (abondance des cavités et des fentes (35%)). Le matériel grossier constitué essentiellement de grain de quartz de taille hétérogène, forte biréfringence. Ces grains à contour sub-angulaires à angulaire sont piégés dans les vides et sont revêtus d'une fine couche de siltanes. Dans la partie inférieure entre (364-380 cm), nous observons la répétition de lit décrit en surface, c'est un lit limono-sableux brun jaune à microstructure massive.

Photos 07,08

- C6 500 - 523cm** — Cette couche est observé sur 23 cm d'épaisseur caractérisée par une texture sablo-limoneuse avec une microstructure granulaire à porosité d'entassement. Plus de 60% de grains de quartz ont dans la majorité des cas une forme semi arrondie à angulaire émoussés. Le matériel fin représente 40% (g/f=60/40), constitué de limon fin

Photos 09,10

et un peu de calcite (Micrite). La distribution relative des matériaux grossiers et fins est alors chitonique, forte biréfringence. Les cavités et les fissures qui traversent la structure sont colmatées entièrement ou en partie par des grains de quartz. La matrice contient l'oxyde de fer en abondance sous forme des petites taches opaques. On remarque l'existence de revêtements cutaniques (Siltanes) sur les grains de quartz. Des micro-lits limoneux sont observés dans la partie inférieure de cet horizon, de plus en plus la texture devient limono-sableuse.

C7 544 - 568cm — L'organisation micromorphologique de cette couche est très proche de celle de l'horizon C6 et on y trouve la même hiérarchie des cutanes.

C8 615 - 650cm — Montre une abondance de matrice brun rougeâtre entre les grains, ces derniers sont pour la plus part de quartz ($g/f= 60/40$), on note aussi quelques grains opaques d'oxyde de fer. Les 25 cm d'épaisseur de cette couche sont intercalés par des micro-litages sablo-limoneux, et présence d'une couche argilo-limoneuse. La porosité est toujours élevée (45%), on note des cavités et des fissures, la majorité des pores sont revêtus (ferranes), les concrétions noires ferrugineuses de forme sphérique et irrégulière sont plus abondantes dans la couche. La distribution relative des matériaux grossiers et fins est alors chitonique. De 640 à 650cm la microstructure est massive, dominée par des vides (cavités et fentes verticales (40%)), la masse fine composée pour l'essentiel de limon fin et des oxydes de fer ($g/f=10/90$). Les traits pédologiques sont de type texturaux, à savoir, des revêtements d'argiles rouges sont bien développés dans tous l'horizon.

C9 760 - 787cm — Cette couche montre le passage progressif d'un lit limono-sableux très caractéristique (matrice rougeâtre, revêtements abondants, structure particulière à assemblage chitonique, $g/f=40/60$) à un lit limoneux observé sur 15cm d'épaisseur et qui est une base du précédent (limite nette, microstructure massive ($g/f= 10/90$) et les

Photos 11,12et 13

Photo 18

nodules calcitiques sont bien répondues). C'est dans cet horizon que l'on trouve des fissures verticales, des filaments verticaux (40%), de migration et de précipitation de matériau fin rougeâtre sont observés dans ces fissures, et quelques cavités ayant un revêtement cutanique, on note aussi des intercalations ferrugineuses nombreuses et opaques.

- C10 1155 - 1180cm** — Cette couche montre une microstructure massive à cavité résiduelles, le matériau fin très abondant (g/f=10/90), présente en LPNA un aspect typique en « peau d'orange » dû à sa richesse en minuscules grains de quartz et les granules d'oxydes de fer, la teinte dominante est rouge. La porosité est élevée (60%) due aux nombreux vides qui se situent entre le fond matriciel. Dans ces vides existent quelques argilanes rougeâtres, assez peu épaisses (de l'ordre de la centaine de micron). La couche C10 contient de la calcite en abondance, sous forme de ciment entre les grains de quartz (pédoreliques). Les traits texturaux sont représentés par la présence d'intercalations poussiéreuses. On trouve aussi quelques concrétions ferrugineuses brun rouge foncés.
- Photos 14, 15, 16 et 17

Tableau V.01 : Les principaux caractères micromorphologiques de la coupe AG

H	Microstructure		Rapport g/f	Abondance des vides %	Type d'assemblage	Traits Pédologiques	
	Type de microstructure	Type de vide				Traits texturaux et ferrugineux	Traits cristallins
Ap	particulaire quartzeuse	fissures cavités vésicules	80/20	45	Chitonique	-----	----
L1	massive à cavité résiduelles	fissures cavités	10/90	30	-	1-Intercalations poussiéreuse. 2-Revêtements argilo-limoneux sur les grains de quartz. 3-Imprégnations microsparitiques.	Nodules calcitiques
L2	massive à cavité résiduelles	fissures cavités	20/80	40	-	1-Intercalations argileuses. 2-Revêtement argileux sur les grains de quartz. 3-Concrétions noires ferrugineuses.	----
C5	Massive particulaire Massive	fissures cavités	10/90 90/10 10/90	45 35 40	- Chitonique -	1-Revêtements sur les faces des vides. 2-Remplissage des vides par les grains de quartz. 3-Revêtements argileux jaune sur les grains de quartz.	----
						1-Concentration d'oxyde présentés par les taches noires. 2-Revêtements	

C6	granulaire	fissures cavités	60/40	30	Chitonique	cutaniques sur les grains de quartz. 3-Colmatage des vides par les grains de quartz.	----
C7	granulaire	fissures cavités	60/40	30	Chitonique	1-Concentration d'oxyde présentés par les taches noires. 2-Revêtements cutaniques sur les grains de quartz. 3-Colmatage des vides par les grains de quartz.	----
C8	particulaire Massive	fissures cavités	60/40 10/90	45 40	Chitonique -	1-Concrétions noires ferrugineuses. 2-Revêtement cutanique rouge.	Nodules calcitiques
C9	particulaire Massive	fissures cavités	40/60 10/90	40	Chitonique -	1-Revêtement cutanique rouge sur les grains de quartz. 2-Concentration d'oxydes représentés par les taches noires. 3-Colmatage des fissures par le matériel fin.	Nodules calcitiques
C10	Massive	fissures cavités	10/90	60	-	1-Concrétions ferrugineuses. 2-Pédoreliques calcaire.	Nodules calcitiques

V.3 Discussion sur la micromorphologie

Pour contribuer à l'étude des sols alluviaux des régions arides, nous voulons apporter par ce travail des connaissances paléoclimatiques à partir de la description d'une coupe profonde (12m). A travers cette description on note l'alternance de couches brun-jaune et brun-rouge, l'étude de ces couches permet de mettre en évidence la succession des différentes périodes illuviales qui ont précédé leur élaboration. Le nombre de ces périodes peut être différent selon les couches observées. Dans le cas de notre coupe, celle-ci se compose d'une succession de périodes que l'on peut distinguer surtout par la nature des dépôts et par leur différence micromorphologique.

A l'échelle microscopique, on peut constater que cette coupe comporte une succession de couche dont les limites sont nettes et les teintes varient, de haut en bas, du jaune brun à rouge. Vers les couches supérieures, on remarque l'abondance du sable fin et grossier, il présente une partie relativement importante, constituée essentiellement de grains de quartz.

Le quartz c'est l'un des principaux constituants des grés, il est formé de SiO_2 presque pur. On le reconnaît en lame mince, en LPNA, à ce qu'il est toujours limpide et inaltéré. Il n'a pas de clivage en LPA mais présente des teintes de biréfringence fortes. Son aspect micromorphologique demeure pratiquement constant dans toute la coupe, il est de taille différente et de forme sub-anguleuse, il devient progressivement plus émoussé, ce qui suggère une origine fluviatile. Hacini *et al.* (2007), sont arrivés à la même conclusion en travaillant sur l'approche sédimentologique de Dayet El Amied de la région de Guerrara. De même, l'aspect arrondi des grains de quartz peut témoigner d'une dominance de l'action éolienne (Hacini *et al.*, 2007; Courty *et al.*, 1987).

Compte tenu de leur forme, il semble que la plus part des sables de la région de Guerrara sont d'origine éolienne. Ils ont subi un transport par le vent et ensuite par les eaux d'oued, enfin s'enfuient dans la daya à cause de la chute des agents de transport.

Les couches à fraction sableuse ayant une microstructure particulière quartzreuse, une couleur plus clair et des nodules calcitiques très faibles, sont influencées beaucoup plus par les apports d'origine éolienne qui reflètent des périodes sèches.

Les sables éoliens sont appauvris en minéraux fragiles à clivages, comme les feldspaths, en raison du brassage en milieu aérien agressif. Ils accusent aussi un tri des minéraux selon leur densité favorable à un enrichissement en quartz (Strakhov, 1969), ce qui est le cas de la coupe AG.

V.3.1 Les traits pédologiques

V.3.1.1 Traits cristallins

Au niveau des couches profondes, plus riches en calcaire, on observe des pédoreliques (grains de quartz cimentés entre eux par des cristallisations calciques) (photoV.14), des micrites (fine cristallisation de carbonates) et des microsparites (cristaux plus grands) imprégnées dans le fond matriciel.

D'après Blank *et al.* (1990) ; Khokhlova *et al.* (2001), ces traits calcitiques sont généralement formés dans un environnement moins aride. Il est donc suggéré de les considérer dans cette étude comme des reliques d'un paléoclimat plus humide.

Rognon *et al.* (1987) attribuent l'origine des nodules calciques (photoV.04) à l'évaporation des eaux après percolation des limons, ce qui indique un climat humide. Cependant, Yaalon et Wieder (1976) ; Fedoroff et Courty (1987), admettent que la forme nodulaire indique un transport hydrique.

Dans le cas de notre région d'étude (Dayet El Amied), les pédoreliques calcaires sont la conséquence d'une désintégration mécanique des nodules, déjà préexistants, des plaines et dunes environnantes puis entraînés par la voie éolienne et déposés sous forme de poussières et transportés par la suite par des eaux liées aux crues de l'oued Zegrir.

Puis, ces nodules ont subi une percolation intense, consécutive à une saison de pluies fortes et abondantes, accompagnée d'une dissolution des carbonates. Ensuite, après saturation de la solution du sol par les ions Ca^{2+} , vient une période sèche qui a permis l'évaporation des eaux et la formation des traits calcitiques (Gile *et al.*, 1966 ; Fedoroff et Courty, 1985; Fedoroff et Courty, 1987). Ces résultats sont également confirmés par les travaux de Hamdi-Aissa (2001), Hamdi-Aissa *et al.* (2004) ; Youcef (2006), qui ont admis que l'alternance de phases d'érosion éolienne et hydrique provoque l'enfouissement de ces nodules dans un matériau sableux.

La faible teneur des nodules calcitiques dans les couches supérieures peut être expliquée par une baisse de précipitations qui ralenti le processus de dissolution-recristallisation et limite la formation des nodules calciques. Cette hypothèse est confirmée par Khormali *et al.* (2006).

V.3.1.2 Traits texturaux

L'action physique de l'eau sur le sol s'enregistre sous la forme de traits caractérisés par des tris granulométriques, d'où le nom de traits texturaux (Fedoroff et Courty, 1994 ; Stoops, 2002). Un trait textural peut être recouvert ou reposé sur un autre revêtement et croûte (Casenave *et al.*, 1989).

Dans le cas de Dayet El Amied, les traits texturaux observés se présentent sous forme de remplissages quartzeux et limoneux dans la porosité (photoV.02), de revêtements cutaniques, qui sont eux-mêmes sous forme de siltanes, d'argilanes et de ferranes (photoV.01, 08, 12) et enfin d'intercalations argileuses et limono-argileuses (photo V.06).

Des accumulations limoneuses et argileuses (siltanes et argilanes) ont été observées autour des vides et des grains de quartz. Cependant, parfois elles colmatent des vides majeurs et consistent aux revêtements de couleur brune (argile ferrugineuse), rouge ou les deux à la fois (photo V.01, photoV.04 et photoV.08).

L'abondance de ces revêtements, suggèrent la présence de conditions plus humides qu'aujourd'hui (Catt, 1991). Ceux-ci indiquent aussi des percolations intenses et rapides pendant les périodes humides.

Des revêtements et colmatages de vide constitués d'argiles mélangées à des limons très fins indiquent une sédimentation rapide à partir d'eau semi-saturante et peu mobile (Courty *et al.*, 1987).

Selon Wieder *et al.* (1978), les revêtements autour des grains de quartz (photoV.10) s'expliquent par la haute perméabilité de ces sols, favorisant l'infiltration rapide de l'eau. Les particules d'argiles suspendues et les limons fins sont disposés autour des grains de sable par la force de capillarité.

On rencontre également des revêtements argileux de couleur brune-jaune fragmentés et déformés. Ces reliques pédologiques témoignent d'une phase humide à régime de précipitations plus importantes (Fedoroff et Courty, 1985) et les revêtements argileux micro-lités résultent du dépôt très lent de particules argileuses à partir de suspensions capillaires (Khormali et Abtahi, 2003).

Le faible taux d'argile dans couches superficielles (L1, L4, L6 et L8), suggère que les précipitations qui sont nécessaires pour son illuviation ont rarement été plus élevées que l'évaporation (Courty, 1984). On outre, la faible biréfringence de la fraction fine, indique une argile non gonflante (Embrechts *et al.*, 1988 ; Embrechts *et al.*, 1987).

V.3.1.3 Traits ferrugineux

Dans notre région d'étude, on trouve une plus grande partie d'oxydes de fer entourés d'un cortex de fond matriciel plus ou moins régulier.

Ces oxydes se présentent sous forme de :

- mince liseré brun à noir sur les parois des vides (revêtements);
- imprégnations irrégulières du sédiment, brune à noire;
- amas de petits points noirs (opaques) au sein de la fraction fine. Ils contribuent à donner une coloration foncée aux sédiments.

Les traits ferrugineux sont de composition et de formes variées ; ils peuvent être constitués de goethite, d'hématite et de la magnétite. Ils sont sous forme, soit de revêtements, soit de nodules aux formes les plus variées (photoV.05 et photoV.09) (Courty *et al.*, 1987).

D'après les résultats de Djerrab *et al.* (2007), les sédiments de la coupe AG creusée jusqu'au substratum (12m de profondeur) montrent des valeurs élevées pour les différents paramètres magnétiques. Les niveaux sablonneux déposés par le vent montrent la présence de plusieurs composantes magnétiques. Il s'agit probablement de grains d'hématite ou de goethite de propriétés magnétiques dures. Les oxydes de fer présents dans les couches limoneuses sont dominés par la magnétite et la maghémite.

Le climat humide conduit à une libération modérée en fer même à partir de matière parente qui en est riche et à une formation de deux minéraux : magnétite et maghémite (Brady et Weil, 2002).

Grace à l'observation microscopique de la coupe AG, nous avons pu constater que les périodes humides dans notre région d'étude sont marquées par des niveaux limoneux de couleur brune, représentant une forte concentration en oxyde de fer (minéraux magnétiques).

Les niveaux supérieurs de la coupe AG (environ 2 m) sont pauvres en oxydes de fer. Ils sont, en général sableux, épais et déposés par le vent. Par ailleurs, ils se sont mis en place pendant de courtes périodes, sous un climat aride et identique à celui d'aujourd'hui.

Cet appauvrissement peut être dû à la migration des éléments du haut vers le bas. L'observation de L2 et L1, confirme que nous sommes en présence d'un sol bien lessivé sur limon. Tandis que le nombre assez élevé et le développement des cutanes montrent que le lessivage est fort.

D'après Fedoroff (1997), les concrétions noires que l'on trouve dans les couches limoneuses de la coupe AG sont communément attribuées à une formation sous conditions chaudes avec un bon drainage, où l'argile et les oxydes de fer peuvent migrer ensemble. Fedoroff *et al.* (1967) indiquent que ces concrétions proviennent de la destruction du complexe fer-argile. Ce processus serait lié à la dégradation des couches.

Les quantités variables de fer, les nodules calciques, les bandes d'argiles illuviales, les revêtements d'oxydes de fer et les concrétions d'oxydes de fer suggèrent une période mineure de réduction et la mobilité du fer. Cependant, l'oxyde de fer abondant dans la matrice du sol suggère que le potentiel redox, au cours de la salinisation, n'est pas tombé à la mobilisation de fer. Ceci indique qu'il n'y avait que de brèves périodes humides au cours de la formation du sol (Brady et Weil, 2002).

Les sols de Dayet El Amied sont pratiquement toujours parcourus par un réseau assez poreux, cette particularité est caractérisée par de différentes formes :

- Les vides d'entassement, ils se repartissent dans le fond matriciel et proviennent alors de l'élargissement des fentes ;
- Les fentes sont caractérisées par des formes hétérogènes. Cette hétérogénéité laisse présager l'existence de zones de moindre résistance. L'origine de ce type de vide est due à des mouvements de réaction à l'intérieur du fond matriciel ;
- Les cavités plus ou moins irrégulières, Dont l'origine est vraisemblablement biologique.

V.4 Planche photographique

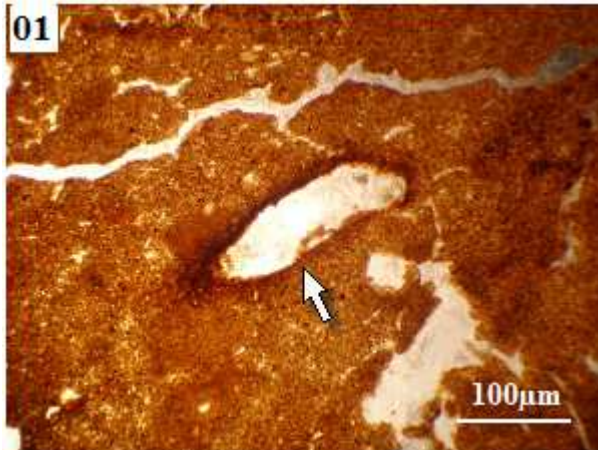


Photo V.01: Revêtement en croissant, l'argile est concentrée autour d'un nodule calcitique.

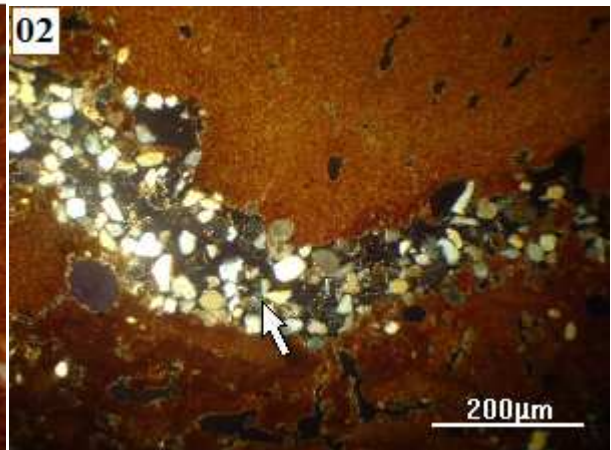


Photo V.02: Remplissage des vides par les grains de quartz.

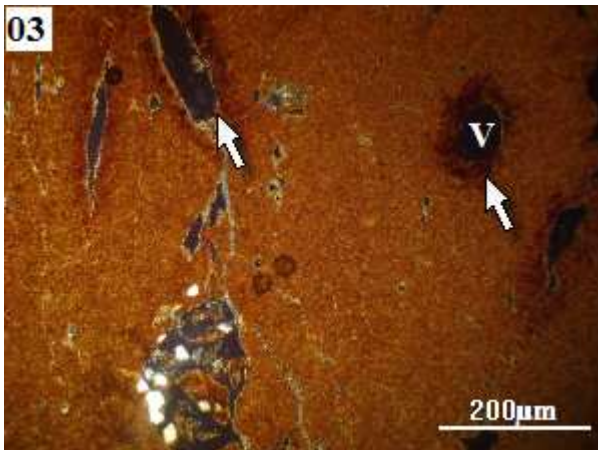


Photo V.03: Cavités partiellement remplies de grains de quartz.

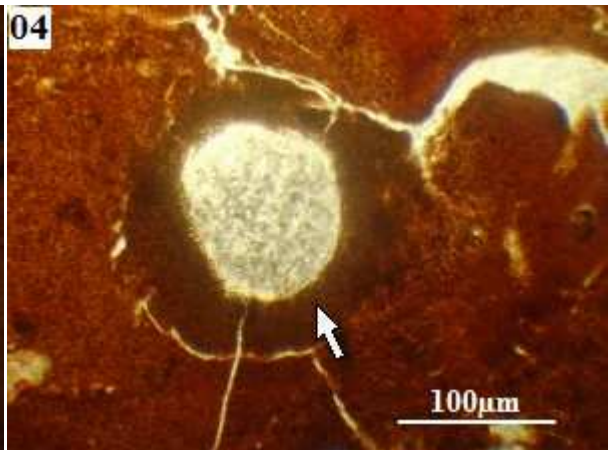


Photo V.04: Revêtement cutanique autour d'un nodule calcaire.

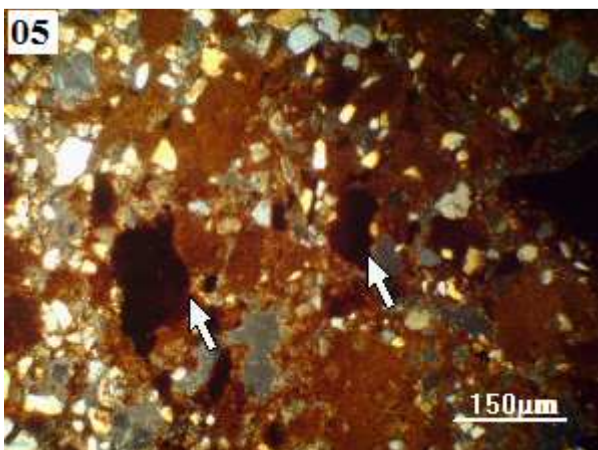


Photo V.05: Concentration d'oxydes à l'intérieur du fond matriciel.



Photo V.06 : Intercalations limono-argileuses.

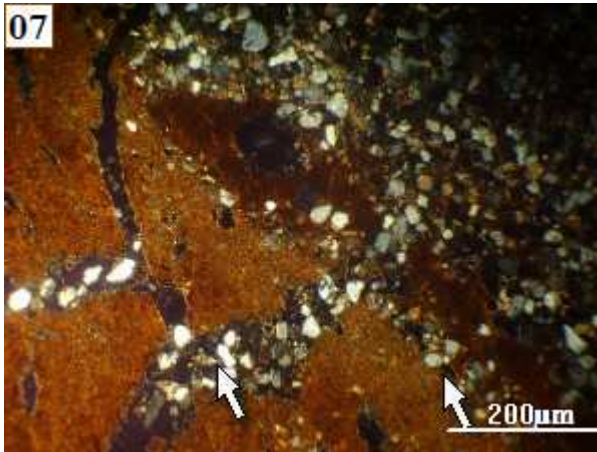


Photo V.07 : Limite nette entre deux lits différents et remplissage des vides par le quartz

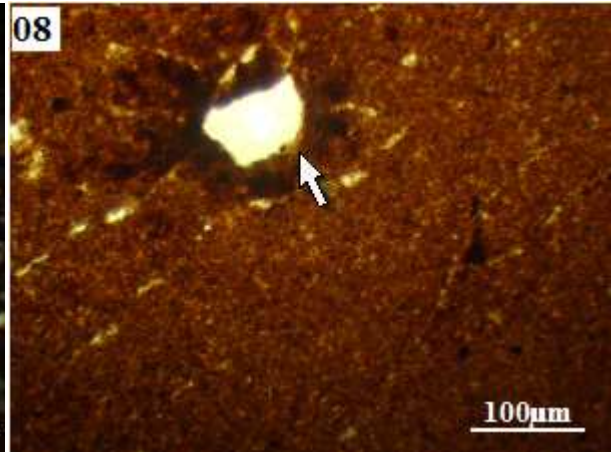


Photo V.08 : Revêtements ferrugineux autour d'un nodule calcaire (ferranes).

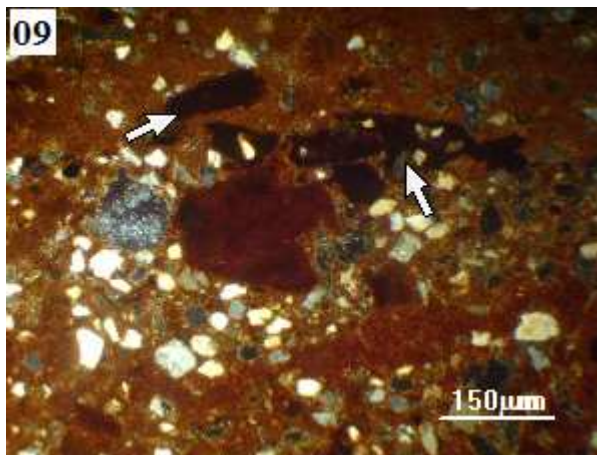


Photo V.09 : L'oxyde de fer en abondance sous forme des petites taches opaque.

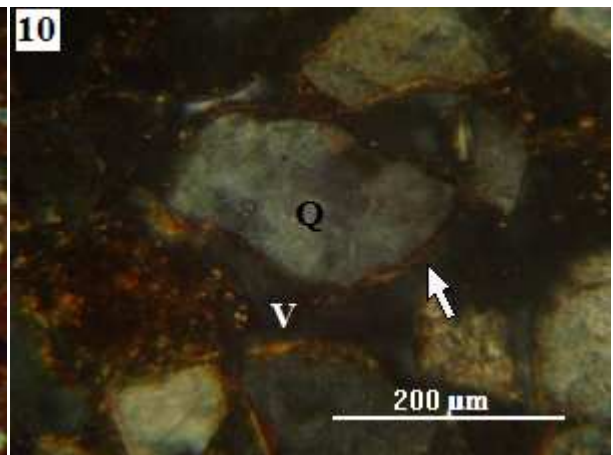


Photo V.10: Revêtements cutaniques (Siltanes) sur les grains de quartz.

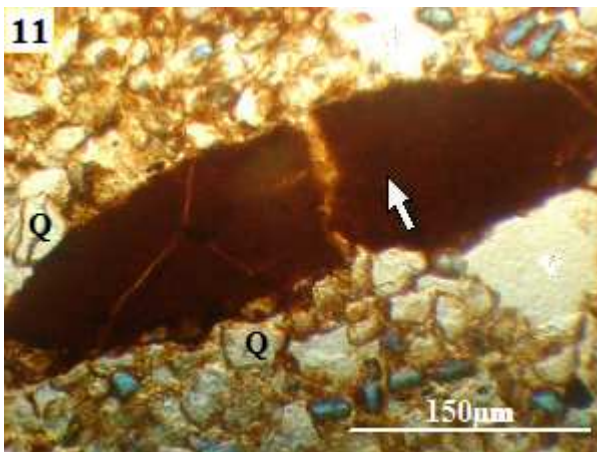


Photo V.11 : Concrétion argileuse de forme allongée, fortement orientée et fissurée.



Photo V.12 : Un trait pédologique : un siltane de vide.

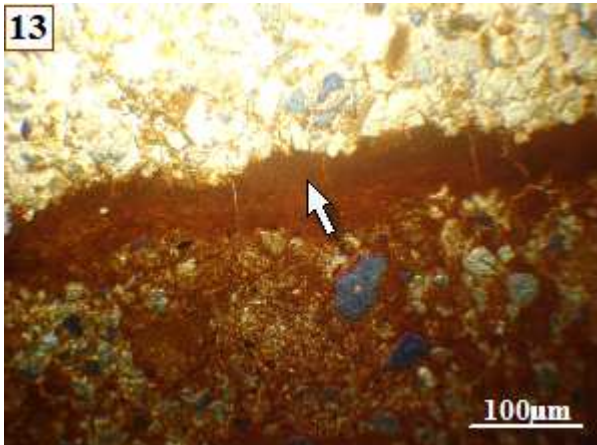


Photo V.13: Illuviation d'argile, limite nette entre deux couches différentes.

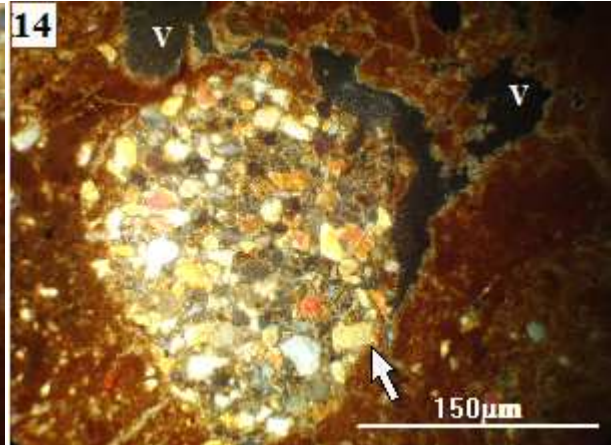


Photo V.14: Pédoreliques calcaires de forme arrondie.

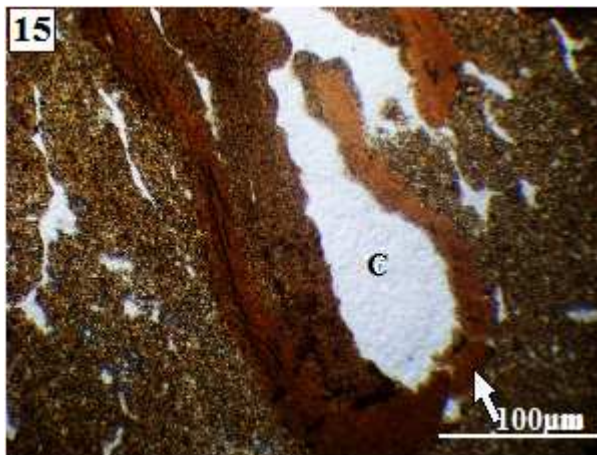


Photo V.15 : Revêtements argileux microlités. C : trait calcitique.

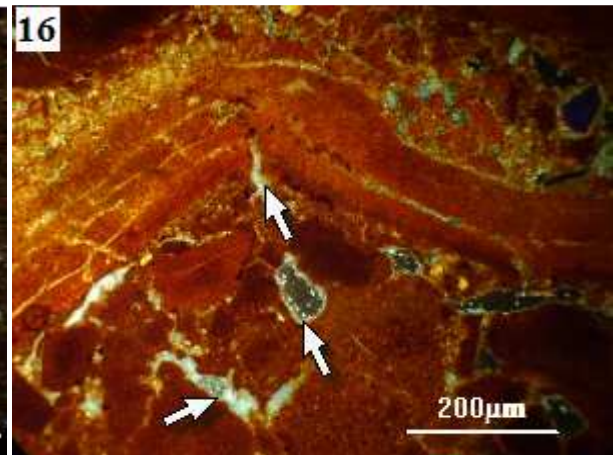


Photo V.16 : Intercalations argileuses, revêtements calcitiques blanchâtres autour des vides.

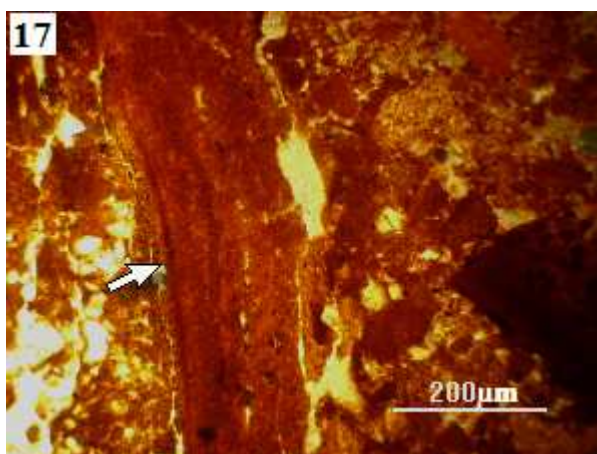


Photo V.17: Les fissures qui traversent la structure sont colmatées par un matériel fin.

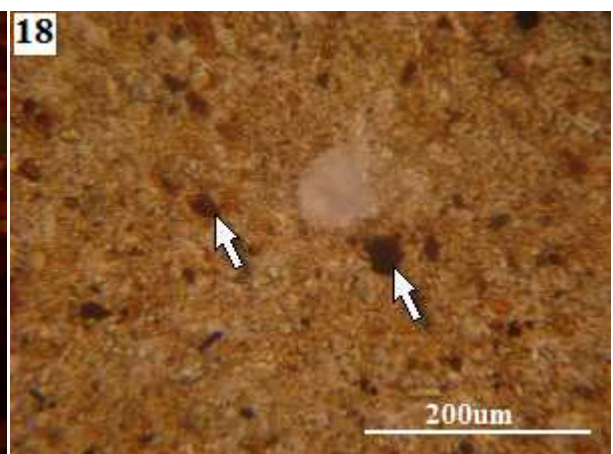


Photo V.18: Nodules ferrugineux.

Conclusions générales

VI.1 Introduction

Dans le cadre global de l'étude paléo-climatique du désert saharien, en général, et de la région de Dayet El Amied (Guerarra), en particulier, nous avons effectué une étude minéralogique et géochimique des dépôts alluvionnaires Mio-Pliocène de la coupe AG.

VI.2 Composition minéralogique

D'après les résultats de la diffraction des rayons X (tableau VI.01 et figure annexe A.01), les phases cristallines majeures contenues dans l'ensemble des échantillons de la coupe AG sont les minéraux suivants:

- Halloysite (H) : $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- Quartz (Q) : SiO_2
- Calcite (Ca) : (CaCO_3)
- Xanthophyllite (Valuevite) : $\text{Ca}(\text{Mg}_2\text{Al})(\text{Al}_{28}\text{Si}_{12})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- Chlorite : $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})$
- Palygorskite : $(\text{Mg}, \text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Quartz : c'est le principal minéral observé. Il présente une intensité plus élevée dans les couches sablonneuses.

Halloysite : c'est un minéral qui se forme par altération de la Kaolinite. Suite à l'addition de couches d'eau entre les feuillets de la Kaolinite, l'espace basal de ces derniers augmente en conséquence et on assiste la formation de ce minéral qui se présente sous forme de spirale (Manning, 1995).

L'apparition des Halloysites dans les couches limoneuses de Dayet El Amied est liée donc, à la forte altération de la Kaolinite dans des milieux à fort apport hydrique.

Calcite : elle devient, généralement, de plus en plus fréquente dans les couches limoneuses. Elle reflète un contenu carbonaté plus élevé. L'abondance de la Calcite traduit un climat plus humide. Par conséquent, les couches limoneuses, qui sont les plus riches en Calcite que les couches sableuses, seraient formées pendant des périodes plus humides.

Palygorskite : c'est une argile fibreuse abondante dans la couche S7. Elle constitue selon Bolle et *al.* (1999), un marqueur de climat chaud et aride sur les masses continentales. Elle évolue dans le même sens que le Quartz, suggérant ainsi une même origine d'apport, c'est-à-dire un apport d'origine éolienne.

Chlorite : c'est une argile de type 2/1/1, présente en abondance dans les couches sableuses S1, S2, S6. Elle provient de l'altération mécanique des silicates ferromagnésiens sous des conditions arides avec un climat froid.

Selon Havelicek (1999), la Chlorite résiste mieux à l'altération que les micas. Cela est dû au caractère ferromagnésien de cette Chlorite.

Les analyses minéralogiques servent à caractériser, de plus, les sédiments alluviaux de Dayet El Amied (tableau VI.01). Elles montrent que les couches sableuses sont constituées par un minéral principal qui est le Quartz auquel s'ajoutent la Chlorite et la Palygorskite, en faible proportion. Le Quartz provient, essentiellement, des apports éoliens en provenance des zones voisines. Certains minéraux argileux, tels que l'Halloysite et la Xanthopyllite ont également été observés dans les couches limoneuses ou sous forme d'un revêtement argileux autour des grains de quartz.

Tableau VI.01 : Importance semi-quantitative des phases cristallines dans la coupe AG de Dayet El Amied: + + + + = très majoritaire; + + + = majoritaire; + + = moyenne; + = minoritaire; - = non détectée

Echantillons	Minéraux					
	Quartz	Calcite	Halloysite	Chlorite	Xanthophyllite	Palygorskite
L1	+	+++	++++	-	+	-
L2	+	+++	++++	-	+	-
L3	+	+++	++++	-	++	-
L4	+	++	++++	-	-	-
L5	+	+++	++++	-	-	-
L6	+	+++	++++	-	-	-
L7	+	++	++++	-	-	-
L8	+	++++	++++	-	-	-
L10	+	+++	++++	-	-	-
L11	+	+++	++++	-	++	-
S1	++++	-	-	+++	-	-
S2	++++	-	-	+++	-	-
S3	++++	-	++	-	+	-
S4	++++	-	+++	-	+	-
S5	++++	-	+++	-	-	-
S6	++++	++	-	++	-	-
S7	++++	++	-	-	-	++
S8	++++	+++			+	-
S10	++++	+++	-	-	+	

VI.3 Analyse chimique totale (Eléments majeurs)

Les résultats des analyses EDXRF effectuées sur le sol alluvial de Dayet El Amied sont exprimés sous forme de courbes qui sont représentatives de la variation de la teneur (%) des éléments majeurs (Si, K, Ca, Ti, Mn et Fe) en fonction de la profondeur (figure VI.01).

L'interprétation des analyses chimiques montre que le Silicium, le Calcium, le Fer et le Potassium sont les quatre éléments prépondérants constituant le matériau, les autres éléments qui sont Magnésium et Titane ne dépassent pas 1 %.

Ces résultats confirment la description micromorphologique et l'analyse minéralogique (DRX). Ainsi, le Si correspond en grande partie au Quartz, le Calcium marque la présence de la Calcite, le K permet de déceler la présence en abondance de feldspaths potassiques et de l'Illite, le Fer est le caractère le mieux corrélé avec la teneur en argile et enfin le Titane, qui est extrêmement résistant à l'altération pédologique, il a tendance à s'accumuler de façon relative dans les couches très appauvries (en argile et en fer) ou très altérées. Il peut se trouver aussi en impureté associé à la Kaolinite (Baize, 1988).

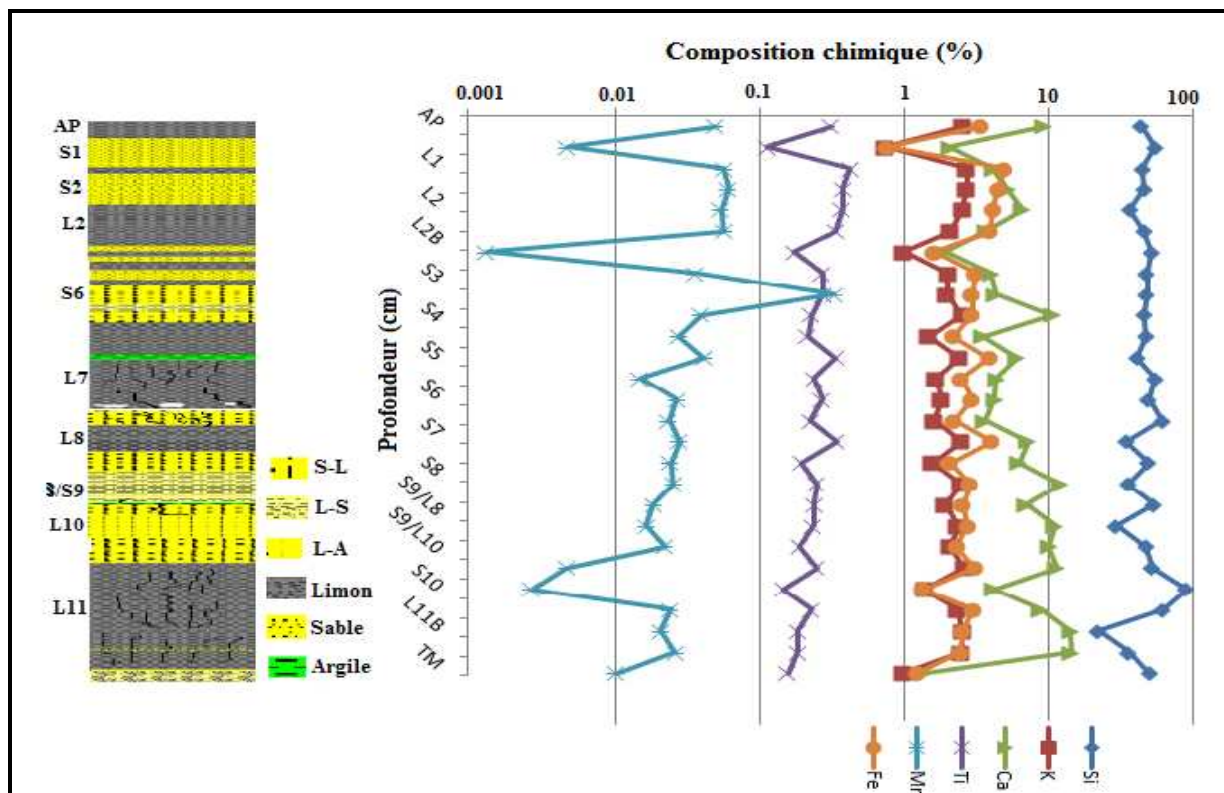


Figure VI.01 : La variation des concentrations des éléments majeurs le long de la coupe AG (Dayet El Amied)

VI.3.1 Relation entre les éléments majeurs

Les concentrations en éléments majeurs en fonction de la profondeur, évoluent toutes dans le même sens à l'exception du Si, comme le montrent les valeurs de corrélation résumées dans le tableau (VI.02).

Tableau VI.02 : Corrélation entre les éléments de l'analyse chimique totale

Ca	-0,491				
Fe	-0,380	0,294			
K	-0,471	0,718	0,865		
Ti	-0,310	0,076	0,963	0,726	
Mn	-0,092	0,072	0,279	0,192	0,318
	Si	Ca	Fe	K	Ti

VI.3.2 Variation de la teneur en Si

La courbe de la variation de Si (figure VI.01) montre que le Si est l'élément principal du matériau. Il présente des teneurs variant entre 22,5 % dans la couche L11B et 91,5 % dans la couche S10. Les couches limoneuses L2B, L7, L8, L8/S9, L11B, L11C... ont présenté les teneurs les moins élevées variant entre 22 % à 62.9 %.

Les teneurs les plus élevées en Si dans les couches sableuses par rapport aux autres couches limoneuses correspondent sans doute à une plus forte teneur en Quartz (identifié par DRX), et reflètent des apports plus importants en grains de Quartz éoliens, liés aux vents fréquents durant toute l'année.

La couche S10 montre la teneur la plus élevée en silice (91,5 %), ce qui reflète un fort apport d'origine éolien.

VI.3.2.1 Relation entre le Si et la granulométrie

La relation entre le Si et la granulométrie est présentée dans les figures (VI.02 et VI.03), qui indiquent une très forte corrélation du Si avec le sable ($r = 0,6068$), tandis qu'il montre une corrélation négative avec le limon ($r = - 0,587$).

Ainsi, ces résultats montrent que le sable et le limon correspondent à deux origines différentes. En fait, ce limon, est tant d'origine allochtone, est transporté par les crues d'oued Zegrir, il reflète les caractéristiques des formations géologiques traversées (Crétacé supérieur). Par contre, ce sable est lié à une origine éolienne.

La variation de Si montre que la teneur varie en fonction des alternances couches sableuses/couches limoneuses. Les teneurs sont élevées dans les couches sableuses et moins élevées dans les couches limoneuses.

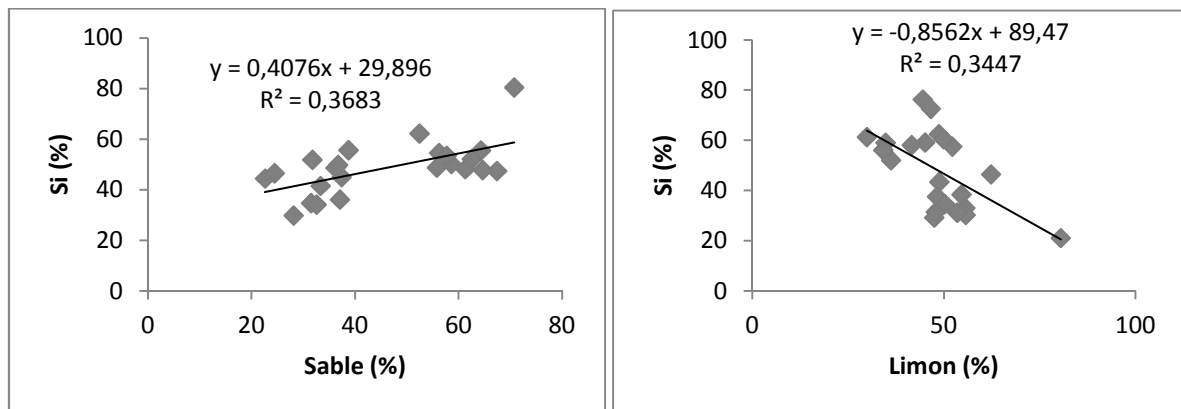


Figure VI.02 : Relation entre Si et le Sable

Figure VI.03 : Relation entre Si et le limon

VI.3.3 Variation de la teneur en Ca

Cet élément est principalement associé aux calcites qui sont identifiées par DRX.

La teneur en Ca (figure VI.01) présente une variabilité comprise entre 1,35 % (TM) et 14,48 % (L11C). L'évolution de cet élément est corrélée négativement avec la teneur de Si (figure annexe A.02), les teneurs les plus élevées sont obtenues dans les couches limoneuses et les valeurs les plus basses sont rencontrées dans les couches les plus riches en Quartz.

La courbe montre que le taux de Ca est variable entre la surface et les couches profondes où les teneurs varient entre 4 % en surface et 14 % en couches profondes. Les fortes teneurs en Ca dans les couches profondes, indiquent la présence de calcaire en grande quantité, et montre que le milieu est devenu, de plus en plus, carbonaté et humide, durant les périodes anciennes ou durant la mise en place des couches limoneuses (figure VI.04).

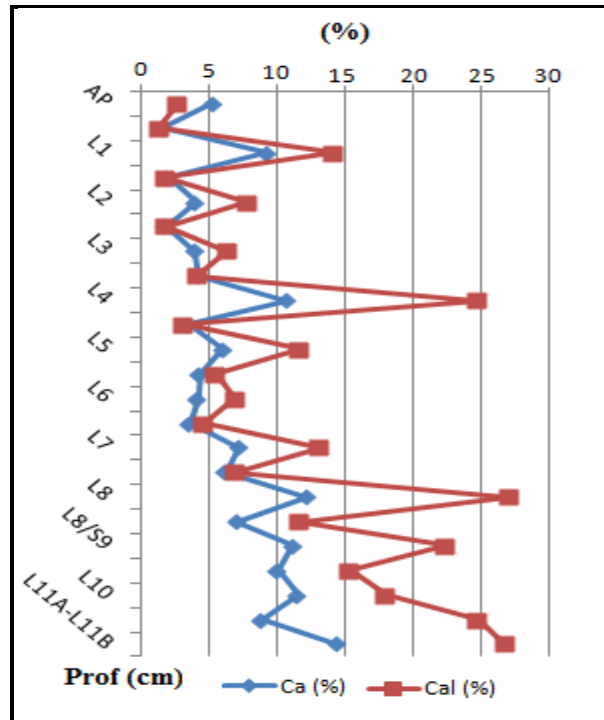


Figure VI.04 : évolution du calcium et de calcaire en fonction de la profondeur

VI.3.4 Variation de la teneur en Fe

Le Fe a été détecté dans toutes les couches. Les plus fortes concentrations ont été mesurées dans les couches limoneuses (5,03 % dans la couche L2) (figure VI.01).

Les concrétions ferrugineuses brunes observées dans les couches limoneuses, par microscope en lumière polarisée peut s'expliquer par la présence du fer sous deux formes minérales identifiées par Djerrab *et al.* (2007) : magnétite et la maghémite. Par contre, les couches sableuses sont présentées par l'hématite.

L'alternance relativement régulière des couches de magnétite et d'hématite, montre que leur croissance est saisonnière et est en relation directe avec les conditions climatiques de surface (Genty, 1993; Genty *et al.*, 1995).

VI.3.5 Variation de la teneur en K

Cet élément est très présent dans les argiles primaires (Illites en particulier), mais aussi très mobiles lors de l'altération chimique. Il peut donc nous apporter des informations complémentaires à l'égard de l'étude de la fraction argileuse.

Le K est aussi un élément que l'on trouve en quantités non négligeables dans le matériau total, il se localise surtout dans les couches limoneuses (2,64 % dans la couche L10) et se répartit de façon équitable entre ces couches. La concentration en K décroît très vite avec la fraction sableuse (0,75 % dans la couche S2) (figure VI.01).

La présence de cet élément dans les couches limoneuses est liée essentiellement aux minéraux argileux (Laveuf, 2009 ; Aouam, 2007).

VI.3.6 Variation de la teneur en Ti et Mn

D'autres éléments analysés sont présents dans le matériau total en plus faibles quantités (tableau VI.03). Ces éléments sont le Mn et Ti avec des teneurs variant entre 0,002 % et 0,3 % pour le premier et entre 0,11 % et 0,42 % pour le second.

Tableau VI.03 : Tableau récapitulatif des analyses chimiques de la coupe AG

(Dayet El Amied)

Echantillons	Si	K	Ca	Ti	Mn	Fe	PAF
AP	51,9	1,71	5,4	0,2377	0,0199	2,29	5,59
S1	47,5	0,77	1,7	0,1114	0,0013	0,72	2,43
L1	44,5	2,56	9,34	0,3193	0,0501	3,42	9,5
S2	55,6	0,75	2,08	0,1152	0,0048	0,78	4,52
L2	45,1	2,76	4,16	0,4278	0,0571	5,03	15,76
L2A	46,7	2,75	5,27	0,3849	0,0621	4,55	10,32
L2B	37,1	2,57	6,68	0,3785	0,0549	4,18	13,81
S3	52,2	1,01	1,96	0,1754	0,0013	1,63	3,56
L3	48,7	2,04	4,07	0,2751	0,0368	3,17	8,67
S4	48,8	2,01	4,38	0,2811	0,3337	2,99	5,7
L4	46,6	2,56	10,83	0,2322	0,0401	2,98	20,81
S5	48,2	1,5	3,55	0,2177	0,0278	2,21	3,14
L5	41,6	2,45	6,14	0,3401	0,0417	3,92	17,39
S6	55,7	1,69	4,43	0,241	0,0151	2,51	1,8
L6	49,9	1,85	4,31	0,2753	0,027	3,01	13,36
S7	62,3	1,63	3,67	0,228	0,024	2,24	4,43
L7	34,8	2,51	7,32	0,3474	0,0282	4,12	16,06
S8	50,3	1,58	6,34	0,1976	0,0247	2,11	5,004
L8	36,2	2,51	12,3	0,2511	0,0255	2,92	21,82
S9/L8	54,6	1,94	7,12	0,2408	0,0188	2,58	14,65
L8/S9	29,9	2,38	11,25	0,2375	0,0166	2,77	19,99
S9/L10	47,9	2,13	10,17	0,1916	0,0225	2,36	13,74
L10	53,5	2,64	11,62	0,2534	0,0047	3,13	22,47
S10	91,5	1,4	4,25	0,1492	0,0027	1,37	5,15
L11	62,9	2,39	8,97	0,2311	0,0244	3,06	17,02
L11B	22,5	2,55	14,47	0,1856	0,021	2,6	24,48
L11C	36,7	2,53	14,48	0,186	0,0263	2,49	19,36
TM	50,6	0,99	1,35	0,1587	0,0104	1,24	3,45

VI.4 La radioactivité

Les résultats de mesure par spectrométrie gamma des 23 échantillons de la coupe AG sont donnés sous forme de graphes. Ces graphiques représentent la variation spécifique de chaque radionucléide identifié en fonction de la profondeur de l'échantillon.

L'allure générale des courbes représentatives (figure VI.05), montre que les activités spécifiques en ^{40}K , ^{238}U et ^{232}Th dans les dépôts de la coupe AG sont indépendantes de la profondeur. La disposition de ces variations en dents de scie laisse prévoir que la distribution est plutôt en fonction de la lithologie.

La variation des éléments radioactifs, ^{40}K , ^{238}U et ^{232}Th , montre de très bonne corrélation avec la présence des couches limoneuses et argileuses. Cela est explicable par le pouvoir de rétention des éléments radioactifs par les minéraux argileux.

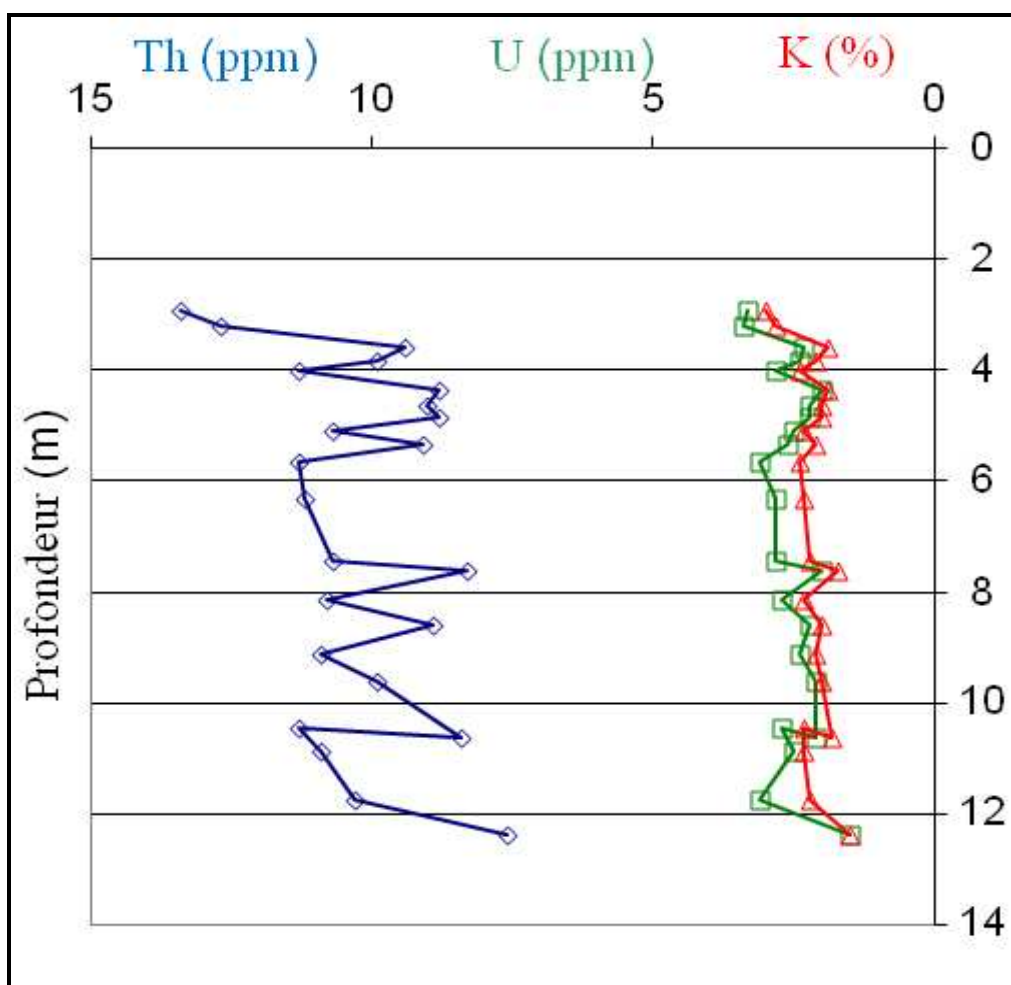


Figure VI.05 : Variation de la radioactivité en fonction de la profondeur dans le puits AG

VI.4.1 Rapport $^{232}\text{Th} / ^{238}\text{U}$

Les valeurs respectives du rapport Th/U (figure VI.06) de la coupe AG variés entre 3,32 et 4,7 (tableau VI.04). Ces échantillons sont donc d'origine terrigènes, puisque les valeurs du rapport Th /U sont en général, supérieures à 1. Comme le confirme aussi leurs teneurs en Th qui sont presque identiques. Ces résultats concordent avec les travaux antérieurs. En effet, pour Fakhi *et al.* (2002), les fortes valeurs du rapport Th/U sont observées dans les roches sédimentaires d'origine terrigène (Limon, sable).

Pour Ivanovich et Harmon (1982), les plus fortes valeurs du rapport Th/U observées confirment la concentration du thorium dans les couches limoneuses par des processus mécaniques.

Les couches à texture limoneuse (L2, L4, L6, L7, L8, L10, L11), dont la teneur en ^{232}Th est plus élevée (11 à 12 ppm), possèdent un taux d'émanation plus élevé que celui des couches à texture sableuse (S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9/L10, S10). Par conséquent, ces deux textures caractériseraient deux environnements différents (Fakhi *et al.*, 2002).

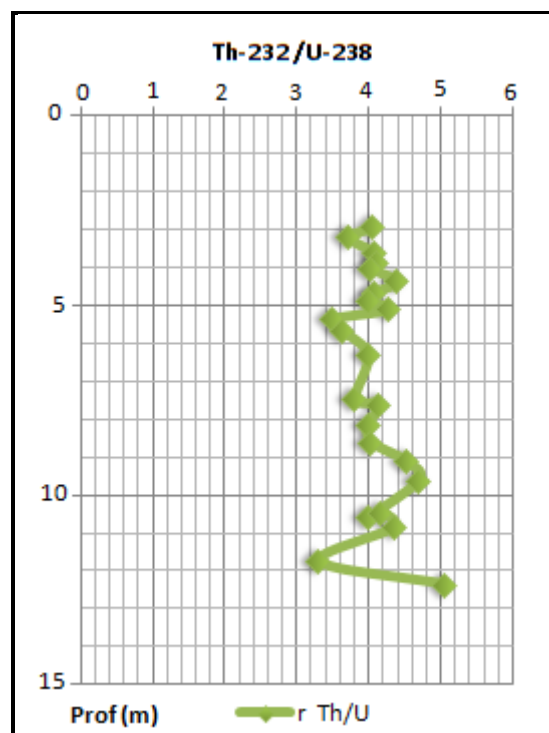


Figure VI.06 : Variation du rapport ($\text{Th}^{232}/\text{U}^{238}$) dans la coupe AG

Tableau VI.04: La variation des éléments radioactifs en fonction de la profondeur

Référence	Prof (m)	Th (ppm)	U (ppm)	K (%)	r Th/U
L2P1	2,92	13,4	3,3	3	4,06
L2P2	3,2	12,7	3,4	2,8	3,73
S3	3,58	9,4	2,3	1,9	4,09
S4	3,85	9,9	2,4	2,1	4,12
L4	4	11,3	2,8	2,4	4,04
S5	4,35	8,8	2	1,9	4,4
L5	4,65	9	2,2	2	4,09
S6	4,85	8,8	2,2	2	4
L6	5,1	10,7	2,5	2,3	4,28
S7	5,35	9,1	2,6	2,1	3,5
L7	5,65	11,3	3,1	2,4	3,65
L7P2	6,3	11,2	2,8	2,3	4
L7P3	7,45	10,7	2,8	2,2	3,82
S8	7,6	8,3	2	1,7	4,15
L8	8,15	10,8	2,7	2,3	4
S9/L8	8,6	8,9	2,2	2	4,05
L8/S9	9,1	10,9	2,4	2,1	4,54
S9/L10	9,6	9,9	2,1	2	4,71
S10	10,6	8,4	2,1	1,8	4
L10	10,45	11,3	2,7	2,3	4,195
L11A	10,85	10,9	2,5	2,3	4,36
L11B	11,75	10,3	3,1	2,2	3,32
L11C	12,35	7,6	1,5	1,5	5,07

VI.5 Datation des sédiments alluviaux par ^{14}C

La datation par les isotopes stables ou radioactifs permet de déterminer, sur une profondeur d'une dizaine de mètres, la date des fluctuations du cycle hydrologique et son assujettissement avec la périodicité des changements cycliques du climat dans la région.

Les résultats de datation ^{14}C par un accélérateur couplé à un spectromètre de masse (^{14}C par SMA) témoignent des épisodes plus ou moins humides. Ces derniers sont reportés dans la figure (VI.07) et le tableau (VI.05) :

Tableau VI.05 : Datation des sédiments alluviaux par ^{14}C

AGL1 profondeur de l'échantillon : 1,40m			
Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 1,5 mg C	49,44 ± 0,21	5660 ± 35BP	-17,95 ± 0,25
Sédiment, Acide humique, 0,7 mg C	62,03 ± 0,37	3835 ± 50/-45BP	-24,76 ± 0,13
AGL2 (M) profondeur de l'échantillon : 2,80m			
Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 1,1 mg C	39,92 ± 0,25	7375 ± 50BP	-26,52 ± 0,10
Sédiment, Acide humique, 0,3 mg C	57,34 ± 0,57	4470 ± 80BP	Not measured
AGL3 profondeur de l'échantillon : 3,70m			
Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 0,8 mg C	46,45 ± 0,29	6160 ± 50BP	-28,30 ± 0,17
Sédiment, Acide humique, 1,3 mg C	60,69 ± 0,26	4010 ± 35BP	-23,42 ± 0,13
AGL4 profondeur de l'échantillon : 4,0m			
Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 2,4 mg C	43,73 ± 0,19	6645 ± 35BP	-24,53 ± 0,12
Sédiment, Acide humique, 1,1 mg C	52,89 ± 0,29	5115 ± 45BP	-23,61 ± 0,17
AGL5 profondeur de l'échantillon : 4,50m			
Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 1,9 mg C	46,81 ± 0,20	6100 ± 35BP	-21,40 ± 0,09
Sédiment, Acide humique, 1,2 mg C	55,10 ± 0,24	4785 ± 35BP	-22,91 ± 0,16
AGL6 profondeur de l'échantillon : 5,10m			
Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 1,3 mg C	49,04 ± 0,23	5725 ± 35BP	-21,31 ± 0,12
Sédiment, Acide humique, 1,5 mg C	56,91 ± 0,25	4530 ± 35BP	-23,46 ± 0,09

AGL7 profondeur de l'échantillon : 6.30m

Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 1,7 mg C	44,31 ± 0,18	6540 ± 35/-30BP	-25,01 ± 0,17
Sédiment, Acide humique, 1,5 mg C	53,26 ± 0,22	5060 ± 35BP	-17,88 ± 0,25

AGL7 profondeur de l'échantillon : 7,45m

Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 2,2 mg C	39,40 ± 0,18	7480 ± 35BP	-21,03 ± 0,15
Sédiment, Acide humique, 2,0 mg C	45,52 ± 0,21	6320 ± 35BP	-23,33 ± 0,08

AGL10 profondeur de l'échantillon : 10m

Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 1,0 mg C	28,62 ± 0,22	10050 ± 60BP	-24,69 ± 0,16
Sédiment, Acide humique, 1,5 mg C	35,67 ± 0,20	8280 ± 45BP	-19,64 ± 0,10

AGL11 profondeur de l'échantillon : 11,5m

Fraction	Corrigé PMC*	Age conventionnel	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Sédiment, Résidu alcalin, 0,7 mg C	25,33 ± 0,26	11030 ± 80BP	-26,75 ± 0,17

* : Indique le pourcentage de carbone moderne corrigé par le fractionnement en utilisant la mesure du C^{13} .

$\delta^{13}\text{C}$: Comprend le fractionnement qui se produit pour la préparation de l'échantillon ainsi que pour la mesure par AMS.

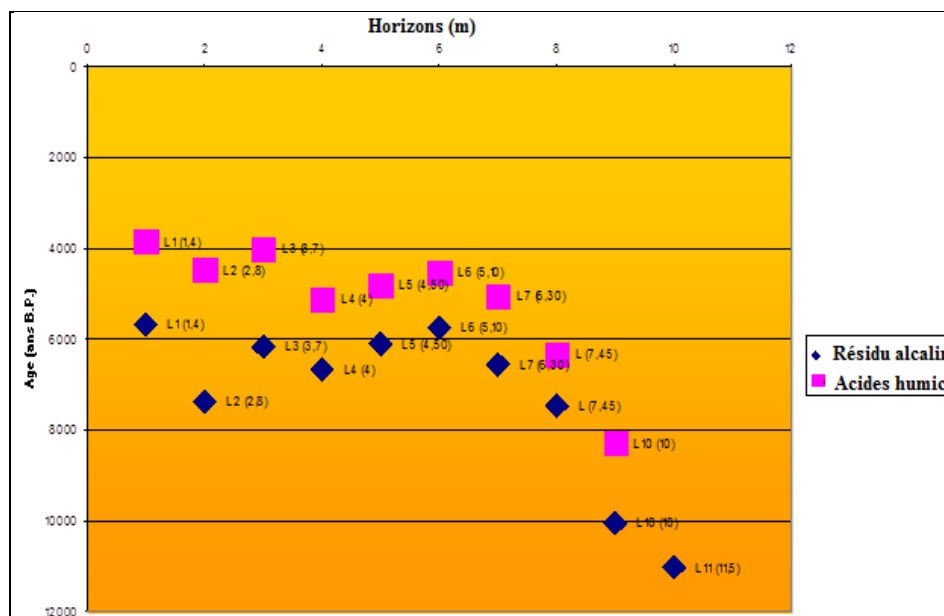


Figure VI.07 : Age des épisodes humides - Coupe AG

L'interprétation des résultats de datation de ^{14}C Par SMA (spectromètre de masse par accélérateur) montre que la coupe AG d'El Amied couvre les 12 derniers milliers d'années, avec des phases humides situées vers 3835 ± 45 ans BP ; 4470 ± 80 ans BP; 5115 ± 45 ans BP ; 6320 ± 35 ans BP ; 8280 ± 45 ans BP ; 11030 ± 80 ans BP.

Selon Messen *et al.* (2007), l'enregistrement des traces du climat dans la coupe AG révèle une périodicité d'environ 3000ans et note l'existence au moins de deux périodes humides importantes : l'une vers 3800 ans BP et l'autre vers 6300 ans BP.

VI.6 Conclusion

La concentration de Si est fortement élevée dans les couches sablonneuses. Ceci est dû à l'abondance des grains de quartz dans la fraction sableuse.

Les concentrations en Ca, Fe et K sont significativement plus élevées dans les couches limoneuses que dans les couches sableuses, car elles sont fortement corrélées aux taux limons par rapport aux ceux sables, ce qui nous laisse déduire que l'origine de Ca, Fe, K et des couches limoneuse est différente de celle ces derniers.

La concentration en Si est significativement plus élevée dans les couches sableuses. Ce résultat montre la présence d'une double voie d'apports (éolienne et hydrique). Cette dernière montre que le limon (couche limoneuse) et le calcaire total correspondent à la fraction détritique d'apport d'origine hydrique. Par contre, les couches sableuses sont liées à une origine éolienne.

L'abondance des éléments radioactifs, ^{40}K , ^{238}U et ^{232}Th dans les couches limoneuses montre la prédominance des minéraux argileux. Ces résultats confirment la description micromorphologique de la coupe AG qui montre la présence de revêtements argileux autour des grains de quartz.

Les résultats obtenus, par datation ^{14}C montre que la coupe AG ne correspond pas à un seul épisode climatique mais à une succession de phases, tantôt plus humides, tantôt plus arides, ainsi qu'en témoignent les alternances des différents dépôts observés dans la coupe AG réalisée sur le terrain.

Conclusions générales

Conclusion et perspectives

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une meilleure compréhension des conditions climatiques qui ont affecté la région de Dayet El Amied durant les temps passés. Pour mener à bien ce travail, des études morphologiques, micromorphologiques et minéralogiques des sols alluviaux ont été abordés, et devraient contribuer à l'élaboration de résultats pouvant servir d'aide à la reconstitution du climat passé en milieu désertique.

En se basant sur l'analyse d'une coupe (AG) de 12m de profondeur, aux caractéristiques pédo-sédimentaires différentes, nous avons réussi à traverser un certain nombre de résultats qui nous ont permis de décrypter la mémoire du sol en milieu désertique (Guerrara).

L'étude morphologique de la coupe AG montre que le sol est une succession de différentes couches superposées, sous forme d'une stratification, qui se traduit par la couleur, la structure de couches, les limites nettes entre les couches et la différence dans la granulométrie.

Les couches ayant une texture limoneuse, une couleur sombre et des teneurs plus élevées en calcaire total, sont influencées beaucoup plus par des apports d'origine hydrique. Cependant les couches ayant une texture sableuse, une couleur claire et des teneurs très faibles en calcaire total, sont influencées par des apports d'origine éolienne.

En conséquence, nous pouvons dire que les sédiments alluviaux de la région de Dayet El Amied sont le résultat d'une alternance de périodes humides et sèches.

La morphoscopie des grains de quartz, confirme les résultats de l'étude morphologiques. Les formes arrondies et dépolis de ces grains et les traces de chocs observées à leur surface, confirment leur origine éolienne. Les formes sub-anguleuses des grains sont des indices d'un transport d'origine hydrique.

L'étude micromorphologique a permis de mettre en évidence l'alternance de périodes arides et humides. Cette alternance se manifeste notamment par la présence des traits pédologiques suivants :

- Les traits texturaux, en position de revêtements des vides et des grains de quartz, suggèrent la présence de conditions plus humides qu'aujourd'hui. Ceux-ci indiquent aussi des percolations intenses et rapides pendant les périodes humides.

- Les pédoreliques calcaires correspondent, d'après leur forme arrondie, à plusieurs épisodes d'érosion hydrique en amont du bassin versant de l'oued Zegrir.

- Les traits ferrugineux observés dans des couches limoneuses montrent la présence de plusieurs composantes magnétiques. Il s'agit de grains de magnétite et de maghémite. Par contre, les couches sableuses sont dominées par l'hématite ou la goethite.

Les résultats micromorphologiques sont confirmés par les études minéralogiques et chimiques des sédiments. Ces dernières montrent une hétérogénéité qualitative et quantitative sur l'ensemble du profil AG. Ce qui ainsi indique, que les sédiments de la plaine alluviale de Dayet El Amied ont de sources d'apports différentes.

Les couches limoneuses présentent des teneurs plus élevées en Halloysite, signifiant ainsi leur accumulation sous un climat plus humide que dans les couches sableuses. Pendant les périodes humides, les apports d'origine hydrique dominant et donnent naissance aux couches limoneuses en transportant préférentiellement la fraction limoneuse.

La Palygorskite constitue un marqueur de climat chaud et aride sur les masses continentales. Elle évolue dans le même sens que le quartz, suggérant ainsi une même origine d'apport, c'est-à-dire apport d'origine éolienne. Ainsi, des teneurs élevées en Palygorskite traduisent un climat plus sec et aride. Par conséquent, les couches sableuses qui sont les plus riches en Palygorskite que les couches limoneuses, seraient formées pendant des périodes plus secs.

Les teneurs plus élevées en Si dans les couches sableuses par rapport aux autres couches limoneuses correspondent sans doute à une plus forte teneur en quartz, et reflètent des apports plus importants de grains de quartz éoliens.

Les fortes teneurs de Ca dans les couches limoneuses profondes indiquent la présence de calcaire en grandes quantités, et montre que le milieu est devenu de plus en plus acide et humide durant les périodes anciennes ou durant la mise en place des couches limoneuses. En revanche, un phénomène de lessivage est bien marqué par l'appauvrissement des parties supérieures en Calcaire.

La datation au ^{14}C montre que les premiers dépôts seraient antérieurs à 12000 ans, et se seraient poursuivis jusqu'à nos jours. L'édification de ce bassin sédimentaire correspond donc à une succession de phases tantôt plus humides, tantôt plus arides.

Les différents indices minéralogiques et micromorphologiques, développés dans ce travail, ont une signification paléoclimatique, expliquant la succession des couches limoneuses et sableuses par l'alternance d'épisodes climatiques arides et humides.

La synthèse des études minéralogiques et micromorphologiques du secteur d'étude nous permet de suggérer un complément d'étude. Pour une meilleure connaissance de changements climatiques passés, il sera nécessaire :

- ❖ De disposer d'un champ expérimental idéal pour reconstituer le paléoclimat et apporter des éléments d'explication aux changements climatiques ainsi qu'au phénomène de la sécheresse;
- ❖ D'effectuer des campagnes géophysiques qui permettront, à l'aide de nouvelles données, de détailler la géométrie des recouvrements alluvionnaires;
- ❖ De définir la nature des minéraux argileux qui constituent de bons indicateurs du paléoclimat;
- ❖ Enfin, d'effectuer de nouveaux essais pour déterminer les caractéristiques paléoclimatiques.

Bibliographie

- Adams A.E., MacKenzie W.S. & Guilford C.,** (1997): Atlas de rotas sedimentarias. Masson, Barcelone, 106 p.
- AFES-INR.,** (1995): Référentiel pédologique. Ed. INRA. Paris, 332p.
- AFNOR.,** (1999a): Qualité des sols. Vol. 1, Ed. AFNOR, Paris, 565p.
- Aiteur T. & Hamdani A.,** (2006): Essai de cartographie géomorphologique en milieu aride, cas de Guerrara. Mémoire Ing. Géom.
- Aouam H.,** (2007) : Etude micromorphologiques et minéralogique de sols alluviaux de la région de Guerrara (W. Ghardaia). Thèse Magister.
- Audert G.,** (1978) : Méthodes d'analyses des sols .Ed. C.R.D.P., Marseille.
- Baize D., & Jabiol B.,** (1995) : Guide de description des sols. Ed. AFES-INRA, Paris, 388p.
- Baize D.,** (1988) : Guide des analyses courantes en pédologie – choix-expression – interprétation. INRA.
- Blank R.R. & Fosberg M.A.,** (1990): Micromorphology and classification of pedogenic calcium carbonate accumulations that surround or occur on the undersides of coarse fragments in Idaho (USA). In: Douglas, L.A. (Ed.), Soil Micromorphology: a Basic and Applied Science, Development in Soil Science, vol. 19. Elsevier, Amsterdam, pp. 341–346.
- Bolle M.P., Adatte T., Keller G., Vonsalis K. & Burns S.,** (1999) : The Paleocene-Eocene climatic evolution in the Tethyan realm: Tethys (Tunisia): climatic and environmental fluctuations, Bull.Soc.géol. France 170 (1999) 661-680.
- Boudjema A.,** (1987) : Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara nord oriental (Algérie). Thèse D'Etat. 290 p.
- Boulaine J.,** (1957) : Etude des sols des plaines du Chélif. Ed. S.E.S.T.S.A.P. Alger. 388p.
- Brady N.C. & Weil R.R.,** (2002): The nature and properties of soils. 13th ed. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ, U.S.A. 960 p.
- Brimhall G.H., Lewis C., Ford C., Bratt J., Taylor G. & Warin O.,** (1991): Quantitative geochemical approach to pedogenesis: Importance of parent material reduction, volumetric expansion, and aeolian influx in laterization. Geoderma 51, 51–91.

- Bronger A.**, (2003): Correlation of loess-paleosol sequences in East and Central Asia with SE Central Europe: Towards a continental Quaternary pedostratigraphy and paleoclimatic history. *Quaternary International* 106/107, 11–31.
- Bul F & Cuche D.**, (1969) : Mise au point des connaissances sur la nappe du complexe Terminal, ERESS, Ouargla, Algerie.
- Bullock P., Fedoroff N., Jongerius G., Stoops G. & Tursina T.**, (1985) : “Handbook for soil thin section description“ . Waine Research Publications, Wolverhampton, U.K.
- Busson G.**, (1970) : « Le Mésozoïque Saharien. 2^{ème} partie : Essai de synthèse des données de sondages algéro-tunisiens ». Paris.
- Busson G.**, (1972) : Principes, méthodes et résultats d’une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Thèse D. sc. Paris, et Mém. Mus. Nat. Hist.nat. (1972), c, XXVI, 1 Vol., 441p.
- C.P.C.S.**, (1967): La classification des sols. Cahier de pédologie, ENSA Grignon.
Cahier ORSTOM, série Pédologie. **IX**(3): 335-343.
- SCG.**, (1939) : « Notice explicative des cartes géologiques au 1/500000é. Alger. Nord. Alger-Nord. Alger-Sud ». Bulletin du SCG de l’Algérie. Alger, pp 95-99.
- Candy I., Black S., Sellwood B.W. & Rowan J.S.**, (2003): Calcrete profile development in Quaternary alluvial sequences, southeast Spain: implications for using calcretes as a basis for landform chronologies. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 169–185.
- Capot-Rey R., Cornet A., Blaudin de the B.**, (1969): Glossaire des termes géologiques et hydrogéologiques. Ed. I.R.S. Univ. D’Alger. pp. 44-45.
- Casenave A. & Valentin C.**, (1989) : Les états de surface de la zone saharienne. Influence sur l’infiltration. Didactiques. ORSTOM, Paris.
- Catt J.A.**, (1991): *Paleopedology Manual*. Quaternary International 6. Pergamon Press, Oxford.
- Chesworth W.**, (1973): The residua system of chemical weathering: a model for the chemical
- Cooke R.U., Warren A. & Goudie S.A.**, (1993): *Desert geomorphology*. UCL ed. London. 526p.

Cornet A. & Gouscov N., (1952): Les eaux de Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien (nappe dite «Albien »). In : La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie. 19^e Congrès géologique international. T. II, 30p.

Courty M.A., (1984) : Formation et évolution des accumulations cendreuses ; approche micromorphologique. In influences méridionales dans l'est et le centre-est de la France au Néolithique : le rôle du Massif central, CREPA éd., Cahier n° 1 : 341-353.

Courty M.A., (2001): Microfacies analysis assisting archaeological stratigraphy. In: Goldberg, P., Holliday, V., Ferring, C.R. (Eds.), Earth Sciences and Archaeology. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York, pp. 205 et 237.

Courty M.A., Fedoroff N. & Guilloire P., (1987): Micromorphologie des sédiments archéologiques. In: Géologie de la préhistoire : méthodes, techniques, applications : Association pour l'Etude de l'Environnement, Géo de la Préhistoire. Paris, p. 439-477.

Courty M.A., Goldberg P. & Macphail R.I., (1989): Soils and Micromorphology in Archaeology. Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 344 p.

Cremschi M. & Trombino L., (1998): The paleoclimatic significance of paleosols in Southern Fezzan (Libyan Sahara): morphological and micromorphological aspects. Catena 34, 131–156.

Dadi Bouhoun M., (1997) : Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du Mzab. Mémoire de Magistère, INR, INA, Alger, 180p.

Djerrab A., Messen N., Hedley I. & Camps P., (2007) : « Stratigraphie et propriétés magnétiques du remplissage du paléolac de Guerrara, Algérie ». In CRSTRA, EUR-OPA & Université de Ouargla ed. Journée d'étude sur la datation des enregistrements climatiques en Afrique du nord et des événements hydrologiques et thermique, Ouargla.

Djili B & Hamdi-Aissa B., (2006) : « Interaction entre érosion hydrique et éolienne en milieu saharien : cas de la Daya d'El Amied ». XII^{ème} Séminaire national des sciences de la terre. Université d'Oran.

Djili B., (2004) : « Etude des sols alluviaux en zones arides. Cas de Daya d'El Amied (région de Guerrara) : essai morphologique et analytique », Thèse Magister.

Dubief J., (1959) : Le climat du Sahara. Ed. Inst. Rech. Saha. Alger. Mémoire hors série. Tome I. 307p.

- Duchaufour Ph & Souchier B.,** (1977) : Pédologie, T.1, pédogenèse et classification, première édition. Masson, Paris. 477 p.
- Duchaufour Ph.,** (1977) : Pédologie, T1, pédogenèse et classification, 2^e édition. Masson et CIE. Paris. 459 p.
- Dutil P.,** (1971) : Contribution à l'étude des sols et des pédologie et palynologique d'un profil de formation quaternaires de Daïa de M'RARA (W de l'Oued Rhir).Bull. de la soci. D'Hist. Nat. de l'Afr du N., Tome 50, N°5-6,196-203.
- Dutil P.,** (1971) : Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse doc. D'état, faculté des sciences de l'université de Strasbourg.
- Embrechts J. & Stoops G.,** (1987): Microscopic identification and quantitative determination of microstructure and potentially mobile clay in a soil catena in a humid tropical environment. In: Fedoroff, N., Bresson, L.M., Courty, M.A. (Eds), Soil Micromorphology. Proceedings of VII International Working Meeting on Soil Micromorphology, Association Française pour l'Etude du Sol, pp. 157–162.
- Embrechts J. & Sys C.,** (1988): Genesis of subsurface horizons of a soil catena in a humid tropical climate. (Yaounde, Cameroon). Catena 15, 53–63.
- Fabre J.,** (1976) : « Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines ».I-La couverture phanérozoïque. Ed. S.N.E.D., t.3, p422.
- Fakhi S., Adjour M., Fedan B., Andres Y., Abbe J., Bandombele M., Morabet A & El Morabet A.,** (2002): Analyse géochimique par spectrométrie gamma et par fluorescence X (EXDRF) des dépôts mésozoïques des forages OYB-1 et NDK-2 (bassins de Doukkala et d'Essaouira, Maroc).
- FAO.,** (1993): World soil Resources, An explanatory note on the FAO World Soil Resources Map at 1:25000 000 scale, World Soil Resource Report 66 Rev. , Rome: FAO.
- FAO.,** (1998) : World Reference Base for Soil Resource. World Soil Resource Report N° 84.ISSS, ISRIC and F.A.O., Rome, 88p.
- Fedoroff N. & Courty M.,** (1987): Paléosols. In ; Géologie de la préhistoire. J.C. Miskovsky (edt). Géopré, Pris, 251-280.

- Fedoroff N. & Courty M.**, (1994) : « Organisation du sol aux échelles microscopiques ». In : Pédologie : 2) Constituants et propriétés des sols. Ed. Duchaufour, P. & Souchier, B.), pp. 349-375. Masson. Paris.
- Fedoroff N. & Courty M.A.**, (1985): Micromorphology of recent and duried soils in a semi-arid region of northwestern India. *Geoderma*, 35, 287- 332.
- Fedoroff N. & Courty M.A.**, (2002): Paléosols et sol reliques. In Miskovsky, J.C. (ed.), *Géologie de la Préhistoire*. GéoPré Presses Universitaires de Perpignan, pp. 277–316.
- Fedoroff N. & Goldberg P.**, (1982): Comparative micromorphology of two late Pleistocene paléosols. *Catena*, 9. 227- 251.
- Fedoroff N.**, (1967) : Exemple d'application de la micromorphologie à l'étude des paléosols. Lab. Géol. Pédol. ENSA. Grignon. Bulletin de l'association française pour étude de Quaternaire.
- Fedoroff N.**, (1997): Clay illuviation in Red Mediterranean soils. Volume 28, Issues 3 – 4, February 1997, Pages 171–189.
- FitzPatrick E.A.**, (1993): *Soil Microscopy and Micromorphology*. Wiley, New York. 304 pp.
- Folk R.**, (1959): Practical classification of limestones. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 43, 1-38.
- Folk R.**, (1965): *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's, Austin, TX.
- Freytet P.V.E.**, (1989) : Les carbonates du pourtour méditerranéen : microfaciès et milieux de formation. *Méditerranée* 2-3 (2-3) 5-28.
- Gautier M. & Gousskov M.N.**, (1951): Le forage de Guerrara. Deuxième sondage d'étude et premier grand sondage d'exploitation de la nappe Albienne jaillissant dans le Bas-Sahara. *Terre et Eaux*. Alger. pp. 38 - 42.
- Gile L.H., Peterson F.F. & Grossman R.B.**, (1966): Morphological and genetic sequences of carbonate accumulation desert. *Soil Sci.* 101, 347-360.
- Guendouz A.**, (1985) : « Contribution à l'étude géochimique et isotopique des nappes profondes du Sahara Nord-est septentrional, Algérie ». Thèse Université Paris-Sud, Orsay, France.
- Guerradi H & Faradji O.**, (2007) : Géochimie et sédimentologie de la Dayet El Amied (Guerrara). Mémoire d'ingénieur. Univ de Ouargla.

- Hacini M., Messen N., Hamdi-Aissa B., Imatoukéne D., Djili B., Djerrab A. & Bouragaa S.,** (2007): La reconstitution du climat paléolithique à partir des sols alluvionnaires. L'approche sédimentologique, géophysique et géochimique. In CRSTRA, EUR-OPA & Université de Ouargla ed. Journée d'étude sur la datation des enregistrements climatiques en Afrique du nord et des événements hydrologiques et thermique, Ouargla.
- Halitim A. & Robert M.,** (1987) : Interaction du gypse avec les autres constituants du sol : analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentales. In Fedoroff et all. (ED) : soil micromorphology, AFES. pp 179-186.
- Halitim A.,** (1988) : Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger.384p.
- Hamdi-Aissa B.,** (1995): Fonctionnement des sols de la cuvette de Ouargla: essai micromorphologique et géochimique. DEA pédologie, Univ. Nancy I, INA-PG, ENSA-Rennes, 52p.
- Hamdi-Aissa B.,** (2001): Environmental signification of crystalline pedological features under an hyper-arid climat (Northern Sahara) »p.43, in: IUSS. Ed, International Working Meeting on Micropedology, Ghent University, Ghent.
- Hamdi-Aissa B.,** (2001): Le fonctionnement actuel et passé des sols du Nord Sahara (cuvette de Ouargla). Approche micromorphologique, géochimique et minéralogique et organisation spatiale. Ph dissertation, Institut National Agronomique, Paris Grignon.
- Hamdi-Aissa B., Djili B., Messen N., Hacini M., Gaouar A., Youcef-Ettoumi F. & Benzinah A.,** (2004) : Application de l'approche paléopédologique pour la datation relative des événements paléoclimatiques. pp 40-42.In. CRSTRA, EUR-OPA & Université de Ouargla ed. Journée d'étude sur la datation des enregistrements climatiques en Afrique du nord et des événements hydrologiques et thermique, Ouargla.
- Havlicek E.,** (1999): Sols des paturages boisés du Jura Suisse-Origin et typologie- Relations sol-végétation- Pédogenèse des brunisols- Evolution des humus- Vol. I. Inst. Bot. Univ. Neuchatel. 220p.
- Ivanovich M., & Harmon R.S.,** (1982): Uranium series disequilibrium; application to environmental problems. *Clarendon Press.* Oxford, 32, 39 p.
- Kemp R.A.,** (1999): Micromorphology of loess-paleosol sequences: a record of paleoenvironmental change. *Catena* 35, 179–196.

Kemp R.A., (2001): Pedogenic modification of loess: significance for palaeoclimatic reconstructions. *Earth-Science Reviews* 54, 145–156.

Khadraoui M., (2010) : Les indicateurs paléo-écologiques dans les sols alluviaux du Sahara (cas de daya de El-Mrara). Mémoire de Magister, université de Ouargla.

Khan F.A., & Fenton T.E., (1994): Saturated zones and soil morphology in a Mollisol catena of Central Iowa. *Soil Science Society of America Journal*. 58: 1457-1464.

Khokhlova O.S., Sedov S.N., Golyeva A.A. & Khokhlov, A.A., (2001): Evolution of Chenozems in the Northern Caucasus, Russia during the second half of the Holocene: carbonate status of Paleosols as a tool for paleoenvironmental reconstruction. *Geoderma* 104, 115 – 133.

Khormali F., & Abtahi A., (2003): Origin and distribution of clay minerals in calcareous arid and semi-arid soils of Fars Province. *Clay Miner.* 38, 511– 527.

Khormali F., Abtahi A. & Stoops G., (2006): Micromorphology of calcitic features in highly calcareous soils of Fars Province, Southern Iran.

Laveuf., (2009) : Les terres rares et le zinc comme traceurs des processus pédogénétiques : application à une séquence de sols issue de calcaires minéralisés. Thèse doctorat. Univ d'orléans. PUCVL. Paris.114p.

Maignien D., (1969): Manuel de prospection pédologique. O.R.S.T.O.M. Paris.132p.

Manning D.A.C., (1995): Introduction to Industrial Minerals. Chapman and Hall, 276pp.

McCarthy P.J., Martini I.P. & Leckie D.A., (1998): Use of micromorphology for paleoenvironmental interpretation of complex alluvial paleosols: an example from the Mill Creek Formation (Albian), southwestern Alberta, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 143, 87–110.

Melouah W & Bennamia M., (2007) : Caractérisation des dépôts alluvionnaires Dayat El Amied (Région de Guerrara) par la méthode radar en surface. Mémoire d'ingénieur.Univ de Ouargla.

Messen N., Hamdi-Aïssa B., Djili B., Youcef F., Hacini M., Imatoukéne D., Djerrab A., Gaouar A. & Youcef-Ettoumi F., (2004) : Etude du climat paléolithique dans un bassin sédimentaire du sud algérien : sélection du site. *Journal algérien des zones arides*, 3 de 36-42.

Messen N., Hamdi-Aïssa B., Imatoukéne D., Djerrab A., Hacini M., & Benzineh S., (2007) : « Etude du climat paléolithique dans bassin sédimentaire du Sahara septentrional

algérien ». Actes des journées internationales sur l'impact des changements climatiques sur les régions arides et semi-arides (CRSTRA).

OSS., (2003) : Système Aquifère du Sahara Septentrional, Rapport interne. Annexe. Tunis, Tunisie, 229p.

Pedro G., (1987): Géochimie, minéralogie et organisation des sols. Aspects coordonnés des

PNUD-UNESCO., (1972) : «Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional ». Rapport sur les résultats du projet. UNESCO, Paris. problèmes pédogénétiques. Cahier ORSTOM, série Pédologie. XXIII (3): 169-186.

Retallack G.J., (1990): Soils of the Past: an Introduction to Paleopedology. Unwin Heyman, London.

Rognon P., (1980): "Pluvial and arid phases in the Sahara : the role of non climatic factors". In "Sahara and Surrounding Seas". (M. Sarnthein, E. Seibold & P.Rognon. eds.), Paleoecology of Africa 12: pp. 45-61.

Rognon P., Coudé-Gaussen G., Fedoroff N. & Goldberg P., (1987): Micromorphology of loess in the Northern Negev (Israel). In soil Micromorphology des (Eds. N. Fedoroff, L.M. Bresson et M.A. Courty), Pp 631-638, A.F.E.S., Paris.

Ruellan A., (1971): L'histoire des sols: quelques problèmes de définition et d'interprétation.

S.C.G., (1952): Carte géologique d'Algerie. Feuille d'Alger Sud. (1/500.000). S.C.G., Alger.

Stoops G., (2002): "Guidelines for analysis and description for soil and regolith thin sections". Soil Am. Soil Sci. Soc. Special publication (in press).

Stoops G., (2003): Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.

Stoops G., Gérard M. & Arnalds O., (2007): A micromorphological study of Andosol genesis in Iceland. Geoderma, in press. Tejedor Salguero, M-L., Benayas, J. & Fernandez-Caldas, E. 1975. Estudio físico-químico y micromorfológico de intergrados andosol-tierra

Strakhov N.M., (1669): principles of lithogénésis. Oliver and boyd, Edinburgh. t₁ 245p. t₂ 609p.

Targulian V.O. & Goryachkin S.V., (2004): Soil memory: Types of record, carriers, hierarchy and diversity. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 21, 1–8.

Thierriot C & Matari H., (1998): Peut en parler de sècheresse du Sahara? Ed. C.R.ST.RA.

Thorthwaite C.W., (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Géog. Rev.*, 38, 1: 55-94.

Toutain G., (1979) : Elément d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Marrakech, 276p.

Turner P., (1980): Continental red beds. *Developments in Sedimentology* 29. Elsevier Sci. Publ., Amsterdam, the Netherlands. Van der Voo, R., Mauk, F.J., French, R.B., 1976. Permian–Triassic continental configurations and the origin of the Gulf of Mexico. *Geology* 4, 177–180.

U.S.D.A., (1998): Keys to soil Taxonomy. U.S.D.A-N.R.C.S. Washington D.C, 326p.

UNESCO., (1972): Projet ERESS; Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional, et rapport sur les résultats du projet. REG-100, UNESCO, Paris (1972).

Valentin C., (1985) : Organisations pelliculaires superficielles des quelques sols de région subdésertique (Agadez Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eu. Edit. ORSTOM, Coll. Etudes et Thèses, Paris.

Vallverdu J., Courty M.A., Carbonell E., Canals A. & Burjachs F., (2001): Sédiments *d'Homo Antecessor* de Gran Dolina, (Sierra de Atapuerca, Burgos, Espagne). Interprétation micromorphologique des processus de formation et enregistrement paléoenvironnemental des sédiments. Ed. Scientifiques et médicales Elsevier SAS. *L'Anthropologie* 105 (2001) 45-69.

Wieder R.K., (1978): Decomposition of ¹⁴C labeled fescue litter in Missouri mines. Dissertation. University of Missouri, Columbia, Missouri, USA.

Yaalon D. & Wieder M., (1976): Pedogenic palygorskite in some brown (Calciorthid) soils of Israel. *Clay Minerals*, 11:73-80.

Yaalon D.H., (1971): Paleopedology. Origin, nature and dating of paleosols. International Society of soil Science and Israel Universities Press.

Youcef F., (2006): Indicateurs paléocéologiques dans les sols des bassins endoédriques (Sebkha et Daya) Du Sahara septentrional. Exemple des Sebkha d'Ouargla et Mellala et de la Daya d'El Amied. Mémoire de Magister. Univ de Ouargla.

Zhang M., & Karathanasis A.D., (1997): Characterization of iron-manganese concretions in Kentucky Alfisols with perched water tables. *Clays and Clay Minerals*. 45(3): 428- 439.

Annexe

Tableau A.01 : Données des indices

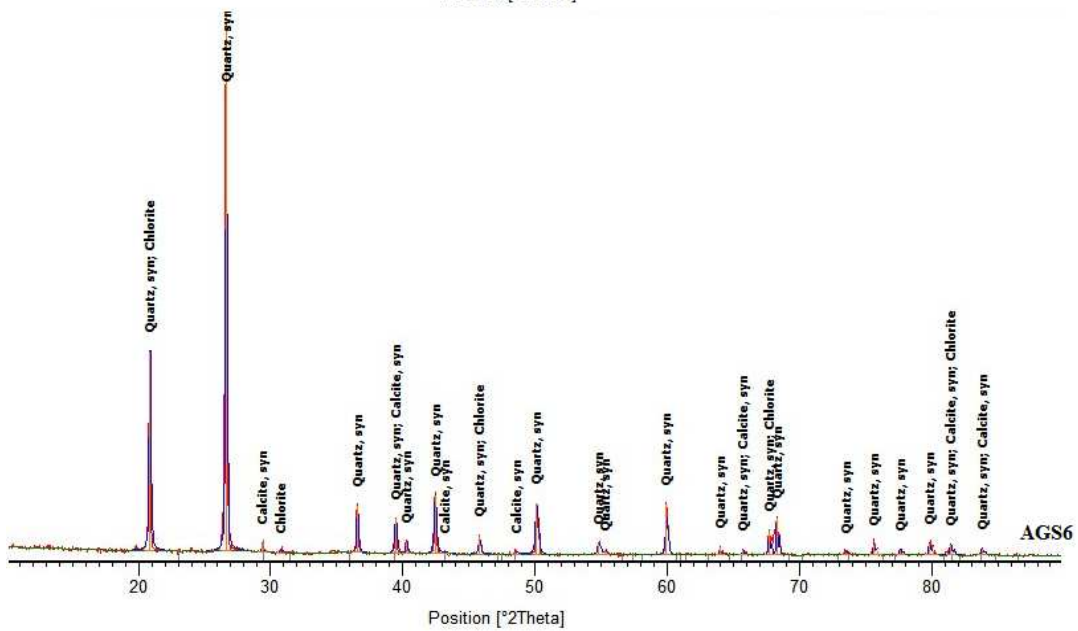
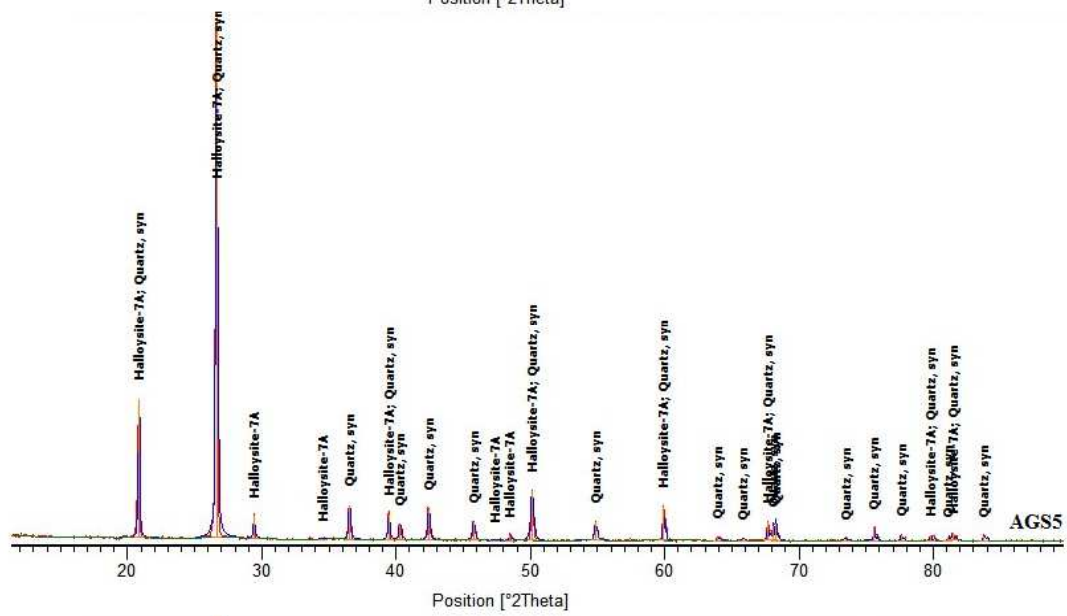
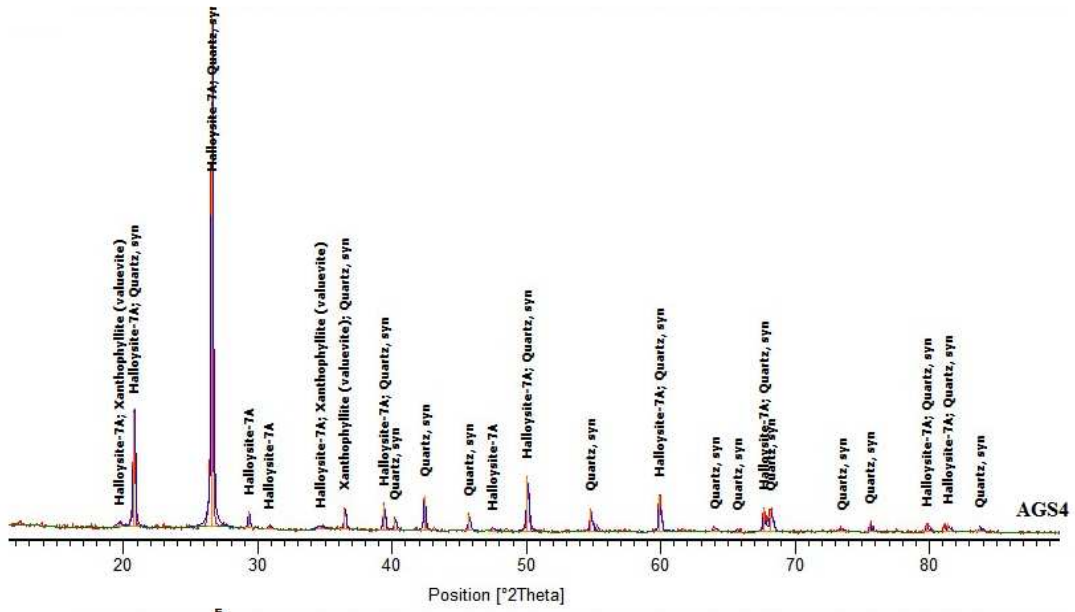
de classement (S_0)

Prof (cm)	S_0
0-55	0,683
55-135	0,743
135-152	0,738
152-235	0,745
235-348	0,746
448-364	0,686
364-381	0,5
381-392	0,699
392-423	0,707
423-445	0,335
445-456	0,44
456-505	0,308
505-522	0,323
522-549	0,346
549-760	0,566
760-790	0,263
790-840	0,335
840-880	0,382
880-942	0,295
942-965	0,244
965-1030	0,299
1030-1053	0,247
1053-1073	0,273
1073-1235	0,346
>1235	0,31

Tableau A.02 : Données des indices

d'asymétries S_k

Prof (cm)	S_k
0-55	0,893
55-135	0,546
135-152	1,002
152-235	1,008
235-348	1,091
448-364	0,864
364-381	0,668
381-392	1,049
392-423	0,895
423-445	0,263
445-456	0,587
456-505	0,329
505-522	0,293
522-549	0,361
549-760	0,631
760-790	0,678
790-840	0,415
840-880	0,4
880-942	0,386
942-965	0,41
965-1030	0,375
1030-1053	0,726
1053-1073	0,643
1073-1235	0,361
>1235	1,033



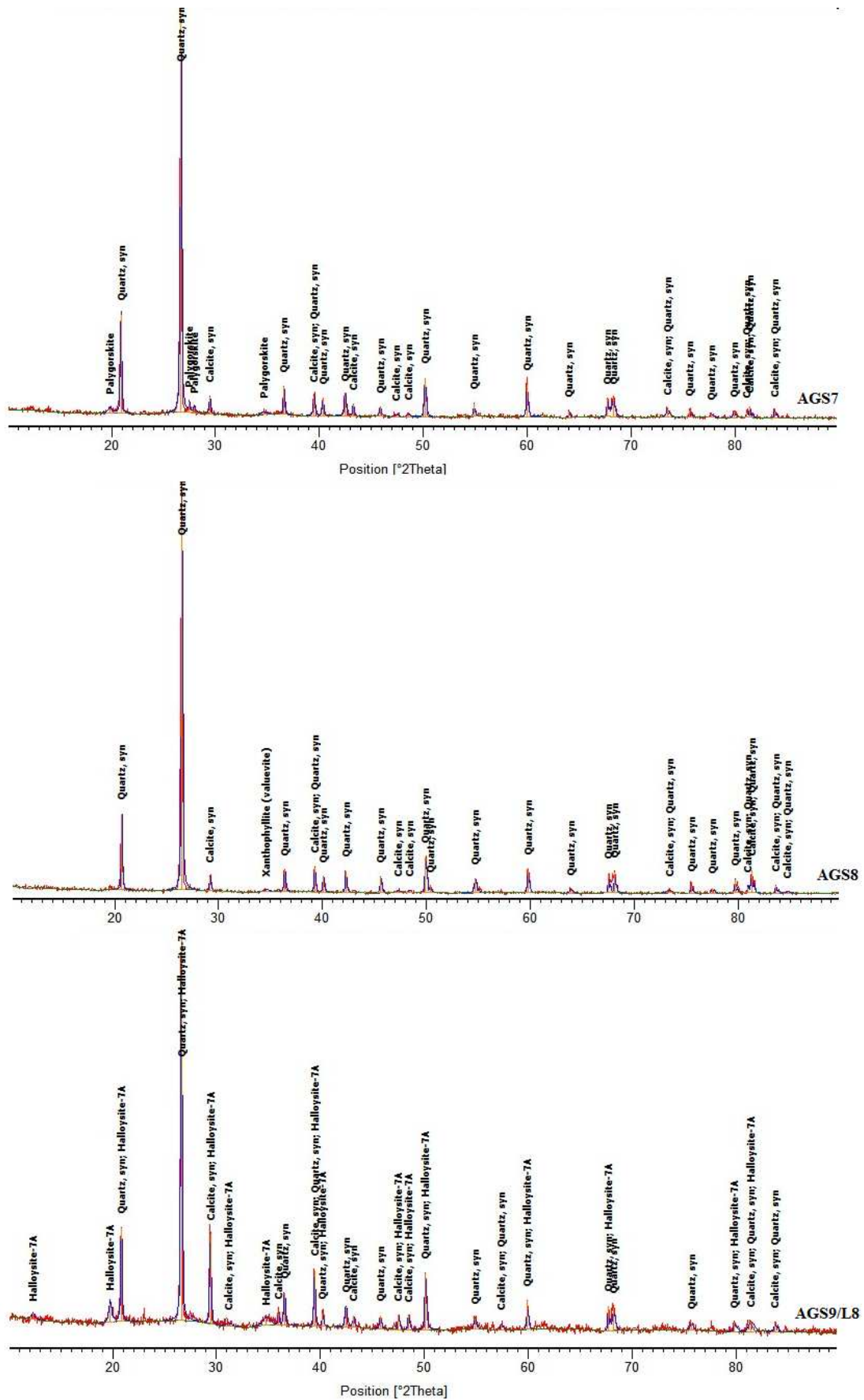


Figure A.01: Spectres de diffraction de la fraction fine des sédiments de la coupe AG

Tableau A.03 : Tableau récapitulatif des analyses chimiques effectuées sur les 29 échantillons de la coupe AG

Echantillons	Si (%)	K (%)	Ca (%)	Ti (ppm)	Mn (ppm)	Fe (%)
AGAP	51.9 ± 3.1	1.71 ± 0.23	5.40 ± 0.46	2377 ± 195	199 ± 22	2.29 ± 0.04
AGS1	47.5 ± 3.1	0.77 ± 0.11	1.70 ± 0.15	1114 ± 91	13 ± 2	0.72 ± 0.02
AGL1	44.5 ± 2.8	2.56 ± 0.34	9.34 ± 0.72	3193 ± 262	501 ± 55	3.42 ± 0.08
AGS2	55.6 ± 3.1	0.75 ± 0.11	2.08 ± 0.22	1152 ± 94	48 ± 5	0.78 ± 0.02
AGL2	45.1 ± 3.1	2.76 ± 0.38	4.16 ± 0.40	4278 ± 351	571 ± 63	5.03 ± 0.07
AGL2A	46.7 ± 2.9	2.75 ± 0.35	5.27 ± 0.63	3849 ± 316	621 ± 68	4.55 ± 0.08
AGL2B	37.1 ± 2.6	2.57 ± 0.34	6.68 ± 0.55	3785 ± 310	549 ± 60	4.18 ± 0.07
2 MILIEU	46.8 ± 2.9	2.12 ± 0.31	3.73 ± 0.34	3396 ± 280	575 ± 63	3.98 ± 0.08
AGS3	52.2 ± 3.1	1.01 ± 0.13	1.96 ± 0.23	1754 ± 144	13 ± 2	1.63 ± 0.04
AGL3	48.7 ± 3.4	2.04 ± 0.30	4.07 ± 0.38	2751 ± 210	368 ± 40	3.17 ± 0.06
AGS4	48.8 ± 3.2	2.01 ± 0.26	4.38 ± 0.40	2811 ± 225	333 ± 37	2.99 ± 0.05
AGL4	46.6 ± 3.5	2.56 ± 0.35	10.83 ± 0.72	2322 ± 190	401 ± 44	2.98 ± 0.04
AGS5	48.2 ± 2.9	1.50 ± 0.21	3.55 ± 0.30	2177 ± 178	278 ± 31	2.21 ± 0.05
AGL5	41.6 ± 2.8	2.45 ± 0.36	6.14 ± 0.50	3401 ± 280	417 ± 46	3.92 ± 0.06
AGS6	55.7 ± 3.2	1.69 ± 0.22	4.43 ± 0.42	2410 ± 198	151 ± 17	2.51 ± 0.05
AGL6	49.9 ± 3.2	1.85 ± 0.23	4.31 ± 0.41	2753 ± 226	270 ± 30	3.01 ± 0.06
AGS7	62.3 ± 3.3	1.63 ± 0.22	3.67 ± 0.33	2280 ± 187	240 ± 26	2.24 ± 0.05
AGL7	34.8 ± 3.1	2.51 ± 0.34	7.32 ± 0.69	3474 ± 285	282 ± 31	4.12 ± 0.07
AGS8	50.3 ± 3.3	1.58 ± 0.21	6.34 ± 0.54	1976 ± 162	247 ± 27	2.11 ± 0.04
AGL8	36.2 ± 3.1	2.51 ± 0.33	12.30 ± 0.88	2511 ± 206	255 ± 28	2.92 ± 0.05
AGS9/L8	54.6 ± 3.2	1.94 ± 0.25	7.12 ± 0.75	2408 ± 197	188 ± 21	2.58 ± 0.05
AGL8/S9	29.9 ± 2.7	2.38 ± 0.32	11.25 ± 0.80	2375 ± 195	166 ± 18	2.77 ± 0.06
AGS9/L10	47.9 ± 3.3	2.13 ± 0.29	10.17 ± 0.75	1916 ± 157	225 ± 25	2.36 ± 0.05
AGL10	53.5 ± 3.3	2.64 ± 0.36	11.62 ± 0.85	2534 ± 190	47 ± 5	3.13 ± 0.06
AGS10	91.5 ± 3.9	1.40 ± 0.22	4.25 ± 0.51	1492 ± 125	27 ± 3	1.37 ± 0.03
AGL11	62.9 ± 3.6	2.39 ± 0.35	8.97 ± 0.78	2311 ± 182	244 ± 27	3.06 ± 0.06
1GL11B	22.5 ± 2.4	2.55 ± 0.33	14.47 ± 0.85	1856 ± 153	210 ± 23	2.60 ± 0.05
1GL11C	36.7 ± 3.5	2.53 ± 0.34	14.48 ± 0.85	1860 ± 153	263 ± 29	2.49 ± 0.05
AGTM	50.6 ± 3.2	0.99 ± 0.01	1.35 ± 0.15	1587 ± 130	104 ± 11	1.24 ± 0.03

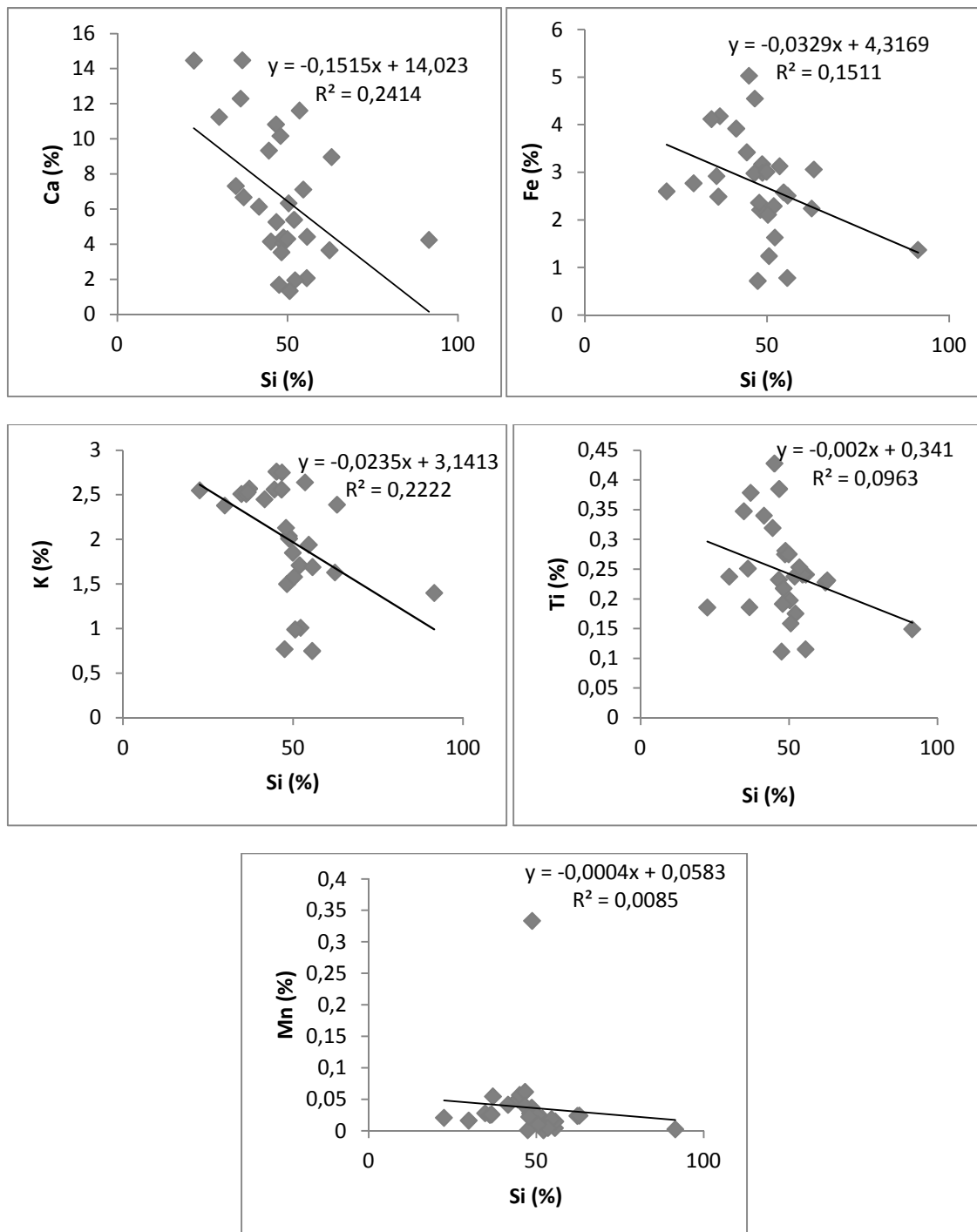


Figure A.02 : Relation des éléments majeurs (%) avec la concentration de silice du sol

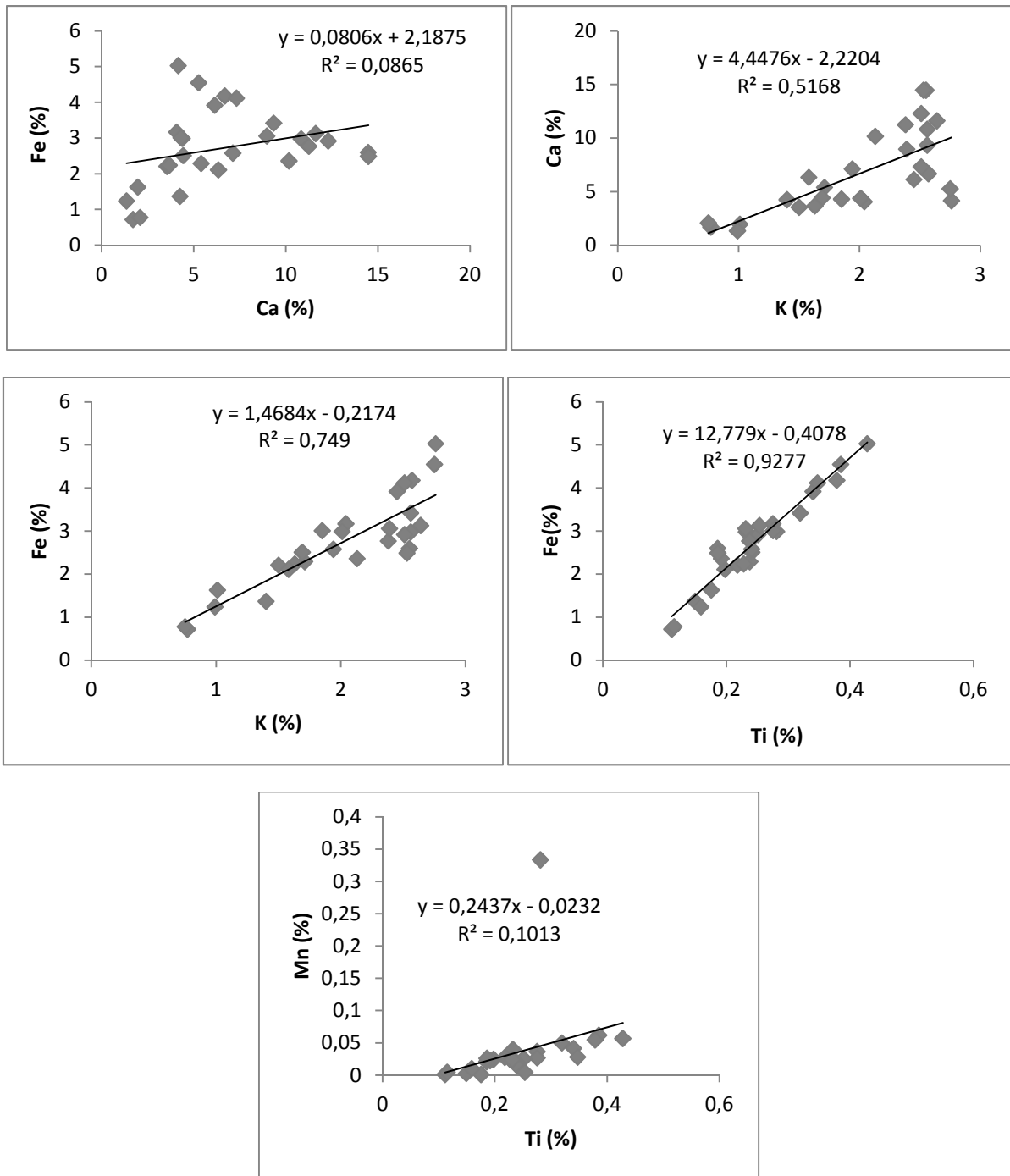


Figure A.03 : Relation entre la concentration des éléments majeurs