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

Université de Larbi Tébessi –Tébessa-
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : de sciences de la terre et de l'univers

MEMOIRE DE MASTER.

Domaine : science de la terre et de l'univers.
Filière : géologie
Option : géologie des bassins sédimentaires

Thème

Etude géologique et économique des grains de quartz des sables de formations miocène de TENOUKLA (sud-est de la wilaya de Tébessa)

Présenté par :

ATMANIA Mouna

Devant le jury :

Rapporteur	**M. Defaflia Nabil**	**Pr**	**Université de Tébessa**
President	**M. Mouici Rida**	**M.C.B**	**Université de Tébessa**
Examinateur	**Mlle. Nacer Wassila**	**M.A.A**	**Université de Tébessa**

Date de soutenance: 10 juin 2025


بسم الله الرحمن الرحيم

شكر و تقدير

قال تعالى: ﴿ ولئن شكرتم لأزيدنكم ﴾

نحمد الله تعالى حمدًا كثيرًا طيبًا مباركًا فيه على نعمة العلم والفهم، ونسأله أن يجعل هذا العمل في ميزان حسناتنا، وأن ينفعنا به في مسيرتنا العلمية والعملية.

أما بعد، فيسعدنا ويشرفنا أن نتوجه بخالص الشكر وجزيل العرفان إلى الأستاذ الفاضل نبيل ضفافلية، على تفضّله بالإشراف على هذه المذكرة، وما قدّمه لنا من دعم وتوجيهات علمية ثمينة ساعدتنا على تجاوز العقبات، والوصول إلى هذا العمل في شكله النهائي.

كما نتقدم بالشكر إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذه المذكرة، وإلى كافة أعضاء قسم علوم الأرض والكون، الذين كانوا لنا عونًا وسندًا طيلة مشوارنا الدراسي.

الإهداء

إلى نفسي، التي صبرت وثابرت، وآمنت أن لا شيء يُنال بلا جهد، وأن لكل تعب ثمرة، ولكل سعي جزاء.
إلى نفسي التي لم تستسلم رغم كل العثرات، وقاومت لأكون حيث أنا اليوم. شكرًا لي على الإيمان، والإصرار، والرحلة.

إلى من منحوني حياة جديدة، وعلّموني أن النجاح لا يأتي إلا بالصبر والعزيمة.

إلى النور الذي يضيء دربي، والمصباح الذي لا ينطفئ نوره أبدًا في قلبي.

إلى من أبدل الجوع والعطش قوةً وعزّة نفس.

إلى أبي الراحل، الغائب بجسده، الحاضر بروحه ودعائه، الذي ما زال نوره يرشدني وخطاه ترشدني، رحمه الله وجعل مثواه الجنة.

وإلى من جعل الله الجنة تحت قدميها، وسهّل لي الوصول إليها.

إلى الإنسانة العظيمة التي طالما تمنت أن تقرّ عيناها برؤية يوم كهذا.

أمي الغالية.

وإلى السند والأمل في أيامي، إلى من أرهقتي بحبٍ جعلني أرتوي من ينابيعه.

إلى أنقى أيامي وصفائها، إلى قرة عيني، إلى إخوتي وأخواتي الذين يرحلون ويبقون في القلب.

إلى كل من كان عونًا ورابطًا في هذا الطريق،

إلى أوفى الناس وأصدقهم، إلى رفاق الصبا والشباب،

إلى من منحني مشاعره وكلماته الصادقة،

إليكم، إخوتي وأخواتي، أهدي هذا الإنجاز وثمرة نجاحي.

وشكرًا لكل من ساهم في هذا الإنجاز من قريب أو بعيد، بكلمة، بدعوة، بدعم أو بتشجيع، فلكم من القلب كل التقدير والدعاء.

وإلى من أعطاني ما تمنيت، ها أنا اليوم أُتمّم وأُنجز أولى ثماره بفضله، سبحانه وتعالى.

الحمد لله على ما أعطاني، وأسأله أن يجعلني مباركًا حيثما كنت، وأن يعينني على الخير.

ومن قال: ليس لي، فما هو؟ وإن لم يكن لي، فقد جئتُ به رغم ذلك.

فالحمد لله، شكرًا، ومحبة، وطمأنينة، في البداية والنهاية.

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

Résumé :

Ce mémoire porte sur une étude géologique et économique des grains de quartz issus des formations sableuses miocènes de la région de Tenoukla (sud-est de la wilaya de Tébessa). L'objectif principal est de caractériser les propriétés sédimentologiques et morphoscopiques de ces grains afin de reconstituer les environnements de dépôt et les mécanismes de transport. L'étude repose sur des observations de terrain et des analyses de laboratoire telles que la calcimétrie et la morphoscopie.

Les résultats révèlent des grains sub-arrondis à surface lisse, témoignant d'un transport prolongé dans des milieux variés (fluvial, désertique), sous climat semi-aride. Du point de vue économique, les grains de quartz présentent une pureté et une qualité intéressantes pour des usages industriels tels que la fabrication du verre, la céramique, les fonderies et les technologies de pointe. Le mémoire recommande ainsi d'approfondir les recherches pour valoriser cette ressource au service du développement local durable.

Mots Clés :

Quartz ,Ténoukla, miocène, Morphoscopie ,Valorisation industrielle.

Abstract

This thesis focuses on the geological and economic study of quartz grains from Miocene sand formations in the Tenoukla region (southeastern Tébessa, Algeria). The main goal is to analyze the sedimentological and morphoscopic characteristics of the grains to reconstruct depositional environments and understand sediment transport mechanisms. The study is based on field observations and laboratory techniques such as calcimetry and morphoscopy.

Results show that the grains are sub-rounded with smooth surfaces, indicating long-distance transport in varied environments such as fluvial plains or desert systems, under a semi-arid climate. Economically, the quartz exhibits high purity and quality, making it suitable for use in various industries including glassmaking, ceramics, metallurgy, and advanced technologies. The thesis recommends further feasibility studies to enhance the local valorization of this natural resource for sustainable development.

Keywords:

Quartz, Tenoukla, Miocene, Morphoscop, Industrial valorization

الملخص

تتناول هذه المذكرة دراسة جيولوجية واقتصادية لحبيبات الكوارتز ضمن التكوينات الرملية الميوسينية بمنطقة تنوكلة (جنوب شرق ولاية تبسة). تهدف الدراسة إلى تحليل الخصائص الرسوبية والمورفولوجية لهذه الحبيبات، من خلال الملاحظة الميدانية والتحاليل المخبرية، لتحديد طبيعة النقل والترسيب الذي تعرضت له، وإعادة بناء البيئات القديمة التي ساهمت في تراكمها. كما تم استخدام تقنيات مثل المورفوسكوبية والكلسيمترية لفهم نضج الرواسب ومدى تأثرها بالعوامل المناخية.

أظهرت النتائج أن الحبيبات ذات شكل شبه مستدير وسطح أملس، مما يعكس تعرضها لنقل طويل في بيئات متغيرة كالسهل الفيضاني أو النظام الصحراوي، في مناخ شبه جاف. من الناحية الاقتصادية، أظهرت الدراسة أن الكوارتز المتوفر بالمنطقة يتميز بنقاء وجودة تؤهله للدخول في صناعات متعددة مثل الزجاج، السيراميك، السبائك، وحتى التكنولوجيا الدقيقة. وعليه، توصي المذكرة بإجراء دراسات جدوى إضافية لتعزيز استغلال هذه الموارد في إطار التنمية الاقتصادية المحلية.

الكلمات المفتاحية:

كوارتز؛ تنوكلة؛ الميوسين؛ المورفوسكوبية؛ الاستغلال الصناعي.

Tables des Matières

I Contents

Résumé : 5

INTRODUCTION GÉNÉRALE....13

I Introduction générale....13

A. Objectifs de l'étude....13

1. Objectifs géologiques....14

2. Objectifs économiques....14

CHAPITRE I : SITUATION GEOGRAPHIQUE....17

I Situation géographique....17

A. Topographie....18

B. La couverture végétale....19

C. Économie de la région....20

.D Hydrographie....20

.E Aperçu géomorphologique....21

.1 Plaines :....22

.2 Collines :....22

.3 Bassin versant :....22

.4 Cuvette miocène :....22

.5 Lits d'oueds :....22

.6 Alluvions quaternaires :....22

.7 Sources :....22

8. Barrières rocheuses :....22

CHAPITRE II : CADRE GÉOLOGIQUE....24

I Introduction....24

A. Cadre géologique 24
B. Stratigraphie et description des faciès 24
1. Crétacé 24
2. TERTIAIRE 26
3. TECTONIQUE : 27
a) **Failles décrochantes et blocs basculés :** 31
b) **Fossés d'effondrement et subsidence :** 32
c) **Diapirisme :** 33
d) **Ressources minérales et substances utiles :** 33
II Conclusion 35
CHAPITR III : MÉTHODOLOGIE (DESCRIPTION DES TECHNIQUES UTILISEES) 37
I INTRODUCTION : 37
A. Etude de terrain (non réalisée directement) : 37
1. Établissement de la stratigraphie : 37
2. Description des niveaux : 37
3. Echantillonnage : 38
B. ETUDE AU LABORATOIRE 38
1. Calcimètrie 38
2. Morphoscopie des grains de sable : 40
CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION 43
I Analyse calcimétrique des échantillons 43
A. Introduction 43
1. Résultats obtenus 43
B. Conclusion 46
II Analyse morphoscopique 46
A. Introduction 46
1. Point de vue – géologique : 46
B. Conclusion : 49

CONCLUSION GÉNÉRALE.....51

BIBLIOGRAPHIE 53

Liste des figures

Figure 1: Utilisations du grain de quartz. 14
Figure 2: Situation géographique de site de El Ma Labiod (Tébessa,Algérie). (M. Layadi) 18
Figure 3: modèle numérique de bassin d'El- Ma- Labiod. (H. Taib) 19
Figure 4: Carte du réseau hydrographique/Bassin d'El Ma labiod. (H. Taib) 21
Figure 5: carte du système de faille (UGF-BRNO1971). (H. Taib) 30
Figure 6: Esquisse tectonique de pays nord-est de l'Atlas Saharien des confins algéro- Tunisiens emplacement des directions des contraintes maximales, (W.M.Kowalski,A.Boudoukha, M.A.Hemila, A.Pharisat, 1977, modifié par M.Hamimed, 2004). Et modifié par Dr.DEFAFLIA. N et TAIBE. H,2016 32
Figure 7: Calcimètre de Bernard et son support 38
Figure 8: Ballon de dégagement – Calcimètre de Bernard 39
Figure 9: Flacon de réaction – Calcimètre de Bernard 39
Figure 10: Lecture du volume de gaz – Étape finale du calcimètre de Bernard. 39
Figure 11: Types de grains de quartz 41
Figure 12: Profil vertical de la teneur en $CaCO_3$. 44
Figure 13: pourcentage du CaCO3 des différents niveaux et leurs profondeurs 45
Figure 14: Morphoscopie des grains de sable de quartz (Forme et aspect des grains) 47

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification granulométrique des grains de quartz avec exemples représentatifs.....13
Tableau 2: Teneur en $CaCO_3$ (%) selon la profondeur.....43
Tableau 3: Classification granulométrique et morphoscopique du quartz étudié 46



INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

I Introduction générale

Le quartz est l'un des minéraux les plus abondants de la croûte terrestre et constitue un composant essentiel de nombreux matériaux sédimentaires. Grâce à sa grande résistance à l'altération chimique et mécanique, il est utilisé comme indicateur privilégié dans les études sédimentologiques, pétrographiques et géotechniques. Parmi les différentes approches analytiques, la caractérisation des grains de quartz – en termes de taille, de forme et de texture de surface – occupe une place centrale, car elle permet d'interpréter les dynamiques de transport, les milieux de dépôt, ainsi que la maturité des sédiments.

Un grain de quartz est un fragment minéral individuel, généralement issu de la désagrégation de roches riches en silice comme les granites ou les grès. Ces grains peuvent subir un transport plus ou moins long par des agents tels que l'eau, le vent ou la glace, et leur morphologie en porte la trace. Ainsi, leur étude offre des informations précieuses sur la provenance des matériaux, les processus sédimentaires impliqués et les conditions environnementales passées.

Sur le plan granulométrique, les grains de quartz sont classés selon l'échelle de Wentworth, largement adoptée en sédimentologie. Cette classification, fondée sur la taille des particules, distingue plusieurs catégories allant du gravier au limon et à l'argile:

Tableau 1 : Classification granulométrique des grains de quartz avec exemples représentatifs

Catégorie granulométrique	Taille des grains (mm)	Exemple typique
Sable très grossier	1 – 2 mm	Quartz visible à l'œil nu
Sable grossier	0,5 – 1 mm	Quartz pour le sablage
Sable moyen	0,25 – 0,5 mm	Quartz de plage
Sable fin	0,125 – 0,25 mm	Quartz de dune
Sable très fin	0,0625 – 0,125 mm	Quartz en suspension fluviale
Limon et argile	< 0,0625 mm	Quartz microscopique ou colloïdal

Outre la taille, la forme (anguleuse, arrondie…) et la surface des grains (rugueuse, polie…) sont des paramètres essentiels. Ces critères reflètent l'histoire du transport et les conditions de dépôt, influençant ainsi la qualité des dépôts pour différents usages industriels.

A. Objectifs de l'étude

Ce travail s'inscrit dans une démarche visant à analyser les caractéristiques sédimentologiques et minéralogiques des grains de quartz issus des formations sédimentaires de la région d'El Ma Labiod. L'objectif principal est de caractériser ces grains afin de mieux comprendre leur origine, leur mode de transport et de dépôt, ainsi que d'évaluer leur potentiel d'exploitation économique.

Pour répondre à cette problématique, l'étude est structurée autour de deux axes complémentaires :

1. **Objectifs géologiques**

- Caractériser la nature des formations sédimentaires miocène présentes dans la région étudiée ;
- Déterminer la distribution granulométrique des grains de quartz et identifier les faciès sédimentaires dominants ;
- Étudier la forme et la texture de surface des grains de quartz afin d'en déduire le degré de maturité sédimentaire et les conditions de transport ;
- Identifier les processus sédimentaires (érosion, transport, dépôt) ayant façonné les dépôts étudiés ;
- Reconstituer l'environnement paléogéographique et paléoclimatique ayant présidé à la mise en place de ces formations.

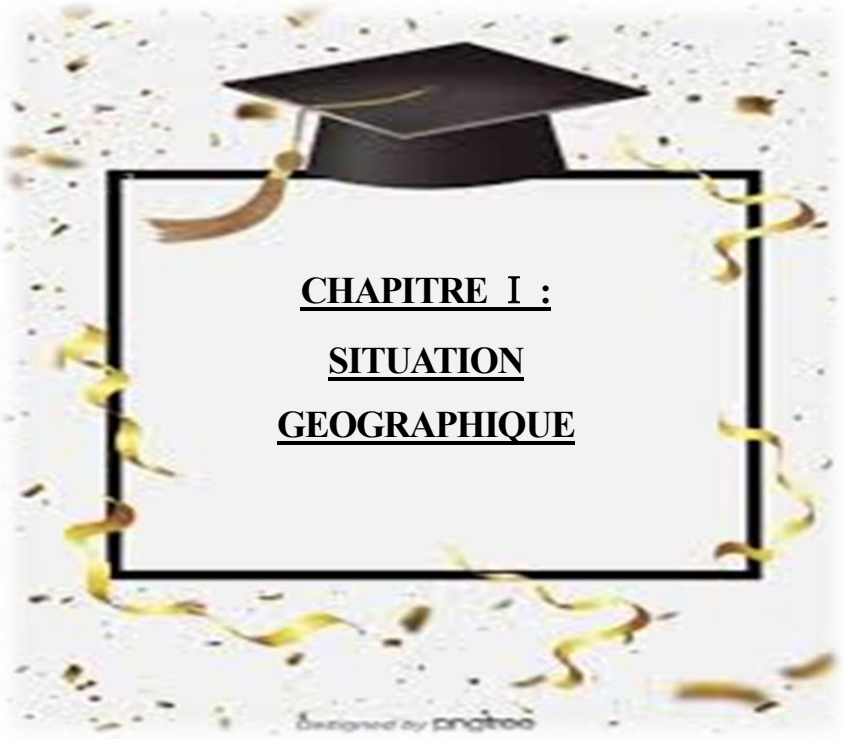
2. **Objectifs économiques**

- Évaluer la qualité des grains de quartz en vue d'applications industrielles (sablage, fabrication du verre, céramique, etc.) ;
- Déterminer la pureté minéralogique et chimique des sédiments afin d'en estimer la valeur commerciale ;
- Identifier des indices de gisements exploitables localement comme ressource minérale ;
- Contribuer à la valorisation des ressources naturelles régionales par une meilleure connaissance des matériaux sédimentaires disponibles.



Figure 1: Utilisations du grain de quartz.

- Les grandes lignes de ce travail se résument en quatre chapitres :
- Le premier chapitre consiste à définir le contexte général (cadre physique sur la région, situation géographique, cadre géologique…etc.)
- Le deuxième chapitre consiste à définir le contexte géologique de la région
- Le troisième chapitre est réservé à la description des méthodes et des techniques utilisées (méthodologie)
- Le quatrième chapitre est consacré à la présentation des résultats et leur interprétation, puis conclusion, qui nous mène à établir rationnellement la stratigraphie de la terrasse analysée.



CHAPITRE Ⅰ :

SITUATION GEOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : SITUATION GEOGRAPHIQUE

I Situation géographique

La plaine d'El Ma El Abiod est située à 260 kilomètres de la mer Méditerranée, à la frontière de l'Algérie et de la Tunisie (figure 1). La zone est entièrement située dans le bassin saharien et fait partie des hauts plateaux qui se caractérisent par un réseau dense de montagnes allant de moyennes à hautes altitudes, séparées par des dépressions plus ou moins prononcées.

Au nord, la plaine est limitée par les chaînes de Djebel Doukkane, Djebel Anoual et Djebel Bouroumane. Ces chaînes de montagnes forment une ligne de crête importante dans la géographie locale car elles appartiennent à la ligne de partage des eaux entre le bassin méditerranéen et le bassin saharien (Rouabhia et al., 2004). Le côté nord de la zone d'étude présente le bassin versant de l'Oued Ksob qui draine l'eau vers la mer. À l'est, la plaine s'étend jusqu'à la proximité des frontières tunisiennes, notamment autour de Koudiat Sidi Salah

. À l'ouest, nous avons la plaine de Chéria qui est la plus élevée de la région sud-est du Constantinois et est drainée par l'oued Chéria qui est une rivière à débit saharien. Cette zone possède de nombreux marais à environ 15 km en aval de la ville. Un peu plus au sud, elle se jette dans la plaine de Telidjen qui a un réseau hydrographique plutôt peu dense. Enfin, la limite sud de la plaine d'El Ma El Abiod est marquée par le synclinal Mio-Quaternaire de Bir Sbeikia.

Le col de Ténoukla est situé au sud-ouest de la ville de Tbessa dans la commune d'El Ma El Abiod, dans la région extrême est de l'Algérie et bordant la Tunisie. Cette région est montagneuse et possède un paysage inégal avec des caractéristiques telles que le Djebel Osmor qui a des affleurements fossilifères marneux turoniens. Le col de Ténoukla est bien connu pour abriter les restes d'un pont romain construit en blocs de calcaire, ce qui illustre l'importance historique pour le transit par là. Cette frontière est également agrémentée au nord d'une collection de montagnes de moyenne à haute altitude, incluant le Djebel Doukkane, Anoual et Bouroumane qui forment la plaine d'El Ma Labiod.

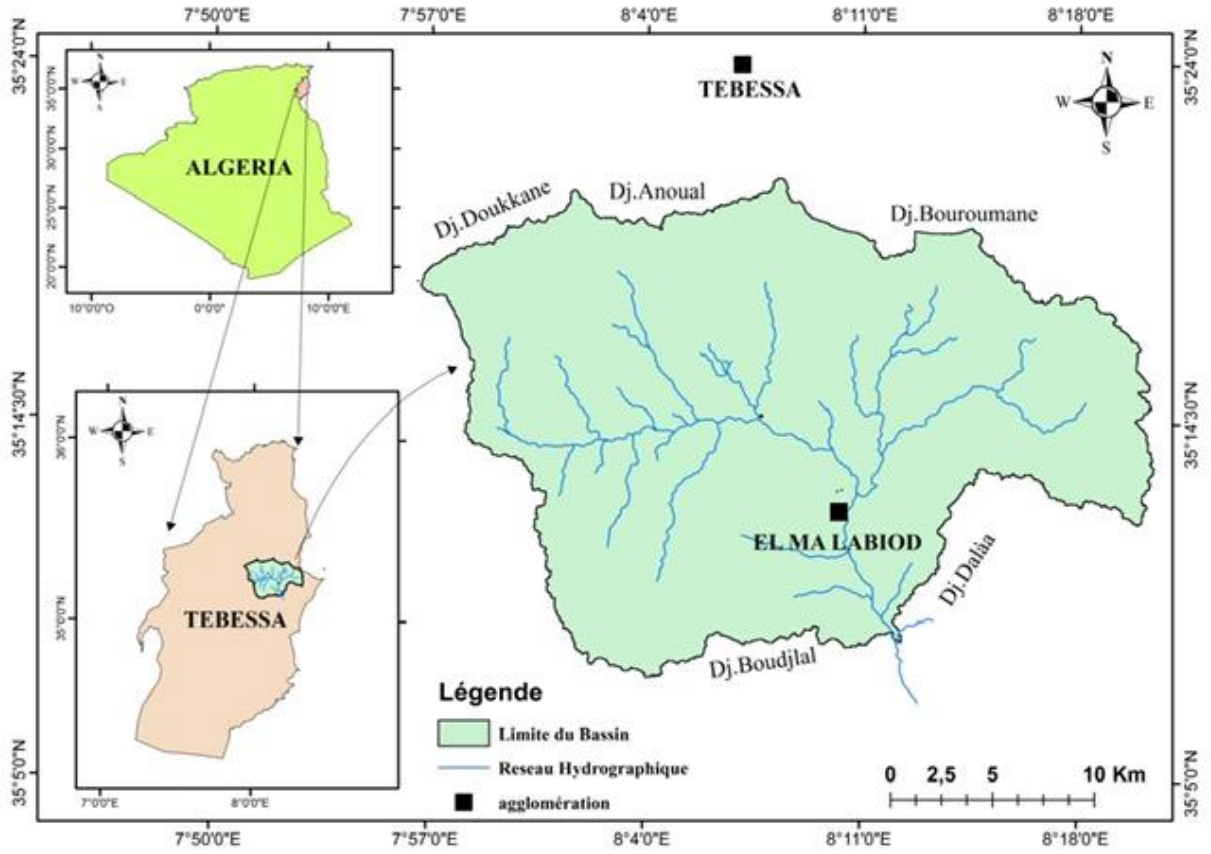


Figure 2: Situation géographique de site de El Ma Labiod (Tébessa,Algérie). (M. Layadi)

A. Topographie

Le site d'El Ma El Abiod World est de type cuvette. Le pentagone commence à 1050m (au niveau de la cuvette) et se termine à 1300m dans la partie nord de la région étudiée (le djebel Doukkane au nord qui est également le sommet le plus haut de la région à 1712m). Le centre de la région constitue une plaine enclavée qui borde une chaîne de montagnes à l'ouest au sud et mauvaise à l'est au nord. Cela a l'apparence d'une dépression sur le plan morphologique constituant du bassin éco-estival. Au signal l'apparition de quelques coteaux remarquables d'une hauteur relative compris entre 10 et 20 m d'affinité standard à celle de la plaine. Leur existence est attribuée à un changement d'altitude d'emblave et ce en amont de l'oued El Goussa, du côté sud, sur l'axe parallèle à la RN 16.

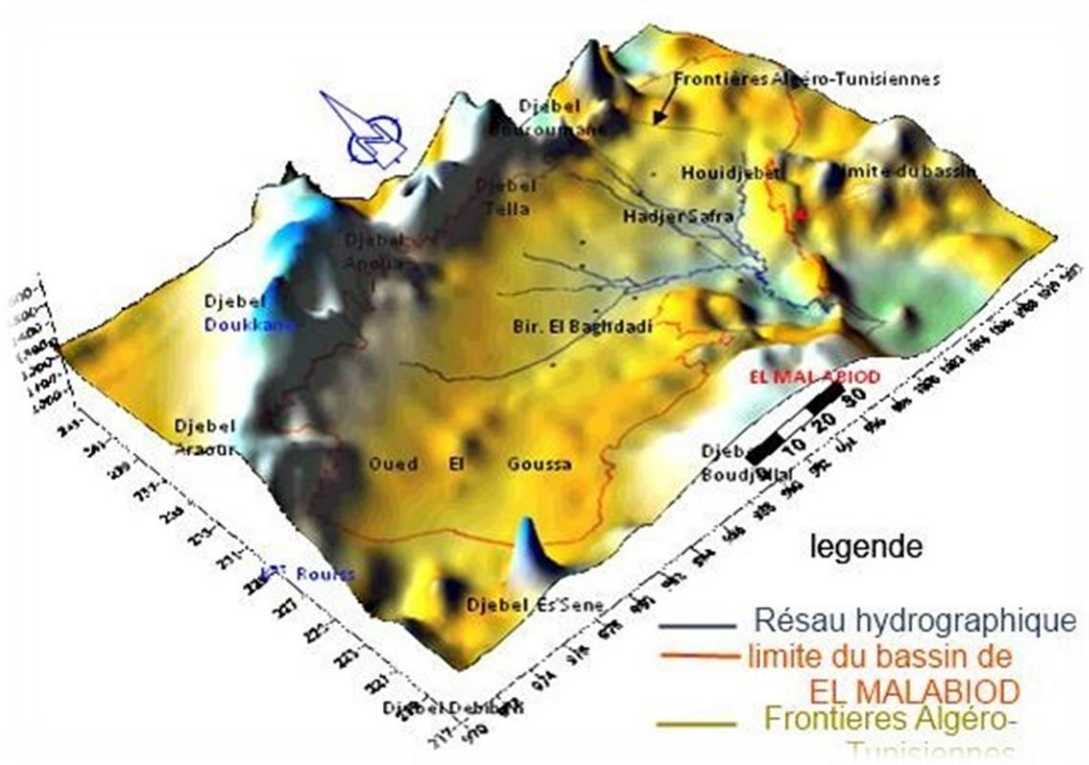


Figure 3: modèle numérique de bassin d'El- Ma- Labiod. (H. Taib)

B. La couverture végétale

La végétation dans la région du col de Tenoukla est considérée comme étant très variée en raison de facteurs comme l'altitude, le degré d'inclinaison, la qualité des sols et le climat semi-aride de la région. La steppe est sèche et domine la vue de la région. Il y a aussi des plantes de bas niveau qu'on appelle alfa. Ces herbes Stipa tenacissimaont prouvé qu'elles s'adaptent à la sécheresse. De plus, il y a aussi beaucoup d'épines et de plantes saisonnières qui s'ajoutent au paysage.

Dans certains endroits, il y a des zones qui sont considérées comme murys, dont le versant nord est un exemple. De plus, dans ces régions protégées du vent, il y a des essais très peu denses de Pinus Halepensis et Genévris Oxycèdres. Certaines plantes sont aussi populaires, mais ce sont des xérophytes.

En ce qui concerne la zone où le sol est de roche affleure. Une herbe poussant de manière clairsemée se cultive. Cela rend cette zone agricole très intéressante.

En conclusion, les zones ensoleillées du col de Tenoukla sont considérées comme parsemées de plantes qui survivent dans les zones dures, les zones rocheuses, les forêts d'altitude sont classées dans les zones pastorales.

C. Économie de la région

Traditionnellement agricole et pastorale, la région constitue depuis l'Antiquité une zone privilégiée pour le parcours et la transhumance, ce qui lui a valu chez les Romains le surnom de "pays du blé". Aujourd'hui, le milieu rural est dédié à une agriculture intensive (grandes cultures et cultures maraîchères) sur une superficie de 27 400 hectares.

Ce n'est qu'au début des années 1990 que la région a vu s'installer sa première unité industrielle : une filiale de la Société de Ciment et Dérivés de Tébessa (production de ciment Portland), suivie de l'usine de verre (ENAVA) et de l'Entreprise Nationale des Tubes Roulés et de la Transformation des Produits Métalliques (ANABIB). Ces infrastructures industrielles représentent un véritable levier pour le développement régional.

La céréaliculture occupe 5,55 % de la SAU à El Malabiod et 8,37 % à Houidjbet, soit une moyenne de 6,87 %. Les cultures maraîchères représentent respectivement 6,41 % et 7,72 % des superficies. Quant aux cultures fourragères, elles s'étendent sur 30,48 % et 39,69 %, soit une moyenne de 34,81 %.

D. Hydrographie

La région est parcourue par des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui assurent l'évacuation des eaux de ruissellement et la restitution des nappes phréatiques. Leur organisation dépend principalement de la géologie (érosion, structures dirigeant l'écoulement), du climat (densité du réseau selon l'humidité), de la pente et de l'intervention humaine (drainage, barrages).

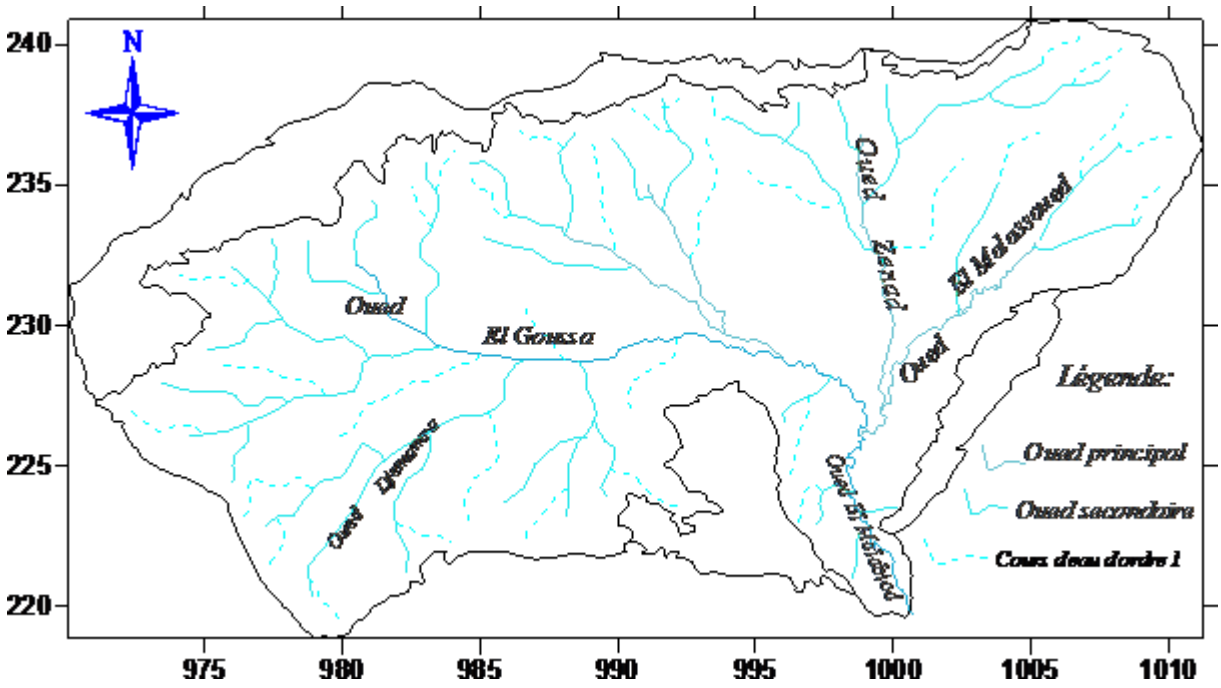


Figure 4: Carte du réseau hydrographique/Bassin d'El Ma labiod. (H. Taib)

Dans le bassin d'El Malabiod, bien que la région soit semi-aride, le réseau hydrographique reste relativement dense, marqué par de nombreux ravins et affluents sinueux et intermittents. Les principaux oueds sont :

- Oued El Goussa : axe principal, orienté Ouest-Est, long de 28,2 km, recevant Oued Es-Sagui et Oued Koriz.
- Oued El Malassoued : source au Djebel Taga, parcours de 12 km, recevant Oued Ez'Zenad.
- Oued Ez'Zenad : naît au nord, recevant Oued de T'noukla.
- Oued El Malabiod : confluence des cours précédents, formant le principal collecteur du bassin.

Plus au sud, Oued Berzguène et Oued Saf Saf, ainsi que leurs affluents, drainent les eaux vers le Chott Melrhir. Le régime est caractérisé par un écoulement nord-sud, typique des rivières de l'Atlas saharien, bien qu'irrégulier et fortement dépendant des orages de fin de printemps et début d'automne.

E. Aperçu géomorphologique

Les études géologiques et géomorphologiques ont grandement contribué à la compréhension hydrologique de la région, notamment pour l'exploitation des eaux souterraines.

Le bassin d'El Malabiod présente plusieurs formes de relief caractéristiques :

1. **Plaines :**

Grandes étendues plates orientées Nord-Sud ou Nord-Est – Sud-Ouest, à faible dénivelé.

2. **Collines :**

Anciennes structures tectoniques issues du Miocène, pouvant soit piéger l'eau (s'il s'agit de matériaux imperméables) soit recharger la nappe phréatique (en cas de calcaires fissurés ou karstifiés).

3. **Bassin versant :**

Constitué de formations crétacées sur lesquelles reposent les dépôts miocènes.

4. **Cuvette miocène :**

Remplie d'argiles rouges, de sables et de grès, elle abrite une nappe phréatique importante exploitée par puits et forages.

5. **Lits d'oueds :**

Façonnés par l'érosion torrentielle, influencés par les précipitations irrégulières.

6. **Alluvions quaternaires :**

De faible importance hydrogéologique.

7. **Sources :**

Localisées au contact des formations crétacées et miocènes, bien qu'actuellement taries, sauf à Houidjbet (Ain Taga et Ain Mansoura).

8. **Barrières rocheuses :**

a) **Au nord :**

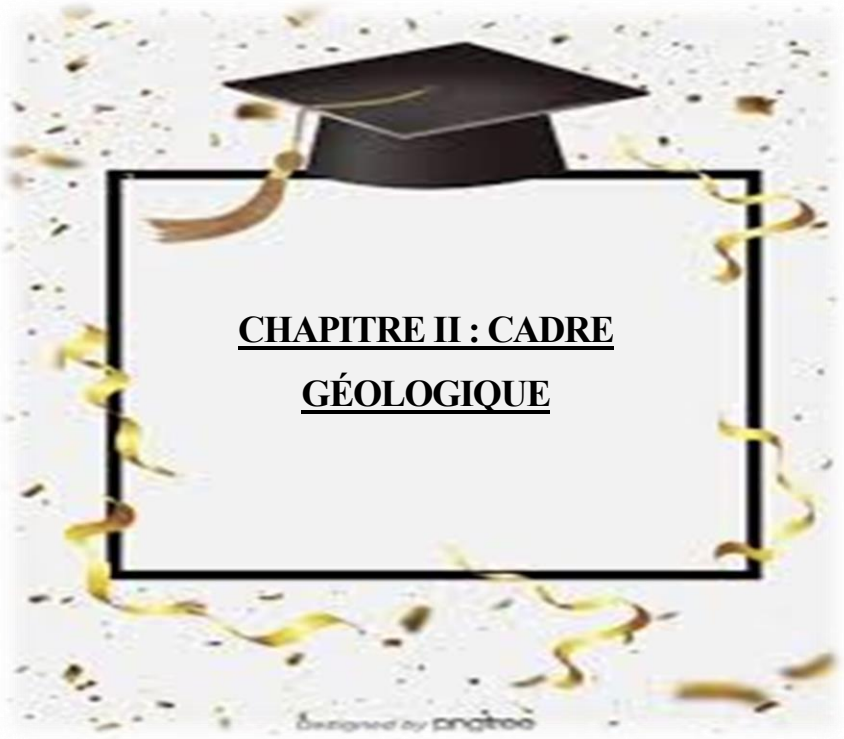
Au nord, une chaîne continue de 60 km comprenant les djebels Arrour, Doukkane (1 712 m), Tella, Anoual, et Bouroumane, séparant les bassins de la Mellègue et du Melhrir.

b) **Au sud :**

Au sud, les monts Fouwa, Botna et Saf Saf jouent un rôle similaire.

c) **Au centre :**

Au centre, les massifs de Boudjellal, El Outed et Ed'Dalaâ forment une troisième ligne montagneuse, divisant la plaine de Boudjellal (au sud) et celle d'El Malabiod (au nord).



CHAPITRE II : CADRE GÉOLOGIQUE

CHAPITRE II : CADRE GÉOLOGIQUE

I Introduction

La région d'El Ma El Abiod, située à la frontière algéro-tunisienne, fait partie intégrante de l'Atlas Saharien. Elle se caractérise par un relief contrasté, dominé par des formations calcaires orientées selon un axe sud-ouest/nord-est, séparées par une dépression mio-quaternaire, correspondant à une plaine cultivée.

Bien que la plaine d'El Ma El Abiod n'ait pas fait l'objet d'investigations géologiques détaillées, elle appartient à un ensemble géologique partiellement connu. Des travaux de forage et des études géophysiques ont été entrepris depuis les années 1970 pour la prospection en eau et en hydrocarbures.

- Le remplissage sédimentaire du sous-bassin de cette région est constitué de :
- Dépôts épicontinentaux variés en faciès et en épaisseur, orientés SW-NE (du Crétacé inférieur au Crétacé supérieur).
- Grès et argiles bariolées du Miocène.
- Formations triasiques d'origine germanique, affleurant sous forme des structures diapiriques.

A. Cadre géologique

La zone étudiée appartient à l'Atlas Saharien et prend la forme d'une plaine à faible pente, encadrée au nord et au sud par des plis de direction SW-NE. La limite septentrionale constitue la ligne de partage des eaux entre les bassins de la Medjerda et du Chott Melghir.

B. Stratigraphie et description des faciès

La zone étudiée TENOUKLA présente deux principaux ensembles stratigraphiques :

- Les affleurements de bordure d'âge crétacé.
- Les formations d'âge miocène à quaternaire, qui couvrent l'essentiel de la plaine.

Cette série est stratigraphiquement incomplète, notamment en raison de l'absence de dépôts éocènes.

1. Crétacé

d) Cénomanien

Les formations cénomaniennes affleurent de manière significative dans la partie sud-est de la zone d'étude, en contact tectonique direct avec les formations triasiques. Cette série stratigraphique est constituée principalement de marnes jaunes, parfois grises, et de bancs calcaires riches en fossiles (lumachelliques), témoignant d'un milieu marin peu profond et très

favorable au développement faunistique. Elle se distingue par une faune abondante composée notamment de Ostrea, Exogyra et Cardita.

L'épaisseur totale de cette série atteint environ 682 mètres, répartis comme suit, du bas vers le haut :

- 238 m d'argiles grises à gris foncé, carbonatées.
- 130 m d'alternances de calcaires gris clair et d'argiles grises à vert-gris, disposées en feuillets.
- 76 m de calcaires cryptocristallins gris à gris clair, avec intercalations d'argile feuilletée gris-vert.
- 73 m d'alternances d'argiles gris foncé et de calcaires gris à gris clair lumachelliques.
- 29,5 m d'argile gris-vert intercalée de calcaires blancs crayeux.
- 24,5 m d'alternances de calcaires lithographiques blancs et d'argile feuilletée gris à gris-vert.
- 39 m de calcaires cryptocristallins blancs à crème, parfois gris, de nature crayeuse.
- 72 m d'argiles gris-vert calcaires, fossilifères, devenant marneuses dans les 16 derniers mètres, avec des passages fins de calcaire gris blanchâtre et lumachellique.

e) <u>Turonien</u>

Les affleurements turoniens sont largement répartis dans la partie nord de la région, notamment à SIF Bouroumane, au Djebel El-Koreize et à Tenoukla. À la base de cette série, on trouve de façon constante des couches de calcaires marneux gris en petits bancs, d'une épaisseur ne dépassant pas 60 à 70 mètres.

Ces couches sont surmontées par une assise massive composée de calcaires beiges, de dolomies, ou encore de calcaires dolomitiques, avec la présence notable de nodules de silex dans la partie supérieure, caractéristique d'un environnement marin relativement profond.

Près de Tenoukla, le Turonien supérieur atteint 150 mètres d'épaisseur et présente, du haut vers le bas :

- Des marnes noires contenant du gypse.
- Des marno-calcaires gris sous forme de plaquettes.
- Des marno-calcaires noirs souvent lumachelliques, parfois à texture oignonée.
- Dans le secteur sud, au Djebel Ed-Dalaa, les affleurements consistent en calcaires, marnes et bancs calcaires variés. Le forage pétrolier Boudjellal-2, situé à environ 8 km à l'ouest de la ville d'El Ma El Abiod, a permis de mettre en évidence le profil suivant :
- 109,5 m de calcaires bruns, crayeux, faiblement dolomitiques et partiellement lumachelliques.

- 131,5 m de calcaires gris clair, compacts, avec des intercalations d'argile marneuse grise à gris foncé.

2. TERTIAIRE

a) Miocène

Selon les observations établies par G. Durozoy dans son rapport daté du 18 avril 1949, la plaine d'El Ma El Abiod est recouverte presque entièrement par des formations datant du Miocène.

En prenant comme repère la route nationale N16 orientée nord-sud, reliant Tébessa à El Ma El Abiod, on peut distinguer une répartition géographique des affleurements :

À l'est de la route, on retrouve essentiellement les formations du Miocène inférieur et moyen, qui apparaissent en affleurement de manière étendue.

À l'ouest, le Miocène supérieur prédomine, bien qu'il soit masqué localement par une faible Couverture alluviale.

Les deux ensembles représentent des séries transgressives qui recouvrent les formations plus anciennes, témoignant d'une avancée marine ou continentale sur les terrains antérieurs.

b) Miocène moyen et inférieur (Vindobonien et Burdigalien)

Ces formations se présentent sous forme de séries gréseuses blanches à brunâtres, souvent enrichies en oxydes de fer, ce qui leur confère un aspect ferrugineux. Elles apparaissent sous une mince couverture alluviale, ce qui facilite leur reconnaissance sur le terrain.

Par endroits, on observe des poudingues siliceux, eux aussi ferrugineux, avec des intercalations de marnes jaunes à vertes, comme indiqué dans la figure 5 du document de référence.

Dans la région de Hadjar Sefra, les niveaux supérieurs de cette série sont particulièrement durs et prennent un caractère conglomératique très marqué.

L'épaisseur de cette série est très variable, allant de 45 mètres à 1480 mètres, selon les résultats obtenus par les forages hydrauliques réalisés dans la région.

c) Miocène supérieur (Pontien)

Dans la zone de Tenoukla, le Pontien est bien représenté par des marnes rouges d'origine continentale.

Ces marnes sont généralement homogènes, bien que l'on note localement la présence de niveaux bariolés peu fréquents.

Ces dépôts traduisent un environnement continental, probablement à influence fluviatile ou lacustre, caractéristique du Miocène supérieur dans cette partie de l'Atlas Saharien.

3. TECTONIQUE :

Dans la région étudiée, plusieurs phases tectoniques se sont succédé, alternant entre des régimes distensifs (extension) et compressifs (compression). La figure 6 illustre l'existence de quelques failles supposées affectant les formations géologiques récentes.

Au cours de l'Éocène inférieur à moyen, un contexte tectonique distensif a permis l'installation d'un milieu en subsidence, favorable au dépôt de sédiments marins de type néritique.

Une phase compressive à la fin de l'Éocène (correspondant à la transition entre le Lutétien final et le Priabonien) s'est développée, avec une direction principale de compression orientée nord-ouest – sud-est (NW-SE). Cette phase est à l'origine des plissements et du soulèvement de la chaîne de l'Atlas.

À la suite d'une phase d'érosion durant l'Oligocène, une nouvelle phase tectonique distensive au Miocène a conduit à la formation du bassin en subsidence d'El Ma El Abiod. Cette subsidence a permis une incursion marine durant les étages du Langhien au Serravallien, suivie de dépôts sédimentaires de type deltaïque. La fin de cette période est marquée par une diminution progressive de la subsidence, qui finit par s'arrêter complètement, ce qui a permis la formation d'une croûte ferrugineuse à la fin du Serravallien.

Une réactivation du régime distensif a par la suite permis la formation d'un nouveau bassin en subsidence à l'ouest de la zone de Hadjer Sefra, rempli probablement de sédiments datant du Tortonien.

Dans le cadre de la feuille géologique de Tébessa (selon G. Durozoy, 1956), la phase dite fini-lutétienne se manifeste par des structures tectoniques marquées, telles que le synclinal Djebel Dyr – Gastel – Kef Rebiga (région de Tazbent). Vers le sud-est, cette structure est suivie par l'anticlinal de la forêt Rbaïa – Gouraya et par le synclinal d'El Kouif, bien visibles sur la feuille de Morsott (selon J.L. Bles et J.F. Fleury, 1970).

La phase tectonique du Pliocène inférieur a modifié les directions héritées de la tectonique atlasique, en engendrant de nouvelles structures, comme :

- L'anticlinal de Bled Tebega,
- Le synclinal de Draa Snouber,
- L'anticlinal de Bir Salem,

Et une série d'anticlinaux alignés : Djebel Kechrid, Djebel Sif, Djebel Bouroumane, Djebel Khorza, Djebel Tella et Djebel Anoual.

Ces structures conservent partiellement l'orientation héritée de la phase atlasique, ce qui est particulièrement visible dans la complexité structurale du Djebel Bouroumane. Cette phase tectonique est interprétée soit comme une flexure (J.M. Vila, 1996), soit comme une structure polyphasée (W.M. Kowalski et al., 1996 ; K. Bouffa et al., 1996).

Le plissement du Djebel Kechrid durant le Pliocène inférieur a favorisé la mise en place de séries miocènes basales en bordure du bassin d'El Ma El Abiod, notamment aux environs de Mechta Ben Falia, Aïn Ksob et Aioun.

Le régime distensif associé à cette phase a entraîné :

L'effondrement du fossé de Foussana, accompagné d'un effondrement partiel de l'anticlinal de Djebel Kechrid.

Il est probable que cet effondrement ait été simultané à celui du fossé de Morsott, bien qu'il ait précédé celui du fossé de Tébessa (daté du Pliocène supérieur – Villafranchien).

La phase distensive du Pliocène a également favorisé le diapirisme (remontée de matériaux profonds) au niveau du Djebel Djebissa. L'influence des couches triasiques se fait sentir dès le Crétacé inférieur (Albo-Aptien) par un amincissement local des séries sédimentaires, déposées directement au-dessus du Trias, mais sans apparition de structures diapiriques à cette époque.

Une seconde phase compressive locale, datée du Plio-Quaternaire, a été identifiée par plusieurs auteurs (Morel, 1957 ; Bles, 1969 ; Zerdazi, 1990 ; Bouffa et al., 1996). Elle s'est traduite par la formation de plis orientés NNW–SSE, parallèles au fossé de Morsott, que l'on nomme :

- L'anticlinal de Djebel Belkfif,
- Le synclinal de l'Oued Faid El Obbiz.
- Enfin, la phase distensive a eu deux conséquences majeures :
- La formation du fossé d'effondrement de Tébessa, accompagnée du basculement de structures plus anciennes ;
- Une reprise de l'activité diapirique au niveau du Djebel Djebissa.

a) <u>Style tectonique :</u>

Dans la zone concernée par l'étude, deux orientations structurales majeures sont clairement identifiables. Ces directions sont particulièrement visibles à travers différents phénomènes géologiques tels que les plis, les flexures, les allongements des bassins sédimentaires, ainsi que les fractures (cassures).

Ces structures influencent aussi bien la morphologie du relief que, dans une certaine mesure, le réseau hydrographique. Les deux orientations dominantes sont sud-ouest – nord-est (SW-NE) et est – ouest (E-W).

Les plis présents dans cette région sont typiques de ceux que l'on rencontre habituellement dans la chaîne de l'Atlas saharien. Ils appartiennent à la catégorie dite des plis isobathes, ce qui signifie qu'ils proviennent de niveaux structuraux intermédiaires, ni trop profonds ni trop superficiels. Ces plis sont généralement étroits, très resserrés, avec des plans verticaux, ce qui témoigne d'un raccourcissement important du couvercle sédimentaire (la couverture géologique qui repose sur le socle).

En revanche, le socle cristallin sous-jacent, étant beaucoup plus rigide, n'a pas subi les mêmes déformations que la couverture. Cela signifie que les mouvements tectoniques ont principalement affecté la couverture, sans réellement impliquer la déformation du socle. On parle donc d'un régime de tectonique de couverture, typique des contextes où les déformations affectent les couches supérieures, sans transmission significative aux structures plus profondes.

b) <u>Cadre structural :</u>

L'Atlas saharien oriental, à l'instar des autres grandes structures géologiques d'Algérie, a connu au fil du temps une succession de phases tectoniques marquées et d'épisodes de déformation qui ont modelé le relief tel qu'on l'observe aujourd'hui.

On peut regrouper ces événements géodynamiques majeurs en trois grandes phases tectoniques, correspondant à trois périodes géologiques distinctes :

- **<u>Phase tectonique mésozoïque (ère secondaire) :</u>**

Il s'agit de la plus ancienne phase tectonique identifiée dans la région du nord-est algérien. Elle se manifeste par des sédiments du Trias, qui témoignent d'une période caractérisée par une distension tectonique (ouverture) accompagnée de volcanisme de type basique, c'est-à-dire un volcanisme peu visqueux, en lien avec des remontées magmatiques.

Pendant cette phase, la sédimentation était dominée par des dépôts argileux et gypseux, indiquant un milieu semi-fermé, évaporitique.

- **<u>Phase tectonique tertiaire (ère cénozoïque) :</u>**

Cette phase plus récente comprend plusieurs événements tectoniques majeurs répartis en trois sous-phases :

✓ Une phase compressive NW-SE, appelée aussi phase atlasique, durant laquelle les chaînes de montagnes ont subi des forces de compression orientées du nord-ouest vers le sud-est, provoquant le plissement des couches sédimentaires.

✓ Une phase distensive NE-SW, marquée par l'ouverture de grabens (fossés tectoniques), en raison de forces d'extension qui ont fracturé la croûte et entraîné l'effondrement de blocs.

Une phase compressive NNW-SSE à N-S, connue sous le nom de phase villafranchienne, au cours de laquelle de nouvelles déformations compressives se sont produites, modifiant les structures existantes.

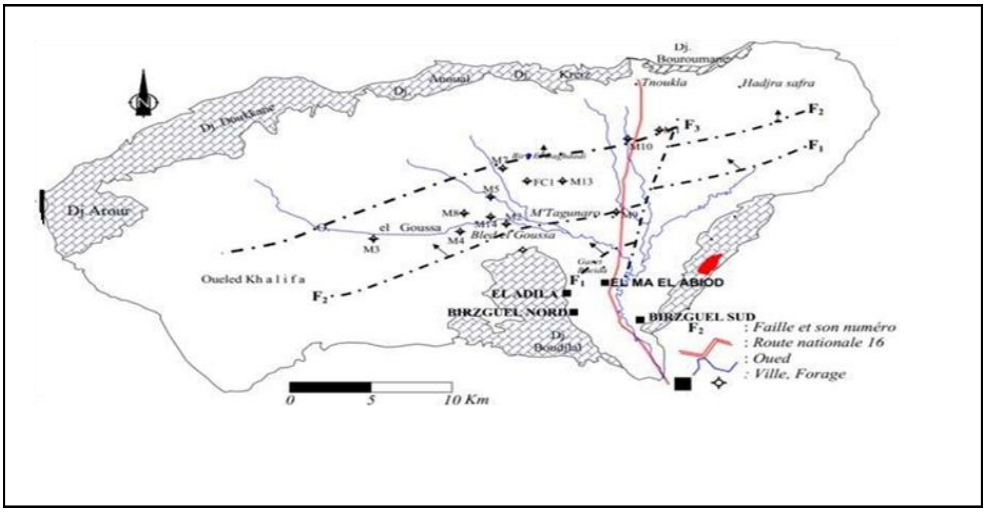


Figure 5: carte du système de faille (UGF-BRNO1971). (H. Taib)

- **<u>Phase tectonique quaternaire :</u>**

Durant cette période, la région a connu une reprise de l'extension tectonique. Cette activité a provoqué un redressement des couches géologiques du Pliocène supérieur (villafranchien), en particulier le long de la bordure nord-est de Djebel Belkfif, selon les travaux de Blés (1969).
Ce contexte distensif s'est aussi traduit par des décrochements en directions NE-SW et NW-SE, notamment autour de la zone de Sellaoua.

Dans les zones de piémont (avant-pays), cette phase est marquée par une subsidence active, correspondant à une migration de matériel vers le sud, amorcée à la fin du Burdigalien (Miocène) et qui s'est intensifiée durant le Pliocène.

- **<u>Mouvements récents :</u>**

La tectonique récente, responsable de la formation du fossé d'effondrement d'El Ma El Abiod, n'a pas affecté les structures plissées plus anciennes.

Selon Dubourdieu (1956), il s'agit d'une tectonique propre aux formations autochtones de l'est de l'Algérie et de la Tunisie.
On observe un contraste net dans l'intensité des déformations entre :

- ✓ D'un côté, les formations crétacées, affectées par des fractures visibles, comme celles qui traversent la falaise turonienne de Tnoukla ou la dislocation de l'anticlinal cénomanien-turonien de Draa M'Ta Abiod.
- ✓ Et de l'autre, les formations miocènes, qui montrent des plissements visibles dans les grès miocènes du col de Tnoukla.

Ces déformations sont associées à la phase compressive atlasique, orientée selon un stress principalNN-SE.

Elles résultent de glissements tectoniques importants affectant le socle au cours du Plio-Quaternaire.

L'ouverture des grabens (fossés) est due à des fractures de distension, générées par des mouvements tectoniques liés à la dynamique méditerranéenne, notamment dans la région d'El MaElAbiod.

Ces fractures sont orientées NE-SW et peuvent atteindre jusqu'à 30 km de longueur.

Parmi les failles principales identifiées dans la région (voir figure 07), on distingue :

- ✓ F1 : Faille située à l'est de la ville d'El Ma El Abiod, d'environ 6 km de long.
- ✓ F2 : Faille avec un décrochement important, traversant le centre de la plaine. Elle commence dans l'axe NE-SW, puis change d'orientation vers E-W à proximité du village d'El Houidjbate. Le rejet mesuré est d'environ 30 km.
- ✓ F3 : Faille marquant la partie nord de la plaine, également en NE-SW, avec un rejet évalué à 220 mètres.

4. Les principaux caractères structuraux de l'Atlas Saharien oriental

a) Failles décrochantes et blocs basculés :

Les données géologiques recueillies à la frontière algéro-tunisienne, combinées à l'analyse des profils sismiques et des cartes aéromagnétiques, notamment dans les régions de Hameimat et des monts de Tébessa (voir fig. 7), révèlent une structure en blocs basculés. Ces blocs sont orientés selon deux principales directions (NW-SE et WNW-ESE) et penchent généralement vers le NE à ENE. Ils sont associés à des failles orientées NNE-SSW, des directions qui correspondent à l'héritage tectonique hercynien affectant le socle permo-mésozoïque d'Afrique du Nord.

Ces failles étaient déjà actives à la fin de l'Albien et probablement encore au Cénomanien-Turonien. Elles prolongent le système de failles de l'Atlas tunisien central. Ces structures sont encadrées par des failles ENE-WSW et NE-SW, qui délimitent les marges du bassin, telles que la faille nord atlasique et celle de la dorsale de Kasserine.

Les failles ont également été influencées par une activité halocinétique débutant à la fin du Barrémien ou à l'Aptien. Cette activité a entraîné des mouvements de bascule des blocs, créant

un relief différencié entre hauts-fonds et dépressions. Les zones basses ont accumulé des sédiments marins, tandis que les hauts-fonds ont été marqués par des dépôts carbonatés récifaux ou péri-récifaux, souvent interrompus par des épisodes d'émersion, provoquant des lacunes sédimentaires et l'amincissement des couches.

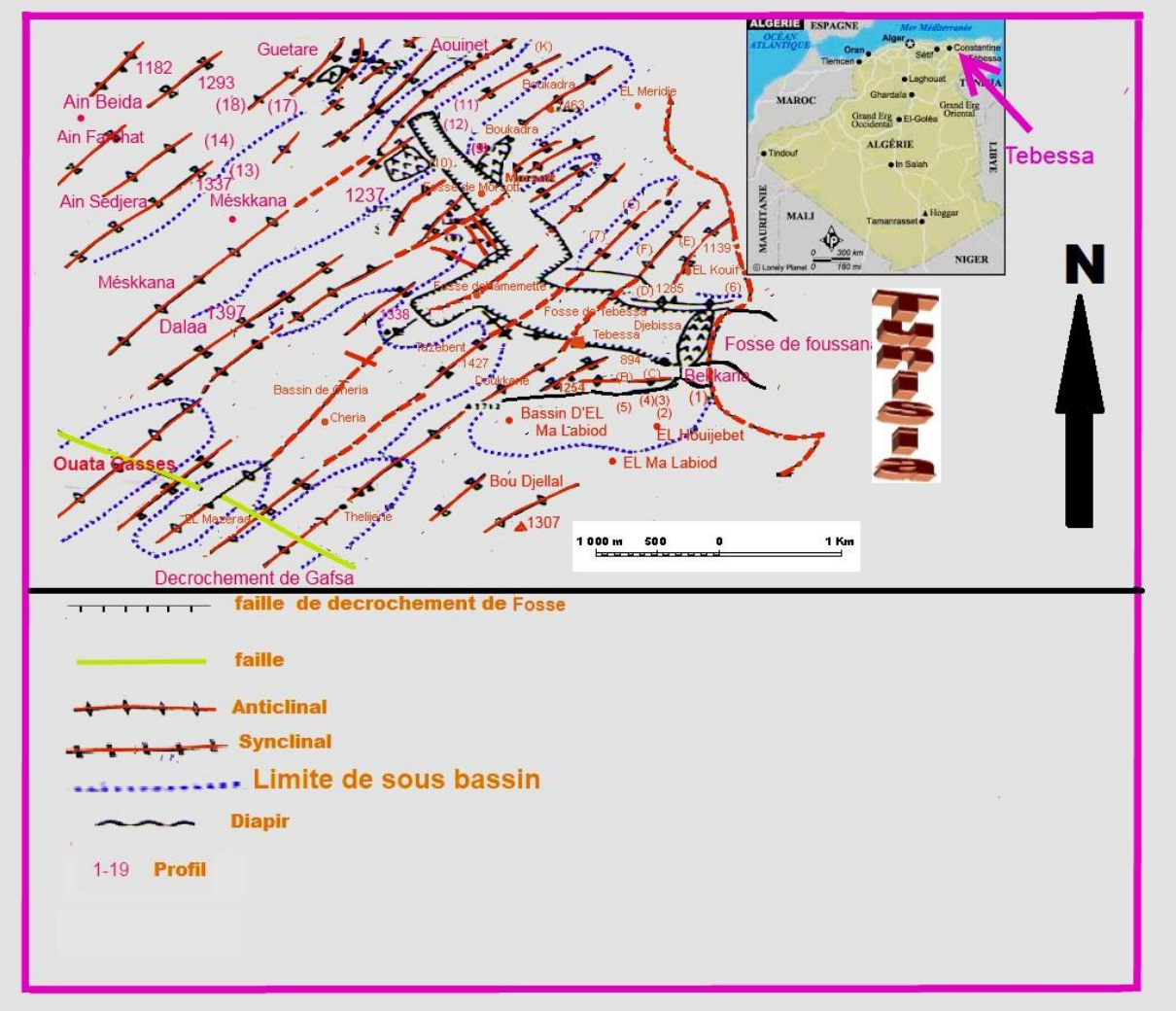


Figure 6: Esquisse tectonique de pays nord-est de l'Atlas Saharien des confins algéro- Tunisiens emplacement des directions des contraintes maximales, (W.M.Kowalski,A.Boudoukha, M.A.Hemila, A.Pharisat, 1977, modifié par M.Hamimed, 2004). Et modifié par Dr.DEFAFLIA. N et TAIBE. H,2016

b) **<u>Fossés d'effondrement et subsidence :</u>**

De nombreux grabens (fossés d'effondrement) jalonnent la région, orientés selon les axes NW-SE à E-W. Ces structures sont attribuées à une activité tectonique intense, soit à une phase

d'extension postérieure au Miocène inférieur, selon Dubourdieu (1956), soit à des failles normales liées à la subsidence des bassins, comme proposé par Kowalski et Hamimed (2000).

Ces grabens sont comblés par des dépôts quaternaires, et leur subsidence est toujours en cours. Parallèlement, les marges de ces fossés continuent de s'élever. Le substratum de cette région montre une alternance de blocs surélevés (horsts) et de zones affaissées (grabens), illustrant une tectonique en mosaïque.

c) **Diapirisme :**

La région frontalière entre l'Algérie et la Tunisie est une zone à forte dominance diapirique. Un axe diapirique ininterrompu s'étend depuis Biskra (diapir d'El Outaya) jusqu'à Batna (diapirs de Maafa et Khenchela), puis Tébessa (diapirs d'Ouenza, Boukhadra, Mesloula), et se prolonge vers la Tunisie jusqu'au Chibra. Cet alignement est remarquable par sa continuité et l'abondance de matériel triasique affleurant en surface.

Les formations triasiques, constituées de marnes gypsifères plastiques et peu denses, réagissent à la moindre déformation en s'infiltrant dans les zones où leur couverture sédimentaire est affaiblie. La mise en place des diapirs dépend de divers mécanismes qui provoquent des perturbations dans les couches géologiques sus-jacentes.

Ces effets se manifestent par des plis, des redressements verticaux, du laminage dans les calcaires, des contacts anormaux entre couches, voire des extrusions de marnes salifères. Dans d'autres cas, le Trias remonte sans atteindre la surface, se contentant d'écarter les failles ou de déformer les couches au-dessus. Des structures dures du Crétacé peuvent même être repoussées vers le haut par cette poussée triasique.

Une théorie, appelée « glacier de sel » (J.M. Vila, 1993), a tenté d'expliquer ce phénomène, mais elle a été critiquée et rejetée par plusieurs chercheurs, dont A. Bouzenoune (1995) et S. Salim-Laouar (1998), qui ont montré l'absence de telles structures dans certaines régions. Les travaux gravimétriques de Zerdazi (1990) ont confirmé les effets diapiriques en profondeur.

Kowalski et Hamimed (1997 et 2000) ont identifié quatre phases principales de diapirisme : Albo-Aptien, Burdigalien, Langhien-Serravalien et Mio-Plio-Quaternaire. Ces phases coïncident avec des épisodes tectoniques extensifs ayant favorisé l'effondrement des bassins et la montée des évaporites. Ce constat remet en cause la validité de la théorie du « glacier de sel ».

d) **Ressources minérales et substances utiles :**

Dans cette région, plusieurs ressources sont exploitées :

- ✓ Hématite au sommet du Djebel Djebissa ;
- ✓ Plomb à Khanguet El Mouhad ;

- ✓ Phosphate à El Kouif dans des formations éocènes ;
- ✓ Calcaires turoniens et maestrichtiens comme matériaux de construction ;
- ✓ Sables utilisés pour le verre et la construction ;
- ✓ Argiles miocènes utilisées par l'usine de ciment d'El Ma El Abiod.

- **<u>Paléogéographie</u>**

  Dans la région de Tenoukla, la formation géologique autochtone le plus ancien visible en surface remonte à l'Aptien, comme le montre l'anticlinal de Bouroumane. Toutefois, grâce au forage pétrolier de Boudjelal, on a pu atteindre des couches plus anciennes, notamment le Barrémien à environ 2890 mètres de profondeur, et le Néocomien à 3368 mètres.

  Le Néocomien se caractérise par des dépôts marins peu profonds, avec des dolomies fines contenant des huîtres, typiques d'un environnement néritique (mer peu profonde proche des côtes). Sous cette couche, les sédiments montrent une alternance de dolomies, dolomies calcaires, grès et argiles, indiquant un contexte marin influencé par des apports continentaux.

  D'après Burollet (2004), un épisode d'émersion au Jurassique supérieur, au sud de la région, a entraîné l'apport de matériaux détritiques (terrains sédimentaires issus de l'érosion), surtout dans la région de Tataouine (Tunisie).

  Au Néocomien inférieur, le milieu redevient une mer peu profonde, marquée par la disparition des apports détritiques. Cependant, A. Jouzein (1962) note un début de régression marine à l'Hauterivien, qui favorise progressivement des dépôts de nature continentale. Cette régression atteint son maximum au Barrémien, période durant laquelle on enregistre des couches gréseuses de plus de 400 mètres d'épaisseur, comme observé dans le forage BJD2.

  Burollet (1956) et Jouzein (1962) précisent que toute la Tunisie centrale était alors recouverte de sables d'épaisseur variable. Cet afflux sédimentaire d'origine méridionale reflète une reprise de l'activité orogénique (formation des reliefs) qui a duré du Néocomien inférieur à l'Aptien inférieur. Durant cette phase, l'érosion des terres émergées au sud alimente les bassins au nord.

  Cette régression régionale se termine à l'Aptien inférieur, marqué par le retour d'une transgression marine. On observe alors une sédimentation marine peu profonde, dominée par des dépôts carbonatés de type plate-forme, accompagnée d'une subsidence plus marquée vers le nord.

  Au début de l'Albien, on constate une diminution spatiale des dépôts carbonatés. À El Ma El Abiod, les sédiments deviennent majoritairement calcaro-argileux, plus profonds que les dépôts précédents. Ils sont suivis par de nouvelles formations carbonatées.

  Dans le secteur de Morsott Nord, les faciès carbonatés de plate-forme dominent, tandis qu'autour de l'Ouenza, les dépôts sont plus marneux et terrigènes. L'épaisseur des dépôts albiens reste

faible dans la zone d'étude, ne dépassant pas 100 m en surface et 250 m en profondeur, contre 700 m plus au nord, signe de mouvements tectoniques affectant la sédimentation.

Dès l'Aptien supérieur, une zone de haut-fond commence à se dessiner. Villa (1980) associe cette réduction sédimentaire au début du diapirisme triasique. La fin de l'Albien et le début du Cénomanien voient revenir des dépôts terrigènes calcaro-argileux, avec un enfoncement accru de la plate-forme.

Toujours selon Villa (1980), le paysage crétacé de cette époque pourrait être comparé aux côtes basses et estuaires actuels du Sénégal. Pendant la période cénomanienne, la mer peu profonde (épineritique) s'étend uniformément sur la région, avec des sédiments marins homogènes.

Le début du Turonien est marqué par une domination des dépôts carbonatés récifaux, témoins d'une mer agitée, bien renouvelée. Ces formations montrent une nette réduction d'épaisseur (environ 30 m), un phénomène déjà observé par Blès (1970) dans la région de Kasserine, où il s'explique par l'apparition de formations deltaïques. Il est probable que l'île de Bouroumane soit apparue durant cette époque.

II Conclusion

L'analyse géologique de la région de Tenoukla permet de formuler quelques observations majeures sur son évolution :

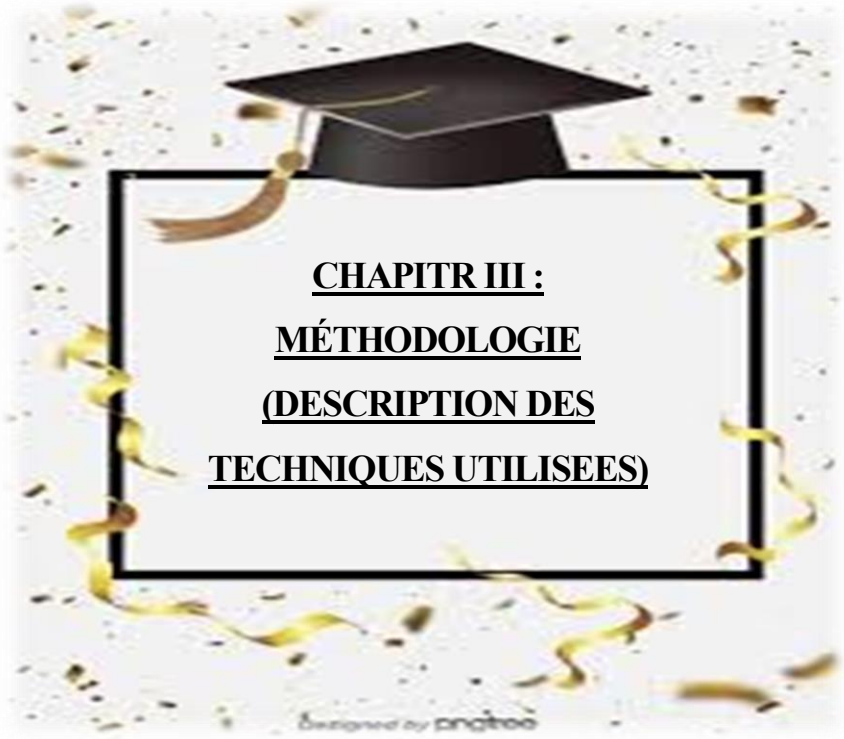
- La région appartient à l'Atlas Saharien, structurée par des plis orientés NE-SW, visibles au nord comme au sud.
- Elle constitue un haut plateau divisé en deux grands ensembles :

  Les affleurements périphériques de l'ère crétacée ;

  Les formations miocènes et quaternaires, qui remplissent toute la plaine centrale.

  La structure actuelle du secteur semble résulter de deux phases orogéniques majeures, chacune accompagnée de divers phénomènes tectoniques.

  La plaine prend l'aspect d'une cuvette, dont le socle crétacé, composé de calcaires et de marnes, est séparé des formations miocènes par des éboulis perméables, agissant comme une zone de transition géologique et hydrogéologique.



CHAPITR III :
MÉTHODOLOGIE
(DESCRIPTION DES TECHNIQUES UTILISEES)

CHAPITR III : MÉTHODOLOGIE (DESCRIPTION DES TECHNIQUES UTILISEES)

I INTRODUCTION :

Les méthodes d'étude que nous avons employées sont de deux ordres et exposées en détail. Un chapitre est consacré aux méthodes sédimentologiques et aux analyses chimiques qui permettent de mettre en évidence les actions climatiques qui ont procédé aux dépôts et à la transformation des sédiments. Dans le cadre de ce travail, nous avons étudié les prélèvements dans le but de contribuer à définir la granulométrie, et le paléoclimat de ce remplissage. Les deux ordres sont :

- Étude de terrain.
- Étude en laboratoire.

A. Etude de terrain (non réalisée directement) :

Aucune sortie de terrain n'a été effectuée. L'étude repose sur des données de terrain antérieurement acquises dans la région de Tnoukla. Ces données comportent des descriptions macroscopiques des niveaux stratigraphiques observés sur place, fournissant les éléments nécessaires à l'analyse de l'évolution verticale et latérale de la terrasse étudiée.

1. Établissement de la stratigraphie :

La stratigraphie distingue les couches géologiques liées à des modalités spécifiques de dépôt des altérations pédologiques postérieures pouvant les avoir affectées. Un même sol peut ainsi recouvrir plusieurs unités stratigraphiques, ou bien une même couche peut avoir subi plusieurs phases de pédogenèse.

2. Description des niveaux :

Chaque niveau décrit selon plusieurs critères :

L'épaisseur moyenne.

La texture.

La couleur.

La forme et la nature des limites

La structure observable à l'œil nu (macro –structure).

Les particularités du niveau s'il en présente : hydromorphie, taches, racines, outils préhistoriques ….etc.).

La porosité (porosité plus élevée dans des sols à texture fine (argile) que des sols à texture grossière (sable) ; estimation à partir de l'analyse granulométrique.

3. Echantillonnage :

Un échantillonnage systématique avait été réalisé lors des travaux précédents sur les coupes stratigraphiques, avec des prélèvements tous les 5 cm puis tous les 10 cm selon les niveaux. Chaque échantillon correspondait à une tranche verticale définie de la terrasse. Les échantillons ont été ensuite analysés en laboratoire à l'aide de différentes méthodes : calcimétrie, morphoscopie des grains de quartz, exoscopie, ….etc.).

B. ETUDE AU LABORATOIRE

1. Calcimètrie

Cette méthode permet de connaitre le taux des carbonates au niveau d'un sol par réaction avec HCl. Pour cela nous allons utiliser le calcimètre Bernard.

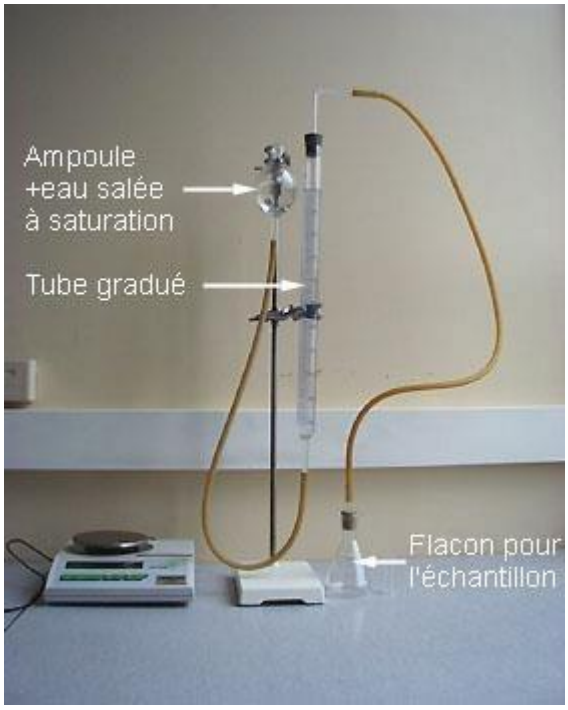


Figure 7: Calcimètre de Bernard et son support

Un calcimètre permet de mesure le volume de CO2 dégagé par action de l'acide chlorhydrique (HCl) sur le carbonate de calcium (CaCO3) d'un échantillon de sol ou de roche.

a) Appareillage

Un calcimètre Bernard est composé de :

Une ampoule

Un tube gradué de 100 cm3

Un Erlenmeyer de 100 cm3

Un petit tube en verre environ deux fois moins haut que l'Erlenmeyer

Deux bouchons à 1 trous adaptés au tube gradué et à l'Erlenmeyer

b) <u>Mode opératoire :</u>

Préparer une solution saturée de NaCl

Remplir l'ampoule à mi-hauteur de cette solution (si on utilise de l'eau non salée une partie du CO2 dégagé va se dissoudre dans l'eau et le résultat sera faussé)

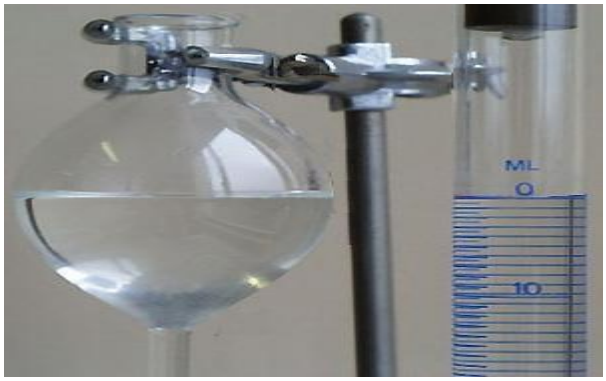


Figure 8: Ballon de dégagement – Calcimètre de Bernard

Tarer la balance puis peser 0.25 de l'échantillon broyé

Placer dans l'Erlenmeyer l'échantillon.

Coller une boulette de pâte à modeler sous le petit tube.

A l'aide d'une pipette, verser dans le tube de l'HCl concentré.



Figure 9: Flacon de réaction – Calcimètre de Bernard

A l'aide d'une grosse pince, mettre en place le tube dans l'Erlenmeyer puis reboucher l'Erlenmeyer.

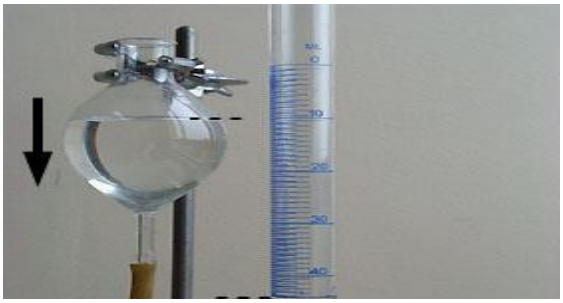


Figure 10: Lecture du volume de gaz – Étape finale du calcimètre de Bernard.

Modifier la hauteur de l'ampoule de manière à ce que l'eau salée soit au même niveau dans l'ampoule et le tube gradué. Le contenu de l'Erlenmeyer sera alors à la pression atmosphérique. Noter le niveau

c) La mesure

Incliner l'Erlenmeyer afin de faire couler l'acide sur l'échantillon.

Reposer l'Erlenmeyer et attendre la fin de l'effervescence. Pour une mesure précise, il convient d'attendre un rééquilibrage de la température avec celle de l'air ambiant. La pression dans le tube gradué est alors supérieure à la pression atmosphérique. Il convient de rétablir la pression atmosphérique en descendant l'ampoule jusqu'à obtenir le même niveau dans l'ampoule et le tube.

Le CO2 dégagé est maintenant à pression atmosphérique : on peut faire

La mesure Ouvrir l'Erlenmeyer ; ajouter un peu d'acide sur l'échantillon. Vérifier que l'acide était bien en excès et que tout le CaCO3 a été attaqué.

d) Teneur en CaCO3

$CaCO_3 + 2\ HCl \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$

Si l'acide HCl est en excès, son action sur une mole de CaCO3 (100g/mol) libère une mole de CO2 (22,4 l soit 22400 ml).

Connaissant le volume de CO2 dégagé (niveau final - niveau initial), faire un produit en croix pour calculer la masse de CaCO3 attaquée. Connaissant la masse de CaCO3 et la masse de l'échantillon, faire un produit en croix pour calculer le pourcentage de CaCO3 dans l'échantillon.

2. Morphoscopie des grains de sable :

a) Principe

Cette étude repose sur la classification des grains de quartz à l'aide d'une loupe binoculaire, en fonction de leur forme et de leur aspect.

b) Objectifs

Déterminer les caractéristiques morphoscopique des différents échantillons de grains de quartz.

Établir le lien entre ces caractéristiques et la nature, l'intensité et la durée d'action des agents de transport.

c) Matériel nécessaire

Grains de quartz issus de différents milieux.

Loupe binoculaire.

Épingle.

d) Mode opératoire

Préparer l'échantillon de sable selon la méthode utilisée dans l'étude granulométrique.

Sélectionner, à l'aide de tamis, les grains de diamètre compris entre 0,4 mm et 1,6 mm.

Observer 100 grains de quartz à la loupe binoculaire, en les disposant sur un fond noir avec éclairage latéral.

Déterminer le pourcentage de chaque type de grain : NU, EL et RM.

e) Types de grains observés



Figure 11: Types de grains de quartz

NU (Non Usés) : Grains transparents à angles vifs, récemment érodés, indiquant un transport court par l'eau en milieu fluviatile ou glaciaire.

EL (Émoussés Lisses) : Grains transparents et luisants à angles émoussés, indiquant un transport prolongé par l'eau (rivière ou plage).

RM (Rond-Mats) : Grains ronds, semi-transparents, très émoussés, témoignant d'un transport éolien sur une longue distance (milieu désertique).



CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

CHAPITRE IV : RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

I Analyse calcimétrique des échantillons

A. Introduction

Dans le cadre de cette étude, l'analyse calcimétrique a été réalisée afin de déterminer la teneur en carbonate de calcium ($CaCO_3$) des différents niveaux stratigraphiques prélevés au sein des formations miocènes de la région de Tenoukla. Cette analyse permet de mieux comprendre l'évolution sédimentaire et diagenétique des dépôts, en fournissant des indications précieuses sur les apports carbonatés, le milieu de dépôt, et la stabilité chimique du sédiment à travers le temps.

1. Résultats obtenus

Les résultats de la teneur en $CaCO_3$ sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 2: Teneur en $CaCO_3$ (%) selon la profondeur

Profondeur (m)	Niveau	$CaCO_3$ (%)
-40	1	37,73
-95	2	37,98
-130	3	40,40
-155	4	44,57
-185	5	46,52
-255	6	40,22
-300	7	38,99
-390	8	36,37
-460	9	39,88
-520	10	45,21
-550	11	38,03
-585	12	46,78

Également illustrées dans les figures ci-dessous :

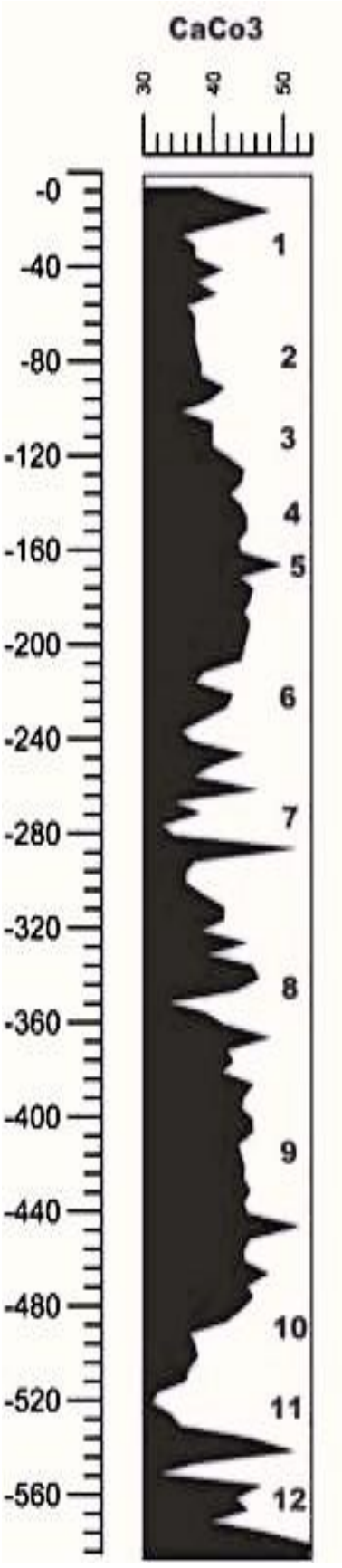


Figure 12: Profil vertical de la teneur en $CaCO_3$.

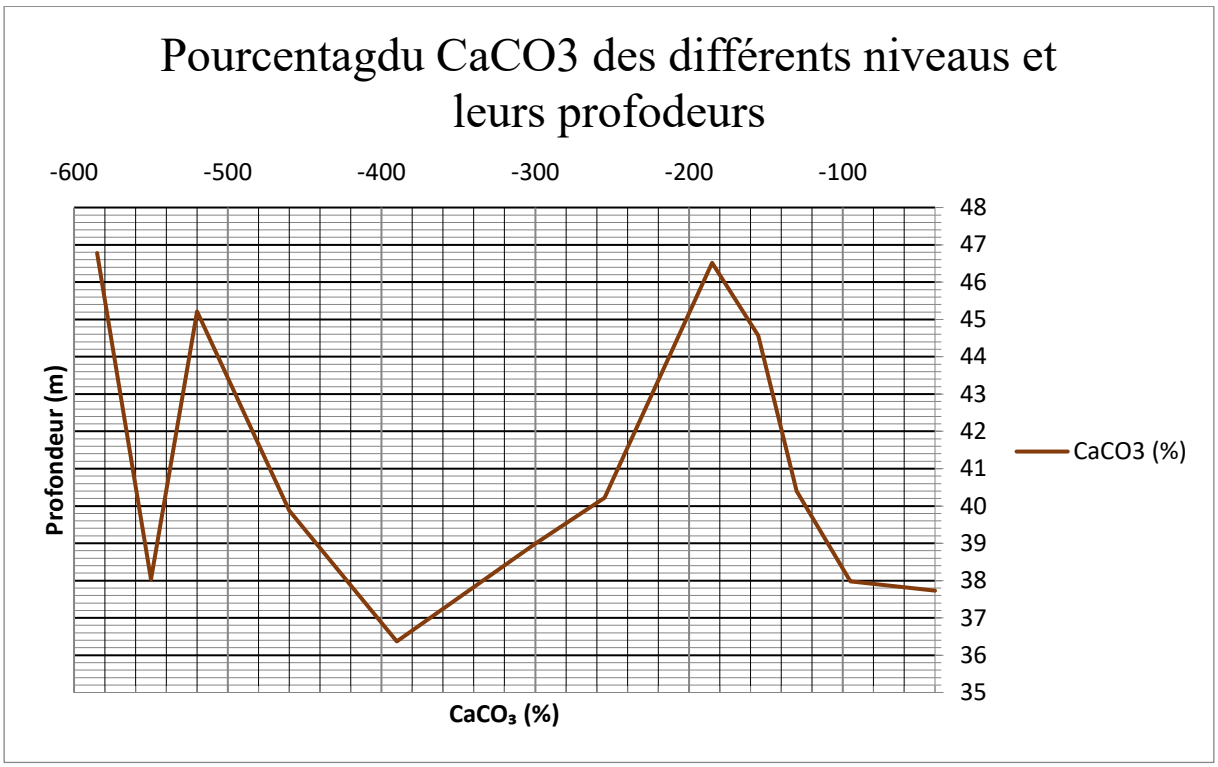


Figure 13: pourcentage du CaCO3 des différents niveaux et leurs profondeurs

L'analyse des résultats montre une variation importante de la teneur en $CaCO_3$ entre les différents niveaux, avec des valeurs oscillantes entre 36,37 % (niveau 8 à -390 m) et 46,78 % (niveau 12 à -585 m).

Les valeurs les plus élevées (niveaux 5, 10 et 12) indiquent des apports carbonatés importants, probablement en lien avec un milieu de dépôt calme, riche en bioclastes (coquilles, fragments carbonatés) ou une précipitation chimique accentuée dans un environnement évaporitique.

Les valeurs les plus faibles observées notamment aux niveaux 8 et 1 (autour de 36–38 %) pourraient refléter une dilution par des apports détritiques (silice, argiles), ou un milieu de dépôt plus énergétique ayant réduit la concentration carbonatée.

Le pic le plus bas enregistré à -390 m pourrait aussi traduire une phase d'apport terrigène plus marquée, peut-être liée à une régression ou à un changement climatique ou tectonique temporaire.

Globalement, la tendance montre une alternance régulière entre enrichissement et appauvrissement en carbonates, ce qui traduit une dynamique sédimentaire variable. Ces fluctuations sont caractéristiques des environnements semi-arides à alternance fluviatile-éolienne, ce qui est cohérent avec le cadre paléogéographique déjà défini pour la région de Tenoukla.

B. Conclusion

Les teneurs en $CaCO_3$ des différents niveaux indiquent une hétérogénéité significative dans la composition des dépôts miocènes. Ces résultats traduisent des changements de conditions de dépôt liés à des facteurs climatiques, hydrodynamiques, ou encore à l'apport variable de matériel détritique. L'analyse calcimétrique constitue donc un outil complémentaire fondamental dans l'interprétation de la dynamique sédimentaire de la région étudiée.

II Analyse morphoscopique

A. Introduction

L'étude des grains de quartz est indispensable pour déchiffrer les anciens environnements sédimentaires et décoder les mouvements géologiques. En examinant les attributs morphoscopique des particules (dimension, configuration, texture de surface, provenance et mode de transport), on peut déduire les conditions de dépôt et apprécier les mécanismes géologiques responsables de la formation de ces sédiments. Ce segment expose les conclusions de l'examen morphologique et géologique des grains de quartz dans la zone d'étude, puis poursuit avec les interprétations géologiques et économiques qui y sont liées.

1. Point de vue – géologique :

Les grains de quartz examinés présentent une large gamme de tailles, formes et textures de surface, reflétant ainsi la diversité des milieux de dépôt. Voici un résumé des principales caractéristiques de chaque type de grain présenté dans le tableau :

Tableau 3: Classification granulométrique et morphoscopique du quartz étudié

Type de grain	Taille (mm)	Forme	Surface	Origine	Mode de transport	Exemple ou usage	Type de grain de quartz
Sable très grossier	> 1 mm	Arrondi	Lisse	Quartz détritique	Fluviatile ou côtier	Quartz roulé de rivière	Émoussé luisant
Sable grossier	0,5 – 1 mm	Sub-arrondi	Lisse à légèrement rugueuse	Quartz détritique	Fluviatile / gravité	Quartz pour sablage	Sub-émoussé
Sable moyen	0,25 – 0,5 mm	Sub-anguleux	Mate à légèrement lisse	Quartz détritique	Fluviatile / éolien	Quartz de plage	Sub-émoussé

Sable fin	0,125 – 0,25 mm	Sub-arrondi	Lisse ou légèrement altérée	Quartz détritique	Éolien ou fluvial	Quartz de dune	Rond mat
Sable très fin	0,0625 – 0,125 mm	Sub-arrondi	Lisse	Quartz détritique	Suspension fluviale / éolien	Quartz en suspension fluviale	Rond mat
Limon et argile	< 0,0625 mm	Non défini / anguleux	Corrodée à très corrodée	Quartz détritique secondaire	Dépôt lent (suspension fine)	Quartz colloïdal / sédiment fin	Peu usé / très altéré

a) <u>Aspect morphologique (image)</u>*:*

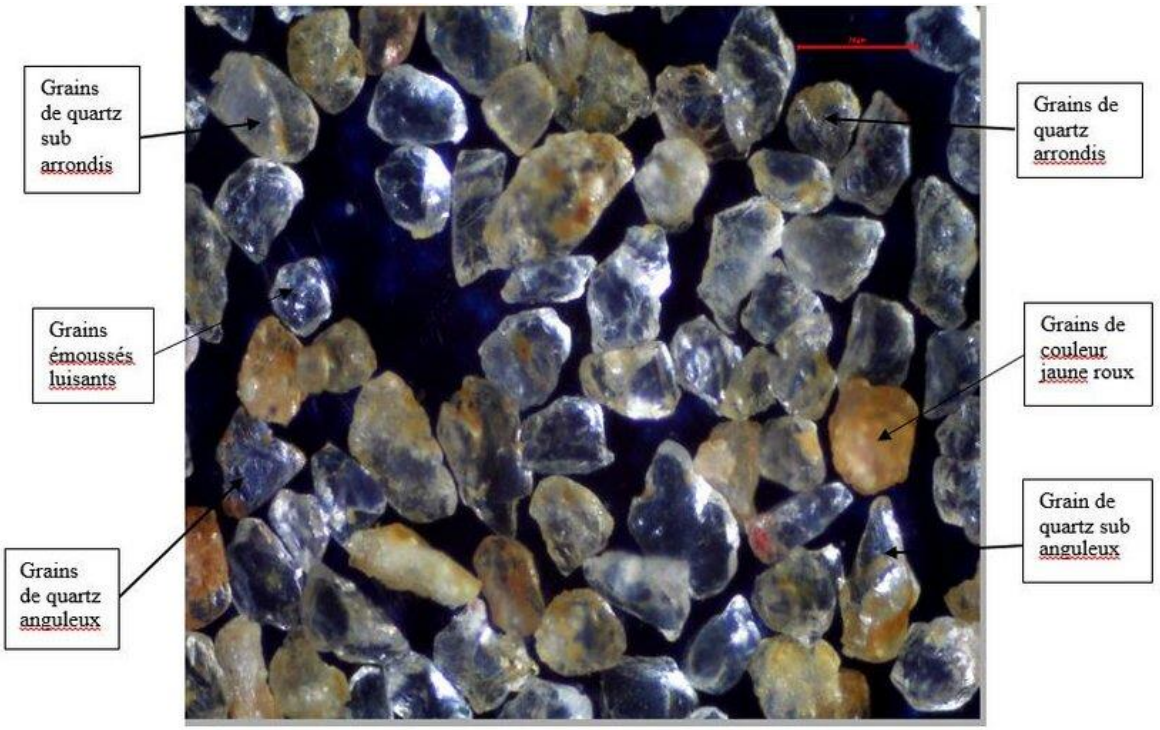


Figure 14: Morphoscopie des grains de sable de quartz (Forme et aspect des grains)

b) <u>Analyse géologique :</u>

- Le sable très grossier arrondi et lisse, composé de quartz détritique, indique un transport fluvial prolongé dans des milieux à haute énergie, tels que les lits de rivières. L'émoussement et le poli observés traduisent une usure mécanique importante.
- Les sables grossiers à moyens, sub-arrondis à sub-anguleux, avec des surfaces légèrement rugueuses ou mates, révèlent un transport mixte (eau + gravité), typique des environnements alluviaux ou colluviens. L'origine métamorphique ou détritique de ces grains suggère une contribution rocheuse variée.
- Les sables fins et très fins, sub-arrondis à ronds, souvent lisses ou légèrement corrodés, sont associés à des transports éoliens ou fluviaux faibles. Ils sont caractéristiques des

dunes ou des zones de suspension fluviatile, dans des conditions de transport plus stables et prolongées.

- Les limons et argiles, constitués de grains anguleux à non définissables, à surface corrodée voire très altérée, résultent d'une sédimentation lente voire d'une formation in situ. Ces dépôts sont fréquents dans des milieux calmes ou stagnants, comme les zones lacustres ou les plaines d'inondation.

Il en ressort que les grains de quartz étudiés reflètent des environnements de dépôt variés (fluvial, éolien, colluvial, lacustre), associés à des sources minérales diverses (détritiques, métamorphiques, authigènes). Ces caractéristiques sont compatibles avec un contexte climatique semi-aride, marqué par des alternances de transport actif et de dépôt fin dans des conditions calmes.

2. Point de vue – Économique :

Des propriétés des grains de quartz observés indique un potentiel économique à travers différen ts secteurs industriels :

a) Secteur du verre :

Les grains de quartz servent à la production de verre plat (vitres, parebrises), de verre creux (b outeilles, flacons), de verre optique (lentilles, instruments précis) et de verre spécifique (verre b orosilicaté, fibre de verre).

b) Utilisation :

Ils trouvent leur application dans la production de béton, mortier (agrégatfin), revêtements de s ol antiglisse et décorations murales.

c) Fonderie :

Le quartz est employé en tant que sable de moulage dans le processus de production de pièces métalliques.

d) Abrasifs :

Ils sont utilisés dans la production de papier à poncer, de toiles abrasives et dans les opérations de sablage industriel.

e) Électronique et horlogerie :

Le quartz est employé sous forme cristalline dans les montres à quartz, les oscillateurs électroniques ainsi que les capteurs piézoélectriques.

f) Technologies avancées et secteur chimique :

La fondue de silice est employée dans l'élaboration de fibres optiques, de semi-conducteurs, ainsi que de réacteurs à haute température.

Ces observations indiquent que les sédiments étudiés pourraient constituer une ressource utilisable pour de nombreuses industries à forte valeur ajoutée, à condition que la qualité et le volume de quartz soient validés par des études plus poussées.

B. Conclusion :

L'étude des grains de quartz a permis de comprendre les environnements sédimentaires et les processus géologiques responsables de leur formation. La diversité des formes et des tailles des grains indique une complexité des dynamiques de transport et de dépôt. D'un point de vue économique, ces grains présentent un grand potentiel pour une exploitation industrielle dans divers secteurs comme la fabrication de verre, la construction, l'électronique, et les technologies avancées. Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer la faisabilité de l'exploitation à grande échelle de ces ressources.



CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude s'est appuyée sur une approche intégrée combinant l'analyse sédimentologique, morphoscopique et le cadre géologique général des formations miocènes de la région de Tenoukla (sud-est de la wilaya de Tébessa), afin de caractériser les grains de quartz et d'évaluer leur potentiel économique. Cette démarche a permis de mettre en évidence un environnement sédimentaire varié, marqué par des influences à la fois fluviatiles et éoliennes, dans un contexte climatique semi-aride.

Les analyses granulométriques réalisées sur différents niveaux stratigraphiques révèlent des sédiments à dominance sableuse fine à moyenne, avec une forte proportion de silt dans certaines unités. Les courbes de fréquence sont majoritairement de type platykurtique à mésokurtique, traduisant un mauvais classement, en relation avec une variabilité énergétique des agents de transport. Certains niveaux présentent des distributions bimodales à trimodales, indiquant un mélange de populations granulométriques liées à des processus sédimentaires complexes.

L'observation morphoscopique des grains de quartz à la loupe binoculaire a montré une prédominance de grains émoussés à sub-émoussés, lisses et brillants, suggérant un mode de transport principalement aquatique dans un milieu fluviatile. Les grains mats sont peu fréquents, ce qui indique une influence éolienne secondaire. L'ensemble de ces caractéristiques s'accorde avec un système de dépôt continental en marge d'un bassin intérieur.

Du point de vue économique, les grains de quartz étudiés présentent une morphologie favorable et une granulométrie homogène qui les rendent potentiellement exploitables dans l'industrie du verre, de la céramique et des matériaux de construction. Toutefois, une validation par des analyses chimiques approfondies (teneur en SiO_2, impuretés) est indispensable avant toute valorisation industrielle.

En conclusion, les données obtenues reflètent un système sédimentaire ancien, bien développé, soumis à des variations climatiques et hydrodynamiques. Il est fortement recommandé de poursuivre les recherches par des études géochimiques, hydrogéologiques et environnementales, dans le but de garantir une exploitation durable et rationnelle des ressources naturelles de la région de Tenoukla, tout en contribuant au développe



BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1 Amouri, M. (1986). Le gisement de Bou Jaber (Atlas tunisien central).

2 Arnaud, F. (2003). Signatures climatique et anthropique dans les sédiments holocènes des lacs du Bourget et d'Anterne. Thèse de doctorat, Université de Lille 1.

3 Belaid, M., Cherif, A., Vinn, O. (2020). First record of trace fossils from the Oxfordian Argiles rouges de Kheneg Formation (Tiaret).

4 Belfar, D. (2010). Étude sédimentologique et paléoenvironnementale des formations quaternaires alluvionnaires de l'Oued Zeïet, Ain Zerga, Wilaya de Tébessa (NE Algérie). Mémoire de Magister, Université de Tébessa.

5 Benhenni, L. et al. (2019). Joint modeling of potential-field data and geodynamic interpretation for northeast Algeria.

6 Bignot, G. (1988). Micropaléontologie. Dunod.

7 Blés, J.L. (1969). Contribution à l'étude des déformations cassantes de la feuille de Morsott (Sud-Est constantinois, Algérie).

8 Bouchez, C. (2008). Rapport de sédimentologie : étude des milieux de dépôts.

9 Boufa, K., Kowalski, W.M., Pharisat, A. (1997). L'évolution néogène des structures atlasiques dans les environs de Tébessa.

10 Bourguignon, A., Bellier, A., Delpont, G., Chevrel, S. (2007). Spectrométrie pour la caractérisation minéralogique des minéraux argileux.

11 Caillère, S., Hénin, S., Rautureau, M. (1982). Minéralogie des argiles. Structures et propriétés physico-chimiques. Masson, Paris.

12 Chapon, C., Bahain, J.-J., De Lumley, H., Perrenoud, C., Vandamme, D. (2005). Stratigraphie, sédimentologie et magnétostratigraphie du site oldowayen de Fejej FJ-1 (Éthiopie).

13 Cheel, R.J. (2005). Introduction to Clastic Sedimentology.

14 Chellat, S. (2009). Paléoenvironnement des terrasses fluviatiles et alluvionnaires de l'Oued Mellègue et ses affluents : approche sédimentologique et magnétique. Mémoire de Magister, Université de Tébessa.

15 D.H.W. – de Tébessa (1976). Études géophysiques dans la région de Tébessa « Zone de Birzgane ».

16 Damnati, B., Maatouk, M., Meco, J., Petit-Maire, N. (2005). Sédimentologie et minéralogie de la séquence sédimentaire “Mala” à Lanzarote (Îles Canaries) : implications paléoclimatiques.

17 Dearing, J.A. et al. (1996). Frequency dependent susceptibility measurements of environmental materials.

18 Dearing, J.A., Dann, R.J.L., Lees, J.A., Loveland, P.J., Maher, B.A., O’Grady, K. (1996). Frequency dependent susceptibility measurements of environmental materials. Geophysical Journal International, 124, 228–240.

19 Debats autour du Quaternaire (2008). Débats et synthèses scientifiques sur la stratigraphie quaternaire. Disponible sur : paleopolis.rediris.es/odin

20 Debret, M. (2003). Sédimentologie de la grande carotte du lac du Bourget.

21 DEFAFLIA, N. (2014). Cadre stratigraphique et paléoenvironnemental des formations quaternaires de la région d’El Ma El Abiod (Tébessa, Algérie).

22 DEFAFLIA, N. (2015). Les propriétés des roches carbonatées de la région de Tébessa (Algérie).

23 DEFAFLIA, N., DJERRAB, A. (2014). Paléoenvironnement des formations quaternaires du site de Birzgane (Tébessa, Algérie).

24 DEFAFLIA, N., DJERRAB, A. (2015). Étude stratigraphique et sédimentologique des formations quaternaires du site d’Oum Ali (Nord-Est de l’Algérie).

25 DEFAFLIA, N., et al. (2015). Paleoenvironnement des formations quaternaires du site d’El Ma Labiod (Tébessa) : approches sédimentologique, stratigraphique et magnétique.

26 Djerrab, A., et al. (2012). Étude sédimentologique et magnétique d’une séquence alluviale du Pléistocène supérieur de l’Oued Adaila (El Ma Labiod, Tébessa).

27 Echchat, R. (2008). Étude stratigraphique, sédimentologique et micromorphologique du remplissage pléistocène de la grotte Tournal (Aude, France).

28 Hamimed, M. (2004). Étude sédimentologique et paléogéographie des sédiments miocènes au pays du Nord-Est de l’Atlas saharien des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de doctorat, Université de Constantine.

29 Hamimed, M., Kowalski, W.M. (2001). Analyse sédimentologique et paléogéographie des sédiments miocènes des environs de Tébessa (Nord-Est de l’Algérie).

30 Han, J., Lu, H., Wu, N., Guo, Z. (1996). Magnetic susceptibility of modern soils in China.

31 Han, J., Lu, H., Wu, N., Guo, Z. (1996). Magnetic susceptibility of modern soils in China and climate conditions. Studia Geophysica et Geodaetica, 40, 262–275.

32 Kowalski, W.M., Pharisat, A., Hamimed, M. (1995b). Sedimentological analysis of Miocene sands around Tebessa (Algerian-Tunisian borders).

33 Leneuf, N. (1972). Aspects microscopiques de la surface de grains de quartz du continental terminal de Côte d'Ivoire.

34 Maher, B.A. (1998). Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols.

35 Maher, B.A. (1998). Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic paleosols: paleoclimatic implications. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 137, 25–54.

36 Maher, B.A., Alekseev, A., Alekseeva, T. (2003). Magnetic mineralogy of soils across the Russian Steppe.

37 Maher, B.A., Alekseev, A., Alekseeva, T. (2003). Magnetic mineralogy of soils across the Russian Steppe: climatic dependence of pedogenic magnetite formation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 201, 321–341.

38 Mastersizer (2000). Initiation au développement de méthode pour les poudres et les suspensions.

39 Mazouz, E.H. (2009). Étude sédimentologique, stratigraphique et pétro-minéralogique des affleurements miocènes aux environs d'Aïn Sidi Salah et de Fedj El Behim (Ouenza – Confins algéro-tunisiens). Mémoire de Magister, Université de Tébessa.

40 Rhoujjati, A. (2007). Changements paléoenvironnementaux et paléoclimatiques depuis 21 000 ans dans le Moyen Atlas marocain : les lacs Ifrah et Iffer. Thèse de doctorat, Université Chouaib Doukkali, El Jadida.

41 Ribault, L. (1975). L'exoscopie. Méthode et applications.

42 Ribault, L. (1977). L'exoscopie des quartz. Masson.

43 Rivière, A. (1977). Méthodes granulométriques, technique et interprétation. Édition Masson.

44 Schwertmann, U. (1985). The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals. Advances in Soil Science, 1, 171–200.

45 Zerdazi, A. (1990). Étude gravimétrique de la mole d'Ain M'Lila et de l'Atlas Saharien nord-oriental (Nord-Est de l'Algérie).