



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République algérienne démocratique et populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة  
Université Echahid Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa

معهد المناجم

Institut des mines

قسم المناجم والجيوتكنولوجيا

Département des mines et de la géotechnologie



## MEMOIRE

Présente en vue de l'obtention d'un diplôme de Master académique

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

# Caractérisation des Calcaires de la région de Tébessa

Présenté par

**Bouguerra Tayeb**

Devant le jury :

Président	AMRANI Dounia	MAA	Université Echahid Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Rapporteur	BRAHMI Serhane	MCB	Université Echahid Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Examineur	MEBROUK Faouzi	MAA	Université Echahid Esheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Promotion : 2022/2023



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة الشهيد الشيخ التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم: مؤرخ في: 2023/05/30  
يتضمن الترخيص بمناقشة مذكرة الماستر

- إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،  
- بموجب القرار الوزاري رقم 311 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،  
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم: 12- 363 مؤرخ في 11 أكتوبر 2012، بعدل و يضم المرسوم التنفيذي رقم 00 - 00 المؤرخ في: 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،  
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،  
- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادة 7 منه،  
- وبموجب القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة،  
- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للملحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن لتفعيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني  
- وبموجب المقرر رقم ..... المؤرخ في 2023/05/29 والمتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر،  
- وبعد الاطلاع على مقرر تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في .....<sup>1.6</sup> .....<sup>1.6</sup> 2023  
يقترن ما يأتي:  
المادة الأولى: يُرخص للمطالب (أ) بوفرة الطيب، المولود (أ) بتاريخ 1980/06/22 بـ خلشلة، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Caractérisation des roches calcaire de la région de Tébessa (N.E Algérie)

- المادة 2: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يسلّم نسخة منه إلى المطالب المعني بالمناقشة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه، وبضمنان نشره عبر فضاءات المؤسسة المادية والرقمية.  
المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملفّ البيداغوجي للمطالب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2023/05/30

عن المدير، ويتفويض منه  
مدير معهد المناجم

جامعة العربي التبسي  
المدير  
مدير معهد المناجم  
عولمي زويير



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة الشهيد العربي التبسي - تبسة



مقرر رقم : مؤرخ في : 2023/05/29  
يتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،  
- بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،  
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم : 12- 363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012، يعدل و يتم المرسوم التنفيذي رقم 09 - 08 المؤرخ في : 04 جانفي 2009 و المتضمن إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة،  
- وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،  
- وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،  
- وبموجب القرار رقم 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 والمتضمن مواصفة التكوينات في الماستر بعنوان جامعة تبسة في مبدان "علوم وتكنولوجيا".  
- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للمقرر القرار 1000 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني  
- وبعد التأطخ على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في 5-4-2023،  
يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: يُعزى بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماستر المحشرة من طرف الطالب (أ):  
بقرة الطيب، المولود (أ) بتاريخ 1980/06/22 - خنشلة.

والموسومة بـ "Caractérisation des roches calcaire de la région de Tébessa (N.E Algérie)"

المسجل (أ) بمعهد المناجم

المادة 2: تشكل اللجنة المشار إليها في المادة الأولى من الأعضاء الآتي ذكرهم:

رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	عمراني دنيا	أستاذة مساعدة - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسة
2	براهمي سرحان	أستاذ محاضر - ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	مشرفا
3	ميروك فوزي	أستاذ مساعد - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنا

المادة 3: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يُسلم نسخة عنه إلى كل من الطالب المعني والمشرف على مذكرة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه.

المادة 4: تحفظ نسخة عن هذا المقرر في الملف البيداغوجي للطالب المعني، وينشر في الأشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2023/05/29

عن المدير، ويتقويض منه

مدير معهد المناجم



د. عولمي زويير  
مدير معهد المناجم



Année universitaire : 2022-2023

Tébessa le :

### Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :


1 BOUGUERRA TAYEB

2

Niveau : 2<sup>ème</sup> année Master      Option : GEOTECHNIQUE

Thème : Caractérisation des Calcaires de la région de Tébessa

Nom et prénom de l'encadreur : BRAHMI SERHANE

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Situation géographique, cadre géologique et climatique	
Formation et classification des roches carbonates	
Domaine d'utilisation des calcaires	
Moyens et méthodes	
Résultats et discussion	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي: جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

**تصريح شرفي**  
**خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث**

أنا الممضى أدناه،

السيد (ة) بوقرة الطيب الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: طالب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية/ رخصة السياقة رقم: 401953427 والمصادرة بتاريخ

2022/06/02


المسجل بمعهد المناجم قسم المناجم و التكنولوجيا  
والمكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)،  
عنوانها:

**Caractérisation des Calcaires de la région de Tébessa**

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية  
والتزاهة الأكاديمية المطلوبة في المجال البحثي المذكور أعلاه.

التاريخ: 2023-06-22

إمضاء المعنى (ة)



تأليف: بوقرة الطيب  
إمضاء: بوقرة الطيب

# ملخص

الحجر الجيري عبارة عن صخور رسوبية ، مثل الحجر الرملي أو الجبس ، وهي تمثل 75% من غطاء قشرة الأرض ، وتتكون أساساً من كربونات الكالسيوم  $\text{CaCO}_3$  ، ولكن أيضاً من كربونات المغنيسيوم  $\text{MgCO}_3$ . هذه الصخور الكربونية لها أهمية جيولوجية واقتصادية كبيرة.

يتم استغلال الحجر الجيري في منطقة تبسة كمنتج مجمع. يمكن استخدام رواسب الحجر الجيري هذه نظراً لصفاتها على نطاق واسع في العديد من المجالات الأكثر ربحية والأكثر فائدة كمنتج صناعي ، ولا سيما إنتاج الجير.

تهدف هذه الدراسة إلى إبراز أهمية رواسب الحجر الجيري والتحقق من خصائصها من أجل تعزيز استغلالها

**الكلمات المفتاحية:** الحجر الجيري ، رواسب ، تبسة ، منتج صناعي ، استغلال  $\text{CaCO}_3$  .

# Abstract

Limestones are sedimentary rocks, like sandstone or gypsum, they represent 75% of the earth's crust cover, easily soluble in water, composed mainly of calcium carbonate  $\text{CaCO}_3$ , but also of magnesium carbonate  $\text{MgCO}_3$ . These carbonate rocks are of great geological and economic importance.

The limestones of the Tébessa region are exploited as an aggregate product. These limestone deposits and in view of their qualities can be widely used in various more profitable and more beneficial fields as an industrial product, in particular the production of lime.

This study aims to highlight the importance of limestone deposits, verify their characteristics in order to promote its exploitation.

**Keywords:** limestone, aggregate, Tébessa, industrial product,  $\text{CaCO}_3$  characteristics,

## Résumé

Les calcaires sont des roches sédimentaires, tout comme les grès ou les gypses, ils représentent 75% de la couverture de la croûte terrestre, facilement solubles dans l'eau, composées majoritairement de carbonate de calcium  $\text{CaCO}_3$ , mais aussi de carbonate de magnésium  $\text{MgCO}_3$ . Ces roches carbonatées ont une grande importance du point de vue géologique et économique.

Les calcaires de la région de Tébessa sont exploités en tant que produit d'agrégat. Ces gisements de calcaire et au vue de leurs qualités peuvent être largement utilisés dans divers domaines plus rentables et plus bénéfiques comme produit industriel, notamment la Production de la chaux.

Cette étude a pour but de mettre en exergue l'importance des gisements de calcaires, vérifier leurs caractéristiques à fin de promouvoir son exploitation.

**Mots clés :** calcaires, agrégat, Tébessa, produit industriel, caractéristiques  $\text{CaCO}_3$ ,





# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont toujours  
présents dans mon cœur*

*A ma très chère mère, A mon très cher père*

*A mes frères*

*A toute ma famille*

*A tous mes professeurs*

*A tous mes collègues et mes amis sans exception*

*A ma promotion (2023)*

# *REMERCIEMENTS*

*Je remercie ALLAH qui m'a donné le courage et la force pour compléter ce modeste travail*

*J'exprime ma gratitude et ma reconnaissance envers mon encadreur Brahmí Serhane, pour M'avoir encadré, suivi et dirigé pendant la durée de ce travail*

*Je suis très reconnaissant envers Mm AMRANI Dounia, de l'université de Tébessa, d'avoir accepté de présider ce jury*

*Je suis également très reconnaissant envers Mr MEBROUK Faouzi, e l'université de Tébessa, pour avoir participé en tant qu'examinateur, et de l'honneur qu'il ma fait en acceptant d'évaluer ce travail.*

*Mes remerciements vont également à tous les membres du département des mines*

*Je remercie également, à tous mes enseignants, qui nous ont donnée les bases de la science*

*Je remercie enfin à toute personne qui a participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail*

# Liste des tableaux

## Chapitre IV

<b>Tableau 1</b>	lieu et coordonnées des échantillons prélevés	42
<b>Tableau 2</b>	Caractéristiques du concasseur à mâchoire utilisé	43
<b>Tableau 3</b>	Caractéristiques de la tamiseuse électrique	45
<b>Tableau 4</b>	Caractéristiques de broyeur planétaire utilisé	46

## Chapitre V

<b>Tableau 5</b>	Résultats d'analyses chimiques sur les échantillons de calcaire	50
------------------	---	----

# Liste des figures

## Chapitre I

Figure. 1	Carte des limites de la wilaya de Tébessa	4
Figure. 2	Carte géologique du Nord Est Algérien	7
Figure. 3	Log synthétique des monts du Mellègue	12
Figure. 4	Coupe géologique schématique de la plaine de Tébessa	14
Figure. 5	Coupe Géologie schématique de la zone d'étude	15
Figure. 6	carte structural simplifié du Sud Est Constantinois	19

## Chapitre II

Figure. 7	Carte géologique Schématique des dépôts calcaires en Algérie	21
Figure. 8	Classification des roches carbonatées	23
Figure. 9	Schéma de classification des roches carbonatées	25
Figure. 10	Classification des roches calcaires selon Dunham	26
Figure. 11	Représentation des types de porosité	28

## Chapitre III

Figure. 12	les granulats de calcaire au niveau société de ciment de Tébessa	32
Figure. 13	Exploitation de calcaire massif à Djebel Essen El Hammamet	36

## Chapitre IV

Figure. 14	Position des différents sites d'exploitation du calcaire dans la région de Tébessa	40
Figure. 15	présente la position des différentes positions des échantillonnages dans la région de Tébessa	41
Figure. 16	photo montrant une opération d'homogénéisation	43
Figure. 17	Photo montrant l'opération de quartage	44
Figure. 18	Photo montrant le broyeur utilisé pour le broyage de l'échantillon	45
Figure. 19	schéma présentatif des étapes de la préparation mécanique des échantillons	47
Figure. 20	Photo montrant les équipements utilisés dans le Calcimètre de BERNARD	48

## Chapitre V

Figure. 21	Résultats d'analyses du $\text{CaCO}_3$	51
Figure. 22	Résultats d'analyses du $\text{CaO}$	51
Figure. 23	Résultats d'analyses d' $\text{MgO}$	52
Figure. 24	Résultats d'analyses de $\text{Fe}_2\text{O}_3$	52
Figure. 25	Résultats d'analyses de $\text{CO}_2$	53

## Liste des symboles

°C	Degré Celsius
Ca <sup>++</sup>	Calcium
CE	Conductivité électrique
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bicarbonate
Dj.	Djebel
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bicarbonate
mm	Millimètre
m	Mètre
Mg <sup>++</sup>	Magnésium
Méq/l	Milliéquivalent par litre
mg/l	Milligramme par litre
T	Température

# Table des matières

Résumés .....	i
Dédicace.....	ii
Remerciements.....	iii
Liste des tableaux .....	iv
Liste des Figures .....	v
Liste des symboles.....	vi
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I- Situation géographique, cadre géologique et climatique.....</b>	<b>3</b>
Géologie des secteurs étudiés.....	4
I-1- situation géographique :.....	4
I-2- Caractéristiques générales de la zone d'étude:.....	5
I-3- Le climat :.....	5
I-4-La couverture végétale:.....	6
I-5 Historique des travaux :.....	6
I-6-Stratigraphie régionale :.....	6
I-7-Les dépôts actuels.....	13
I-8- les phases tectoniques.....	18
<b>Chapitre II- Formation et classification des roches carbonatées.....</b>	<b>20</b>
II .1- Introduction.....	21
II .2- Généralités sur les sédiments carbonatés.....	22
II .3-Formation des roches carbonatées sédimentaires.....	22
II .4-Minéralogie des roches carbonatées :.....	24
II .5.-Classification des roches carbonatées.....	25
II .6. Caractères principaux des calcaires et dolomies.....	27
II .7. Conclusion.....	29
<b>Chapitre III- Domaine d'utilisation des carbonates de calcium.....</b>	<b>29</b>
III.1- Introduction.....	30

III.2- Les applications industrielles .....	31
III.2.1. Applications du calcaire granulé:.....	31
III.2.2. Les applications du carbonate de calcium :.....	32
III.2.3.. Applications du carbonate du calcium Précipité (PCC) :.....	33
III.2.4. Applications du carbonate de calcium broyé (GCC).....	34
III.2.5- Applications du calcaire massif .....	36
III.3- La chaux :.....	36
III.3.1. Les applications de la chaux :.....	37
III.4. Conclusion.....	39
<b>Chapitre IV- Moyens et méthodes.....</b>	<b>39</b>
IV.1. Introduction.....	40
IV.2. Collecte des échantillons.....	40
IV.2.1. L'observation sur terrain :.....	41
IV.2.2.Prélèvement d'échantillons.....	42
IV.3-Préparation et traitement des échantillons.....	42
IV.3.1 Concassage.....	43
IV.3.2 Homogénéisation.....	43
IV.3.3 Quartage.....	44
IV.3.4 Tamisage.....	45
IV.3.5 Broyage.....	45
IV.3-6- Analyse chimique.....	48
IV.4. Conclusion.....	49
<b>Chapitre V- Résultats et discussion.....</b>	<b>49</b>
V.1. Introduction.....	50
V.2-Résultats et interprétation :.....	50
V.3. Les analyses chimiques.....	50
V.4. Discussion des résultats.....	53
V.5.Conclusion.....	53



Conclusion et recommandations .....54

Bibliographie.....56



*Introduction générale*

### **Introduction générale**

L'Algérie est un pays très riche en matériaux miniers premières. Les sites miniers nationales sont de grande envergure, ils constituent les gisements de fer, de cuivre, de plomb, de zinc, etc. ...et bien d'autres substances qualifiant notre compétence en exploitation. Parmi ces substances les agrégats calcaires sont très prometteuses. L'exploitation de ces gisements se fait le plus souvent à ciel ouvert.

Récemment l'état algérien a mis en exploitation un nombre important de gisements de granulats et autres exploitations de calcaire. Plusieurs autorisation de mines et carrières sont délivrées, parmi lesquelles on peut citer ENG à Elma Labiod, la cimenterie, Cosider, et plusieurs autres sociétés privées et publiques.

Tébessa, est située à la limite de la frontière Algéro-Tunisienne et appartient dans sa majeure partie à l'Atlas Saharien, Les reliefs y sont contrastés, constitués essentiellement par des calcaires,

Les calcaires sont des roches carbonatées dont les espèces chimiques sont des carbonates, principalement  $\text{CaCO}_3$  qui cristallise sous forme de calcite, dolomite ou d'aragonite, contiennent au moins 50 % de  $\text{CaCO}_3$ ,

Ces calcaires peuvent être :

- **d'origine détritique**, le résultat de la collecte de produit d'érosion d'autres roches ou d'accumulation de sédiments fossiles, coquillages, ce sont alors des roches d'origine détritique,
- **d'origines chimiques obtenues** par précipité du carbonate de calcium sur les fonds marins après absorption du gaz carbonique par les plantes aquatiques par exemple
- **d'origines organiques** constituées à partir de coraux, planctons, algues et divers organismes,

Cette étude a pour but de mettre en exergue l'importance des gisements de calcaires, vérifier leurs caractéristiques à fin de promouvoir son exploitation.

A cet effet, nous avons structuré notre projet de la manière suivante :

## *Introduction générale*

---

- ❖ Le premier chapitre, est consacré à la situation géographique, cadre géologique et climatique de la zone d'étude ;
  - ❖ Le deuxième chapitre est consacré à l'étude de la formation et classification des roches carbonates
  - ❖ Le troisième chapitre traite le domaine d'utilisation des calcaires
  - ❖ Le quatrième chapitre se rapporte au volet des moyens et méthodes, notamment la collecte des échantillons de calcaires, leurs préparations ainsi que les techniques d'analyses.
  - ❖ Le cinquième chapitre est consacré à l'interprétation des résultats des analyses caractérisant les calcaires exploitables dans la région et la discussion notamment des possibilités d'extension des modes exploitation.
- Et on termine par une conclusion générale

*Chapitre I*  
*Situation géographique, cadre*  
*géologique et climatique*

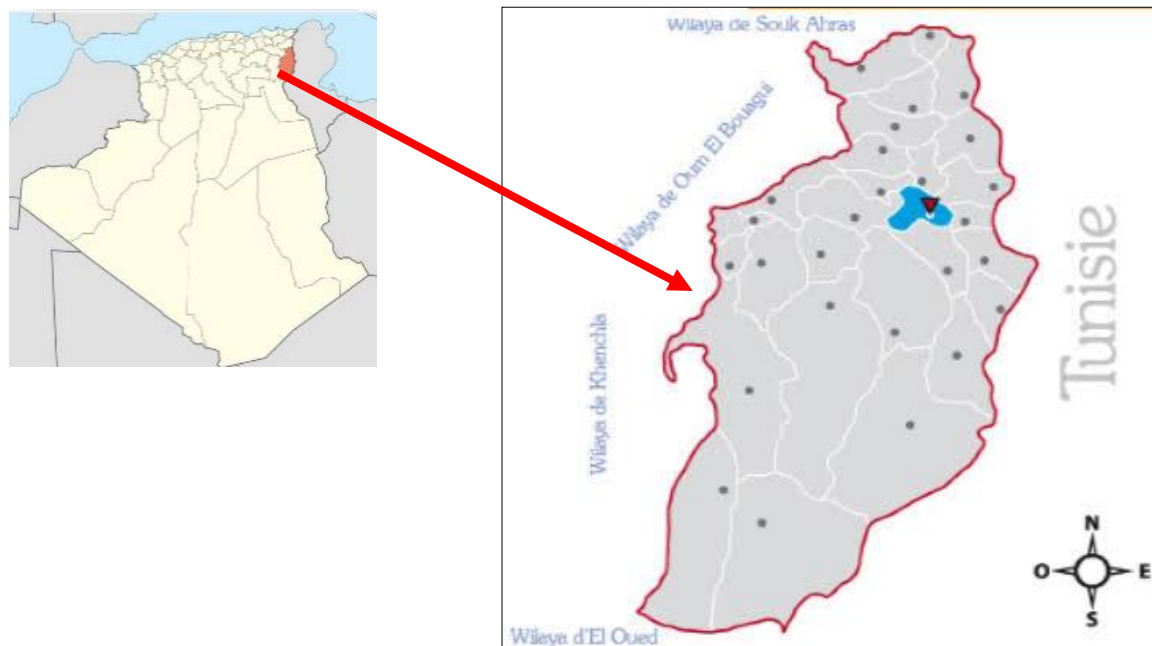
## I- GEOLOGIE DES SECTEURS ETUDIÉS

### I-1 situation géographique

La wilaya de Tébessa est située à l'extrême NORD-EST du pays (Figure.1) et fait partie des hauts plateaux Est et des immenses étendues steppiques du pays, Elle s'étend sur une superficie de l'ordre de 13 878 Km<sup>2</sup> et partage avec la Tunisie une frontière de 297 Km de long (10 communes frontalières).

Elle est limitée :

- Au NORD, par la wilaya de Souk Ahras,
- A l'OUEST, par les wilayas d'Oum El Bouaghi et Khenchela,
- Au SUD, par la wilaya d'El Oued,
- A l'EST, par la Tunisie, [1]



**Figure 01** : Carte des limites de la wilaya de Tébessa [1]

## **I-2 Caractéristiques générales de la zone d'étude**

Tébessa fait partie des hauts plateaux de l'Est Algérien avec un bassin exoréique au NORD. Le sous bassin d'oued Mellègue partie du bassin versant de la Medjerda qui se termine la mer méditerranéenne dans le NORD-OUEST Tunisien, avec une altitude moyenne varie de 750 m et 900 m .

Un deuxième bassin endoréique au Sud, présente l'extrémité orientale des monts de Némemcha qui prolongent vers l'EST le massif des Aurès, Il se présente sous forme d'un massif montagneux calcaireux de 20 km de long et 3 Km de large. Il culmine à 1198 m d'altitude

Dans la région, on-y trouve une série de relief montagneux carbonaté ; Dj. Zitouna, Dj. Tazbent, Dj. Matloug Dj. Djébissa et Bouramane, Dj. El Guelb, Dj. Mesloul, Dj. Serdies, Dj. El Onk, .....

Sa population estimée à 800 000 habitants se caractérise par son extrême jeunesse et son fort taux d'urbanisation. Tébéssa est le chef-lieu de la wilaya de Tébéssa dont la population est estimée à près de 360 000 habitants. La wilaya de Tébéssa couvre une superficie de 13 396 km<sup>2</sup>. La majorité de la population est concentrée dans le chef-lieu.

Tébéssa est une région à vocation agropastorale célèbre par la qualité de son mouton, la majesté de son cheval et la splendeur de ses tapis. Foyer artisanal, Tébéssa est aussi un important centre commercial et agricole et possède beaucoup de ressources, minières de notoriété mondiale (fer et phosphates), et forestières. Les cultures céréales et maraîchères prédominent. Morsott au Nord, Hammamet à l'Ouest et Bekkaria au Sud-Est représentent les trois centres agricoles les plus importants. [2]

## **I-3 Le climat :**

La wilaya de Tébéssa baigne dans une ambiance climatique méditerranéenne de type continental où se distingue quatre (04) étages bioclimatiques :

■ **Le subhumide** : 400 – 500 mm de pluie/an et peu étendu ; il ne couvre que quelques îlots limités aux sommets de quelques reliefs : Djebel Serdies et Djbel Bouroumane

■ **Le semi-aride** : 300 à 400 mm de pluie /an, couvre toute la partie nord de la wilaya et est représenté par les sous étages frais et froids ;

■ **Le subaride** : 200 à 300 mm de pluie /an, couvre les plateaux steppiques de Oum-Ali, SafSaf El-Ouessra, Thlidjane et Bir El Ater ;

■ **L'aride ou saharien doux** : moins de 200 mm/an, s'étend au-delà de l'Atlas saharien et couvre les plateaux sud de Negrine et de Ferkane, [2]

#### **I-4 La couverture végétale**

La couverture végétale se présente comme un facteur essentiel pour la préservation des sols contre l'érosion et la désertification. Elle est presque inexistante ou détériorée. On remarque la présence d'une couverture végétale discontinue qui se développe sur les sols calcaires, le pin avec le genévrier et localement le chêne qui constitue de très beaux forêts.

Sur la plaine, les alluvions ne permettent que des récoltes de céréales, par contre on note la présence de *Figureuier de barbarie*, par ailleurs une végétation de saison envahit les sols salés. [3]

#### **I-5 Historique des travaux géologiques**

De nombreux travaux ont déjà été entrepris par différents auteurs pour l'étude du domaine atlasique et les zones telliennes. Sur le domaine atlasique les premiers travaux sont dus à Delfaud., 1974; Abed et al., 1982; 1994; Frizon de Lamotte et al., 2000; Bracene., 2002 et bien d'autres études. Ces travaux ont développé dans le cadre de la recherche universitaire ou industrielle et traitent principalement les aspects stratigraphiques, structuraux, sédimentologiques et pétroliers.

Les principaux travaux sont cités dans les références bibliographiques. Nous résumons les aspects abordés dans quelques-uns de ces travaux. [3]

#### **I-6 Stratigraphie régionale :**

Les structures géologiques du Nord Algérie est très complexe. Les unités les plus importantes de l'ensemble du Maghreb sont : l'Atlas Tellien, le Rif et Prérif.

Ces ensembles formés essentiellement des nappes de charriage superposées dont les éléments situés le plus au sud dépassent l'autochtone des Hautes Plaines (Hauts Plateaux) à structure tabulaire.

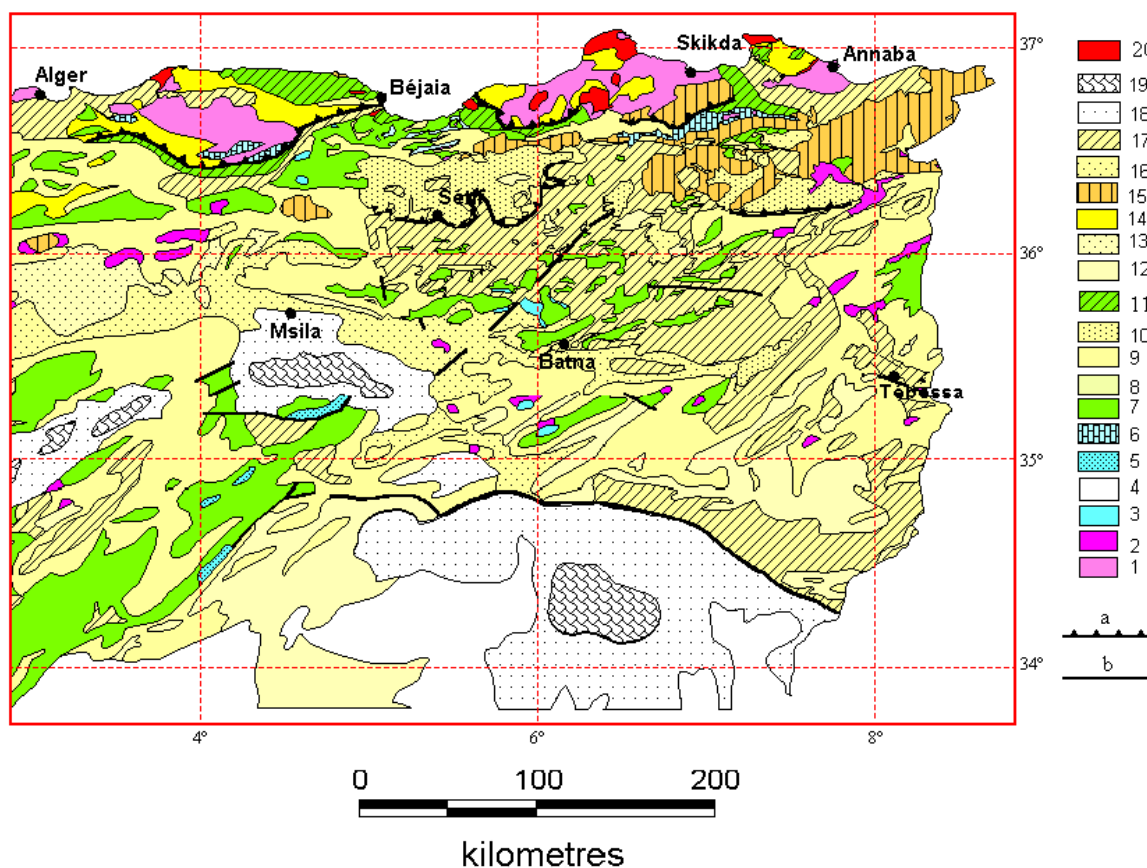
Au sud, nous avons l'Atlas Saharien dont les longs et larges plis sont orientés vers les limites du Sahara et ont une direction WSW-ENE. La ligne limite est formée par la principale faille saharienne.

Nous observons un caractère de flexure par endroits, des discontinuités se caractérisant par des rejets pouvant atteindre 2000 m et plus. Cette structure générée par la tectonique tertiaire,



post Miocène. Les massifs de Grande et Petite Kabylie, d'Alger et du Chenoua en Algérie et Tétouan au Maroc, sont formés par des formations paléozoïques ou plus anciennes, métamorphisés.

Au Sud, ces massifs sont bordés par des formations calcaires dressées, du Mésozoïque-Eocène, formant des « écaillés ». Ces écaillés forment sur le territoire algérien une chaîne de Monts calcaires (La Dorsale Kabyle) et au Maroc (la dorsale calcaire). (Figure 02). [4]



- Légende**
- 1- Socle métamorphique ( Domaines internes ), 2- Trias, 3- Jurassique inférieur,
  - 4- Jurassique supérieur et moyen, 5- Jurassique indifférencié, 6- Dorsale Kabyle,
  - 7- Crétacé inférieur, 8- Crétacé supérieur et moyen, 9- Crétacé supérieur,
  - 10- Crétacé indifférencié (nappe -intra tellienne), 11- Flysch Crétacé à Oligocène,
  - 12- Eocène, 13- nappes s telliennes, 14- Oligo-Miocène, 15- Numédien ,
  - 16- Miocène, 17- Post Miocène, 18- Quaternaire, 19- Sebkhia, 20- Magmatisme Miocène. a- Chevauchement, b- Faille

**Figure 2 : Carte géologique du Nord Est Algérien (extrait de la carte géologique 1 : 500000)( in Fehdi 2008, d'après Gacem) [4]**

Ces séries montrent des variations remarquables de faciès induisant des aires paléogéographiques bien distinctes, ainsi, on distingue :

- Un haut fond situé au Nord-Ouest,

- une plateforme localisée dans la région de Tébessa au Sud-Est qui favorise le développement de faciès de type néritique parfois récifal.
- la partie centrale du périmètre est caractérisée par des dépôts de type pélagique surtout à partir de l'Albien supérieur qui marque l'importante transgression marine du Vraconin. [5]

**a. Mésozoïque :**

**a-1 Le Trias**

Le Trias affleure en position stratigraphique anormale, on le rencontre essentiellement sous forme de diapir le long des accidents longitudinaux et l'intersection des accidents NW-SE et NE-SW. Le matériel triasique est rencontré en diverses régions (Morsott, Mesloulou...), il présente la même composition pétro-sédimentaire : Argiles versicolores, dolomies rubanées; cargneules, gypses, des grès et des sels. Le Trias est parfois resédimenté dans les formations Albo-aptiennes (J.M. Vila., 1994). [5]

**a-2 Le Jurassique**

Le contact Jurassique/Crétacé n'est observable que dans la région des Aurès, vers le Sud en direction de la Plate Forme Saharienne et sur le môle de Constantine. Dans le bassin Sud Est Constantinois, ce contact n'est atteint par aucun sondage, excepté celui du Dj Djahfa (JHF-1 Bis) qui a pu atteindre le Jurassique terminal (Tithonien) à une profondeur de 4000 m où il est constitué par des dolomies massives, argileuses à intercalations de marnes et de calcaire argileux, avec la présence de grès, d'anhydrites et de pyrite. [6]

**a-3 Le Crétacé**

**a-3.1 Le Crétacé inférieur**

- **Le Berriasien**

Il est constitué dans les Aurès par des faciès profonds de mer ouverte constitués par une série de 600 m de marnes et de calcaires argileux à calpionelles et ammonites, tandis que sur le môle d'Ain M'lila ce sont des faciès peu profonds ou néritiques avec développement de dépôts carbonatés à haute énergie (Barrières récifales et oolithiques) dont l'épaisseur est d'environ 500 m. [7]

- **Le Néocomien**

Au Nord (Ravin bleu) le Néocomien est épais de 1120 m; représenté essentiellement de marnes à intercalations de grès et de calcaires. Dans les Hammimats, le forage HTG-1 à traverser une série épaisse de 1230 m, constituée par des quartzites à intercalations d'argiles

silteuses et de grès et des passées de calcaires argileux attribuées au Néocomien. A JHF-1bis le Néocomien est représenté par une alternance de grès quartzitiques et de dolomie avec de fines passées d'argiles silteuses, son épaisseur atteint les 1000 m. [7]

- **Le Barrémien**

Représente une continuation des étages précédents, mais avec des conditions de faciès de moindre profondeur indiquant une phase régressive importante. Il affleure dans les Aurès, à Dj. Azreg, le long de l'axe Dj. Bou Arif et Dj. Fedjoudj. Dans le sillon Aurès-Kef le Barrémien est composé de grès quartzitiques et de dolomies avec de minces intercalations d'argiles caractérisant le faciès de carbonates orthoquartzitiques développés en milieu de mer profonde ou néritique. Au Dj. Jahfa et les Hammimats le Barrémien est représenté par des dolomies à la base et des grès quartzitiques au sommet. Plus au Nord à Dj. Guelb et Souabah, le Barrémien comprend des marnes silteuses à intercalations de calcaire argileux qui pourrait indiquer un approfondissement du milieu de sédimentation. [7]

- **L'Aptien**

L'Aptien est représenté par une importante série sédimentaire, il affleure dans la région des Aurès, où il est représenté par 500 à 800 m de calcaires et de dolomies avec des intercalations d'argiles et de marnes. Cette série comporte des épisodes détritiques matérialisés par des intercalations de grès et d'argile. Au Nord Est du périmètre Ain Beida (SER-1, GE-1 et SB1); l'Aptien est représenté par des marnes et des calcaires argileux à rares intercalations de grès. De tel faciès s'est déposé dans un milieu marin profond infra néritique à pélagique. Dans la partie NW, l'Aptien occupe la plus grande partie des affleurements du Djebel Mesloula et ses calcaires récifaux constituent tous les reliefs importants du massif (Dubourdiou, en 1959). Différencie sous trois termes; série antérieure aux calcaires récifaux, les calcaires récifaux et la couverture des calcaires récifaux. [7]

- **L'Albien inférieur**

Il est caractérisé par des faciès de mer peu profonde. Au Nord du sillon Aurès Kef, la sédimentation est constituée par des dépôts marins riches en faunes pélagiques à quelques passées de calcaire gréseux. Dans la partie méridionale l'Albien inférieur est caractérisé par une sédimentation argilo-carbonatée et gréseuse. Au niveau de Dj. Bou Djellal et Kemakem on note l'absence de l'Albien inférieur marquée par la discordance intra albiennaise liée à la phase autrichienne. [7]

- **L'Albien supérieur**

Durant cette période on assiste à une transgression marine généralisée marquée par des dépôts carbonatés avec des passées de marnes et de marno-calcaires et une activité halocinétique très intense le long des accidents de direction NE-SW liée étroitement à la phase autrichienne. Cette dernière a contribué aux développements d'édifices récifaux décrits dans la région d'Ouenza et des confins Algéro-tunisiens, à Dj. Aidel et constitue la plupart des affleurements du Dj. Mesloula. Notons aussi l'installation de barrières oolithiques dans la zone de Tébessa. [7]

### **a-3.2 Le Crétacé supérieur**

- **Le Cénomanién**

Dans le sillon Aurès- Kef le Cénomanién est bien développé (800 à 1200 m) constitué essentiellement de marne et d'argile avec des intercalations de calcaire argileux. Ce faciès est caractéristique d'un environnement infra néritique à bathyal. Sur le môle d'Ain M'lila la série du Cénomanién est réduite, elle est composée de dépôts carbonatés de mer peu profonde ou néritique, souvent à caractère récifal surmontés en discordance par les dépôts du Sénonien, à la fin du Cénomanién la région a connu un soulèvement généralisé et fut soumise pendant le Turonien à une érosion différentielle. [7]

- **Le Turonien**

Il est très bien développé, sa puissance peut atteindre les 1000 m (Dubourdiou 1956-1959). Le Turonien est constitué par des calcaires et marno-calcaires à la base avec de nombreuses empreintes d'Inocéramus. Ces calcaires et marno-calcaires sont suivis par une puissante série de marnes argileuses riches en Ammonites, Huîtres, et divers Laméllibranches. L'assise calcaire du Turonien disparaît au Nord-est de Mesloula près du diapir de Débidiba, ceci est contrôlé par une déformation tectonique légère (Dubourdiou., 1959) matérialisée par une discordance au Djebel Mesloula. Cette discontinuité est caractérisée par un hard grounds ferrugineux qui disparaît progressivement vers le Sud- ouest, en même temps qu'augmente légèrement sa teneur en argile [7]

- **Le Sénonien inférieur (Coniacien, Santonien)**

Le Sénonien inférieur est représenté essentiellement par des marnes, d'argiles et de calcaires argileux. Dans la partie inférieure il y'a eu lieu localement au cours du Coniacien le développement de dépôts carbonatés de mer peu profonde ou néritique parfois récifaux à haute énergie.

- **Le Sénonien supérieur (Campanien, Maestrichtien)**

Il est constitué par une série pouvant atteindre 800 m composée essentiellement de carbonates néritiques partiellement récifaux à intercalations de marnes.

## **b Cénozoïque - Quaternaire**

### ***b-1 Le Miocène (Néogène)***

L'épaisseur du Miocène peut atteindre une centaine de mètres (100 m). Il débute par des formations marines transgressives et discordantes sur les terrains anciens. Ils sont représentés par des calcaires roux, suivis de marnes très argileuses de couleur verte devenant rouge foncé et enfin par des argiles à intercalations de grès grossiers. [7]

### ***b-2 Le Plio-Quaternaire***

Les plus anciennes formations continentales appartiennent au Quaternaire supérieur (Dubourdiou., 1959). Celui ci est représenté essentiellement par des dépôts argileux et conglomératiques. Il est à noter qu'aucun dépôt Pliocène ou Pléistocène ancien n'a été observé dans la région. Selon Dubourdiou (1956 et 1959), ce phénomène serait à mettre en relation avec une surrection régionale suivi d'une érosion intense à cette époque.

Ces formations Quaternaires sont compose de :

**a. Argile rouge** (O. Oglat Rbaib ; O. Kebir ; Kt el Kramassa ; O. Serdiess) ;

**b. Conglomérats** (contreforts E du Dj. Djebissa). Au K<sup>1</sup> Sefra et dans l'O. Naguess (près Tébessa), l'argile et les conglomérats, alternant, n'ont pas été distingués.

Ces sédiments présentent, la plupart du temps, un pendage qui, s'il tient parfois à leur origine (dépôts de pente anciens à l'E du Dj. Djebissa), peut être aussi d'origine tectonique (O. Naguess, près de Tébessa). A cette série se rapporte la plus grande partie des terrains décombement de la fosse d'effondrement. UN sondage exécuté pour la recherche d'eau dans la basse plaine de Tébessa les a traversés sur 171 m. Ils renferment, en général, une faune d'Hélicidés. L'origine des sédiments détritiques est toujours immédiatement proche.

		Lithologie	Epaisseur (m)	Description lithologique		
CENOZOIQUE	Quaternaire		⑥ 10-30	Dépôts clastiques d'origine continentale.		
	Paléogène	Miocène		⑤ 10-150	Conglomérats à grains variés avec un ciment carbonaté, grès quartzeux et calcaire sableux avec intercalations d'argilites.	
		Eocène		200	Calcaires marneux à silex et intercalations de phosphates par endroits dans le mur.	
	MÉSOZOIQUE	CRAI	Maastrichtien		250-300	Calcaires gris clairs, calcaires crayeux et marnes argileuses avec intercalation d'argiles dans la partie supérieure.
			Campânien		500-600	Marnes argileuses gris-foncées et des calcaires blancs dans la partie moyenne et supérieure.
		SÉPTEMIEN	Con-Santal		④ 500-600	Marnes argileuses grises et grises bleuâtres.
			Turo		180-250	Calcaires en bancs, partiellement marneux à teinte noire et gris-foncée.
		URGONNIEN	Cénomane		③ 900-1000	Marnes gris-verdâtres et grises dans la partie supérieure, avec intercalations de calcaires marneux.
			Vracon		② 500-600	Marnes et marnes-argileuses avec intercalations de calcaires argileux et argilites.
		ALBIAIS	Albien		480-600	Marnes grises et gris-foncées, noires dans la partie supérieure avec de minces intercalations de calcaires argileux.
Clans				100-200	Marnes grises, gris-jaunes partiellement avec des intercalations de calcaires.	
Aptien				① 300-600	1- Faciès clastique, marnes argileuses avec intercalations de marnes sableuses et grès calcaires. 2- Faciès carbonaté, calcaires organo-détritiques, bioclastes, ooclastes et interoclastes.	
MÉSOZOIQUE		Barrémien		< 250	Calcaires et dolomies, argilites et argiles dans la partie supérieure (Grès à Mesloulia).	
	Jurassique		< 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.		
	Trias		< 700	Formations marno-gypsifères bariolées avec peu d'intercalations de grès à grains fins, dolomies et calcaires marno-dolomitique.		

Figure 3 : Log synthétique des monts du Mellègue (D'après: Dubourdiou., 1956- 1959; David., 1956;Madre., 1969; Fleury., 1969; Thibieroz et Madre., 1976; Chikhi., 1980; Otmanine., 1987; Bouzenoune.,1993 et Vila et al., 2000) in L.,Sami. 2003 [7]

### **I-7- Les dépôts actuels**

Sur la plaine de Tébessa, les dépôts actuels, sont constituée par :

- Un cailloutis calcaire peu important dans le lit d'Oued Kébir,
- Des limons d'Oued Kébir qui remplissent le lit majeur,
- Des limons fins associés à des niveaux de cailloutis anguleux déposés dans toutes les régions de basse altitude,
- Croûte calcaire blanchâtre d'une épaisseur d'un mètre environ et parfois plus, présente à travers toute la plaine,
- Brèches et cailloutis anguleux d'épandage anciens aux pieds des massifs calcaires d'une épaisseur de quelques mètres, A Chéria, ils se présentent sous deux formes :
- Le colmatage des bas-fonds sur la partie amont de la plaine de Chéria qui peuvent atteindre plus de 50m de puissance, formés par des cailloutis et petits galets enrobés dans le limon, le marécage de Chéria est occupé par une alternance d'argile et des niveaux de cailloutis,
- Les alluvions des piedmonts qui occupent toutes la périphérie de la plaine formés essentiellement par des cailloutis calcaires, provenant de l'altération des reliefs calcaires du Maestrichtien,

A El Ma El Abiod, Le dépôt le plus récent est constitué par des couches limoneuses qui occupent la majorité du bas fond de la cuvette, Cette formation se charge de plus en plus en sels, qui deviennent visible au niveau de petits marais temporaires au niveau d'OglatChaachaa, où pendant la saison chaude, le sel arrive jusqu'à la surface en formant des cristaux, [8]

### **I-8 Les formations calcaires**

- a- **L'Eocène** : Des calcaires a silice et d'autres a Nummulites caractérisent l'Eocène inférieur et moyen, près de 200 mètres de la région de Tébessa. Leur puissance est de 200 mètres
- b- **Le Paléocène** : Ces formations, de près de 200 m d'épaisseur ont été subdivisées en deux ensembles : Sa base présente des marnes analogues a celles du Maestrichtien supérieur qui s'intercalent a des couches phosphates vers les niveaux supérieurs.

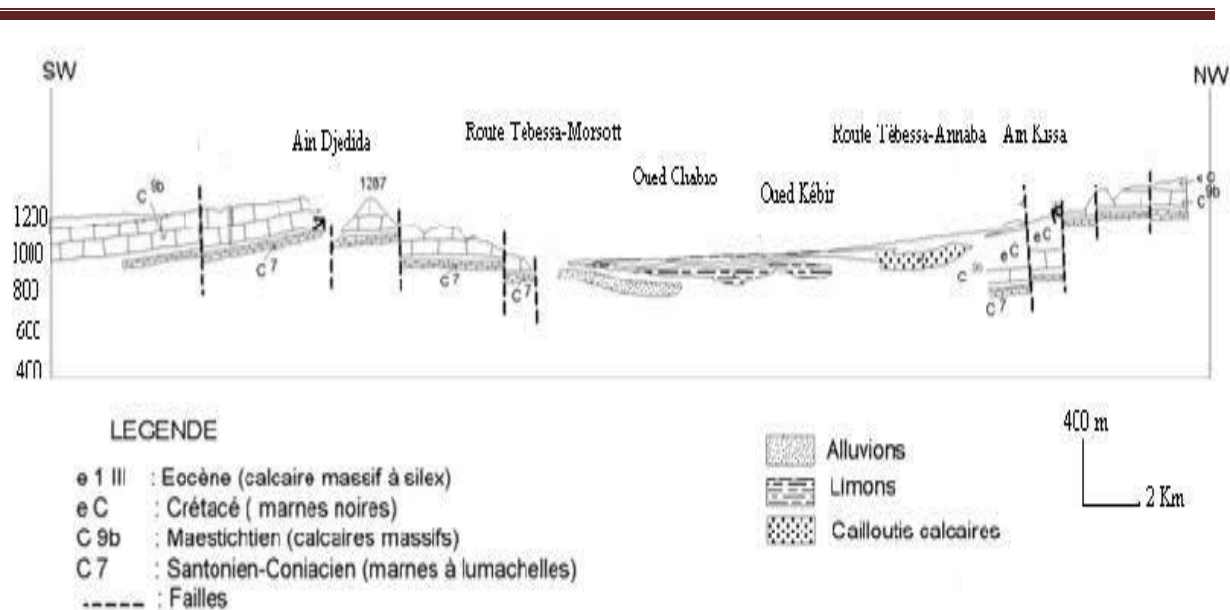
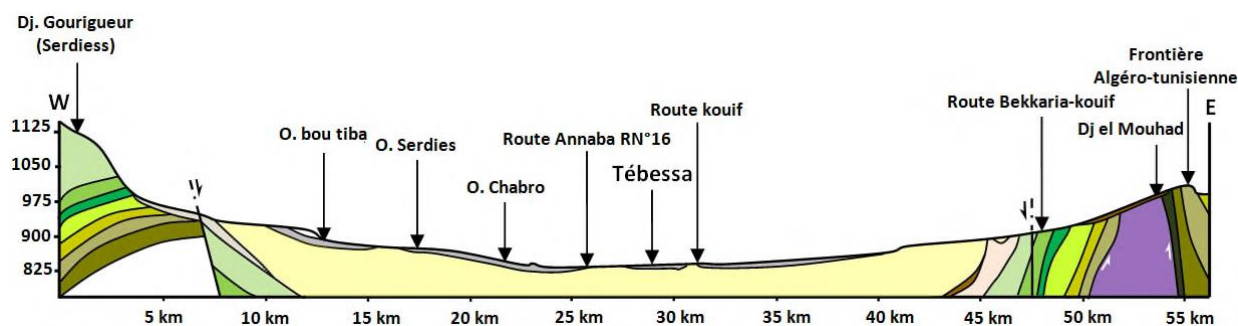


Figure 4 : Coupe géologique schématique de la plaine de Tébessa (in Djabri L, 1987) [8]

### c- Crétacé supérieur

■ **Le Maestrichtien** : Il est marqué par des calcaires blancs bien lite, d'environ 60 mètres d'épaisseur, recouverts par une très forte accumulation de marnes argileuses grises à noires (150m). Ces dernières admettent à leur base quelques intercalations de calcaires (Dubourdiou, 1956). Le régime sédimentaire au Campanien supérieur et au Maestrichtien, indique toujours la continuité des mêmes conditions de dépôts dans un milieu peu profond et de mer chaude, avec une prédominance de calcaires crayeux rarement récifaux (Figure 04).

■ **Emschérien** : Ils ne sont pas subdivisés à cause du manque d'éléments de datation. Ils sont représentés par des marnes argileuses gris verdâtre et jaune gris à plaquettes de calcite fibreuse et intercalation de marnes à lumachelles. Leur puissance varie de 200 à 600 mètres. [9]





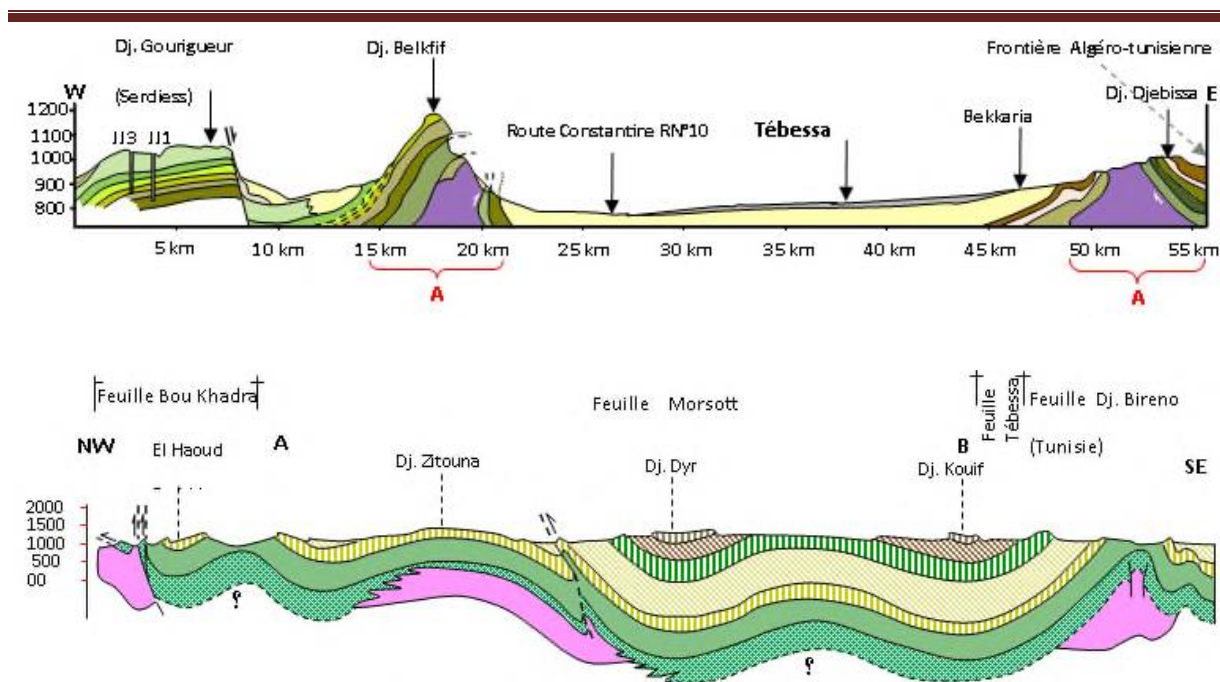


Figure 5 : Coupe Géologique schématique de la zone d'étude (in Amor Hamad 2018) [9]

■ **Turonien** : Il se fait remarquer par son changement rapide de sédimentation vers des calcaires compacts donnant lieu à des reliefs accrus. Le Turonien constitue les flancs des grands anticlinaux et synclinaux et ses formations affleurent également en dehors des zones diapiriques. L'analyse lithologique faite par Salmi-Laouar (2004) montre que la partie inférieure du Turonien dans le massif d'Essouabaa, épaisse de 200 mètres environ, est formée d'une série d'alternance stratocroissante de marnes, de calcaire marneux et de calcaires. Les marnes sont parfois argileuses de couleur grisâtre, d'ordre métrique à plurimétrique. L'épaisseur des bancs de calcaires marneux et des calcaires fins micritiques sont aussi d'ordre métrique à plurimétrique. L'étude de la microfaune a livré des sections du genre *Weithenella* et du genre *Hedbergella*. Sachant que ces genres sont très abondants à la limite Cénomanién-Turonien ainsi que dans le Turonien inférieur, l'âge turonien inférieur pour ces niveaux est admis et confirmé. À partir du Turonien inférieur, les conditions abyssales qui régnaient, commencent à changer vers des conditions de mer chaude moins profonde. Au Turonien supérieur, une mer relativement profonde s'installe avec une accumulation d'une assise marneuse. Ce régime continue jusqu'au Campanien

■ **Cénomanién** : Dans la région de Tébessa, une série monotone de marnes argileuses verdâtres s'installe au Cénomanién inférieur. Au Cénomanién moyen, ces marnes admettent diverses intercalations calcaires peu développées avec une faune plus au moins abondante et de veinules de calcite fibreuse. Au Cénomanién supérieur, la sédimentation devient

carbonatée. L'épaisseur totale de la formation cénomaniennne est estimée entre 750 et 1100 mètres. La sédimentation cénomaniennne s'est déposée dans des conditions abyssales (profondes). Cette époque est caractérisée par des décrochements traduisant un raccourcissement NE-SW (Othmanine, 1987). A l'approche du Turonien, la sédimentation change rapidement en même temps que disparaissent les fossiles. Les marnes argileuses sont remplacées par des couches chargées en carbonate de chaux (Duboudieu, 1956). La limite supérieure du Cénomaniennne est difficilement distinguable (Dubourdieu, 1956). [9]

#### **d- Crétacé inférieur**

■ **Albien** : Généralement, la formation albienne débute par un faciès carbonate qualifié de (récifal) dans sa partie inférieure et marneux et marno-calcaire dans sa partie moyenne à supérieure. Dans la région de Tébéssa, il est marqué par une faune benthique dans des zones peu profondes. A l'Albien supérieur, la couverture albo-aptienne est percée par le Trias, entraînant le redressement des couches et la complexité des structures (plis évases, plis en champignon, etc.) généralement cédés par le Vraconien. Une série monotone de marnes à argiles d'un gris foncé avec passage de calcaires à marnes noires. Sa puissance varie de 20 à 150 mètres. [9]

■ **Aptien** : Sur de vastes surfaces, l'Aptien prend dans "la zone des diapirs" de la région de Tébéssa une grande importance par la nature de ses dépôts et leur développement substantiel (300 à 600m d'épaisseur) (Figure. 11). Il est formé de roches carbonatées néritiques qui se sont déposées dans des eaux chaudes peu profondes. Ces conditions ont favorisé l'essor des processus organogènes de la sédimentation qui a mené à la formation de différentes constructions. A l'Aptien, la mer était plus étendue qu'au Barrémien. Le fait le plus marquant de cette période est la formation des récifs sur des rides allongées (Dubourdieu, 1956). Durant l'Aptien supérieur, la région de Tébéssa a connu le développement de nombreuses plates-formes isolées dont l'architecture est contrôlée par des remontées diapiriques (Dubourdieu, 1956). Ce complexe fait partie du domaine des hauts-fonds qui sépare, durant l'Aptien un domaine profond (sillon de Sellaoua) d'un autre très subsidant (sillon atlasique oriental). Ces faciès aptiens annoncent une régression finis- aptienne. La formation aptienne débute par un Aptien essentiellement marneux composé par une alternance de marnes, d'argile, des grès et de calcaire à Gastéropodes, Mollusques et Echinoïdes. Cet Aptien marneux est surmonté par un Aptien calcaire, formé de puissants blocs calcaires à ciment dolomitique, bioclastiques à orbitolines, rudistes et qualifiés de récifaux (Dubourdieu, 1956). Le Clansayésien est composé

quant à lui par des marnes grises à jaunes avec des intercalations gréseuses et calcaires (Dubourdiou, 1956). L'Aptien et les successions du Clansayésien apparaissent au cœur des anticlinaux de la région.

■ **L'Aptien marneux** : Il est présente par des gros bancs massifs et épais de calcaires béchiquesa ciment dolomitique, de calcaires graveleux et bioclastiques a Orbitolines et de Mollusques. Parfois, on rencontre des intercalations de quelques niveaux de marnes feuilletées de couleur rouge violacée ou verte. On note la présence de quelques Lamellibranches, de moules internes de Gastéropodes au niveau de Djebel Bouroumane. Cette formation peut atteindre 450 m d'épaisseur.

■ **L'Aptien calcaire** : Il surmonte l'Aptien marneux et renferme le plus souvent des miliolites, des rudistes et des lamellibranches et une abondance de quartz automorphe. L'épaisseur de cette formation varie entre 100 et 170 mètres. Ces calcaires sont considérés comme un métallotectite lithologique puisqu'ils encaissent l'essentiel de la minéralisation ferrifère et/ou polymétallique (Dubourdiou, 1956).

■ **Barrémien** : Les seules formations qui se rapportent au Barrémien, affleurent au petit anticlinal de Sidi Embark au NE de Dj. Ouenza, sur le flanc SW de l'anticlinal de Mesloulou et le long de l'oued Batma et au NW de Dehar mesloulou (Dubourdiou, 1956). Ailleurs des mouvements d'effondrements (Boukhadra-Hameimat) et la poussée triasique (Ouenza, Boujaber),(Dubourdiou, 1956), empêchent d'observer les sédiments antérieurs à l'Aptien. Les formations barrémiennes sont représentées essentiellement par des marnes grises ou jaunes assez argileuses, à ammonites pyriteuses. Vers le sommet, ces marnes sont intercalées par de minces passées de calcaires noduleux gris clair à patine ocre (Dubourdiou,1956). Ces formations ne dépassent pas les 250m d'épaisseur. Elles se sont déposées sur un haut fond assez proche de la surface (Dubourdiou, 1956), et témoignent des conditions de sédimentation en mer peu profonde. Ces conditions de sédimentation se sont pour suivies jusqu'au début de l'Aptien. [9]

### **e- Le Trias**

Le Trias affleure en de nombreux endroits, à la faveur de pointements diapiriques, qui se seraient manifestés pour la première fois à l'Éocène. Il constitue la majeure partie du Dj. Djebissa à l'extrémité est de la plaine. On le retrouve au Sud du Dj. Belkif, près du Dj. Hameimet Nord et enfin au Nord de Morsott où l'affleurement s'étend très largement en direction d'El Aouinet Il est représenté par de grandes masses de gypses gris bleuté et parfois rougeâtre, et par des argiles vertes et bariolées. Ce faciès, indique

l'existence d'importantes lagunes où se sont déposées de grandes quantités de marne, de gypse et probablement de sel. [9]

### **1-8 les phases tectoniques**

La structure tectonique de la région d'étude a dû s'édifier suite à la manifestation de deux phases orogéniques (Villa 1980)

#### **Première phase**

Se manifeste dès la fin du Crétacé supérieur. Son paroxysme se situe entre le Lutétien supérieur et le Miocène inférieur. Il s'agit bien de la phase atlasique qui constitue très certainement la phase principale de plissement dans la région d'étude. R. Laffite (1949), l'identifie par son étude sur l'Aurès comme étant la phase orogénique majeure dans l'Atlas Saharien, C'est durant cette phase qu'il y a eu les plissements de couverture de direction SW-NE, qui donnent les grands axes anticlinaux (Dj. Bouroumane), Le diapirisme du Trias a dû commencer durant cette phase tectonique qui a continué jusqu'au villafranchien inclus,

#### **Deuxième phase**

Cette phase est postérieure aux plissements précédents, Elle est responsable d'une Tectonique cassante, marquée par des mouvements du socle considéré, après les mouvements datant de cette phase, que les grands bassins délimités par les chaînes montagneuses anticlinales furent soumis certainement à des mouvements d'affaissement, donnant naissance aux différentes plaines (Tébessa, d'El Ma El Abiod et de Chéria). Le plateau de Chéria est reconnu par deux systèmes de fractures d'âge post-Miocène, l'un d'une orientation Est-Ouest et le second Nord-Ouest Sud-Est. les fractures Est-Ouest intéressent surtout les affleurements anciens au niveau des crêtes et affectent les flexures Sahariennes et semblent être en relation avec les accidents profonds générateurs de ces structures. par contre, les fractures Nord-Ouest Sud-Est, affectent toute la chaîne de Dj. Labiod, Dj. Onk et Dj. Oum El Kemmakem, caractérisées par des rejets moins importants par rapport aux fractures sus indiquées.

La faille de Tnoukla et les failles de direction NW-SE orthogonales à ces plissements datent de cette époque, Dans la région d'Elma Labiod on reconnaît deux directions structurales dominantes qui se manifestent dans les accidents tectoniques : plissements, flexures, allongements de bassins et cassures, Elles se reflètent dans la morphologie topographique et partiellement dans l'hydrographie. [10]

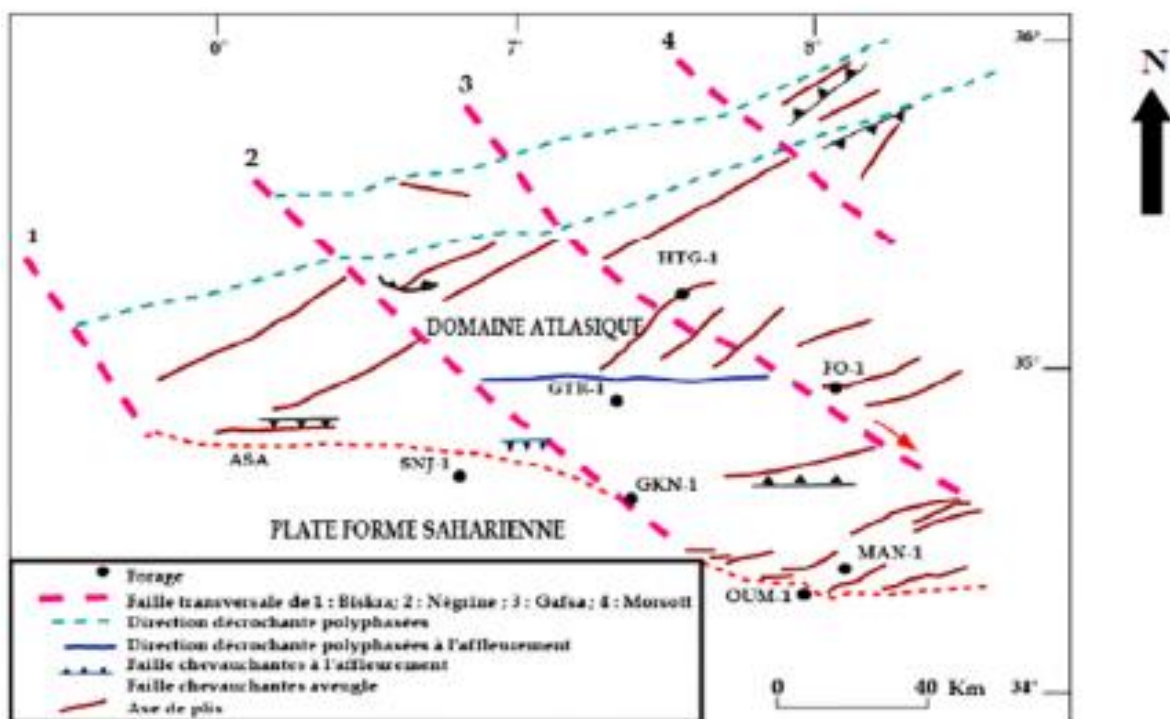


Figure 6 : carte structural simplifié du Sud Est Constantinois (in Brahmi I, 2021)

## *Chapitre II*

### *Formation et classification des roches carbonates*

## II-1 Introduction

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est de 3 à 4 % en carbonate de calcium. L'élément calcium est présent dans la nature sous forme carbonatée. Sa formule chimique ( $\text{CaCO}_3$ ) désigne une matière première qu'on retrouve, dans la nature, sous forme de Calcites ou d'Aragonite Thaibaoui, K. (2009). Les principales roches carbonatées les plus commercialisées sont les calcaires et les dolomites. La Figure suivante présente la répartition de la roche carbonatée au NORD Algérien. Dans ce chapitre on montre les différents processus de formations de ces roches et leurs classifications. [11]

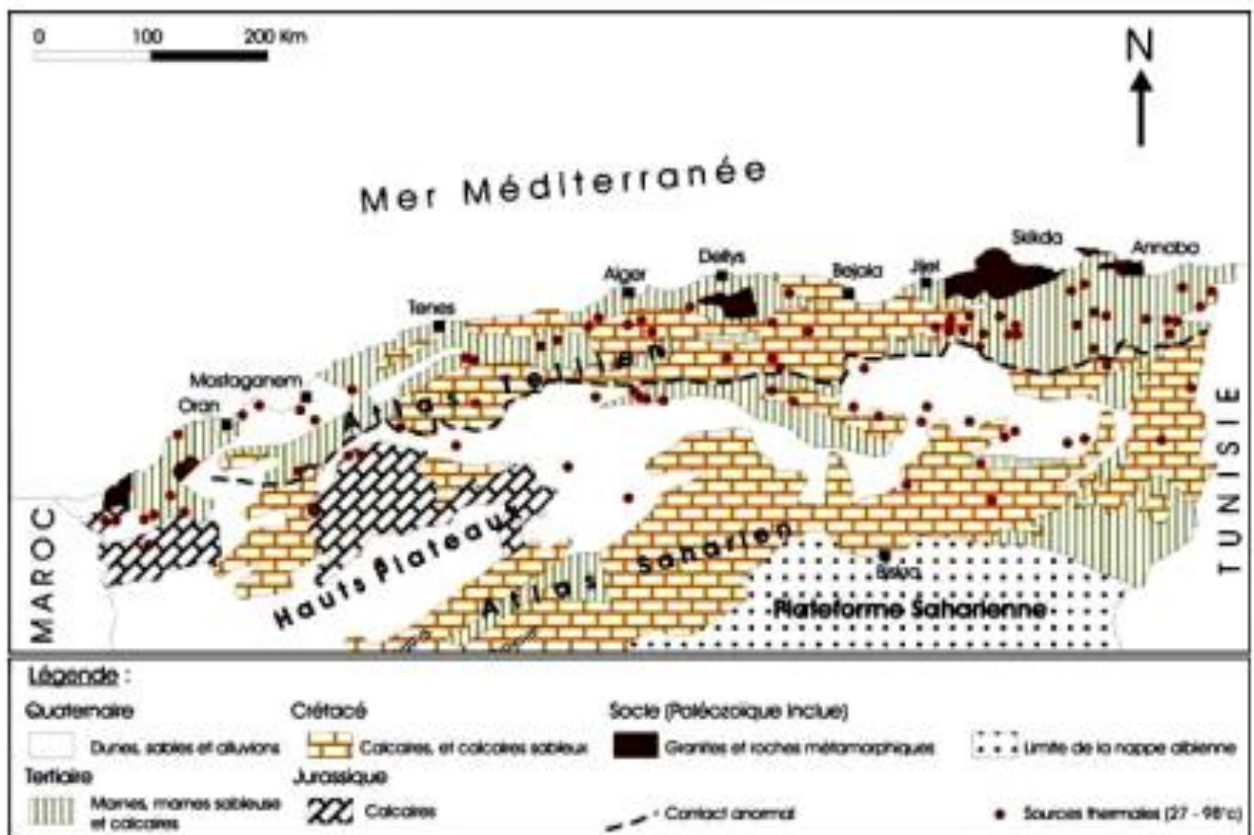


Figure 7 : Carte géologique Schématique des dépôts calcaires en Algérie Kedaid, F. Z. (2006).[11]

### II-2 Généralités sur les sédiments carbonatés

Calcaires et dolomies présentent la majorité des roches carbonatées, ils représentant environ 20% des ensembles sédimentaires, composées de plus de 50% en poids de calcium (Ca) et de magnésium (Mg), Ces roches ont des éléments constitutifs qui se sont accumulés à la surface de la croûte terrestre et plus particulièrement dans les eaux, surtout marines.

Les différents types de milieux marins vont produire des sédiments aux caractéristiques très variées telles que : lagune boueuse et sur-salée, récif corallien, dépôts de mer profonde, plage sableuse... Les sédiments carbonatés se sont souvent transformés après leur dépôt, rapidement, par diagenèse à des températures (T) et pressions (P) relativement basses, [T inférieure à 150°C et P inférieure à 1,5 Kilo-bar (Kbar)]. Cependant, ces roches carbonatées peuvent subir aussi des conditions de (T) et de (P) bien plus élevées au point d'atteindre divers degrés de métamorphisme.

Ce processus amènera à la formation de « *marbres* » montrant des recristallisations et l'apparition de minéraux caractéristiques.

Enfin, de très rares roches carbonatées ont une origine magmatique : ce sont les carbonatites,, Lorsqu'elles sont exposées aux conditions météoriques, les roches carbonatées subissent des altérations caractéristiques dont des dissolutions, liées notamment à leur solubilité élevée. Les phénomènes engendrés conduit à la formation de karst. [12]

### II-3 Formation des roches carbonatées sédimentaires

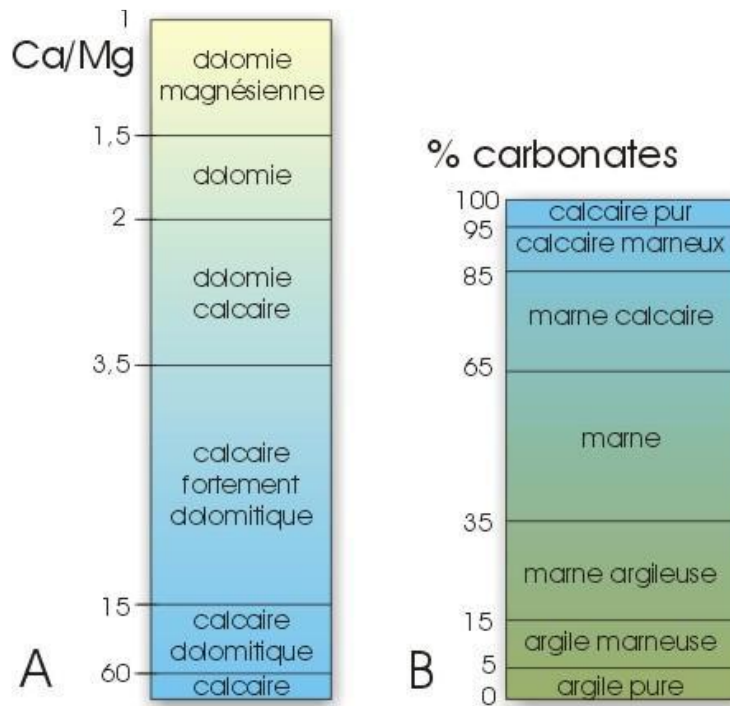
Le dépôt de sédiments calcaires est contrôlé par différents processus surtout de nature biogénique, souvent simultanés mais d'importance variable, (*Burnotte-1995*), Citons :

- l'apport de grains de carbonates formés ailleurs (Allochems) et transportés jusqu'à l'endroit du dépôt: fragments de roches calcaires (intraclastes), fragments d'organismes à squelette carbonaté (bioclastes : coquilles, foraminifères,...) boue calcaire (micrite), etc,
- l'action d'animaux fixes qui retiennent le calcium dans leur squelette et édifient des constructions (bioconstructions : cas des coraux, éponges, algues...) et autres phénomènes surtout observés dans les mers chaudes et peu profondes,
- Les précipitations chimiques dans les grains de taille variable : (oolites ou sphérules à couches concentriques, concrétions algaires, bactériennes, boues de cette origine...), Ces précipitations sont souvent favorisées par la présence d'organismes qui modifient le **pH** ou la



concentration de l'ion  $HCO_3^-$ . Donc la solubilité de  $CaCO_3$ . Comme exemple les foraminifères planctoniques, des coccolithophoridés (à l'origine de la craie), des constructions algaires ou cyanobactériennes comme les stromatolites (Claude, 1994), Dans tous les cas, le processus de formation de ces carbonates est au moins ponctuellement lié à la concentration et au dépôt de  $CaCO_3$  contenu et fixé à l'intérieur ou à l'extérieur des organismes par l'activité biologique. D'où le fait que les calcaires soient souvent fossilifères, surtout ceux formés en milieu marin (König, 2006).

Ces carbonates regroupent en général des calcaires francs, des calcaires dolomitiques et des dolomies, voire des roches franchement magnésiennes, Lorsque l'on dispose d'analyses chimiques, on peut distinguer plusieurs termes en fonction du rapport Ca/Mg comme le montrent les diagrammes suivants (Figure,6), [13]



**Figure 8 :** Classification des roches carbonatées, **A:** en fonction du rapport Ca/Mg,

**B :** en fonction de la teneur en argile, (Boulvain, 2011), [13]

Les roches carbonatées peuvent aussi contenir de l'argile et former des calcaires marneux, des marnes, des marno-calcaires...

En général, un calcaire pur est relativement cassant, alors qu'une marne est plus friable. L'introduction d'argile dans le calcaire facilite aussi l'apparition de la schistosité et la

formation de nodules diagénétiques. Certains calcaires peuvent être durs, d'autres plus tendres comme les craies. Ces différences sont dues au degré de consolidation acquis lors de la diagenèse.

La lithification des carbonates induit souvent la cimentation des grains qui se sont accumulés, ce qui entraîne une réduction de la porosité et une cohésion plus grande de la roche, Un phénomène diagénétique fréquent est la dolomitisation des calcaires, par remplacement dans la structure de la calcite d'un atome de calcium sur deux par un atome de magnésium, ce qui entraîne la formation du minérale dolomite suivant la réaction :



Le Mg est apporté par des eaux très minéralisées, Plusieurs hypothèses génétiques concernant les influences réciproques Ca-Mg sont apportées par les géologues, Si l'on peut distinguer à l'œil ou à la loupe sur cassure fraîche des calcaires grenus et des calcaires fins, une analyse pétrographique sur lame mince est souvent nécessaire pour obtenir une bonne description de ces roches. [14]

#### **II-4 Minéralogie des roches carbonatées :**

■ **La calcite** :  $\text{CaCO}_3$ , elle cristallise dans le système rhomboédrique, densité = 2,71, dureté = 3, avec trois orientations de clivages très nets, éclat vitreux ou laiteux, couleurs variables, Nombreuses formes cristallines,

■ **L'aragonite** :  $\text{CaCO}_3$ , cristallise dans le système orthorhombique, densité = 2,95, dureté = 3,5 à 4 un clivage net, éclat vitreux, couleur variable, Cristaux souvent en agrégats fibreux,

**NB** : Dans les conditions de surface, la calcite, thermodynamiquement plus stable, est nettement plus abondante que l'aragonite.

■ **La dolomite** (étymologiquement de *Dolomieu (Bourrouilh-le Jan, 1996)* :  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  cristallise dans le système rhomboédrique, densité = 2,85, dureté = 3,5 à 4, éclat vitreux ou laiteux, couleur variable souvent rosâtre ou jaunâtre, cristaux souvent rhomboédriques, Une solution solide complète existe avec l'ankérite  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$  qui est plus dense et souvent brunâtre, La dolomie réagit plus difficilement à l'acide chlorhydrique dilué (et chaud) que la calcite et l'aragonite,

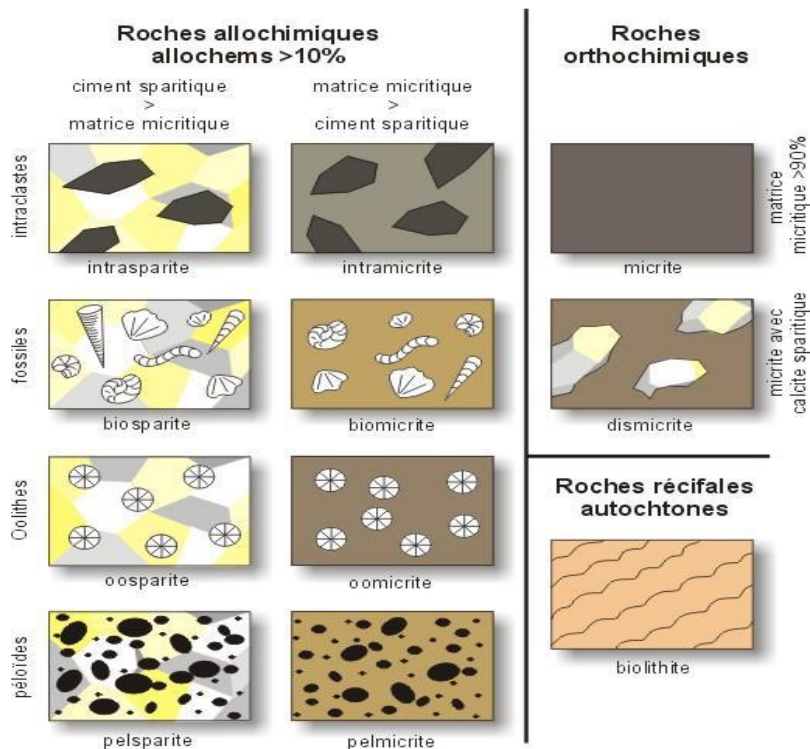
Dans la littérature anglophone, le terme dolomite désigne indifféremment la roche ou le minéral. Pour la roche, nous lui préférons le terme « dolostone » qui équivaut à dolomie.

D'autres minéraux sont présents dans les roches carbonatées et sont la source des « impuretés » détectées par les analyses et indésirables pour la fabrication des chaux. Les plus importants sont : d'autres carbonates (sidérite :  $\text{FeCO}_3$ , rhodochrosite :  $\text{MnCO}_3$ ), des silicates (quartz, feldspaths, argiles : kaolinite, illite, chlorite, micas, amphiboles,...), des oxydes et hydroxydes (hématite, goéthite, pyrolusite...), des sulfates (gypse, anhydrite,...), des sulfures (pyrite, marcassite,...), des phosphates (apatite). [14]

### II-5 Classification des roches carbonatées

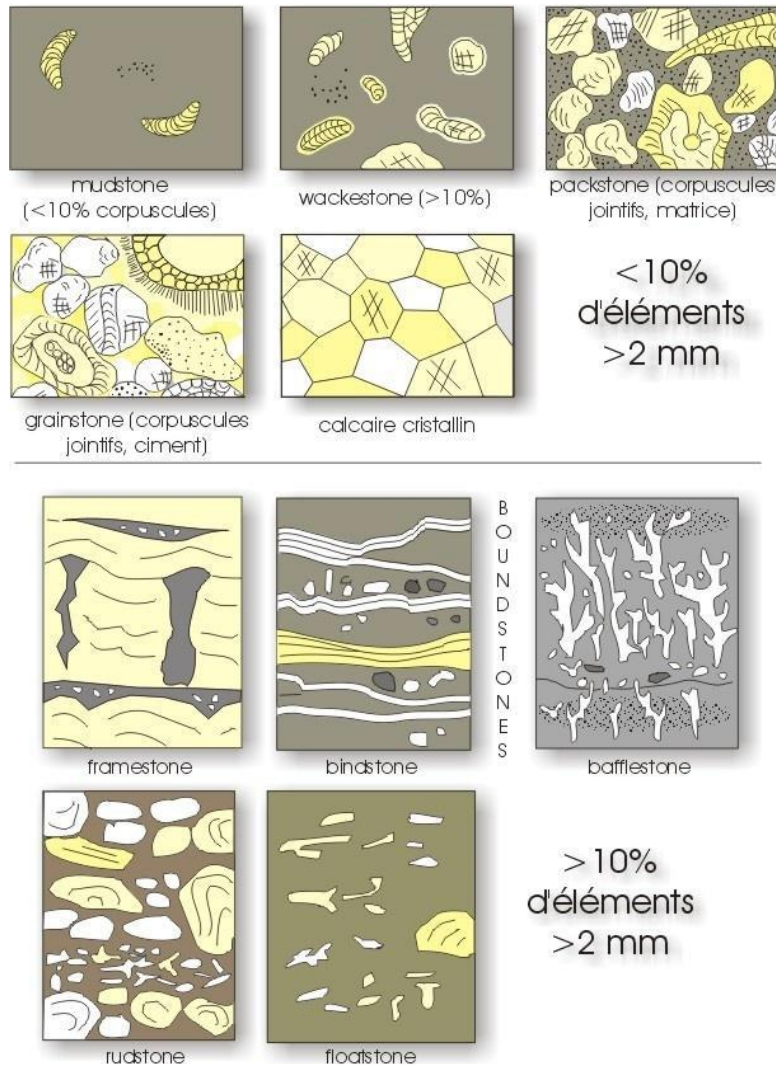
La diversité des calcaires et dolomies, liée à leurs compositions chimiques et minéralogiques, à leurs propriétés physiques telles que les porosités ainsi qu'à leurs textures, à la nature de leurs constituants...a fait naître une abondante terminologie, Actuellement les classifications les plus utilisées font appel à des paramètres accessibles sur échantillons ou en lame mince tels que proportion matrice-ciment-grain (*Boulvain, 2011*)

[Pour FOLK matrice ou micrite, ciment ou sparite et grain ou « allochems » regroupe : grains, corpuscules, éléments Figureurs], Quoique plus ancienne, la classification de Folk (1959) reste d'actualité et possède également ses adeptes. Elle est représentée en Figure 9. [14]



**Figure 9** : Schéma de classification des roches carbonatées selon Folk (1959), (*In Boulvain, 2011*) [15]

Pour la plupart des sédimentologues la classification admise comme la plus commode est celle proposée par *Dunham* en 1962 et complétée par *Embryet Clovanen* 1972 puis par *Tsien* 1981 ; elle est représentée en Figure 10.



**Figure 10** : Classification des roches calcaires selon Dunham (1962) et Embry&Klovan (1972), (In Boulvain, 2011), [15]

## **II-6 Caractères principaux des calcaires et dolomies**

### **II-6.1. Roches crues**

#### **a. Définition, perméabilité, porosité**

Les calcaires et les dolomies incluent souvent leurs caractéristiques les plus facilement observables, C'est à dire la faible dureté [rayée au couteau mais variable d'un calcaire (ou dolomie) dur à une craie friable] et l'effervescence à l'acide chlorhydrique dilué pour le calcaire et l'absence de cette réaction vive pour la dolomie. Ces deux caractéristiques sont liées aux constituants majeurs de ces roches (la calcite et la dolomite). Les calcaires et les dolomites sont des roches souvent rigides mais cassantes. Les mouvements qui les affectent les brisent et créent des fissures ou diaclases. Les eaux s'infiltreront facilement et circuleront par l'intermédiaire de ces fissures, Les paysages formés par ces roches sont souvent perméables. La porosité correspond au volume total des vides contenus dans la roche. Elle est exprimée le plus souvent en pourcentage. Dans un calcaire, celle-ci peut varier de 0 à 50%. Alors que les fissures ou fractures sont des vides à deux dimensions, les pores sont des vides à trois dimensions, La porosité des pores est plutôt initiale mais elle peut se former lors d'une calcaire, dolomite et chaux Phase diagénétique secondaire (dissolution). Cette porosité est mesurable en laboratoire pour les besoins d'applications dans le domaine des travaux publics et du bâtiment. [16]

#### **b. Classifications des porosités**

Elles se font en fonction de :

- **la taille des pores :**

Il y a plusieurs classifications, généralement trois classes de pores sont distinguées : les *nanopores*(ou *infrapores*), les *micropores* et les *macropores*, On dira par exemple : une forte macroporosité dans un calcaire indiquera un faible degré de cohésion entre les éléments, une forte microporosité ou infraporosité accessible à l'eau correspondra à un fort potentiel capillaire et sera une cause de gélivité...

- **la nature sédimento-diagénétique de la roche :**

Cette classification réalisée par Choquette et Pray en 1970 (in Boulvain, 2011), reste la référence, Elle est illustrée par la Figure 11 suivante :

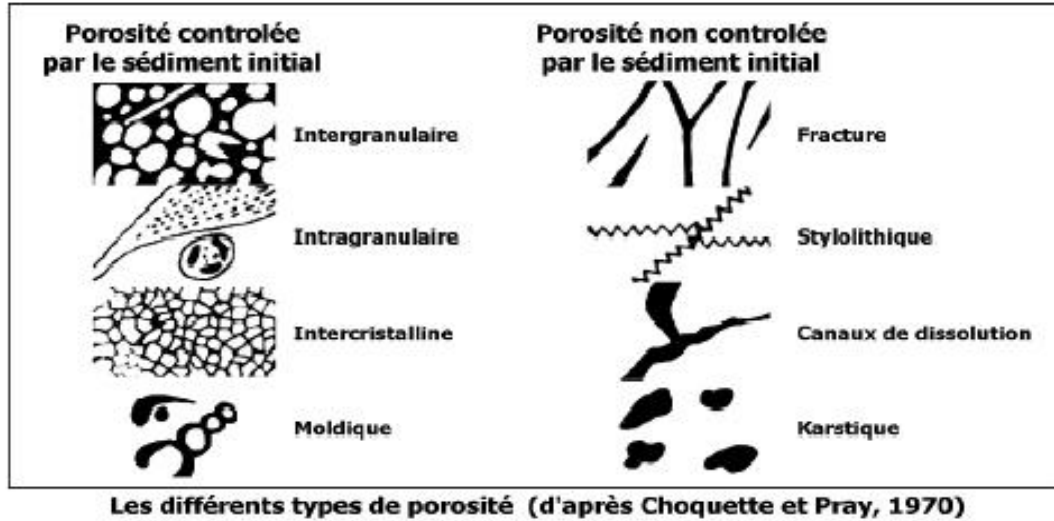


Figure 11 : Représentation des types de porosité [16]

Elle différencie les porosités liées à la nature du calcaire : morphologie des grains, croissance des ciments..., des porosités indépendantes du ciment initial : fractures, karst... Toute une terminologie nuance les différents types de porosités : intergranulaires, intragranulaires, intercrystalines, stylolithiques, karstiques... L'étude fine du microfaciès d'un calcaire et l'analyse de ses composants sédimentologiques et diagénétiques donnent de nombreuses indications qualitatives sur la porosité, Les dolomies aussi font l'objet d'examen détaillés en relation avec les paramètres de perméabilité, de porosité et leurs variabilités, Paramètres qui, pour ces matériaux, ont une importance de premier ordre dans l'étude des aquifères et des réservoirs encaissants d'hydrocarbures ou de minéralisations métalliques,

D'autres propriétés et caractères seront envisagés en rapport avec les principales utilisations de ces matériaux crus (bâtiments, travaux publics, carbonates...) ou transformés (liants dont la chaux et ses dérivés), Elles seront évoquées dans les parties appropriées, [16]

### c- Effets chimiques

La dolomite réagit faiblement à l'effervescence avec l'acide chlorhydrique dilué et à froid (sauf pour l'acide chauffé à 40°C), contrairement au calcaire. Ce dernier est très faiblement soluble dans l'eau pure [environ 15 à 20 mg par litre à 25°C mais soluble dans l'eau chargée de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>)]. Ce gaz est d'autant plus soluble que la pression du milieu augmente (mais moins lorsque la température augmente, sauf si le calcaire est en présence d'acides générés par des végétaux!)... Conditions qui peuvent être réunies, expliquant certains phénomènes naturels comme les karsts ou autres jeux de dissolution-précipitation. [17]

## **II-7 Conclusion**

Les roches carbonatées font partie inhérente du cycle géologique, puisque leurs constituants (grains ou ions solubles) résultent de l'altération de roches ou de sédiments préexistants, que ces constituants ont subi un certain transport et qu'ils se sont déposés, ont été précipités ou bioprécipités dans un bassin de sédimentation. Seuls les dépôts volcano-sédimentaires échappent à ce schéma. L'évolution post-dépôt de ces sédiments (diagenèse) les transforme en roches sédimentaires.

## *Chapitre III*

### *Domaine d'utilisation des calcaires*



### **III-1 Introduction**

Le calcaire, ou « limestone » en anglais, qui se traduit littéralement par « pierre à chaux » (c'est dire le lien étroit qui existe entre les deux matériaux), constitue le point de départ obligé de la fabrication de la chaux.

Il n'en reste pas moins réservé à d'autres usages comme la fabrication du ciment ou dans l'industrie chimique (fabrication de la soude ou du gaz carbonique).

Pour certaines qualités (pureté surtout), le calcaire grossièrement concassé appelé « castine » intervient en sidérurgie comme fondant des impuretés associées au minerai de fer. Mais, son usage est plus largement répandu dans le domaine de la construction : bâtiment, travaux publics ... Ici, la gamme entière des carbonates - allant de la dolomie au calcaire plus ou moins marneux - est utilisée à l'état brut, sous forme de blocs et morceaux (dimension d'envergure dépassant 125 mm et masse n'excédant pas les 15 tonnes) secs, ou plus ou moins associés à des liants pour former des enrochements de digues, retenues, gabions et autres édifices. Mais, ses qualités telles que résistance, dureté peu élevée en font une pierre de taille servant à réaliser diverses constructions, des murs de façade d'extérieur et d'intérieur, ou même des sculptures.

L'aspect décoratif, ornemental peut être recherché lorsque l'on rencontre des variétés diversement teintées et qui présentent un bon poli, de même, les marbres - roches métamorphiques à base de  $\text{CaCO}_3$  - aux applications multiples, offrent des qualités comparables voire supérieures, mais sont généralement peu propices à la fabrication de chaux. Par ailleurs, les calcaires plus ou moins marneux, associés à des quantités variables d'argile (près de 20 %) servent à fabriquer des liants hydrauliques tels que le ciment « Portland » artificiel (CPA) et d'autres variantes.

Toujours à l'état naturel, le calcaire plus ou moins dolomitique, de bonne cohésion, peut être transformé, après un broyage adéquat, en granulats utiles dans le domaine de la construction, du génie civil ,

Ses dimensions maximales n'excèdent pas 125 mm, S'il est pur et plus finement réduit il formera une catégorie appelée « carbonate de calcium », (ou « carbonate de magnésium » si la roche de départ est une dolomie pure), connue pour ses nombreuses applications... Des données physico-chimiques et quelques usages de ce carbonate de calcium ultra fin y Figurent. [18]

### **III-2 Les applications industrielles**

Les calcaires se trouvent sous différentes formes physiques : en granulométries diverses : en agrégats et en moellons, mais aussi broyé, moulu ou micronisé. On peut les trouver, également, sous différentes formes chimiques :

- $\text{CaCO}_3$  (calcaire)
- $\text{CaO}$  (chaux vive),
- $\text{Ca(OH)}_2$  (chaux hydratée ou chaux éteinte)

L'utilisation des calcaires sous ces différentes formes couvrent certaines applications industrielles, parmi lesquelles on peut citer : [19]

#### **III-2.1. Applications du calcaire granulé**

##### **a-- Production du ciment**

Le ciment est constitué d'un mélange moulu de calcaire avec de l'argile qui est ensuite broyé et calciné dans des fours rotatifs horizontaux à  $1450^\circ\text{C}$ . Le résultat est la production de clinker, un produit intermédiaire, qui on ajoute de petites quantités de gypse, le calcaire et d'autres matériaux, en fonction du ciment à produire. Le clinker et les additifs sont ensuite broyés pour obtenir une poudre fine, qui est le ciment. [19]

##### **b- La construction et travaux publics**

Les granulats de calcaire agglomérés à l'asphalte, constituent des revêtements de routes, d'aires de stationnement ou de terrasses Figure 11. Agglomérés parfois au plâtre, ils donnent le béton de plâtre. En vrac, faiblement compactés, ils forment les bons remblais après fouilles.



**Figure 12** : les granulats de calcaire au niveau société de ciment de Tébessa (Image Google Earth 2023) [20]

En vrac, puissamment compactés, ils peuvent remplir des trous foncés à force dans un terrain médiocre pour l'améliorer, ou même surmonter un terrain mauvais pour former une couche d'assise acceptable à une construction. En vrac, sans compactage, ils constituent en tranchée un matériau drainant ou, en terrasse, une couche protectrice d'une étanchéité par asphalte.

**NB** : Chacun de ces emplois requiert une granularité adaptée selon les exigences de qualités physiques : compacité versus porosité maximale, dureté, état de surface,...et chimiques : inertie, activité pouzzolanique ou hydraulique. [20]

### III-2.2. Les applications du carbonate de calcium

Le Carbonate de calcium commercial est produit de deux manières : par l'extraction et le traitement des minerais naturels ou synthétiquement ou dérivé de la chaux, par précipitation chimique. Le carbonate de calcium broyé est communément appelé GCC. Le Carbonate de

calcium précipité (PCC) est produit par un processus de re-carbonisation ou en tant que sous-produit de certains procédés chimiques (par exemple, le procédé Solvay ou la production de soude caustique). [21]

### **III-2.3. Applications du carbonate du calcium précipité (PCC)**

Le carbonate de calcium précipité (PCC) est appliqué principalement dans les industries:

#### **a- Adhésifs et Scellants**

Le PCC est principalement utilisé comme un additif rhéologique dans les scellants de haute performance. Les carbonates de calcium précipités sont utilisés comme charges dans les adhésifs et produits d'étanchéité. En raison de leurs plus petites tailles, ils sont principalement utilisés comme additif rhéologique primaire dans des produits de haute performance. [21]

#### **b- Peintures et Encres**

Le (PCC) est utilisé dans les peintures et les encres comme agent d'allongement pour augmenter l'opacité et réduire la porosité pour la conservation à sec. La formulation flexographique, héliogravure, les encres de sérigraphie, lithographique ou de soie avec le PCC peut améliorer la qualité tout en réduisant les coûts.

#### **c- Papier**

Le PCC est utilisé pour des applications semblables au GCC mais la taille des particules est beaucoup plus fine et plus rigoureusement contrôlée. Cela permet au PCC d'être utilisé plus pour le couchage du papier et la finition de surface. Le PCC peut être utilisé comme additif afin d'améliorer la brillance ou comme aide dans le collage du papier.

#### **d- Plastique**

Le PCC est utilisé pour aider flux de contrôle et les caractéristiques de moulage de composants fins. Il a également un effet significatif sur la résistance du PVC rigide.

#### **e- Alimentaire & Pharmaceutique**

De nombreux médicaments et produits cosmétiques contiennent du PCC comme matière de base pour des comprimés ou de groupage de médicaments liquides, de pommades ou de

crèmes. Le PCC est utilisé dans les dentifrices comme aide à la viscosité et comme abrasif doux.

### **III-2.4. Applications du carbonate de calcium broyé (GCC)**

Le carbonate de calcium broyé (GCC) et le carbonate de calcium précipité (PCC) sont utilisés dans plusieurs applications industrielles. Les qualités commerciales du carbonate de calcium ont été développées pour répondre aux exigences techniques en optimisant les propriétés telles que : la pureté, le degré de blancheur, la granulométrie, l'homogénéité...etc. Parmi ces applications du carbonate de calcium broyé, mentionnons :

#### **a- Adhésifs et scellants**

Comme charge et pour le contrôle de la viscosité, le GCC est souvent l'ingrédient principal pour les produits d'étanchéité, des adhésifs pour carreaux de céramique. Sa teneur peut atteindre, pour certains produits, jusqu'à 80% de la formule.

#### **b- Alimentation animale**

Comme source de calcium et une aide à la digestion, le GCC est incorporé comme complément alimentaire et antiacide.

#### **c- Construction**

Le GCC a longtemps été utilisé comme une charge dans des matériaux comme l'asphalte, le carton bitumé et le plâtre. D'autres applications font leur apparition dans de nouveaux domaines (bétons, mortiers, à titre d'exemple).

#### **d- Environnement :**

Le GCC est utilisé pour la désulfuration de la combustion de gaz dans les centrales électriques, la désacidification des forêts et des rivières, le traitement d'eau potable et comme agent extincteur contre les incendies.

#### **e- Engrais**

Le GCC a été reconnu comme fertilisant pour l'agriculture, la stabilisation de l'acidité du sol et source de calcium essentielle pour le soutien des cultures.

**f- Restauration et ménages**

Le GCC est reconnu comme un abrasif doux et source de calcium. Il est souvent utilisé comme supplément alimentaire de peu coûteux et antiacide, ou comme un liant chimique.

**g- Verre et céramique**

Le GCC est un composant essentiel de calcium dans la fabrication de verre plat et conteneurs.

**h- Peintures et revêtements de surface**

Le GCC est l'extension la plus importante pour les peintures. Il est utilisé pour étendre les résines et polymères dans les peintures. La couleur est évidemment importante. Il est utilisé aussi comme une aide à la pigmentation, et aussi pour aider à contrôler la finition.

**i- Papier**

Le GCC est utilisé à la fois comme charge pour le papier et un pigment de couchage. Le GCC à haute qualité est largement utilisé dans la fabrication du papier. La granulométrie cohérente et la couleur sont essentielles. Comme un matériau alcalin, il réduit l'acidité du papier et améliore la durabilité des imprimantes.

**j- Plastiques**

Le GCC est largement utilisé, en tant que charge, dans les produits plastiques, comprenant jusqu'à 25% du volume<sup>6</sup>. Il améliore la rhéologie et réduit les coûts. Le GCC est souvent mélangé à des additifs tels que les stéarates comme aide au collage à l'intérieur de la matière plastique.

**k- Caoutchouc & Élastomères**

Le GCC contribue à améliorer les propriétés mécaniques. Il est utilisé comme diluant et pour contrôler les propriétés d'écoulement des produits qui doivent être moulés ou extrudés.

**NB:** utilisations des Dolomites :

Les utilisations de la dolomite sont, en grande partie, similaires à celles des GCC. Sa teneur en magnésium l'exclut de certains secteurs tels que : les aliments, les produits pharmaceutiques... etc. D'autre part, le magnésium, comme le calcium, est un élément biologique important, qui est d'intérêt pour l'agriculture et la foresterie. Les Dolomites et de magnésium sont donc utilisés pour le chaulage agricole et la réhabilitation de plus de acidifiées terres et des eaux.

### **III-2.5. Applications du calcaire massif**

de qualité proche à des calcaires métamorphisés en marbre, les calcaires massifs sont largement utilisés comme pierres décoratifs brute ou après traitement. La Figure 12 montre une exploitation de calcaire en cube transformable. [21]

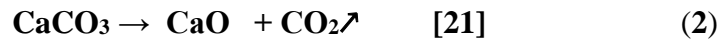


**Figure 13 :** Exploitation de calcaire massif à Djebel Essen El Hammamet, Sud-Ouest de Tébessa (Image Google Earth 2023) [21]

### **III-3 La chaux**

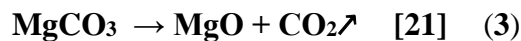
La chaux est un matériau courant. Il fait partie de notre quotidien, car utilisé en de nombreuses occasions vu l'étendue de ses rôles et de ses capacités. Nous croyons bien le connaître car à priori simple mais sa richesse nous échappe. Il n'en n'est pas moins un matériau complexe, à la fabrication de plus en plus fine et « scientifique », constituant indispensable de bien des domaines industriels. C'est la chaux, sous des formes à chaque fois adaptées, que l'on retrouve comme « fondant » en sidérurgie, comme réactif dans la fabrication de l'aluminium, pour améliorer les qualités routières des sols ou encore pour traiter les eaux usées et les fumées... (Claude, 1994) C'est que la chaux, connue et utilisée depuis plusieurs millénaires souffre d'un problème de terminologie car il y en a plusieurs variétés et il apparaît indispensable de préciser les définitions et les acceptions traditionnellement utilisés dans la profession. Les principales distinctions reposent sur des

*critères de constitution chimique.* La chaux est, d'une façon générale, obtenue par calcination d'un calcaire à une température supérieure à 900°C. Le carbonate de calcium, constituant essentiel du calcaire, se dissocie à cette température pour donner de l'oxyde de calcium (chaux vive) et du gaz carbonique :



Carbonate de calcium oxyde de carbone anhydride carbonique Calcaire (100 g) chaux vive (56 g) gaz carbonique (44 g).

Les chaux grasses obtenues à partir d'un calcaire très pur doivent leur nom à l'onctuosité qu'elles donnent aux mortiers, lorsqu'elles sont utilisées en construction. Autrefois avec des calcaires un peu moins purs on fabriquait aussi des *chaux maigres*. Lorsqu'elles sont utilisées en construction les chaux grasses et les chaux maigres font prise en se recarbonatant en contact du gaz carbonique de l'air. Elles sont donc appelées chaux aériennes. Elles peuvent être vives ou, comme nous le verrons plus loin, ou éteintes. Dans certains calcaires et dans les *dolomies*, le carbonate de magnésium est associé au carbonate de calcium. Il se dissocie de la même manière mais à une température inférieure, pour donner de l'oxyde de magnésium (magnésie) et du gaz carbonique :



Carbonate de magnésium magnésie (40 g) gaz carbonique (44 g) (84 g)

### **III-3.1. Les applications de la chaux**

Les utilisations de la chaux sont nombreuses et variées. La chaux et ses produits dérivés représentent un élément constitutif de toutes les économies industrielles. Ces produits sont utilisés à travers le Canada, notamment :

- Dans le secteur de l'environnement: la chaux est utilisée pour le traitement de l'eau potable, des eaux usées et des eaux d'égouts, la désulfuration des gaz de combustion, l'agriculture, le traitement des déchets animaux, la stabilisation et la restauration du sol, l'asphalte, l'huile et le gaz, la production d'électricité et la construction d'édifices.



- La chaux est également essentielle pour la production d'acier, d'alumine, de pâtes et papier, d'uranium, d'or, de cuivre, de produits chimiques et autres matériaux essentiels.
- L'industrie du revêtement routier utilise la chaux hydratée comme additif pour préserver l'enrobage. Des études (Hicks et al,2001), ont montré que l'ajout de la chaux hydratée à de l'asphalte, mélangé à chaud, augmente les coûts de construction de 12 % mais prolonge la durée de vie de l'autoroute de 38 %.
- le raffinage du sucre et autres.

#### **III.4 Conclusion**

Ce chapitre identifie les principaux secteurs qui exploitent le calcaire et ses dérivés. Il s'agit, principalement : des secteurs des plastiques, du papier, de la construction, des cimenteries et de l'aciérie. L'industrie du papier et des plastiques constituent le plus grand marché pour le GCC et le PCC.

# *Chapitre IV*

## *Moyens et méthodes*

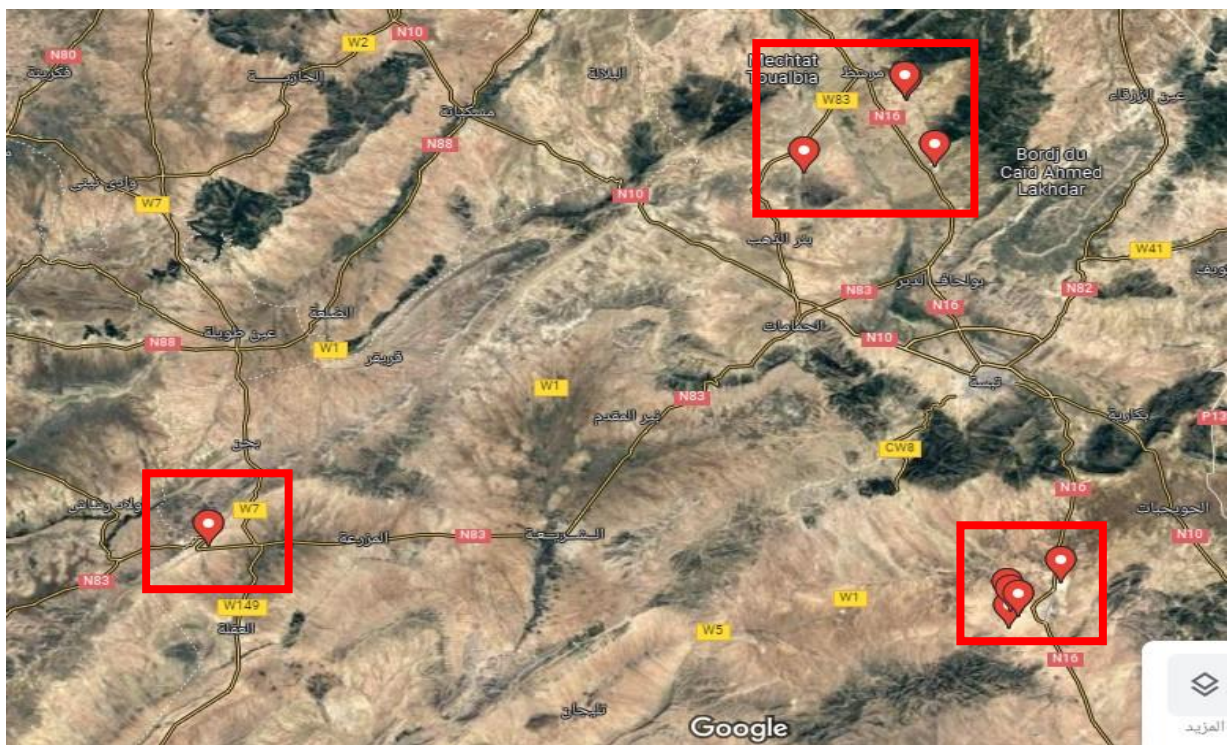
### IV.1 Introduction

Ce chapitre rapporte au volet des moyens et méthodes, notamment la collecte des échantillons de calcaires, leurs préparations ainsi que les techniques d'analyses.

### IV .2 Collecte des échantillons

Pour chacun des sites retenus, des prélèvements d'échantillons sont effectués selon les contextes géologiques et miniers. L'observation et analyses ont permis de formuler différentes caractérisations physico-chimiques, notamment en rapport avec les aptitudes de ces matériaux à produire de la chaux. Prenons l'ensemble des carrières depuis celles des massifs du Tebessa jusqu'à celles d'Elma Labiod.

Notre objectif est de cibler les divers sites d'exploitation des gisements de calcaire dans la région de Tébessa, (Figure 13 et 14), [22]



**Figure 14** : Position des différents sites d'exploitation du calcaire dans la région de Tébessa

[22]



**Figure15** : présente la position des différentes positions des échantillonnages dans la région de Tébessa (**google earth 2023**)

#### **IV 2.1 L'observation sur terrain :**

Les calcaires sont durs, compacts, massifs, homogènes, finement cristallins à micro cristallins. Leurs teintes sont variables mais claires, délavées, allant du gris, au beige, au rosâtre, au bleuté avec toutes sortes de nuances intermédiaires. Parfois un liséré plus foncé, diffus, les parcourt. Ils ont un aspect fusionné, d'où l'appellation de calcaires « marmoréens ».

De plus, ils sont souvent traversés par des failles et diaclases assez rectilignes, parfois entrecroisées, imprégnées d'oxydes rouille.

Les fractures sont parfois tapissées de cristaux blancs de calcite à surfaces spathiques. Il y a rarement présence de dendrites de manganèse sur les surfaces des échantillons. [23]

### IV-2.2 Prélèvement d'échantillons

L'opération-type a été réalisée selon un ou plusieurs profils (Tableau 01), traversant autant que possible perpendiculairement, la stratification et les fronts de taille tout en allant dans le sens de progression de la carrière.

Le prélèvement comporte un nombre d'échantillons variable selon les possibilités de chaque site. En tout, près de 11 échantillons ont été prélevés. [23]

**Tableau 01** : lieu et coordonnées des échantillons prélevés

Commune	Lieu	Societe	N° D'échantillons	Cordonnees	
				X	Y
Elma Labiad	Adila	ENG Elma Labiad	1	35,205989	8,139197
	Adila	Mayouf Soliaui	2	35,191641	8,138475
	Adila	ENG	3	35,211975	8,136663
	Elma Labiad	Privé	4	35,231197	8,182884
	Elma Labiad	EMT	5	35,202293	8,146486
	Elma Labiad	Salma	6	35,202297	8,146090
El Ogla	El Ogla	El Kahina	7	35,262177	7,439940
Bir dhab	Belkfif	Salma	8	35,583249	7,960090
Morsatt	Touricha	Othmane	9	35,648941	8,048143
	Nafourra	Akkadh	10	35,646588	8,048628
Boukhlaf dyr	Hmaima Nord	Infrafer	11	35,589316	8,073457

### IV-3 Préparation et traitement des échantillons

Avant de procéder à une analyse quelconque d'un échantillon solide, nous lui faisons subir un traitement mécanique qui est la phase la plus délicate pour préparer un échantillon représentatif, Pour atteindre cet objectif, les opérations suivantes sont nécessaires : concassage, broyage, tamisage ; homogénéisation et quartage, [24]

### 3.1 Concassage

Cette opération sert à réduire les dimensions de la matière première à une granularité de l'ordre de quelques millimètres dans un appareillage de caractéristique prédéfinies (Tableau 02), [24]

*Tableau 02 : Caractéristiques du concasseur à mâchoire utilisé*

Série	1097
Voltage	220V
Fréquence	50/60Hz
Puissance	75KW
Intensité	7,3A

### 3.2 Homogénéisation

L'homogénéisation est une opération indispensable pour avoir un bon mélange et une meilleure représentativité de l'échantillon, Dans notre cas, cette opération vient juste après le concassage, Donc, le matériau concassé subit une homogénéisation afin d'avoir une distribution minéralogique homogène des éléments composants l'échantillon.



**Figure 16** : photo montrant une opération d'homogénéisation

### 3.3 Quartage

Le quartage (Figure 16) est une opération indispensable pour une meilleure représentativité de l'échantillon. Avant cette opération, il est nécessaire de procéder à une homogénéisation de l'échantillon, par transformation petit à petit en une galette circulaire, puis on le partage en quatre quarts égaux, dont on prélève deux quarts opposés, Les deux autres quarts seront ainsi préservés comme témoins.

La même procédure est suivie jusqu'au quartage finale. L'échantillonnage obéit à une loi bien définie qui est la loi de RICHARDS [25]

$$Q_i \geq K, d^2 \quad (4)$$

$$m < Q_i / K, d^2 \quad (5)$$

$$m = 2^n \Rightarrow n = \ln(m) / \ln(2) \quad (6)$$

$Q_i$  : masse de l'échantillon vérifiant la loi de Richards en (kg) ;

$d$  : diamètre du plus gros grain qui est égale à 4 mm ;

$K$  : coefficient de répartition de la minéralisation qui est égale à 0,1 ;



**Figure 17** : Photo montrant l'opération de quartage

**Note** : Les opérations de traitement et d'analyse sont effectuées au niveau de laboratoire de Somiphos du complexe minier de Djebel Onk (des analyses granulométriques, l'opération de

quartage est effectuée à l'aide des diviseurs de grande et petite et moyenne taille, qui partagent l'échantillon en question en deux parties égales, une partie est partagée une autre fois, cette méthode est plus précise et plus facile et rapide que la première méthode)

### 3.4 Tamisage

Le tamisage est une opération visant à séparer un ensemble de particules en fonction de leur taille à l'aide d'un tamis.

**Tableau 3 :** Caractéristiques de la tamiseuse électrique

Série N°	03,502/9377
Fréquence	50Hz
Voltage	220V
Intensité	2,3A
Puissance	500w

### 3.5 Broyage



**Figure 18 :** Photo montrant le broyeur utilisé pour le broyage de l'échantillon

C'est une opération qui consiste à réduire les dimensions des grains de la matière première à une granularité assez fine (Figure 16), atteignant quelques micromètres. L'opération de

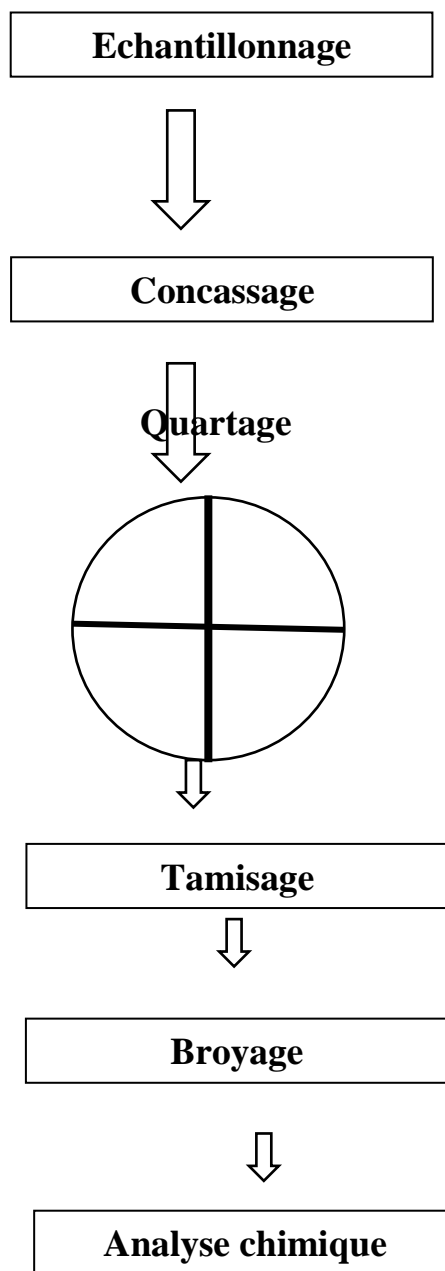


broyage est réalisée soit manuellement soit à l'aide d'un broyeur à boulets de caractéristiques suivantes (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Caractéristiques de broyeur planétaire utilisé

Principe	Par impacte
Contenance des bols de broyage	300ml
Diamètres des billes de broyage	10mm
Masse d'une bille	2,5g
Diamètre de la jarre	75mm
Hauteur de la jarre	68mm
Masse de pot	2270g
Granulométrie max des matières à traiter	10mm
Quantité min d'échantillon	10ml
Quantité max d'échantillon	300ml
Finesse final	<1 $\mu$ m
Vitesse de rotation de disque	50-500 tr/min
Processus de broyage	Voie humide/voie sèche
Ratio de vitesse entre bol de broyage/disque planétaire	200mm
Raccordement électrique	100-120/200-240V/1 50-60Hz, 1300-1600W
Puissance de moteur selon VDE0530 EN 60034	0,6Kw

Le procédé suit les étapes du schéma, comme indiquer sur la Figure 17 suivante :



**Figure 19** : schéma présentatif des étapes de la préparation mécanique des échantillons [26]

### 3.6 Analyse chimique

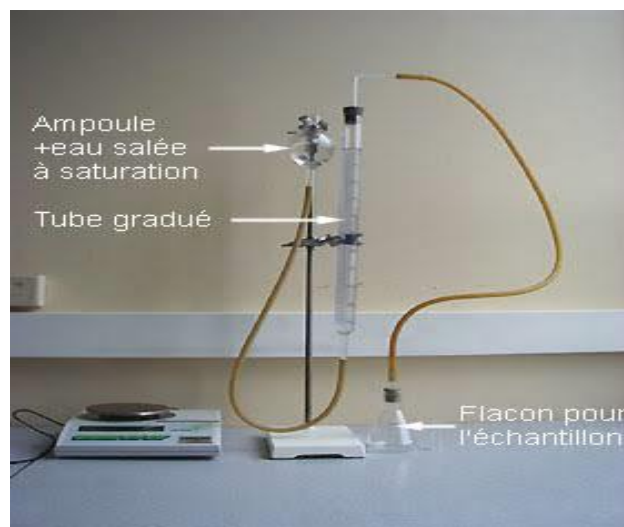
Les onze (11) échantillons prélevés aux niveaux des carrières choisies dans cette étude ont servi à l'analyse chimique des éléments suivants :  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgO}$  et  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  des fractions granulométriques sélectionnées, sont réalisés par la méthode de spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA) avec l'appareil (Auto analyseur Technicon) au laboratoire d'analyse chimique du complexe minier SOMIPHOS, par contre le dosage de  $\text{CO}_2$  a été réalisé par la méthode calcimétrique de BERNARD.

Les zones choisies par rapport à leur potentiel d'exploitation de calcaire de qualité variable.

#### a) Dosage de l'anhydride carbonique $\text{CO}_2$ (Calcimètre de BERNARD).

L'attaque de l'échantillon par l'acide chlorhydrique, en récipient fermé (Figure 18), ensuite on mesure le volume gazeux dégagé. Le dégagement éventuel d'hydrogène sulfuré est empêché par l'addition de sulfate de cuivre.

- Les réactifs utilisés consistent à :
  - ✓ Acide chlorhydrique solution à 50% en volume.
  - ✓ Sulfate de cuivre anhydre
  - ✓ Etalons : carbonate de calcium pur et sec. [26]



**Figure 20:** Photo montrant les équipements utilisés dans le Calcimètre de BERNARD[26]

#### **IV .4. Conclusion**

Les calcaires sont durs, compacts, massifs, homogènes, finement cristallins à micro cristallins. L'échantillonnage a été réalisée selon un ou plusieurs profils.

Les échantillons doivent être passer sur un traitement mécanique concassage, broyage, tamisage ; homogénéisation et quartage. Ces opérations réduire les dimensions des grains de la matière première à une granularité assez fine Pour passer à la méthode de spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA) et la méthode de calcimétrie de BERNARD.

# *Chapitre V*

## *Résultats et discussions*

### V.1 Introduction

pour caractériser les calcaires de la zone de notre étude nous allons utiliser deux méthodes la spectrophotométrie d'adsorption atomique pour les éléments suivants : CaO , CaCO<sub>3</sub>, MgO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , et la méthode de calcimétrie de BERNARD pour déterminer le dosage de CO<sub>2</sub>.

### V.2 Résultats et discussions

Les échantillons analysés ont donné les résultats présentés dans la tableau 5, ci-joint :

**Tableau 5** : Résultats d'analyses chimiques sur les échantillons de calcaire.

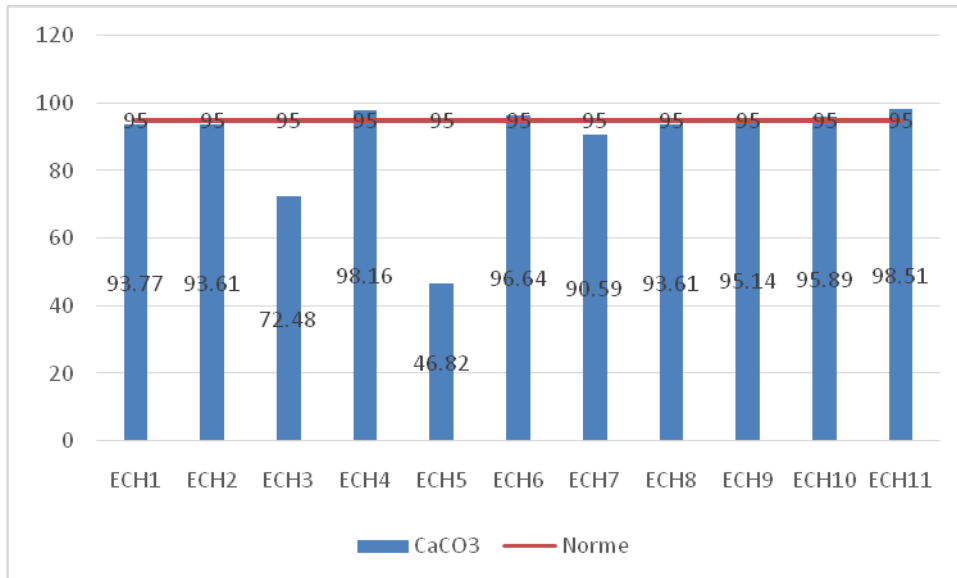
Echantillons	%CaCO <sub>3</sub>	%MgO	%CaO	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%CO <sub>2</sub>
ECH1	93,77	1,62	52,51	0,69	41,26
ECH2	93,61	0,51	52,36	0,34	41,19
ECH3	72,48	1,39	40,58	1,74	31,89
ECH4	98,16	0,78	54,97	0,51	43,19
ECH5	46,82	0,50	26,22	0,29	20,60
ECH6	96,64	0,98	54,11	0,29	42,52
ECH7	90,59	0,41	50,73	0,31	39,86
ECH8	93,61	0,55	54,43	0,66	41,19
ECH9	95,14	0,60	53,28	0,60	41,86
ECH10	95,89	0,83	53,70	0,31	42,19
ECH11	98,51	0,63	55,39	0,86	43,52

### V.3. Les analyses chimiques

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons de différents sites étudiés des différences très appréciables entre les échantillons, aussi bien dans les teneurs en ( CaCO<sub>3</sub>) que dans les quantités liées à la gangue ( MgO et CaO).

- a- **L'analyse du CaCO<sub>3</sub>** montre que 50% des échantillons ont une teneur élevée en CaCO<sub>3</sub> (sup à 95%) (Figure 19), la valeur la plus forte existe au niveau du gisement

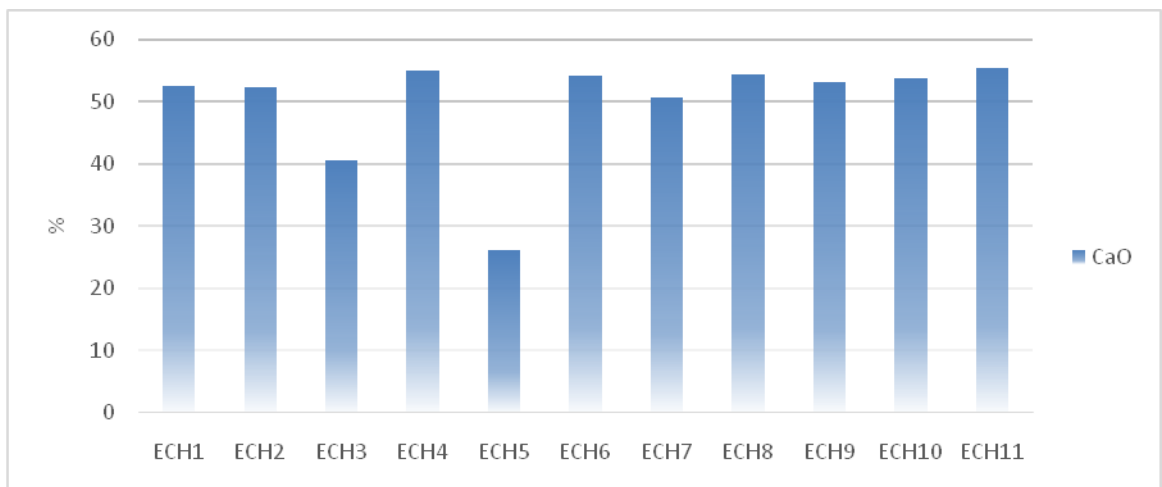
de Hmaïma Nord avec un taux de 98.51 CaCO<sub>3</sub>. La valeur la plus faible est aux niveau de la carrière de EMT Elma Labiod avec un taux de CaCO<sub>3</sub> égale 46.82.



**Figure 21** : Résultats d'analyses du CaCO<sub>3</sub>

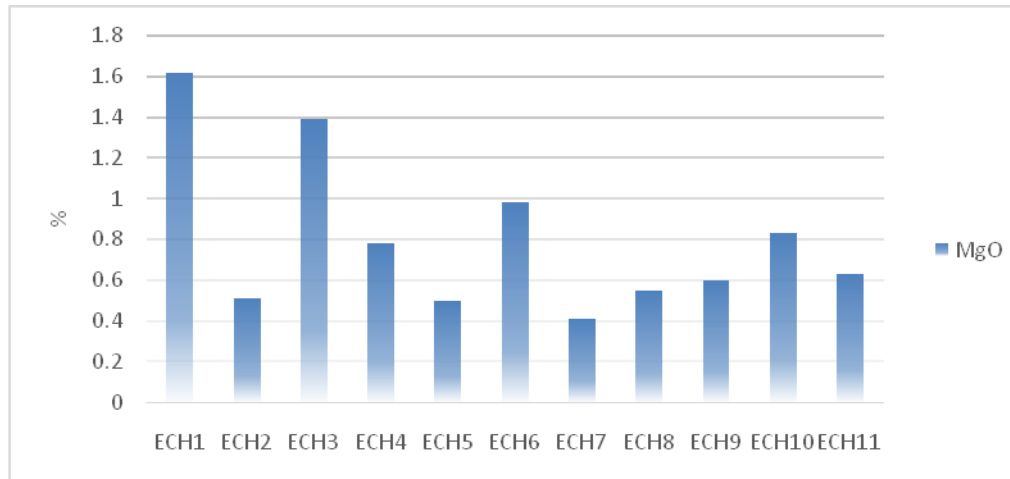
**b- L'analyse du CaO**

Les résultats d'analyses du CaO (Figure 20) montrent une teneur supérieur à 50% de CaO, sur plus de 80% des échantillons. La valeur de 55.39 est enregistré dans les calcaires du gisement de Hmaïma Nord. La plus faible quantité de CaO de 26.22, est enregistré à Elma Labiod dans la carrière EMT.



**Figure 22** : Résultats d'analyses du CaO

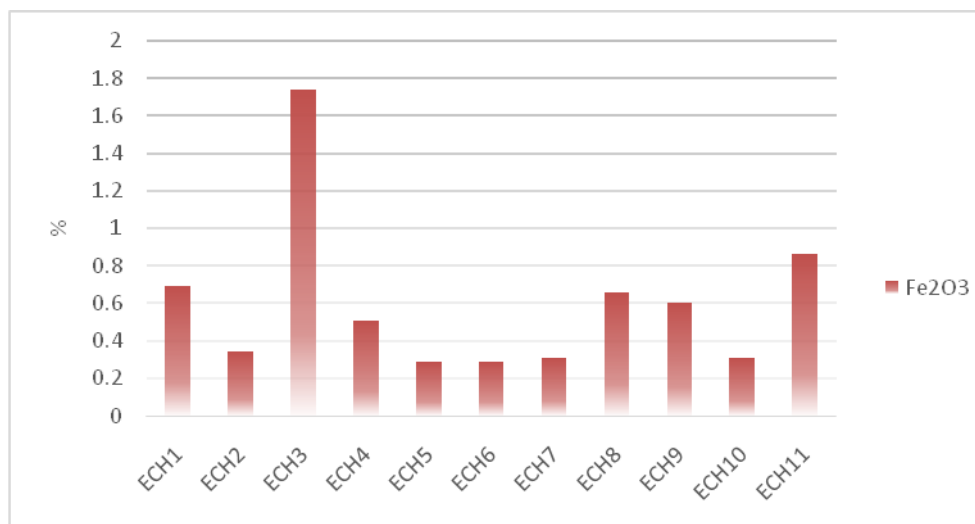
- c- **Le résultat d'analyse du MgO** montre l'existence de valeurs faible de MgO inférieur à 1.8% . plus de 80% des échantillons ont une teneur inférieur à 1%. (Figure 21).



**Figure 23** : Résultats d'analyses d'MgO

- d- **L'analyse de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

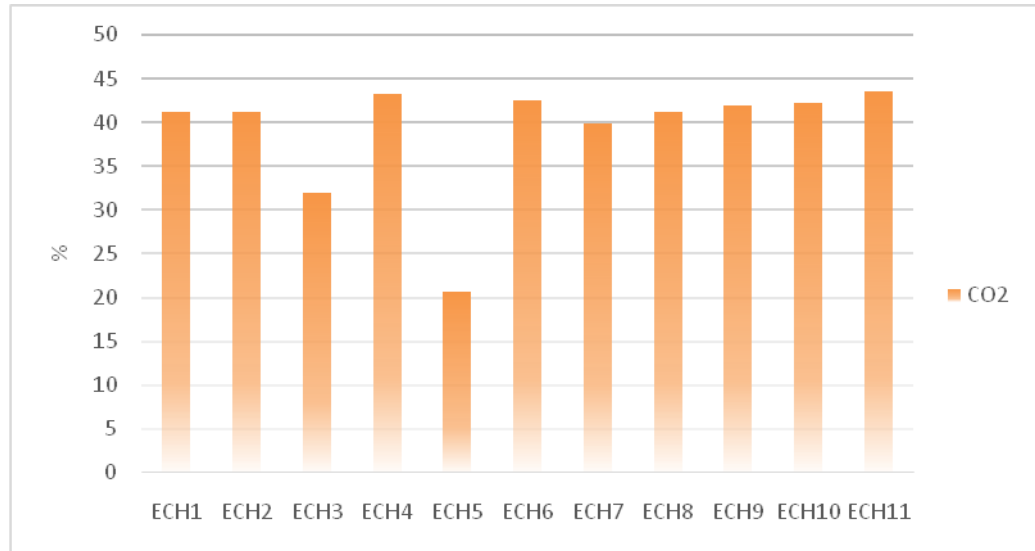
Les résultats d'analyses de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> montrent que les teneurs sont variable d'un échantillon à l'autre (Figure 22). 95% des échantillons ont une teneur inférieur à 1% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. La valeur la plus élevé de 1.74% est enregistré dans les calcaires du gisement de l'ENG Adila, Elma labiod.



**Figure 24** : Résultats d'analyses de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



- e- **L'analyse du CO<sub>2</sub>** montre que 80% des échantillons ont une teneur supérieure à 40% en CO<sub>2</sub> (Figure 23), la valeur la plus faible se trouve au niveau de la carrière de EMT Elma Labiod avec un taux de CO<sub>2</sub> égale 20.6.



**Figure 25** : Résultats d'analyses de CO<sub>2</sub>

#### V.4. Discussion des résultats

L'analyse minutieuse des résultats des échantillons extraits des carrières de calcaire exploitées dans la région de Tébessa montre qu'à 95% des échantillons représentent des calcaires propres, de bonne qualité, avec une faible teneur en MgO et en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Sauf l'échantillon 03 et 05 présente des valeurs faibles indiquant plus ou moins des calcaires argileux.

Les teneurs élevées 55.39% de CaO et 43.52% pour le CO<sub>2</sub>, impliquent par contre des calcaires très propres.

#### V.5. Conclusion

Les résultats d'analyse effectuée sur les échantillons des sites de carrière de calcaire montrent que ces derniers présentent des calcaires propres, puisque la valeur moyenne en CaO est égale à 49,84 %. La teneur en CaCO<sub>3</sub> est supérieure à 95% dans la majorité des échantillons, avec de faibles teneurs en MgO et Fe.

*Conclusion et  
recommandations*



### **Conclusion et recommandations**

Les affleurements de bordures de plaines, d'âge Crétacé, constituent des ensembles carbonatés, riche en calcaire. Les formations d'âge Miocène et Quaternaire, qui occupent toute les superficies des plaines, et qui constituent le second ensemble. Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique incomplète, (absence des formations éocènes par endroits) dont la lithologie et la répartition.

Les calcaires forment la majorité des roches carbonatées qui représentant environ 20% des ensembles sédimentaires, Elles sont composées de plus de 50% en poids de calcium (CaO). L'exploitation des calcaires dans la région de Tébessa est à ciel ouvert, ils requièrent généralement des engins de chantier aux gabarits imposants et peu communs aux autres secteurs de l'industrie (pelles, roue-pelle, draglines, tombereaux, foreuses)

Les analyses chimiques effectuées sur les échantillons de différents sites étudiés montrent que cette dernière est représentée par des calcaires propres, puisque la valeur moyenne en CaO est égale à 49,84 %,  $\text{CaCO}_3$  supérieur à 95% % répondant largement aux normes, avec des faibles teneurs en MgO et  $\text{FeO}_3$

Les calcaires de la région de Tébessa sont exploités en tant que produit d'agrégat. Ces gisements de calcaire et au vue de leurs qualités peuvent être largement utilisés dans divers domaines plus rentables et plus bénéfiques comme produit industriel, notamment la Production de la chaux.

# *Bibliographie*

**Référence bibliographie**

- [1] Abed, S. (1982), Lithostratigraphie et sédimentologie du Jurassique moyen et supérieur du Dj. Amour (Atlas saharien). *Thèse 3ème cycle, Univ. de Pau.*
- [2] ARIS, Y., 1994. Etude tectonique et microtectonique des séries jurassiques à plio-quadernaires du constantinois central (Algérie Nord - Orientale). Caractérisation des différentes phases de déformation. Thèse de doct. Nancy I- France, 215 p.
- [3] BOUILLIN, J.P. 1986. Le « bassin maghrébin » : une ancienne limite entre l'Europe et l'Afrique à l'ouest des Alpes. *Bull. Soc. Géol. France*, 8(2) 547-558.
- [4] BOUREZG, M. et KOLLI, O., 2011- Dolomie et chaux dolomitique du massif de Télioualt (AïnM'lila, sud-constantinois, Algérie) ; revue *Geomaghreb* n°7, 2011, Fès, Maroc. pp.1-11 ;
- [5] Bourrouilh-Le Jan, F. (1996). Dolomie, roches dolomitiques et dolomitisation: bilan de presque deux siècles de recherches françaises: 1791-1971. *Travaux du Comité français d'Histoire de la Géologie*, 3(tome 10), 7-35.
- [6] Bracene, R. (2002), Géodynamique du Nord de l'Algérie: Implications sur la recherche pétrolière. *Thèse de doctorat, Univ. Cergy Pontoise 2 Vol., 300 p.*
- [7] Brahmi, I. (2021). Caractérisation de la vulnérabilité à la pollution du complexe aquifère Tébessa-Morsott Application des méthodes de Tomographie électriques Et du SIG (Doctoral dissertation).
- [8] CLAUDE, J., 1994. La chaux, ses utilisations. Balthazar et Cotte (Groupe Lhoist)-Tech. Nathan- France. 73p.
- [9] CLAUDE, J., 1994. La chaux, ses utilisations. Balthazar et Cotte (Groupe Lhoist)-Tech. Nathan- France. 73p.
- [10] Delfaud, J. (1974), La sédimentation deltaïque ancienne. Exemples Nord sahariens. *Bul. Cent. Rech. de Pau*. 8, 1 p. 24-62.
- [11] DJABRI L. (1987) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de Tébessa «essai de modélisation » Thèse de Doc. Ing. Univers. Franche
- [12] Dubourdieu, G. (1956), Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins algérotunisiens). Thèse Sci. Paris. Publ. Serv. Carte géol. Algérie, n.s, Bull., n°10, 659p.
- [13] DURAND-DELGA M. et FONTBOTE M. 1980 Cadre structural de la Méditerranée occidentale. 26e congrès international de géologie ; Paris. In *Mémoires du BRGM* n° 115, Orléans, pp. 67-85.
- [14] DURAND-DELGA, M. 1969. Mise au point sur la structure du Nord-Est de la Berbérie. *Publ. Serv. Géol. Algérie*, n°39, 89-131.
- [15] DURAND-DELGA, M., RAOULT, J.F. et VILA -J.M. 1969. Situation en fenêtre du secondaire du djebel Safia (Nord du Constantinois, Algérie
- [16] FARAH, A.S., 1991. Etude du comportement hydro-chimique d'un oued en zone méditerranéenne semi arided'Afrique du Nord et de ses causes naturelles et anthropiques : l'Oued Rhumel, Constantinois Algérie. Thèse de Doctorat. Université d'Orléans. France. 273p.

- [17] Kedaid, F. Z. (2006). Développement de la base de données géothermique de l'Algérie par un système d'information géographique. *Revue des énergies renouvelables*, 9(4), 253-258.
- [18] FEHDI C. (2008). Apport hydrochimique et isotopique dans la caractérisation des mécanismes d'acquisition de la salinité des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott El Aouinet. Thèse de Doctorat ès sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 190p.
- [19] Frizon De Lamotte, D., Saint Bézard, B., Barcène, R., And Mercier, E. (2000), The two main steps of the Atlas building and geodynamics of the western Mediterranean. *Tectonics* 19 (4), 740-761.
- [20] Hicks, R. Gary & Todd V. Scholz. "Life Cycle Costs for Lime in Hot Mix Asphalt." Report & Software for National Lime Association, 2001
- [21] Lafitte, R. (1939), Etude géologique de l'Aurès. Thèse Paris. Et bull Serv. Carte géol. Algérie, Alger, 2ème Ser. 15, 484P.
- [22] LAFFITTE R (1956) : Etude géologique et hydrogéologique de la région de Chéria. Rapport interne ANRH de Tébessa. 40 p.
- [23] Othmanine, A. (1987). Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et fer sidéritique autour du fossé de Tébessa-Morsott. Relation entre la paléogéographie albo-aptienne, diapirisme, structure et métallogénie (Doctoral dissertation, Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 220p).
- [24] RAOULT, J.F. 1974. Géologie du centre de la chaîne numidique (Nord constantinois, Algérie). Mémoire n°121- Soc. Géol. de France, Nouv. Sér. T.L III- 1.
- [25] Salmi-Laouar, S. (2004). Contribution à l'étude géologique et géochimie des isotopes stables (S, O, C,) des minéralisations polymétalliques (Zn-Pb-F-Ba-Fe-Hg) de la zone des DIAPIRS du nord de Tébessa (NE ALGERIEN) (Doctoral dissertation, Annaba).
- [26] Thaibaoui, K. (2009). Essais d'amélioration de l'indice de blancheur du minerai de carbonate de calcium du gisement d'El-Khroub (Doctoral dissertation).
- [27] VILA, J.M., 1980. La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro tunisiens. Thèse. Doctorat. es-Sciences. Université. P. et M. Curie- Paris VI, 2 vol., 665 p.
- [28] Vila, J. M (1994), Mise au point et données nouvelles sur les terrains triasiques des confins Algéro-Tunisiens : Trias allochtone « Glaciers de sel » sous marins et vrais diapirs. In « Trias 93 Algérien ». G. Delfaud, M. Tefiani. *Mémoire du service géol. Del'Algérie* 6, Alger.