

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

**Université Des Frères Mentouri Constantine Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de
l'Aménagement du Territoire Département des Sciences Géologiques**



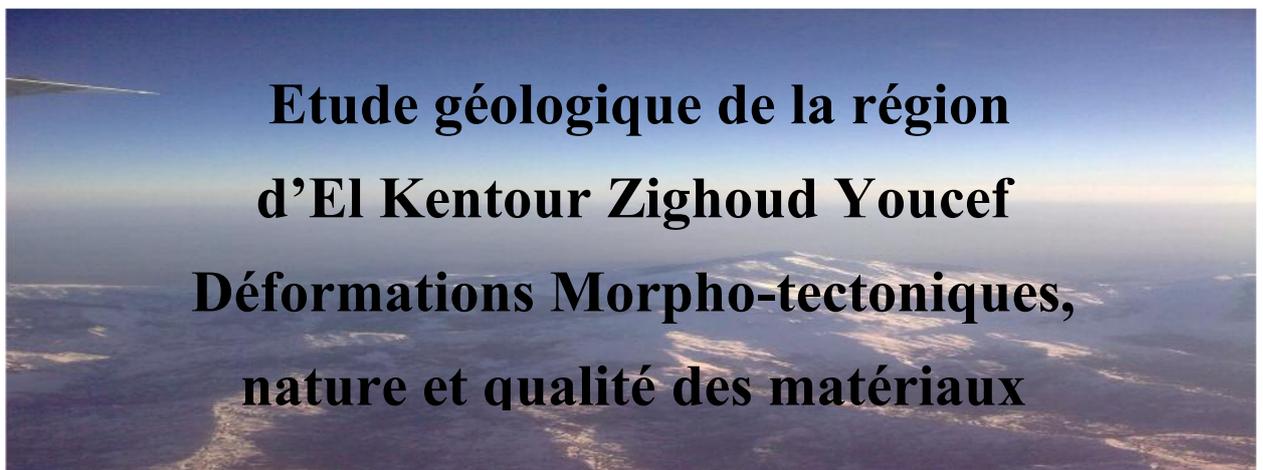
N° d'ordre :

Série :

T H E S E

Présenté pour l'obtention du diplôme de

Magister en Sciences de la Terre option : ressources énergétiques



Par Safia ZERDOUDI

Soutenu le 23/12/2015

Devant le jury d'examen :

Pr. BENAÏSSA Abdelkader	Université Constantine 1	Président
Pr. BENABBAS Chaouki	Université Constantine 3	Rapporteur
Pr. KHIARI Abdelkader	Université d'Oum El Bouaghi	Examineur
Dr. CHADI Mohammed	Université Constantine 3	Examineur

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé sous la direction de monsieur Pr. Chaouki BENABBAS. Je le remercie vivement d'avoir accepté de m'encadrer et de m'avoir fait profiter de son expérience dans la compréhension du terrain.

Je remercie tout particulièrement monsieur Pr. Ramadhane MARMI de m'avoir donné une chance de progresser en géologie.

Je remercie monsieur Pr. Abdelkader BENAÏSSA d'avoir accepté la présidence du jury de ce mémoire. Mes remerciements vont également à monsieur Pr. Abdelkader KHIARI et monsieur Dr. Mohammed CHADI d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

J'exprime toute ma reconnaissance aux professeurs N. ROUAG et L. CHEKOUR pour les caractérisations par DRX au laboratoire Microstructures et Défauts dans les Matériaux du département de Physique.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à, I.HAMANI, Mme A. KANDOULI et Mrs. B.ANABI et B.YEKHLEF, pour l'aide que j'ai trouvé auprès d'eux dans la réalisation pratique de ce travail. Mes plus vifs remerciements vont également à Mrs .K. BOULKANDOUL et , Dr.K. RABHI et Dr.N. ROUSTILA

Merci à tous mes amis Amel, Khelifa, Salah, Abd Razak, Ramzi, Asma et Saïda et mes collègues Abdelali, Khaled, Samir et Mr. BOUATOURA.

Enfin, je n'oublierai pas de remercier Mrs S. MAALEM, FARINELI, D. PANICCHI et T.ALAMA de l'ANAS pour toute l'aide et les encouragements que j'ai trouvés auprès d'eux.

Merci à toute ma famille pour le soutien et l'appui que j'ai toujours eu pour mener à terme ce travail.

A mes parents Akila et Ahcène

Résumé

Du point de vue tectonique, le nord de l'Algérie fait partie des régions les plus actives dans le monde. De ce fait, lors de la construction des infrastructures, les constructeurs trouvent des difficultés énormes, surtout dans quelques régions, notamment le CONDE-SMENDOUC. Dans cette région passent trois des plus importantes infrastructures de l'Algérie, la RN3, la ligne de chemin de fer reliant Constantine à Skikda et, récemment, l'autoroute Est-Ouest. C'est la région où les entreprises ont eu beaucoup de mal à élaborer quelques tronçons de l'autoroute Est-Ouest, et cela à cause de la mauvaise qualité des matériaux « roches », mais aussi à cause de la mauvaise interprétation des investigations faites par les bureaux d'étude.

Nous nous sommes principalement intéressés dans cette étude à la constitution des roches de cette région. Dans ce contexte géologique et géomorphologique varié et complexe, marqué par une activité tectonique forte et une activité sismique active, nous avons examiné les conséquences morphologiques des processus tectoniques et d'érosion. Les principaux domaines que nous avons abordés dans cette thèse de magister sont le démembrement et l'évolution du relief structural, les mouvements de terrain et tectoniques, l'analyse de marqueurs morpho structuraux régionaux, la tectonique active et l'activité sismique, enfin l'étude et la caractérisation de la qualité des matériaux en présence.

Les outils et techniques mis en œuvre dans le cadre de ce travail comprennent l'imagerie et la géomatique ainsi que la corrélation litho stratigraphiques. Par ailleurs, des analyses aux rayons X sur une série d'échantillons nous ont permis d'avoir une meilleure caractérisation des matériaux et roches constituant cette région.

Après analyse de nos différents résultats, nous avons pu élaborer deux cartes morpho structurales (échelle 1 : 20 000). Ces cartes réalisées à partir de l'interprétation des photographies aériennes, donnent une multitude d'informations sur les éléments d'origine morphologique (éboulis, cône de déjections, glissements et solifluxion) et sur les éléments d'origine structurale (escarpements de failles, pendage et accidents). Ces cartes laissent apparaître un réseau de fracturation assez complexe qui confirme l'existence et le rôle joué par certaines directions d'accident, leur nature profonde ainsi que l'ampleur de leurs étendues. Ces données peuvent permettre de réactualiser la cartographie actuellement utilisée montrant un terrain relativement homogène, moyennement instable et sans particularités morpho géologiques.

Mots clés : géomorphologie, activité tectonique, érosion, démembrement, relief structural, imagerie, éboulis, cône de déjections, glissements et solifluxion, fracturation, cartes morpho structurales.

Abstract

Northern Algeria is one of the most active regions in the world. Therefore, when building infrastructure, manufacturers are enormous difficulties, especially in some regions, including the CONDE-Smendou. In this region spend three of the most important infrastructures of Algeria, RN3, the railway line connecting Constantine Skikda and recently the East-West highway. This is the area where companies have struggled to develop some sections of the East-West highway, and this because of the poor quality of materials "rock", but also because of the misinterpretation of investigations made by consulting firms.

We are mainly interested in this study the formation of the rocks of this region. In this context and varied geological and geomorphological complex, characterized by high tectonic activity and active seismic activity, we examined the morphological consequences of tectonic and erosion processes. The main areas that we have discussed in this magister memory are the dismemberment and evolution of structural relief terrain and tectonic movements, analysis of regional structural morphological markers, active tectonics and seismic activity, then the study and characterization of the quality of the materials present.

The tools and techniques used in the context of this work include imaging and geomatics as well as litho stratigraphic correlation. Furthermore, X-ray analyzes on a series of samples allowed us to have a better characterization of materials and rocks making up this region.

After analyzing our different results, we were able to develop two morpho-structural maps (scale 1: 20,000). These cards made from the interpretation of aerial photographs, provide a wealth of information about the origin of morphological elements (scree cone droppings, landslides and solifluxion) and the origin of structural elements (fault scarps, dip and accidents). These maps reveal a rather complex fracture network that confirms the existence and the role played by some accident directions, their essential nature and the extent of their scopes. This data can help to update the currently used map showing a relatively even terrain, moderately unstable geological and without morphological peculiarities.

Keywords : geomorphological, tectonic activity, imaging, morpho-structural maps, scree cone droppings, landslides and solifluxion, fault scarps, dip and accidents

ملخص

من وجهة نظر تكتونية، شمال الجزائر هو جزء من المناطق الأكثر نشاطا في العالم. ولذلك، عند بناء البنية التحتية، تجد شركات البناء صعوبات كبيرة وخاصة في بعض المناطق بما في ذلك CONDE -Smandou

في هذه المنطقة تمر ثلاث أهم بنى تحتية هامة في الجزائر الطريق الوطني رقم 3 خط السكة الحديدية الجديدة الذي يربط قسنطينة وسكيكدة ومؤخرا الطريق السيار شرق-غرب. هي المنطقة أين المقاولات وشركات انجاز الطرقات كافحوا من اجل انجاز بعض مقاطع الطريق السيار وهذا بسبب الجودة الرديئة للمواد (الصخرة) وكذلك أيضا بسبب ضعف التقارير والتفسيرات التي أجريت من قبل المكاتب الهندسية

في هذه الدراسة نهتم أساسا بمكونات الصخور في هذه المنطقة. في هذا المجال الجيولوجي والجيومورفولوجي المتنوع يتميز بنشاط تكتوني عالي ونشاط زلزالي نشط. اختبرنا العوامل المورفولوجية للعمليات التكتونية

المجالات الرئيسية التي ناقشناها في مذكرة الماجستير هذه هي تقطعات أوصال التضاريس وتطوراتها الهيكلية، التحركات الارضية والحركات التكتونية، تحليل العلامات المورفوبنيوية الجهوية، الحركات التكتونية والنشاط الزلزالي، وأخيرا دراسة وخصائص نوعية المواد الموجودة.

الأدوات والتقنيات المستخدمة في سياق هذا العمل التصوير والقياس وكذلك الارتباط الليتو طبقي. وعلاوة على ذلك، استعمال حيود الأشعة السينية على سلسلة من العينات سمح لنا أن يكون لها توصيف أفضل للمواد والصخور المكونة لهذه المنطقة.

بعد تحليل مختلف النتائج التي توصلنا إليها، تمكنا من وضع خريطين مورفوبنيوية على (مقياس 1/20000). هذه الخرائط انجزت من تفسير الصور الجوية، أعطت العديد من المعلومات حول العناصر ذات الأصل مورفولوجي (الحطام، الانزلاقات.....الخ)

وأصل العناصر الهيكلية (الانحدارات، الكسور، الصدوع). وتكشف هذه الخرائط شبكة كسور معقدة نوعا ما يؤكد وجودها وكذا الدور الذي لعبته بعض اتجاهات هذه الكسور، وطبيعتها العميقة ومدى نطاقاتها. ويمكن لهذه البيانات المساعدة على تحديث الخريطة المستخدمة حاليا حيث تظهر ارضية متجانسة حتى نسبيا، على المتوسط غير مستقر وبدون خصوصيات مورفولوجية

الكلمات الرئيسية: الجيومورفولوجي، تقطعات، الحركات التكتونية، المورفوبنيوية، مورفوبنيوية، الصور الجوية، الانزلاقات، الانحدارات، الكسور و الصدوع

S o m m a i r e

Contexte	2
Objectifs	2
Méthodologie et Outils.....	3
PREMIERE PARTIE	
PRINCIPAUX TRAITIS GEOGRAPHIQUES ET CONTEXTE GEOLOGIQUE	4
I.1. PRINCIPAUX TRAITIS GEOGRAPHIQUES.....	5
I.1.1. Localisation de l'aire d'étude.....	5
I.1.2. Orographie.....	6
I.1.3. Hydrographie.....	6
I.1.6. Le Climat	7
I.1.6.1. Les Précipitations	7
I.1.6.2. Les Températures.....	8
I.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL	10
I.2.1. Le domaine interne.....	11
1.2. 2.Le domaine des Flyschs	11
1.2.3. Le domaine externe	12
1.2.3.1. Les séries telliennes.....	12
1.2.3.2. Les séries de l'avant pays.....	12
1.2.3.2.1. Unité néritique constantinoise.....	12
1.2.3.2.2. Unités sud- sétifiennes.....	13
1.2.3.2.3. Unités des Sellaoua.....	13
1.2.3.2.4. Le parautochtone aurésien.....	13

1.2.3.2.5. L'autochtone aurésien.....	13
I.3. LES GRANDS TRAITES DE LA GEOLOGIE NORD-CONSTANTINOISE	
(PRINCIPAUX ENSEMBLES LITHOSTRATIGRAPHIQUES).....	15
I.3.1. LE SOCLE KABYLE	15
I.3.1.1. Les ensembles métamorphiques.....	15
I.3.1.2. L'ensemble sédimentaire.....	15
I.3.2. LA CHAINE CALCAIRE.....	16
I.3.2.1. La dorsale interne.....	16
I.3.2.2. La dorsale médiane.....	16
I.3.2.3. La dorsale externe.....	17
I.3.3. LES FORMATIONS DU DOMAINE MEDIAN (SERIES DES FLYSCHS).....	20
I.3.3.1. Le flysch maurétanien et les formations apparentées.....	20
I.3.3.2. Flysch de Ziane.....	20
I.3.3.3. Flysch de Kef Mezzouch.....	20
I.3.3.4. Le Flysch Massylien.....	21
I.3.3.5. Le flysch numidien.....	22
I.3.4. LES FORMATIONS DU DOMAINE EXTERNE.....	24
I.3.4.1. L'ultra tellien.....	24
I.3.5. LES SERIES POSTERIEURES AU LUTETIEN.....	25
I.3.5.1. L'Oligo - Miocène Kabyle.....	25
I.3.5.2. Le Nummulitique II.....	25
I.3.5.3. Les formations post-nappes (le Miocène continental).....	26
I.3.5.4. Les formations quaternaires.....	26

DEUXIEME PARTIE

PHOTO GEOLOGIE ET DEFORMATIONS MORPHO TECTONIQUES27

II.1. PHOTO GEOLOGIE.....28

II.1.1. Documents utilisés28

II.1.2. Méthodologie.....29

II.1.3. Analyse et résultats.....30

II.1.3.1. L'analyse morphologique.....30

II.1.3.1. L'analyse structurale.....31

II.2. L'ANALYSE STRUCTURAL DU RELIEF37

II.2.1. Les principaux éléments du relief structural.....37

II.2.2. Les principaux traits de la tectonique.....38

II.2.3. Etude de Cas.....40

TROISIEME PARTIE

ANALYSE DE LA QUALITE ET NATURE DES MATERIAUX ET ROCHES....51

III.1. HISTORIQUE.....52

III.2. PRINCIPAUX FACIES.....55

III.3. CORRELATION DES LOGS DE SONDAGES.....60

III.4. ANALYSES AUX RAYONS X.....63

III.1. CARACTERISATION PAR DIFFRACTION X.....63

III.1.1. Historique.....63

III.1.2. Principe.....64

III.1.3. La loi de Bragg.....64

III.1.4. Méthode des poudres.....65

III.1.5. Spectre de diffraction.....	66
III.2. MODE OPERATOIRE.....	67
III.2.1. Diffractomètre utilisé.....	67
III.2.2. Préparation des échantillons.....	68
III.3. Résultats des RX.....	69
CONCLUSION.....	69
CONCLUSIONS GENERALES.....	70
<i>Références bibliographiques.....</i>	72
<i>ANNEXES</i>	

**Etude géologique de la région
d'El Kantour(Zighoud youcef).
Déformations Morpho-tectoniques, nature
et qualité des matériaux**

Contexte :

La région d'étude fait partie intégrante du Tell Constantinois et se constitue des unités morpho structurales suivantes:

➤ ***Les massifs montagneux de la chaîne numidique au nord :***

Ces massifs forment une barrière morpho géologique remarquable.

➤ ***Les collines de Condé Smendou et des Zardézas:***

Ces collines se distinguent par une topographie irrégulière (bombements coupés fréquemment par des thalwegs et interfluves).

➤ ***La dépression d'Oued Ença :***

Cette dépression constitue une vallée que nous pensons structurale.

Pour ce qui est du cadre structural, le grand degré de déformation, caractérisant cette région résulte d'une grande activité néotectonique. Cette forte activité a vu la réactivation d'anciens accidents et l'apparition de morpho-structures dont le matériel provient en grande partie du démantèlement du relief structural.

Deux méga structures conditionnent en grande partie l'évolution de cette région :

- **L'accident d'El Kantour**
- **L'accident Kef Hahouner –Djebel Débar**

Par ailleurs, les mouvements de masse occupent d'importantes surfaces dans ce secteur.

Objectifs :

Dans ce contexte géologique et géomorphologique varié et complexe marqué par une activité tectonique forte et une activité sismique active ; nous nous proposons d'étudier **les conséquences morphologiques des processus tectoniques et d'érosion.**

Les principaux domaines qui seront abordés dans ce mémoire de magister sont :

- ✓ Démembrement et évolution du relief structural
- ✓ Mouvements de terrain et tectonique
- ✓ Analyse de marqueurs morpho structuraux régionaux
- ✓ Tectonique active et activité sismique
- ✓ L'étude et la caractérisation de la qualité des matériaux en présence

Méthodologie et Outils :

En plus du travail que nous comptons réaliser sur terrain (caractérisation et cartographie), nous allons essayer d'établir des corrélations litho stratigraphiques et ce grâce aux données récoltées lors des investigations géologiques et géotechniques destinées au forage du tunnel d'El Kentour.

Les outils et techniques mis en œuvre pour développer ces études comprennent l'imagerie et la géomatique ainsi que la corrélation litho stratigraphiques.

Par ailleurs, des analyses aux rayons X sur une série d'échantillons va permettre d'avoir une meilleure caractérisation des matériaux et roches constituant cette région.

PREMIERE PARTIE

PRINCIPAUX TRAITES GEOGRAPHIQUES ET CONTEXTE GEOLOGIQUE

I.1. PRINCIPAUX TRAITES GEOGRAPHIQUES

I.1.1. Localisation de l'aire d'étude.

Notre aire d'étude occupe une vaste zone (intra tellienne), encadrée à l'ouest par le massif imposant de Sidi Driss, au nord par les plaines d'El Harrouche, à l'est par la région de Hammam Meskoutine et au sud par les monts de Djebel Ouasch.

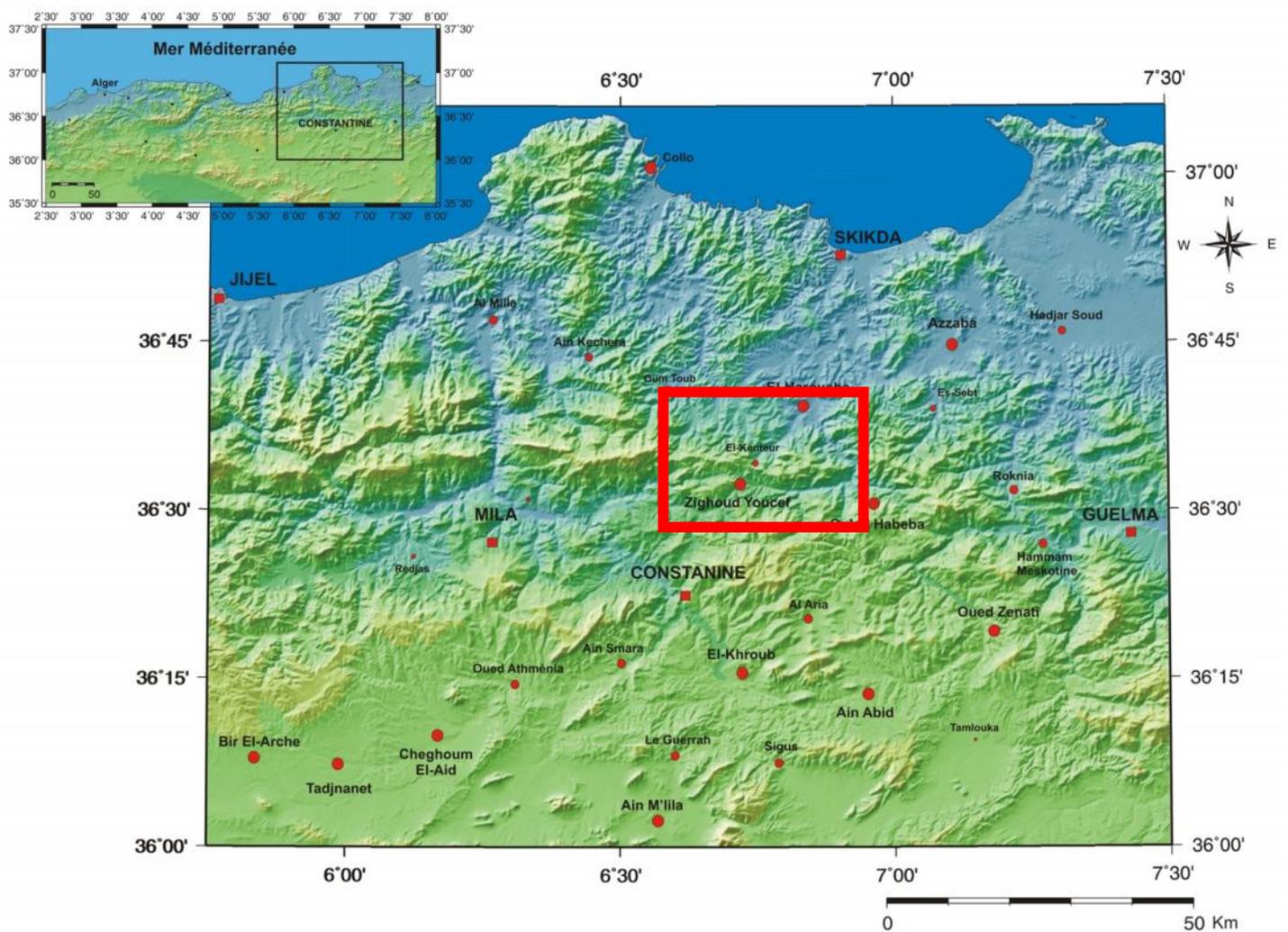


Fig. I.1: Localisation de l'aire d'étude In Benabbas.c et al (2011)

I.1.2. Orographie

Dans cette région les points culminants dépassent rarement les 900m, et les morpho structures présentent une direction générale E – O, rarement N- S (Fig. I.1 et I.2).

Au plan orographique on peut subdiviser la zone étudiée en trois sous zones naturelles distinctes.

- Les massifs montagneux de la chaîne numidique au nord
- Les collines de Condé Smendou et des Zardezas
- La dépression d'Oued Ença

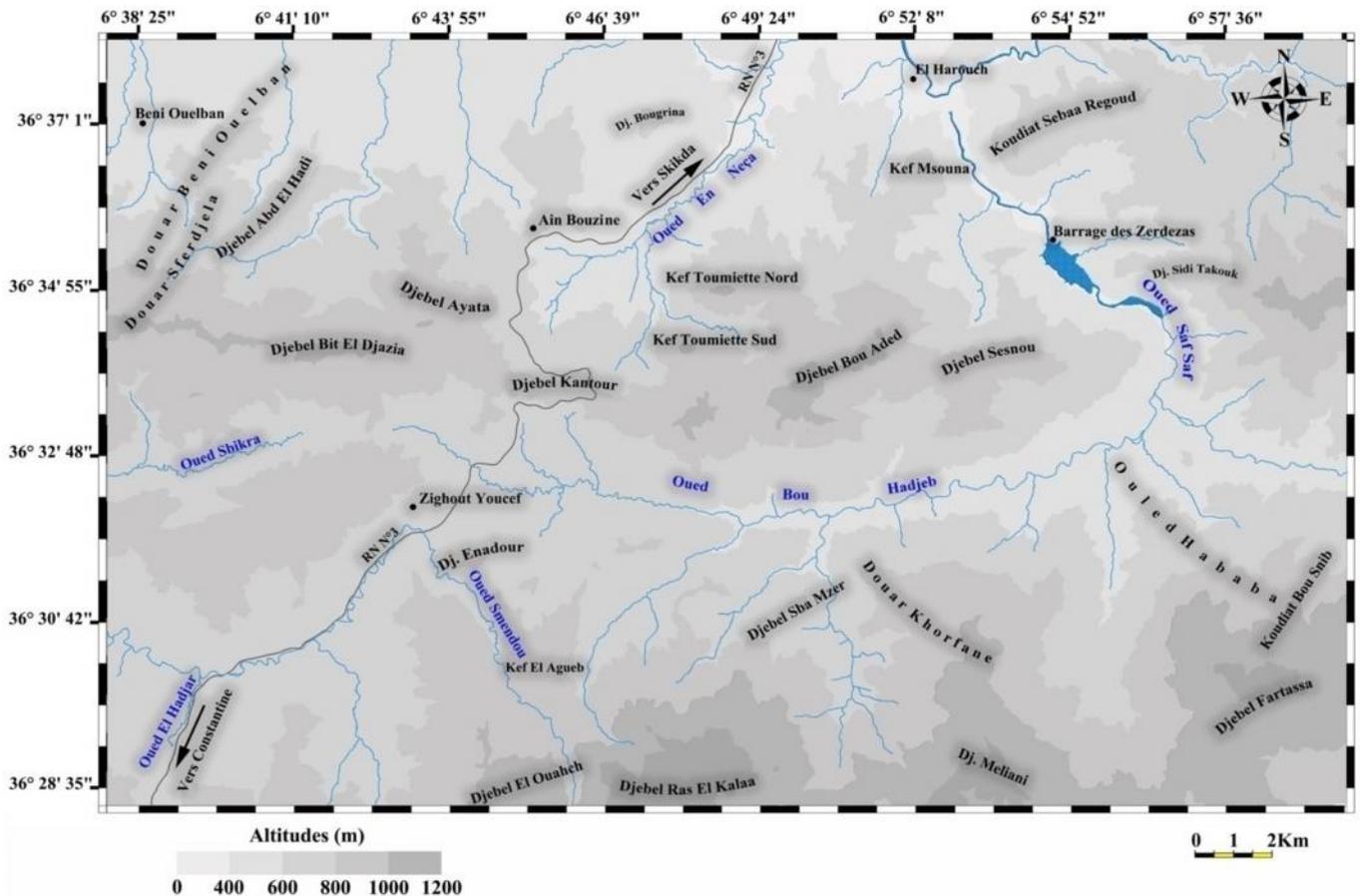


Fig. I .2: Carte Oro-Hydrographique de la région d'étude. (D'après BENZID Y)

I.1.3. Hydrographie

La région est drainée par un réseau hydrographique assez dense faisant partie du sous bassin versant du Saf Saf (SBV N° 03-09).

Les principaux cours d'eau couvrant la région d'étude sont (Fig. I.2) :

- Oued Zighoud Youcef (ex Smendou) qui prend naissance dans les monts de Djebel El Ouahch dans la commune de Constantine et se dirige vers le Nord Ouest pour se jeter dans Oued El Kebir.
- Oued Beni Brahim et Oued Adjeb qui drainent la partie orientale du secteur d'étude ; présentent une direction E-O et rejoignent au nord l'Oued Saf-Saf.
- Oued Ença, prend naissance à partir de deux sources : la première au niveau du Col des Oliviers et la seconde au niveau des Kefs Toumiettes (Fig. I.2).

La direction générale de ce dernier Oued est NNE-SSO (N 30° E), la linéarité presque parfaite de cette structure est révélatrice sur sa probable nature tectonique.

En plus de ces Oueds importants, on relève la présence d'une multitude de petits cours d'eau secondaires.

Par ailleurs, on relève la présence de dizaines de sources naturelles ; la répartition géographique de ces sources semble suivre des directions préférentielles, loin d'être aléatoires.

I.1.6. Le Climat

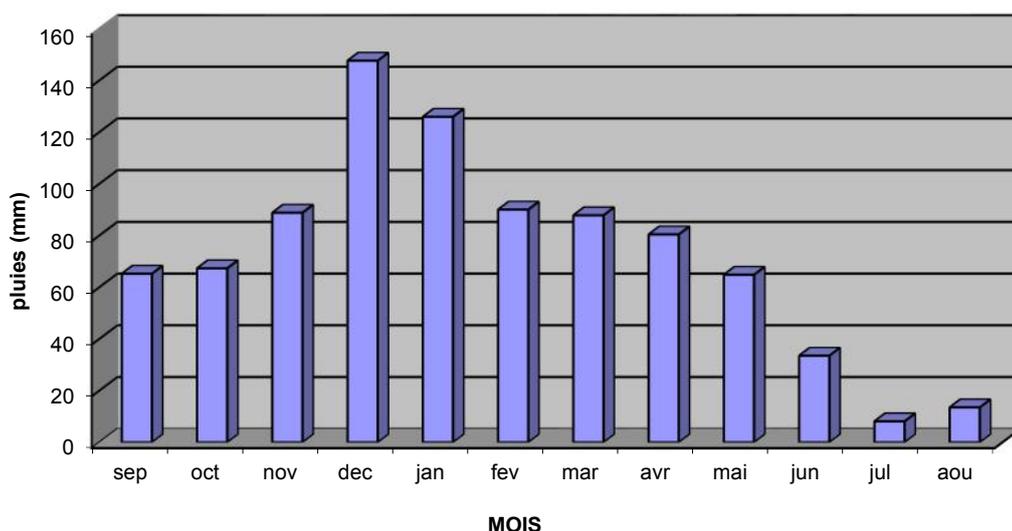
Le climat englobe l'interaction entre l'atmosphère, l'eau de la surface, la cryosphère, la lithosphère, la biosphère et le rayonnement solaire et son activité, ces interactions vont créer les facteurs qui régissent le climat et qui sont :

I.1.6.1. Les Précipitations

Se sont les apports d'eau parvenant au sol sous forme liquide (pluie, rosée...), ou sous forme solide (neige, grêle...). La moyenne des précipitations mensuelles par année, relevées par l'ONM dans cette région est de 72,74 mm. Elles se caractérisent par une variabilité interannuelle importante (Tableau n°1).

DATE	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Pmm
Station Constantine	65,2	67,3	88,8	147,6	125,9	90,0	87,8	80,4	64,8	33,5	8,1	13,5	72.74

Tableau n°1 : Précipitations moyennes mensuelles (période 1984/2004)



Histogramme n°1 : Répartition mensuelle des pluies
station zighoud youcef

L'histogramme n°1 montre clairement le mois de juillet représente la période où il y a le moins de précipitation, par contre le mois de décembre se distingue par de fortes précipitations.

I.1.6.2. Les Températures

La température est l'un des facteurs climatiques les plus importants car il conditionne la résultante hydrique et joue un rôle important dans l'évapotranspiration.

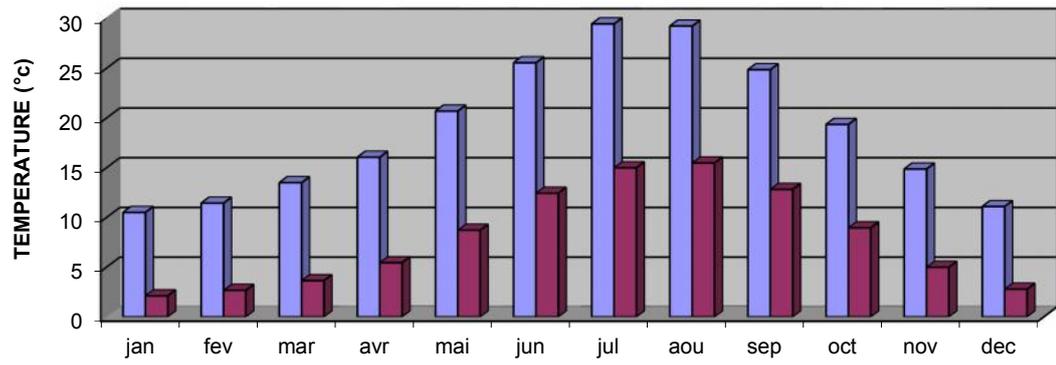
L'office national de météorologie a enregistré une moyenne maximale de 18 °,89, et une moyenne minimale de 7,92 (étude sur une période de vingt ans).

Les pics de température enregistrés sont typique d'un climat semi aride (très chaud en été et très froid en hiver Tableau n°2).

DATE	jan	Fev	Mar	avr	Mai	Jun	jul	aou	sep	oct	nov	Dec	T°C
T.Moy.Max	10,51	11,44	13,50	16,06	20,70	25,56	29,47	29,25	24,86	19,36	14,87	11,10	18,89
T.Moy.Min	2,12	2,67	3,65	5,45	8,72	12,44	15,00	15,48	12,83	8,96	4,99	2,79	7,92

Tableau n°2 : Températures moyennes maximales minimales

(Période 1967/1986)



Histogramme n°2 : Répartition mensuelle des Températures

I.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Les structures géologiques considérées dans l'aire d'étude appartiennent à plusieurs domaines structuraux et paléogéographiques.

Pour mieux comprendre l'histoire géologique de la région d'étude, il paraît indispensable de la situer dans son contexte géologique régional ; c'est-à-dire dans le cadre des chaînes côtières d'Afrique du Nord, Wildi W., (1983) ou Maghrébides, Durand Delga M., (1980).

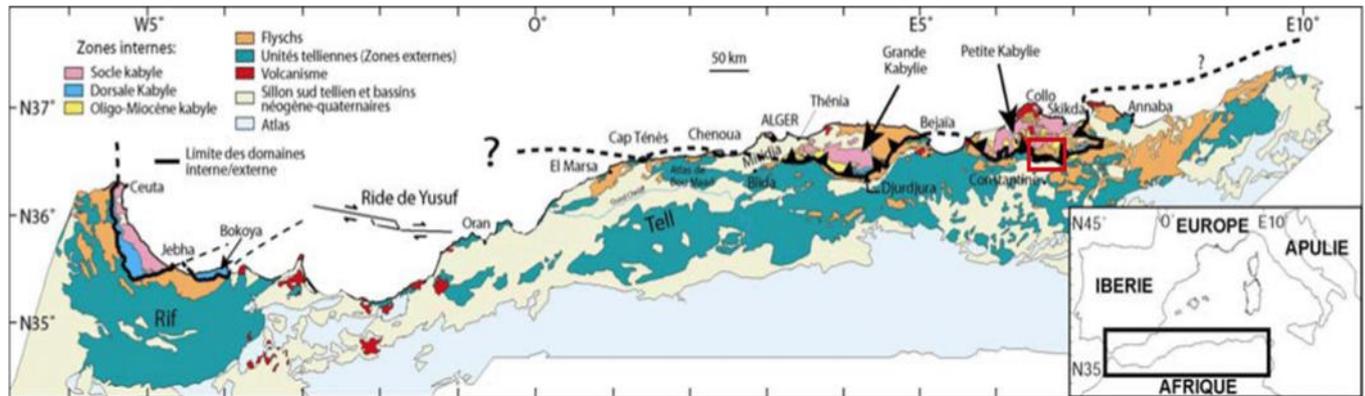


Fig. I.3. Position des différentes unités géologiques des Maghrébides.

(In Domzig, A et al. 2006)

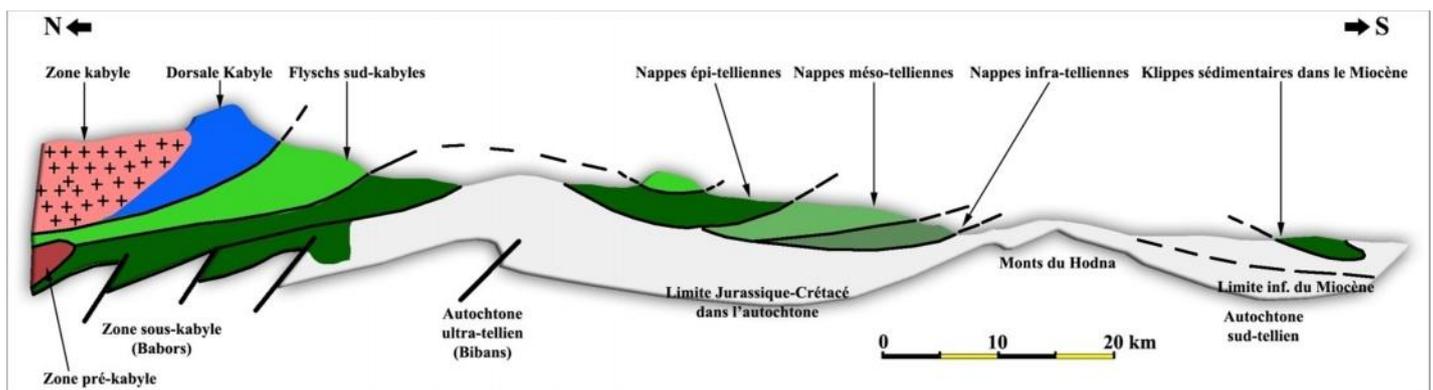


Fig. I.4. Coupe structurale schématique de la chaîne des Maghrébides selon Durand Delga M., (1969).

Les Maghrébides (**Fig. I.3. et I.4.**) forment une chaîne à vergence sud, s'étendant de Gibraltar jusqu'à la Sicile, sur plus de 2 000 Km. Cette chaîne résulte de la structuration du bassin maghrébin et de ses marges. Ce dernier se situait entre les marges continentales africaines et européennes Bouillin J.P., (1986).

Les nappes ou les structures constituant la chaîne des Maghrébides sont à vergence sud et sont issues de trois domaines paléogéographiques (**Fig. I.4.**).

- **Le domaine interne**
- **Le domaine des Flyschs**
- **Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain.**

I.2.1. Le domaine interne

Ce domaine est formé d'éléments issus de la dilacération de la plaque d'Alboran : **socle cristallophyllien** continental aminci et **couverture sédimentaire qui va** du Paléozoïque au Tertiaire. Cette couverture peut être en partie désolidarisée de son socle pour former des nappes de charriages.

On attribue au socle (Bouillin J.P., 1977 et Raoult J.F., 1974) trois ensembles lithologiques :

- Un ensemble cristallophyllien inférieur, formé de gneiss à intercalations, parfois puissantes, de marbres et d'amphibolites.
- Un ensemble cristallophyllien supérieur, comportant « des schistes satinés ou phyllades, des grés et des porphyroïdes ocellés ».
- La couverture sédimentaire paléozoïque du socle cristallin, peu ou pas métamorphique, dont les séries comprennent des termes de l'Ordovicien, du Silurien, du Dévonien, ainsi que du Carbonifère inférieur.

Pour ce qui est de la Dorsale kabyle ou Chaîne calcaire, les auteurs (Durand Delga M., 1969 ; Raoult J.F., 1974 ; Vila J.M., 1980) ont distingué des unités internes, médianes et externes. Ces séries constituaient, à l'origine, la couverture sédimentaire mésozoïque et tertiaire du socle kabyle. Les unités externes et médianes se sont cependant désolidarisées de leur substratum. Elles ont ensuite été plissées et chevauchées par le socle kabyle et la dorsale interne.

1.2. 2.Le domaine des Flyschs

Le domaine des nappes de flyschs correspond à un secteur marin profond et mobile du Jurassique moyen au Burdigalien. Il est lié, jusqu'à l'Eocène supérieur, à la bordure sud de la plaque d'Alboran.

Au Crétacé inférieur des flyschs terrigènes relativement proximaux se déposent dans la partie nord du bassin (flysch Maurétanien), Gélard J.P., (1969) et des flyschs distaux dans le sud (flysch Massylien), Raoult J.F., (1969).

A l'Oligocène et au Miocène basal, un flysch grés-micacé (le flysch Numidien) se dépose en discordance sur les premiers contacts tectoniques séparant les unités du domaine interne et la nappe du flysch Maurétanien. Les séries gréseuses de la nappe numidienne se sont formées durant l'Aquitainien et le Burdigalien basal, probablement dans le sud du bassin Massylien et tout à fait au nord du domaine externe tellien.

Les flyschs reposent, avec des modalités structurales variées, sur les zones internes et occupent une position allochtone par rapport aux zones externes. La nappe numidienne correspond aux formations les moins tourmentées.

Elle n'est que peu impliquée dans les accidents qui affectent l'édifice allochtone, sauf au nord de Constantine et d'El Aria, où elle se présente comme un ensemble écaillé.

1.2.3. Le domaine externe

Le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain, on peut distinguer deux grands types de séries :

- Les séries telliennes
- Les séries de l'avant pays

1.2.3.1. Les séries telliennes

En Algérie orientale et aux confins algéro-tunisiens, les séries telliennes ont été découpées par les phases tectoniques tertiaires en trois grandes entités, dont les limites suivent à peu près les lignes paléogéographiques du Crétacé, du Paléocène et de l'Eocène. Ce sont, du nord vers le sud (Wildi W., 1983 ; Vila J.M., 1980) :

- Les unités ultra-telliennes, dont les formations typiques du Crétacé inférieur sont constituées par des marno-calcaires clairs ;
- Les unités telliennes sensu-stricto, avec un Crétacé inférieur plus ou moins riche en dépôts terrigènes et où les enchevêtrements de faciès néritiques restent modérées du Crétacé supérieur à l'Eocène ;
- Les unités péni-telliennes et les unités méridionales à nummulites, à faciès néritique prépondérant du Crétacé supérieur à l'Eocène.

Ces dernières séries montrent de grandes affinités avec celles de leurs avant-pays méridionaux, les unités sud-sétifiennes et l'unité néritique constantinoise.

1.2.3.2. Les séries de l'avant pays

La chaîne des Maghrébides est bordée, au sud, par des avant-pays de nature et de comportement tectonique variables.

On peut considérer, successivement du nord au sud les unités et domaines suivants :

1.2.3.2.1. Unité néritique constantinoise

Les séries néritiques constantinoises forment des massifs isolés (**Fig. I.5.**), de tailles variables ; caractérisées principalement par des formations carbonatées, du Mésozoïque, cette unité fut considérée pendant longtemps comme autochtone, Durand Delga M., (1969) ; elle est allochtone et chevauche, pour Vila J.M., (1980), les écaillés de Sellaoua et les unités sud-sétifiennes. L'autochtonie de cette unité est reprise par Chadi M., (1991) et Coiffait P.E., (1992). Une certitude cependant, durant les phases tectoniques alpines, cette unité s'est comportée de façon rigide.

1.2.3.2.2. Unités sud- sétifiennes

Ces unités considérées par Savornin J., (1920) comme « bati pré-saharien », ont été décrites par Vila J.M., (1980) sous l'appellation « ensemble allochtone sud-sétifien ».

1.2.3.2.3. Unités des Sellaoua

Ces unités sont issues d'un sillon allongé du Sud-Ouest au Nord-Est. Elles affleurent au sud-est des massifs composant l'unité néritique constantinoise et comprennent essentiellement des terrains marno-calcaires crétacés avec un léger apport détritique dans le Crétacé supérieur. Le Paléocène et le Lutétien supérieur sont marneux, par contre l'Yprésien est carbonaté et riche en Nummulites ; l'Oligocène est signalé par Vila J.M. (1980) et par Coiffait P.E. (1992).

L'écaillage de ces séries est attribué à des raccourcissements considérables ayant provoqué des chevauchements de grandes ampleurs.

1.2.3.2.4. Le paraautochtone aurésien

Il constitue le bord septentrional de l'autochtone atlasique. Ce para-autochtone est défini par l'ensemble des structures formées par les monts d'Aïn Yaghout et par les Djebels (Hanout, Guellif, Sidi Reghis) dans la région d'Aïn Kercha et d'Oum El Bouaghi.

Cet ensemble a été violemment affecté par la tectonique alpine. Le Trias de la région des lacs peut être interprété comme le cœur d'un vaste pli couché.

1.2.3.2.5. L'autochtone aurésien

Il s'agit là du domaine atlasique, caractérisé par un ensemble secondaire, plissé à la fin de l'Eocène selon des directions atlasiques, et par un Trias diapirique d'âge aptien, plus à l'Est, dans la région de l'Ouenza et les monts de Tébessa. (Farah A.S., 1991).

I.3. LES GRANDS TRAITES DE LA GEOLOGIE NORD-CONSTANTINOISE (PRINCIPAUX ENSEMBLES LITHOSTRATIGRAPHIQUES)

La région d'étude est située dans la partie centrale de la chaîne numidique, elle-même rattachée au Tell nord Constantinois.

C'est une région caractérisée par une morphologie accidentée ainsi qu'une grande complexité géologique et tectonique (discontinuités géologiques majeures, unités paléogéographiques variées et qui se chevauchent, Benabbas C.2006).

Cette grande complexité a été relevée dans toutes les études et travaux antérieurs (L. Joleaud- (1912), P. Deleau (1938), J M Vila(1980) J.F. Raoult (1974)....).

Pour être le plus objectif possible, nous avons opté pour une caractérisation des principaux ensembles litho stratigraphiques présents dans la région.

I.3.1. LE SOCLE KABYLE

Se sont toutes les formations paléozoïques qui servent ou qui ont servi de substratum à la chaîne calcaire. Elles sont présentes essentiellement dans la partie nord de la région d'étude, au nord et à l'ouest de Koudiat Sebaa Regoud, entre les Kefs Toumiette et au nord de Djebel Ayata, (Raoult J.F., 1974).

Le socle Kabyle est constitué de trois ensembles superposés : deux ensembles métamorphiques à la base et au sommet par des formations essentiellement sédimentaires.

I.3.1.1. Les ensembles métamorphiques

Ces ensembles présentent une série constituée de phyllades et de schistes satinés qui pourrait être discordante sur un socle profond (gneiss et micaschistes). On relève de la base au sommet les faciès suivants :

- Un ensemble de porphyroïdes ocellés à filons de quartz avec intercalation de marbres et d'amphibolites.
- Un ensemble de phyllades, avec à la base des schistes satinés d'une épaisseur qui varie de 200 à 300 mètres de couleurs variées (gris, gris bleuté, parfois bleu vif, rosé ou verdâtre) (séricite schistes et chlorite schistes), ces derniers montrent des filons de quartz.

I.3.1.2. L'ensemble sédimentaire

Il s'agit de terrains d'âge ordovicien au carbonifère, ils se développent dans la partie orientale, aux alentours de la dorsale interne (Kef Toumiette, Djebel Bou Aded, Kef Msouna et Kef Sebaoud).

Cet ensemble sert de base pour les séries méso-cénozoïques calcaires des Kefs Toumiettes nord et sud, Djebel Bou adeb, Kef Msouna et Kef Sébarghoud, on note :

- Un terme basal d'âge siluro-ordovicien constitué par d'épaisses formations de 50 à 100 m de schistes, d'amphibolites, de pélites gris verdâtres ou gris bleutés et de grauwackes.
- Un terme médian représenté par des calcaires noduleux et des calcaires cristallins ferrugineux d'âge dévonien.
- Un terme supérieur, avec des schistes et des pélites gris verdâtres avec des débris de quartz, ainsi qu'une alternance de niveaux gréseux et de bancs épais de conglomérats. On attribue à ce terme un âge carbonifère.

I.3.2. LA CHAÎNE CALCAIRE

Elle est longue de 100km d'est en ouest, ses principaux sommets correspondent à des affleurements de calcaire d'âge lias inférieur-lutétien.

En fait, cette chaîne calcaire est appelée aussi dorsale calcaire (Raoult J.F., 1974, Vila J.M., 1980) ; se présente sous forme d'écaillés empilées donnant les principaux reliefs calcaires de la région et surmontant les formations cristallophylliennes d'âge silurien à carbonifère.

Les différents auteurs l'ont subdivisée en trois types de séries: interne, médiane et externe.

I.3.2.1. La dorsale interne

La dorsale interne est caractérisée par des calcaires massifs, dont la sédimentation a été interrompue par la phase tectonique du Lutétien supérieur ; on la trouve dans la région d'étude à Kef Msouna, Kef Sébarghoud et Kef Toumiette nord, plus à l'est elle apparaît à Djebel Ayata et dans la zone de Terkouni.

Elle présente une série complète depuis le Permo-Trias (grès et pélites rouges violacés) jusqu'au Néocomien (calcaires à silex). Le crétacé inférieur post néocomien et le crétacé moyen y sont inconnus. Les formations turono-sénoniennes sont épisodiques, très minces et de faciès noduleux. Le Jurassique est calcaire, le Paléocène est transgressif et débute par une série carbonatée massive, suivi par des couches éocènes à algues et foraminifères très abondants qui atteignent le Lutétien terminal. Cette dernière série détermine certains reliefs abrupts tels que celui de Toumiette nord.

I.3.2.2. La dorsale médiane

La dorsale médiane se rencontre à Djebel Bou Adeb. On observe la série typique, elle a été chevauchée au cours de la phase fini Lutétienne. Cette série comprend elle aussi du Permo-Trias, du Lias calcaire et un Crétacé inférieur micritique pouvant atteindre le Barrémien. On relève

cependant une particularité : la présence de dépôts lacuneux micritiques ou marneux à microfaune pélagique.

I.3.2.3. La dorsale externe

La dorsale externe est représentée par le faciès typique de Djebel El Rhedir. Ce dernier est caractérisé par des calcaires massifs du Lias inférieur, surmontée de calcaires lités à silex d'âge sinémurien. Le Domérien est marneux, le Paléocène est détritique, il débute par des conglomérats à gros blocs et galets d'âge paléocène suivies par des marnes sableuses à rare plaquettes de calcaire microbrèche.

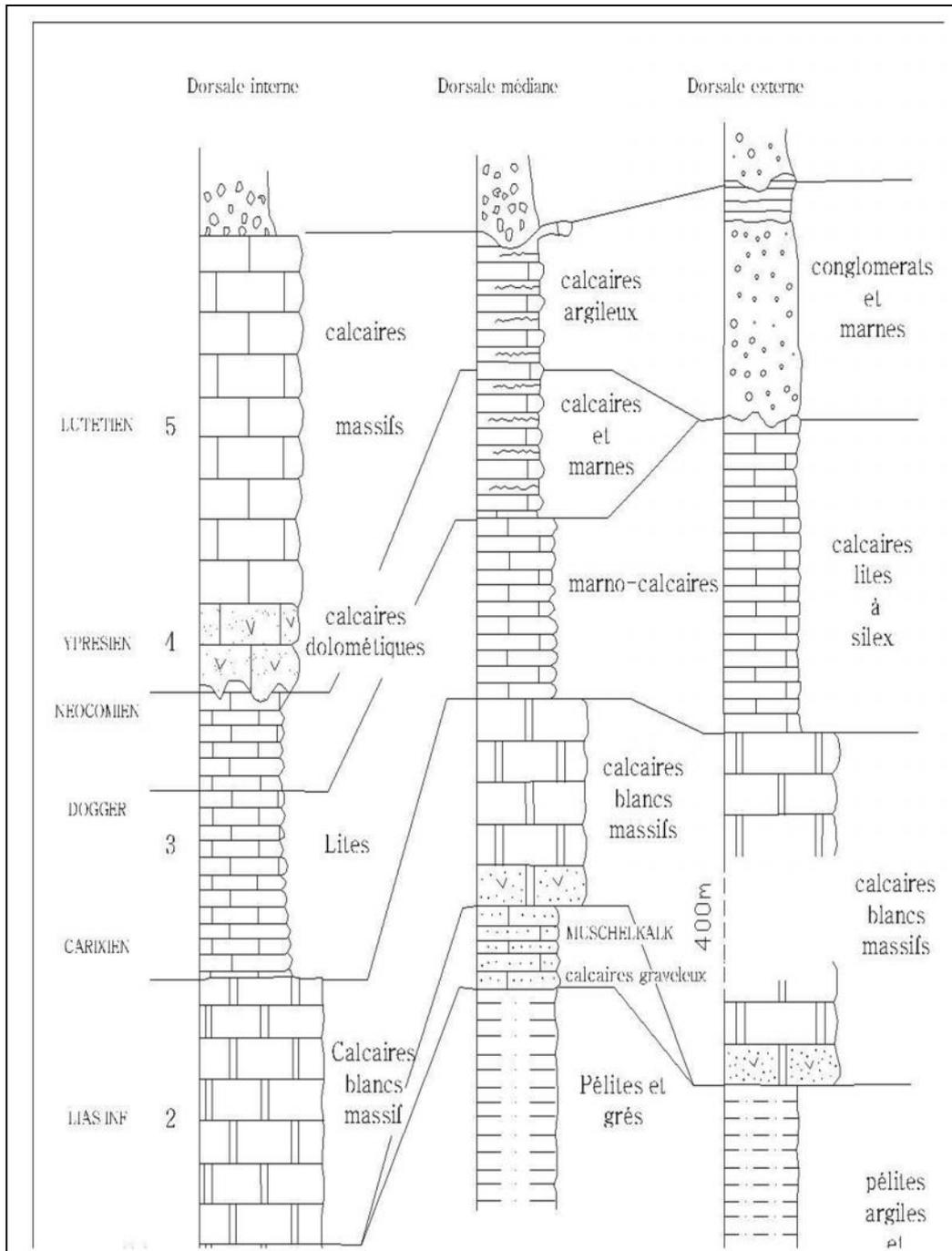


Fig. I.6. : Colonne stratigraphique et synthétique de la chaîne calcaire

D'après J.F RAOULT, 1974

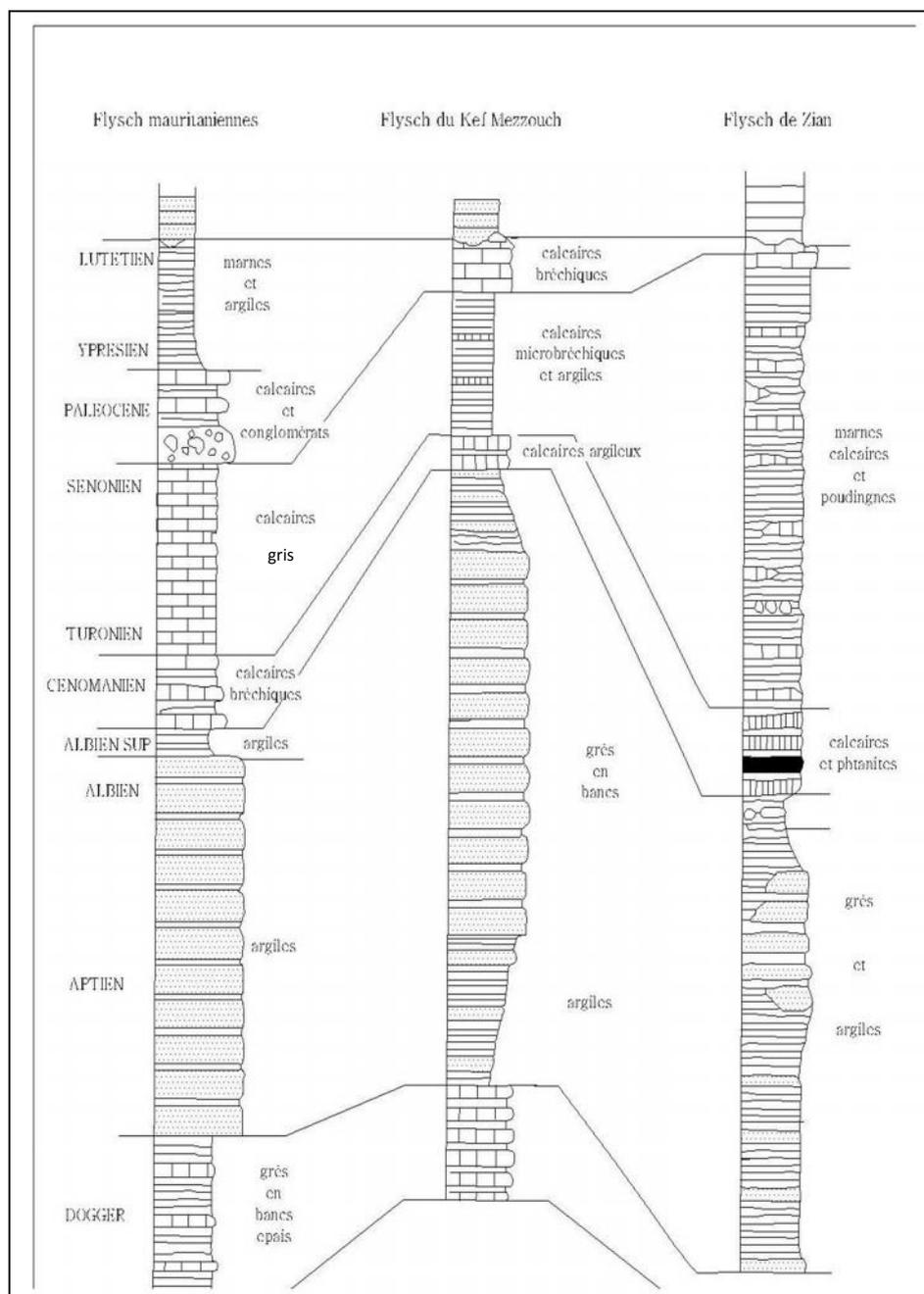


Fig. I.7. : Colonne stratigraphique et synthétique des séries mauritaniennes et des séries apparentées

D'après J.F RAOULT.1974

I.3.3. LES FORMATIONS DU DOMAINE MEDIAN (SERIES DES FLYSCHS)

Dans la région de Zighout Youcef, les formations de flysch occupent des superficies importantes. Elles sont fortement tectonisées et s'enracinent de part et d'autre de la limite entre la chaîne calcaire au nord et le bassin néogène au sud (**Fig.19**). On y distingue les trois types de formations qui sont connus dans le nord est algérien : le flysch maurétanien, le flysch massylien et le flysch numidien.

I.3.3.1. Le flysch maurétanien et les formations apparentées

Selon J.F. Raoult (1974), le domaine maurétanien présente plusieurs séries avec des affinités, qui appartiennent au même domaine paléogéographique, ces séries sont plus analogues à la série qui a servi à définir le flysch maurétanien (Gélard J.P. 1969).

Il se développe dans la partie nord est, à l'ouest d'El Harouch et au sud est de barrage des zerdezas où il présente une série assez complète au niveau du Douar de Ouled Hamza avec à la base des conglomérats et des calcaires microbréchiq de Néocomien surmontés par des grès calcaireux d'âge barrémien. L'Albo-Aptien est gréseux, le Sénonien est argileux avec des bancs de calcaires sableux qui s'alternent régulièrement. Le Paléocène est formé de calcaires microbréchiq.

Cependant J.F. Raoult (1974) propose deux types de séries dites «apparentées au maurétnien», il s'agit des séries de Ziane et de Kef Mezzouch. Ces formations se caractérisent surtout par des niveaux d'argiles et de grès quartzitiques d'âge albo-aptien et des argiles varicolores, verte et rouges de Sénonien, elles sont souvent charriées sur l'Oligo-Miocène kabyle.

I.3.3.2. Flysch de Ziane

Il affleure au nord et au nord-ouest d'Ain Bouziane, il présente de la base au sommet les faciès suivants:

- Des argiles et argilites flammées de rouge avec de nombreux bancs de grès quartzitiques à grain fin d'âge albo-aptien.
- Le Céno-mano-turonien est marneux avec des niveaux silicifiés et des minces horizons de phtanites.
- L'ensemble sénonien, à un aspect caractéristique avec des argiles vivement colorées parsemées de blocs calcaires de teinte claire.
- Le Paléocène est marneux, il présente des niveaux de calcaires microbréchiq.

I.3.3.3. Flysch de Kef Mezzouch

La série de Kef Mezzouch est située au nord-ouest de notre terrain d'étude. Plus précisément à l'est de Beni Ouelban. C'est une série renversée qui chevauche le flysch massylien (la région de Djebel Abd El Hadi et Douar Sfardjela).

Au nord-ouest, ces formations se relient vers l'est à la série de Ziane, plus précisément au niveau de Koudiat Nahla et Djebel Halloufa. Le passage de la série de Kef Mezzouch à Ziane se

caractérise par une évolution progressive des niveaux albo-aptiens (diminution des épaisseurs des bancs gréseux). La série établie par J.F.Raoult se présente comme suit :

- Des bancs de calcaires sableux de Néocomien.
- Une série de flysch d'âge albo-aptien, constituée d'argiles verdâtres flammées de rouge sombre avec à la base par des argiles rouge alternées avec des bancs de grès quartzitiques suivies par des grès en bancs métriques.
- Des bancs de calcaires argileux sableux d'âge cénomanien.
- Une série d'argiles vertes flammées de rouge avec des bancs de calcaires sableux qui date le Sénonien.
- Le Paléocène est calcaire, avec des microbrèches et quelques niveaux marneux.

I.3.3.4. Le Flysch Massylien

- Le flysch massylien affleure largement au nord-ouest de la région d'étude. Dans le secteur de Djebel Ayata jusqu'à douar Sfardjela en passant par Djebel Abd El Hadi .
- Le flysch massylien (**Fig.21**) est strictement crétacé, il débute par un flysch typique, argilo-gréseux à bancs minces d'âge albo-aptien. On a ensuite un flysch atypique riche en marnes et caractérisé par ses bancs de microbrèches calcaires tendres, il présente à sa base un niveau repère à phtanites. Le matériel calcaire remanié dans le Crétacé supérieur massylien a suffisamment d'affinités avec les séries ultra-telliennes, pour que tous ces domaines aient été paléogéographiquement plus ou moins proches donc la partie du flysch massylien se plaçant alors au nord du sillon tellien.

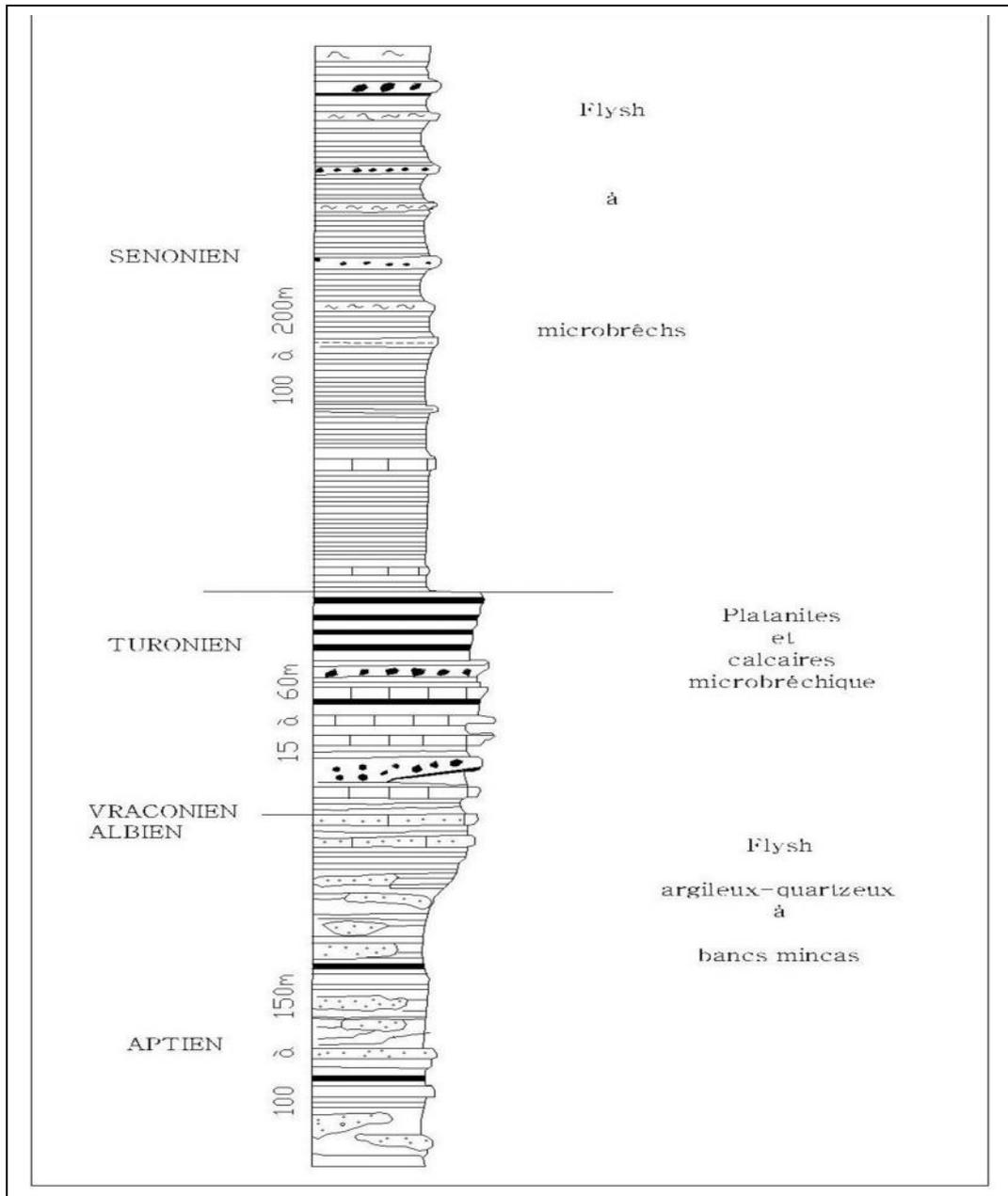


Fig. I.8. : Colonne stratigraphique et synthétique de la série des flyschs Massylien d'après J.F RAOULT

I.3.3.5. Le flysch numidien

Le flysch numidien affleure au sud de la région d'étude, où il constitue les hauteurs des massifs gréseux de Djebel El Ouahch et Djebel Ras El Kalaa. Les affleurements les plus visibles sont ceux de Douar Khorfan, ils présentent de bas en haut les ensemble suivants (Raoult J.F., 1974) :

- Des argiles à horizons calcaireux suivies par des argiles varicolores dites sous numidiennes, contenant des corps ferrugineux cylindriques (les Tubotomaculum). Elles contiennent parfois des bancs de grès quartziteux .
- Les grès numidiens : il s'agit de grès massifs, en bancs métriques, pouvant dépasser la dizaine de mètres, souvent ils sont alternés avec des passées d'argiles gris vert. Blanc jaunâtre en cassure, les grès ont une patine fauve, certains bancs montrent des figures de base de banc et parfois un granoclassement. Les niveaux à dragées de quartz sont présents et n'atteignent que rarement le centimètre.
- Un ensemble supra-numidien constitué à la base par des grès numidiens fins surmontées par des argiles à débit noduleux très finement micacées, suivies par des bancs de silexites avec parfois des lentilles de calcaire marneux finement micacé.

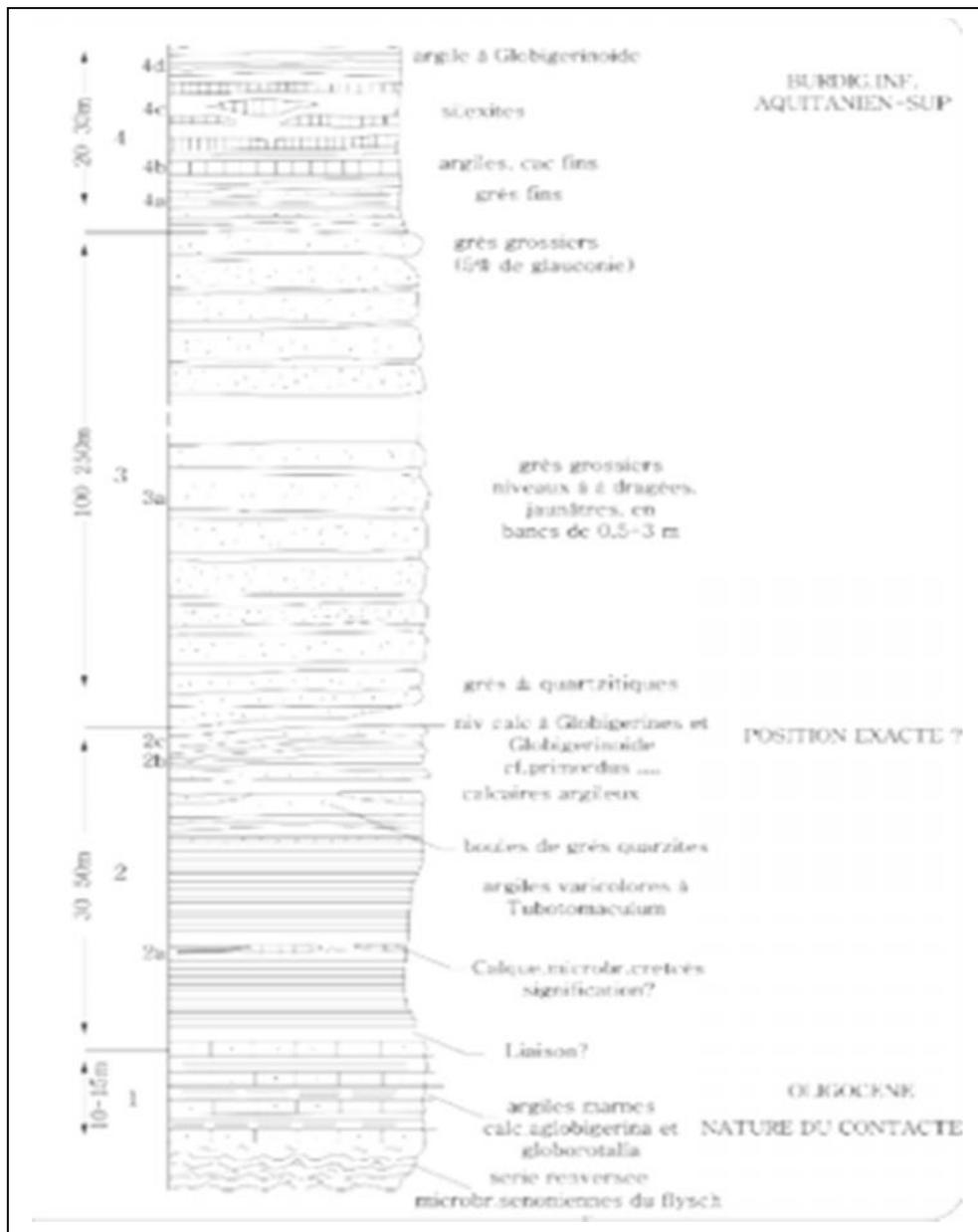


Fig. I.9. : Colonne stratigraphique et synthétique de la série Numidienne du douar Khorfane

I.3.4. LES FORMATIONS DU DOMAINE EXTERNE

Le domaine tellien est caractérisé par des séries secondaires, souvent épaisses, à faciès profonds.

Tous les auteurs s'accordent quant à sa position et son étude a montré qu'il avait été débité en vaste nappes. Paléogéographiquement du nord vers le sud on distingue les séries ultra-telliennes, les séries telliennes stricto-sensu, et les séries péni-telliennes.

I.3.4.1. L'ultra tellien

Il affleure au sud de Beni Ouelban, Djebel Bou Aded et Kef Toumiete, et à l'ouest de Djebel Fartassa-Koudiet Bou Snib . Sous l'angle structural, les séries ont été débitées en multiples lames, écaillées, renversées et surmontée par les formations de flysch massylien.

Deux séries telliennes, tectoniquement superposées (unité de Ouelban et unité de Braham), affleurent dans la zone de Beni Ouelban (Raoult J.F., 1974) :

L'unité supérieure nommée série de Braham, visible au sud de Kef Sidi Dris, elle est renversée et montre des termes du Néocomien au Maestrichtien. De bas en haut on y trouve :

- Le Barrémien qui est riche en Ammonites pyriteuses, il est marneux alternant régulièrement avec des calcaires.
- L'Albo-aptien présente des marno-calcaires avec des bancs de calcaires à fragments de Bélemnites.
- Du Vraconien au Sénonien on a des marno-calcaires à Rotalipores.
- Le Turonien est calcaire lui aussi, le Sénonien est marquée par une alternance de marnes et de nombreux bancs de calcaires. La série se termine par des marnes noires maestrichtiennes.

A l'inverse de la série précédente, la série d'Ouelbane contient des boules jaunes qui caractérisent les marnes noires lutétiennes. Cette série montre des microbrèches, des conglomérats et des galets ou blocs pouvant atteindre plusieurs m³.

Elle apparait principalement à l'ouest de Beni Ouelban avec des niveaux allant du Crétacé supérieur jusqu'à l'Éocène moyen.

Le Sénonien supérieur est marqué par un matériel remanié composé surtout de calcaires du Jurassique et de Crétacé inférieur, à faciès plus ou moins néritiques. Le Maestrichtien est conglomératique, avec des microbrèches et des galets et des horizons de marnes et de calcaires, le Danien est marno-calcaire, le Paléocène est marneux, l'Yprésien est marqué par des bancs de calcaires qui peuvent atteindre les 100m. Le Lutétien est constitué par des argiles et des marnes noires à boules calcaires jaunes.

I.3.5. LES SERIES POSTERIEURES AU LUTETIEN

Les séries post-lutésiennes présentent des dépôts syntectoniques et détritiques, dus aux différentes phases tectoniques qui ont bouleversé la paléogéographie à partir de Lutésien supérieur.

Dans notre secteur d'étude, les formations dites post-lutésiennes sont représentées par le Nummulitique II et l'Oligo - Miocène Kabyle. Ces deux ensembles ont des faciès voisins, souvent indifférenciables, et affleurent sur une grande surface, en occupant une bonne partie de la carte de Zigout Youcef .

I.3.5.1. L'Oligo - Miocène Kabyle

L'Oligo-Miocène kabyle désigne l'ensemble des formations détritiques discordantes sur le socle et la dorsale kabyle et datées dès leur base de l'Oligocène terminal ou de l'Aquitainien inférieur. Il est connu surtout par ses silexites typiques, et comporte essentiellement des conglomérats et des grès micacés à nombreux débris de phyllades. La figure 29 montre une série lithostratigraphique qui se trouve dans le col de Bissy au nord est de la région d'étude, elle présente de bas en haut les ensembles suivants :

- Oligocène terminal se constitue par des brèches et poudingues en bancs irréguliers, surmontés par des grès micacés et des conglomérats fins à débris de phyllades.
- L'Aquitainien inférieur se débute par une alternance de grès micacés de conglomérats et de pélites avec des niveaux de silexites qui peuvent atteindre les 10 m, suivi par un ensemble d'argiles et de pélites avec des niveaux de brèche (remaniement de nombreux blocs de grès quartzitiques et de calcaires).

I.3.5.2. Le Nummulitique II

Le terme Nummulitique II désigne les dépôts succédant à la phase fini-lutésienne (pyrénéenne), ils débutent dans le Lutésien supérieur et atteignent l'Oligocène supérieur.

Il représente une partie des séries grés-micacées (Oligocène grés-micacé) qui couvrent les diverses unités, antérieurement tectonisées (la dorsale kabyle et le flysch maurétanien).

Les formations du Nummulitique II sont de type molassique, elles se distinguent de celles du Nummulitique I car elles sont sableuses, riches en micas détritiques et en débris de socle. La figure n°30 présente la série inférieure de Nummulitique II (Lutésien terminal-Priabonien inférieur), au sud de Djebel Tengout (à l'est de la région d'étude) elle est caractérisée par des grès fins micacés, en minces bancs brunâtres (grès micacés tabac) intercalés avec des argiles et des marnes sableuses, avec des débris de quartz et de micas.

La série supérieure (Priabonien inférieur-Oligocène) est jaunâtre, comportant des marnes sableuses et micacées séparés par des bancs compacts de grès calcaireux et micacés ou des calcaires micro-bréchiq (Fig.27) sableux et micacés. De nombreux bancs montrent des granoclasements, des stratifications obliques et des figures de base (figures de courant).

I.3.5.3. Les formations post-nappes (le Miocène continental)

Au Miocène inférieur, une dépression s'est formée au sud de la chaîne numidique où s'accumulaient de puissants dépôts continentaux, avec, à la base des conglomérats du Miocène moyen-supérieur, au sommet, on a une série argileuse et évaporitiques du Miocène supérieurs, surmontée de Pliocène continental discordant.

Les formations post-nappes, représentées par le Miocène continental, sont bien développées au sud de la région d'étude, elles forment l'essentiel du bassin de Zighout Youcef.

Les dépôts sont très tectonisés et discordants sur toutes les séries antérieures. Ils sont affectés par des failles et de nombreux plis, à flancs déversés vers le nord ou vers le sud (Raoult J.F., 1974). Ils comportent de bas en haut les ensembles suivants :

- Le premier terme débute par un ensemble conglomératique de base avec de gros blocs enrobés d'argiles et de sables, au dessus vient une succession irrégulière d'argiles, de sables, de graviers et de conglomérats mal cimentés.
- le terme médian est caractérisé par des alternances irrégulières d'argiles sableuses avec des passées de grès et de calcaires lacustres ou travertineux.
- Le terme supérieur se compose essentiellement d'argiles, avec des niveaux rouges riches en gypse avec des intercalations de calcaires sableux ou travertineux (ces calcaires prennent un grand développement dans Djebel Teffaha), avec des sables, des grès et des conglomérats. Les horizons d'argiles gypseuses sont très puissants, ils peuvent atteindre les 500 m.

I.3.5.4. Les formations quaternaires

Sur la feuille de Zighout Youcef le Quaternaire est représenté dans la majorité des cas par des alluvions anciennes des oueds, des terrasses, des éboulis, colluvions et coulées boueuses anciennes.

- Les alluvions récentes des oueds correspondent à des limons, des graviers et des galets roulés. Tandis que Les alluvions anciennes se composent de cailloux roulés, limons et graviers parfois encroûtés provenant d'anciennes terrasses.
- Les Eboulis et les dépôts de pentes : se sont surtout développés en bordure des reliefs numidiens et des massifs calcaires de la chaîne numidique centrale.

DEUXIEME PARTIE

PHOTO GEOLOGIE ET DEFORMATIONS MORPHO TECTONIQUES

II.1. PHOTO GEOLOGIE

Depuis 1953 la photographie aérienne (en Algérie) est utilisée régulièrement pour la résolution des problèmes géologiques et géotechniques.

En effet, L'expérience pétrolière au Sahara a démontré qu'en quelques mois ,des surfaces considérables avaient été couvertes, la photo interprétation est de 6 à 10 fois plus rapide que les méthodes de terrain ; **elle ne se propose pas de les supplanter mais de les orienter.**

Les qualités essentielles de cette méthode sont: Rapidité, précision, économie et vision de synthèse.

Par ailleurs, la photo interprétation permet d'avoir un excellent aperçu morphologique et structural des régions à étudier.

II.1.1. Documents utilisés

Pour la réalisation de ce travail, on a utilisé les documents suivants :

➤ Les photographies aériennes :

Boite N° 52, Mission 1972. Echelle 1/20.000 : Photos 07 à 09

: Photos 11 à 15

: Photos 17 à 23

: Photos 29 à 31

: Photos 31 à 35

: Photos 36 à 39

: Photos 43 à 49

: Photos 51 à 53

: Photos 57 à 64

: Photos 65 à 77

Cartes topographiques :

Feuille de Smendou 1/50 000

➤ Cartes géologiques :

Carte géologique de Smendou 1/50 000

II.1.2. Méthodologie

Les photographies aériennes ayant servi à cette étude ont été exploitées systématiquement de la manière suivante :

Sur un cliché de 02 photos se superpose un carré de papier calque, avec le stéréoscope à miroirs, on trace sur le papier calque une gamme de signes conventionnels, ou on a d'un côté les éléments morphologiques :

- ✓ Oueds, ravins, rivières
- ✓ Glacis, coulées et paléo coulées.
- ✓ Terrasses et replats.
- ✓ Eboulis et éboulements.
- ✓ Escarpement.
- ✓ Chevrons.

Et de l'autre côté les éléments géologiques et structuraux.

- ✓ Pendages.
- ✓ Escarpements de failles.
- ✓ Limites des couches géologiques.
- ✓ Failles, fractures et diaclases.

Lorsque la série des photos aériennes déchiffrées est achevée on procède à l'opération de report-synthèse.

Cette opération consiste à transférer l'information géologique et morphologique portée sur les carrées de calque, sur un transparent superposé à la carte topographique correspondante

Les caractères fondamentaux utilisés:

Les caractères qu'on a utilisés dans notre travail sont en effet assez connus. Ils appartiennent essentiellement à trois groupes :

- ✓ Caractères morphologiques (formes du relief, réseau hydrographique).

- ✓ Teinte (photo ton)
- ✓ Végétation

Pour ce qui est du traitement statistique des fractures, il s'agit d'une caractérisation de l'accident par sa position dans un plan (x,y), par son angle avec le nord et par sa longueur (L).

Ces linéaments sont triés par angle croissant de 0-180°. Le fichier étant divisé en classe de 10°, pour chaque classe on compte le nombre d'accidents et on calcule les longueurs cumulées de tous les accidents de la classe.

On aboutira donc à des représentations en histogramme et en rosace de fréquences et de longueurs cumulées.

II.1.3. Analyse et résultats

II.1.3.1. L'analyse morphologique

Les formes du relief de l'aire d'étude sont assez variées, elles résultent de plusieurs facteurs d'érosion,(érosion différentielle, action géodynamique, facteur climatique). Chacun de ces facteurs conduisent à la création d'une forme caractéristique dans un contexte géologique déterminé.

Par ailleurs, dans la région d'étude les formes des différents réseaux hydrographiques constituent un caractère important dans le démembrement et le façonnement du relief.

Ces formes reflètent en fait l'interaction de plusieurs paramètres qui dessinent leurs architectures actuelles et conditionnent leurs allures futures. Ces paramètres sont : Héritage structural, nature du substratum, structure géologique, lithologie, réseau hydrographique, topographie, climat et néo activité.

L'histoire géologique mouvementée, la forte complexité de la tectonique récente et actuelle de cette région couplée à la nature terrigène des formations en place, favorisent l'altération et l'érosion.

➤ Les mouvements de terrain

Les désordres et mouvements de terrain sont fréquents et très répandus dans toute la région et semblent être cadrés par le réseau dense des fractures ; on y trouve :

- ✓ de grandes paléo coulées à blocs (pluri kilométriques)
- ✓ des glissements rotationnels
- ✓ de la solifluxion

➤ **Les replats**

Les replats sont fréquents dans la région. Ils constituent souvent de bon indicateurs sur des paléo mouvements de terrain (replats de glissements).

Parfois, cependant, ils sont en relation avec des structures tectoniques telles que les failles listriques et donnent des replats structuraux.

Dans les deux cas, les replats représentent des indicateurs d'instabilité potentielle et de zones de faiblesses.

➤ **Solifluxions**

Ces mouvements lent qui affectent une grande partie de la région d'étude se trouvent généralement en amont des méga coulées boueuses, se sont de bon indices de réactivation des mouvements.

➤ **Coulées boueuses**

L'influence de plusieurs facteurs : relief, caractéristiques intrinsèques (degrés de saturation, la plasticité...), a donné naissance à de méga structures qui bouges épisodiquement, on peut le constater au sud ouest de la région dans la forêt de Beni Mdjaled, ou on a une structure en forme d'éventail large de presque 9 Km, et qui avance vers le nord.

Ces méga structures morphologiques sont toutes encadrées par un réseau de fractures, souvent actives (nettes dans le paysage par leurs allures parfaitement rectilignes et les surcreusements important qu'ils engendrent).

II.1.3.1. L'analyse structurale

A partir de la cartographie morpho structurale (Fig.II.1.3.1 et Fig.II.1.3.2), nous avons relevé 1 040 linéaments et des longueurs cumulées de l'ordre 691,540 Km, pour une superficie d'environ 645Km² ; cela nous donne une densité de 1,07m par mètre carré.

Cette densité reflète le grand degré de fracturation de cette région.

Pour une meilleure lecture nous avons élaboré des rosaces (fréquence) (Fig.II.1.3.3) ainsi que des histogrammes (fréquence et longueurs cumulés) (Fig. Fig.II.1.3.4, Fig. Fig.II.1.3.5), montrant des

CARTE MORPHO-STRUCTURALE
REGION NORD DU CONDE-SMENDOU

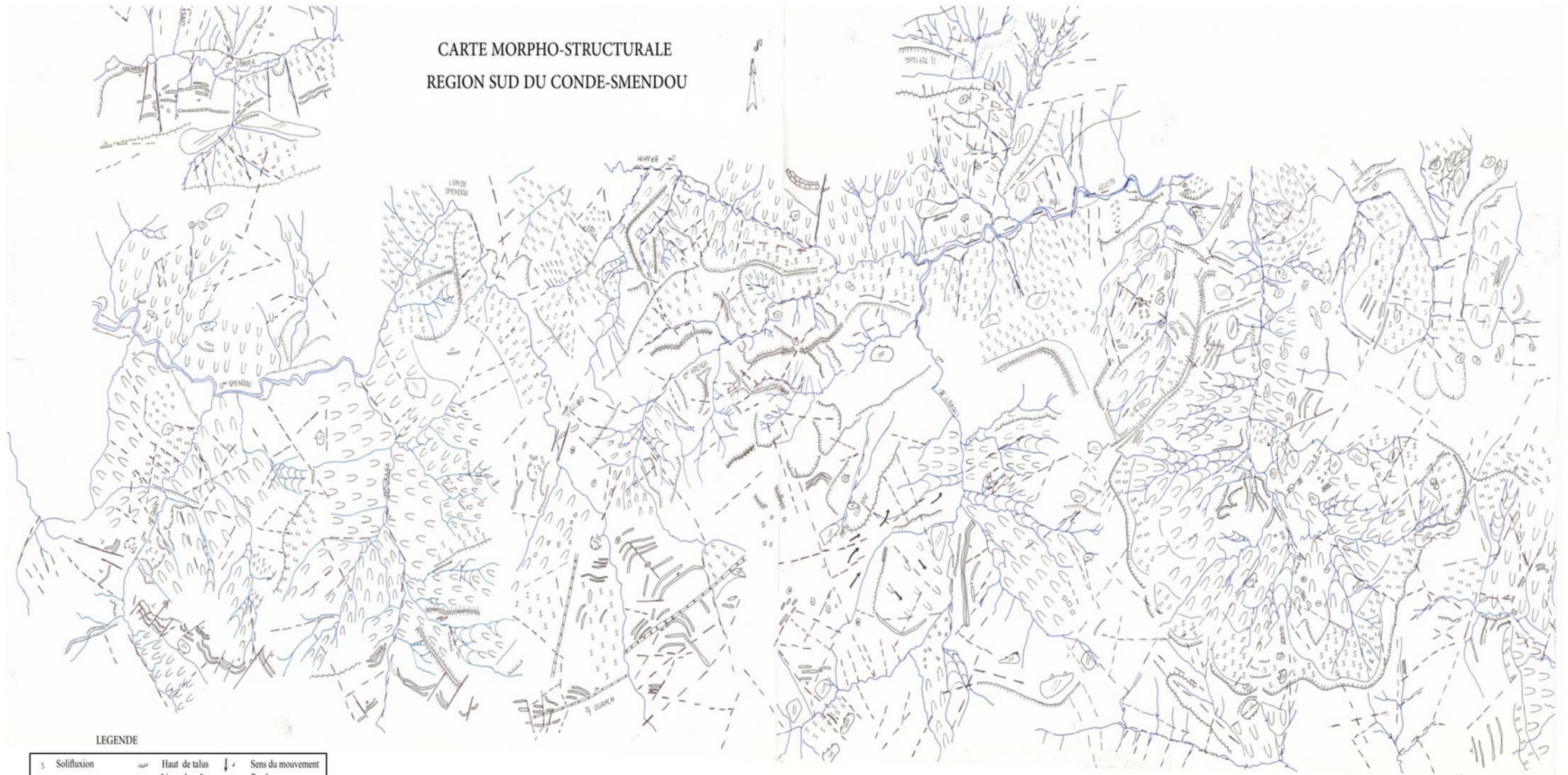


LEGENDE

S Solifluxion	⌋ Haut de talus	↙ Sens du mouvement
U Coulée boueuse	⌋ Ligne de crête	↘ Pendage
⌋ Glissement	— Cours d'eau	
⌋ Replat	— Faille	
⌋ Niveau géologique	- - - Linéament	
— RN3		

Echelle 1 km

CARTE MORPHO-STRUCTURALE
REGION SUD DU CONDE-SMENDOU



LEGENDE

s	Solifluxion	Haut de talus	↓	Sens du mouvement
U	Coulée boueuse	Ligne de crête	↘	Pendage
↘	Glissement	Cours d'eau	↗	Zone de broyage
↖	Replat	Faillie		
↗	Niveau géologique	Linéament		

Echelle 1 km

maximas qui représentent les classes prédominantes ; six familles de directions significatives sont mises en évidence. Ce sont par ordre d'importance :

- ✓ la famille N-S
- ✓ la famille NE-SO
- ✓ la famille E-O
- ✓ la famille NO- SE)
- ✓ la famille NNO-SSE

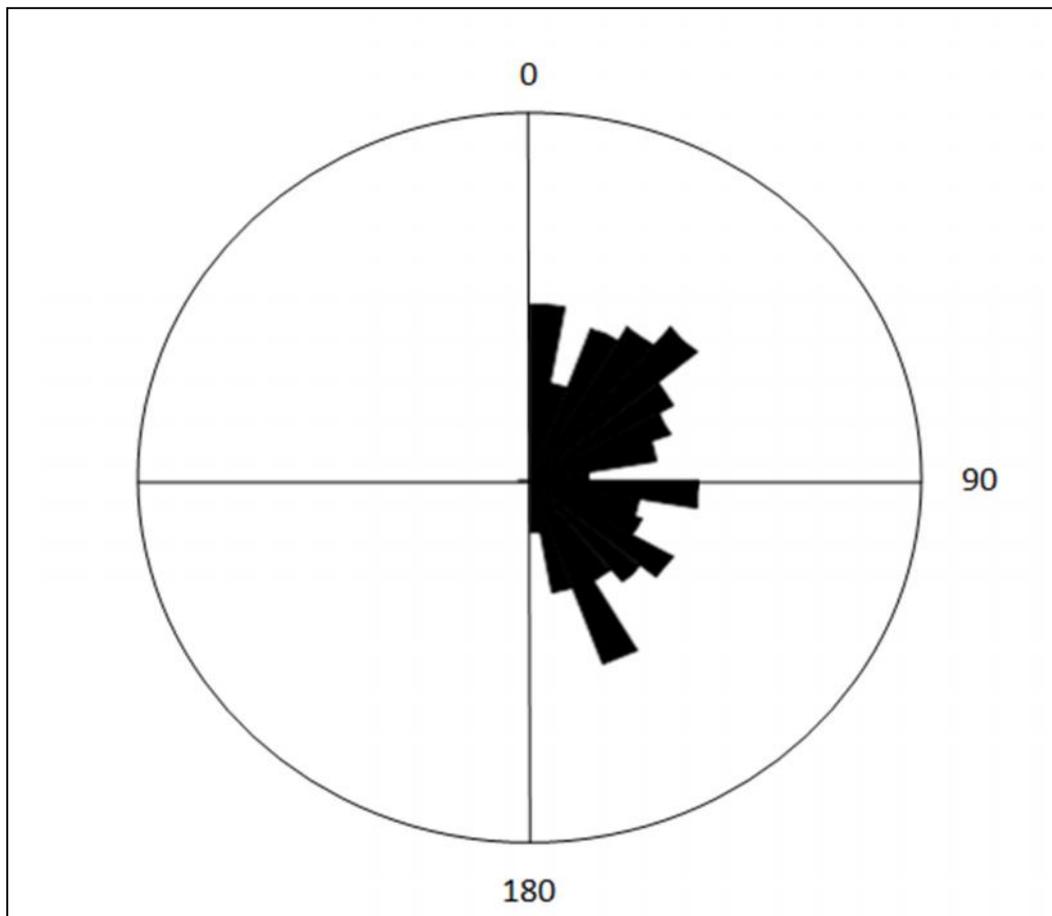


Fig.II.1.3.3 des fréquences des rosaces

Fig.II.1.3.4
Distribution des fréquences des fractures la région d'étude

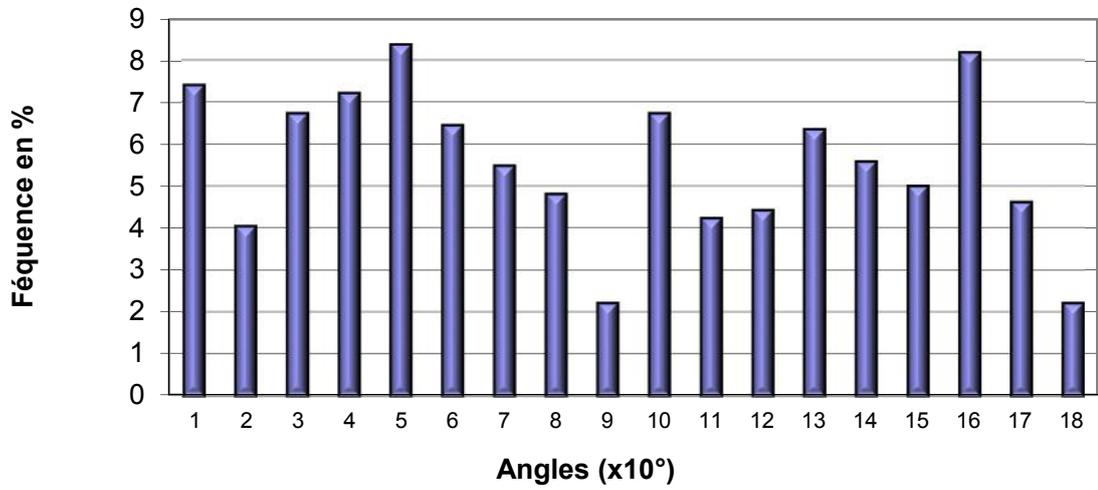
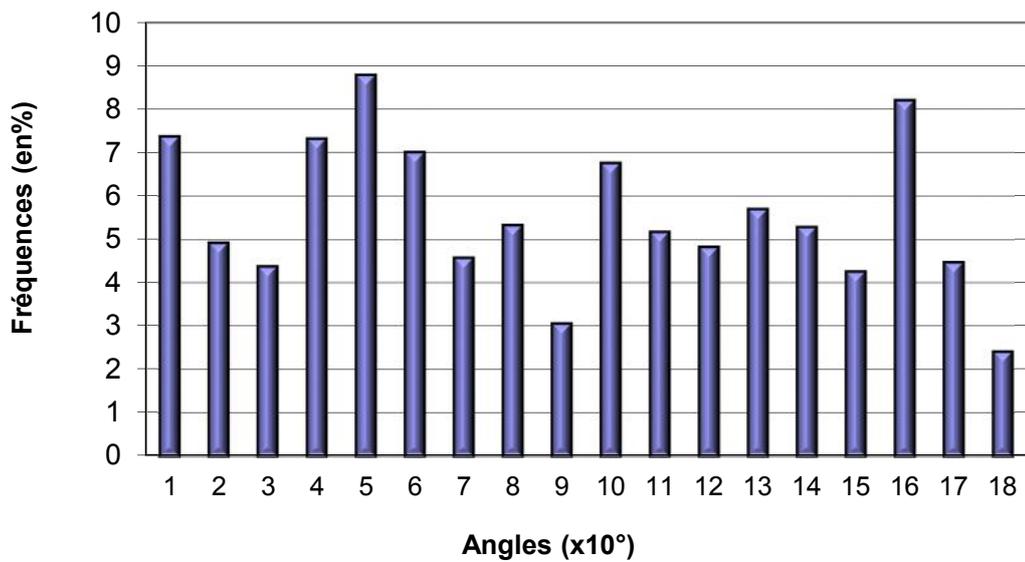


Fig.II.1.3.5
Histogramme des longueurs cumulées des fractures de la région d'étude (%)



La rosace des fréquences est les histogrammes des fréquences et des longueurs cumulées en mis en évidence cinq familles de lignaments est qui sont :

La famille N-S

Elle apparait au niveau de oued Bouadjeb, quant il vire pour se jeté au niveau de oued SafSaf .

On la trouve en allure en parallèle au niveau de oued Rararef , elle a une allure en échelon au niveau de oued Smendou quant il longe le coté Estde Dj Agueb et Dj Nadour, cette même allure elle est apparente au nord de la région au niveau de oued Nssa, oued Sdira, oued Refref, et l'Est a Chaabat Essaïd.

La famille NE-SO

C'est la famille qui a le plus de longueur cumulée de la région (60,8 Km), aussi elle englobe le lignament le plus long qu'on a pu détecter 3,6 Km

On remarque son influence sur trois cours d'eau très importants ;

- Oued Smendou au sud Est de la région
- Oued Nssa au nord de la région
- Oued Bou Adjeb au centre de la région

Cette famille a globalement une allure en relais.

La famille E – O

Elle a donnée une direction préférentielle (E-O) a quelques structure tel que Dj Djazia et Dj Sessnou.

Elle existe a oued Sbikra a l'extrême Est de la région.

Des fois on la trouve sous deux allures différentes exemple a oued Ben brahim, a petite échelle elle est en allure coulissante, en moyenne échelle elle est en allure en échelon.

La famille NO-SE

Globalement elle a une allure en échelon, elle est très apparente a oued Boukara, elle affecte oued Smendou a son extrémité Est.

La famille SSE-NNO

Quand oued Smendou prend sa source au niveau de Dj El Ouahch, il a une direction SSE – NNO, cette même famille on remarque son empreinte sur oud SafSaf.

Son allure est échelons chose qui se voit bien au niveau de chaabat Bernout au nord de ouled Bababa

Ces méga structures morphologiques n'échappent pas au caprice de la tectonique du quaternaire, qui les sectionne sous formes de cours d'eau étroit rectiligne et sur creusé.

II.2. L'ANALYSE STRUCTURAL DU RELIEF

II.2.1. Les principaux éléments du relief structural

La région d'étude fait partie intégrante du Tell Constantinois et se constitue des unités morpho structurales suivantes:

➤ *Les massifs montagneux de la chaîne numidique au nord :* comprenant les morpho structures de Bit El Djazia , Kantour , Drâa Yehudi , Cherraga, Sesnou et Mekla ; formant une barrière morpho géologique remarquable. Cette dernière est jalonnée par des calcaires liasiques, nummulitiques, des poudingues et des grès néogènes.

Les affleurements sont disloqués et sont parfois réduits à de simples lambeaux. Ceci dénote de l'importance des mouvements tectoniques atlasiques et alpins qu'elle a subis.

Les Kefs Toumiets vers le Nord forment une zone de contact tectonique majeure.

➤ *Les collines de Condé Smendou et des Zardézas:*

Là, la topographie devient irrégulière. Elle se caractérise par des bombements coupés fréquemment par des thalwegs et interfluves.

Le bassin de Condé Smendou comporte quelques reliefs de calcaire isolés, qui ont été charriés vers le Sud durant la phase alpine. C'est un bassin d'effondrement, prolongeant celui de Constantine, qui a dû fonctionner comme un piège à sédiments depuis le Miocène moyen jusqu'au début du Quaternaire. Ce bassin est constitué à la

base par de la molasse et d'une épaisse série de grès, suivie par des formations détritiques continentales dans l'ordre suivant: argiles à gypse, conglomérats, tufs et calcaires lacustres.

➤ ***la dépression d'Oued Ença :***

Cette dépression constitue une vallée que nous pensons structurale (ce que nous nous attèlerons à démontrer dans ce projet de magister) ; présentant une forme d'un bassin de réception. Elle est creusée essentiellement dans les argiles des flyschs.

Pour ce qui est du cadre structural, le grand degré de déformation, caractérisant cette région résulte d'une grande activité néotectonique qu'a connue la région durant la fin du Pliocène et pendant tout le Quaternaire. Cette forte activité a vu la réactivation d'anciens accidents et l'apparition de morpho-structures dont le matériel provient en grande partie du démantèlement du relief structural, aidé en cela par un paléo-climat fort variable. Par ailleurs, les mouvements de masse occupent d'importantes surfaces dans ce secteur.

Un réseau de failles semble généralement dans la plupart des situations contrôler l'ensemble de ces mouvements de masses.

II.2.2. Les principaux traits de la tectonique

La région a été affectée par divers phases plus ou moins importante et que l'on dénombre si dessous :

Les mouvements tectoniques précoces du Jurassique, du Crétacé, du Paléocène est qui sont visible que localement

Une phase fini-oligocène allant de l'Oligocène terminal-Aquitaniens inférieurs elle est responsable des mouvements tangentiels.

Une phase fini Oligocène allant de l'Oligocène terminal –Aquitaniens inférieurs responsable des chevauchements

Des mouvements tardives, néotectonique qui se traduit par des plis et des failles de directions E-O, elle est indépendante des phases tangentiels, aussi ils ont découpés l'empilement des nappes, et ont participé à la formation d'axes orographiques.

Deux méga structures conditionnent en grande partie l'évolution de cette région :

- **L'accident d'El Kantour**

- **L'accident Kef Hahouner –Djebel Débar**

- **L'accident d'El Kantour**

Cet accident orienté NE-SW passe par la zone d'El Kantour. Il serait vertical ou à pendage fort, de part et d'autre les nappes ne présentent pas le même aspect.

Ainsi, cet accident a eu un rôle notable et a séparé deux zones ayant subi des évolutions tectoniques différentes. Il paraît se poursuivre loin vers le SSW et passerait entre les monts du Hodna et le Belezma, à 120 Km d'El Kantour.

Cet accident traduirait des déplacements postérieurs aux grands charriages

- **L'accident Kef Hahouner –Djebel Débar**

De direction E-W, partant de la région de Bouchegouf et allant jusque dans la région de Djebel M'cid Aicha au NW de Constantine, cet accident parcourt une centaine de Km.

Cet axe majeur a du jouer en distension pendant tout le Miocène. En effet, on trouve tout au long de cet accident des roches volcaniques ou des sources thermales. De plus au contact de cet accident les dépôts mio-pliocènes sont redressés. Cet axe a donc joué très tardivement.

La zone d'El Kantour-col des oliviers correspond en fait à un nœud tectonique ou interfèrent : charriages et accidents régionaux jouant tardivement.

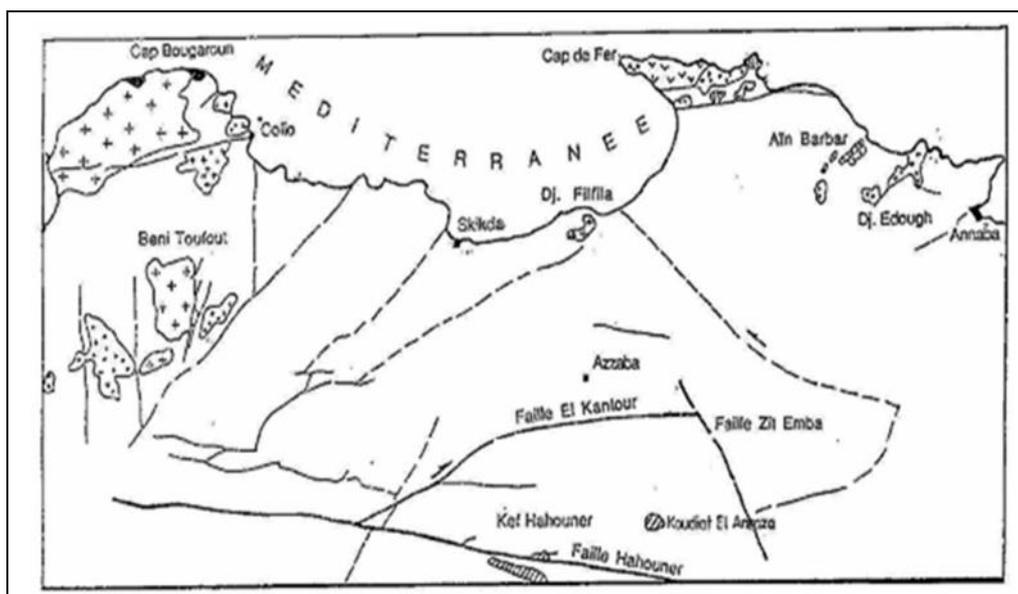


Fig.II.2.1: cadre magmatique du Nord-Est Algérien et la position de quelques failles majeures. D'après Durand Delga (1978), complétée d'après M.T Bouarroudj (1986)

II.2.3. Etude de Cas

(Cas du portail sud du Tunnel T4)- Travail réalisé par Pr BENABBAS C et ZERDOUDI S

Dans le secteur du PK 228+800 des désordres sont apparus sur le versant ouest suite à des travaux d'excavation réalisés par le consortium COJAAL dans le cadre de la construction de l'autoroute est ouest. Ces désordres ont entraîné l'apparition d'instabilités sur ce versant.

Historique (source COJAAL).

L'excavation pour la réalisation de l'OH 10 a démarré en Mai 2008 ; le 05 Juin 2008, apparition de fissures et désordres sur le versant, se trouvant coté Route nationale (avec effondrement partiel sur le talus au niveau de la tête avale de l'OH).

La fissure s'aligne le long de la stratification synclinale (entre des couches de natures différentes). Apparition de fissures en surface se prolongeant vers l'amont (vers les habitations).

Les travaux ont été stoppés et une butée a été réalisée le jour même dans le but de freiner le mouvement en attendant les résultats des investigations.

Caractérisation du glissement :

Afin de mieux comprendre le déclenchement de l'instabilité, une campagne d'investigation a été initiée (pose de piquets de surveillance au nombre de 08(dés le 06 Juin), mise en place d'un inclinomètre dont la prise de mesure a débuté dès le 14 Juin...)

Ces investigations préliminaires ont permis de détecter un glissement situé à – 9,5m.

Dimension du glissement :

Largeur : 80m, Longueur de la pente : 120m, Profondeur : 9.5m

Suite à cela il a été noté une accalmie relative jusqu' à début mars 2009, avec l'apparition de nouvelles fissures sur le versant et aussi sur la RN.

Suite a cela il a été décidé l'implantation d'un nouveau inclinomètre (au mois d'août) dans le cadre d'investigations additionnelles ainsi qu'un piézomètre (au mois d'octobre) et d'ajouter d'autres piquets de surveillance (au nombre de 06).

Les responsables de COJAAL (camp 05) ont demandé les appréciations de Prof BENABBAS sur cette situation.

Une série de sorties ont eu lieu sur le site les Mars- Avril 2012(du PK 228+400 au PK 229+000).

Les principales remarques et éléments de réflexions de Pr BENABBAS C sont les suivants :

- COJAAL a stoppé les travaux dès l'apparition de désordres et décidé la réalisation d'une butée pour freiner les mouvements.
- COJAAL a aussitôt engagé des investigations géotechniques pour mieux cerner et comprendre ces mouvements de masse (ces investigations ont nécessité l'implantation d'un piézomètre et d'inclinomètres afin de situer, de comprendre et de suivre l'évolution des mouvements).
- Il ressort des documents fournis par COJAAL (lecture et suivi des inclinomètres, piézomètre et piquets de surveillance), que les mesures de confortements ont donné de bons résultats et sont arrivées à freiner les mouvements de masse. Cependant et suite aux chutes de pluies et de neiges (exceptionnelles cette année), il a été remarqué de légères réactivations des mouvements de masse.
- Nous pensons que les mesures prises par COJAAL sont des mesures ordinaires et appropriées en pareil cas.
- Le site est cependant localisé dans une région à géologie fort complexe, c'est la zone tampon entre les domaines internes (nord) et externes (sud) ; cette zone est une frontière paléogéographique qui a été active depuis au moins le mésozoïque. Cette nature complexe et active, expliquerait les nombreux problèmes géologiques rencontrés dans la construction de T4 (situé au nord immédiat de ce secteur).
- La géologie locale est prédominée par la présence de formations géologiques sédimentaires continentales d'âge néogène (argiles, marnes argileuses, marnes gréseuses, grés et sables.....); ce sont des formations variées, déformées et non continues dans l'espace (on relève de nombreux changements latéraux de faciès). **Les déformations de ces formations plicatives ou cassantes sont difficilement repérables sur terrain, à cause de la nature essentiellement détritique des formations géologiques et du couvert végétal.**

Ce sont les travaux qui ont permis la mise en évidence de la structure en synclinal, ou est situé le plan de glissement (**Fig.II.3.13**).

- Ces formations continentales font partie de ce qui est convenu d'appeler « le bassin néogène de Mila-Constantine, bassin mal connu et rarement étudié.

- Par ailleurs, la cartographie géologique et le relevé des zones instables (150m de part et d'autre du tracé) réalisés par l'équipe du Dr Benabbas en 2007, mentionnaient déjà des révélateurs directs ou indirects de présence de désordres ou de glissements actifs dans ce secteur fort complexe (**FigII.3.01**).
- En outre, on remarque sur les photographies aériennes de 1972-73 (déjà) des signes d'instabilités claires sur les versants Est et Ouest (**FigII.3.02**). En fait, toute la partie amont du micro bassin présente un versant irrégulier avec des éléments de fragilités et d'instabilité.

Pour ce qui est des travaux :

- Il est clair que les travaux de terrassement ont causé une accélération des mouvements gravitaires(**Fig.II.3.03**).
- Il est clair aussi que certains travaux n'ont pas été bien réalisés. En effet, l'un des puits de reconnaissance n'a pas été comblé totalement jusqu'à aujourd'hui (**Fig.II.3.12**).
- Les mesures d'étude et de suivi ont été menées de manière professionnelle.
- Cependant, nous tenons à attirer l'attention sur un ensemble d'éléments que nous pensons importants pour la stabilité du versant:
 - En effet et afin de mieux cerner la problématique, nous avons décidé d'élargir notre champ d'investigation jusqu'à la ligne de partage des eaux (le haut du versant). Nous pensons que cette partie a été sous évaluée pour ne pas dire omise dans l'évaluation géologique et géotechnique (**probablement à cause de son éloignement du tracé**), et pourtant nous pensons qu'elle pourrait fournir de précieuses informations pour la compréhension du phénomène.
 - Le facteur « **Eau** » est l'un des éléments à prendre en considération non pas au niveau du secteur d'étude (travail déjà pris en charge par COJAAL), mais sur tout le micro bassin (en amont).
 - D'ailleurs, le suivi et relevé piézométrique et inclinométrique ont montré une relation étroite entre pluviométrie et accélération de l'instabilité.
 - Le meilleur argument de ce que nous avançons est l'exemple de ce qui se passe en amont et en aval du tracé du chemin de fer. Nous avons relevé la convergence de nombreux ravins et ravines (parfois sur creusés) ce qui a entraîné la stagnation de

grandes quantités d'eau non drainées a cause de l'absence d'ouvrages de drainage (fiable) (Fig.II.3.05,06,07,08 et 09).

- Cette situation et dans le contexte complexe et instable de ce versant va amplifier (à notre humble avis) et accélérer les désordres.
- Par ailleurs, nous avons relevé des déformations de rails et les nombreux restes et ferrailles qui jonchent le site témoignent de changements fréquents de segments entiers de rails (Fig. II.3. 05,06,07,08 et 09). Probablement suite à des glissements antérieurs ; ce qui confirme les remarques faites ci-dessus et sur les photographies aériennes.

En conclusion, nous pensons que la stabilité de tout le versant concerne aussi et de près les services de chemins de fer et ceux des travaux publics (DTP de Constantine) ; car les travaux de COJAAL pour le confortement du versant ne suffiront pas à long terme en l'absence de travaux et de mesures de protection pour les ouvrages et infrastructures (chemin de fer et RN 03) se trouvant en amont et en dehors du rayon d'action de COJAAL. (Fig.II.3. 04,10 et 11).

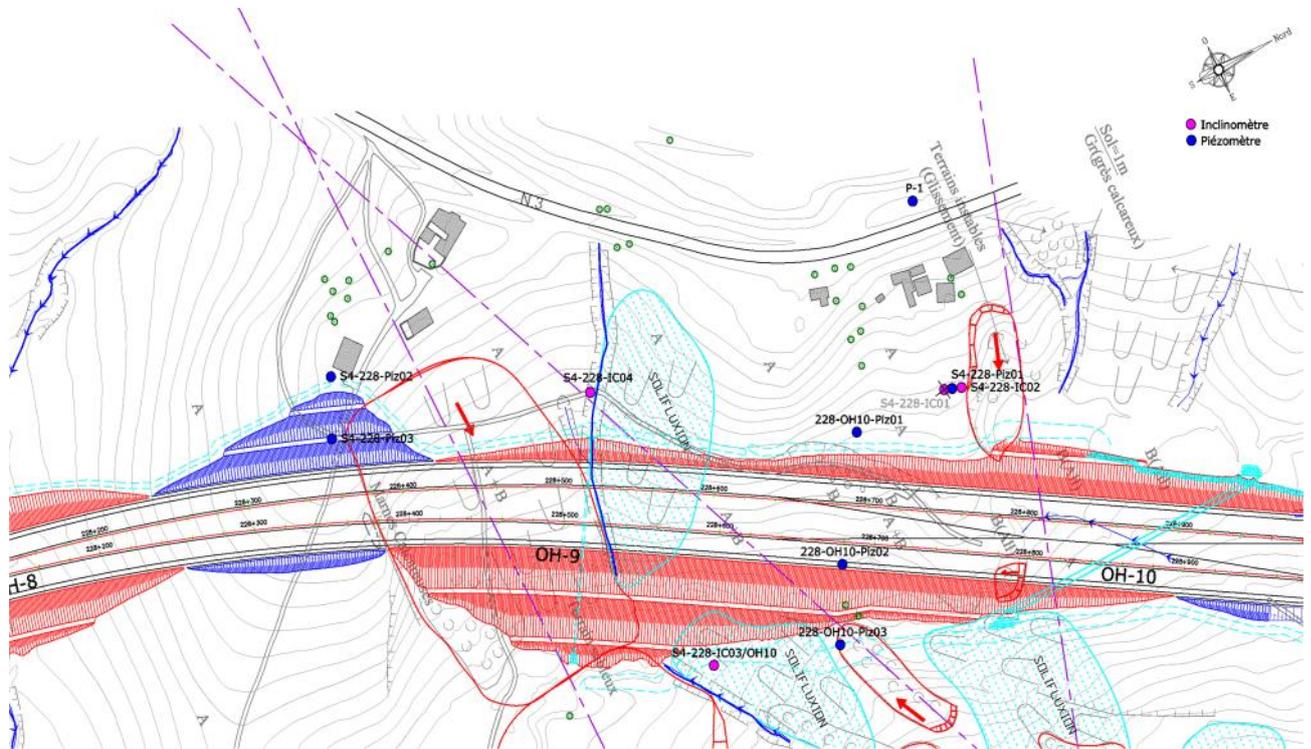


Fig.II.3.1

Localisation du tracé de l'autoroute dans la zone d'étude avec la cartographie des zones instables

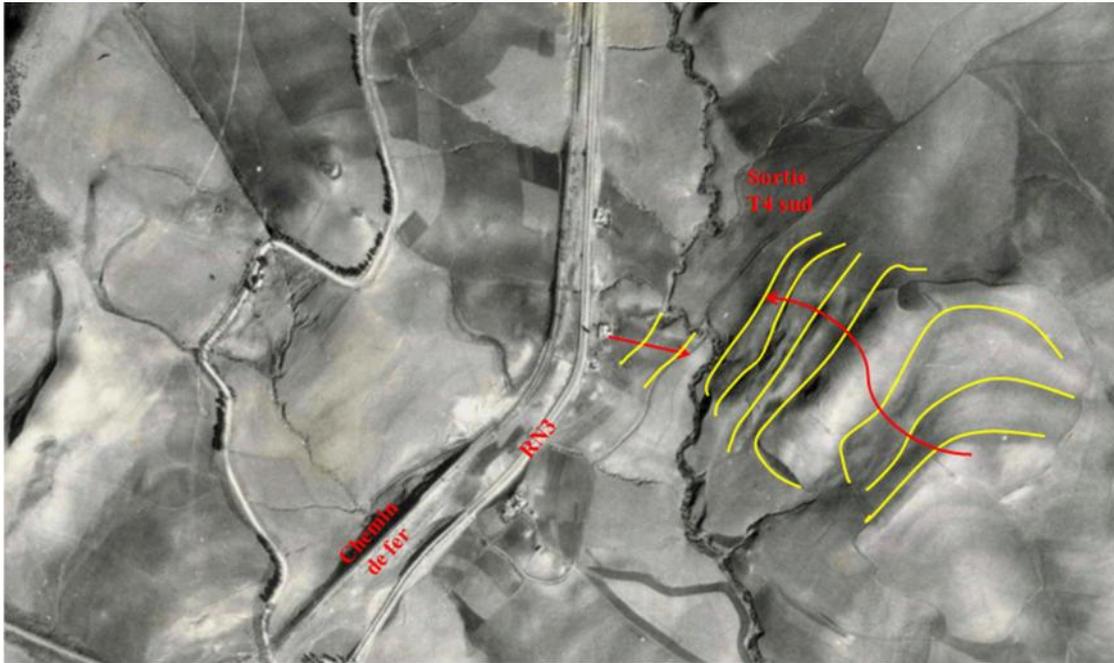


Fig.II.3.2

Localisation du cas d'étude (versant instable – sortie Tunnel T4)



Fig.II.3.3

Eléments de fragilités et d'instabilité solifluxion et indicateurs de paléomouvements



Fig.II.3.4

Affaissement de la RN3 zone saturée en eau



Fig.II.3.5

Changement fréquent de traverses et de segments de rails entiers,
suite à des glissements antérieur



Fig.II.3.6

Le remblai du chemin de fer constitue une barrière
pour la circulation des eaux de ruissellements



Fig.II.3.7

Présence de zone de stagnation des eaux ;
zone saturée non drainée en amont du glissement.



Fig.II.3.8 et 9

Déformation de la ligne de chemin de fer reliant
la wilaya de Constantine à la wilaya de Skikda



Fig.II.3.10

Absence de travaux d'entretien et mesure de protection pour les ouvrages qui protègent la pérennité des infrastructures



Fig.II.3.11

Fissures et affaissements au niveau de la RN3 suite aux désordres dans l'évacuation des eaux de ruissellement



Fig.II.3.12

Impacts des travaux non achevés : un puits de reconnaissance d'une société qui n'a pas été comblé après son excavation, il se transforme en zone de stagnation des eaux

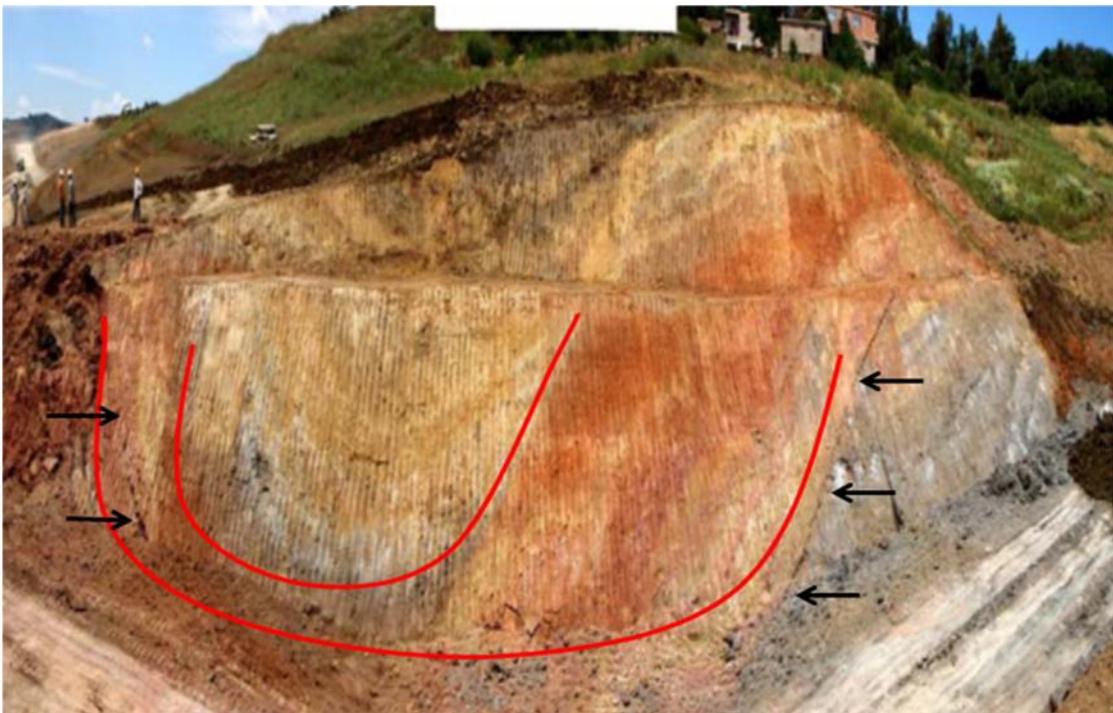


Fig.II.3.13

Synforme probablement synclinal coffré au niveau des formations plio quaternaires continentales avec une zone de décollement (zone active avec déformations jeunes)

TROISIEME PARTIE

ANALYSE DE LA QUALITE ET NATURE DES MATERIAUX ET ROCHES

Dans cette partie du mémoire nous nous proposons de traiter la qualité des matériaux et roches du segment ou tronçon le plus difficile de l'autoroute, celui du tunnel T4 (au sud et au nord de Djebel Kentour), de la manière suivante :

- En premier, nous allons donner un aperçu sur les différents faciès rencontrés dans ce secteur.
- En second lieu, nous allons essayer de faire une corrélation et une caractérisation en nous appuyons aux sondages carottés réalisés lors de la mise à niveau de l'APD, cette étape comporte en fait, les descriptions des sous-traitants de COJAAL ainsi que nos observations et commentaires.
- Et finalement nous allons aborder la partie Rayons X.

III.1. HISTORIQUE

A cause de l'inaccessibilité du Col du Contour lors des grandes vagues de froids, pente et virages gênants pour les utilisateurs), le maître d'ouvrage responsable de la construction des autoroutes, a opté pour l'édification d'un tunnel afin d'éliminer tout les risques de la RN3 et surtout au niveau du Col du Contour

Une toute première étude APS (avant projet sommaire) a été effectuée entre Octobre et Novembre 2001, comme phase d'identification des conditions géologiques et des contraintes géotechnique.

En Février 2004 une APD (avant projet détaillé), à été attribuée au LTPEst sous couvert du bureau d'étude Dar El Handassa, ces travaux sont constitués de sondages carottés, sondages pressiométriques, et des puits d'investigation à la tarière, ainsi que des essais d'identifications au laboratoire.

Dans la phase finale et dans le cadre d'exécution du lot est de l'autoroute Est-Ouest, une mise à niveau de l'APD a été réalisée avec la proposition du nouveau tracé de T4(un tunnel qui traversera le Col du contour sur 2,5 Km).

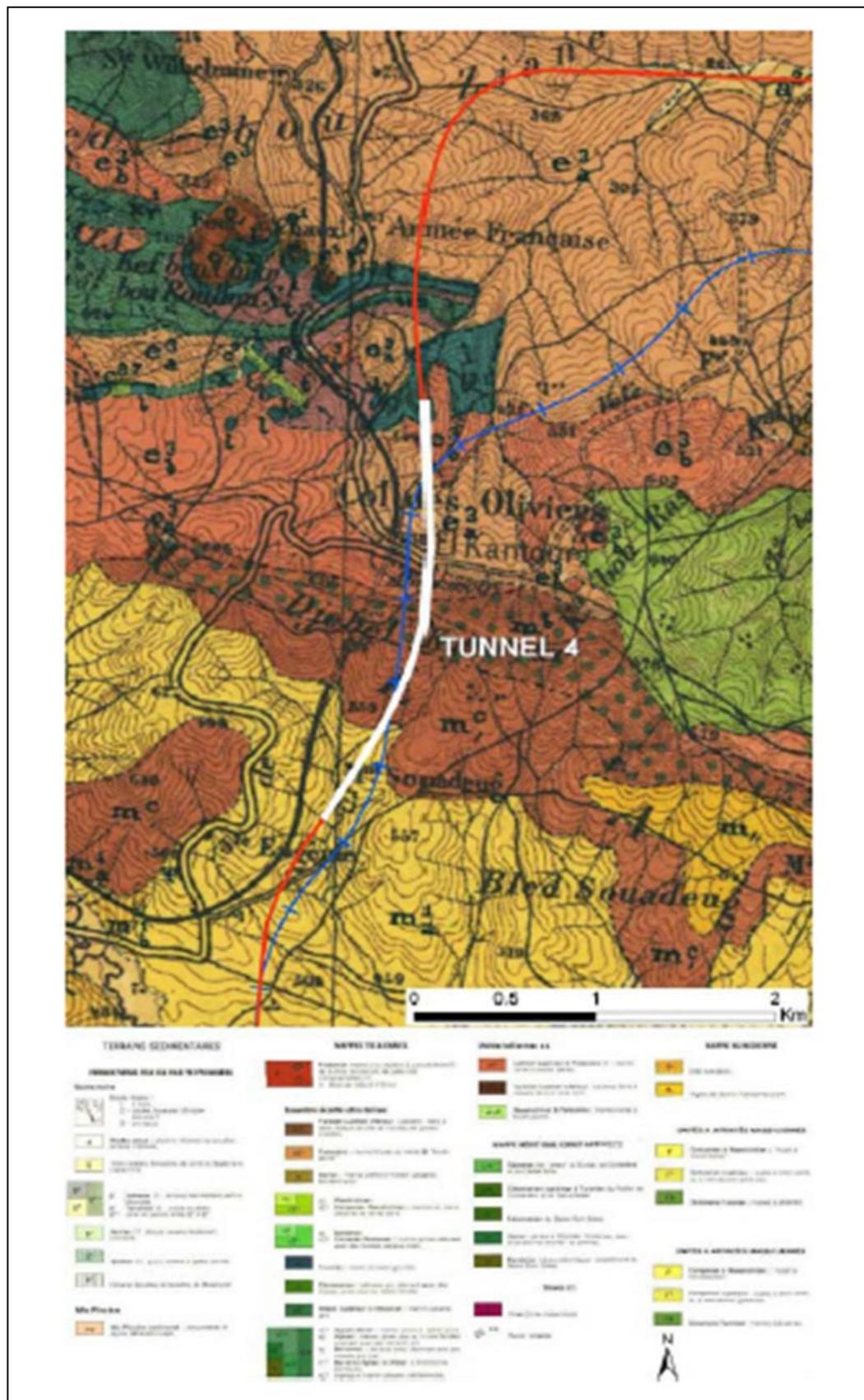


Fig.III.1 Situation du tunnel T4 sur la carte géologique 1/50000 du Smendou

Etabli par M.L.Joleaud 1906-1907

Contexte géologique

Selon la carte M.L Joleaud le tunnel T4 traverse les formations géologiques suivantes :

m_a^1 : Argile et grès du smendou

m^c : grès et sable du Bizot

e_a^3 : Argile et grès du col des Oliviers

l_1^3 : Calcaires liasiques

III.2. PRINCIPAUX FACIES

La zone de Dj Kantour couvre le tronçon le plus complexe de l'Autoroute. En effet, le tracé traverse des terrains variés et fort complexes sur le plan géologique et géomorphologique.

Dj Kantour, qui se prolonge suivant une direction E-W est un massif intéressant par sa position, sa direction et son histoire géologique (mise en place et évolution). D'après J.F.Raoult, ce massif est constitué de conglomérats néogènes d'origine continentale (Fig.III.2.), ce que confirme la cartographie (BENABBAS C 2007).



Fig.III.1 Formations conglomératiques néogènes de Djebel Kantour.



Fig.III. 02

Formations conglomératiques néogènes de Djebel Kantour.

En plus des conglomérats on relève la présence d’affleurements de niveaux centimétriques de grés carbonatés riches en fossiles intercalés dans une masse argileuse (Versant sud du massif), ces niveaux sont apparentés au terme médian du Miocène continental du bassin de Constantine. Le versant nord ne présente que des conglomérats, l’érosion de ces derniers favorise la mise en place d’un matériel constitué de limons sableux et de blocs hétérogènes, favorisant ainsi la mise en place de mouvements de terrains.

A partir de la route nationale 03 (versant Nord de Djebel Kantour) jusqu’à la plaine de Oued Safsaf (PK43+100), on note l’apparition des formations de type flysch.

Ce sont en fait des marnes jaunes verdâtres avec des niveaux centimétriques de pélites gréseuses légèrement carbonatées, et des argiles varicolores ; JF Raoult associe ces formations au flysch Maurétanien de type Ziane (Turonien- Sénonien) (Fig.III.3).

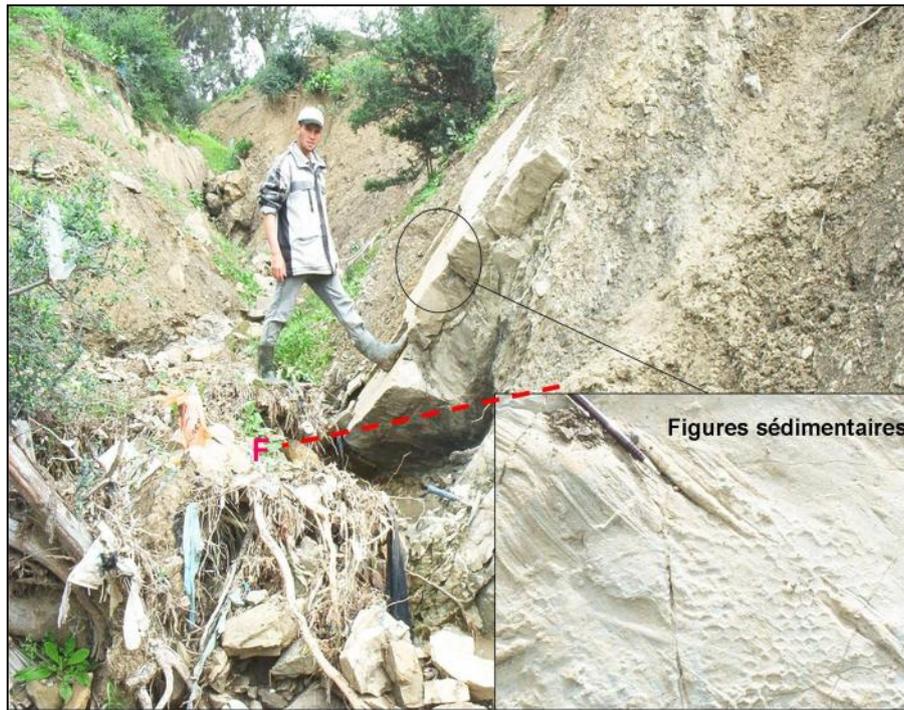


Fig.III.3

Figures sédimentaires et coraux au niveau de flysch de Ziane.

Un changement brutal de faciès est remarqué au niveau du PK 32+080 ou on passe des argiles et des marnes à des formations gréseuses (grès silicifié brun jaune et rosâtre très fracturé parfois bréchifié) qui ressemblent beaucoup au flysch de la série de Mezzouch.

Ces grès reposent sur des grands affleurements de calcaires cristallins gris claires à cassure blanchâtre, très fracturés. Ces calcaires forment la dorsale kabyle médiane. Entre ces deux formations, et dans un endroit très localisé, on a détecté un niveau de conglomérats (à éléments Quartzitiques dont la taille est comprise entre 3 et 5mm.

Les calcaires affleurent de façon discontinue (quelques affleurements isolés) entre lesquelles s'injectent des argiles versicolores et des fragments de phyllades du Permo-Trias. Ces injections de permotriasiques se font à la faveur d'accidents tectoniques.

Les calcaires s'arrêtent au niveau de Dj. AYATA suivant une direction E-W à la faveur d'un grand accident qui limite aussi un matériel colluvionnaire sur une pente qui dépasse les 45° présentant une instabilité potentielle (Fig.III.4.). Entre ces colluvions, des petits affleurements isolés de phyllades bréchifiées sont alignés suivant une direction E-W (Fig.III.5).



Fig.III.04

l'accident E-W de Djebel Ayata.

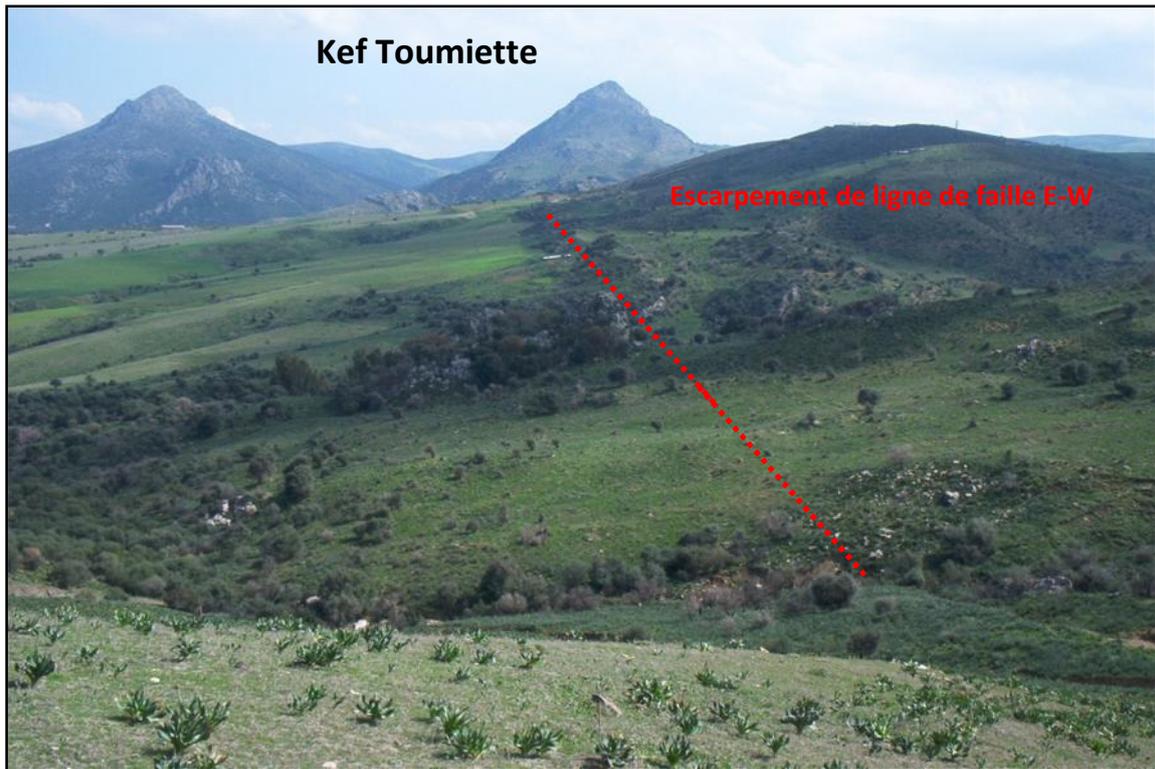


Fig.III.5

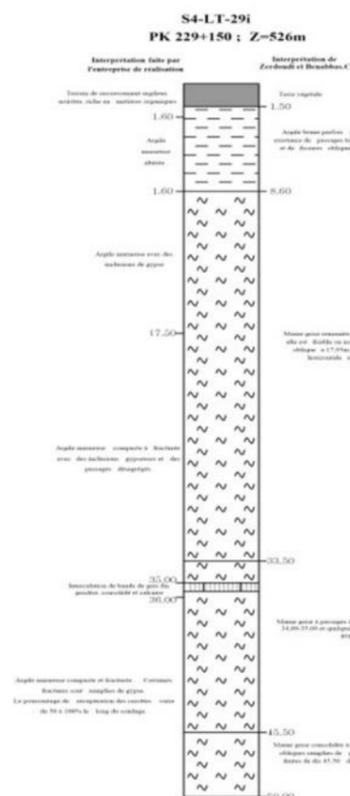
**Escarpement de ligne de faille limitant le versant Nord des
Toumiette Sud.**

III.3. CORRELATION DES LOGS DE SONDAGES.

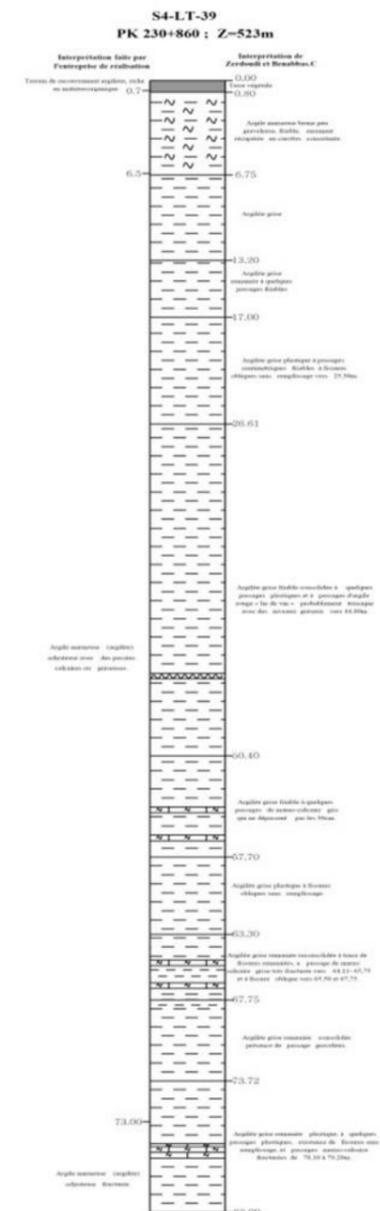
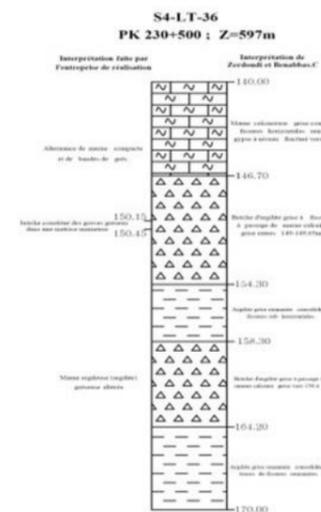
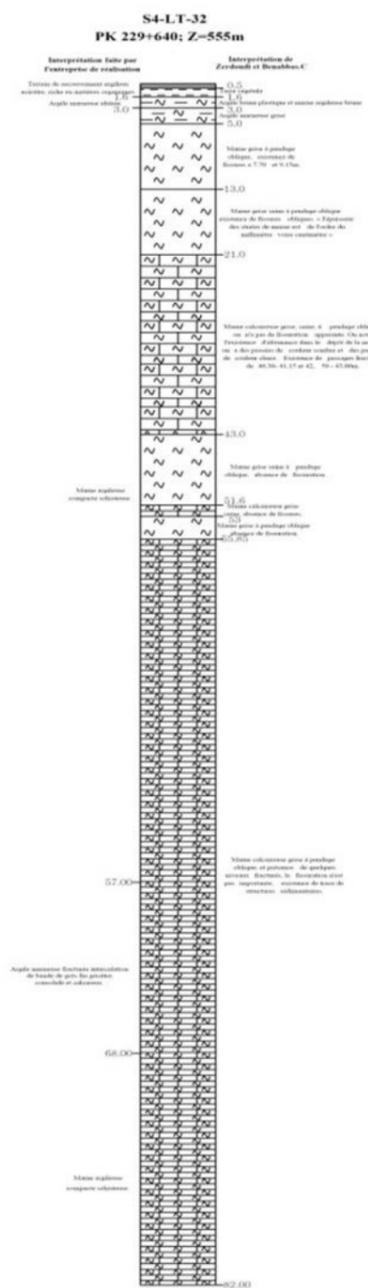
La lithologie des formations de la région d'étude est caractérisée par la prédominance des formations marneuses, argileuses et schisteuses.

Les données géologiques existant ne permettent pas de donner une description complète de la nature lithologique en surface, nos investigations sur terrain nous permettent de reconnaître les formations géologiques présentées sous la forme de logs ci-dessous, pour une meilleure lecture se référer à l'annexe n°1

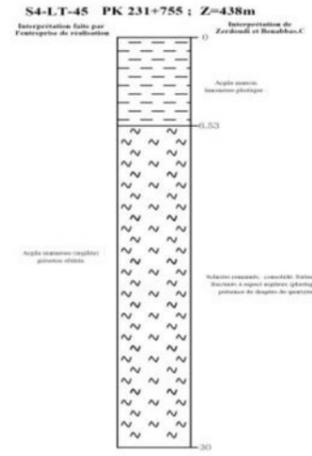
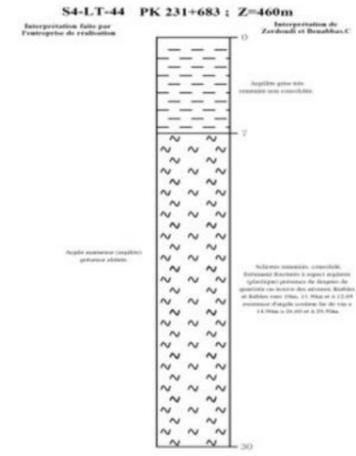
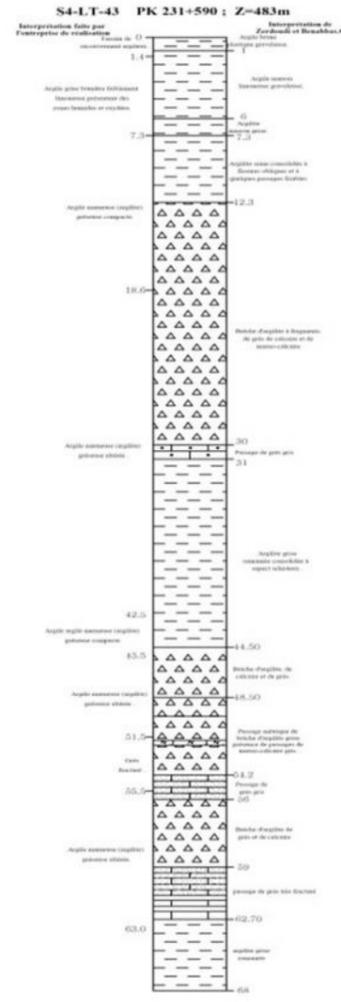
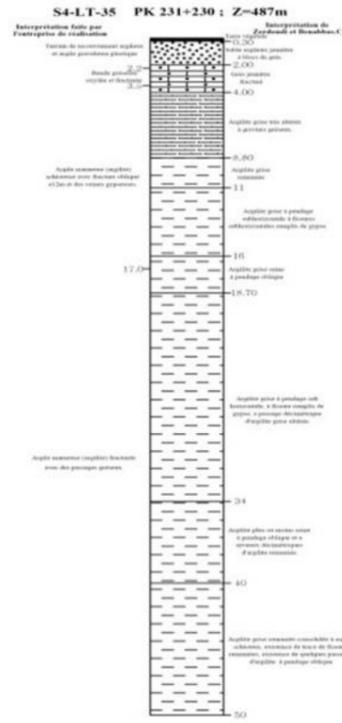
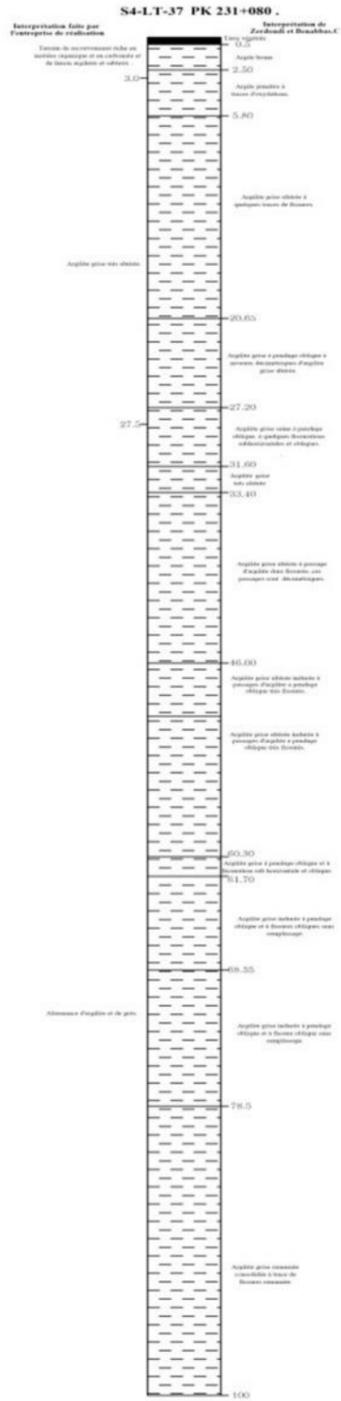
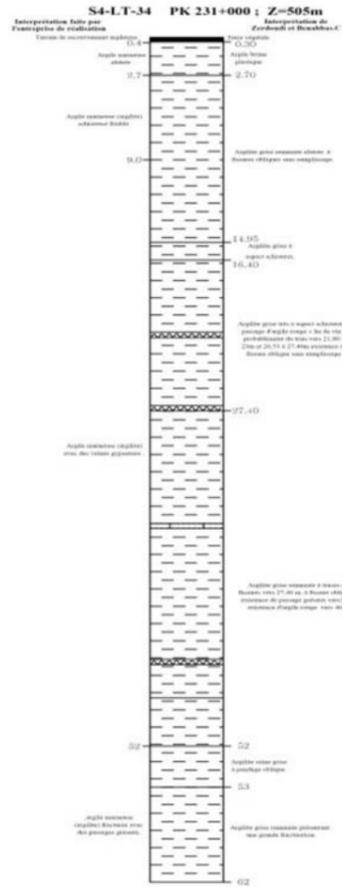
LOGS DE SONDAGES DU TUNNEL T4



ETABLI PAR : Zeroudi S et Benabbas, C



LOGS DE SONDAGES DU TUNNEL T4 (2)



ETABLI PAR : Zerdoudi.S et Benabbas.C

III.4. ANALYSES AUX RAYONS X

Dans l'objectif d'une meilleure caractérisation des matériaux et roches constituant l'assise du tunnel T4, nous avons opté pour une analyse par DRX (Diffraction des Rayons X).

En effet, l'interprétation lacunaire des sondages carottés, effectué par les sociétés d'investigation, la qualité médiocre des matériaux et roches à cause du grand degré de déformation ainsi que l'absence d'une faune indicatrice de l'âge des différents niveaux litho stratigraphiques ne nous ont pas permis d'avoir une bonne caractérisation des différentes formations traversées par le tunnel.

L'analyse par DRX est une technique d'analyse non destructive de la matière. Elle permet d'identifier des structures connues ou nouvelles. Elle permet, entre autres, la détermination des phases présentes dans un matériau, des paramètres de maille, des tailles de grains, des contraintes résiduelles et des distributions d'orientations.

Dans le cas de notre étude, cette technique nous a permis d'avoir une analyse quantitative complète sur la constitution de nos échantillons, voire la compréhension de leurs origines.

Nous avons retenu un prélèvement de sept (07) échantillons : les deux premiers ont été prélevés au niveau du portail sud du tunnel, les trois suivants au niveau de la partie centrale et enfin les deux derniers au-delà du portail nord .

III.1. CARACTERISATION PAR DIFFRACTION X

III.1.1. Historique

Découverts par W.C Rontgen en 1895, les rayons X (RX) sont des ondes électromagnétiques, qui se trouvent dans un large domaine de radiations (Fig.III.1), leurs longueurs d'onde varient de 0,2 à 50 nm. Elles sont émises par le bombardement d'une surface d'un solide par des électrons « faisceaux d'électrons accélérés » sous une tension qui varie entre 10^3 et 10^6 volts.

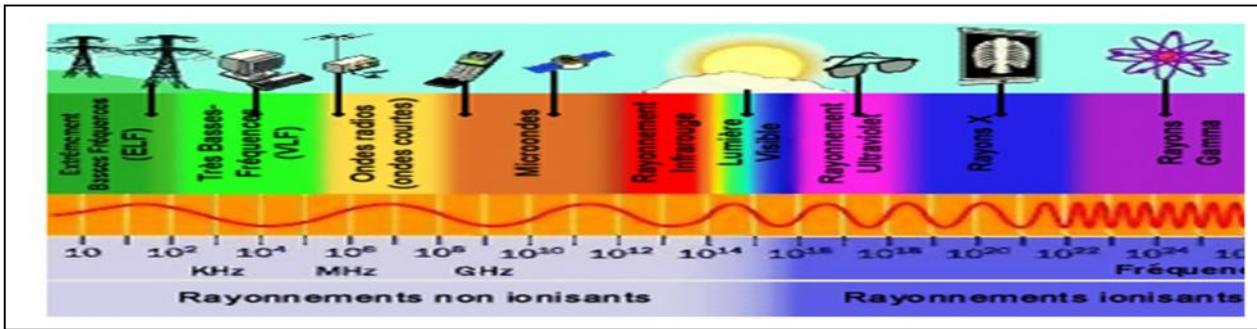


Fig.III.4.2 : Différents domaines des rayonnements

C'est à partir de 1912 que les techniques de diffraction des rayons X ont pris leur essor quand Max Van Laüe et ses collaborateurs ont réussi à obtenir le premier diagramme de diffraction des RX par un cristal, confirmant ainsi la structure périodique des milieux cristallisés. La technique a évolué ensuite très rapidement et les premières structures cristallines simples ont été déterminées dès 1913 par W.H et W.L Bragg.

Le développement des méthodes de production et de mesure des RX ainsi que l'utilisation de l'informatique ont permis depuis, des progrès considérables.

III.1.2. Principe

La diffraction des RX est une technique d'analyse de la matière dont le principe d'analyse est basé sur leur interaction avec la matière à analysée.

La méthode consiste à bombarder l'échantillon avec des RX et à mesurer l'intensité diffractée par les familles des plans atomiques qui constituent l'échantillon.

Elle dépend donc de la structure cristallographique du matériau analysé. Le faisceau diffracté résulte des interférences des ondes diffusées par chaque atome. La direction du faisceau diffracté est donnée par la loi de BRAGG.

III.1.3. La loi de Bragg

Un cristal correspond du point de vue cristallographique à la répétition périodique tridimensionnelle d'éléments (atomes ou molécules), appelés nœuds.

La figure III.4.2 représente une coupe de *plans réticulaires* (hkl) espacés d'une distance d_{hkl} . L'angle θ (*l'angle de Bragg*) détermine l'incidence d'un faisceau

parallèle de rayons X sur ces plans réticulaires (hkl). Les rayons X interfèrent de manière constructive lorsque la différence de marche est égale à un nombre entier n de la longueur d'onde λ . C'est la loi de Bragg :

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

Où :

- λ est la longueur d'onde des rayons X
- n est l'ordre de diffraction
- θ est l'angle de Bragg = demi angle de déviation
- d est la distance interréticulaire

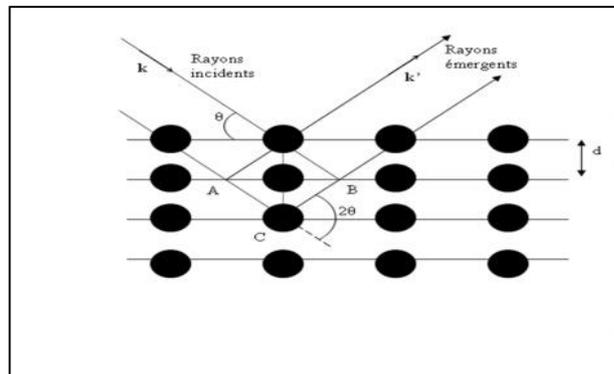


Fig.III.4.3 : Réflexion des rayons X par une famille de plans réticulaires espacés d'une distance d

III.1.4. Méthode des poudres

Nous avons utilisé la méthode des poudres c'est à dire que l'échantillon à analysé est constitué d'une poudre finement broyer et isotrope.

Le rayonnement utilisé est monochromatique. Cette technique permet une analyse rapide et non destructive d'un mélange de phases cristallines. Elle est donc très largement utilisée dans de nombreux domaines tels que la minéralogie, la biologie, l'archéologie, la pharmacologie, ...

En montage Bragg-Brentano

En diffraction X, la configuration de Bragg-Brentano, appelé aussi $\theta/2\theta$ est la plus utilisée. L'angle d'incidence θ séparant le faisceau incident de rayon X et la surface de l'échantillon est égale à l'angle de mesure entre le détecteur et la surface de l'échantillon. Cela signifie que les plans qui sont dans la situation de réflexion de Bragg sont toujours parallèles à la surface.

L'échantillon tourne autour de l'axe du goniomètre à une vitesse $\omega = d$ constante. Le détecteur placé sur le même cercle que la source X se déplace avec une vitesse double $\omega' = 2\omega.s$

III.1.5. Spectre de diffraction

Un spectre de diffraction ou diffractogramme comprend le spectre continu et des raies caractéristiques

- Le spectre continu est un ensemble de radiations dont l'intensité varie de façon continue avec la longueur d'onde. Il comporte un seuil d'émission brusque du côté des courtes longueurs d'ondes ; cette limite inférieure est inversement proportionnelle à la tension appliquée.
Quant la tension appliquée au tube d'émission des rayons X croit, la proportion des radiations des courtes longueurs d'ondes augmente ; on dit que le rayonnement devient plus dur.
- Sur le spectre continu se superpose un spectre de raies, où les longueurs d'ondes sont indépendantes des conditions du fonctionnement du tube, elles ne dépendent que de la nature de l'anticathode. Celles-ci forment des séries reconnaissables d'un élément à un autre. C'est leur identification qui permet de remonter à celle des éléments constituant l'échantillon analysé.

III.2. MODE OPERATOIRE

III.2.1. Diffractomètre utilisé

Les acquisitions sont effectuées à l'aide d'un diffractomètre de type PANalytical EMPYREAN dans le laboratoire de Microstructures et Défauts dans les Matériaux (LMDM) dans l'université de Constantine 1 (figure III.4.3) La radiation utilisée est la raie K_{α} d'une anticathode Cu.

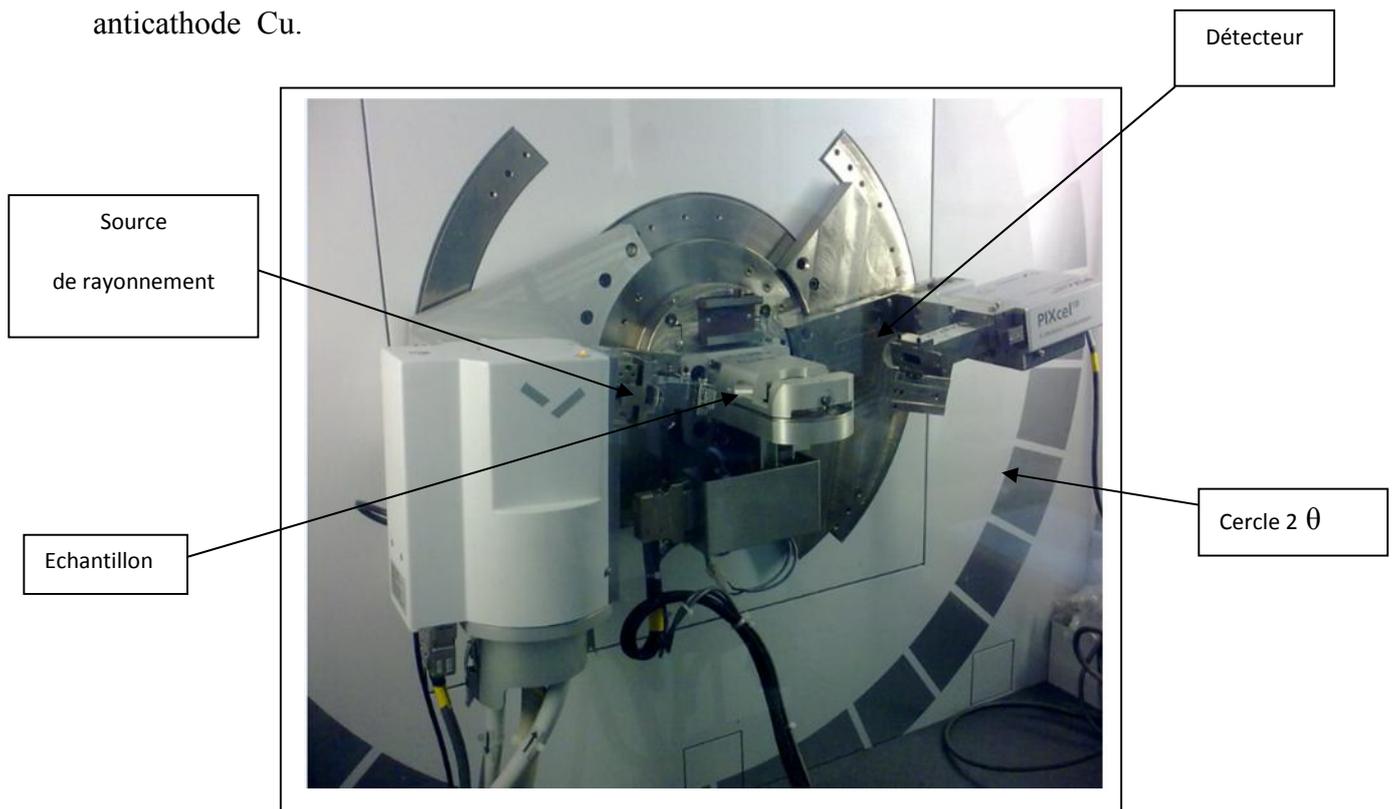


Fig.III.4.4 : Vue d'ensemble du dispositif

III.2.2. Préparation des échantillons

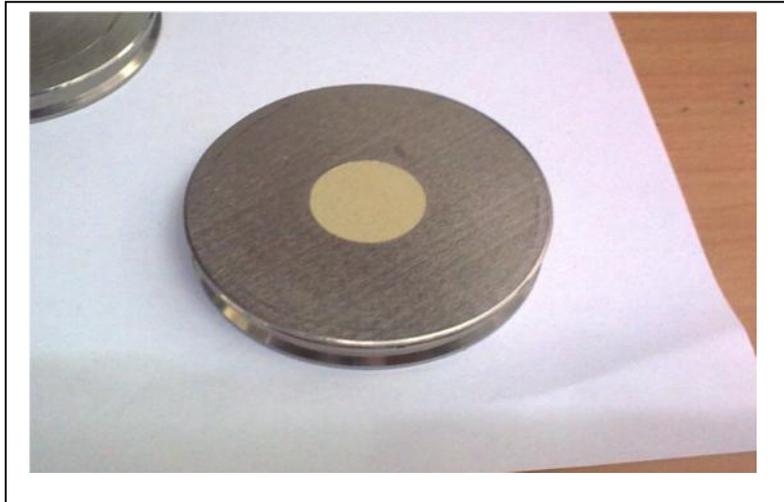


Fig.III.4.5 : exemple d'un échantillon de poudre cas « échantillon n°1 »

On dispose la poudre du minéral à étudier sur un porte échantillon. Ce dernier est disposé sur un goniomètre qui lui permet un mouvement de rotation autour d'un axe perpendiculaire au cercle porteur. Lorsqu'il y a diffraction suivant la loi de Bragg, on obtient un diffractogramme. Chaque raie de diffraction correspond à une famille de plans diffractant. On choisit l'anticathode la plus favorable pour l'étude entreprise et on isole par réglage une longueur d'onde bien définie. Pour notre étude, nous avons utilisé la raie $K\alpha$ du cuivre ($\lambda = 0.154 \text{ nm}$)

Après dépouillement et en commençant par l'élimination du bruit de fond (opération fortement conseiller pour la quantification) et cela pour chaque échantillon. On a eu pour chaque échantillon un spectre correspondant.

III.3. Résultats des RX

Les Rayons X ont mis en évidence les minéraux représentés dans le tableau ci-dessous et pour une meilleure lecture se référer à l'annexe N°2.

Tableau récapitulatif des minéraux

	Echantillon B T4 portail sud Ech 1	Echantillon A T4 portail sud Ech 2	Echantillon cintre n° 49 Ech 3	Echantillon cintre n° 165 droit T4 sud portail nord Ech 4	Echantillon cintre n° 165 gauche T4 sud portail nord Ech 5	Echantillon 1 portail T4 nord Ech 6	Echantillon 2 portail T4 nord Ech 7
Quartz	-	-	24,8	47	46	19,2	37
Muscovite	-	-	23,8	27	23	19,2	35
Dickite	-	-	9,9	-	16	-	-
Pyroxène	-	-	4	12	6	14,1	8
Chlorite	-	-	-	-	-	-	-
Montmorillonite	-	-	-	-	7	-	-
Illite	-	-	37,6	-	-	34,3	-
Dolomite	2	-	-	-	-	-	-
Paragonite	13	32	-	-	-	-	-
Biotite	-	-	-	-	-	4	6
Kaolinite	-	-	-	14	-	-	-
CaCO₃	85	53	-	-	-	-	-
Clinopyroxène	-	15	-	-	-	-	-
Albite	-	-	-	-	2	13,1	-
Phlogopite	-	-	-	-	-	-	5

CONCLUSION

On constate que les spectre ont mis en évidence, deux famille de minerai ; la plus abondante des deux familles est la famille des phyllosilicate (Muscovite, Biotite.....), la seconde familles c'est la silice. Les courbes qui vont suivre montre une évolution nette dans la quantité de la famille des phyllosilicate par rapport a la famille de la silice, la famille des pyroxènes a pratiquement une évolution constante.

CONCLUSIONS GENERALES

Les principaux résultats de ce travail peuvent être résumés dans les points suivants :

Elaboration de deux cartes morpho structurales (échelle 1 : 20 000).

Ces cartes réalisées à partir de l'interprétation des photographies aériennes, donnent une multitude d'informations sur les éléments d'origine morphologique (éboulis, cône de déjections, glissements et solifluxion) et sur les éléments d'origine structurale (escarpements de failles, pendage et accidents). Ces cartes laissent apparaître un réseau de fracturation assez complexe qui confirme l'existence et le rôle joué par certaines directions d'accidents, leur nature profonde ainsi que l'ampleur de leurs étendues

On est loin de la cartographie montrant un terrain relativement homogène, moyennement instable et sans particularités morpho géologiques.

Par ailleurs l'analyse des accidents nous a permis d'apporter des indications nouvelles sur le type, la répartition, la signification et l'orientation des systèmes majeurs des accidents. Une étude statistique a permis de dégager cinq principales familles d'accidents :

- ✓ la famille N-S
- ✓ la famille NE-SO
- ✓ la famille E-O
- ✓ la famille NO- SE)
- ✓ la famille NNO-SSE

Une série de structures particulières est relevée et analysée, elles montrent bien la complexité du terrain (zones de broyages, zones effondrées structures en relais, en échelons ou en couloirs.....).

Les grands mouvements gravitaires qui caractérisent cette région et qui sont liés en grande partie au cadre géologique complexe de la région, mériteraient plus d'intérêt de la part des géologues.

A travers la cartographie morpho structurale, le réseau hydrographique de la région est analysé. Cette analyse nous apprend que ce réseau illustre une parfaite adaptation aux structures tectoniques.

En outre, l'analyse linéamentaire du réseau hydrographique nous a permis non seulement de confirmer la nature tectonique (souvent active) de certains linéaments mais aussi de suivre leurs extensions non cartographiées auparavant.

L'évolution plane du relief. Les déformations du modelé sont nettes. L'alignement de certaines morpho-structures souvent mis en valeur par des lignes d'escarpement ou par des surcreusements de chenaux hydrographiques apporte des indications sur l'importance de certaines directions et du degré de leur activité. Les directions N-S et NO-SE se distinguent en premier lieu.

Les particularités morphologiques et géologiques du tracé du Tunnel et des zones limitrophes sont analysées (dans leurs contextes locaux et régionaux) grâce aux investigations de terrain. Le rôle et l'ampleur des mouvements de masses sont mis en valeur, on ne parle plus de simples glissements mais de structures géologiques.

La confrontation de la description et l'analyse des sondages carottés réalisées par les sous-traitants de COJAAL et ceux de l'auteur révèle des imprécisions et des incohérences. Nous pensons que ces imprécisions et ces incohérences ont contribué avec la complexité du terrain à rendre les travaux au niveau du tunnel plus difficile et plus coûteux.

La réflexion initiée dans ce travail sur la sismicité de la région d'étude, bien que modeste tend surtout à attirer l'attention de ceux qui s'intéressent à cette région complexe sur le rôle de la sismicité dans le paysage géodynamique du constantinois.

Les analyses aux rayons X représente une contribution, elle aussi à la compréhension de cette région hautement fragile et complexe.

L'approche que nous avons utilisé pour ce travail est basée sur l'utilisation de la photo interprétation couplée aux investigations de terrain ; elle a permis en un laps de temps assez réduit d'analyser et de mieux cerner les différentes particularités morpho géologiques de la région d'étude. Ces particularités que les méthodes classiques n'ont pas pu déceler. Nous pensons que ces particularités sont d'une grande importance dans tous projet d'aménagement en particulier celui qui nous intéresse c'est à dire la construction d'infrastructure autoroutières.

Références bibliographiques

ARIS Y., 1994: *Etude tectonique et micro tectonique des séries jurassiques à plio-quadernaires du Constantinois central (Algérie nord orientale) caractérisation des différentes phases de déformations*. Doctorat d'université, Nancy I, 215p.

BENABBAS C., 2006: *Evolution Mio-Plio-Quaternaire des Bassins continentaux de l'Algérie Nord Orientale : Apport de la Photogéologie et Analyse Morpho structurale* ». *Grands travaux d'aménagement et mouvements de versant dans la région nord de Constantine (Algérie Nord –Orientale)*. Doctorat d'état, Constantine, 245p.

BENABBAS C., 2007: *Cartographie géologique et géomorphologique du tronçon autoroutier BBA- EL Harrouche, pour le compte du consortium COJAAL (Projet Autoroute Est- Ouest (section Est) (Mars-Août 2007), rapports et cartographie non publiés*.

BENABBAS C., 2011: *Grands travaux d'aménagement et mouvements de versant dans la région nord de Constantine (Algérie Nord –Orientale)*. *Colloque International sur « Interventions sur les tissus existants pour une ville durable »*. Constantine, 30 Avril-04 Mai.

BENABBAS C., BOUEDJA F., BENZID Y., 2011 : *Néotectonique, déformation du relief et risque sismique dans la région de Constantine*. *IV^{ème} Colloque International « directions contemporaines dans l'étude du territoire- Gestions du territoire, des aléas et de la ville »*. Bucarest, 22-27 Juin.

BENABBAS C., ZOUAK Z., BENZID Y., 2013: *Instabilité des versants et infrastructures routières : cas de la Wilaya de Guelma*. *13^{ème} journée d'étude « Intégration des risques naturels dans les plans d'aménagement »* ; Université d'Oum El Bouaghi 04Mars 2013.

BENABBAS C., GRECU F., ZOUAK Z., 2014: *Les Aléas géomorphologiques en Algérie Orientale : Impact sur les infrastructures routières*. *The XXXth National Symposium of Geomorphology; "Relevance of Geomorphology to Society' Achievements and prospects"* Orsova, Roumanie. 29-31 Mai.

BENZID Y., ZOUAK Z., BENABBAS. C; 2013 : *Etude géologique de la région Est de Constantine, Algérie. Ed : Softcover, PU : Editions Universitaires Européennes. ISBN: 9783841782748.*

BOUILLIN J P., 1977: *Géologie alpine de la petite Kabylie dans la région de "Collo" et "d'El Milia" (Algérie) .Thèse SC., Paris VI, 551 p., 127 fig., 2 pl.h.t.*

BOUMEDOUS S ET ZEGHDOUD O., 2007 : *Etude géologique de la région nord constantinoise, Apport de la cartographie de surface. Mémoire de fin d'étude université Mentouri Constantine(Algérie), 105p.*

COIFFAIT P E., 1992: *Un bassin post-nappe dans son cadre structural l'exemple du bassin de Constantine (Algérie Nord Orientale). Thèse Sciences. Nancy I.P.502.*

DRAIDIA S., HAVENITH H B., BENABBAS C., 2012: *Impact of large slope movements on the construction of a major highway in the Constantine Province, North-East Algeria. European geosciences union (EGU), Vienna (Austria) 22-27 April 2012; Vol 14, EGU2012-5988, 2012.*

DRAIDIA S., HAVENITH H B., BENABBASC., 2013: *Mouvements de masses et analyse morpho structurale dans le constantinois- Algérie nord orientale.*

<http://isterre.fr/recherche/equipes/risques/actualites/autres-evenements/journees-alea-gravitaire-17-18/presentations/article/mouvements-de-masses-et-analyse>.

DRAIDIA S., HAVENITH H B., BENABBAS.C; 2014: *Analysis of mass movements affecting the region of Constantine. Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU 2014-16185. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2014/EGU2014-16185.pdf>*

DURAND DELGA M., 1955: *Etude géologique de l'Ouest de la chaîne Numidique. Publ. serv. Carte géol. Algérie, Bull. n° 24, 533 p., 143 fig., 16 pl., 10 pl.h.t.*

DURAND DELGA M., 1969 : *Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, N. S., Bull. n°39, pp 89-131, 9 fig.*

FARAH A S., 1991 : *Etude du comportement hydro chimique d'un Oued en zone méditerranéenne semi-aride d'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques: l'Oued Rhumel, Constantinois Algérie. Thèse de Doctorat. Université d'Orléans. France.*

GELARD J P., 1969 : *Le flysch à base schisto-gréseuse de la bordure méridionale et orientale du massif de Chellata : le flysch Mauritanien (Grande Kabylie)*. Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XI, pp. 676-686, 3 fig., 1 pl.

GUIRAUD R., 1973 : *Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines*. Thèse Sc. Univ. Nice, 270p.114 fig.12 pl.h.t.

MANCHAR N., BENABBAS C., KACIMI M., MIMOUN A., BOUAICHA F., 2012 : *Risques de glissements et aménagements : l'exemple d'un remblai autoroutier à Taffrent (NE de Constantine, Algérie nord orientale)*. 1^{er} Congrès International de génie civil et d'hydraulique. Guelma 10 et 11 Décembre.

RAOULT J F., 1969: *Nouvelles données sur les flyschs du Nord du Kef Sidi Dris et dans la zone du Col des Oliviers (Nord du Constantinois, Algérie)* Bull. Soc. Géol. Fr., (7), t. XI, pp 516-543, 2 fig.

RAOULT J F., 1974 : *Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord - Constantinois, Algérie)*. Mém. Soc. Géol. Fr., N.S., t. LIII, n°121, 164 p., 62 fig., 11 pl.h.t. Rapport interne, pp 1-31.

VILA J. M., 1980: *La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro- tunisiens*. Thèse Sc. Univ. Paris VI, 3 vol, 663 p., 199 fig., 40 pl., 7 pl.h.t.

WILDI W., 1983: *La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène*. Rev. Géol. Dyn. géog. Phys., (24), 3, pp 201-297.

Cartes Topographiques

- Feuille Zighout Youcef N° 52, échelle 1/50 000ème.
- Feuille Zighout Youcef N° 1-2, 3-4, 5-6 et 7-8 échelle 1/25 000ème. Feuille El Aria N° 74, échelle 1/50 000ème
- Feuille El Aria N° 74, échelle 1/50 000ème

Cartes Géologiques

- Carte géologique du centre de la chaîne numidique 1/50 000ème RAOULT J F., 1974
- El Aria : 1/50 000ème avec notice explicative, COIFFAIT P. E., et VILA J. M., 1977, service de la carte géologique de l'Algérie/SONATRACH.

- Constantine : 1/200 000ème avec notice explicative, VILA J. M., 1977 service de la carte géologique de l'Algérie/SONATRACH.
- Carte géologique d'Afrique du nord Wildi W., 1983, Revue de géologie dynamique et de géographie physique vol 24, fasc.3

Photographies aériennes

Boite N° 52, échelle 1/20 000ème.

ANNEXES

ANNEXE I

III.3. CORRELATION DES LOGS DE SONDAGES.

Interprétation faite par l'entreprise de réalisation

Sondage S4-LT-28i

Ce sondage, de 63m de long, se situe à l'amont du portail sud du tunnel T4.

Il parcourt successivement les unités lithologiques suivantes :

- *de 0 à 2m : terrain de recouvrement argileux légèrement graveleux, riche en matières organiques ;*
- *de 2 à 5,5m : argile marneuse altérée ;*
- *de 5,5 à 30m : argile marneuse avec des inclusions de gypse ;*
- *de 30 à 43m : marne compacte à fracturée avec des inclusions gypseuses ;*
- *de 43 à 46m : argile marneuse compacte avec un passage désagrégé ;*
- *de 46 à 53m : marne compacte avec des inclusions gypseuses ;*
- *de 53 à 59,5m : argile marneuse très fracturée ;*
- *de 59,5 à 63m (fin du sondage) : marne compacte avec des inclusions gypseuses.*

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 70 à 100% le long du sondage,

pour un RQD de 60 à 100% au sein de la marne compacte

Interprétation de Zerdoudi et Benabbas.C

S4-LT-28i PK 229+ 380 ; Z=543m

- 0,00 – 0,30m : Terre végétale
- 0,30 – 2,00m : Argile limoneuse brune plastique.
- 2,00 – 4,00m : Limon argileux beige graveleux
- 4,00 – 4,50m : Limon beige
- 4,50 – 5,30m : Argile brune plastique.
- 5,30 – 7,70m : Marne argileuse gris brune remaniée consolidée.
- 7,70 – 9,20m : Marne grise remaniée consolidée, existence de fissures obliques sans remplissage à 8,80m et 9,00m
- 9,20 - 9,80m : Passage de marne grise friable
- 9,80 – 18m : Marne grise remaniée consolidée, existence de marne très remaniée dépassant les 50cm limités par des fissures obliques remplies de calcite à 11,60- 11,90-14 et 14,20 la fissuration c'est faite après remaniement et consolidation
- 18,00 – 19,00m : Marne grise à pendage net.
- 19,00 – 33,50m : Marne grise remaniée consolidée à fissures obliques remplies de calcite à 24,20m apparition de deux types de fractures l'une oblique, l'autre sub horizontale, à 33,50m le remplissage de la fissure sub horizontale peut atteindre les 5 cm.
- 33,50 – 37,70m : Marne grise consolidée à fissures obliques et sub horizontales remplies de calcite, existence d'une couche de marne remaniée de 33,80m à 34,00m.
- 37,70- 41,40 : Marne grise claire à pendage moyen.
- 41,40 – 45,20 : Marne calcaireuse grise à fissure oblique.
- 45,20 – 46m : Passage de marne grise à fissures obliques.
- 46 – 48m : Marne calcaireuse grise à trois directions de fissures dont 2 sont obliques et 1 sub horizontale.
- 48 – 49,30 : Marne calcaireuse grise fracturée
- 49,30 – 51m : Marne calcaireuse grise à plusieurs directions de fissures.
- 51 – 54m : Marne calcaireuse grise peu fissurée.
- 54 – 60 m : Marne grise, existence de quelques passages de marne calcaireuse grise qui ne dépasse pas les 50cm.
- 60 – 63 : Marne calcaireuse grise saine existence de quelques structures sédimentaire, à 62,30m.

Sondage S4-LT-29i

Ce sondage, de 50m de long, se situe au sud du sondage S4-LT-28, et également à l'amont du portail sud du tunnel T4.

Il parcourt successivement les unités lithologiques suivantes :

- de 0 à 1,6m : terrain de recouvrement argileux noirâtre, riche en matières organiques ;
- de 1,6 à 8,6m : argile marneuse altérée ;
- de 8,6 à 17,50m : argile marneuse avec des inclusions de gypse
- de 17,50 à 35m : argile marneuse compacte à fracturée avec des inclusions gypseuses et des passages désagrégés ;
- de 35 à 36m : intercalation de bande de grès fin grisâtre, consolidé et calcaire ;
- de 36 à 50m (fin du sondage) : argile marneuse compacte et fracturée. Certaines fractures sont remplies de gypse.

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 50 à 100% le long du sondage.

Sondage S4-LT-32i

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 83,5m. Il se situe sur le tracé du tunnel sur le versant sud du Djebel El Kantour.

Au droit de ce sondage, les unités lithologiques suivantes ont été successivement identifiées:

- de 0 à 1,6m : terrain de recouvrement argileux noirâtre, riche en matières organiques ;
- de 1,6 à 3m : argile marneuse altérée ;
- de 3 à 57m : marne argileuse compacte schisteuse ;
- de 57 à 68m : argile marneuse fracturée intercalation de bande de grès fin grisâtre, consolidé et calcaireux ;
- de 68 à 83,5m (fin du sondage) : marne argileuse compacte schisteuse.

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 70 à 100% le long du sondage,

pour un RQD de 50 à 100% au sein de la marne compacte.

S4-LT-29i PK 229+150 ; Z=526m

0 – 1,60m : Terre végétale

1,6 - 8,60m : Argile brune parfois graveleuse, existence de passages très plastiques et de fissures obliques à 6,55m.

8,6 – 33,5m : Marne grise remaniée, consolidée, par endroit elle est friable on note l'existence de fissure oblique a 17,95m. Existence de fissures horizontale remplies de gypse.

33,5 – 45,50 : Marne grise à passages décimétriques de grès à 34,80-35,60 et quelques fissures remplies de gypse.

45,50 – 50,00 : Marne grise consolidée à fissures horizontales obliques remplies de gypse, existence de fentes de dessiccation à 45,50 et 46m.

Remarque : la présence de grès fin et de calcaire est erronée et n'a pas été confirmé et serait des marnes calcaireuses dures.

S4-LT-32i PK 229+640 ; Z=555m

0,5 – 1,6m : Terre végétale

1,6 – 3,00 : Argile brune plastique et marne argileuse brune

3,00 – 5,00 : Argile marneuse grise

5,00 – 13 : Marne grise à pendage oblique, existence de fissures à 7,70 et 9,15m.

13 – 21 : Marne grise saine à pendage oblique existence de fissures obliques. « l'épaisseur des strates de marne est de l'ordre du millimètre voire du centimètre »

21 – 43 : Marne calcaireuse grise, saine, à pendage oblique ; on n'a pas de fissuration apparente. On note l'existence d'alternance dans le dépôt de la marne on a des passées de couleur sombre et des passées de couleur claire. Existence de passages fracturés de 40,30- 41,15 et 42, 50 – 43,00m.

43 – 51,6 : Marne grise saine à pendage oblique, absence de fissuration.

51,6 – 53 : Marne calcaireuse grise saine, absence de fissures.

53 – 55,85 : Marne grise à pendage oblique absence de fissuration.

55,85 – 82 : Marne calcaireuse grise à pendage oblique, et présence de quelques niveaux fracturés, la fissuration n'est pas importante, existence de trace de structures sédimentaires.

Remarque : l'aspect schisteux des marnes entre 68 et 83,50m n'existe pas.

Sondage S4-LT-33N

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 150m. Les 100 premiers mètres ont été forés sans prise de carottages, seuls les 50 derniers mètres ont été carottés.

Ce sondage se situe sur le tracé du tunnel T4, sur le versant sud du Djebel

El Kantour.

Il parcourt successivement les unités lithologiques suivantes:

- de 0 à 100m : forage destructif.
- de 100 à 150m (fin du sondage): marne argileuse compacte schisteuse à intercalation de couches de grès et d'argile.

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 60 à 100% entre 100 et 150m de profondeur, pour un RQD de 10 à 100%.

Sondage S4-LT-34N

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 62m. Il se situe sur le tracé du tunnel sur le versant nord du Djebel El Kantour.

Au droit de ce sondage, les unités lithologiques suivantes ont été successivement identifiées:

- de 0 à 0,4m : terrain de recouvrement argileux ;
- de 0,4 à 2,7m : argile marneuse altérée ;
- de 2,7 à 9m : argile marneuse (argilite) schisteuse friable;
- de 9 à 52m : argile marneuse (argilite) avec des veines gypseuses ;
- de 52 à 62m (fin du sondage) : argile marneuse (argilite) fracturée avec des passages gréseux.

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 10 à 100% le long du sondage, pour un RQD de 30 à 100% au sein des argilites.

S4-LT-33N PK 230+000 ; Z=622m

100 – 106 : Marne calcaireuse grise avec un RQD moyen, pas de trace de fissuration apparente.

106 – 120 : Marne calcaireuse grise à pendage oblique et à fissures non remplies.

120 – 125,8 : Marne grise foncée à fissures obliques à passage de marne très altérée.

125,8 – 141 : Marne calcaireuse grise saine à fissures obliques et sub horizontales.

141 – 146 : Marne calcaireuse grise très fracturée

146 – 150 : Marne grise saine à passage de marne très altérée vers 146,10 à 146,4m et 149,5 à 150m.

S4-LT-34N PK 231+000 ; Z=505m

0,00 – 0,30 : Terre végétale.

0,30 – 2,70 : Argile brune plastique

2,70 – 14,95 : Argilite grise remaniée altérée à fissures obliques sans remplissage.

14,95 – 16,40 : Argilite grise à aspect schisteux.

16,40 – 27,40 : Argilite grise très à aspect schisteux, à passage d'argile rouge « lie de vin » probablement du trias vers 21,80 à 23m et 26,53 à 27,40m existence de fissure oblique sans remplissage.

27,40 – 52,00 : Argilite grise remaniée à traces de fissures vers 27,40 m, à fissure obliques, existence de passage gréseux vers 33m, existence d'argile rouge vers 46m

52,00 – 55,00 : Argilite saine grise à pendage oblique.

55,00- 62 : Argilite grise remaniée présentant une grande fracturation.

Sondage S4-LT-35Ni

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 50m. Il se situe sur le tracé

du tunnel sur le versant nord du Djebel El Kantour.

Au droit de ce sondage, les unités lithologiques suivantes ont été successivement identifiées:

- *de 0 à 2,2m : terrain de recouvrement argileux et argile graveleuse plastique;*
- *de 2,2 à 3,5m : bande gréseuse oxydée et fracturée ;*
- *de 3,5 à 17m : argile marneuse (argilite) schisteuse avec fracture oblique a12m et des veines gypseuses ;*
- *de 17 à 50m (fin du sondage) : argile marneuse (argilite) fracturée avec des passages gréseux.*

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 50 à 100% le long du sondage,

Sondage S4-LT-36

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 170m. Au droit de ce sondage, les unités lithologiques suivantes ont été successivement identifiées:

- *de 30 à 104,05 m : alternance de marne, de conglomérats et de grés;*
- *de 104,05 à 150,15 m : alternance de marne compacte et de bandes de grés ;*
- *de 150,15 à 150,45 m : brèche constitué des graves gréseux dans une matrice marneuse ;*
- *de 150,45 à 170 m : marne argileuse (argilite) gréseuse altérée.*

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 40 à 100% le long du sondage, pour un RQD de 0 à 90% au sein des marnes.

S4-LT-35Ni PK 231+230 ; Z=487m

0,00- 0,30m : Terre végétale

0,30 – 2,00m : Sable argileux jaunâtre à blocs de grès

2,00 – 4,00m : Grès jaunâtre fracturé

4,00 – 8,80m : Argilite grise très altérée à graviers gréseux.

8,80 – 11m : Argilite grise remaniée

11- 16m : Argilite grise à pendage subhorizontale à fissures subhorizontales remplis de gypse.

16 – 18,70m : Argilite grise saine à pendage oblique

18,70 – 34m : Argilite grise à pendage sub horizontale, à fissure remplis de gypse, a passage décimétrique d'argilite grise altérée.

34 - 40 m : Argilite plus ou moins saine à pendage oblique et a niveaux décimétriques d'argilite remaniée.

40 – 50m : Argilite grise remaniée consolidée à aspect schisteux, existence de trace de fissures remaniées, existence de quelques passages d'argilite à pendage oblique.

S4-LT-36 PK 230+500 ; Z=597m

140- 146,70 : Marnes calcaireuses grises consolidées à fissures horizontales remplis de gypse à niveau fracturé vers 146,05

146,7 – 154,30 : Brèche d'argilite grise à fissures à passage de marnes calcaires grises entre 149-149,65m.

154,30 – 158,30 : Argilite grise remaniée consolidée à fissures sub horizontales.

158,30- 164,20 : Brèche d'argilite grise à passage dur de marnes calcaires grises vers 158 à 159m.

164,20 - 170 : Argilite grise remaniée consolidée à traces de fissures remaniées.

Remarque : les échantillons de 30m à 104,05m ont été détériorés ou perdus

Sondage S4-LT-37

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 100m. Au droit de ce sondage, les unités lithologiques suivantes ont été successivement identifiées:

- *de 0 à 3m : terrain de recouvrement riche en matière organique et en carbonate et de limon argileux et sableux;*
- *de 3 à 27,5m : argilite grise très altérée ;*
- *de 27,5 à 100 m (fin de forage) : alternance d'argilite et de grés.*

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 60 à 100% le long du sondage,

pour un RQD de 0 à 70% au sein des argilites.

S4-LT-37 PK 231+080 ;

0,00 – 0,50m : Terre végétale

0,50 – 2,50m : Argile brune

2,50 – 5,80m : Argile jaunâtre à traces d'oxydations.

5,80 – 20,65m : Argilite grise altérée à quelques traces de fissures.

20,65 – 27,20m : Argilite grise à pendage oblique à niveaux décimétriques d'argilite grise altérée.

27,20 – 31,60m : Argilite grise saine à pendage oblique, à quelques fissurations subhorizontales et obliques.

31,60 – 33,4m : Argilite grise très altérée

33,4 – 46m : Argilite grise altérée à passage d'argilite dure fissurée, ces passages sont décimétriques.

46- 60,3m : Argilite grise altérée indurée à passages d'argilite a pendage oblique très fissurés.

60,30 – 61,70m : Argilite grise à pendage oblique et à fissuration sub horizontale et oblique.

61,70 – 68,55m : Argilite grise indurée à pendage oblique et à fissures obliques sans remplissage.

68,55 – 78,50m : Argilite grise indurée à pendage oblique et à fissure oblique sans remplissage.

78,50 – 100m : Argilite grise remaniée consolidée à trace de fissures remaniée.

Sondage S4-LT-39

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 83m. Il se situe sur le tracé du tunnel T4, sur le versant Nord du Djebel El Kantour.

Ce sondage parcourt successivement les unités lithologiques suivantes:

- *de 0 à 0,7m : terrain de recouvrement argileux, riche en matières organiques ;*

et localement des traces d'oxydation ;

- *de 6,5 à 73m : argile marneuse (argilite) schisteuse avec des passées calcaires ou gréseuses;*
- *de 73 à 83m (fin du sondage) : argile marneuse (argilite) schisteuse fracturée.*

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 30 à 100%.

S4-LT-39 PK 230+860 ; Z=523m

0,00 – 0,80 : Terre végétale

0,80 – 6,75 : Argile marneuse brune peu graveleuse, friable, rarement récupérée en carottes consistante

6,75- 13,20 : Argilite grise

13,20 – 17 : Argilite grise remaniée à quelques passages friables

17 – 26,61 : Argilite grise plastique à passages centimétriques friables à fissures obliques sans remplissage vers 25,30m.

26,61- 50,40 : Argilite grise friable consolidée à quelques passages plastiques et à passages d'argile rouge « lie de vin » probablement triasique avec des niveaux gréseux vers 44,80m

50,40 – 57,70 : Argilite grise friable à quelques passages de marno-calcaire gris qui ne dépassent pas les 30cm.

57,70 – 63,30 : Argilite grise plastique à fissures obliques sans remplissage.

63,30 – 67,75 : Argilite grise remaniée reconsolidée à trace de fissures remaniées, a passage de marno calcaire grise très fracturée vers 64,11 - 65,75 et à fissure oblique vers 65,50 et 67,75.

67,75 – 73,72 : Argilite grise remaniée consolidée présence de passage graveleux.

73,72 – 83 : Argilite grise remaniée plastique, à quelques passages plastiques, existence de fissures sans remplissage, et passages marno-calcaire fracturées de 78,10 à 79,20m.

Sondage S4-LT-43i

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 63m. Il se situe à l'amont du portail nord du tunnel T4. Ce sondage parcourt successivement les unités

lithologiques suivantes:

- de 0 à 1,4m : terrain de recouvrement argileux ;
- de 1,4 à 7,3m : argile grise brunâtre faiblement limoneuse présentant des zones humides et oxydées ;
- de 7,3 à 18,6m : argile marneuse (argilite) gréseuse compacte ;
- de 18,6 à 42,5m : argile marneuse (argilite) gréseuse altérée ;
- de 42,5 à 45,5m : argile marneuse (argilite) gréseuse compacte ;
- de 45,5 à 51,5m : argile marneuse (argilite) gréseuse altérée ;
- de 51,5 à 55,50m : grès fracturé ;
- de 55,5 à 63m (fin du sondage) : argile marneuse (argilite) gréseuse altérée.

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 30 à 100%, pour un RQD de 50 à 100% au sein du grès gris clair.

Sondage S4-LT-44i

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 30m. Il se situe à l'amont du portail nord du tunnel T4.

Ce sondage parcourt l'unité lithologique suivante:

- de 0 à 30m : argile marneuse (argilite) gréseuse altérée.

Le pourcentage de récupération des carottes varie de 30 à 100%, pour un RQD de 50 à 100%.

S4-LT-43 PK 231+590 ; Z=483m

0,00 – 1,00m : Argile brune plastique graveleuse.

1,00 – 6,00m : Argile marron limoneuse graveleuse.

6,00- 7,30m : Argilite marron grise.

7,30- 12,3m : Argilite saine consolidée à fissures obliques et à quelques passages friables

12,3 – 30m : Brèche d'argilite à fragments de grès de calcaire et de marmo-calcaire

30 – 31m : Passage de grès gris

31 – 44,8m : Argilite grise remaniée consolidée à aspect schisteux.

44,8 – 48, 50m : Brèche d'argilite, de calcaire et de grès.

48,50 – 54,20m : Passage métrique de brèche d'argilite grise présence de passages de marmo-calcaire gris.

54,20 –56m : Passage de grès gris

56 – 59m : Brèche d'argilite de grès et de calcaire

S4-LT-44 PK 231+683 ; Z=460m

0,00- 7,00m: Argilite grise très remaniée non consolidée

7,00- 30m : Schistes remaniés, consolidé, fortement fracturés à aspect argileux (plastique) présence de dragées de quartzite on trouve des niveaux friables et faibles vers 10m, 11.30m et à 12,05 existence d'argile couleur lie de vin a 14,90m a 26,60 et à 29,50m.

Sondage S4-LT-45

Ce sondage, a été poursuivi jusqu'à une profondeur de 30m. Il se situe à l'aval du portail nord du tunnel T4.

Ce sondage parcourt l'unité lithologique suivante:

- *de 0 à 30m : argile marneuse (argilite) gréseuse altérée.*

S4-LT-45 PK 231+755 ; Z=438m

0,00- 6,50m: argile marron limoneuse plastique

6,50 -30m : Schistes remaniés, consolidé, fortement fracturés à aspect argileux (plastique) présence de dragées de quartzite

ANNEXE II

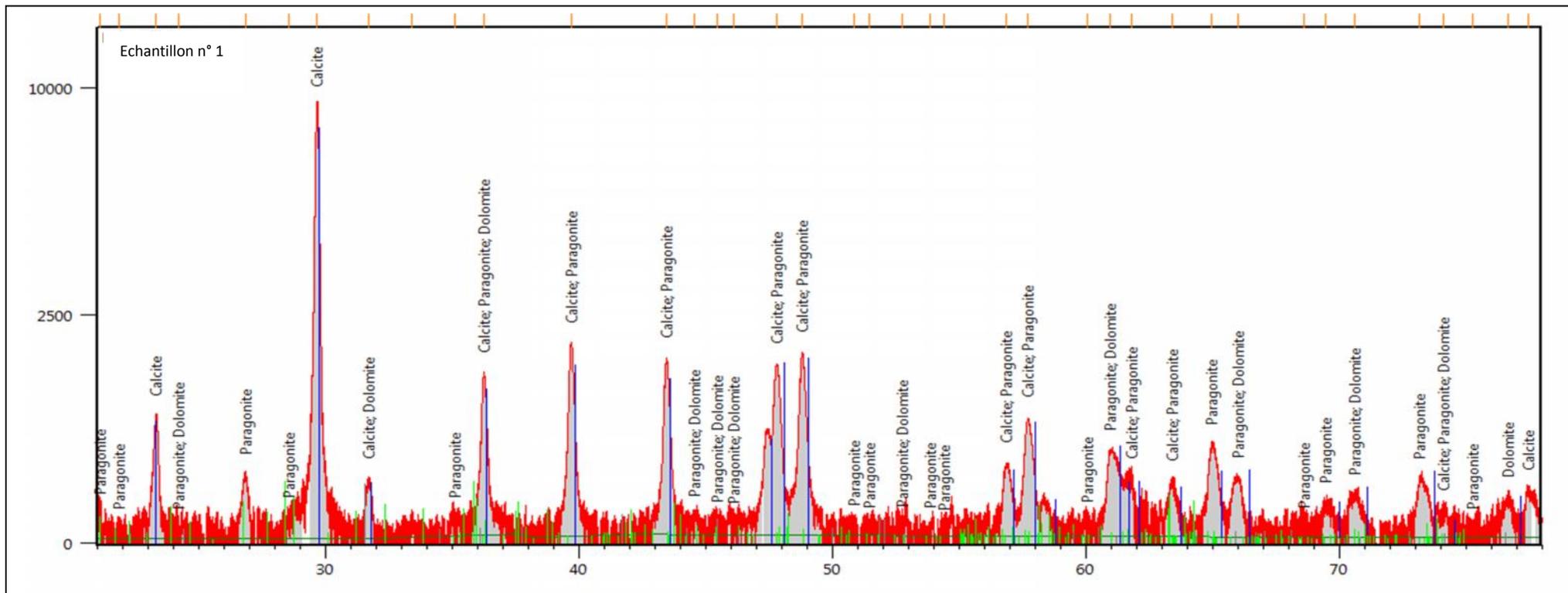


Fig.III.4.5 Spectre après traitement et analyse de l'échantillon n°1

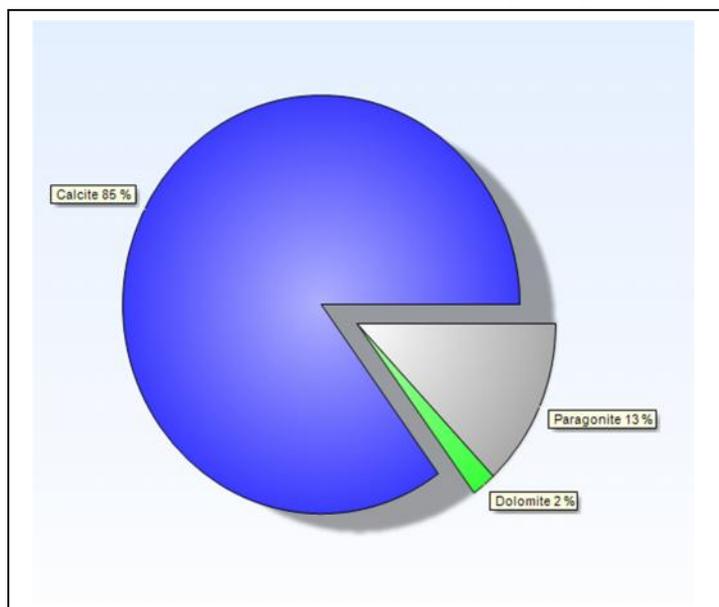


Fig.III.4.6 : Quantification des éléments constituant l'échantillon n°1

Interprétation :

Les raies caractéristiques de l'échantillon n° 1 ont mis en évidence une Roche riche en carbonate 85%, les argiles sont sous forme de paragonite et leurs taux est de 19%

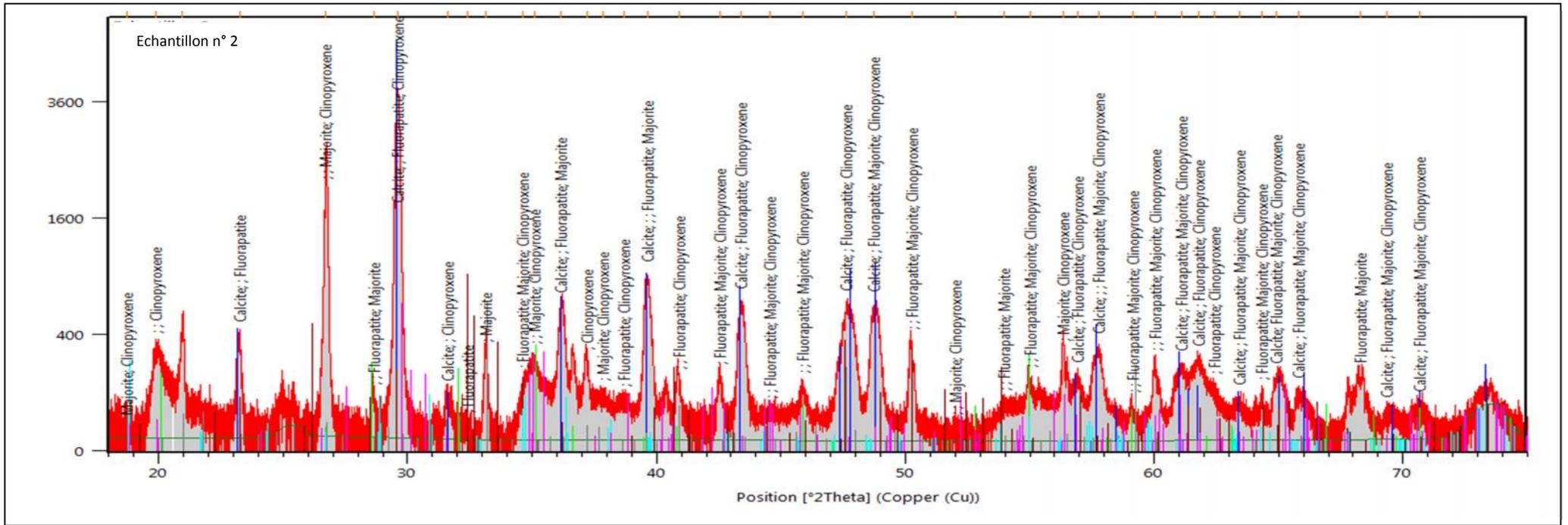


Fig.III.4.7 Spectre après traitement et analyse de l'échantillon n°2

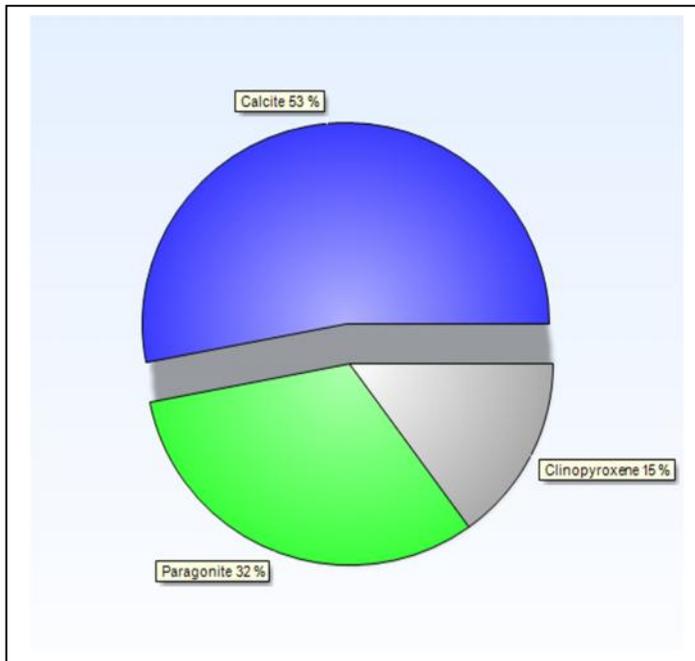


Fig.III.4.8 : Quantification des éléments constituant l'échantillon n°2

Interprétation :

Les rais caractéristiques de l'échantillon n°2 ont mis en évidence une roche qui contient 53% de carbonate, 32 % de paragonite et 15% de clinopyroxène

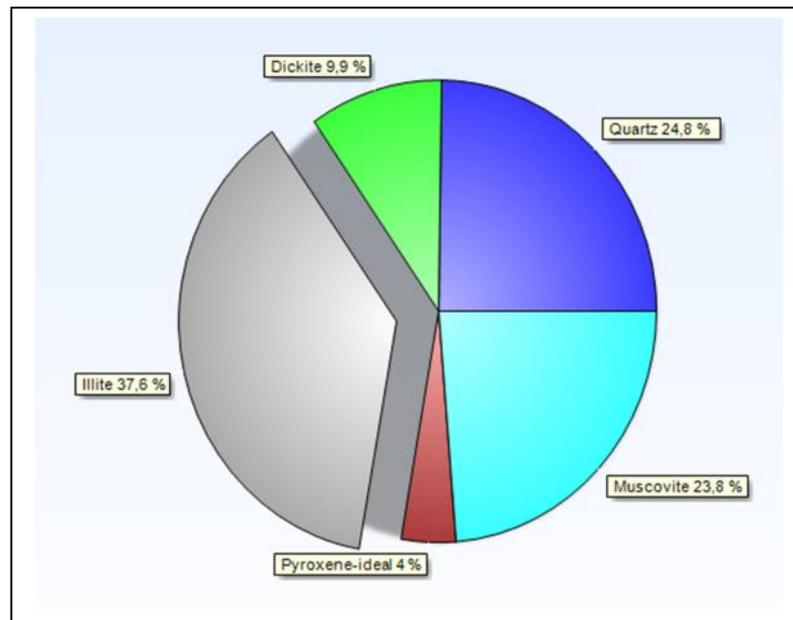
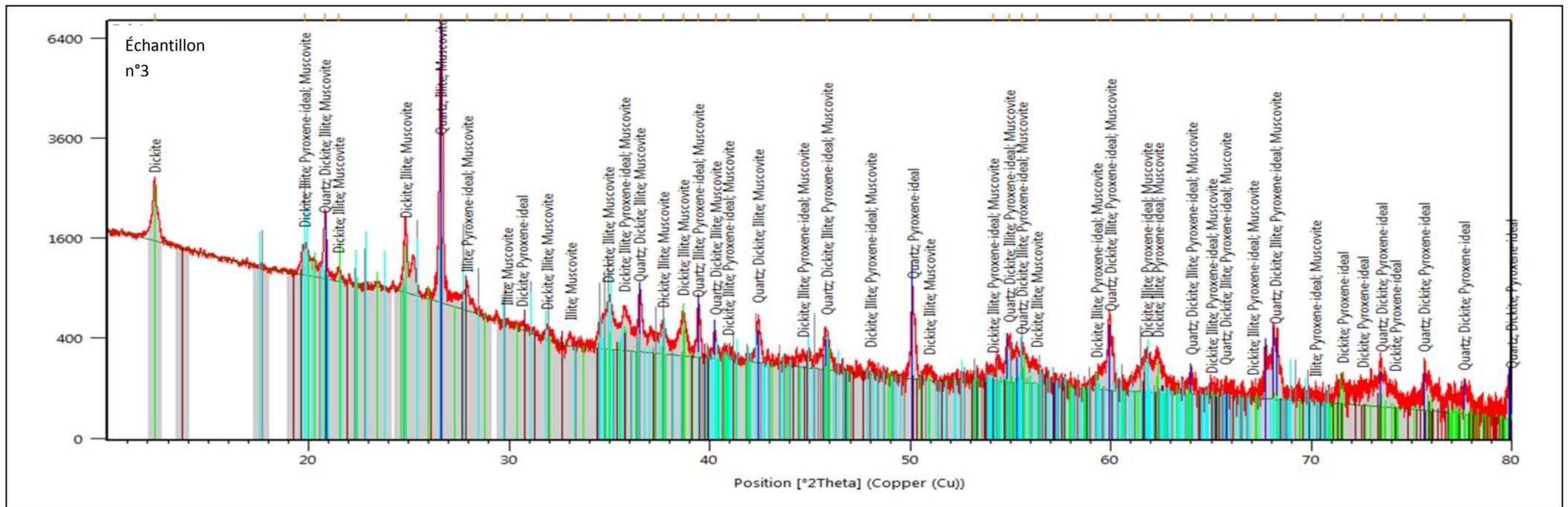


Fig.III.4.9 Spectre après traitement et analyse de l'échantillon n°3

Interprétation :

Les rais caractéristiques de l'échantillon n°3 ont mis en évidence une roche riche en phyllosilicate ou leurs taux est de 71,3 par rapport au quartz qui n'a que 24,8%.

Fig.III.4.10 : Quantification des éléments constituant l'échantillon n°3

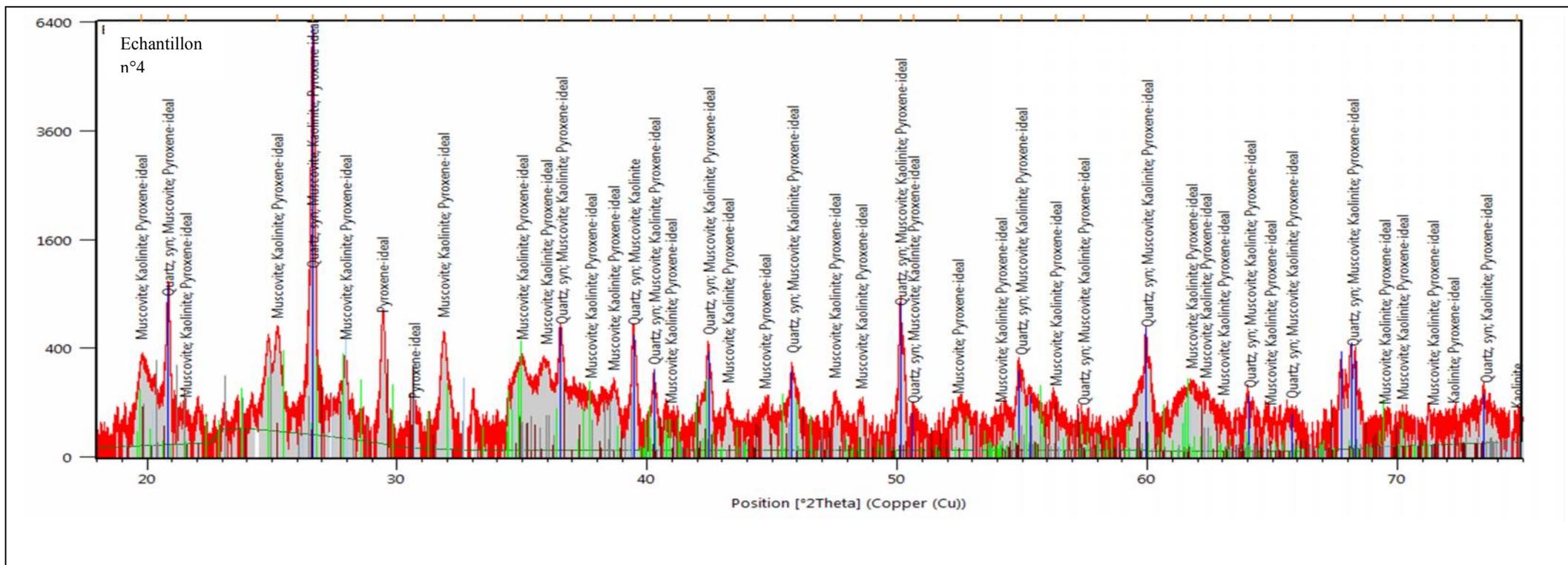


Fig.III.4.11 Spectre après traitement et analyse de l'échantillon n°4

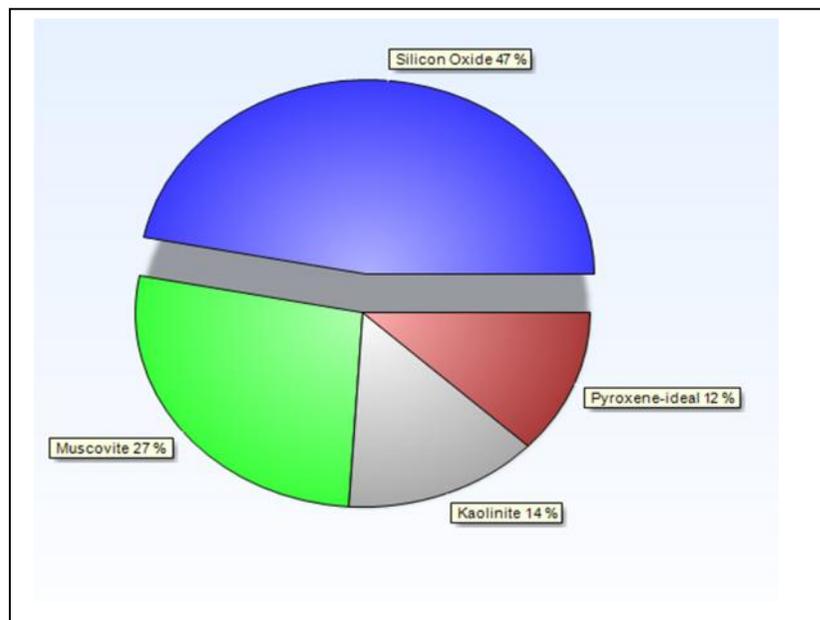


Fig.III.4.12 : Quantification des éléments constituant l'échantillon n°4

Interprétation :

Les rais caractéristiques de l'échantillon « cintre n° 165 gauche T4 sud portail nord » ont mis en évidence une roche qui est constituée avec d'un taux de 41 % de phyllosilicate.

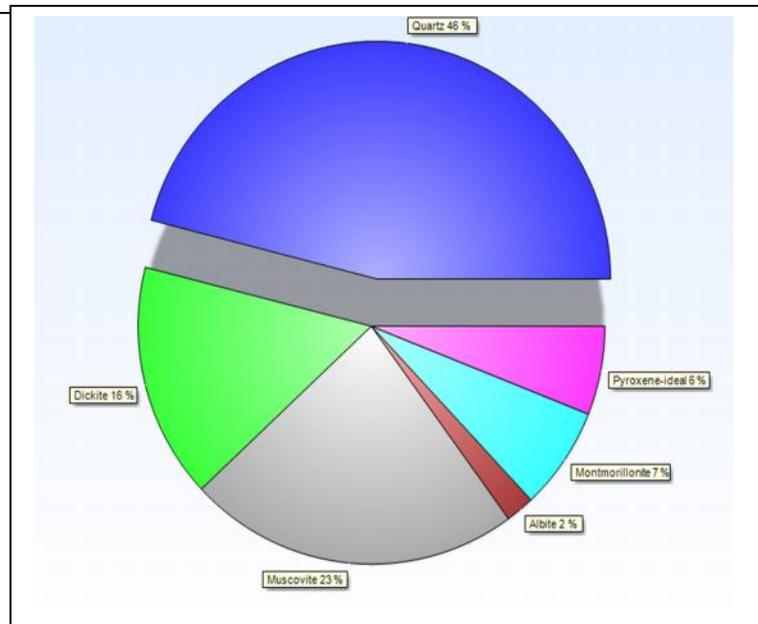
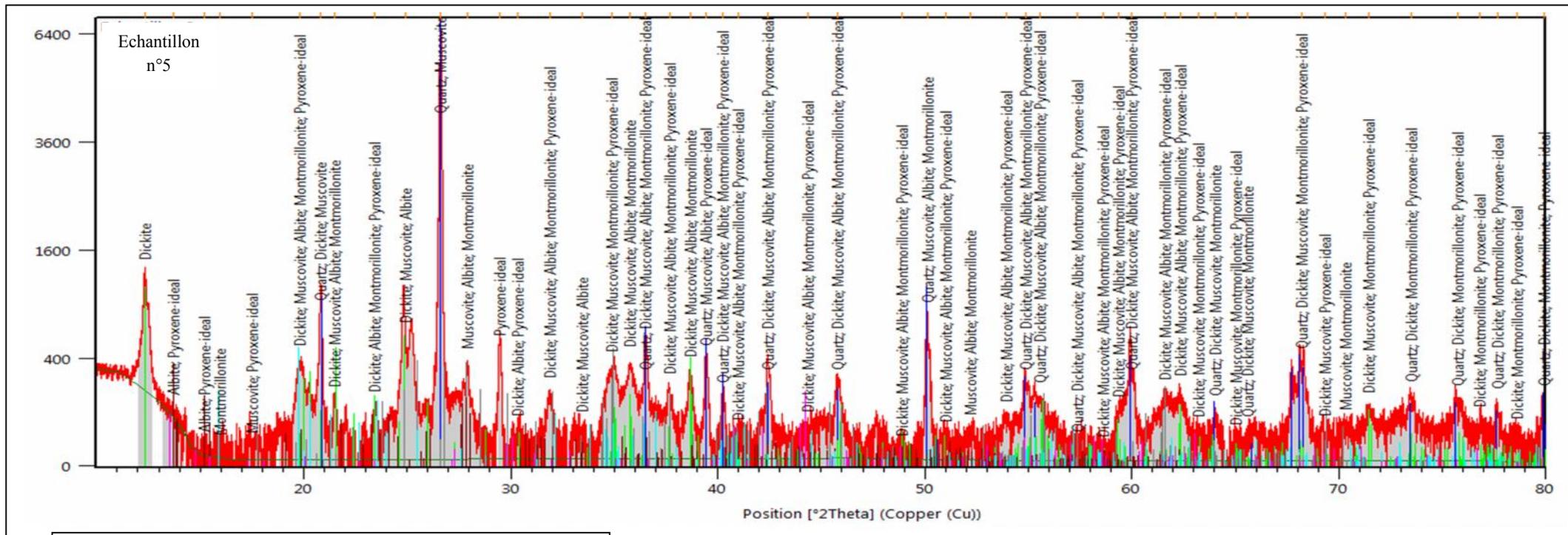


Fig.III.4.13 Spectre après traitement et analyse de l'échantillon n°5

Interprétation :

Les rais caractéristiques de l'échantillon cindre n° 165 droit T4 sud portail nord ont mis en évidence une diminution du taux des phyllosilicates 46%, ce taux est équivalent à celui des silicates, on a l'apparition de l'albite.

Fig.III.4.14 : Quantification des éléments constituant l'échantillon n°5

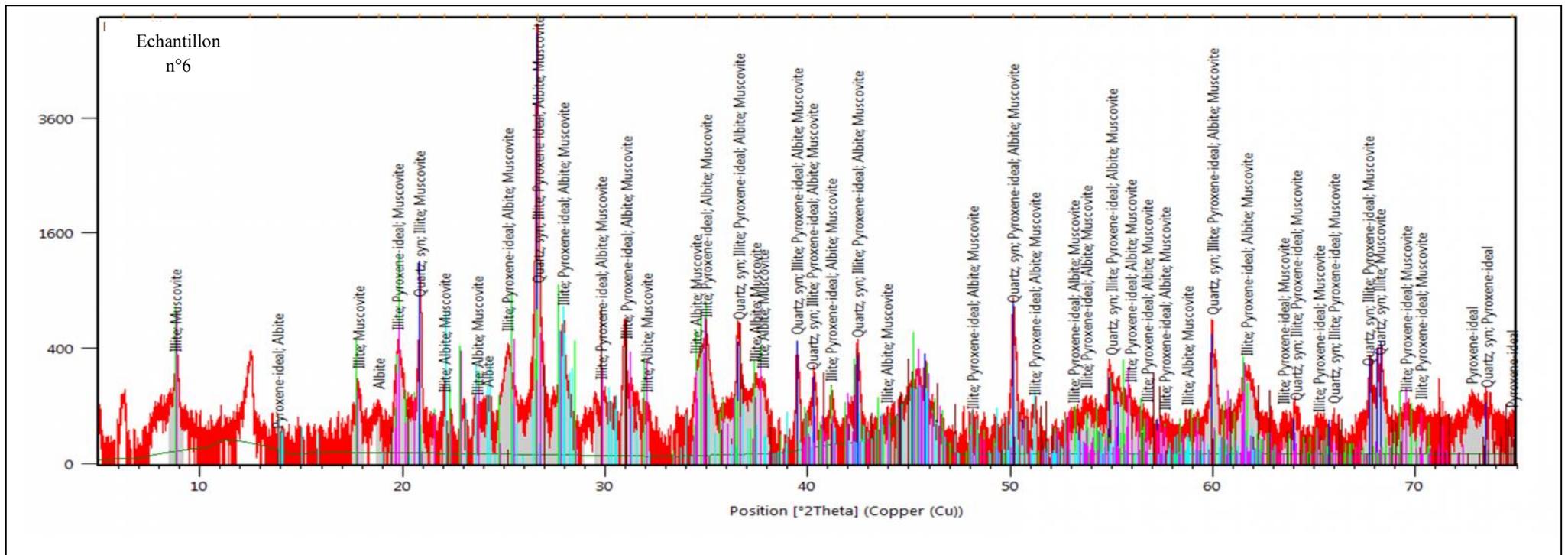


Fig.III.4.15 Spectre après traitement et analyse de l'échantillon n°6

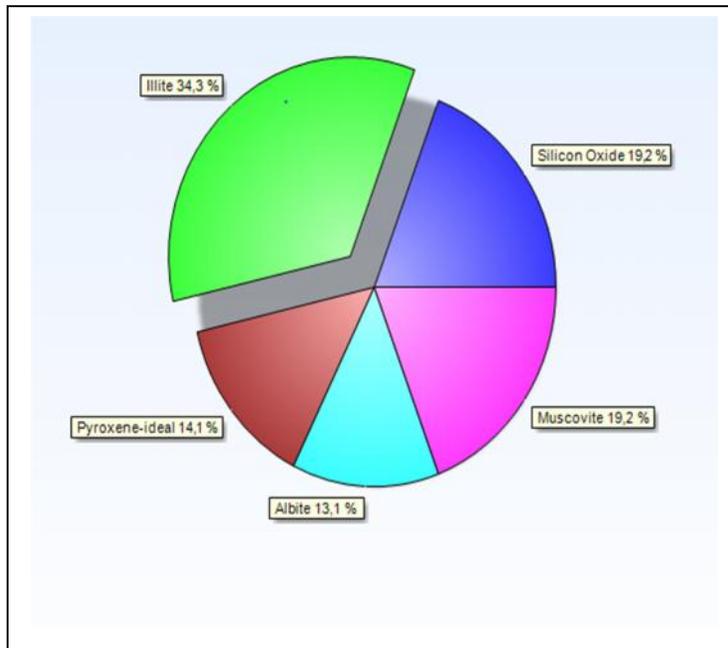


Fig.III.4.16 : Quantification des éléments constituant l'échantillon n°6

Interprétation :

Les rais caractéristiques de l'échantillon 1 portail T4 nord ont mis en évidence une nette amélioration du taux des phyllosilicates 53,5%, et une diminution nette du taux du quartz ou il représente que 19,2 % des constituants de la roche.

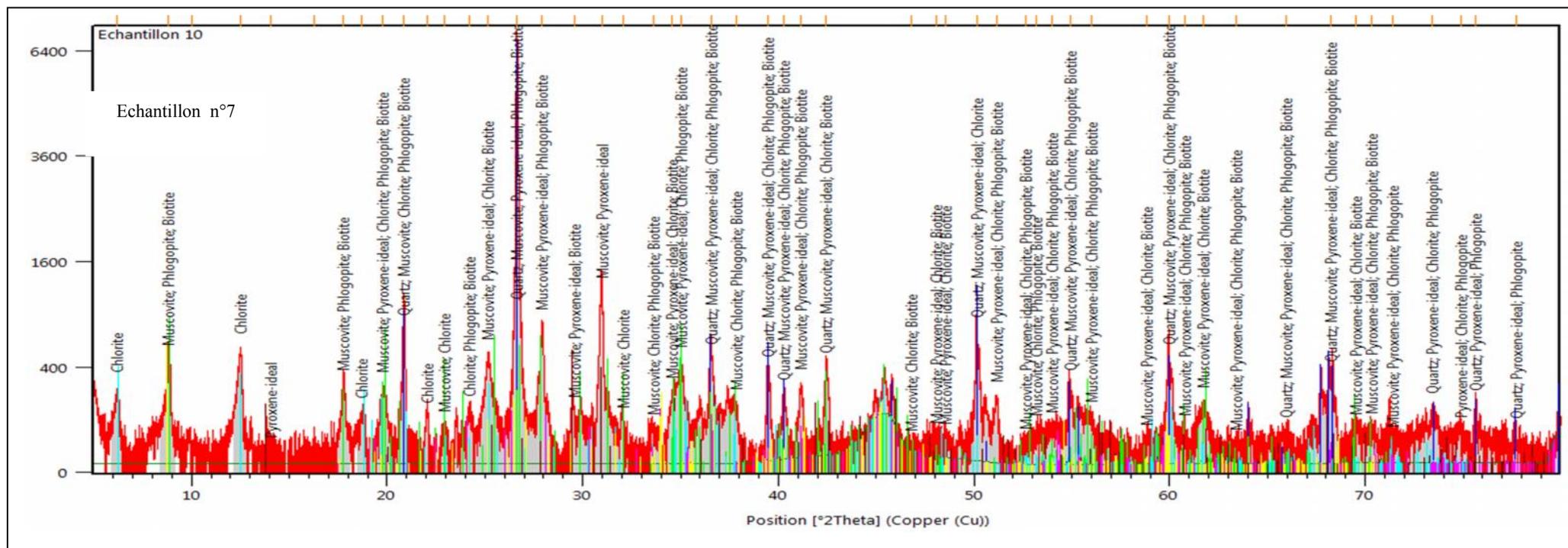


Fig.III.4.17 Spectre après traitement et analyse de l'échantillon n°7

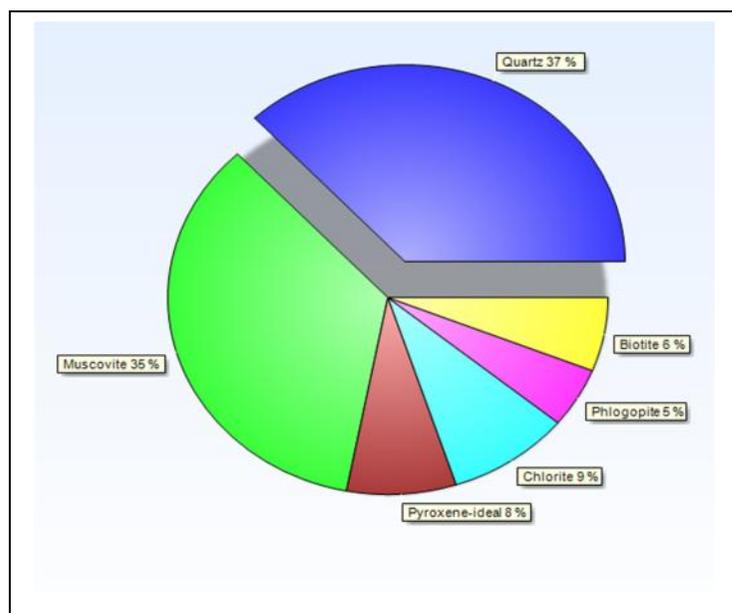


Fig.III.4.18 : Quantification des éléments constituant l'échantillon n°7

Interprétation :

Les rais caractéristiques de l'échantillon 2 portails T4 nord ont mis en évidence une roche riche phyllosylicates 50%, le quartz ne représente que 37%.