



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 Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
معهد المناجم
Institut des mines
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
Département des mines et de la géotechnologie



MEMOIRE

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

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

Caractérisation géotechnique d'un massif
rocheux de la zone de TEBESSA « cas de
la carrière d'EL MA LABIOD »

Présenté et soutenu par

BOUHADDA Marwa

Devant le jury:

	Grade	Etablissement
Président : BENGHAZI Zied	MCB	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Encadreur : AMRANI Dounia	MAA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
Examineurs : HAMDANE Ali	MAA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Promotion 2022-2023

مؤسسة التعليم العالي: جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) يونس جاد حـ مـ رـ و الصفة: طالب، أستاذ باحث، باحث دائم: طالب.....

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية/ رخصة السياقة رقم/ 11999.1496.0.1.113000 والصادرة بتاريخ 2022.1.01.1.03
المسجل بمعهد المناجم قسم جيولوجيا.....
والمكلف بإنجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها:

Caractérisation géologique unique d'un massif Eoalpin de la zone
de Tébessa « cas de la carrière d'EL MA LABIOD ».....

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية ومعايير الأخلاقيات المهنية والنزاهة الأكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ: 08/06/2023.....

إمضاء المعني (ة)





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،
 - و بمقتضى 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،
 - و بمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدّد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه، لاسيما المادة 9 منه،
 - و بموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدّد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر، لاسيما المادتان 10 و 11 منه،
 - و بموجب القرار رقم 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 و المتضمن مواءمة التكوينات في الماستر بعنوان جامعة تبسة في ميدان "علوم وتكنولوجيا".
 - و بموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للملحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 و المتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة، اختصاص جيوتقني
 - و بعد الاطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في.....،
- يقرّ ما يأتي:

المادة الأولى: تُعيّن بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماستر المحضرة من طرف الطالب (ة):
بوحداء مروى، المولود (ة) بتاريخ 1999/12/26 ب متليلي - غرداية،

والموسومة ب «Caractérisation géotechnique d'un massif rocheux de la zone de Tébessa ب

« cas de la carrière d'El Ma Labiodh »

والمسجل (ة) بمعهد المناجم

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

رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	بن غازي زياد	أستاذ محاضر - ب	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسا
2	عمراني دنيا	أستاذة مساعدة- أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	مشرقة
3	حمدان علي	أستاذ مساعد- أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنا

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

المادة 4: تحفظ نسخة عن هذا المقرر في الملفّ البيداغوجي للطلاب المعني، وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُزّر ب تبسة، في: 2023/05/29

عن المدير، وبتفويض منه

مدير معهد المناجم

عولمي زويير
مدير معهد المناجم





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 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 المادة 7 منه،

- وبموجب القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجماعة تبسة.

- وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للمحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجماعة 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
يقرر ما يأتي:

المادة الأولى: يُرخصُ للطالب (ة) بوحادة مروى، المولود (ة) بتاريخ 1999/12/26 بـ متليي - غرداية، بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Caractérisation géotechnique d'un massif rocheux de la zone de Tébessa « cas de la carrière d'El Ma Labiodh »

المادة 2: يكلف رئيس قسم المناجم والجيوتكنولوجيا بتنفيذ هذا المقرر الذي يسلم نسخة عنه إلى الطالب المعني بالمناقشة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه، وبضمن نشره عبر فضاءات المؤسسة المادية والرقمية.

المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملف البيداغوجي للطالب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 2023/05/30

عن المدير، وبتفويض منه

مدير معهد المناجم





Année universitaire : 2022-2023

Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants :

1 BOUHADDA Marwa

2

Niveau : 2^{ème} année Master Option : Géotechnique

Thème : Caractérisation géotechnique d'un massif rocheux de la zone de TEBESSA « cas de la carrière EL MALABILO »

Nom et prénom de l'encadreur : AMRANI Dounia

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Chapitre I = Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications.	
Chapitre II = contexte géologique du site d'étude	
Chapitre III = Présentation Carrière E.N.G. EL MALABILO	
Chapitre IV = Caractérisation géotechnique de massifs rocheux Carrière EL MALABILO TEBESSA	
Chapitre V = classification géomécanique.	

Remerciement

Après avoir rendu grâce à Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et terminer ce mémoire.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur de mémoire Mme. AMRANI Dounia, je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

Nous remercions les membres de jury d'avoir accepté d'assister à la présentation de ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à tous

Les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

Je remercie également l'entreprise nationale des granulats unité EL MA LABIOD notamment Mr. MESBAHI Adel.

Je remercie aussi mon camarade qui me donne des conseils et des informations ALLA El batoul

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Enfin, je profond remerciement vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin.

Dédicace

A cœur vaillant rien d'impossible

A conscience tranquille est accessible

Quand il y a la soif d'apprendre Tout vient à point à qui sait attendre

LES études sont avant tout

Notre unique et seul atout Ils représentent la lumière de notre existence

L'étoile brillante de notre réjouissance

Souhaitant que le fruit de nos efforts fournis Jour et nuit,

nous mènera vers le bonheur fleuri

Aujourd'hui, ici rassemblés auprès des jurys,

Nous prions Dieu que cette soutenance

Fera signe de persévérance Et que nous serions enchantés

Par notre travail honoré je dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite A ma très chère mère Fatima Zahraa, honorable, aimable,

Tu représentes pour moi le symbole de la beauté par excellence, la source de la tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de

prier pour moi.

A mon très cher père Salah Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous

Mes très chers frères : Mokhtar, Wahid, Abd EL djabbar, Othmane, Abd El nour,
Abd EL djalil, Abd El samed et Abd El halim

mes fidèles compagnons, les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement,
l'amour et l'affection que je porte pour vous.

A mes très chères sœurs Kelthoum, Zoubida, Malika, Noura, Nadjet et Meriem

A ma cousine Souhila

En souvenir d'une amitié dont nous avons partagé les meilleurs et les plus
agréables moments. Pour toute la complicité et l'entente qui nous unissent,

A mes intimes amis : El Batoul, Bouchra, .

. Je remercie en particulier et j'ai toutes les expressions de respect et d'affection
vous êtes vraiment une merveilleuse collègue je souhaite du succès

A tous mes amies en particulier : Bouthaina, Chaima, Fatima, Fayrouz, Hasnaa,
Khadidja, Hanane, Nissa, Racha, Salsabil, Salma.

Marwa.....

Résumé

Le comportement géotechnique des massifs rocheux est principalement régi par leurs discontinuités. Celles-ci ont pour cause aux propriétés physiques chimiques et mécaniques du massif rocheux, tout au long de son histoire géologique. Les caractéristiques actuelles d'un massif dépendent à la fois de ses particularités structurales acquises et éventuellement de contraintes s'exerçant de nos jours, notamment par ces propriétés. L'appréciation de la qualité d'un site doit s'efforcer de combiner les études par des essais au laboratoire et, si possible, des données acquises par les mesures in situ après avoir classifié.

Une étude sur le massif rocheux de la zone de TEBESSA, a été effectuée au niveau de la carrière 'ENG' El MA LABIOD-TEBESSA qui vient d'être l'objet de ce travail. Afin de présenter les résultats de manière très claire et expressive, nous avons effectuées une répartition des caractéristiques géotechniques de la région par présentation des taux des composants de calcaire de la région en pourcent (%), et à partir des méthodes géomécaniques RQD, RMR et GSI on a estimé la qualité du terrain.

La caractérisation géotechnique du terrain a permis de mieux prévoir le comportement du massif rocheux. La classification géomécanique a permis de mieux prévoir la qualité du terrain, ou les résultats soulignent que le massif rocheux de 'ENG' El MA LABIOD-TEBESSA est de moyen a bonne qualité ou il est destiné pour l'utilisation des routes.

Mots Clefs : Massif rocheux, caractérisation géotechnique, classification géomécanique, carrière 'ENG' El MA LABIOD- TEBESSA.

تلخيص

يخضع السلوك الجيوتقني للكتل الصخرية بشكل أساسي لانقطاعاتها يرجع ذلك إلى الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية للكتلة الصخرية طوال تاريخها الجيولوجي. تعتمد الخصائص الحالية للكتلة الصخرية على كل من الخصائص الهيكلية المكتسبة وربما على القيود التي تمارس اليوم، ولا سيما من خلال هذه الخصائص. يجب أن يسعى تقييم جودة الموقع إلى الجمع بين الدراسات عن طريق الاختبارات المعملية، وإذا أمكن، البيانات التي تم الحصول عليها من خلال "ENG" El MA LABIOD-TEBESSA القياسات في الموقع بعد التصنيف. تم إجراء دراسة حول الكتلة الصخرية لمنطقة تبسة على مستوى المحجر الذي كان للتو موضوع هذا العمل.. MA LABIOD-TEBESSA من أجل تقديم النتائج بطريقة واضحة ومعبرة للغاية لقد قمنا بتوزيع الخصائص الجيوتقنية للمنطقة من خلال عرض معدلات مكونات الحجر الجيري في المنطقة بالنسبة المنوية (%). ومن الطرق الجيوميكانيكية RQD و RMR و GSI تم تقدير جودة الأرض أتاح التوصيف الجيوتقني للتضاريس

Résumé

إمكانية التنبؤ بشكل أفضل بسلوك كتلة الصخور حيث تؤكد النتائج أن الكتلة الصخرية لـ "ENG" El MA LABIOD-TEBESSA من المتوسط إلى الجودة الجيدة أو أنها مخصصة لاستخدام الطرق. ،
الكلمات المفتاحية: الكتلة الصخرية ، الوصف الجيوتقني ، التصنيف الجيوميكانيكي ، محجر الماء الابيض- تبسة

Abstract

The geotechnical behavior of rock masses is mainly governed by their discontinuities. These are due to the physical, chemical and mechanical properties of the rock mass, throughout its geological history. The current characteristics of a massif depend both on its acquired structural particularities and possibly on the constraints exerted today, in particular by these properties. The assessment of the quality of a site must endeavor to combine studies by laboratory tests and, if possible, data acquired by in situ measurements after having classified.

A study on the rock mass of the TEBESSA area was carried out at the level of the 'ENG' El MA LABIOD-TEBESSA quarry which has just been the subject of this work. In order to present the results in a very clear and expressive way, we have carried out a distribution of the geotechnical characteristics of the region by presenting the rates of the limestone components of the region in percent (%), and from the geomechanical methods RQD, RMR and GSI the quality of the ground were estimated.

The geotechnical characterization of the terrain made it possible to better predict the behavior of the rock mass. The geomechanical classification made it possible to better predict the quality of the terrain, where the results underline that the rock mass of 'ENG' El MA LABIOD-TEBESSA is of medium to good quality or it is intended for the use of roads

Keywords: Rock mass, geotechnical characterization, geomechanical classification, 'ENG' El MA LABIOD-TEBESSA quarry

Résumé

Liste des notations

A_0 : Surface transversale.	[cm^3]
A1 : Résistance en compression uniaxiale de la roche intacte	[MPa]
A2: Rock Quality Index (RQD).	
A3 : Espacement des diaclases.	
A4 : Condition des joints.	
A5 : L'état d'infiltration d'eau souterraine.	
A6 : Orientation des discontinuités.	
C : La cohésion.	[KN/ m^2]
D et L : dimensions de l'éprouvette.	[m]
e : Indice de vides.	[-]
E : Module de Young.	[KN/ m^2]
E : Est.	
F : effort (charge) maximale atteinte (juste avant la rupture).	
F_{max} : La charge maximale appliquée.	[Kgf]
F1, F2, F3: Sont des facteurs d'ajustement liés a joint orientation par rapport à l'orientation des pentes.	
F4 : facteur de correction.	
J n: Nombre de familles de joints.	
Jr: Indice de rugosité des joints.	
J a: Indice de l'altération des joints.	
J w: Facteur de réduction pour la présence d'eau.	
ID : Le degré de fissuration des roches.	
L : longueur de la partie étudiée du massif.	[m]
M h : La masse naturelle.	[g]
Ms : La masse de matériau sec.	[g]
Ms : la masse du matériau sec.	[g]
n : nombre de fissures sur la partie mesurée.	
N : Nord.	

Liste des notations

O : Ouest.	
p_{max} : Valeur finale atteinte par l'effort appliqué.	[Kgf]
RC: Résistance à la compression.	[KN/m ²]
R_t : Résistance à la traction.	[kgf/cm ²]
S : la surface de la section de l'éprouvette sur laquelle on applique l'effort F.	
Sr : Le degré de saturation.	[%]
S : Sud.	
u : pression interstitielle.	[KN/m ²]
V_t : Le volume de l'échantillon.	[cm ³]
V_v : volume des vides.	[cm ³].
V_w : volume de l'eau dans l'échantillon.	[cm ³]
ν : Coefficient de poisson.	[-]
w : La teneur en eau.	[%]
ρ_h : La masse volumique naturelle.	
ρ_d : La masse volumique sèche.	
ρ_s : La masse volumique des particules solides.	[g]
ρ_w : Masse volumique de l'eau égale à 1	[g/cm ³]
ε : est l'allongement relatif, ou déformation (adimensionnel).	
Φ : Angle de frottement.	[°]

ABREVIATIONS

AFTES : Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain.

RQD: Rock Quality Designation (degré de fracturation).

RMR: Rock Mass Rating.

Q –Système : mass Quality ou tunnelling Quali index.

GSI: Geological Strength Index.

SMR: Slope Mass Rating.

NGI: Norvégian Géotechnique Institute.

Liste des notations

SRF: Stress Réduction Factor.

JRC : joint roughness coefficient (coefficient de rugosité du joint).

ENG : Entreprise nationale des granulats.

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Les principales phases de formation des roches sédimentaires	07
Figure I.2. Roches plutonique	08
Figure I.3. Roches volcaniques	08
Figure I.4. Métamorphisme de contact	09
Figure I.5. Discontinuité type diaclase	11
Figure I.6. Discontinuité type faille	11
Figure I.7. Les joints sédimentaire	12
Figure I.8. La schistosité dans les roches métamorphiques	12
Figure I.9. Orientation d'un plan de discontinuité	13
Figure I.10. Illustration de pendage et de l'azimut d'une discontinuité	14
Figure I.11. Définition de la rugosité à différentes échelles	16
Figure I.12. Espacement, ouverture et remplissage des joints	16
Figure I.13. Diagramme contrainte-déformation	22
Figure I.14. Disposition expérimental	24
Figure I.15. Schéma de la compression	24
Figure I.16. Essai de traction directe	25
Figure I.17. Dispositif expérimental	26
Figure I.18. Schéma de la Traction indirecte	26
Figure I.19. Principe du Cisaillement directe	27
Figure I.20. Principe du cisaillement simple	28
Figure I.21. Principe de l'essai Triaxial	28
Figure I.22. Estimation de la valeur RQD	32
Figure I.23. Estimation du GSI à partir d'une description géologique de la masse rocheuse	46

Liste des figures

Chapitre II

Figure II.1. Situation géographique et vue satellitaire du bassin d'EL MA LABIOD.	52
Figure II.2. Chaîne de production de la carrière ADILA EL MA LABIOD.	53
Figure II.3. Station primaire de traitement.	55
Figure II.4. Schéma de traitement poste primaire-mfl-unité EL MA LABIOD.	56
Figure II.5. Station secondaire de traitement.	57
Figure II.6. Schéma de traitement poste secondaire (Bergeaud).	57
Figure II.7. Schéma de traitement installation secondaire semi-mobile (MFL) EL MA LABIOD.	58
Figure II.8. Laboratoire de EL MA LABIOD.	59
Figure II.9. Les courbes granulométriques.	61
Figure II.10. Fiche technique des produits ENG unité EL MA LABIOD.	63
Figure II.11. Effectifs 2022.	64
Figure II.12. Evolution (production-vente).	65
Figure II.13. Evolution des ventes.	66
Figure II.14. Les stocks (tonne).	67
Figure II.15. Niveau supérieure non décapé.	69
Figure II.16. Plat forme de travail (60m) niveau 1145/1160m.	70
Figure II.17. Non concassé au milieu de la carrière.	72

Chapitre III

Figure III.1. Situation géographique de la zone d'étude d'après Rouabhia et al, 2004.	79
Figure III.2. Représentation de la plaine d'EL MA LABIOD par Google Earth.	80
Figure III.3. Représentation en 3D, de la plaine d'EL MA LABIOD. <i>Using surfer v0.8</i>	80
Figure III.4. Carte géologique de la région d'EL MA EL ABIOD. DUROZOY 1948.	86
Figure III.5. Coupe lithologique dans le bassin d'EL MA LABIOD (A. Rouabhia et al., 2004).	91

Liste des figures

Figure III.6. Coupe géologie d'après G. Durozoy 1940.	95
Chapitre IV	
Figure IV.1. Préparation les échantillons	103
Figure IV.2. Préparation les échantillons dans le panier de la pesée hydrostatique	105
Figure IV.3. Equipement de l'essai	108
Figure IV.4. Essai ultrasonique.	112
Figure IV.5. Calcimètre de Bernard.	115
Figure IV.6. Préparation la mesure (a- pesé de l'échantillon, b- introduction de l'échantillon et l'HCL dans l'erlenmeyer).	116
Figure IV.7. Peser 20 g de matière et l'introduire Dans une cuve, ajouter deux (02) gouttes TEA.	117
Figure IV.8. Placer le récipient dans le broyeur et bien fermer le couvercle, à l'aide de la minuterie, régler le temps de broyage à 4 minutes et broyer	117
Figure IV.9. Peser 08 gramme de la matière broyée	118
Figure IV.10. Mettre une pastille propre dans le dispositif de pastilleuse et remplir par la matière broyée puis niveler, passer sur presse HERZOG sous une pression de 150 KN	118
Figure IV.11. Retirer la pastille obtenue, nettoyer sans touche la surface de la pastille avec les doigts ni avec le pinceau.	118
Figure IV.12. Placer la pastille dans le porte échantillon de l'analyse à fluorescente X (PW 1660)	119
Figure IV.13. Préparation des échantillonnages en utilisant la carotteuse	122
Figure IV.14. Réalisation d'essai franklin	123
Figure IV.15. Types de rupture d'une éprouvette cylindrique lors d'une compression axiale.	123
Figure IV.16. Mesure la résistance par scléromètre	127
Figure IV.17. Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter	123
Figure IV.18. Schmidt Hammer Test JCS estimation chart showing correlation	

Liste des figures

between Schmidt hammer rebound number, hammer orientation, UCS and rock density (Deere and Miller, 1966)	129
Figure IV.19. Préparation du matériau micro-deval	129
Figure IV.20. Appareillage Los Angeles	132
Figure IV.21. Préparation l'échantillon de Los Angeles	132
Figure IV.22. Graphique de nuage de points représente les valeurs de LA	136
Figure IV.23. Graphique de nuage de points représente les valeurs de MDE	136
Figure IV.24. Graphique de nuage de points correspondant LA en fonction de MDE	137

Chapitre V

Figure V.1. Carte topographique avec la localisation des points de travail	141
Figure V.2. Le niveau 1120/1130	142
Figure V.3. Photos de mesure du système RQD	142
Figure V. 4. Mesure des différents paramètres du RMR sur terrain	144

Liste des tableaux

Chapitre I	
Tableau I.1. Les types de magma.	07
Tableau I.2. Echelle de dureté de Mohs.	19
Tableau I.3. Classification des discontinuités en fonction de ID.	21
Tableau I.4. Classification des roches en fonction de la résistance à la compression.	24
Tableau I.5. Classification des roches en fonction de la résistance à la traction.	26
Tableau I.6. Système de classification des massifs rocheux.	30
Tableau I.7. Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux.	33
Tableau I.8. Tableau récapitulatif de classification des roches et notes de pondération.	35
Tableau I.9. Valeur du paramètre de réduction A6 selon l'orientation du tunnel par rapport à l'indication du pendage, (Bieniawski, 1989).	36
Tableau I.10. Note d'ajustement pour l'orientation des joints.	36
Tableau I.11. Qualité du massif rocheux selon le RMR (Bieniawski, 1976).	37
Tableau I.12. Relations entre RMR sec et la résistance à la compression simple (Stille et al.1982).	38
Tableau I.13. Paramètres de la classification du système Q.	42
Tableau I.14. Qualité du massif rocheux selon Barton.	43
Tableau I.15. Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI, (Hoek- Brown, 1995).	45
Chapitre II	
Tableau II.1. Les coordonnées de la carrière selon le système U.T.M.	51
Tableau II.2. Caractéristique intrinsèques de la roche.	60
Tableau II.3. Caractérisation minéralogique de la roche.	60
Tableau II.4. Les productions et les ventes des dernières années.	64
Tableau II.5. Les ventes des dernières années.	65
Tableau II.6. Les stocks du ENG unité EL MA LABIOD.	66
Tableau II.7. Répartition mensuelle des objectifs.	67
Tableau II. 8. Les moyens matériels de production pour l'exercice 2023.	68
Tableau II.9. Moyens humains nécessaires pour service carrière.	68
Tableau II.10. Les quantités maximales des substances explosives.	73
Tableau II.11. Les quantités d'explosifs pour l'exercice 2023.	73
Tableau II.12. Répartition des quantités extraites par niveaux	74
Tableau II.13. Calcule de production prévu élaboré est stérile.	74
Chapitre III	
Tableau III.1. Les épaisseurs de la formation géologique d'après G. Durozoy 1948.	94
Chapitre IV	
Tableau IV.1. Les valeurs des teneurs en eau.	104
Tableau IV.2. Les valeurs des masses volumiques sèches.	106
Tableau IV.3. Classification de la densité en fonction de la masse volumique sèche.	106
Tableau IV.4. Les valeurs des masses volumiques des particules solides.	108
Tableau IV.5. Les valeurs du poids volumique.	109
Tableau IV.6. Les valeurs des Porosités.	110
Tableau IV.7. Les valeurs des indices des vides.	111
Tableau IV.8. Les valeurs des vitesses du son	113
Tableau IV.9. Qualité du roche à partir de la vitesse du son.	114
Tableau IV.10. Prise d'essai en fonction de la teneur en carbonate.	115

Liste des tableaux

Tableau IV.11. La teneur en CaCO_3 .	116
Tableau IV.12. Les résultats des compositions chimiques de ces échantillons.	120
Tableau IV.13. Les valeurs des ultrasons des échantillons.	120
Tableau IV.14. Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.	121
Tableau IV.15. Les résultats du franklin des échantillons.	123
Tableau IV.16. Classification selon la résistance à la compression simple.	126
Tableau IV.17. Les valeurs de résistance à la compression (Scléromètre).	127
Tableau IV.18. Charges abrasives en fonction de la classe granulaire (NF P18-572, 1990).	129
Tableau IV.19. Appréciation des résultats de l'essai Micro Deval (NF P18-572, 1990).	130
Tableau IV.20. Les résultats Micro Deval des échantillons.	131
Tableau IV.21. Charge de boulet suivant le type de classe granulaire.	133
Tableau IV.22. Tableau de référence des valeurs de Los Angeles (NF P 18-573, 1990).	133
Tableau IV.23. Les résultats Los Angeles des échantillons.	134
Tableau IV.24. Les normes routières.	135
Tableau IV.25. Les normes béton.	135
Chapitre V	
Tableau V.1. Les valeurs RQD des différents niveaux.	143
Tableau V.2. Classification RMR de Calcaire.	144
Tableau V.3. Classification RMR des massifs rocheux ENG EL MA LABIOD.	145
Tableau V.4. Classe et propriétés globales des massifs rocheux (selon Bieniawski).	146
Tableau V.5. Les valeurs de la cohésion C.	147
Tableau V.6. Les valeurs de l'angle de frottement.	148
Tableau V.7. Module de Young.	149
Tableau V.8. Classification GSI des massifs rocheux carrière EL MA LABIOD	150

Sommaire

Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	Ii
Liste des notations	V
Liste des figures	Viii
Liste des tableaux	Xii
Tableau des matières	Xiv
Introduction générale	2
Chapitre I : Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications	
I.1. Introduction	06
I.2. Caractérisation du massif rocheux	06
I.2.1. Définition de la roche	06
I.2.2. Types des roches	06
I.2.2.1. Roches sédimentaires	06
I.2.2.2. Roches magmatiques	07
I.2.2.3. Roches métamorphiques	08
I.3. Les massifs rocheux	09
I.3.1. Structure des massifs rocheux	10
I.3.2. Matrice rocheuse	10
I.3.3. Discontinuités du massif rocheux	10
I.3.3.1. Typologie	10
I.3.3.2. Paramètres géométriques	13
A. Orientation (azimut)	13
B. Extension	14
C. Espacement et densité	14
D. Ouverture	15
I.3.3.3. Propriétés mécaniques d'une discontinuité	15
I.3.4. Type géotechnique de la roche	16
I.3.4.1. Les propriétés physico-mécaniques des roches	17
I.3.4.1.1. Les propriétés physiques des roches	18
A. La porosité	18
B. Masses volumiques	18
C. La teneur en eau	19
D. Le degré de saturation	19
E. La dureté	19
F. Le degré de fissuration des roches	20
G. Module de Young	21
H. L'abrasivité	22
I. L'altérabilité	22
I.3.4.1.2. Les propriétés mécaniques des roches	23
A. Les paramètres mécaniques de la résistance	23

Sommaire

A.1. Résistance à la compression	23
A.2. Résistance à la traction	24
• Traction directe	24
• Traction indirect	25
A.3. La résistance au cisaillement	26
▪ Cisaillement direct	27
▪ Cisaillement simple	27
▪ Cisaillement triaxial	28
I.4 Classifications du massif rocheux	29
A. Systèmes de classification du massif rocheux	29
B. Buts des systèmes de classification	29
I.4.1 RQD (Rock Quality Designation)	31
I.4.1.1. Principe de calcul du RQD	31
I.4.1.2. Classification de massifs rocheux par RQD	32
I.4.1.3. Limitation du système RQD	33
I.4.2. Système du RMR (Rock Mass Rating)	34
I.4.2.1 Principe de calcul du RMR	34
I.4.2.2. Estimation des caractéristiques mécaniques des massifs rocheux à partir du RMR	37
I.4.2.3. Limitations du système RMR	38
I.4.3. La méthode de Romana (SMR)	39
I.4.4. La méthode de N. Barton (Q-système)	40
I.4.4.1. Limitations du système Q	44
I.4.5. Système du GSI (Geological Strength Index)	44
I.4.5.1. Principe de système du GSI	44
I.4.5.2. Système du GSI modifié (1999)	47
A. Le SCR (Surface Condition Rating)	47
B. Le SR (Structure Rating)	47
I.5. Limitation des systèmes de classification	47
I.6 Conclusion	48
Chapitre II : Présentation Carrière E.N.G. El Ma LABIOD	
II.1 Introduction	50
II.2. Généralité	50
II.2.1. Situation géographique et administrative	50
II.2.2. L'extraction de la matière	54
II.2.3. Le traitement	54
II.2.3.1. Station primaire	55
II.2.3.2. Station secondaire	57
II.2.4. Le contrôle de la production	59
II.2.4.1. Plan de contrôle	59
II.2.4.2. Fiche technique des produits	61
II.2.4.2.1. Exemple d'une fiche réalisé Gravillon 8/16mm (Norme NA5043)	62
II.2.5. Quelques chiffres sur l'unité	64
A- Effectifs	64
B- Production et vente	64
C- Evolution des ventes	65
D- Evolution des stocks	66
II.3. Plan d'exploitation annuel du carrier	67
II.3.1. Prévision d'exploitation exercice 2023	67

Sommaire

II.3.2. L'état actuel de la carrière ADILA (EL MA LABIOD)	69
II.3.3. Mode d'exploitation	70
II.3.3.1. Système d'exploitation	70
II.3.3.2. Evolution de l'exploitation pour l'exercice 2023	71
1-Travaux d'abattage	71
A-Foration	71
A-1. Chariot de forage	71
B- Abattage mécanique	72
C- Abattage par explosifs	72
D-Répartition des quantités extraites par niveaux	74
E-Calcul de production prévu élaboré est stérile	74
2- Travaux de chargement	74
2-1. Rendement par poste de la chargeuse	75
3- Travaux de transport	76
3-1. Rendement du camion	76
3-1.1. Temps de cycle du camion	76
Chapitre III : Contexte géologique du site d'étude	
III.1 Introduction	79
III.2. Cadre géographique	79
III.3. Géomorphologie	81
III.3.1. Le Bassin versant	81
III.3.2. La Cuvette du Miocène	81
III.3.3. Les Collines	81
III.3.4. Les lits des oueds	81
III.3.5. Le Sources	81
III.4. Aperçu géologique	81
III.4.1. Géologie régionale	81
III.4.1.1 Le Trias	82
III.4.1.2 Le Jurassique	82
III.4.1.3 Le Barrémien	82
III.4.1.4 L'Aptien	83
III.4.1.5 L'Albien	83
III.4.1.6 Le Vraconien	83
III.4.1.7 Le Cénomaniens	83
III.4.1.8 Le Turonien	84
III.4.1.9 Le Coniacien-Santonien	84
III.4.1.10 Le Campanien	84
III.4.1.11 Le Maestrichtien	84
III.4.1.12 Le Paléocène	84
III.4.1.13 L'Eocène	84
III.4.1.14 Le Miocène	84
A-Le Miocène inférieur et moyen	85
B- Le Miocène supérieur (Pontien)	85
III.4.1.15 Le Quaternaire	85
a-Terrasses anciennes	85
b-Alluvions anciens	85
c-Alluvions actuels	85
III.4.1.16 Tectonique	87
III.4.1.16.1 Les Phases de l'orogénèse	87
a-La phase compressive fini-lutétienne	87
b-La phase distensive du Miocène Inférieur	87

Sommaire

c-La phase compressive du Miocène Supérieur	87
d-La phase compressive du Pliocène Inférieur	87
e-La phase compressive du Pliocène Supérieur	88
III.4.1.16.2 Les fossés d'effondrements	88
III.4.1.17 Les richesses minières et hydrogéologiques	89
III.4.1.18 Hydrographiques	90
III.4.2. Géologie local	91
III.4.2.1 Le Quaternaire	92
1-Quaternaire récent	92
2-Quaternaire ancien	92
III.4.2.2 Le Miocène	92
III.4.2.3 Le Crétacé	92
III.4.2.4 Turonien	93
III.4.2.5 Cénomanién	93
III.4.2.6 Albién Supérieur	93
III.4.2.7 Trias	93
III.4.2.8 Géologie de gisement d'argile DRAA-EL-BAHI	96
III.4.2.9 Géologie de gisement de calcaire D'EL MAL LABIOD	96
III.4.2.10. Géologie de gisement de sable D'EL MAL LABIOD	96
III.5. Topographie	97
III.6. Végétation	97
III.6.1. Le couvert végétal	97
III.7. Cadre climatique	97
III.7.1. Les précipitations	97
III.7.2. Température	98
III.8. Conclusion	98
Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA	
IV. 1. Introduction	100
IV.2. Détermination des propriétés physiques du massif rocheux	100
IV.2.1. Teneur en eau W% [NF P94- 050]	100
IV.2.1.1. Exécution de l'essai	100
IV.2.2. La masse volumique	105
IV.2.2.1. La masse volumique sèche ρ_d [NF P94- 064]	105
IV.2.2.2. La masse volumique des particules solide ρ_s méthode du pycnomètre [NF P94- 054]	107
IV.2.3. Le poids volumique	109
IV.2.4. La porosité et indice des vides	110
IV.2.4.1. Porosité (n)	110
IV.2.4.2. Indice des vides (e)	111
IV.2.5. Essai ultrasons	112
IV.3. Détermination des propriétés chimiques du massif rocheux	114
IV.3.1. Détermination des carbonates au Calcimètre dietrich-fruhling	114
IV.3.1.1. Protocole expérimental	115
IV.3.2. Contrôle qualité par rayon X (QCX)	117
IV.3.2.1. Définition	117
IV.3.2.2. Mode opératoire	117
A) Préparation de la pastille	117
B) Analyse de l'échantillon	119
IV.4. Détermination des essais mécaniques	121
IV.4.1. Essai franklin	122

Sommaire

IV.4.4.1. Mode opératoire	122
IV.4.2. Essai résistance à la compression par scléromètre	124
IV.4.2.1. Mode d'opération	124
IV.4.3. Essai d'usure Micro-Deval (NF P 18-572)	128
IV.4.3.1. Définition	128
IV.4.3.2. Préparation du matériau	128
IV.4.3.3. Mode opératoire	129
IV.4.4. Essai Los Angeles (NF P 18-573)	131
IV.4.4.1. Préparation du matériau	132
IV.4.4.2. Exécution de l'essai	133
IV.5. Conclusion	137
Chapitre V : Classification géomécanique	
V.1. Introduction	140
V.2. Classification géomécanique des massifs rocheux	140
V.2.1. Système du RQD (Rock Quality Designation)	140
V.2.2. Système RMR (Rock Mass Rating)	143
V.2.2.1. Estimation des caractéristiques mécaniques des massifs rocheux à partir du RMR	145
a- La cohésion	146
b- L'angle de frottement	147
c- Le module de Young	148
V.2.4. Système du GSI (Geological Strength Index)	149
V.3. Conclusion	151
Conclusion générale	
Références bibliographiques	

Introduction générale

Introduction générale

Les roches et les massifs rocheux sont constitués de matériaux considérés comme éléments de base qui peuvent être affectés de discontinuités ou non.

L'étude des massifs rocheux s'appuie donc sur la caractérisation de la roche saine, mais également la caractérisation des discontinuités et leurs classifications.

La classification des massifs rocheux est basée sur la connaissance des paramètres décrivant la qualité de ce dernier. Elle se produit dans la planification des Projets : mines, carrières, tunnels, ponts, routes de montagne, tunnels ferroviaires, et ainsi de suite, elle permet une meilleure communication entre les planificateurs, les géologues, les concepteurs, les entrepreneurs et les ingénieurs, aussi elle permet de placer l'objet étudié dans une classe appropriée.

Un massif rocheux sur lequel ou dans lequel on va faire une caractérisation géotechnique est, a priori, un objet parfaitement défini. Ses caractéristiques lithologiques, structurales, géomécaniques sont des données dont les variations dans le temps et l'espace obéissent à des lois objectives accessibles à l'observation et à la mesure. Toutefois, en pratique, cette connaissance est toujours très imparfaite. Elle résulte de l'interprétation et de la synthèse d'un ensemble de données résultant :

- De la connaissance de l'histoire géologique du site,
- De l'examen des affleurements,
- Des données de sondages,
- Des résultats d'essais de laboratoire et d'essais in situ.

La région d'EL MA LABIOD wilaya de TEBESSA renferme d'énormes potentialités minières et géologiques. Ces potentialités se traduisent par des substances non métalliques qui se déclinent en minéraux industriels destinés à l'industrie et en minéraux industriels destinés aux matériaux de construction.

La présente étude se propose d'étudier le massif rocheux d'EL MA LABIOD wilaya de TEBESSA (Carrière ENG unité EL MA LABIOD). De ce fait une caractérisation géotechnique et classification du massif rocheux fait mon objectif de ce travail, ou on a structuré mon travail de la manière suivante :

- *Le premier chapitre* s'articule sur une étude bibliographique concernant les massifs rocheux, ainsi que les différents systèmes de classification.
- *Le second chapitre* est réservé le contexte géologique du site d'étude.

Introduction générale

- *Le troisième chapitre* se portera sur la présentation de la carrière ENG EL MA LABIOD.
- *Le quatrième chapitre* consiste à la caractérisation géotechnique du massif ENG EL MA LABIOD TEBESSA des différents paramètres physiques, mécaniques et chimiques des formations rocheuses des différents massifs.
- *Le dernier chapitre* est consacré à la classification géomécaniques des massifs rocheux d'EL MA LABIOD wilaya de TEBESSA suivi d'une *conclusion générale*.

**Chapitre I: Recherche
bibliographique sur les
massifs rocheux et leurs
classifications**

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

I.1 Introduction

Les roches et les massifs rocheux sont constitués de matériaux considérés comme éléments de base qui peuvent être affectés de discontinuités ou non. L'étude des massifs rocheux s'appuie non seulement sur la caractérisation de la roche saine, mais également la caractérisation des discontinuités et leurs classifications.

La classification des massifs rocheux est basée sur la connaissance des paramètres décrivant la qualité de ce dernier.

Dans ce chapitre, nous présentons brièvement la structure des massifs rocheux et leurs types géotechniques ainsi que les différents systèmes de classifications de ces derniers.

I.2 Caractérisation du massif rocheux

I.2.1 Définition de la roche

En géotechnique, une roche est un agrégat naturel massif de matière minérale. Les roches sont des matériaux naturels généralement solides et formés, essentiellement ou en totalité, par un assemblage de minéraux, comportant parfois des fossiles (notamment dans les roches sédimentaires). En géologie, on appelle roche tout élément constitutif de l'écorce terrestre, cela recouvre donc les roches au sens géotechnique, mais aussi le sol, le pétrole, l'eau des nappes, etc [1].

I.2.2. Types des roches

Les roches sont classées, selon de nombreux critères, en différents groupes dont les principaux sont donnés ci-après. On distingue les roches exogènes (*sédimentaires* et *résiduelles*) formées à la surface de l'écorce terrestre, et les roches endogènes (*magmatiques* et *métamorphiques*) issues des profondeurs [2].

I.2.2.1. Roches sédimentaires

Représentant 75 % de la surface émergée, elles résultent de l'accumulation de fragments, débris de roche ou de coquille, et/ou de la précipitation à partir de solutions, donnant respectivement des roches détritiques, biogènes et physicochimiques. L'étude des conditions de dépôt et des processus de sédimentation relève de la *sédimentologie* ; une étude sédimentologique peut être nécessaire pour expliquer certaines propriétés des roches (*anisotropie, hétérogénéité, par exemple*).

Les roches sédimentaires se présentent en strates issues des dépôts successifs, et leur aspect actuel résulte de la diagenèse, c'est-à-dire d'une transformation d'un dépôt meuble en roche plus ou moins cohérente [2].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

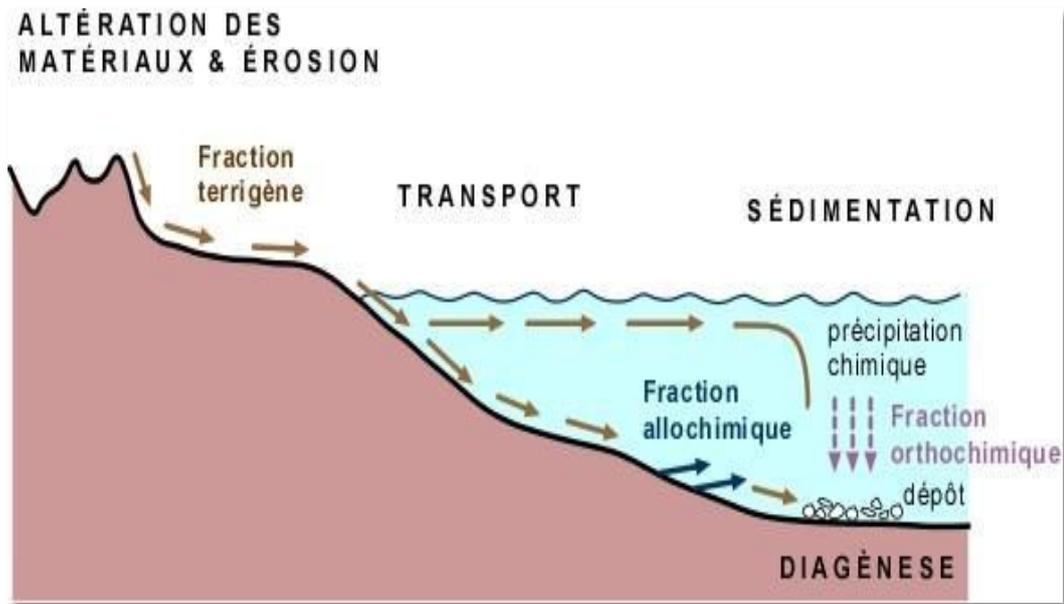


Figure I.1. Les principales phases de formation des roches sédimentaires [32].

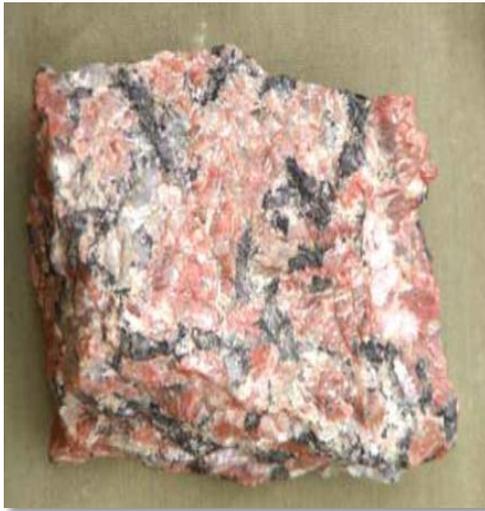
I.2.2.2. Roches magmatiques

Elles résultent de la cristallisation de magmas à différentes profondeurs de l'écorce terrestre. Les roches volcaniques à structure vitreuse ou microlithique (*gros cristaux noyés dans une pâte amorphe*) cristallisent rapidement à la surface et les roches plutoniques à structure grenue (*assemblage de cristaux visibles à l'œil nu*) cristallisent très lentement à quelques kilomètres de profondeur. Certaines roches telles que les roches filoniennes ont une structure intermédiaire dite microgrenue (gros cristaux dans une masse de petits cristaux visibles seulement au microscope). La nature du magma, acide (c'est-à-dire riche en silice), basique (pauvre en silice) ou intermédiaire, détermine le type de roche. Les roches grenues les plus courantes sont les granites constitués principalement de quartz, de feldspaths et de micas, puis les diorites à plagioclases (*feldspaths calco-alcalins*), amphiboles, biotites et rares quartz, et les gabbros à plagioclases, pyroxènes et olivine [2].

Tableau I.1. Les types de magma [2].

Type de magma	Roche plutonique	Roche volcanique
Acide	Granite	Rhyolite
Intermédiaire	Diorite	Andésite
Basique	Gabbro	Basalte

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

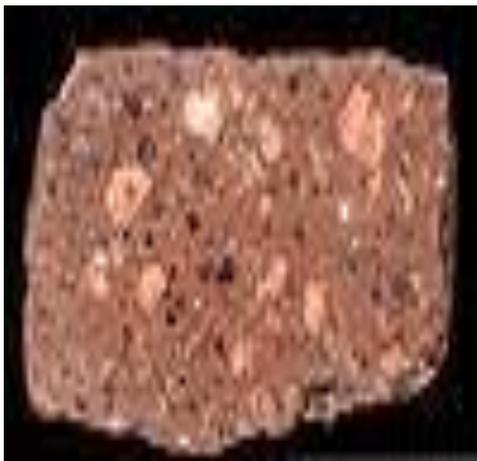


a) Granite



b) Gabbro

Figure I.2. Roches plutoniques [3].



a) Rhyolite



b) Basalte

Figure I.3. Roches volcaniques [3].

I.2.2.3. Roches métamorphiques

Ce sont des roches formées sans fusion à partir de roches préexistantes (*sédimentaires ou magmatiques*), sous l'influence de hausses de température et/ou de pression qui provoquent le *métamorphisme* : cristallisation de nouveaux minéraux par réactions chimiques à l'état solide, accompagnée souvent d'une modification de la structure originelle (*schistosité et foliation des micaschistes et gneiss œillés*).

On distingue deux grands types de métamorphismes :

- Le métamorphisme général, lié à l'enfouissement progressif des couches qui produit une élévation de température et de pression. Les roches obtenues

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

dépendent de la composition initiale : les quartzites, gneiss et le ptynites dérivent de grès, d'arkoses ou de rhyolites ; les micaschistes et les gneiss dérivent d'argiles et de pélites ; les marbres dérivent de calcaires ou de dolomies ;

- Le métamorphisme de contact, qui affecte les terrains traversés par l'intrusion d'un corps magmatique à l'état liquide. Le rôle de l'élévation de température et sa durée est primordial. La zone métamorphisée dessine autour du massif intrusif une auréole de métamorphisme de contact, de largeur décimétrique à kilométrique, et dont l'intensité décroît vers la périphérie : les cornéennes passent progressivement aux schistes tachetés.

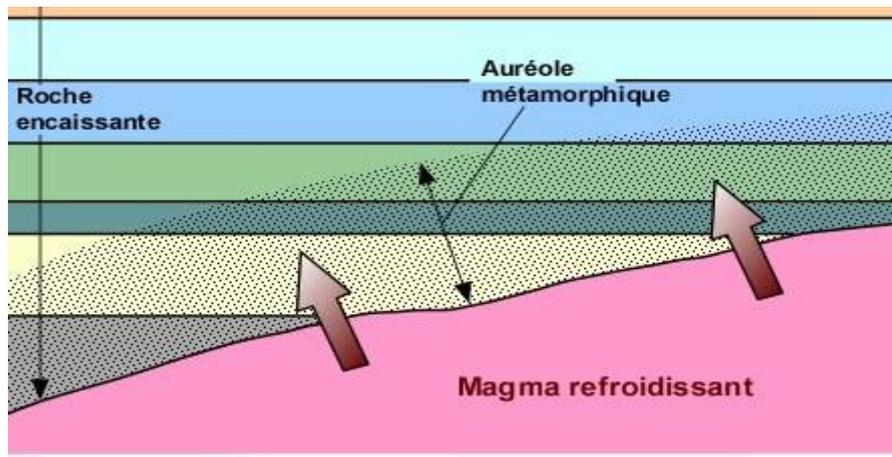


Figure I.4. Métamorphisme de contact [4].

La plupart des roches métamorphiques sont anisotropes du point de vue mécanique (*Vitesse du son, résistance*) en raison de la foliation qui les caractérise (*orientation des micas, principalement*) [2].

I.3 Les massifs rocheux

Les massifs rocheux sont des structures très complexes. Ils sont assimilés à un assemblage de blocs appelés matrice rocheuse les quels sont délimités par des discontinuités constituées de fissures, de fractures ou de failles ou encore de limites stratigraphiques.

Pour un ensemble de massifs rocheux, les discontinuités constituent une superposition de différentes familles de fractures [5].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

I.3.1 Structure des massifs rocheux

La roche a une structure discontinue. Elle peut être assimilée à un milieu, composé d'éléments continus plus ou moins homogènes, de forme géométrique quelconque ; la matrice rocheuse, et de fines zones situées entre ces éléments continus, qualifiées de discontinuités. En mécanique des roches, le terme discontinuité désigne toute interruption des propriétés mécanique ou physique dans la matrice rocheuse. Il s'agit souvent d'une dégradation des propriétés mécaniques sur des zones de très faible épaisseur. L'étude d'un massif rocheux fracturé nécessite donc une caractérisation de la matrice rocheuse, ainsi que celle des discontinuités [6].

I.3.2 Matrice rocheuse

La matrice rocheuse est définie comme un volume de roche intacte qui possède des propriétés homogènes et non coupée par des discontinuités. La matrice rocheuse fait ainsi référence aux blocs non-fracturés situés entre les discontinuités structurales. En fonction des caractéristiques du massif rocheux et de son histoire géologique, la taille de ces blocs peut varier de quelques millimètres à plusieurs mètres [6].

I.3.3 Discontinuités du massif rocheux

I.3.3.1 Typologie

Tout massif rocheux, quelle-que soit son histoire et sa localisation, possède des discontinuités. Celles-ci peuvent être prononcées, invisibles, cimentées ou bien ouvertes, mais elles existent. Elles possèdent en commun les caractéristiques suivantes : faible résistance au cisaillement, résistance à la traction négligeable et grande conductivité hydraulique, tout ceci en comparaison de la matrice rocheuse environnante. En géologie on les regroupe par catégories :

- **Les diaclases** : ce sont des fractures de la roche, issues d'une rupture par compression, traction ou cisaillement liées aux mouvements tectoniques. Les deux parties de la roche qui se sont constituées n'ont cependant pas bougé

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications



Figure I.5. Discontinuité type diaclase [7].

• **Les failles** : ce sont des fractures identiques aux diaclases mais qui ont entraîné un mouvement relatif des deux parties de la roche encaissante. Un glissement a donc eu lieu le long de cette faille. Leur longueur varie d'une dizaine de centimètres à plusieurs centaines de kilomètres.

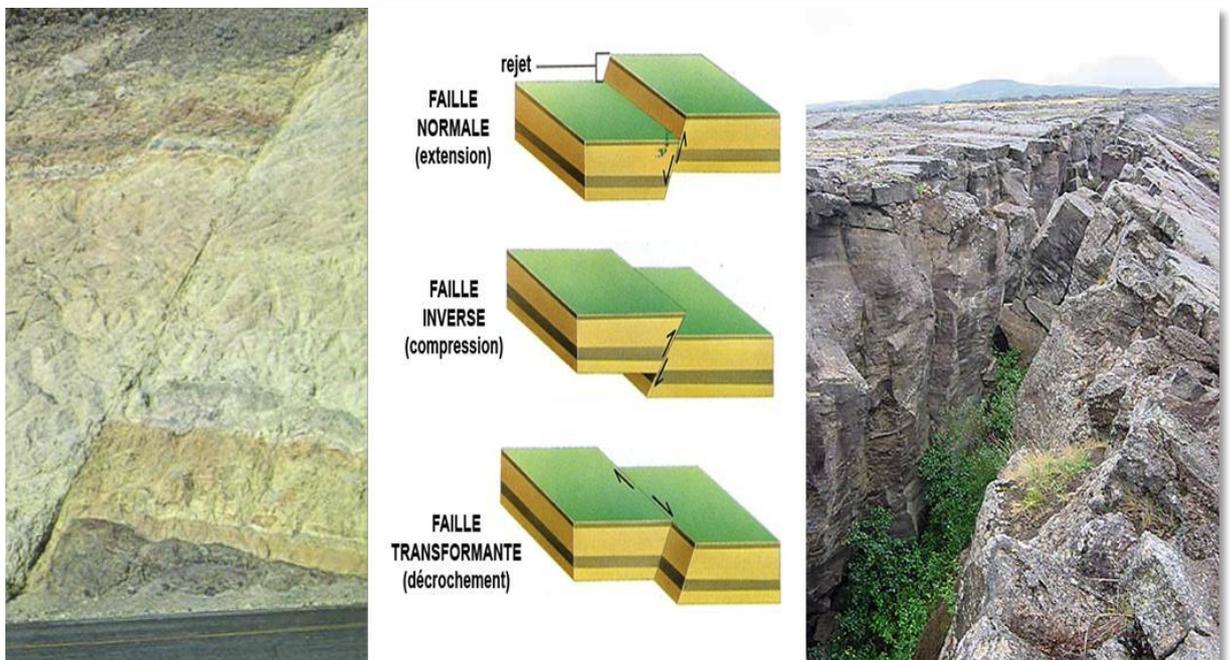


Figure I.6. Discontinuité type faille [7].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

• **Les joints sédimentaires** : dans les roches sédimentaires, ce sont les joints séparant deux couches d'époques et de conditions de dépôt différentes. Chaque couche (ou strate) constitue une "dalle" susceptible de se séparer de ses voisines [8] ;



Figure I.7. Les joints sédimentaire [8].

• **La schistosité** : dans les roches métamorphiques, la forte compression perturbée et transformé l'organisation des minéraux internes. Ceux-ci se sont alignés selon une direction orthogonale à la compression et ont entraîné la formation de plans de rupture préférentiels. L'ardoise, qui est fendue selon cette schistosité, en est une bonne illustration.



Figure I.8. La schistosité dans les roches métamorphiques [8].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Les discontinuités sont généralement des lieux de grande déformabilité, où la rupture est plus facile et où l'eau circule plus facilement. Elles transforment l'état de contrainte du massif à leur proximité [9].

I.3.3.2 Paramètres géométriques

Beaucoup de discontinuités sont le résultat d'une ou plusieurs actions mécaniques que le massif a subies au cours de son histoire tectonique. A chacune de ces actions, on peut associer une ou plusieurs familles de discontinuités. L'étude statistique fait apparaître généralement les familles de discontinuités qui existent dans le massif. Parfois, il est cependant nécessaire de renoncer à représenter le système de discontinuités par un ensemble de familles directionnelles. Les discontinuités sont toujours assimilées à des surfaces planes.

On définit pour une discontinuité ou une famille de discontinuités les paramètres géométriques suivants :

A. Orientation (azimut)

La position du plan de discontinuité est décrite par son orientation dans l'espace muni d'un repère ayant un axe parallèle au nord magnétique (Figure I.9).

L'orientation est représentée par la direction de la ligne d'intersection du plan, de discontinuité et du plan horizontal, et par le sens et l'angle de pendage de la ligne de plus grande pente [10].

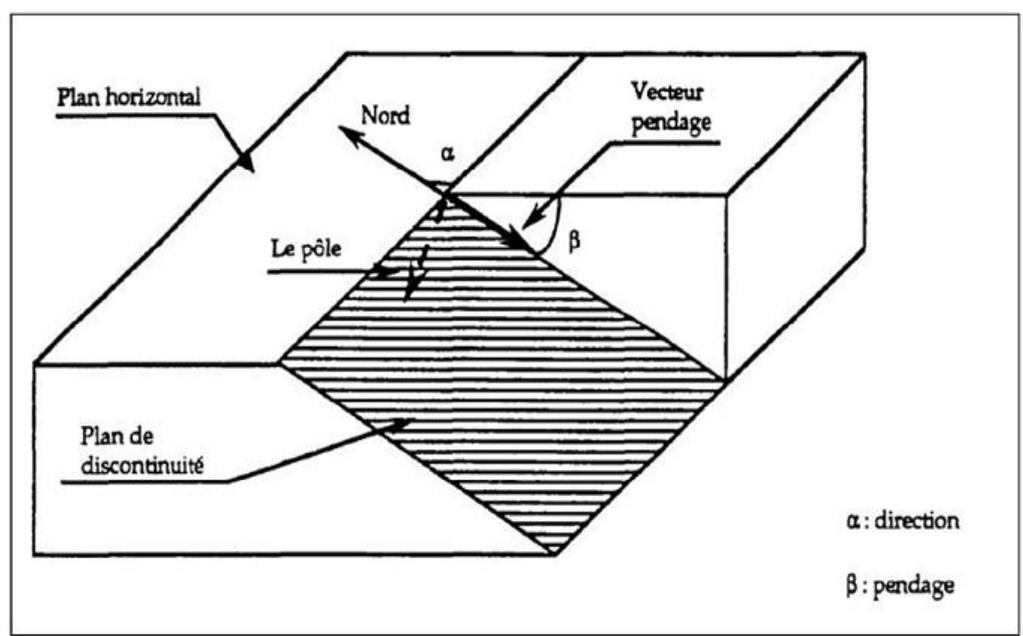


Figure I.9. Orientation d'un plan de discontinuité [10].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

On représente aussi une discontinuité par :

- **Le vecteur pendage** : qui matérialise la ligne de plus grande pente du plan de discontinuité. Il est défini par l'azimut de sa trace sur le plan horizontal et son pendage.
- **Le vecteur perpendiculaire au plan de discontinuité** : La projection stéréographique des discontinuités sur un canevas, permet de faire un classement des discontinuités en familles directionnelles. Une étude statistique permet d'identifier les familles et de dégager une loi de distribution des discontinuités au sein de chaque famille. L'orientation et le pendage peuvent être traités comme une seule variable (vecteur) ou séparément.

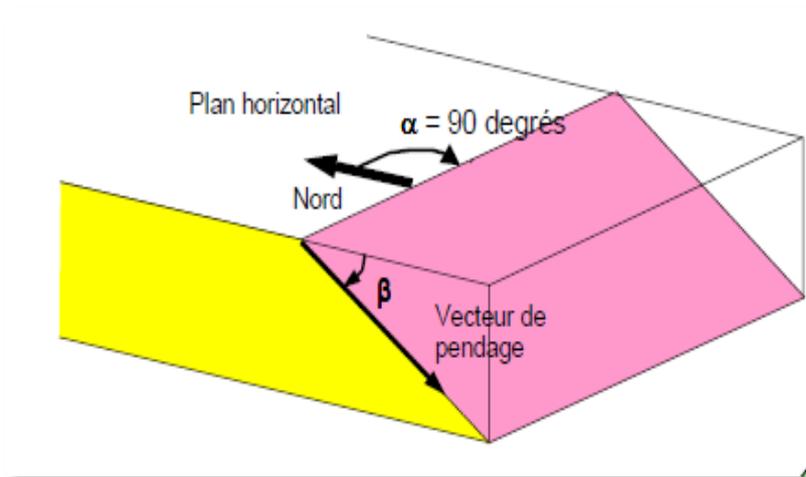


Figure I.10. Illustration de pendage et de l'azimut d'une discontinuité [11].

B. Extension

L'extension caractérise la dimension de la discontinuité dans l'espace. Ce paramètre est difficile à évaluer car sur le terrain on n'observe pas la totalité de la discontinuité mais uniquement sa trace sur un parement. L'extension peut être estimée à partir de la distribution de la longueur de trace de la discontinuité [10].

C. Espacement et densité

L'espacement représente la distance moyenne séparant deux discontinuités d'une même famille. La densité définit le nombre de discontinuités, d'une même famille, par unité de volume ou de surface ou de longueur. Ces paramètres sont liés et souvent, la densité est estimée à partir de l'espacement puisque ce dernier est facile à mesurer en pratique.

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Ces paramètres sont essentiels car ils donnent une idée de la fracturation moyenne du massif et de la continuité in-situ du massif.

D. Ouverture

C'est la distance qui sépare les deux lèvres d'une discontinuité. Elle est très difficile à évaluer à cause du remplissage de la discontinuité et de sa rugosité, elle est déterminante pour l'écoulement et le comportement mécanique des fissures [10].

I.3.3.3 Propriétés mécaniques d'une discontinuité

La Société Internationale de Mécanique des Roches a proposé en 1978 un Schéma d'analyse systématique des discontinuités basé sur la caractérisation de chaque fracture par dix paramètres: [12]

- Orientation;
- Continuité ou extension;
- Espacement ;
- Rugosité et ondulation de la surface ;
- Résistance à la compression simple des épontes ;
- Ouverture ;
- Remplissage ;
- Humidité et situation hydraulique ;
- Nombre de familles de discontinuités ;
- Taille moyenne des blocs.

Une fois la répartition et la géométrie des discontinuités identifiées, il faut s'intéresser à leurs caractéristiques mécaniques. On conçoit aisément qu'une faille lustrée dont les épontes sont parfaitement lisses sera plus dangereuse du point de vue de la stabilité qu'une diaclase calcifiée et cimentée. Pour être le plus complet possible, on étudiera :

- ✓ **L'ouverture** : largeur de la discontinuité (de quelques millimètres à plusieurs mètres) ;
- ✓ **La rugosité** : épontes irrégulières, ou imbrication d'une éponte dans l'autre ;

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

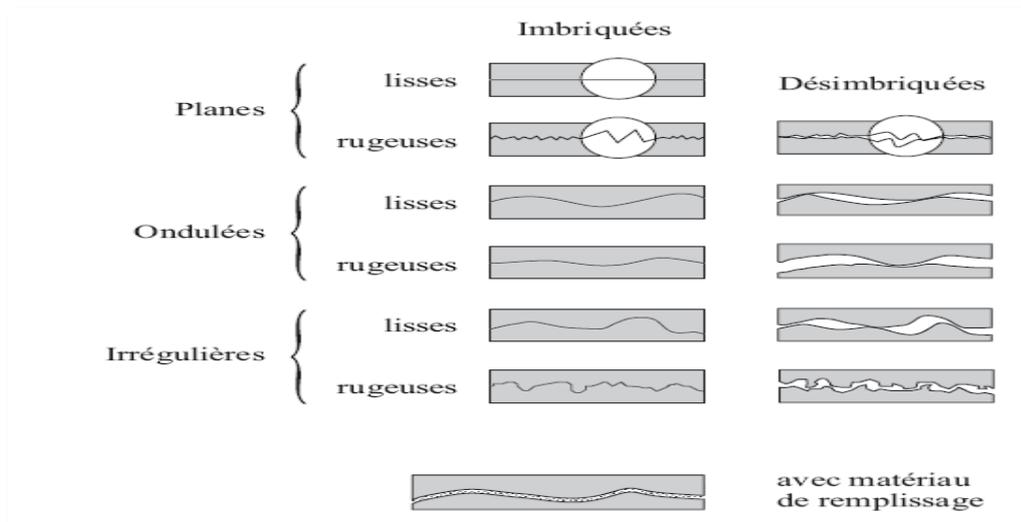


Figure I.11. Définition de la rugosité à différentes échelles [13].

- ✓ **Le remplissage** : dans l'ouverture, c'est le matériau comblant le vide. Il peut être solide et résistant ou bien être un vrai lubrifiant [12].



Figure I.12. Espacement, ouverture et remplissage des joints [8].

I.3.4. Type géotechnique de la roche

Le paramètre le plus important, qui définit toutes les caractéristiques de la matrice et du massif. Les propriétés les plus importantes de la matrice rocheuse d'un point de vue de la stabilité sont :

- ✓ La dureté de la roche, qui peut s'exprimer par le paramètre de résistance à la compression simple de l'échantillon ;
- ✓ Le caractère et le degré d'altération, de fracturation et la solubilité de la roche ;
- ✓ L'aptitude au gonflement, la plasticité, etc.

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

En fonction de ces paramètres, Fissenko (1965) propose de partager les roches en 5 classes :

- ❖ **Les roches dures**, avec R_c (résistance à la compression) > 80 MPa, peu altérables, non gonflantes : les roches magmatiques et métamorphiques et certains calcaires et grès, pas fracturés, pas ou peu altérés ;
- ❖ **Les roches semi dures**, avec $8 < R_c < 80$ MPa, fracturées, intensivement altérables, non gonflantes, non plastiques : roches magmatiques et métamorphiques altérées, grès argileux, schistes, argilites, pélites, marnes, conglomérats calciques, calcaires détritiques, charbons ;
- ❖ **Les roches faibles (argileuses)**, avec $R_c < 8$ MPa, gonflantes, plastiques, très fortement altérables : roches magmatiques et métamorphiques très fortement altérées ou complètement désintégrées, ainsi que les roches de la seconde classe altérées, toutes les argiles, lœss, sables argileux, les limons, craies, certaines alluvions et moraines ;
- ❖ **Les roches non cohérentes**, sans cohésion, l'angle de frottement et l'angle de Talus naturel étant de $28-38^\circ$, non plastiques, non gonflantes : les zones caillouteuses au pied des talus des roches des deux premières classes, graviers et sables purs ;
- ❖ **Les vases, les tourbes, et les sols mouvants**, avec une cohésion < 20 KPa, Le frottement interne absent en état saturé [12].

I.3.4.1 Les propriétés physico-mécaniques des roches

La reconnaissance des massifs rocheux permet d'appréhender les problèmes qui peuvent se poser lors de l'étude d'un projet de construction ou lors de l'expertise de sinistres.

La reconnaissance des propriétés d'un terrain constitue le lien entre la cause d'un sinistre et les remèdes que l'on se propose de mettre en place.

Les propriétés physico-mécaniques des roches et des sols sont une source capitale dans la compréhension de son comportement dont la complexité est avérée.

Parmi **les propriétés physiques**, les plus importantes sont : *la masse volumique, la porosité, l'humidité et la dureté...* et **les propriétés mécaniques** sont : *la résistance à la compression, la résistance à la traction et la résistance au cisaillement (l'angle de frottement interne et la cohésion)*

I.3.4.1.1 Les propriétés physiques des roches

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

A. La porosité

La porosité n est, par définition, le rapport du volume des vides V_v de la roche au volume total V_t

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (\text{I.1})$$

La porosité varie de quelque % à plus de 40 % dans les roches sédimentaires, elle est plus faible, dans les roches magmatiques, souvent inférieure à 1 %.

Les essais géotechniques au laboratoire militaire de Canada [56] ont porté une classification des roches selon leur porosité comme suivant :

- Roches de faible porosité : $0 < p < 5 \%$;
- Roches de porosité moyenne : $5 < p < 10 \%$;
- Roches de porosité élevée : $10 < p < 20 \%$;
- Roches de grande porosité : $p > 20 \%$.

B. Masses volumiques

On appelle masse volumique d'un matériau la masse de l'unité de volume de la roche (g/cm^3).

On définit, suivant l'état du matériau :

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad \rho_d = \frac{M_s}{V_t} \quad \rho_h = \frac{M_h}{V_t} \quad \rho_{sat} = \frac{M_{sat}}{V_t} \quad (\text{I.2})$$

Avec :

- M_s : La masse du matériau sec ; g.
- V_s : Le volume des grains après broyage ; cm^3 .
- V_t : Le volume de l'échantillon ; cm^3 .
- M_h : La masse naturelle ; g.
- M_{sat} : La masse de l'échantillon saturée ; g.
- ρ_d : Dépend de la porosité de la roche, par contre ρ_s ne dépend que de la minéralogie.

C. La teneur en eau

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

La teneur en eau w est le rapport de la masse d'eau (M_w), à la masse du solide (M_s)

$$w = \frac{M_w}{M_s} \quad (\text{I.3})$$

- M_w : est la masse d'eau.
- M_t : est la masse totale de l'échantillon.
- M_s : est la masse sèche des grains solides.

D. Le degré de saturation

C'est le rapport du volume de l'eau contenue dans l'échantillon au volume des vides [14].

$$S_r = \left(\frac{V_w}{V_v} \right) * 100 \quad (\text{I.4})$$

- V_w : Volume de l'eau dans l'échantillon, cm^3 ;
- V_v : Volume des vides, cm^3 .

E. La dureté

La dureté d'un minéral est due à la structure du cristal lui-même : comment les atomes qui le forment, à l'échelle microscopique, sont organisés. Plus ces atomes sont liés fortement entre eux, plus le minéral sera dur. C'est donc une propriété propre au minéral, et elle permet de le reconnaître. Certains minéraux peuvent changer de couleur, mais pas de dureté. La mesure de la dureté permet donc de reconnaître un minéral.

Le scientifique, Friedrich Mohs, a eu l'idée de choisir dix minéraux, et de les classer du plus tendre au plus dur ; ils sont numérotés de 1 à 10, et servent d'échelle : c'est ce que l'on appelle l'échelle de Mohs : [15]

Tableau I.2. Echelle de dureté de Mohs [15].

Minéral	Dureté
Talc	1
Gypse	2
Calcite	3
Fluorine	4
Apatite	5
Orthose	6

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Quartz	7
Topaz	8
corindon	9
Diamant	10

Il existe aussi des pointes de métal numérotées, et créées spécialement pour cela : Chacune a une dureté égale à un des minéraux de l'échelle de Mohs : ils sont très pratiques pour mesurer la dureté, surtout quand le scientifique travaille en exploration sur le terrain. Cette mesure de la dureté est essentiellement réservée aux pierres calcaires. La détermination de la largeur d'une rayure fournit pour chaque matériau une valeur chiffrée de la dureté. Ceci présente l'avantage de pouvoir mettre en relation les valeurs de dureté avec celles se rapportant à des caractéristiques physiques et mécaniques [16].

La caractéristique de dureté s'obtient par la mesure de la largeur d'une rayure faite sur la surface rectifiée d'un bloc de pierre.

La valeur obtenue est en relation avec la difficulté de taille et l'usure des instruments.

La largeur des rayures varie en général de 0,1 mm pour les pierres les plus dures à 3,5 mm pour les plus tendres.

F. Le degré de fissuration des roches

Les fissures ou les discontinuités sont la clef du comportement des roches et des massifs rocheux. On peut les définir comme des vides plats dont le rapport de l'épaisseur à la longueur est de l'ordre de 10^{-3} . Sous l'effet des charges, ces fissures se referment progressivement, donc avec un changement de géométrie et, comme pour les sols, avec une non-linéarité entre efforts et déformations, du moins tant que les fissures ne sont pas complètement fermées, ce qui se produit à des pressions variables selon les roches et leur état de fissuration, mais qui peut être de l'ordre de 25 à 50 Mpa pour un calcaire (soit la pression géostatique correspondant à une profondeur de 1000 à 2000 m) [17].

La présence des fissures a une importance considérable (à l'échelle du joint de grains).

L'indice de fissuration est égal à la distance moyenne entre les fissures :

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

$$ID = \frac{L}{n} \quad (I.5)$$

- **L** : longueur de la partie étudiée du massif (en m).
- **n** : nombre de fissures sur la partie mesurée.

Le tableau I-3 donne une classification des roches en fonction des valeurs de ID.

Tableau I.3. Classification des discontinuités en fonction de ID (d'après B.R.G.M.- Guide de prospection des matériaux de carrière) [18].

Classe	Intervalle moyenne entre	Densité des discontinuités
ID1	>200	Très faible
ID2	60 à 200	Faible
ID3	20 à 60	Moyenne
ID4	6 à 20	Forte
ID5	<6	Très forte

G. Module de Young

Le physicien britannique Thomas Young (1773-1829) avait remarqué que le rapport entre la contrainte de traction appliquée à un matériau et la déformation qui en résulte (un allongement relatif) est constant, tant que cette déformation reste petite et que la limite d'élasticité du matériau n'est pas atteinte.

La loi d'élasticité est la loi de Hooke :

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (I.6)$$

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

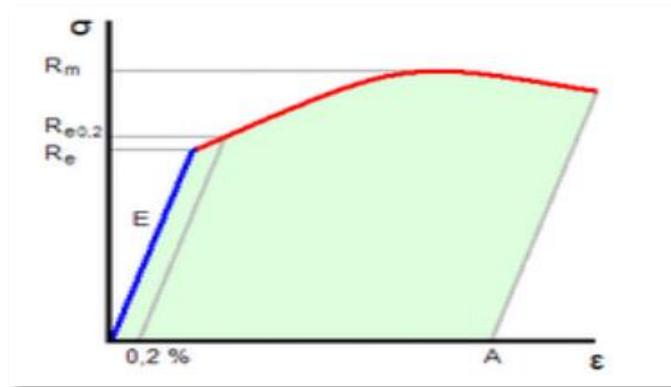


Figure I.13. Diagramme contrainte-déformation [19].

- σ : est la contrainte (en unité de pression).
- E : est le module de Young (en unité de pression).
- ε : est l'allongement relatif, ou déformation (adimensionnel).

Le module de Young est la contrainte mécanique qui engendrerait un allongement de 100 % de la longueur initiale d'un matériau (il doublerait donc de longueur), si l'on pouvait l'appliquer réellement : dans les faits, le matériau se déforme de façon permanente, ou se rompt, bien avant que cette valeur soit atteinte [19].

H. L'abrasivité

L'abrasivité caractérise la capacité d'une roche à provoquer l'usure d'un outil tel que pièce de concasseur, taillant de forage, molette ou pic de machine foreuse. Cette propriété est importante pour les travaux d'exploitation des matériaux rocheux, en souterrain comme à ciel ouvert. Elle dépend à la fois de la teneur en minéraux durs (quartz notamment) et de la résistance de l'assemblage des grains (cohésion de la roche) [20].

I. L'altérabilité

On appelle altérabilité la sensibilité d'une roche aux modifications du milieu environnant.

L'altération physico-chimique traduit la capacité de gonflement, de délitage ou de dissolution d'une roche. Divers essais existent pour quantifier l'altérabilité d'une roche ; aucun cependant ne s'est véritablement imposé.

En France, pour la réutilisation en terrassement des matériaux rocheux, a été défini un coefficient de dégradabilité, fondé sur l'évolution granulométrique de granulats après des cycles d'immersion-séchage conventionnels : l'essai met bien en évidence le caractère évolutif des roches marneuses ou schisteuses [20].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

I.3.4.1.2 Les propriétés mécaniques des roches

Les caractéristiques mécaniques des roches sont : la résistance à la compression, à la traction, à la flexion, au cisaillement, les déformations, l'élasticité, la plasticité, le module de Young (module d'élasticité), le coefficient de poisson, l'angle de frottement interne, la cohésion, la vitesse de propagation longitudinale et transversale ...etc.

A. Les paramètres mécaniques de la résistance

A.1. Résistance à la compression

Elle est déterminée lors des essais de compression simple. Dans cet essai, l'échantillon est pris sous la forme d'une carotte (éprouvette cylindrique), d'élançement L/D (L : hauteur, D : diamètre) compris entre 2 à 2,5 avec deux faces planes, lisses et parallèles obtenues par une rectification soignée [21].

L'échantillon est ensuite placé entre les plateaux d'une presse et la force axiale est augmentée jusqu'à la rupture de l'éprouvette. On appelle résistance à la compression (notée R_c) la contrainte maximale supportée par l'échantillon avant la rupture lors d'un essai de compression. La valeur maximale F de la force permet de calculer la résistance en compression uniaxiale R_c de la roche :

$$R_c = \frac{F}{S} \text{ [kgf/cm}^2\text{]} \quad (\text{I.7})$$

- F : effort (charge) maximale atteinte (juste avant la rupture).
- S : est la surface de la section de l'éprouvette sur laquelle on applique l'effort F .



Figure I.14. Disposition expérimental [21].
compression

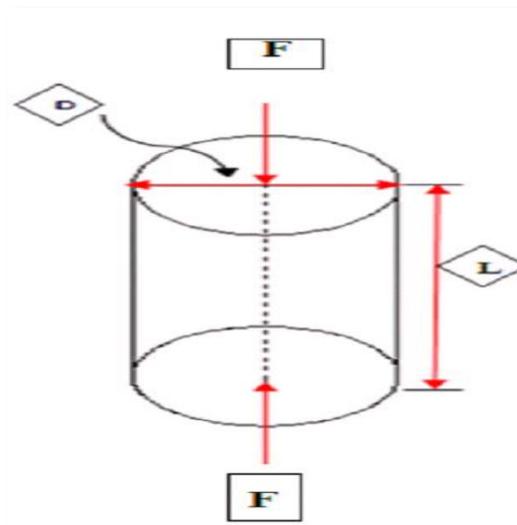


Figure I.15. Schéma de la
uniaxiale [21]

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Le tableau I-4 donne une classification des roches en fonction de leur résistance à la compression proposée par la société internationale de mécanique des roches [21].

Tableau I.4. Classification des roches en fonction de la résistance à la compression [21].

Roches	Faiblement résistantes	Moyennes	Résistantes	Très résistantes
R_c (MPa)	<5	20	60	>60

A.2. Résistance à la traction

- **Traction directe**

En soumettant une éprouvette cylindrique à une traction uniaxiale, la résistance à la traction simple est égale à la contrainte limite de traction qui produit la décohésion des échantillons des roches massives [21].

$$R_t = \frac{P_{max}}{A_0}; Kg/cm^2 \quad (I.8)$$

- P_{max} Valeur finale atteinte par l'effort appliqué.
- A_0 Surface transversale.

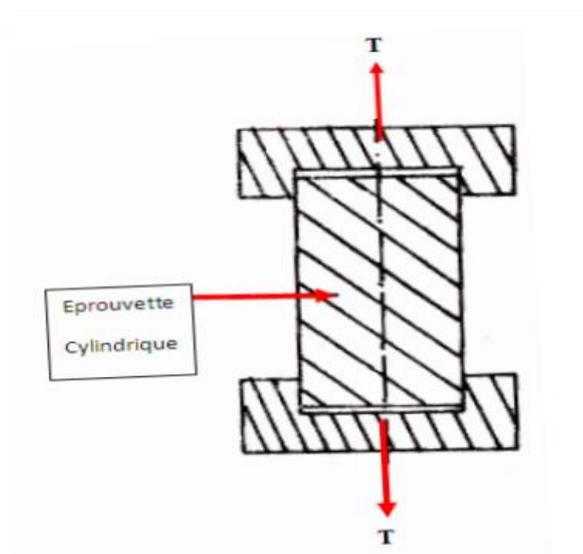


Figure I.16. Essai de traction directe [21].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

- **Traction indirect**

L'essai de résistance à la traction indirecte, dit aussi essai brésilien, est réalisé en comprimant entre les plateaux de la presse une éprouvette cylindrique le long de deux génératrices opposées (figure I.18). La rupture est obtenue par traction au centre de l'éprouvette. On évite ainsi les difficultés de collage des têtes nécessaires dans les essais de traction directe. Si F est l'effort fourni par la presse au moment de la rupture, D le diamètre de l'éprouvette et L sa hauteur, la résistance à la traction indirecte est donnée par la formule suivante [21] :

$$R_t = \frac{2F_{max}}{\pi D L} \left[\frac{kgf}{cm} \right] \quad (I.9)$$

- F_{max} La charge maximale appliquée.
- D et L Dimensions de l'éprouvette cylindrique.



Figure I.17. Dispositif expérimental [21].

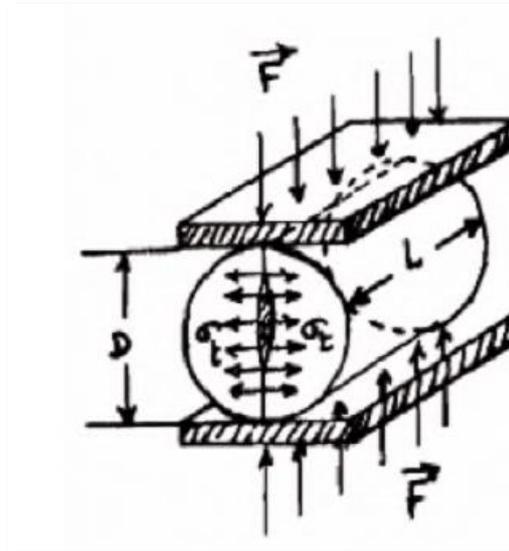


Figure I.18. Schéma de la Traction indirecte [21].

Le tableau I-5 donne une classification des roches en fonction de leur résistance à la traction proposée par la société internationale de mécanique des roches [21].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Tableau I.5. Classification des roches en fonction de la résistance à la traction [21].

Roches	Faiblement	Moyennes	Résistantes	Trés
Rt (MPa)	0.40	1.50	4.00	> 20

A.3. La résistance au cisaillement

La résistance au cisaillement d'un sol est la résistance interne par unité de surface qu'un sol peut offrir pour résister à une rupture ou à un cisaillement le long d'un plan. Elle représente la contrainte tangentielle limite avant la rupture dans un essai de cisaillement [22].

On distingue:

- Cisaillement direct.
- Cisaillement simple.
- Cisaillement triaxial.

Cisaillement direct

En mécanique des sols, les premiers types d'essai sont historiquement les essais de cisaillement direct (Coulomb en 1776). L'appareillage nécessaire pour effectuer cet essai est la boîte de Casagrande. Le principe consiste à cisailer une éprouvette suivant un plan déterminé à l'avance en exerçant un effort normal constant et un effort tangentiel croissant. Les contraintes appliquées sont totales au départ.

Ensuite, l'éprouvette est progressivement cisailée. La boîte de Casagrande comprend deux boîtes qui viennent coiffer l'éprouvette à tester en laissant libre une zone centrale de faible épaisseur. (Figure I.19) [22].

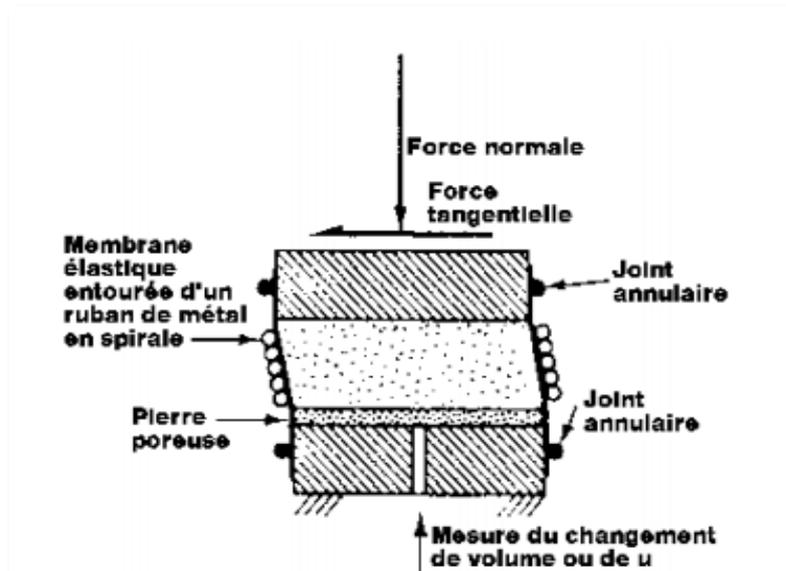


Figure I.19. Principe du Cisaillement directe [22].

✚ Cisaillement simple

Comparable à l'essai de cisaillement direct. Le cisaillement est appliqué en haut et en bas de l'échantillon. Cet essai permet d'éviter le problème de concentration des contraintes rencontré dans l'essai de cisaillement direct. Il permet aussi d'effectuer des essais drainés et non drainés ; ainsi que des chargements dynamiques ou statiques. Dans cet essai, il y a rotation des contraintes comme dans le cisaillement direct.

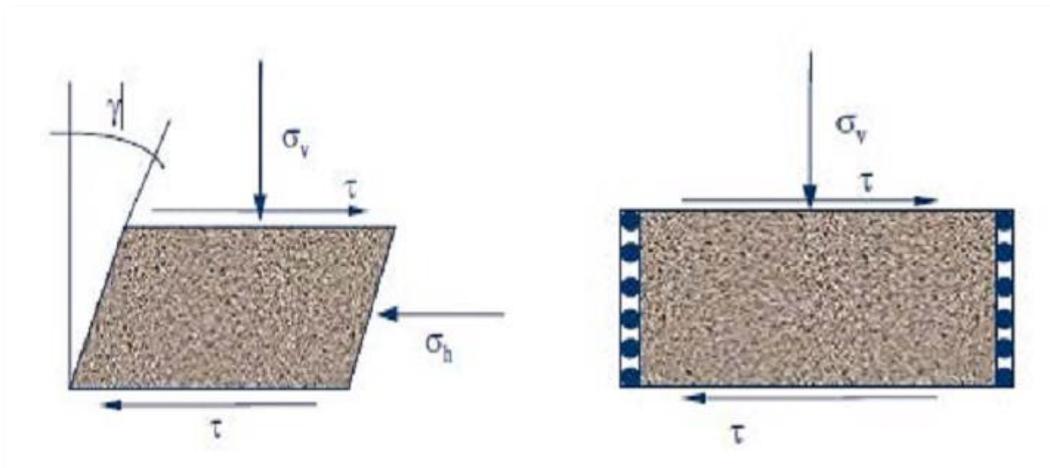


Figure I.20. Principe du cisaillement simple [22].

✚ Cisaillement triaxial

L'essai triaxial est un test standard de laboratoire en mécanique des sols. L'appareil triaxial classique permettant d'effectuer cet essai a été conçu initialement par Bishop & Henkel. Cet essai triaxial permet de contrôler les contraintes principales [22].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Cet essai se réalise en soumettant un échantillon cylindrique à une pression hydrostatique de confinement σ_c (contrainte dans la cellule). Une contrainte déviatorique est appliquée verticalement.

Puisque aucune contrainte extérieure de cisaillement n'est appliquée, les contraintes horizontale et verticale sont des contraintes principales [22].

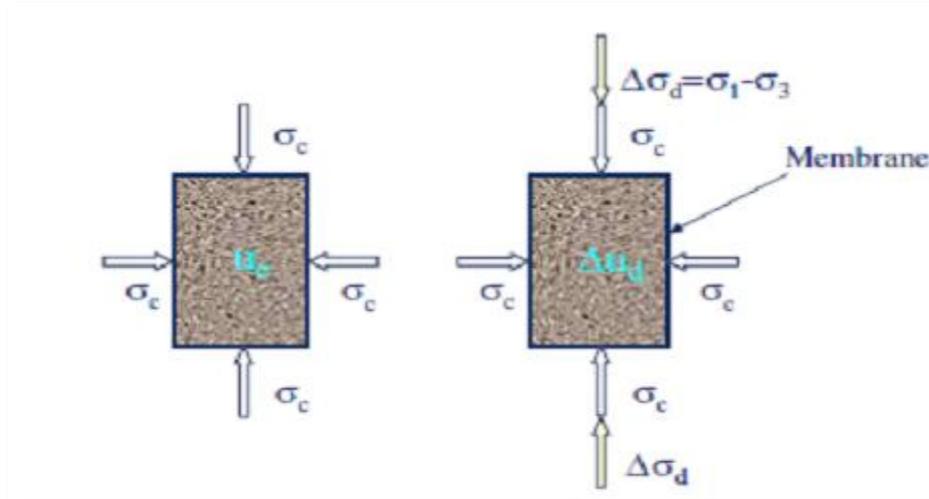


Figure I.21. Principe de l'essai Triaxial [22].

I.4 Classifications du massif rocheux

A. Systèmes de classification du massif rocheux

Il existe 16 systèmes de classification des massifs rocheux qui ont été développés pour leur utilisation en génie civil et minier, et ce, en se basant, en grande partie, sur la fissuration et le comportement mécanique de ces massifs. Malgré que ces systèmes soient largement utilisés en ingénierie, leur habilité à considérer la résistance anisotropie et l'effet d'échelle demeure limitée, les méthodes ou les systèmes de classifications les plus utilisés sont :

- ✓ RQD (Rock Quality Designation) d'après Deere (1968).
- ✓ SMR (Sope Mass Rattng) d'après Romana (1985).
- ✓ RMR (Rock Mass Rating) d'après Bieniawski (1989).
- ✓ Système du NGI ou Q système (Rock Massif Quality) Barton (1974).
- ✓ Recommandation AFTES.
- ✓ Système du GSI (Geological Strength Index) [23].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

B. Buts des systèmes de classification

Les classifications des massifs rocheux fracturés continuent à évoluer depuis plus d'un siècle. Leur utilisation a un intérêt considérable lors de l'étude de faisabilité et de dimensionnement préliminaire d'un projet, surtout quand les informations mécaniques, hydrologiques et l'état de contrainte in-situ du massif rocheux ne sont pas disponibles. Les systèmes de classification prennent en considération plusieurs facteurs affectant la stabilité des massifs rocheux. Ces facteurs sont reliés notamment à la résistance de la matrice rocheuse, la présence de l'eau et la description des discontinuités (nombre de familles, espacement, rugosité, altération des épontes, matériau de remplissage). Nous nous intéressons, dans ce qui suit, aux systèmes de classifications quantitatives, nommés également **classifications géomécaniques**.

Les buts principaux de ces classifications se résument comme suit :

- Estimer indirectement les propriétés mécaniques à grande échelle d'un massif fracturé, en particulier son module de déformation, sa résistance à la compression simple, sa cohésion et son angle de frottement interne ;
- Estimer le temps durant lequel le massif rocheux peut tenir sans soutènement (stand up time). C'est un indice très essentiel dans la détermination de la portée d'excavation ;
- Donner des recommandations de soutènement des ouvrages.

D'après *Singh et Goel [1999]*, la popularité des classifications quantitatives dérive de plusieurs facteurs :

- Elles représentent un langage commun entre les géologues, les ingénieurs, les concepteurs et les entrepreneurs ;
- Moyennant ces classifications, l'observation, l'expérience et le jugement des ingénieurs sont mieux corrélés.

Ces systèmes de classification ont été développés à une époque où la plupart des ouvrages d'excavation sont réalisés par technique dite technique d'essai-erreur. De nos jours, l'utilité de ces systèmes n'est plus recommandée et des précautions doivent être appliquées lorsque ces documents sont consultés, car ces systèmes sont développés pour des conditions d'utilisation particulière ou bien calibrés d'après un nombre très limité d'études de cas documentés. Actuellement, il existe plusieurs systèmes de classification modernes la littérature. Le Tableau I.6 énumère ceux-ci, ainsi que les systèmes plus anciens [24].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Tableau I.6. Système de classification des massifs rocheux [24].

Rock Loads	Référence	Pays d'origine	Applications
Système de classification	Terzaghi, 1946	E.U.A	Tunnels avec support en acier
Stand-up time	Lauffer, 1958	Autriche	Tunnels
New Austrian tunnelling method (NATM)	Rabcewics, 1964/1965, 1975	Autriche	Tunnels
Rock Quality Designation	Deere, 1968	E.U.A	Carottes de forage, tunnels
Rock Strength Rating (RSR)	Wickham et al, 1972	E.U.A	Tunnels
Rock Mass Rating (RMR)	Bieniawski, 1973, 1974, 1976, 1979, 1989	Afrique du Sud E.A.U	Tunnels, mines, SLOPES, fondations.
Extensions du système RMR	Laubscher 1977, 1984 Ghose and Raju, 1981 Kendorski et al, 1983 Seraphim and Pereira, 1983	Norvège	Mines Mines de charbon Mines en roche dure Fondations

	Gonzales de Vallejo, 1983 Unal, 1983 Romana, 1985 Newman and Bieniawski, 1985		Tunnels Support du toit/charbon Stabilité des pentes Mines de charbon
Rock Mass Quality	Barton et al, 1974	Canada	Tunnels, chambres
Strength-Size	Franklin, 1975		Tunnels
Basic geotechnical description	ISRM, 1981a	Canada	Communication général
Geological strength index (GSI)	Hoek et al, 1995		Mines

Les systèmes le plus utilisés sont sans doute le "**Rock Quality Designation**" (**RQD**), "**Rock Mass Rating**" (**RMR**) et "**Rock Mass Quality**" (système **Q**), ainsi

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

que le (GSI), "Geological Strength Index". Fondés sur des philosophies différentes, ces systèmes caractérisent la masse rocheuse de manière distincte l'une de l'autre. Essentiellement, ils caractérisent différents paramètres reliés au comportement mécanique du massif rocheux. Avant l'utilisation d'un système de classification particulier, il est primordial de bien saisir les subtilités que présente chacun afin d'assurer la compatibilité avec le massif rocheux étudié.

I.4.1 RQD (Rock Quality Designation)

Proposé par Deere en 1964 et obtenu à partir de carotte de forage géologique, c'est un indice représentant l'évaluation du pourcentage des carottes récupérées sur une longueur de course précise. [25]

I.4.1.1 Principe de calcul du RQD

Basé sur un procédé qualitatif, seule la somme des longueurs de morceaux de plus de 10 cm (4 pouces) est conservé. Cette somme est divisée par la longueur de course de la carotte de forage. Ce paramètre est défini comme suit :

$$RQD(\%) = \frac{\sum \text{longueurs des pièces} > 10\text{cm}}{\text{longueur totale de la course}} \times 100 \quad (\text{I.10})$$

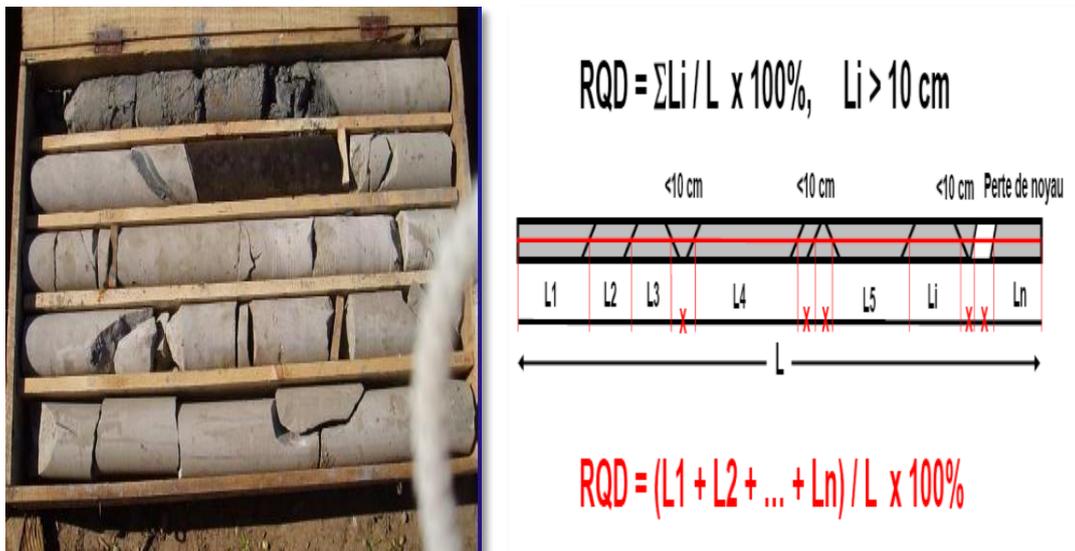


Figure I.22. Estimation de la valeur RQD [25].

Palmström (1982) a suggéré que, lorsque les carottes ne sont pas disponibles mais les discontinuités sont visibles à la surface d'exposition (face libre du gradin), le

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

RQD peut être estimé à partir du nombre de discontinuités par unité de volume. La relation suggérée pour des masses rocheuses contenant de l'argile libre est :

$$\mathbf{RQD = 115 - 3,3 J_v} \quad \mathbf{(I.11)}$$

Où

- J_v est le nombre de joints de fissure par mètre cube.

Si J_v est inférieur à 4,5 on utilise $RQD = 100$. Dans ce cas les fractures et fissures induites par le tir ne sont pas comptabilisées.

Le RQD est supposé représenter la qualité de la masse rocheuse in-situ [25].

I.4.1.2 Classification de massifs rocheux par RQD

La relation entre la valeur du RQD et la qualité du massif peut être établie selon la proposition de Deere en 1988. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau I.7. Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux [25].

RQD (%)	Qualité du massif rocheux
<25	Très pauvre
25-50	Pauvre
50-75	Moyenne
75-90	Bonne
90-100	Excellente

I.4.1.3. Limitation du système RQD

La simplicité du système RQD a non seulement promu son utilisation importante comme outil, mais aussi l'apport de plusieurs critiques. Voici une série de limites trouvées dans la littérature [32] :

- Le RQD peut donner des résultats différents en fonction de l'orientation du trou de forage géologique par rapport au massif rocheux ;
- Le RQD est insensible à l'effet d'échelle de ses excavations. Pour un certain indice RQD déterminé, il est impossible d'appliquer ce même paramètre de design pour un tunnel de petite dimension que pour une grande excavation souterraine ;

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

- Le système RQD fait défaut lorsque l'espacement des joints ou fractures du massif est d'environ 100 mm. Ainsi, sur une longueur de course de 1000 mm il y a seulement des espacements de fractures naturelles de 110 mm pour un indice final de 100 %. Par contre, si l'espacement constant enregistré est de 90mm le nouvel indice RQD est de 0% ;
- La résistance du RQD est directement affectée par la résistance de la roche intacte et de la grosseur du diamètre des carottes. Lorsqu'elle est effectuée sur une carotte de forage, cette classification est en outre limitée par la qualité du forage [32].

I.4.2. Système du RMR (Rock Mass Rating)

Le RMR a été développé par Bieniawski dans les années 1970. Il est basé sur l'expérience professionnelle de l'auteur dans des tunnels de faible profondeur pour des massifs sédimentaires [26].

Depuis son apparition, le système initial a reçu de nombreuses modifications et extensions, par Bieniawski, 1974 ; 1976 ; 1979 et dernièrement en 1989 :

- En 1974, Bieniawski présente la première modification qui est un réarrangement des paramètres de la classification (il passe de 8 à 6 paramètres) ;
- En 1976, Bieniawski effectue des modifications par rapport au design de support de terrain, réduit le nombre de classes de roche à 5 groupes dominants de 20 points chacun et introduit le concept de rugosité ;
- En 1979, Bieniawski réajuste pour la dernière fois la valeur du coefficient pour l'eau, la condition et l'espacement de joints ;
- En 1989, Bieniawski a joint des directives de sélection du patron de support de terrain pour une combinaison de boulons mécaniques, béton projeté et arche d'acier selon la qualité du massif rocheux. Dans le domaine minier, plusieurs facteurs influencent ces directives de support de terrain telles que la forme, la grandeur, la profondeur de l'excavation ainsi que la technique utilisée. Beaucoup de précautions doivent être apportées lors de l'application du RMR pour le design de support dans le domaine minier.

Lors de chaque modification, il y a eu une redistribution des valeurs pour les différents paramètres. Pour cette raison, l'utilisateur du système doit mentionner quelle version est utilisée afin de bien classer le terrain (Bieniawski, 1989) [26].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

I.4.2.1. Principe de calcul du RMR

Se repose sur la simplicité à déterminer les différents paramètres suivants :

- A1 : Résistance en compression uniaxiale de la roche intacte ;
- A2: RQD (Rock Quality Index);
- A3 : Espacement moyen des discontinuités ;
- A4 : Condition des discontinuités (ouverture, persistance, rugosité...);
- A5 : Les conditions hydrogéologiques du massif rocheux ;
- A6 : Orientation des discontinuités par rapport aux directions représentatives du problème traité.

Les notes A1, A2 et A5 correspondant aux paramètres établies pour l'ensemble du massif rocheux, alors que A3, A4 et A6 sont évaluées pour chaque famille de discontinuités.

$$\text{RMR de base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \quad (\text{I.12})$$

Tableau I.8. Tableau récapitulatif de classification des roches et notes de pondération [28].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Paramètres		Coefficients						
	Indice Franklin	>8 MPa	4-8 MPa	2-4 Mpa	1-2 MPa	Indice Franklin non utilisable		
	Résistance à la compression	>200 MPa	100-200 MPa	50-100 Mpa	25-50 MPa	10-25 MPa	3-10 MPa	1-3 MPa
Note		15	12	7	4	2	1	0
2	R.Q.D.	90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
Note		20	17	13	8	3		
3	Espacement des joints	>3 m	1-3 m	0.3-1 m	50-300 mm	< 50mm		
Note		30	25	20	10	5		
4	Nature des joints	Surfaces très rugueuses non continues Eponte en contact	Eponte non rugueuses Epaisseur < 1 mm	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur < 1 mm Eponte altérées	Surfaces lustrées ou remplissage < 5 mm ou joint ouvert 1 à 5 mm joints continus	Remplissage mou > 5 mm ou joints ouverts > 5 mm joints continus		
Note		25	20	12	6	0		
5	Venues d'eau	Débit sur 10 m d'eau	Aucune venue d'eau	< 25 l/min	25-125 l/min	> 25 l/min		
		Pression d'eau contrainte principale	0	0.0-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Hydrogéologie	Complètement sec	(eau interstitielle)	Suintements (eau)	Pression d'eau modérée	Problèmes sérieux de venues d'eau	
Note		10	7	4	0			

Inspiré par un des paramètres dans le système de classification RSR (Rock Structure Ratin) de Wickham et al., 1972, Bieniawski suggère un paramètre de réduction tenant compte de l'orientation du tunnel par rapport à l'indication du pendage. Le paramètre A6 est négatif afin de réduire la qualité du massif rocheux. La classification doit tenir compte de l'influence de conditions externes applicables à l'ingénierie :

$$\text{RMR modifié} = \text{RMR de base} + A6 \quad (\text{I.13})$$

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Tableau I.9. Valeur du paramètre de réduction A6 selon l'orientation du tunnel par rapport à l'indication du pendage, (Bieniawski, 1989).

Pendage et direction des discontinuités		Très Favorable	Favorable	Bonne	Défavorable	Très favorable
Note	Tunnel	0	-2	-5	-10	-12
	Fondation	0	-2	-7	-15	-25
	Talus	0	-5	-25	-50	-60

Tableau I.10. Note d'ajustement pour l'orientation des joints [27].

Direction perpendiculaire à l'axe d'un tunnel				Direction parallèle à l'axe du tunnel		
Creusement du tunnel dans le sens du pendage		Creusement du tunnel dans le sens inverse du pendage		Pendage	Pendage	Pendage
Pendage 45-90°	Pendage 20-45°	Pendage 45-90°	Pendage 20-45°	45-90°	20-45°	0-20°
Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable	Moyen	Défavorable

Orientation des joints	Très favorable	Favorable	Très défavorable	Défavorable	Très défavorable
Note d'ajustement	0	-2	-5	-10	-12

Bieniawski (1976) présente une classification et description pour le massif rocheux selon l'indice RMR final. Cette classification comprend 5 groupes d'intervalle de 20 points par classe dont la description rocheuse variant entre roches de très faible qualité à très bonnes roches [26].

Tableau I.11. Qualité du massif rocheux selon le RMR (Bieniawski, 1976) [26].

Note globale	100-81	80-61	60-41	40-21	<20
---------------------	--------	-------	-------	-------	-----

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Classe du massif rocheux	I	II	III	IV	V
Description du massif rocheux	Très bon rocher	Bon rocher	Rocher moyen	Rocher médiocre	Rocher très médiocre

I.4.2.2. Estimation des caractéristiques mécaniques des massifs rocheux à partir du RMR

Le RMR permet aussi d'estimer des paramètres mécaniques des massifs rocheux tels que la cohésion et l'angle de frottement. Comme on peut estimer le temps de soutien moyen d'une excavation avant l'application du soutènement. Plusieurs auteurs ont proposé des relations entre ces paramètres et la valeur du RMR. (Bieniawski, 1989)

Il existe des corrélations qui permettent d'estimer la cohésion, l'angle de frottement ainsi que le module de Young :

a- La cohésion

$$C_{eq} \text{ (KPa)} = 5 \text{ RMR}, \text{ (Bieniawski, 1979)} \quad \text{(I.14)}$$

b- L'angle de frottement

$$\varphi_{eq} (^{\circ}) = 0,5 \text{ RMR} + 8,3 \pm 7,2, \text{ (Trunck et Hönish, 1989)} \quad \text{(I.15)}$$

c- Le module de Young

$$E_{eq} \text{ (GPa)} = 10(\text{RMR}-10)/40, \text{ (Serafim et Pereira, 1983)} \quad \text{(I.16)}$$

On peut estimer la résistance à la compression simple du massif rocheux à partir de la valeur du RMR de base, le tableau suivant représente la relation entre eux :

Tableau I.12. Relations entre RMR sec et la résistance à la compression simple (Stille et al. 1982).

RMR sec	RMR sec= A1+A2+A3+A4				
	<21	20 - 40	41 - 60	61 - 80	>80
Rc (MPa)	0,5	2,5	5	2	30

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

I.4.2.3. Limitations du système RMR

Étant donné que le système de classification RMR est initialement développé pour le domaine civil. Dans le domaine minier voici quelques limitations pertinentes où l'ingénieur doit questionner la validité lors de l'évaluation d'un massif rocheux :

- Le paramètre de l'orientation des discontinuités (B) est ignoré. Le système conservé redevient le RMR de base. Cette correction est apportée principalement pour ignorer les conditions environnementales résultant en une classification dépendante du massif rocheux uniquement ;
- Les contraintes sont ignorées comme paramètre du système RMR. Estime le système RMR adéquat pour un projet civil jusqu'à une contrainte verticale de 25 MPa. Souvent dans le domaine minier, les mines souterraines exploitent à des niveaux de contraintes supérieurs ;
- Cette classification ne prend pas en considération l'état de contrainte in-situ ni la rugosité des fractures et l'angle de frottement du matériau de remplissage ; les roches gonflantes n'y sont pas non plus traitées ;
- L'application de cette classification est limitée aux cas de massifs dont la matrice a une bonne résistance et dont le comportement est régi par les discontinuités. Néanmoins, le RMR reste un outil puissant, lorsque bien utilisé. Ce système a réussi à identifier des paramètres géologiques quasi universels permettant d'enregistrer rapidement et simplement toute expérience d'excavations dans la masse rocheuse. De la sorte, l'application du système de classification RMR s'étend avec succès à la conception de fondation, de stabilité de talus, l'évaluation du décapage, ainsi que de nombreuses applications minières [32].

I.4.3. La méthode de Romana (SMR)

Le SMR (Slope Mass Rating) (Romana 1985, Romana 1995) est davantage orienté vers la stabilité des pentes rocheuses.

Le système SMR est obtenu à partir du RMR en lui ajoutant un produit de facteurs d'ajustement dépendant de la relation joints – talus et en lui additionnant un facteur dépendant de la méthode d'excavation [29].

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (F1. F2. F3) + F4 \quad (\text{I.17})$$

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

La valeur du RMR est la valeur « de base » sans l'ajustement dû à l'orientation des discontinuités. L'ajustement pour les joints est composé des trois facteurs F1, F2 et F3.

✓ **F1** : Dépend du parallélisme entre les directions des joints et des talus. Ce facteur peut varier de 1 (quand les deux sont presque parallèles) à 0,15 (quand l'angle entre les deux est plus grand que 30° et que la probabilité de rupture est très faible). Il a été établi empiriquement :

$$F1=(1 - \sin A)^2. \quad (\text{I.18})$$

Où :

- **A** est l'angle entre les directions des joints et du talus.
- ✓ **F2** : Dépend du pendage des joints pour le mode de rupture plan. Les valeurs varient de 1 (pour les joints de plus de 45° de pendage) à 0,15 (pour les joints de moins de 20° de pendage). Dans le cas du renversement ou de basculement, le facteur reste égal à 1. Il a également été établi empiriquement :

$$F2= tg^2B. \quad (\text{I.19})$$

Où

- **B** est le pendage des joints.
- ✓ **F3** : est lié à la relation entre la pente du talus et le pendage des joints. Pour ce paramètre, il y a également lieu de faire la différence entre une rupture plane et une rupture par renversement ou de basculement. Les valeurs d'ajustement de Bieniawski ont été conservées.

Le facteur d'ajustement F4 prend en compte la méthode d'excavation. Il est fixé empiriquement sur les bases suivantes :

- Les talus sont plus stables à cause de l'érosion à long terme et des protections naturelles telles la végétation ;
- La roche prédécoupée augmente également la stabilité ;

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

- L'abattage à l'explosif augmente, ne change pas ou diminue la stabilité du talus qu'il est léger, normal ou déficient (trop d'explosifs par exemple) ;
- L'excavation mécanique par arrachage dans les roches très fracturées n'augmente, ni ne diminue la stabilité du talus.

Une valeur de SMR est calculée pour chaque système de discontinuités et finalement la plus petite est retenue pour quantifier la globalité du talus.

A partir du SMR, il est alors possible d'estimer la stabilité du talus et de préconiser les méthodes de confortement (ancrage, boulons, béton projeté, ...) [29].

I.4.4. La méthode de N. Barton (Q-système)

Barton et al. (1974) introduit le système Q, un indice permettant de décrire la qualité de la masse rocheuse pour l'excavation de tunnels. Le système de classification se nomme Rock Mass Quality ou Tunneling Quality Index ou système Q ou tout simplement système du NGI en hommage de l'Institution Géotechnique Norvégienne [27].

L'indice Q est calculé à partir de six paramètres géotechniques d'après la formule suivante :

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad (I.20)$$

Où :

- **RQD** = le Rock Quality Designation ;
- **J_n** = un nombre caractérisant l'ensemble formé par les familles de joints ;
- **J_r** = caractérise la rugosité des joints ;
- **J_a** = caractérise l'altération des joints ;
- **J_w** = le facteur de réduction hydraulique des joints ;
- **SRF** = le facteur de réduction des contraintes (Stress Reduction Factor).

- Le premier rapport (**RQD/J_n**) représente la structure du massif rocheux et est une mesure de la taille moyenne des blocs rocheux ;
- Le second rapport (**J_r/J_a**) représente la résistance au cisaillement entre les blocs. Il est directement proportionnel à la rugosité des faces des joints (élément favorable pour la stabilité du tunnel car il en résulte une forte dilatance lors du cisaillement) et inversement proportionnel à l'épaisseur du joint (élément

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

pouvant être extrêmement défavorable car un remplissage en argile sera caractérisé par un angle de frottement très faible) ;

- Le troisième rapport (**Jw/SRF**) reprend deux paramètres de contraintes. Jw est une mesure des pressions d'eaux qui agissent bien entendu à l'encontre de la résistance au cisaillement des joints, suite à une réduction de la contrainte normale effective ; et SRF est une mesure :
- Du poids des terrains à soutenir lorsque le tunnel est creusé dans un massif présentant des discontinuités ;
- Du champ des contraintes préexistantes dans le cas d'une roche saine ;
- De la charge induite par le fluage de roches plastiques.

Ce dernier rapport, difficile à évaluer, apparaît donc comme un facteur empirique décrivant les "contraintes actives" dans le massif rocheux [28].

Les tableaux suivants montrent les valeurs des paramètres de classification :

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Tableau I.13. Paramètres de la classification du système Q [27].

Nombre de famille de diaclases	Jn	
Massif, peu ou pas de diaclases	0.5 – 1	
Une famille de diaclases	2	
Une famille et diaclases aléatoires	3	
Deux familles de diaclases	4	
Deux famille et diaclases aléatoires	6	
Trois familles de diaclases	9	1 pour une intersection, utilisez 3 × Jn
Trois familles et diaclases aléatoires	12	
Quatre familles et plus, diaclases aléatoires très nombreuses	15	2 pour un portail, utilisez 3 × Jn
Roche concassée, semblable à un sol	20	
Rugosité des diaclases		
<i>Parois en contact</i>		
Diaclases discontinues	4	
Rugueuses, irrégulières, ondulées	3	
Lisses, ondulées	2	
Très lisses, ondulées	1.5	1. Ajoutez 1.0 si l'espace moyen de la famille dominante > 3m
Rugueuses ou irrégulières, planaires	1.5	
Lisses, planaires	1	
Très lisses, planaires	0.5	
<i>parois séparées lorsque cisaille</i>		
Zone avec remplissage de minéraux argileux assez épais pour empêcher le contact des parois.	1	
Zone sableuse, de gravier ou concassé assez épaisse pour empêcher le contact des parois.	1	

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Altération des diaclases		Jr
<i>Parois en contact</i>		
Dure, élastiques, remplissage imperméable		0.75
Non altérées, salissage de surface seulement		1
Légèrement altérées, minéraux non déformables, particules sableuses etc.		2
Remplissage silteux, sableux, avec une faible fraction d'argile		3
Matériaux déformables, i.e kaolinite, mica etc. épaisseur < 1-2 mm		4
Infiltration d'eau	Jw	Pression d'eau (kgf/cm²)
Sec ou infiltration mineure < 5 Vm	1	< 0.1
Infiltration moyenne, lessivage occasionnel	0.66	1.0 – 2.5
Infiltration importante, roc compétant sans remplissage	0.5	2.5 – 10
Infiltration importante	0.33	2.5 – 10
Infiltration exceptionnelle importante après sautage, réduction dans le temps	0.2 – 0.1	> 10
Infiltration exceptionnellement importante	0.1 0.05	> 10

L'indice Q peut varier de 0.001 à 1000. La qualité du massif sera regroupée en 9 classes. Chaque classe correspond à une qualité de massif rocheux (tableau ci-dessous). Les classes des indices se représentent sur une échelle logarithmique [28].

Tableau I.14. Qualité du massif rocheux selon Barton [28].

Valeurs	Qualité du massif
400 – 1000	Exceptionnellement bonne
100 – 400	Extrêmement bonne
40 – 100	Très bonne
10 – 40	Bonne
4 – 10	Moyenne
1 – 4	Mauvaise
0,1 – 1	Très mauvaise
0,01 – 0,1	Extrêmement mauvaise
0,001 – 0,01	Exceptionnellement mauvaise

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Contrairement à la classification de Bieniawski, le Q-system a connu très peu de modifications depuis sa publication.

Les seuls changements ont eu lieu au niveau du paramètre SRF avec un changement de valeur dans le cas de roches compétentes et sous de très fortes contraintes. La classification attribue une échelle de la qualité du massif rocheux allant de 0,001 à 1000. Lorsque le rapport $J_w/SRF = 1$, l'indice de qualité du massif rocheux est exprimé par Q'.

I.4.4.1. Limitations du système Q

- L'utilisation de l'indice Q est spécifiquement développée pour des tunnels et des excavations en forme de voute, principalement pour le domaine du génie civil. En conséquence, il se présente quelques limitations lors de l'application à un massif rocheux dévoilant un comportement mécanique anisotrope ;
- Étant donné que la cote Q a été développée presque exclusivement avec moins de 3 séries de discontinuité, l'indice Q semble diminuer la compétence de la roche quand le massif présente 4 discontinuités espacées. Ces derniers déconseillent donc d'utiliser la cartographie géologique pour risque de compter plusieurs familles de discontinuités ;
- Lors du développement du système, seulement neuf études de cas ont des conditions de terrain problématique (gonflement ou convergence). Une conséquence indirecte souvent attribuable au massif rocheux anisotrope.

Dans cette classification, l'évaluation de Q dépend de l'état des contraintes dans le massif et des paramètres non intrinsèques de la matrice rocheuse. La contribution directe de la résistance mécanique de la matrice rocheuse est absente.

En outre l'orientation des joints n'apparaît pas dans cette classification [32].

I.4.5. Système du GSI (Geological Strength Index)

I.4.5.1 Principe de système du GSI

Introduit par Hoek - Brown en 1995, le GSI est un nombre sans dimension, déterminé empiriquement, il varie entre 5 et 85, et qui peut être estimé à partir d'un examen de la qualité de la masse rocheuse in situ. La méthode GSI s'appuie donc sur une observation directe de la structure du massif rocheux [30].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

Tableau I.15. Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI, (Hoek- Brown, 1995) [30].

Valeur du GSI	76-95	56-75	41-55	21-40	<20
Qualité du massif	Très bonne	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très Mauvaise

Ayant calculé le RMR de base et Q' le GSI peut être déterminé par les corrélations suivantes :

$$\text{GSI} = \text{RMR de base} - 5 \quad \text{si} \quad \text{RMR de base} > 23 \quad (\text{I.21})$$

$$\text{GSI} = 9 (\text{Log } Q' + 44) \quad \text{si} \quad \text{RMR de base} < 23 \quad (\text{I.22})$$

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

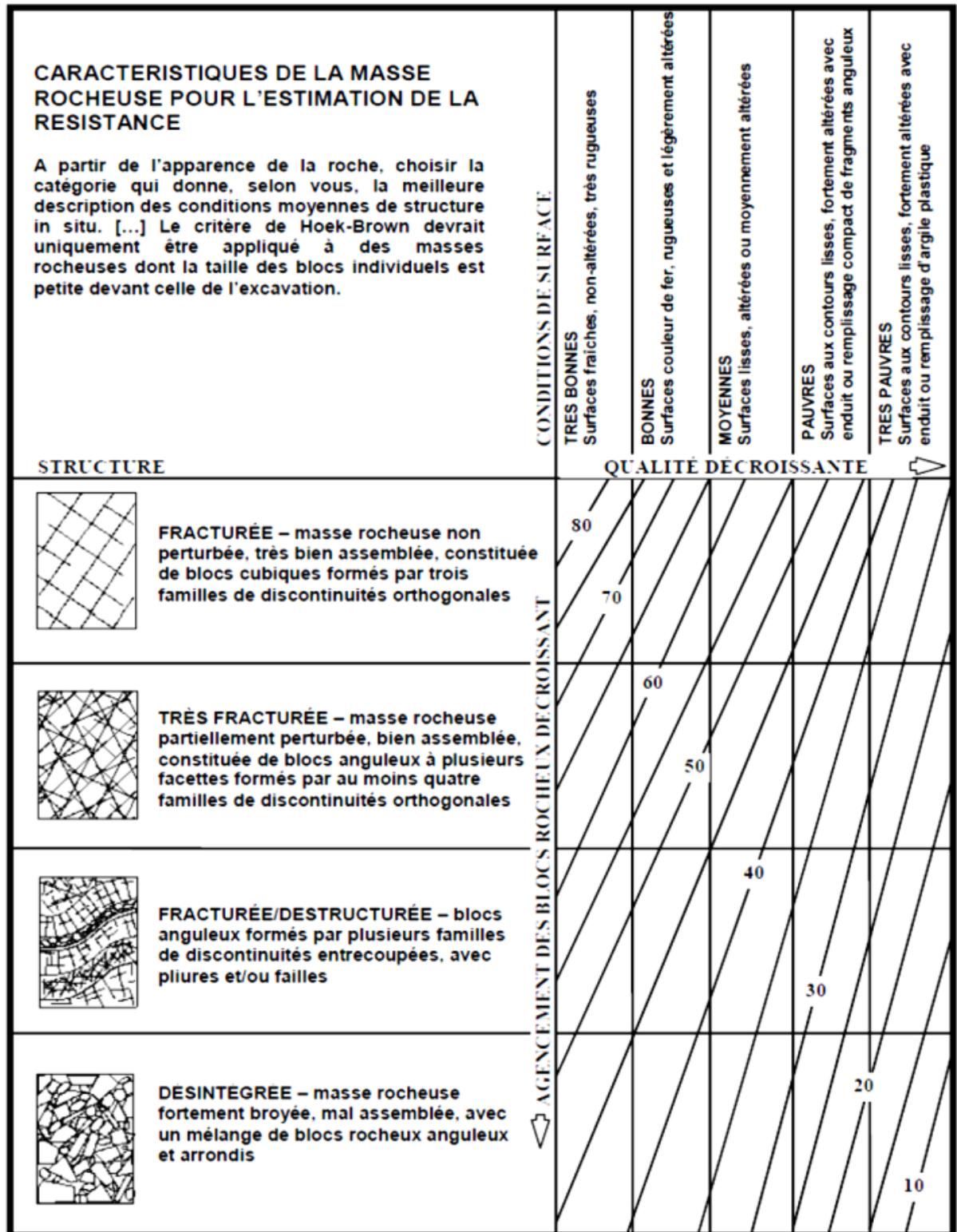


Figure I.23. Estimation du GSI à partir d'une description géologique de la masse rocheuse [31].

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

I.4.5.2 Système du GSI modifié (1999)

Sonmez et Ulusay (1999) ont proposé des perfectionnements à la classification GSI qu'ils estiment trop approximative. A leur avis, le manque de paramètres permettant de décrire les conditions de surface des discontinuités et la structure de la masse rocheuse empêche d'obtenir des valeurs plus précises du GSI. Pour ces raisons, ils ont suggéré l'introduction de deux paramètres additionnels :

A. Le SCR (Surface Condition Rating)

Cet indice s'obtient par sommation de 3 coefficients décrivant la rugosité, l'altération et le remplissage des joints :

$$\text{SCR} = \text{Rr} + \text{Rw} + \text{Rr} \quad (\text{I.23})$$

B. Le SR (Structure Rating)

La dimension des blocs peut être un indicateur très important du comportement mécanique de la roche : de grands blocs sont en général moins déformables et moins rotationnels que des blocs plus petits (Hoek et Brown, 1995).

La courbe semi-logarithmique située en haut à gauche de la figure II.4 permet de déduire une valeur du SR, à partir de la mesure de la densité volumique des joints (J_v).

A l'aide de ces deux paramètres supplémentaires, Sonmez et Ulusay estiment que l'apport d'informations concernant les propriétés structurelles de la roche permet de déterminer une valeur plus précise pour le GSI [25].

I.5. Limitation des systèmes de classification

Les classifications quantitatives des massifs rocheux fracturés sont utilisées depuis plusieurs dizaines d'années pour la conception et la construction des ouvrages réalisés dans les massifs rocheux. Elles sont basées sur la connaissance des paramètres décrivant la qualité du massif rocheux et font la combinaison des différents paramètres mesurés sur le site pour arriver à mettre une note concernant la qualité du massif rocheux (Chalhoub, 2006). Ces méthodes sont facilement utilisées au stade de l'avant-projet. Cependant elles présentent certaines limites, que nous résumons ci-dessous :

- Les paramètres de classification sont utilisés universellement sur tous les types de massifs rocheux, sans tenir compte de leurs caractéristiques spécifiques et du projet considéré (Chalhoub, 2006) ;
- Les propriétés complexes du massif rocheux, en particulier son anisotropie et son comportement différé (dépendant du temps) ne sont pas pris en compte ;

Chapitre I: Recherche bibliographique sur les massifs rocheux et leurs classifications

- Les paramètres de déformabilité et de résistance qui en résultent sont relatifs à un milieu isotrope (Chalhoub, 2006) ;
- Le RMR et le Q-system ne sont pas adaptés au cas de roches tendres (Chalhoub, 2006).

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a effectué une recherche bibliographique sur les massifs rocheux, ces types, les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques de ces derniers, ainsi que, une synthèse des systèmes de classification géomécanique ont été présenté.

Donc on peut dire que les massifs rocheux sont présentés comme un milieu discontinu, composé de discontinuités et de la matrice rocheuse. L'étude des massifs rocheux ne sont donc pas seulement basée sur la caractérisation de la roche saine, mais on doit se baser aussi sur les systèmes de classifications des massifs rocheux qui sont des méthodes empiriques qui déterminent les propriétés du massif en fonction de plusieurs facteurs affectent sa qualité.

Chapitre II: Présentation Carrière
E.N.G. El Ma LABIOD

II.1. Introduction

Les granulats sont les constituants de base de tous travaux de génie civil. Il est donc important de maîtriser l'ensemble de leur propriété en respectant des critères de qualité. Car la mise sur le marché de granulats est soumise depuis le 1 juin 2004 à l'obligation réglementaire du marquage CE (conformité européennes). Dans ce cadre le producteur doit déclarer que les granulats satisfont à l'exigence des normes européennes.

L'Entreprise National des Granulats, par abréviation ENG a été créé le premier janvier 1987 à la suite de la restructuration de la société nationale des matériaux de construction SNMC.

L'unité d'EL MA LABIOD a été créée en septembre 1990, où il est chargé de la gestion des activités de production, de commercialisation et de développement des granulats, du carbonate de calcium et des pierres ornementales ou marbres.

II.2. Généralité

II.2.1. Situation géographique et administrative

Le gisement d'ADILA est attribué aux Monts de TEBESSA faisant partie du système d'ATLAS SAHARIEN. Sur le plan administratif, la commune d'EL MA LABIOD, à 2,5 km à l'ouest du village d'EL MA LABIOD, qui est à 27 km au sud de TEBESSA suivant la RN 16.

Les coordonnées géographiques de la partie centrale du gisement sont :

- ✚ 35° 13 de latitude Nord ;
- ✚ Et 08° 08 de longitude Est de GREENWICH.

Le territoire du gisement représente une chaîne de colline à pente relativement douce (5° à 8°) orienté S-N. Les cotes absolues du gisement varient de **1080 m** au S.E jusqu'à **1167.5 m** au centre de gisement.

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

Tableau II.1. Les coordonnées de la carrière selon le système U.T.M.

N°	Coordonné		N°	Coordonné	
	X	Y		X	Y
1	421000	3897100	13	422100	3895600
2	421300	3897100	14	422000	3895600
3	421300	3897000	15	422000	3895500
4	422600	3897000	16	421700	3895500
5	422600	3896200	17	421700	3895600
6	422500	3896200	18	421600	3895600
7	422500	3896100	19	421600	3895100
8	422300	3896100	20	421300	3895100
9	422300	3895900	21	421300	3895600
10	422200	3895900	22	421200	3895600
11	422200	3895700	23	421200	3895800
12	422100	3895700	24	421000	3895800
Surface du périmètre minier est 221 hectares					

Le gisement d'ADILA limité par les ouvrages géologiques de recherche est situé dans la partie centrale de cette chaîne de colline. L'assise utile forme le relief du gisement. Les calcaires de maestrichtien moyen affleurent dans de nombreux talwegs et ravines ainsi que sur les plis du relief et constituent 30%.

Le relief de la superficie de développement de l'assise de calcaire de maestrichtien moyen représente une chaîne de colline atteignant 1Km de large arqué et orienté de sud au nord-ouest s'étendant sur une distance de 4à5 Km environ.

Les formations de quaternaire s'étendent sur environ 60% de la surface du gisement et ont une épaisseur moyenne de 0.5 m et atteint 4.1 m. ils sont représentés par des limons argileux débris de calcaire constituant 30% du volume des limons

Dans la partie ouest du gisement on rencontre des débris de silice parmi les débris alluvionnaires.

Dans le plan structural le gisement de calcaire d'ADILA est situé en flanc NO d'un gradin orienté dans la direction NO-SE. L'axe du gradin est tracé par la vallée d'ELMALABIOD.

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

Les formations du crétacé forment une série monoclinale à pendage vers l'Ouest et le NO. Les angles de pendage des couches varient de 0 à 20° mais dans l'ensemble les angles de pendage de toute l'assise utile constituent 3-5%.

La formation des dépôts du maestrichtien est due à la transgression marine qui a constitué la phase pyrénéenne d'orogénèse alpine. Il en résulte que dans leur ensemble, les formations de maestrichtien, auxquelles se rapporte l'assise productive du gisement d'ADILA sont des dépôts marins géosynclinaux.

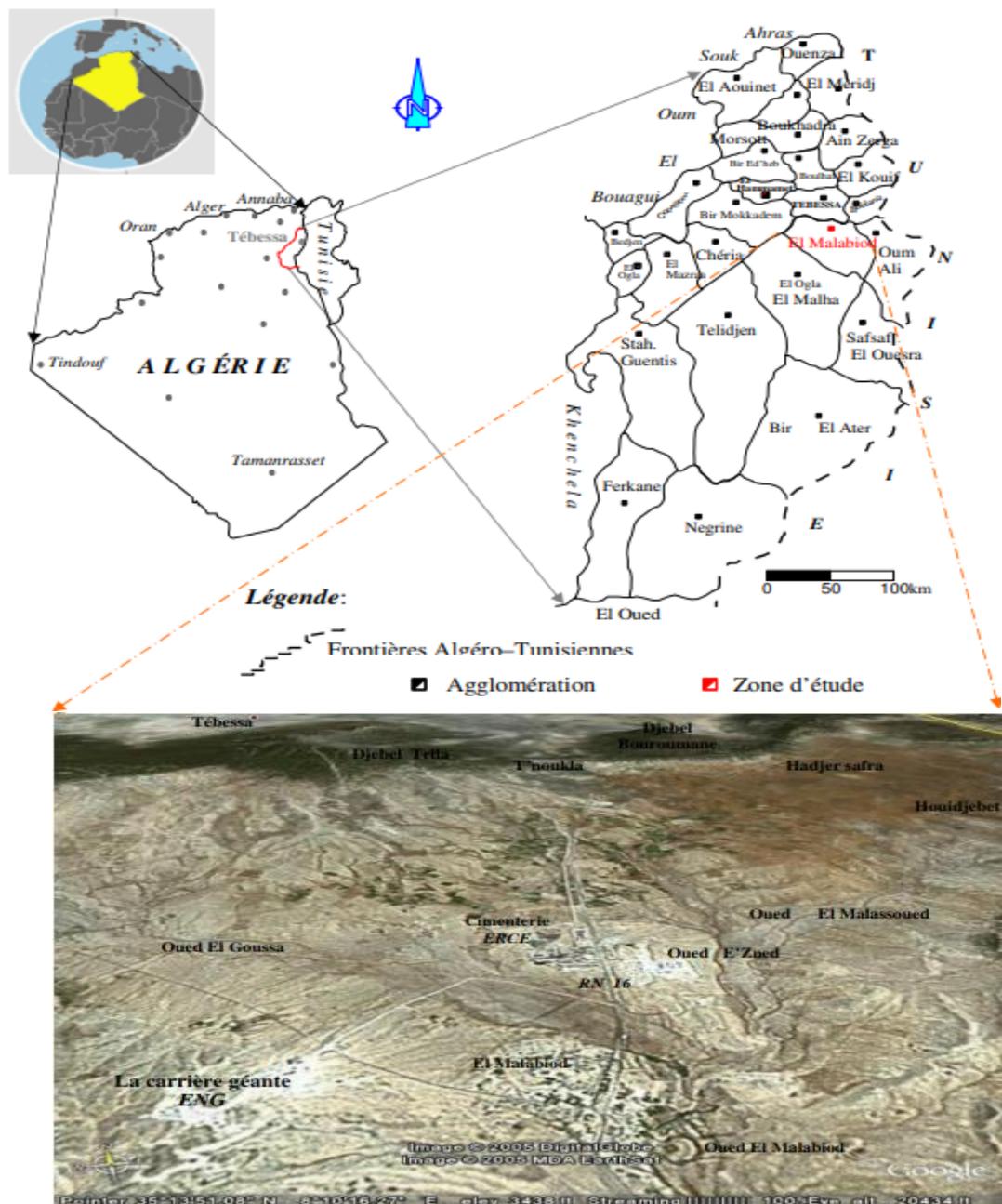


Figure II.1. Situation géographique et vue satellitaire du bassin d'EL MA LABIOD.

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

La production des granulats nécessite deux principaux type d'opérations :

- ✓ L'extraction ;
- ✓ Le traitement.

L'extraction : s'effectue dans la carrière à l'aide des explosifs. Les tirs de mines provoquent l'abattage d'une grande quantité de matériaux éclatés.

Le traitement : est réalisé dans des installations de traitement primaire et secondaire pour réduire les tailles de la roche et sélectionné les déférentes classes granulaires.

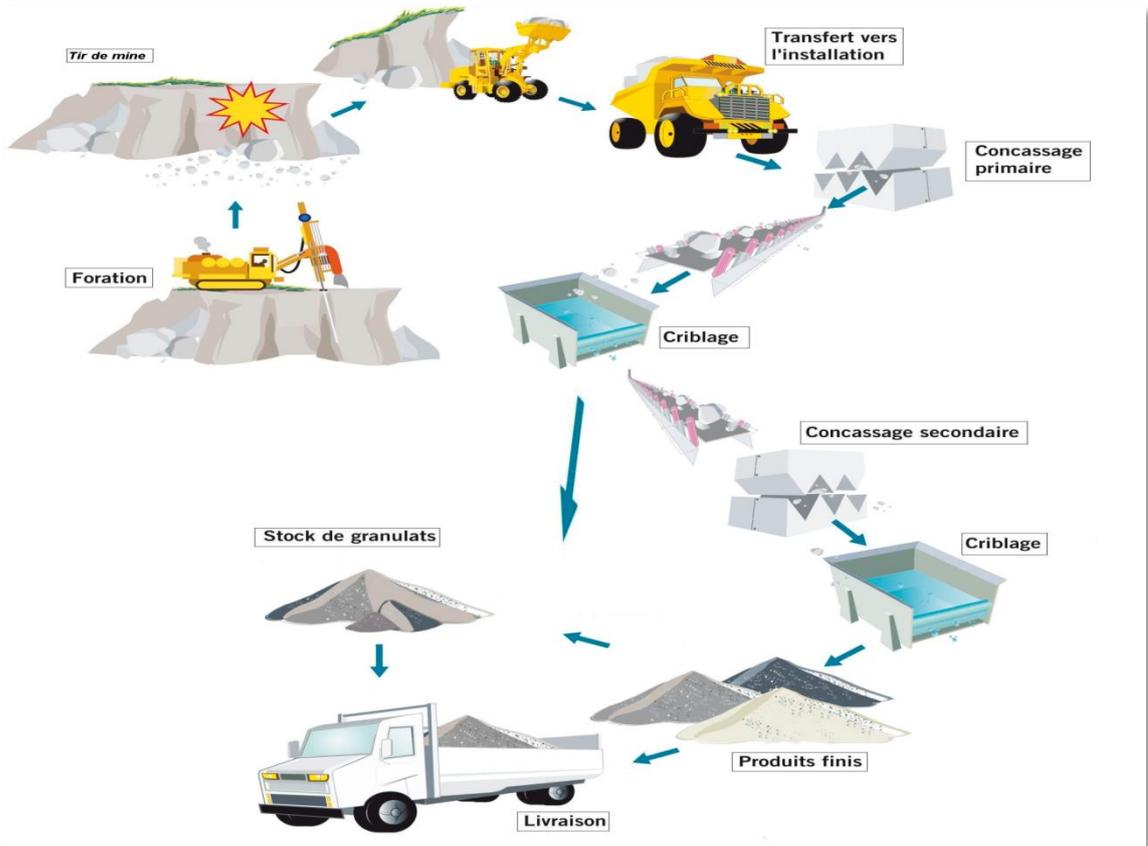


Figure II.2. Chaîne de production de la carrière ADILA EL MA LABIOD.

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

Actuellement, il existe 7 classes granulaires dans l'E.N.G. EL MA LABIOD.

- Sable 0/4mm;
- Gravillon 4/8mm;
- Gravillon 8/16mm;
- Gravillon 16/25mm;
- Ballast 25/50mm;
- Grave 0/31.5mm;
- Grave 0/25mm;
- Grave 0/250mm.



II.2.2. L'extraction de la matière

L'extraction s'effectue dans le gisement d'ADILA attribué au nord de mont de TEBESSA faisant partie de l'ATALS SAHARIEN. Le site se trouve dans la wilaya de TEBESSA à l'ouest de la commune d'EL MALABIOD.

Le gisement est sous forme d'une chaîne de collines à pente relativement douce orientées sud nord. Les cotes absolues du gisement varient de 1080m jusqu'à 1167m. L'assise utile du gisement d'ADILA est datée mestrichien moyen.

Leurs calcaires peuvent être divisés en 3 types génétiques :

- Calcaire faiblement marneux gris clair avec présence de fossiles ;
- Calcaire blanc grisâtre a teinte crème massif très dur ;
- Calcaire de type conglomérats intra-formationelle.

II.2.3. Le traitement

Le traitement de la roche arrivé de la carrière après l'extraction. Effectué par des installations de traitements

Le pilotage des installations est automatisé, la supervision est retransmise via un PC au niveau du poste de pilotage.

Il existe 3 installations, une station primaire et 2 stations secondaires

II.2.3.1. Station primaire



Figure II.3. Station primaire de traitement.

Le débit de la station primaire est 820 T/h

- 540 T/h pour le produit (0/300mm) ;
- 280 T/h pour le produit (0/50mm).

La station primaire réceptionne la matière première arrivé de la carrière à l'aide des dumpers.

- Sont concasseur à mâchoire de type S T E 160 – 130 réduire la matière première de granulométrie 0/1000mm au 0/300mm ;
- Le crible scalpeur élimine tous qui est inférieur à 50mm contenant les argiles. Et donner un produit de scalpage 0/50mm utilisé dans les clôtures des routes.

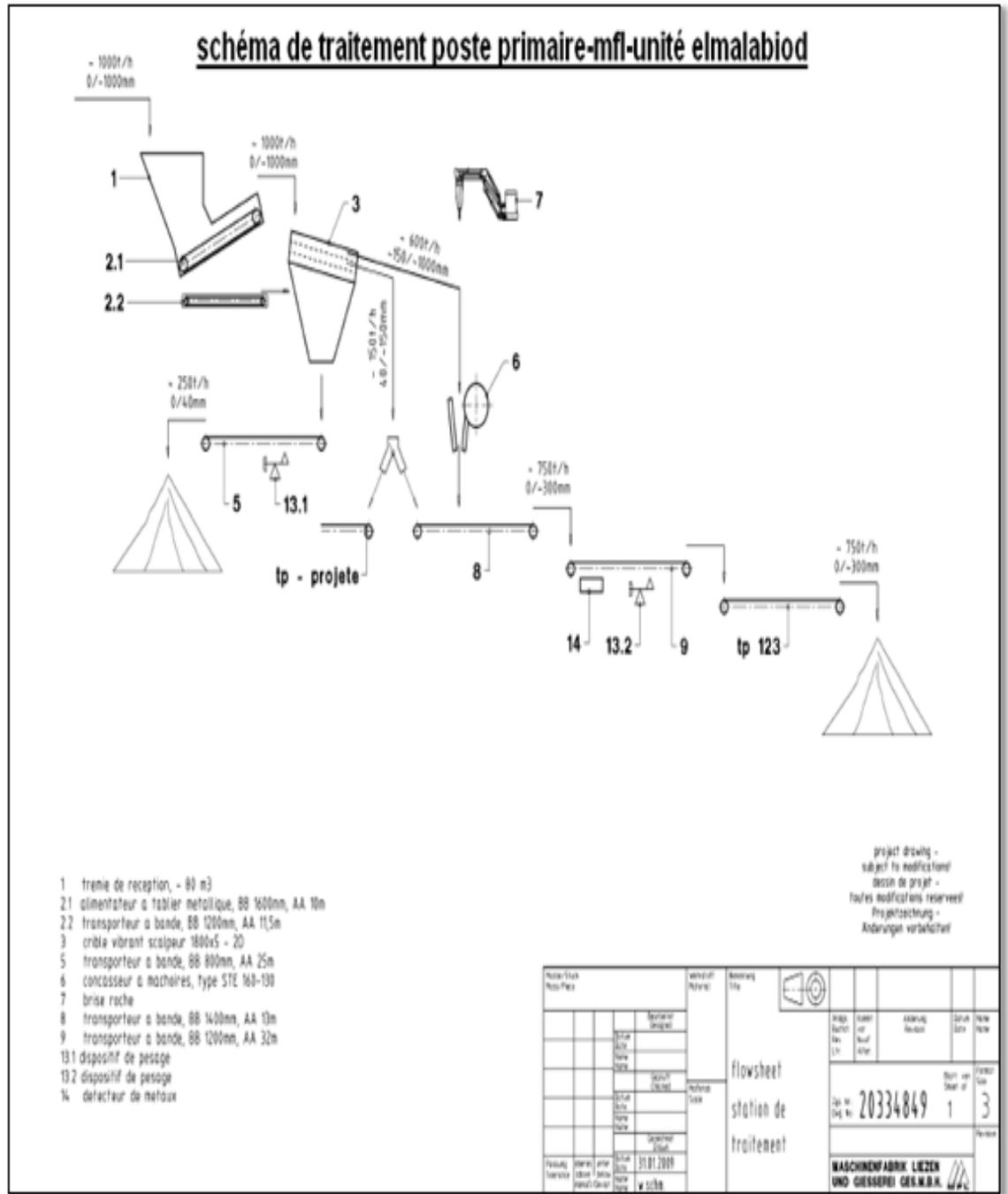


Figure II.4. Schéma de traitement poste primaire-mfl-unité EL MA LABIOD.

II.2.3.2. Station secondaire



Figure II.5. Station secondaire de traitement.

- ✓ Le débit de la station BERGEAUD est de 400 T/h ;
- ✓ Le débit de la station MFL est de 250 T/h ;
- ✓ Le produit 0/300mm arrivé de la station primaire passe au station secondaire pour le réduire et sélectionné les déférent produits.

Il existe 2 station secondaire. Une ancienne de la marque BERGEAUD et autre nouvelle de la marque MFL.

- Les 2 stations produisent les déférents produits commercialisés ;
- Le sable 0/4 mm. Les gravillons 4/8mm. 8/16mm. 16/25mm;
- La station BERGEAUD produise le ballast des voies ferrées 25/50mm ;
- La station MFL produise la grave 0/31.5mm ;

Figure II.7. Schéma de traitement installation secondaire semi-mobile (MFL) EL MA LABIOD.

IL peut produire d'autre classe granulaire selon la demande des clients. En jouent seulement dans les grilles de cribles de la station.

II.2.4. Le contrôle de la production



Figure II.8. Laboratoire de EL MA LABIOD.

- À fin de réalisé des produits nobles. Conforme aux exigences des normes européenne le laboratoire suive la production de la carrière jusqu'au livraison de produit au Clients ;
- Le laboratoire interne sur le site même de l'E.N.G. EL-MALABIOD permet de réaliser les essais les plus courants ;
- L'appareillage nécessaires et les normes requises sont présents ;
- Les essais complémentaires et l'étalonnage du matériel sont effectués par le laboratoire central et des laboratoires externes.
- Les contrôles internes sont réalisés sur chaque produit une fois par semaine par laboratoire.

II.2.4.1. Plan de contrôle

Les essais mécanique et chimique sont fait au niveau de laboratoire centrale à l'ENG EL KHROUB.

- L'essai Los Angeles et l'essai Micro-Deval sont fait chaque un nouveau tir.

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

Tableau II.2. Les essais faites au niveau de laboratoire centrale à l'ENG sur Graviillon –Sable.

Essai	Norme de l'essai	Fréquence	Critère d'acceptation
Graviillon :			
-Analyse granulométrie	EN-933-1	1 fois / semaine	NA 5043
-Teneur en fines	EN-933-1	1 fois / semaine	
-Coefficient d'aplatissement	EN-933-3	1 fois / semaine	
-Essai masse volumique en vrac	EN-1097-3	1 fois / mois	
Sable :			
-Analyse granulométrie	EN-933-1	1 fois / semaine	NA 5043
-Essai au bleu de méthylène	EN-933-9	1 fois / semaine	
-Teneur en fines (f)	EN-933-3	1 fois / semaine	
-Essai masse volumique en vrac	EN-1097-3	1 fois / mois	

Tableau II.3. Les essais faites au niveau de laboratoire centrale à l'ENG sur Balast – Grave.

Essai	Norme de l'essai	Fréquence	Norme d'acceptation
Ballast :			
-Analyse granulométrie	EN-933-1	1 fois / semaine	NA 5043
-Teneur en fines	EN-933-1	1 fois / semaine	
-Coefficient d'aplatissement	EN-933-3	1 fois / semaine	
-Essai masse volumique en vrac	EN-1097-3	1 fois / mois	
Grave :			
-Analyse granulométrie	EN-933-1	1 fois / semaine	NA 5043
-Essai au bleu de méthylène	EN-933-9	1 fois / semaine	
-Teneur en fines (f)	EN-933-3	1 fois / semaine	
-Essai masse volumique en vrac	EN-1097-3	1 fois / mois	

- Un logiciel de gestion de la qualité (WILL) permet de planifier les essais, l'enregistrer des résultats et de choisir les catégories en référence à les normes.

- Ce logiciel permet aussi d'éditer des fiches technique produits (FTP), de tracer les courbes granulométriques et de vérifier que le produit se trouvent bien dans le fuseau de spécification des normes (= produits conforme).

Par exemple. Les courbes granulométriques de produit 8/16mm durant la période de 1 janvier au 28 février 2023 sont trouver dans le fuseau de la norme NA 5043

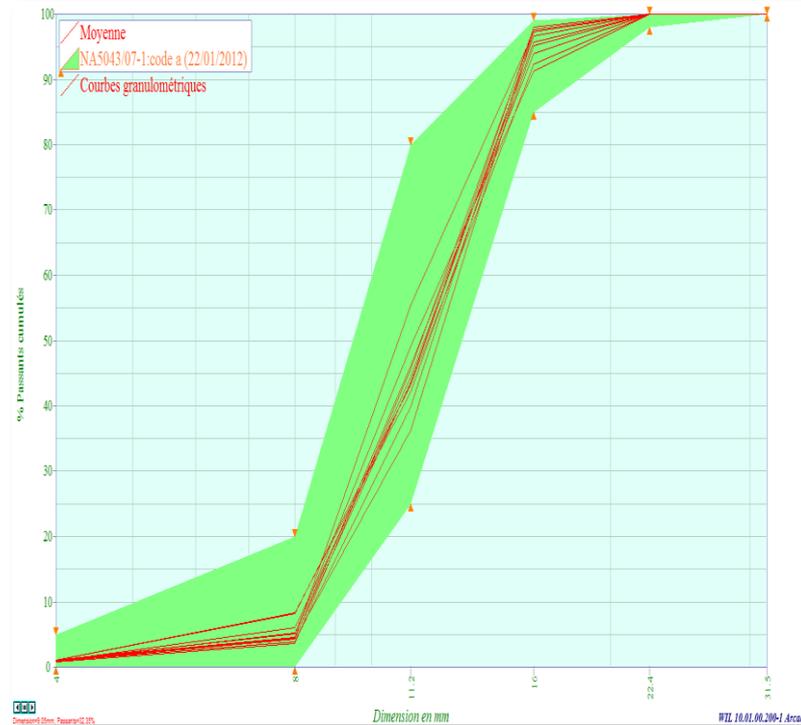


Figure II.9. Courbes granulométriques de produit 8/16mm.

- Chaque résultat est comparé aux spécifications des normes par l'intermédiaire de logiciel Will.
- En cas de non-conformité, le chef service de traitement sera immédiatement informé par une fiche de non-conformité.
- Les causes et les solutions doivent être déterminées par le responsable qualité, en liaison étroite avec le chef service de traitement.

II.2.4.2. Fiche technique des produits

La fiche technique de produit présente une statistique des résultats réalisés dans une période de **6** mois de production.

C'est un document daté. Lié à un usage, comprenant :

- Les valeurs spécifiées de toutes les caractéristiques normalisées de la norme.

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

- Que le fournisseur s'engage à respecter la synthèse de l'ensemble des résultats des essais les plus récents effectués par le fournisseur depuis moins de **6** mois de production et au minimum **15** résultats.

II.2.4.2.1. Exemple d'une fiche réalisé Gravillon 8/16mm (Norme NA5043)

Article 7 : granulats pour chaussées : couche de fondation, de base et de liaison.

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

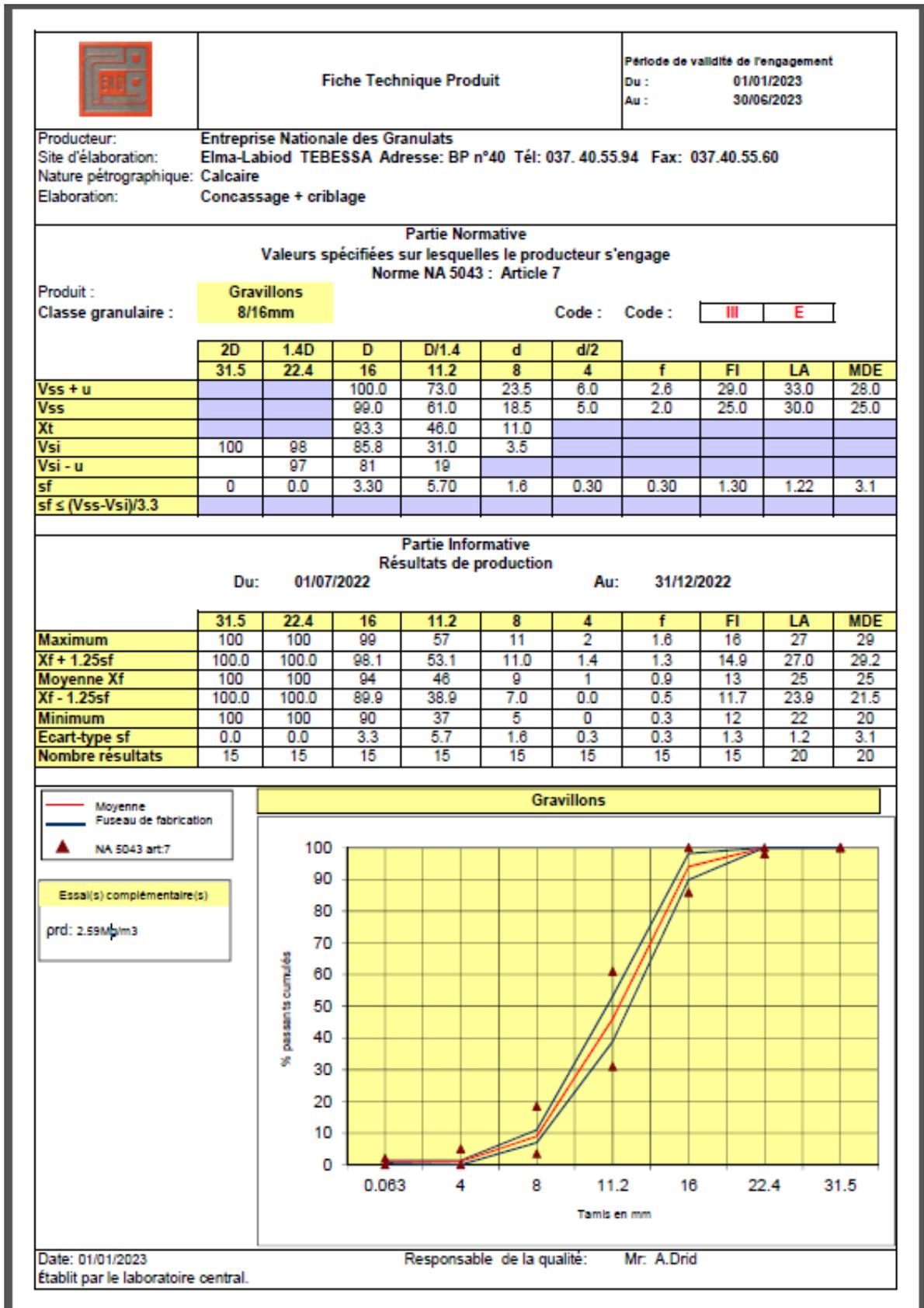


Figure II.10. Fiche technique des produits ENG unité EL MA LABIOD.

II.2.5. Quelques chiffres sur l'unité

A- Effectifs

- 2022: 71 agents
 - Cadres : 13 agents ;
 - Maitrises : 16 agents ;
 - Exécutions : 42 agents ;
 - Apprentis : 0 agents.

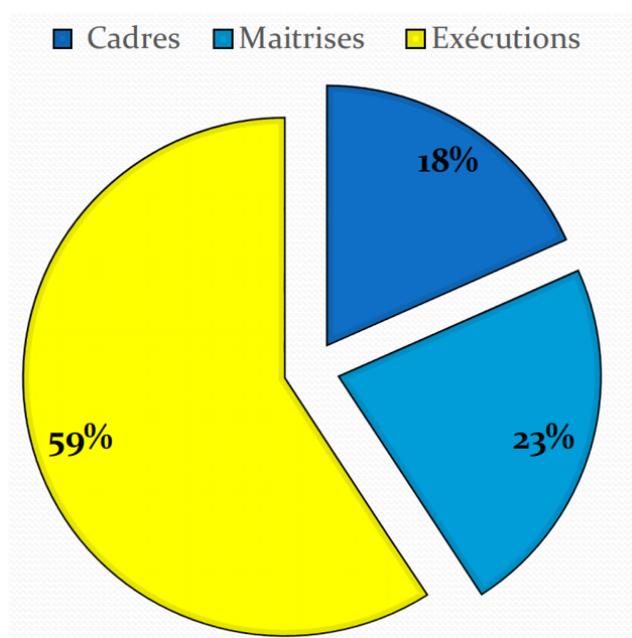


Figure II.11. Effectifs 2022.

B- Production et vente

Tableau II.4. Les productions et les ventes des dernières années.

Année	Production	Vente (Tonne)
2018	95 710	266 910
2019	276 647	370 647
2020	469 521	475 654
2021	383 717	360 217
2022	265 900	332 000

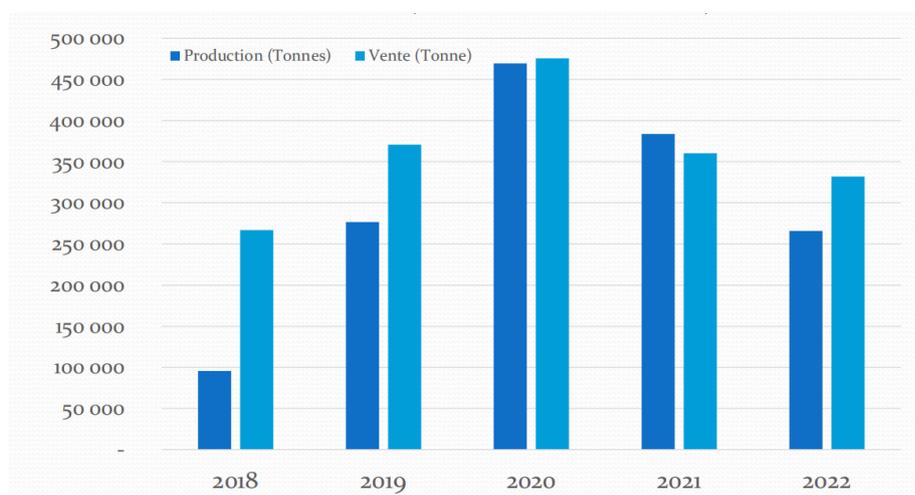


Figure II.12. Evolution (production-vente).

C- Evolution des ventes

Tableau II.5. Les ventes des dernières années.

Année	Vent (DA)
2018	34 911 048
2019	54 632 622
2020	48 947 412
2021	26 571 498
2022	49 699 567

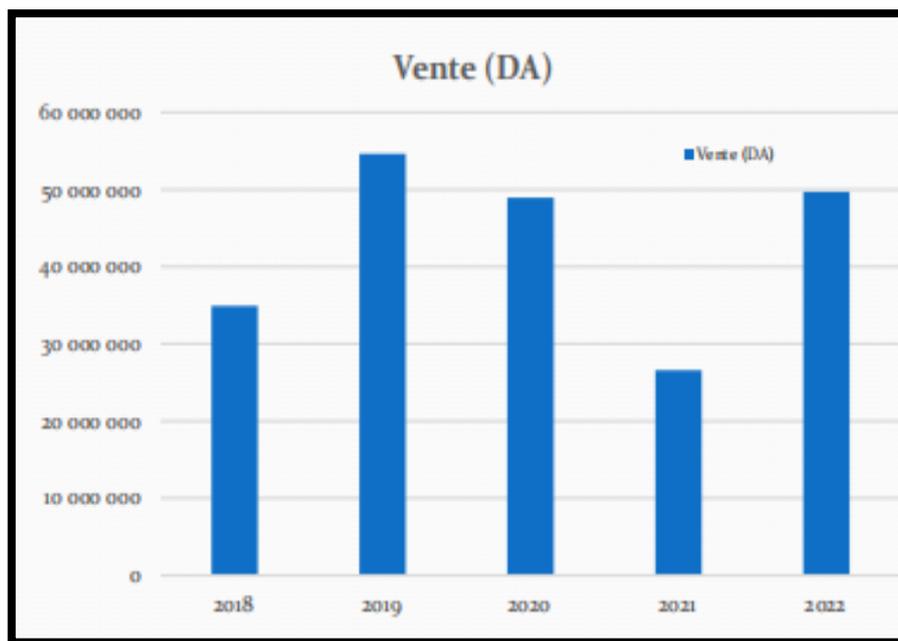


Figure II.13. Evolution des ventes.

D- Evolution des stocks

Tableau II.6. Les stocks de ENG unité EL MA LABIOD.

Année	Stock (Tonne)
2018	396 800
2019	203 920
2020	302 000
2021	248 500
2022	144 776



Figure II.14. Les stocks (tonne).

II.3. Plan d'exploitation annuel du carrier

II.3.1. Prévision d'exploitation exercice 2023

Compte tenu de la production annuelle prévue par le plan d'exploitation qui est de l'ordre de 500 000 Tonnes, pour une période de douze mois, le régime de travail a été donc :

- Nature du régime : **Discontinue**
- Nombre de jours ouvrables par an : **306 j**
- Nombre de postes par jours : **01 p**
- Durée d'un poste de travail : **08 h**
- Coefficient d'utilisation du temps : **0,80**

Tableau II.7. Répartition mensuelle des objectifs.

	Ja	fé	Ma	Av	M	Jui	Juil	Aô	Sep	Oc	No	dé
Nbr jours	25	24	27	25	26	26	25	25	26	26	25	26
Production (*100)	40	40	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

Tableau II. 8. Les moyens matériels de production pour l'exercice 2023.

Désignation	Moyens matériels	Nombres nécessaires	Heures par jour
Abattage et terrassement	Brise roche	01	08
	Chariot de foration	01	08
	Bulldozer	00	/
Chargement	Chargeuse	01	08
Transport	Dumper	02	08
Station primaire	Concassage	01	08

NB : La station primaire prise en compte est de 600 t /h (optimal).

Tableau II.9. Moyens humains nécessaires pour service carrière.

Service carrier	
Désignation	Nombre
p/c.s carrier	01
Chef de poste	02
Agent de traitement	02
Foration	03
Conducteur roulage	04
Conducteur chargement	02
Conducteur brise roche	01
Conducteur bulldozer	00

II.3.2. L'état actuel de la carrière ADILA (EL MA LABIOD)

Selon les orientations de **laboratoire** l'exploitation de la carrière ELMALABIOD sera localisée cette année aux trois (3) niveaux :

-1120/1130 ;

- 1130/1140 ouest ;

- 1145/1160 ouest.

- Ces trois niveaux ont des hauteurs variables entre 10 m jusqu'à 15 mètres ;
- Les formules de malaxage par pourcentage sont le seul moyen d'exploiter les niveaux à faible MDE ;
- L'exploitation fait sur deux accès principaux de cotés extrêmes ;
- Le niveau supérieur contient une couche de quaternaire (**0.5 m à 3 m.** représentés par des limons argileux débris de calcaire constituant jusqu'à 30% du volume des limons) en cour de décapages de chaque avancement.



Figure II.15. Niveau supérieure non décapé.

- La largeur des plateformes de travail est variée entre 50m à 200m.



Figure II.16. Plat forme de travail (60m) niveau 1145/1160m.

II.3.3. Mode d'exploitation

L'exploitation se fera dans le sens descendant (du haut vers le bas), le développement de la carrière se fera d'une manière générale de l'EST vers l'OUEST,

Le cycle des maillons d'exploitation est complètement mécanisé comme suit :

- ❖ Les travaux de décapage de la roche encaissante sont assurés par le bulldozer ;
- ❖ La foration sera assurée par chariot de foration ;
- ❖ Le chargement de la masse abattue est assuré par chargeuse sur pneus ;
- ❖ Le transport du calcaire jusqu'à l'installation de traitement est assuré par des dumpers ;
- ❖ L'abattage mécanique est assuré par brise roche hydraulique.

II.3.3.1. Système d'exploitation

Les paramètres du système d'exploitation pour l'exploitation de gisement d'ADILA sont les suivantes :

- L'exploitation se fait par niveau de la côte **1120/1130** à la côte **1145/1160** et **1130/1140**.
- La hauteur du gradin est de (10 à 15) m.
- L'angle du talus des gradins est de 85°.

- La largeur de la plateforme est en fonction de la superficie du niveau.

II.3.3.2. Evolution de l'exploitation pour l'exercice 2023

1-Travaux d'abattage

A-Foration

Les travaux de foration sont assurés par un chariot de foration et compresseur pour les gradins de 03 m à 15 m avec un diamètre de trou de 108mm.

Pour les parties des gradins où la hauteur ne dépasse pas 02 m ainsi que les gros blocs de calcaire, on prévoit l'abattage mécanique par brise roche.

A-1. Chariot de forage

Le rendement du chariot de Foration est déterminé comme suit

- Rendement par poste de travail :

$$R_{ch/p} = R_{ch/h} \cdot T_p \cdot K_u \dots\dots\dots m/p \quad (\text{II.1})$$

Où :

$R_{ch/p}$: Rendement postier du chariot de Foration ;

R_{ch} : Rendement horaire du chariot de Foration : 20 m/h ;

T_p : Durée d'un poste de travail : 8 h ;

K_u : Coefficient d'utilisation du temps : 0,80.

$$R_{ch/p} = 112 m/p$$

Rendement annuel du chariot de Foration :

$$R_{ch/an} = R_{ch/p} \cdot N_{p/j} \cdot N_{j/an} \dots\dots\dots m/an \quad (\text{II.2})$$

Où

$N_{p/j}$: nombre de postes par jour : 01 poste ;

$N_{j/an}$: nombre de jours ouvrables par an : 254 jours ;

Le taux de disponibilité du chariot de formation est de 80%

$$Rch/an = 28448 * 0.8 = 22752m/ an$$

B- Abattage mécanique

Les hors gabarits disloqué, les hors gabarits citées au milieu de la carrière, et les fronts de taille inférieur à deux mètre qui vont apparaitre dans les synclinaux sur les niveaux supérieurs sont abattu par abattage mécanique (brise roche).



Figure II.17. Non concassé au milieu de la carrière.

C- Abattage par explosifs

Le calcul des paramètres de Foration et de tir est basé sur les normes de la consommation spécifique d'explosifs qui est de l'ordre de **120g/t**, le chargement des trous se fait d'une manière continue et /ou discontinue selon la nécessité et les conditions du terrain pour chaque tir.

Le chargement d'explosifs est constitué de 70 % d'ANFOMIL et 30% de BRISANT.

L'amorçage des charges s'effectuera à l'aide de micro retard et de cordeau détonant

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

La quantité maximale autorisée par l'étude de sécurité liée à l'utilisation de substances explosives est suivante :

Tableau II.10. Les quantités maximales des substances explosives.

DESIGNATION	U/M	QUANTITE D'EXPLOSIFS PAR TIR
ANFOMIL	KG	3500
MARMANIT/TEMEX	KG	1500
CORDEAU 12-20 G	ML	3000
DEI	P	03
DMR/RD	P	150
FIL DE TIR	ML	500

Tableau II.11. Les quantités d'explosifs pour l'exercice 2023.

Nombre Tir	Niveau	Nombre Trou	Hauteur Gradin	Quantité Abattu(T)	Quantité Explosif (kg)	Consommation Spécifique (g/T)
01	1120/1130	115	10	35000	4025	115
02	1130/1140	100	10	30000	3500	116
03	1120/1130	110	10	34000	3850	113
04	1145/1160	90	13	36000	3600	100
05	1120/1130	100	11	33000	3750	113
06	1145/1160	90	13	27000	3600	100
07	1120/1130	120	10	36000	3500	100
08	1130/1140	100	10	30000	3500	116
09	1120/1130	110	11	37000	3850	104
10	1145/1160	75	13	30000	2812	93
11	1120/1130	100	10	31000	3500	112

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

12	1145/1160	80	12	29000	3000	103
13	1130/1140	90	10	27000	3150	116
14	1145/1160	70	12	26000	2625	100
15	1120/1130	85	10	26000	2975	114
16	1145/1160	90	12	33000	3375	102
Total		1525	11	500000	51862	103

Cordeau 20g	DMR	DEI	Fil de tir
25000	320	32	8000

D- Répartition des quantités extraites par niveaux

Tableau II.12. Répartition des quantités extraites par niveaux.

Nombre de tir	Niveau	Quantité extraite (t)
07	1120/1130	232000
06	1145/1160	181000
03	1130/1140	87000
		500000

E- Calcule de production prévu élaboré est stérile

Tableau II.13. Calcule de production prévu élaboré est stérile.

Quantité extraite	Taux de sterile	Elaboré (t)	Stérile (t)
500 000	20%	400 000	100 000

2- Travaux de chargement

Vu la production annuelle planifiée, le moyen de chargement prévu à la carrière d'ADILA est une chargeuse sur pneus dont le volume du godet est de l'ordre de 6.4 m³

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

La capacité et le nombre des chargeuses sont déterminés comme suit :

2-1. Rendement par poste de la chargeuse

$$R_{ch/p} = (3600 \cdot C \cdot K_1 \cdot T_p \cdot K_u) / T_c \cdot K_f \dots \dots \dots m^3/p \quad (\text{II.3})$$

$$R_{ch/p} = 3600 T/POSTE$$

Où :

C : Volume du godet de la chargeuse : 6.4 m³ ;

K1 : Coefficient de remplissage du godet : 0.8 ;

Tp : durée d'un poste de travail : 8 h ;

Ku : coefficient d'utilisation du temps : 0,75 ;

Kf : coefficient de foisonnement : 1,5 ;

Tc : temps de cycle de la chargeuse.

$$T_c = T_r + T_{ch} + T_d + T_v \dots \dots \dots \text{seconde} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

Tc : durée de remplissage du godet : 10 s ;

Tch : durée de parcours de la chargeuse pleine : 10s ;

Td : durée de déchargement du godet : 8 s ;

Tv : durée de parcours à vide : 9 s.

Sur une distance de chargement de 20 m, et pour une vitesse moyenne à charge de 3 m/sec à vide de 8m/s.

$$T_c = 37 \text{ secondes}$$

Rendement annuel de la chargeuse

$$R_{an/ch} = R_{ch/p} \cdot N_j/an \dots \dots \dots m^3/p \quad \dots \quad (\text{II.5})$$

$$R_{ch/p} = 3600t/p$$

1 100 000 T/an

Pour un taux de disponibilité de la chargeuse de 80 %, le rendement devient :

$$R_{ch}/an = 880\,000t/an$$

3- Travaux de transport

Pour le transport de la charge abattue, La capacité et le nombre de camions nécessaire pour assurer le transport du calcaire seront déterminé comme suit :

3-1. Rendement du camion

3-1.1. Temps de cycle du camion

$$T_c = 60 \cdot \text{Imoy} (1/V_{ch} + 1/V_v) + T_{ch} + T_m + T_d \dots \dots \dots \text{min} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

V_{ch} : vitesse moyenne en charge du camion : 20 Km/h ;

V_v : vitesse moyenne à vide du camion : 40 Km/h .

$$T_{ch} + T_m + T_v = 15\text{min}$$

$$T_c = 15\text{min}$$

Nombre de cycle par poste par camion :

$$N_c = (T_p K_u) / T_c \dots \dots \dots \text{cycles/h} \quad (\text{II.7})$$

$$N_c = 4 \text{ cycles /h}$$

-Rendement par poste du camion :

$$R_{c/p} = N_c \cdot C_b \cdot K_u \dots \dots \dots T/p \quad (\text{II.8})$$

$$R_{c/p} = 1800 \text{ Tonnes /p}$$

-Rendement annuel d'un camion :

$$R_c /an = R_{c/p} \cdot N_j/an \dots \dots \dots T/an \quad (\text{II.9})$$

$$R_c/an = 550\,000 \text{ Tonnes/an}$$

Chapitre II: Présentation Carrière E.N.G. EL MA LABIOD

-Avec un taux de disponibilité de 80 % :

$$\mathbf{Rc/an = 440\ 000\ Tonnes /an}$$

-Nombre de camions nécessaire :

$$\mathbf{Nc = Pa / Rc/an.....(camions) \quad (II.10)}$$

$$\mathbf{Nc = 2\ camion}$$

Nombre de camions prévu : $\mathbf{Nc/p = 02\ camion}$

Taux d'utilisation : $\mathbf{Ku = 80\ \%}$

Chapitre III: Contexte géologique du site d'étude

II.1 Introduction

Dans ce présent chapitre, nous exposerons, la description et les conditions géologiques du terrain, a pour but de caractériser géotechniquement le massif rocheux de la zone de TEBESSA –Carrière EL MA LABIOD comme cas d'étude.

III.2. Cadre géographique

Le bassin versant d'EL MA LABIOD se trouve au nord-est de l'Algérie, à environ 30 kilomètres au sud-est du chef-lieu de la wilaya de Tébessa et à proximité immédiate de la frontière tunisienne (figure 01). Appartient à la zone des Hauts Plateaux entièrement et au versant nord saharien. Elle est bordée au nord par Djebel Doukkane, à l'Est la plaine s'approche de territoire Tunisien dans la région de Koudiat Sidi Salah, à l'ouest djebel Anoual et Bouroumane on trouve la plaine de Chéria, un peu plus vers le sud, on rencontre à la limite de la zone, la plaine de Thlidjene et la limite Sud est constituée par le synclinal de BirSbeikia d'âge Moiquaternaire.

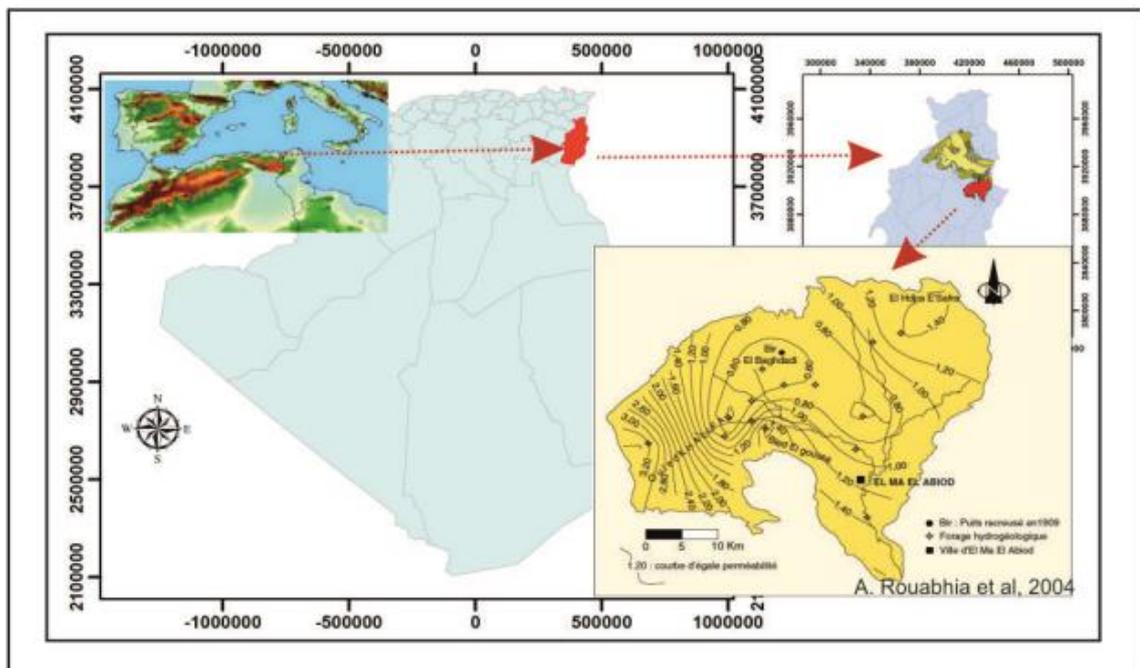


Figure III.1. Situation géographique de la zone d'étude d'après Rouabhia et al, 2004.

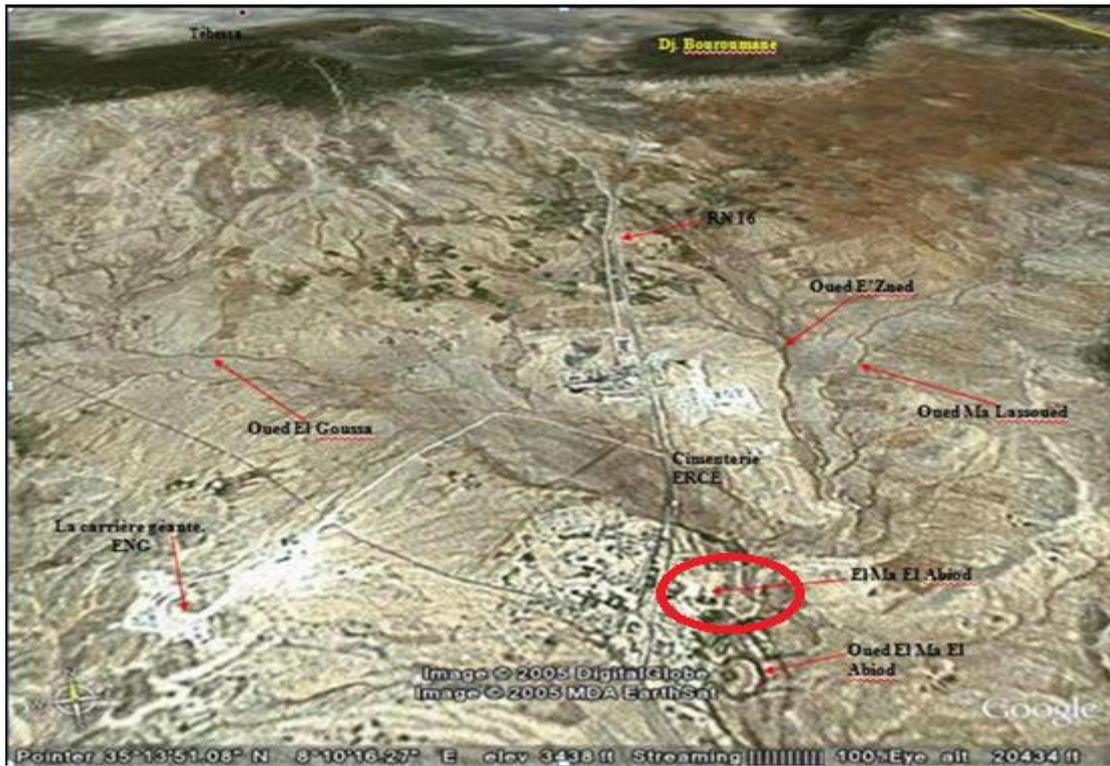


Figure III.2. Représentation de la plaine d'EL MA LABIOD par Google Earth.

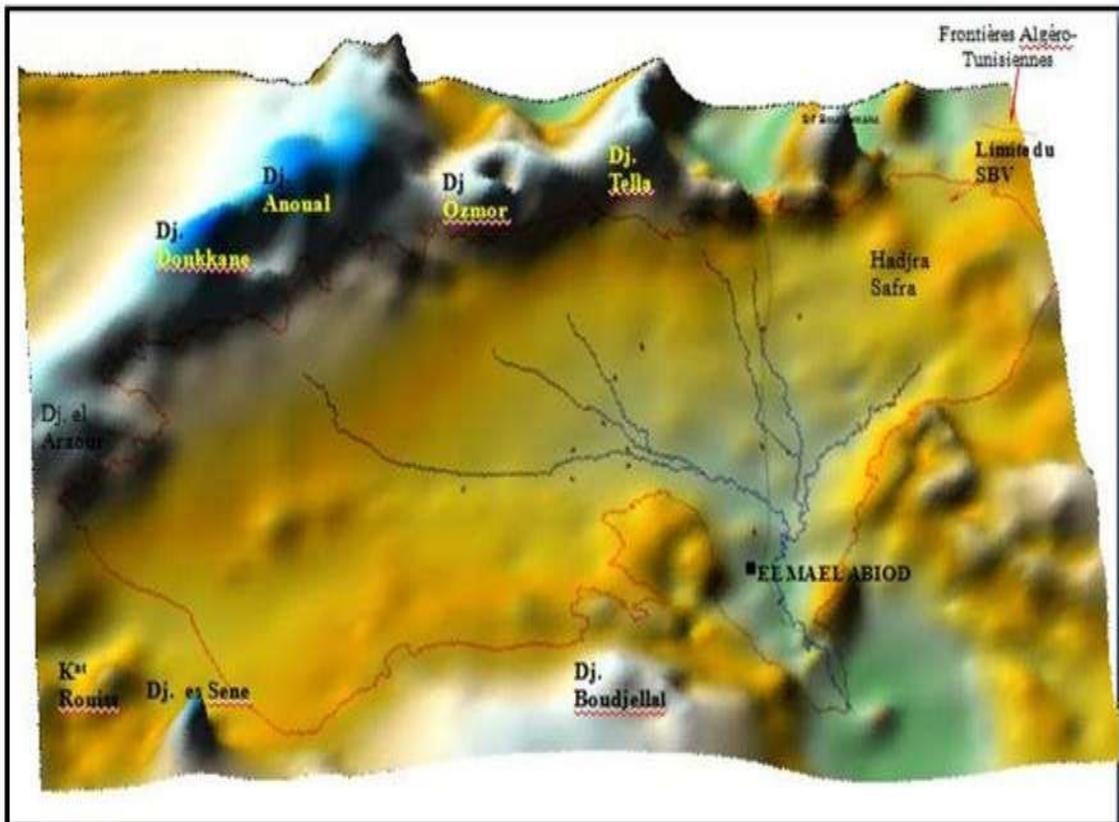


Figure III.3. Représentation en 3D, de la plaine d'EL MA LABIOD. Using surfer v0.8.

III.3. Géomorphologie

Dans la région d'EL MA LABIOD, on observe différents micros et Macros formes géomorphologiques, les principales formes qu'on distingue sont :

III.3.1. Le Bassin versant

Le Bassin versant est essentiellement constitué par des formations du crétaqué (Marne, Marno-calcaire) qui constituent la base ancienne sur laquelle se sont disposées les formations du Miocène.

On Note également que les roches du crétaqué constituent le bassin versant, sont très Tectonisées (failles et plissements).

III.3.2. La Cuvette du Miocène

Les formations de remplissage du Miocène sont constituées d'argiles rouges, de sables et degrés, recouverts de colluvions et d'alluvions qui bordent les rivières.

III.3.3. Les Collines

Ce sont des formes géomorphologiques, des horsts ou des restes du bassin versant qui a subi une tectonique très intense Elles se présentent comme des « îles » entre les formations du Miocène.

III.3.4. Les lits des oueds

Les lits des oueds sont des formes qui résultent de l'érosion Dans ces lits assèches, on a pu distinguer la terrasse et les formations du Miocène supérieur.

III.3.5. Le Sources

Elles sont principalement localisées au contact entre les formations du Crétaqué et celles du remplissage Miocène Actuellement, elles sont à sec.

On peut distinguer également aussi une Barrière rocheuse importante allongée E.N.E –W.S. W Culminant à plus de 1550m et se poursuivant sur une distance de plus de 60 km Dans discontinuité. Elle est formée par une suite de massifs montagneuse.

III.4. Aperçu géologique

III.4.1. Géologie régionale

La région d'EL MA LABIOD est située à la limite de la frontière Algéro-tunisienne et fait partie de l'Atlas saharien.

Les reliefs y sont contrastés, constitués essentiellement par des massifs calcaires allongés selon un axe SW-NE et séparés par une dépression (plaine cultivée d'EL MA LABIOD) Mioquaternaire. Cette structure est due aux deux phases tectoniques ayant affectées la région.

La plaine d'EL MA LABIOD n'a pas fait l'objet d'une étude géologique précise, mais

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

elle est intégrée dans un ensemble géologique un peu mieux connu.

Seuls sont été réalisés à partir des années 1970, et dans le but de recherche de l'eau et de pétrole, des forages et une étude géologique.

La plaine a une pente douce, ayant pour limites nord et sud des plis d'axes SWNE. La limite Nord constitue une ligne de partage des eaux entre deux grands bassins versants ; Celui de la Medjerda qui s'écoule vers le Nord et celui de chotte Melghir qui s'écoule vers le Sud.

La cuvette sédimentaire du sous bassin versant d'EL MA LABIOD est constituée de :
Dépôt de type épicontinental avec variation de faciès et d'épaisseur ayant une direction SW-NE (aptien jusqu'au maastrichtien).

Grès et argiles bariolées de base Miocène

Trias de type germanique sous forme diapirique.

La **lithostratigraphie** régionale s'établit comme suit :

III.4.1.1 Le Trias

Les terrains les plus anciens connus dans "la zone de diapirs" de la région de Tébessa appartient au Trias. Celui-ci a été daté par analogie à Dj. Chettaba. Les pointements triasiques qui affleurent dans cette région ont depuis toujours fait l'objet d'une attention particulière, en raison de leur importance pour l'exploration des champs miniers et pétroliers. En Algérie nord orientale et en Tunisie, les nombreux diapirs sont à trias évaporitique sans sel affleurant ; toutefois la présence du sel est souvent confirmée en profondeur (Bouzenoune, 1993).

Le Trias est représenté par des marnes à gypse, argiles bariolées, grès, dolomies, calcaires et cargneules. Il affleure dans la zone sud de la plaine d'El Ma labiod et dans sa partie orientale. Il est souvent lié à des gites métallifères. Le trias de cette région est qualifié souvent de diapiriques.

III.4.1.2 Le Jurassique

Les affleurements jurassiques ne sont pas connus dans la région. Les terrains les plus anciens reconnus dans la région ont été datés du Barrémien (au nord de Tébessa).

Par contre le Jurassique affleure dans les Aurés, dans le môle constantinois et dans la plateforme saharienne.

III.4.1.3 Le Barrémien

Représentées essentiellement par des marnes grises ou jaunes assez argileuses, à ammonites pyriteuses. Les seules formations qui se rapportent au Barrémien, affleurent

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

au petit anticlinal de Sidi Embarka au NE de Dj. Ouenza, sur le flanc SW de l'anticlinal de Mesloula et le long de l'oued Batma et au NW de DeharMesloula (Dubourdiu, 1956). Ailleurs des mouvements d'effondrements (Boukhadra-Hameimat) et la poussée triasique (Ouenza, Boujaber, Dubourdiu, 1956), empêchent d'observer les sédiments antérieurs à l'Aptien.

III.4.1.4 L'Aptien

Il forme la partie septentrionale et orientale de DJ Bouroumane, il comprend :

- **Aptien inférieur et moyen** : 400 mètre d'épaisseur, caractérisé par la présence de calcaire massifs, localement des oolithes ferrugineux et des dolomies.
- **Aptien supérieur** : 70 mètre d'épaisseur, ce sont des calcaires gris ou roux avec des intercalations marno-calcaires.
- **Clansayésien**: 90 mètre d'épaisseur, (le versant occidental de Dj Bouroumane) c'est une série de calcaires massifs à huitres et oolithes, gris à bleus, il existe des rudistes à la base, au sommet, les calcaires deviennent lumachelliques avec niveaux gréseux.

III.4.1.5 L'Albien

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. Il est marqué par une faune benthique dans des zones peu profondes. A l'Albien supérieur, la couverture albioptienne est percée par le Trias, entraînant le redressement des couches et la complexité des structures (plis évasés, plis en champignon, etc.) généralement scellées par le Vraconien (Bouzenoune, 1993 ; Othmanine, 1987).

III.4.1.6 Le Vraconien

Ensemble de calcaire et marno- calcaire gris en plaquette et en petits bancs avec de rares intercalations marneuses. Les Ammonites et les bélemnites marquent leur présence par les empreintes qu'ils laissent. Son épaisseur atteint 70m à Dj bouromane.

III.4.1.7 Le Cénomaniien

Dans la Région de Tébessa, une série monotone de marnes argileuses verdâtres s'installe au Cénomaniien inférieur. Au Cénomaniien moyen, ces marnes admettent diverses intercalations calcaires peu développées avec une faune plus au moins abondante et deveinules de calcite fibreuse. Au Cénomaniien supérieur, la sédimentation devient carbonatée. L'épaisseur totale de la formation cénomaniienne est estimée entre 750 et 1100 mètres.

III.4.1.8 Le Turonien

Il se fait remarquer par son changement rapide de sédimentation vers des calcaires compacts donnant lieu à des reliefs accusés. 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), d'une épaisseur de 200 m, il débute par un assise constant de marno calcaires, le turonien moyen est représenté par un massif de calcaire beiges ou roses et de dolomies, le turonien supérieur commence par des calcaires à lumachelles, ensuite des marno calcaires puis des marnes noires gypsifères au sommet.

III.4.1.9 Le Coniacien-Santonien

C'est une épaisse et monotone série de marnes noires ou vertes de 250 m d'épaisseur, admettant au sommet des niveaux calcaires.

III.4.1.10 Le Campanien

D'environ 60 m, il comprend des calcaires marneux blancs, crayeux la microfaune campanienne est bien représentée, les marno-calcaires très feuilletés contiennent des empreintes de poissons.

III.4.1.11 Le Maestrichtien

Il est marqué par des calcaires blancs bien lités, 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).

III.4.1.12 Le Paléocène

Représenté par une puissante série (300m) de marnes noires à jaunâtres parfois gypseuses à pyriteuses à rares bancs marno calcaires.

Le Thanétien est représenté par des marnes et des calcaires à silex renfermant des couches de phosphate.

III.4.1.13 L'Eocène

Des calcaires à silex et d'autres à Nummulites caractérisent l'Eocène inférieur et moyen, près des périmètres de la région de Tébessa. Leur puissance est de 200 mètres.

III.4.1.14 Le Miocène

On le subdivise en (Miocène inférieur et moyen) et Miocène supérieur (Pontien).

A- Le Miocène inférieur et moyen

C'est une série gréseuse continentale transgressive sur toutes les séries antérieures avec un conglomérat de base à éléments de silex dans une matrice gréseuse peu abondante. Cette série supporte des alternances de marnes jaunâtres à verdâtres. La puissance de cette série peut avoisiner les 250m.

B- Le Miocène supérieur (Pontien)

Affleure au sud du col de Tenoukla, coupé par la voie ferrée de Tenoukla montre environ 75m de marnes et d'argiles rouges parfois bariolées et gypseuses surmontant 75m d'argiles rouges moins gypseuses.

N'affleure qu'à l'est de Bekkaria sous forme d'argiles rouges, de conglomérats et sables quartzeux contenant des bois silicifiés et ferrugineux dans la région de Djebel Snoubra.

III.4.1.15 Le Quaternaire

Il constitue les recouvrements divers de la série gréseuse.

a- Terrasses anciennes

Argiles et surtout cailloutis de piémont à blocs abondants (centimétriques) de calcaires crétacés renfermant le plus souvent du silex. Au niveau de BirSbeikia, ces cailloutis ont été observés sur les grès miocènes avec des puissances de 0.5 à 5m.

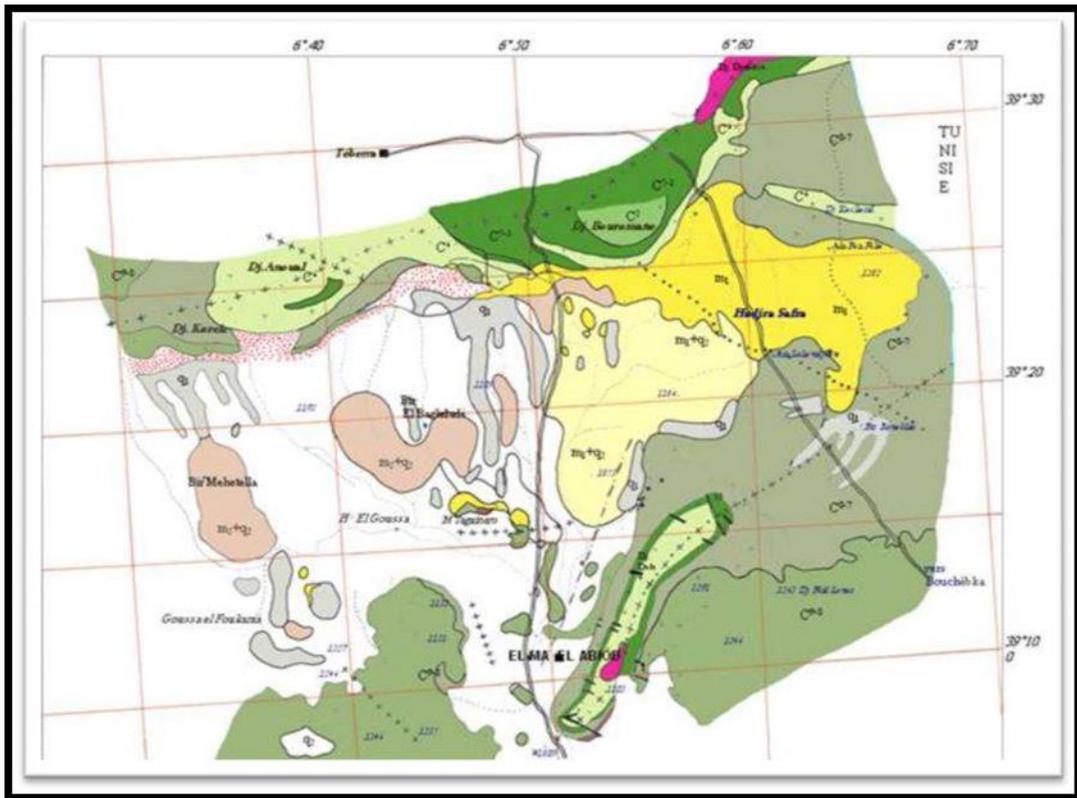
b- Alluvions anciens

Constitués de croûte calcaire fréquente sur les alluvions caillouteuses plus anciennes et sur les grés, avec une partie supérieure indure et une partie inférieure tendre d'aspect crayeux, la puissance varie de 0.5 à 2m.

Le contact avec le Miocène sableux se fait le plus souvent par l'intermédiaire de la croûte calcaire tendre et sableuse.

c- Alluvions actuels

Ils sont peu abondants et rares, les oueds actuels entament les formations sur lesquels ils coulent, les grés miocènes notamment, sur lesquels ils peuvent s'encaisser légèrement.



- Quaternaire récent, éboulis et alluvion
- Quaternaire ancien, surface structurale et croute calcaire
- Vindobonien : argile, argile rouge bariolées
- Burdigalien : grès sous faible couverture alluviale, pouding siliceux
- Maestrichtien et campanien sup : calcaire blanc et marne
- Campanien inf et Emcherien : marne et intercalation des bancs de calcaire
- Turonien et cénonanien sup : calcaire et marne
- Cénonanien : marne et banc calcaire
- Aptien sup : calcaire
- Trias : argile à gypse et calcaire

Figure III.4. Carte géologique de la région d'EL MA EL ABIOD. DUROZOY 1948.

III.4.1.16 Tectonique

III.4.1.16.1 Les Phases de l'orogénèse

Les études sur la tectonique de la région ont mis en évidence la chronologie de la sédimentation, du plissement, du diapirisme et de la fracturation ainsi que, localement, les stades successifs d'effondrement du fossé de Morsott-Tébessa. Cette région a subi les cinq phases de l'orogénèse alpine (Kowalski et al., 2000) :

a- La phase compressive fini-lutétienne

Elle est caractérisée par une contrainte maximale d'orientation N 320-330°E. Elle se manifeste par des plis d'orientation atlasique N 50°-60°E bien visibles sur les cartes géologiques d'El-Aouinet de Meskiana (Kuscer et al., 1985) et de Morsott (Blés, Fleury., 1970), mais moins nettes sur la carte géologique de Tébessa (Durozoy, 1956) à cause de la superposition des phases ultérieures. Elle se manifeste clairement au SW de Tébessa (carte géologique d'Ain Thélidjène, Vila., 1995).

b- La phase distensive du Miocène Inférieur

Elle est responsable de la formation et développement du bassin d'EL MA LABIOD au cours du Langhien-Serravallien et Tortonien, ainsi que celui des Oulad Soukies et du graben de Foussana et Kasserine en Tunisie. La distension miocène a facilité le diapirisme dans le fossé des Oulad Soukies, à Djebel Ouenza, à Djebel Boukhadra et dans la zone entre Djebel Belkif et Hameimat.

c- La phase compressive du Miocène Supérieur

Elle ne se manifeste que dans la zone de Sebkha Sellaoua et plus au Nord. Dans la zone d'étude, ces manifestations sont amorties, en accord avec Vila., 1980.

Les dernières manifestations de la compression miocène vers le sud, ont été observées dans les monts de la Haute Mejerda.

d- La phase compressive du Pliocène Inférieur

Elle a une contrainte maximale N 0°-20° E responsable de la formation des plis orientés N90°-110°S (l'anticlinal de Bled Tebaga, le synclinal de Draa Es Snouber, l'anticlinal de Bir-salem et les renplissements de l'anticlinal fini-Lutétien de Bou Roumane. Avec la formation de l'anticlinal de Bou Roumane-Tella-Djebel Anoual) sur la carte de Tébessa. On observe aussi la formation du synclinal de Draa Snouber sur la carte de Meskiana.

L'effondrement du fossé de Morsott provoquée par la composante senestre de la contrainte N 0°-20°E au cours du stade distensif, était accompagné par le percement du diapir de Belkl'if-Hameimat (diapirismemio-pliocène), qui s'effondrait partiellement

dans le fossé. La composante dextre facilitait la réactivation du diapirisme du Djebel Djebissa, qui se manifestait comme un diapirisme sous-marin à l'Aptien-Albien, provoquant la réduction drastique du profil Aptien-albien de ce Djebel (Vila, 1994).

e- La phase compressive du Pliocène Supérieur

Elle est responsable de la formation des structures plissées plus Jeunes que le fossé de Morsott qui lui sont parallèles. A cette phase appartient l'anticlinal de Djebel Belkif, le synclinal Faid Al Obbiz et l'anticlinal d'Oued Annba-Djebel Stah. Ces plis, orientés N 160-170 E sont formés par la contrainte maximale N 80 E et détectés par (Blés, 1969) à El Kouif. La composante dextre de cette contrainte est responsable de l'effondrement du fossé de Tébessa lié avec l'effondrement et basculement d'une partie des structures plicatives du Pliocène inférieur (comme une partie de l'anticlinal du Bled Tebaga, et du synclinal draa Snouber). La composante senestre de cette contrainte a réactivé la montée du diapir de Djebel Belkif avec sa couverture turonienne et de la zone de Sidi Bouhalala. Ce soulèvement diapirique a déformé le fossé du Morsott et parallèlement se produisait la réactivation du diapir du Djebel Djebissa. Qui monte Jusqu'à maintenant. La zone de jonction des fossés de Morsott (orienté NNW-SSE) et de Tébessa (orienté WNW-ESE) constitue une sorte de décrochement. La prolongation septentrionale du fossé de Tébessa déborde cette zone de jonction en modifiant partiellement le synclinal de Draa Snouber (Pliocène inférieur) à l'Ouest du Djebel Belkif. Par contre les plis de Villafranchien inférieur, parallèles au fossé du Morsott sont conservés. La composante senestre de la contrainte maximale du Plio-Villafranchien est responsable de la formation du fossé de Hammamet. Le substratum de ce fossé basculé, est constitué d'un système de horsts et grabens orientés SW - NE.

III.4.1.16.2 Les fossés d'effondrements

Dans les confins Algéro-Tunisiens, les fossés d'effondrement sont orientés NW SE à E-W, ils sont bordés par des accidents majeurs à valeurs de failles normales ayant un rejet différent d'un fossé à un autre, de 100 à 400m dans le fossé de Tébessa-Morsott, de 1700 m dans celui de Ouled Ghanem. Ces fossés sont comblés par des dépôts miocènes à Plio-Quaternaires.

L'âge de ces fossés d'effondrement est très discuté. Ces fossés résultent d'une intense activité tectonique distensive post Miocène inférieur pour certains auteurs (Durozoy, Castany, Dubourdieu, KaziTani, Othmanine) alors que pour d'autres les premières manifestations sont enregistrées au Crétacé et l'effondrement majeur s'est réalisé au Pliocène.

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

L'individualisation de ces fossés est le résultat de phases tectoniques successives.

La phase distensive du Miocène se manifeste par la création des fossés des Ouled Soukies, foussana, Kasserine et le bassin d'EL MA LABIOD.

Il existe deux phases de plissement du Pliocène inférieur, dont la phase distensive à causer l'effondrement du fossé de morsott et le plissement et le plissement du pliocène supérieur, dont la phase distensive a provoqué l'effondrement du fossé de Tébessa.

III.4.1.17 Les richesses minières et hydrogéologiques

Une grande diversité caractérise la région de Tébessa, on peut citer d'abord le phosphate qui représente la richesse numéro un de la wilaya. Son exploitation a commencé depuis dizaine des années, les études géologiques qui ont été réalisées indiquent la présence des grands potentiels et une grande importance économique. A côté de phosphate, le fer et aussi compté parmi les richesses minières présentes au Tébessa avec des réserves importantes, sans oublier l'existence avec des grande quantités les matériaux de construction telle que le sable, calcaire et argile qui sont réparti dans tout le territoire de la wilaya, et capable de couvrir la demande de ces produits à long terme.

Cette richesse est gérée par plusieurs organismes minières à travers la wilaya parmi eux on mentionne la direction des mines et de l'industrie qui est chargé de :

- La mine en œuvre de la politique nationale dans le domaine de la recherche et de l'exploitation des mines.
- Elle veille à l'application de la législation et de la réglementation et les activités normatives de l'exploitation minière et matériaux explosifs.
- Elle contribue à la préparation et à la formulation de la réglementation et les activités de l'exploitation minières des normes.
- Elle évalue les besoins de l'état des produits miniers à court terme, à moyen et long terme, en coopération avec les autorités compétentes.
- Elle ente en collaboration avec les organismes impliqués dans compensation et le développement des activités minières et de matières explosives et de maintenir la propriété minière de l'état.
- Avec les institutions concernées veillent à la qualité et la régularité de l'approvisionnement en matières explosives.

En faisant le point sur toutes les formations géologiques, nous pouvons retenir quelques niveaux qui sont d'une perméabilité en grand, ce sont les calcaires du

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

Maestrichtien, du Turonien, et de l'Eocène. La présence de failles au niveau de ces formations leur confère l'aptitude de jouer le rôle d'important magasin d'eau. En effet ces fractures peuvent constituer au sein de ces assises des réseaux prêts à emmagasiner ou faire circuler d'importantes quantités d'eau. Nous rappelons que ces formations bordent la plaine de d'EL MA LABIOD aussi bien au nord qu'au sud.

A l'intérieur de la plaine, les formations alluvionnaires, constituées à partir des sédiments de la série miocène et plio-quadernaire, sont d'une perméabilité moyenne à élever. Ces formations bénéficient d'un granoclassement de la bordure vers l'axe de la plaine.

L'eau souterrain captée est assez abondante dans la plaine d'EL MA LABIOD, les chaînes calcaires de bordure contribuent constamment à la recharge de la nappe d'eau souterrain.

III.4.1.18 Hydrographiques

C'est un ensemble de cours d'eau, naturels (ou artificiels), pérennes (ou temporaires), qui drainent les eaux de ruissellement ou de restitution des nappes, sous formes de sources ou tout au long des lits d'oueds. Il est différencié selon quatre facteurs principaux ; la géologie (sensibilité à l'érosion, présence de structures conditionnant le sens du courant ...), le climat (réseau dense en région montagneuses et humides...), la pente du terrain (réseau en phase érosive ou sédimentaire...) et la présence humaine (modification du tracé originel du réseau par le drainage, l'endiguement, construction de barrages...).

Il est souvent caractérisé par sa hiérarchisation, son profil en long et son développement (nombre de cours d'eau et leurs longueurs). De par sa situation (région semi-aride), le nombre de cours d'eau y est limité, cela n'empêche que le réseau est quand même dense, marqué de nombreux ravins formants des affluents secondaires, sinueux, intermittents et à pentes raides. Les quelques Oueds importants collectent les eaux d'orages et drainent à l'exutoire à savoir (Figure 06).

✓ **Oued El Goussa** : qui prend son origine à l'Ouest et tend sa vallée selon une direction Ouest-Est sur une longueur d'environ 28,2km. C'est le thalweg principal. Il draine cette partie avec comme affluent, Oued Es-Sagui et celui du Koriz qui commence à couler après fonte des neiges sur Djebel Doukkane, néanmoins, il finira par se perdre un peu en aval, les alluvions quadernaires

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

✓ **Oued Elmalassoued** : qui lui sa source au Nord-Est (Djebel Taga) et reçoit, après un parcours de 12km, Oued Ez' Zenad et longe ensuite la plaine. Il est considéré comme le collecteur des eaux de ruissellement du Nord et du Nord-Est du secteur.

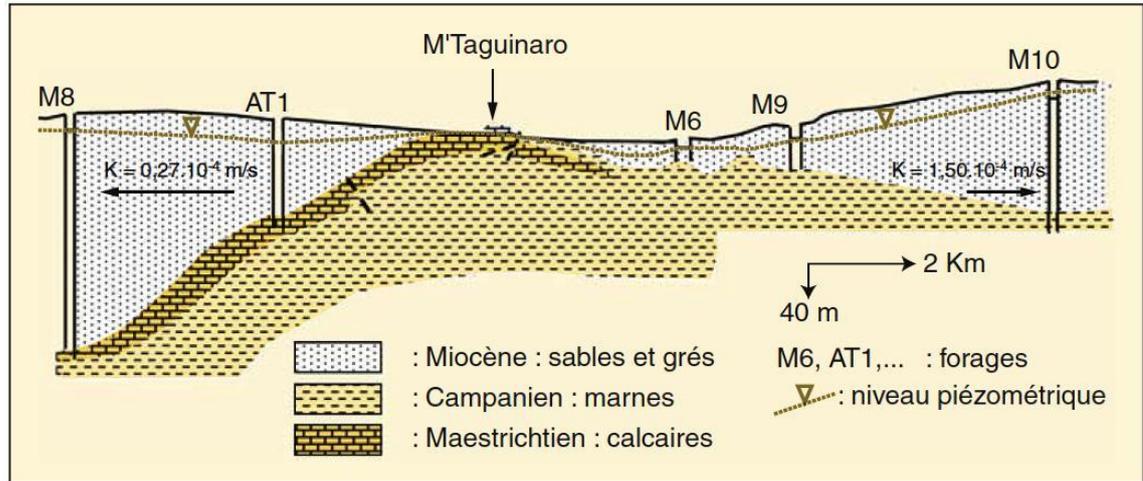
✓ **Oued Ez'Zned** : prend naissance au Nord, il l'oued de T'noukla (issu de Kef T'noukla) et s'écoule, comme ses prédécesseurs, vers le sud.

✓ **Oued Elmalabiod** : la confluence de se court, donne naissance au conduit principal du bassin, un peu en amont de la ville d'où il tire l'appellation, Oued El Malabiod.

Il est à rappeler qu'un peu plus au sud, l'Oued Berzguène et celui de SafSaf, y prennent naissance. Ces derniers reçoivent à leur tour Oued gh'routa, guelbEs'safsaf El Ouesra, ce qui est à l'origine du cours qui draine les eaux vers chott Melhirau Sud.

L'écoulement de l'entrelacement (du système) se fait du Nord au Sud, caractéristique typique des cours d'eau de l'Atlas saharien, néanmoins il n'est pas toujours continu.

Les crues ne font jamais référence à une saison quelconque (humide), mais sont fonction particulièrement des orages qui se manifestent à la fin du printemps et début de l'automne.



III.4.2. Géologie local

Du point de vue structure, la région d'EL MA LABIOD apparait sous forme de cuvette entourée par des massifs calcaires orientés SW- NE ; Malgré que cette région n'a pas fait bien d'une étude géologique précise mais elle intégrée dans un ensemble géologique bien connu, Seule une prospection électrique (CGG1970) et des forages hydrogéologiques ont été réalisés dans le but de recherche d'eau et de pétrole.

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

La plaine d'EL MA LABIOD fait partie de l'Atlas saharien, elle est limitée au Nord et au sud par des plis d'axes, SW-NE.

La couverture sédimentaire du bassin est constituée par des dépôts du type épicontinental avec changement de faciès et d'épaisseur ayant une direction, SW-NE de l'Aptien jusqu'au Maestrichtien.

Ou point de vue stratigraphie le bassin d'EL MA LABIOD se compose de deux grands ensembles géologiques différents:

- Les affleurements de bordures d'âge crétacé.
- Les formations d'âges Miocène et Quaternaire qui occupent toute la superficie du bassin.

Ces deux ensembles constituent une série stratigraphique incomplète (absence des formations Eocènes) qui comporte du plus récent au plus ancien :

III.4.2.1 Le Quaternaire

1- Quaternaire récent

il s'agit surtout des alluvions récentes, des marnes et des grès burdigalien recouverts d'une mince couche alluviale remontés en surface par l'érosion. A l'Ouest de la route de Tébessa au Nord de HENCHIR ELGOUSSA ; la plaine d'EL MA LABIOD est essentiellement marneuse tandis qu'elle est plus tôt sableuse à l'Est.

2- Quaternaire ancien

Ce sont des terrasses alluvionnaires subhorizontales façonnant les marnes Emcheriennes à l'Est, présentant à leurs surfaces une faible croûte calcaire ; tandis que, à l'Ouest de longues terrasses alluvionnaires, le plus souvent se raccordent aux éboulis, le piémont des massifs calcaires qui sont recouverts d'une épaisse croûte calcaire.

III.4.2.2 Le Miocène

Selon G. Durozoy, il s'agit d'une série gréseuse continentale de 150 m de puissance, l'affleurement de ce sous étage est bien remarquable à la limite Sud de la région de Tébessa (BASSIN d'EL MA LABIO).

Les formations du Miocène se subdivisent en :

- ✓ **Vindobien** : il s'agit des argiles rouges ; quelquefois bariolées, qui affleurent bien col de T'NOUKLA et qui couvrent des superficies importantes une épaisseur parfois supérieur à 40 m.

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

✓ **Burdigalien** : au Sud et à l'Est (M'TAGUINARO et Ain el HOUIDJBET) ; la série débute par un conglomérat extrêmement dur à gros rognons de silex. Au-dessus viennent des sables et des grossiers à lits étagés de quartz puis des grès ferrugineux. Au Nord ; les sables sont directement transgressifs sur les calcaires ou les marnes Emchériennes.

III.4.2.3 Le Crétacé

✓ **Maestrichtien- Campanien supérieur**

Ils sont représentés par de marno-calcaire blancs à incérâmes et ammonites déterminées puis viennent des calcaires blancs massifs à incérâmes, le changement de faciès depuis le Nord (région de Tébessa) est important au DJ. KOREIZ.

✓ **Campanien inférieur – Emchérien**

L'ensemble comprend des marnes avec des niveaux de calcaire à lumachelles. L'épaisseur de la série de 120m est intérieure à celle d'affleurement au Nord 400 m au DJEBELLE DOUKKAN

III.4.2.4 Turonien

Il s'agit d'une assise massive de 80 à 100 m d'épaisseur ; représentée au Sud du FEDJ EL BHIM par des marnes et calcaires en plaquettes et au Nord depuis DJ. ANOUAL passant par DJ. NAHAL.BEKKARIA et DJ. KECHRID.

III.4.2.5 Cénomanién

Il comprend des marnes et des calcaire lumachelliques à huitres (épaisseur de 500 m) à l'Est du DJ. DJBISSA.

III.4.2.6 Albien Supérieur

Ensemble de calcaire et marno-calcaire gris en petits bancs dont des rares couches de marnes brunes viennent pour interrompe l'homogénéité. Des empreintes d'Ammonites sont très abondantes.

Les formations de l'Albien supérieur jusqu'au campanien supérieur, Maestrichtien sont concordantes, tandis qu'au-dessous vient une série Miocène continentale discordante.

III.4.2.7 Trias

Ce sont des marnes à gypse et des gris qui n'affleurent qu'en diapir sur le terrain.

A partir de ces données géologiques et leur interprétation sur la basse des coupes établies par G. Durozoy 1948, on peut retenir à toute fin utile le tableau suivant :

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

Tableau III.1. Les épaisseurs de la formation géologique d'après G. Durozoy 1948.

Formation géologique	Epaisseur moyenne
Calcaires	100 m
Marnes	50 m
Grés	50 m
Sable	40 à 25 m

Chapitre III: Context géologique du site d'étude

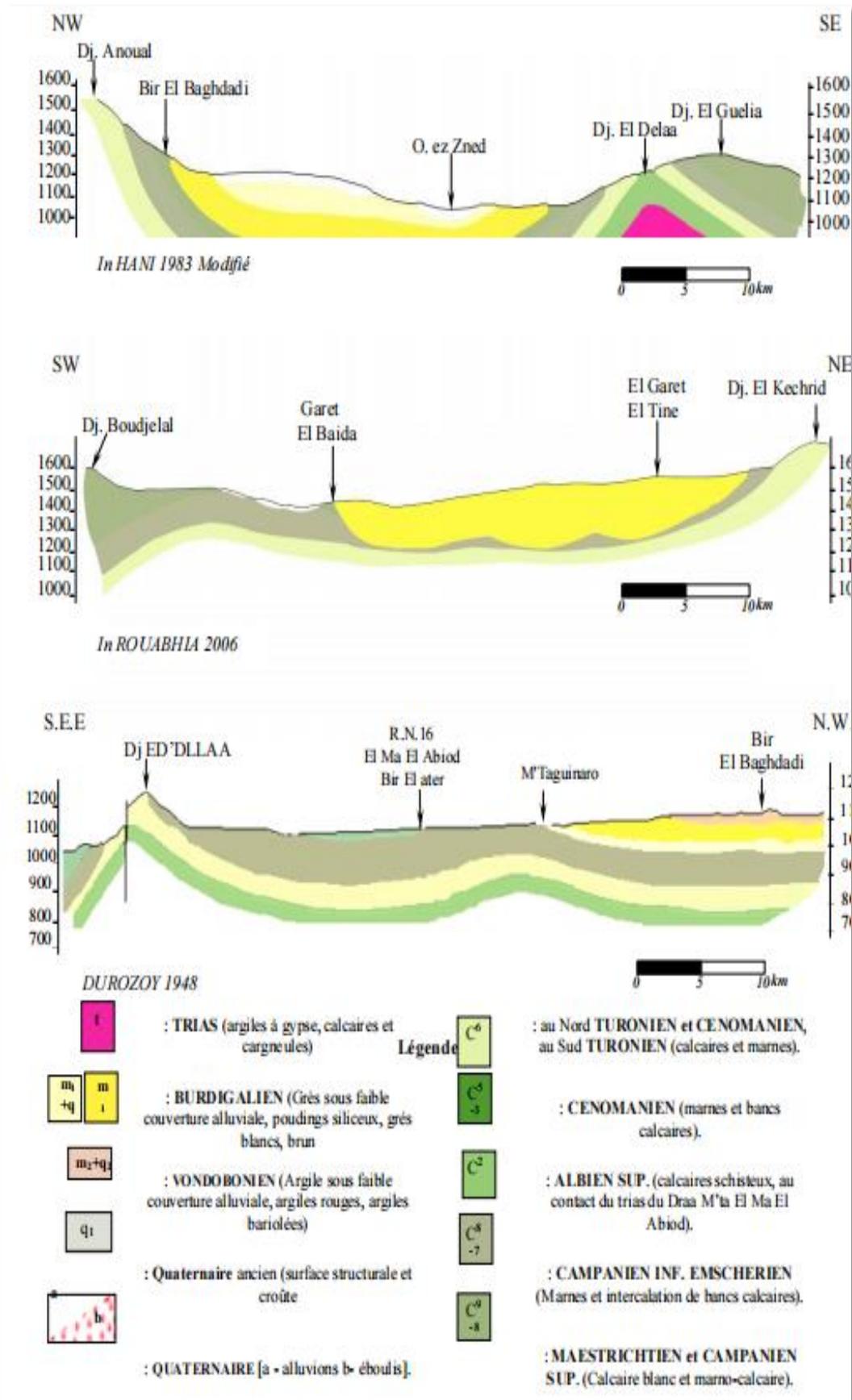


Figure III.6. Coupe géologique d'après G. Durozoy 1940.

III.4.2.8 Géologie de gisement d'argile DRAA-EL-BAHI

A. Localisation : le gisement d'argile DRAA-EL-BAHI constitue les sous-dosé utilisé pour la cimenterie. Il est situé au total à 18Km environ au sud- Ouest de Tébessa. Soit 15Km par la route nationale N° 16.

B. Le recouvrement : le gisement est entièrement recouvert par les alluvions argileuses et la croûtes calcaires, la puissance est de 4m.

C. L'assise utile : Elle est constituée d'argile avec des intercalations gréseuse ou sableuse.

- Les réserves géologique en matière sous dosée évaluées lors de l'étude géologique initial sont: 33.400.000 Tonnes ;
- Le volume totale de la couverture est: 2.688.952 m³ ;
- Les réserves restantes s'élèvent à 30.000.000 Tonnes.

III.4.2.9 Géologie de gisement de calcaire D'EL MAL LABIOD

A. Localisation : il constitue le sur dosé de la cimenterie est entre dans la composition du mélange cru une proportion de 72 à 75%.

Le gisement de calcaire D'EL MAL LABIOD est situé à 10 Km environ de celui de l'argile DRAA-EL-BAHI et au bord de la route nationale N° 16. Moins de deux kilomètres de séparent village du EL MA LABIOD.

B. Le recouvrement : Il touche environ les 2/3 de la surface du gisement, sa puissance moyenne et de 1.8m, la nature des roches de recouvrement est différente (sable, limons argileux, croûtes calcaires).

C. L'assise utile : Elle est constituée de calcaire gris à beige en banc de 20 à 40 cm et Par fois marneux.

- Les réserves géologiques en matière sur dosée évaluées lors de l'étude géologique initial sont : 86.702.000 Tonnes.
- Les réserves restantes s'élèvent à 75.000.000 Tonnes.

III.4.2.10. Géologie de gisement de sable D'EL MAL LABIOD

Le gisement étudié est constitué par des grés tendres friables. Dans les sondages on rencontre des petites intercalations de grés de 5 à 10Cm d'épaisseur qui sont généralement des concrétions de cristaux de quartz hétéro granulaire fortement cimenté avec une matrice gréseuse. La couleur de grés est très variable.

Ces grés sont fins à grossiers. Au sein de ces bancs de grés on note la présence de quelques intercalations d'argile sableuse, de sable argileux ou alternance sable et

argile. Ces grés présentent une stratification entrecroisée typique avec alternance de lits à granulométries diverse allant de très grossier aux fins.

III.5. Topographie

La région d'EL MA LABIOD présente une allure de cuvette, son altitude varie entre 1050 (au centre de la cuvette) et 1300m (le sommet le plus haut de la région) et de DOUKKANE situé au nord et qui présente une altitude de (1712m)

La partie centrale de la région est constituée d'une plaine enserrée par des montagnes escarpées au nord et au sud.

Il est à noter qu'il existe quelques coteaux remarquables dans l'axe parallèle à la route nationale au sud de l'amont d'Oued El Goussa, leur hauteur relative est comprise entre 10et 20m. Environ, par rapport à la cuvette. Il s'agit probablement de la remontée des couches imperméables (Marnes).

III.6. Végétation

III.6.1. Le couvert végétal

La Végétation naturelle, à la base de pin d'Alep, est développée au nord de la zone d'étude et devient de plus en plus rare vers le sud jusqu'à disparition en limite sud au Dj. Boudjelal. Par opposition avec les plaines de Mellégue et les monts de Tébessa, les montagnes, bordant la plaine d'EL MA LABIOD, se singularisent tout d'abord par l'absence presque totale de végétation arbustive, ne fait vraiment exception, que l'escarpement septentrional du bassin d'EL MA LABIOD, qui est recouvert d'une forêt de pins.

On peut également citer les genévriers épais du Dj l'Abiod et surtout des basses pentes méridionales du Dj Arour. Partout, ailleurs, la roche ou les sols affleurent entre les touffes d'une steppe basse ou domine l'Alfa.

III.7. Cadre climatique

III.7.1. Les précipitations

La Précipitation est la quantité d'eau météorique totale, liquide ou solide qui tombe sur une surface horizontale déterminée appelée la section pluviométrique.

La plaine d'EL MA LABIOD, est contrôlée par quatre stations pluviométriques, qui sont situées à l'intérieur du sous bassin. Pour des raisons de commodité, l'installation des postes a été limitée à la plaine.

III.7.2. Température

Quantitativement, en hiver il fait plus froid sur la plaine d'EL MA LABIOD, que sur celle de Tébessa; puisque la plaine d'étude est située à une altitude plus importante (1150m en moyenne). Par contre, les températures d'été sont comparables ou légèrement plus élevées, à cause de l'influence du vent du Sud (Sirocco). Le mois le plus froid est le mois de Janvier alors que le plus chaud est Juillet.

III.8. Conclusion

La plaine d'EL MA LABIOD présente comme une cuvette, dont le substratum crétacé, calcaireux et marneux, est séparé du miocène, qui constitue la réserve principale de la région, par des éboulis très perméable.

La stratigraphie du secteur d'étude s'étale du Crétacé (Trias) au quaternaire (récent), à la suite de ces dépôts, un tectonique régional à donner naissance à des chaînes orogéniques, des fossés d'effondrements et des culminants, mettant en évidence une richesse minérale considérable, notant aussi le rôle très important de processus de formation géologique et structurale dans la genèse des dépôts miocène à caractère sablonneux ou gréseux très riche en silice.

**Chapitre IV : Caractérisation
géotechnique du massif rocheux
carrière EL MA LABIOD TEBESSA**

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

IV. 1. Introduction

Dans le domaine de la géotechnique, l'identification du massif rocheux qu'on voudrait utiliser est la première étape à suivre. Cette opération se fait à l'aide d'essais de laboratoire ainsi que ceux qu'on mène sur le terrain. Ces essais permettent la détermination des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques de la roche concernée.

Dans ce chapitre on s'intéresse à la description des différents paramètres physiques, chimiques et mécaniques du massif rocheux d'EL MA LABIOD – TEBESSA carrière ENG comme cas d'étude. Les échantillons prélevés sur le terrain sont de 18 point (échantillons).

- Les propriétés physiques : la teneur en eau, la masse volumique, indice des vides, la porosité, vitesse de propagation du son dans la roche.
- Les propriétés chimiques telles que la détermination de la présence du carbonate au Calcimètre dietrich-fruhling, control de qualité par rayon X.
- Les propriétés mécaniques de résistance à savoir sont : la résistance à la compression, la dureté...etc.

IV.2. Détermination des propriétés physiques du massif rocheux

IV.2.1. Teneur en eau W% [NF P94- 050]

IV.2.1.1. Exécution de l'essai

La détermination de cette teneur consiste à peser des échantillons de la roche intacte humide puis les passer à l'étuve à 105°C pendant 24 h et le peser une autre fois à sec.



Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Figure IV.1. Préparation des échantillons.

Ou on peut déterminer la teneur on eau par la formule suivant :

$$W(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100 \quad (IV.1)$$

W : Teneur en eau du matériau % ;

M_h : La masse humide du matériau (g) ;

M_s: La masse sèche du matériau (g) ;

➤ **Expression des résultats**

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.1. Les valeurs des teneurs en eau.

Echantillons	Poids du récipient (g)	Poids récipient + sol humide (g)	Poids du sol humide (g)	Poids du récipient + sol sec	Poids du sol sec (g)	Poids de l'eau (g)	Teneur en eau (%)
Ech 01	32,8	118,7	85,9	118,6	85,8	0,1	0,11
Ech 02	28,2	89,7	117,9	117,6	89,4	0,3	0,33
Ech 03	86,8	200,59	113,79	200,50	113,70	0,09	0,079
Ech 04	26,1	79,2	53,1	79,2	53,1	0	0
Ech 05	26,1	107,9	81,8	107,4	81,3	0,5	0,61
Ech 06	86,8	222,1	135,5	221,7	135,1	0,4	0,30
Ech 07	86,8	206,8	120	206,5	119,7	0,3	0,25
Ech 08	31,2	121,6	90,4	121,6	90,4	0	0
Ech 09	32,8	145,7	112,9	145,3	112,5	0,4	0,35
Ech 10	86,5	170,8	83,4	169,8	83,3	0,1	0,12
Ech 11	28,2	110,7	82,5	110,4	82,2	0,3	0,36
Ech 12	31,9	132,8	100,9	132,7	100,8	0,1	0,09
Ech 13	26	110,8	84,8	110,6	84,6	0,2	0,23
Ech 14	32	112,7	80,7	112,7	80,7	0	0
Ech 15	28,2	100,5	72,2	100,4	72,1	0,1	0,14
Ech 16	86,5	158,7	67,2	158,5	72	0,2	0,27
Ech 17	32	150,1	118,1	149,9	117,9	0,2	0,16
Ech 18	86,5	138,6	52,1	138,2	51,7	0,4	0,19

❖ **Interprétations des résultats**

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

D'après les valeurs qui sont représentées dans le Tableau IV.1, les teneurs en eau sont très faibles.

Nous pouvons l'expliquer par le fait que les échantillons ont perdu quelques pourcentages de leurs poids humides par évaporation en les transportant en une journée chaude. Ou peut-être à leur volume des vides très réduit, ce qui nous donne une pénétration très difficile à l'eau.

IV.2.2. La masse volumique

IV.2.2.1. La masse volumique sèche ρ_d [NF P94- 064]

La masse volumique sèche d'un échantillon de roche est déterminée par pesée hydrostatique (avec échantillon paraffiné) selon la norme NF P94-064. L'essai consiste à peser l'échantillon à l'air libre, puis à établir une deuxième pesée après paraffinage, et enfin, repeser le tout plongé dans l'eau.



Figure IV.2. Préparation des échantillons dans le panier de la pesée hydrostatique.

Ou on peut déterminer la masse volumique sèche par la formule suivant :

$$\rho_d = \frac{M_r}{\frac{M_{rp} - M'_{rp}}{\rho_w} - \frac{M_{rp} - M_r}{\rho_p}} \quad (\text{IV.2})$$

M_r : Masse de la roche (g) ;

M_{rp} : Masse de la roche paraffinée à l'air libre (g) ;

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

M'_{rp} : Masse de la roche paraffinée dans l'eau (g) ;

ρ_p : Masse volumique de la paraffine = 0,88 g/cm³.

ρ_w : Masse volumique de l'eau = 1 g/cm³.

➤ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.2. Les valeurs des masses volumiques sèches.

Echantillons	Masse de la roche M_r (g)	Masse de la roche paraffinée à l'air libre M_{rp} (g)	Masse de la roche paraffinée dans l'eau M'_{rp} (g)	Masse volumique ρ_d (g/cm ³)
Ech 02	95,67	103,50	57,60	2,08
Ech 06	205,31	218,90	118,70	2,04
Ech 07	154,28	163,25	91,90	2,16
Ech 09	57,97	62,90	34,68	2,05
Ech 16	50,22	57,78	29,18	1,75

Tableau IV.3. Classification de la densité en fonction de la masse volumique sèche.

ρ_d ($\frac{g}{cm^3}$)	Appréciation
<1.6	Faible
1.6-1.8	Moyenne
>1.8	Dense

❖ Interprétations des résultats

D'après la classification qui est représenté dans le tableau IV.3, et les valeurs qu'on a u dans le tableau IV.2 les échantillons utilisés sont denses est ça revient à leur texture massive et compacte.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

IV.2.2.2. La masse volumique des particules solide ρ_s méthode du pycnomètre

[NF P94- 054]

On prend une quantité de la roche concassée à la main et le passer au tamis 2mm, ensuite on prend 50g du tamisât et le mettre dans une coupelle de masse connue M. l'ensemble est introduit dans une étuve réglée à 105°C. On pèse le pycnomètre et son bouchon secs et propre M_0 puis on pèse le pycnomètre et son bouchon plus l'échantillon M_1 . Le ballon du pycnomètre est ensuite rempli d'eau distillée ou déminéralisée maintenue à la température ambiante et pesé M_2 . et on pèse M_3 qui est la masse du pycnomètre avec son bouchon plus eau. Dans cette expérience on a opté pour la méthode d'élimination des bulles d'air par ébullition à la plaque chauffante.

La masse volumique des particules solides est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\rho_s = \rho_w \frac{(M_1 - M_0)}{(M_3 + M_1 - M_0 - M_2)} \quad (\text{IV.3})$$

M_0 : Masse de pycnomètre (g) ;

M_1 : Masse du pycnomètre avec l'échantillon (g) ;

M_2 : Masse du pycnomètre et l'échantillon et l'eau (g) ;

M_3 : Masse du pycnomètre plein l'eau (g) ;

ρ_w : Masse volumique de l'eau égale à $1(\text{g}/\text{cm}^3)$.



Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

A- Pesé du pycnomètre à vide M_0 .

B- Pèse le pycnomètre et l'échantillon M_1 .



D- Masse du pycnomètre et l'échantillon
et l'eau M_2 .

C- Pesé la masse M_3 .

Figure IV.3. Equipement de l'essai.

➤ **Expression des résultats**

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4. Les valeurs des masses volumiques des particules solides.

Echantillons	$M_0(g)$	$M_1(g)$	$M_2(g)$	$M_3(g)$	$\rho_s \left(\frac{g}{cm^3} \right)$
Ech 01	153	203	679,2	650	2,40
Ech 03	153	203	681	650	2,63
Ech 04	153	193	674	650	2,50
Ech 05	153	203	684,1	650	3,14
Ech 08	153	203	655	650	1,11
Ech 10	153	203	680	650	2,50
Ech 11	153	203	678,3	650	2,30
Ech 12	153	203	681	650	2,63
Ech 13	153	203	681	650	2,63
Ech 14	153	203	680	650	2,50
Ech 15	153	203	680	650	2,50
Ech 17	153	203	683,1	650	2,95
Ech 18	153	203	679,4	650	2,42

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

❖ Interprétations des résultats

D'après les valeurs qui est représentées dans le tableau IV.4, les échantillons utilisés sont sont denses.

IV.2.3. Le poids volumique

Le poids spécifique ou poids volumique est le poids par unité de volume d'un matériau.

$$\gamma = \rho * g \quad (IV.4)$$

Où :

γ : Est le poids volumique du matériau (N/m^3);

ρ : Est la masse volumique du matériau (kg/m^3);

g : Est l'accélération de la gravité (cm/S^2).

➤ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5. Les valeurs des poids volumiques.

Echantillons	Le poids volumique (KN/m^3)
Ech 01	24
Ech 02	20
Ech 03	26
Ech 04	25
Ech 05	31
Ech 06	20
Ech 07	21
Ech 08	11
Ech 09	20
Ech 10	25
Ech 11	23
Ech 12	26
Ech 13	26
Ech 14	25
Ech 15	25

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Ech 16	17
Ech 17	29
Ech 18	24

IV.2.4. La porosité et indice des vides

IV.2.4.1. Porosité(n)

La proportion de vide est appelée porosité ou la forme des vides, leur taille, leur répartition, leurs liaisons et au contraire l'isolement de certains, influent sur le comportement mécanique du massif rocheux.

Donc selon la porosité, les roches sont classées comme suit [34] :

- Roches de faible porosité : $0 < n < 5 \%$
- Roches de porosité moyenne : $5 < n < 10 \%$
- Roches de porosité élevée : $10 < n < 20 \%$
- Roches de grande porosité : $n > 20 \%$

➤ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.6. Les valeurs des Porosités.

Echantillons	Porosité
Ech 01	5,29
Ech 02	5,28
Ech 03	5,33
Ech 04	5,30
Ech 05	5,25
Ech 06	5,29
Ech 07	5,34
Ech 08	5,25
Ech 09	5,27
Ech 10	5,30
Ech 11	5,31

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Ech 12	5,28
Ech 13	5,29
Ech 14	5,30
Ech 15	5,29
Ech 16	5,28
Ech 17	5,27
Ech 18	5,30

❖ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau IV.6 on constate que les échantillons sont d'une moyenne porosité.

IV.2.4.2. Indice des vides (e)

L'indice des vides est défini comme étant le rapport entre le volume des vides et le volume des particules solides ; Il est déterminé par la relation suivante :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (\text{IV.5})$$

Et l'indice des vides dépend aussi d'après porosité selon la formule suivante :

$$e = \frac{n}{1-n} \quad (\text{IV.6})$$

➤ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.7. Les valeurs des indices des vides.

Echantillons	Indice des vides
Ech 01	5,58
Ech 02	5,57
Ech 03	5,63
Ech 04	5,59
Ech 05	5,54
Ech 06	5,58
Ech 07	5,64
Ech 08	5,54
Ech 09	5,56
Ech 10	5,60

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Ech 11	5,59
Ech 12	5,57
Ech 13	5,58
Ech 14	5,59
Ech 15	5,58
Ech 16	5,57
Ech 17	5,56
Ech 18	5,60

IV.2.5. Essai ultrasons

L'essai d'auscultation dynamique connu sous le nom d'essai ultrasonique est une méthode non destructive il consiste à déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales à l'aide d'un générateur et d'un récepteur. Ces essais peuvent être effectués sur des éprouvettes au laboratoire ou sur des ouvrages.

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue.



Figure IV.4. Essai ultrasonique.

La vitesse de propagation du son à travers la roche est déterminée par la formule suivante:

$$V=X/T \quad (IV.9)$$

Avec :

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

V : est la vitesse de propagation du son, en km/s.

X : est la longueur de parcours, en cm.

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur.

➤ Expression des résultats

Le tableau IV.8 présente la mesure du temps de propagation du son, à partir de temps mesuré.

On a calculé la vitesse de son pour chaque éprouvette. Le tableau suivant présente les résultats qu'on a u :

Tableau IV.8. Les valeurs des vitesses du son.

Echantillons	Distance X (m)	Temps t (s)	Vitesse $V=X/t$ (m / s)
Ech 01	0,078	0,000018	4360
Ech 02	0,053	0,00001	5300
Ech 03	0,067	0,000018	3720
Ech 04	0,033	0,000014	2350
Ech 05	0,050	0,000014	3570
Ech 06	0,074	0,000019	3890
Ech 07	0,047	0,000016	4668
Ech 08	0.040	0,000020	2017
Ech 09	0,040	0,000009	4440
Ech 10	0,076	0,000016	4750
Ech 11	0,054	0,000017	3200
Ech 12	0,080	0 ,000023	3470
Ech 13	0,065	0,000023	5410
Ech 14	0,060	0.000014	4326
Ech 15	0,061	0,000021	2900
Ech 16	0,049	0,000016	3065
Ech 17	0,056	0,000015	3796
Ech 18	0,085	0,000020	4288

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Tableau IV.9. Qualité du roche à partir de la vitesse du son.

Vitesse du son en m/s	Appréciation de la qualité
>4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre
<2000	Très mauvais

❖ Interprétations des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau IV.8 et selon le tableau IV.9, les échantillons utilisés sont d'une qualité variante entre médiocre à excellent.

IV.3. Détermination des propriétés chimiques du massif rocheux

IV.3.1. Détermination des carbonates au Calcimètre dietrich-fruhling

Afin de mettre en évidence la variation des cortèges argileux en fonction de la teneur des différents échantillons en carbonate (CaCO_3), nous avons fait appel à cette technique basée sur le principe donné par Vatan (1967), selon lequel, tout matériau contenant du carbonate de calcium (CaCO_3) fait effervescence au contact d'un acide (ex : HCl), celle-ci correspond au dégagement de dioxyde de carbone (CO_2) sous forme de gaz, selon la réaction chimique suivant :



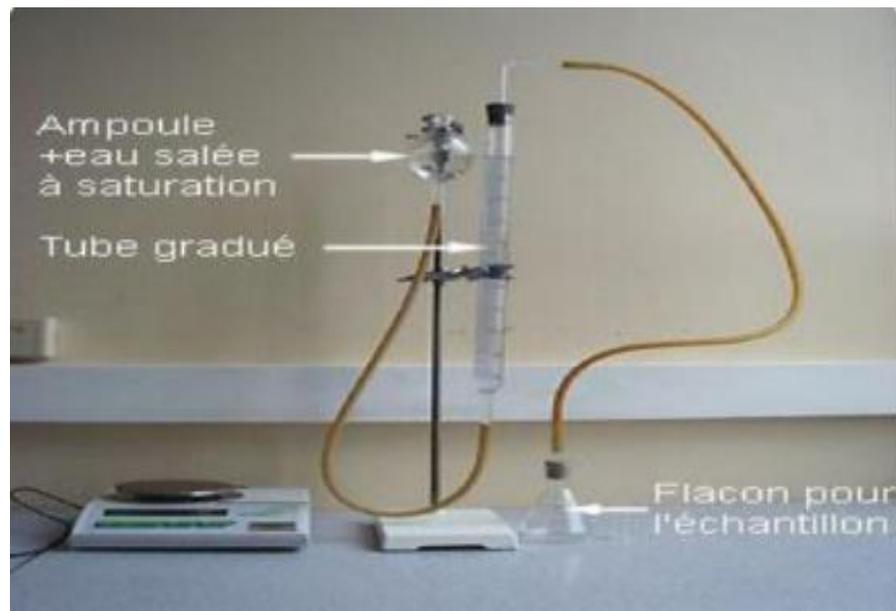


Figure IV.5. Calcimètre de Bernard.

IV.3.1.1. Protocole expérimental

Prise d'essai en fonction de la teneur présumée en carbonate donnée selon le tableau suivant :

Tableau IV.10. Prise d'essai en fonction de la teneur en carbonate.

Teneur en carbonate présumée en %	< à 4	4 à 6	10 à 19	20 à 39	40 à 79	>=80
Masse de la prise d'essai en gramme	10	5	2.5	1	0.5	0.25

- Après séchage de l'échantillon à 105° ;
- Introduire la prise d'essai dans le flacon à réaction ;
- Mettre en place un système réfrigérant ;
- Remplir le flacon de niveau et la burette d'eau distillée coloré ;
- Faire coïncider le niveau bas du flacon avec le zéro en partie haute de la burette ;
- Introduire 10 cm³ d'HCL concentré dans un tube à essai placé dans le flacon ;
- Ouvrir le robinet. Obturer le flacon à réaction au moyen de son bouchon ;
- Régler le niveau du flacon (Ampoule) sur le zéro de la burette ;
- Fermer le robinet. Mettre en contacte l'acide chlorhydrique contenu dans le tube à essai avec le matériau ;
- Faire coïncider le niveau dans l'ampoule avec niveau d'eau dans la burette ;
- Agiter le flacon à réaction jusqu'à ce que le niveau d'eau ne varie plus ;

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

- Attendre 5 min et placer le flacon dans le bac de refroidissement à la température ambiante ;
- Après équilibre de la température amener le niveau dans le même plan horizontal et lire le volume V_b correspondant sur la burette ;
- Noter la température de la salle d'essai, et la pression atmosphérique ;
- Renouveler l'essai sur l'échantillon de référence. On note le volume V_t .



Figure IV.6. Préparation la mesure (a-pesé de l'échantillon, b- introduction de l'échantillon et l'HCL dans l'erenmeyer).

$$C_{aCO_3} \% = \frac{V_{CaCO_3}}{V_t} * 100 \quad \text{(IV.8)}$$

➤ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.11. La teneur en $CaCO_3$.

Désignation échantillons	Ech 02	Ech 06	Ech 07	Ech 09	Ech 16
% $CaCO_3$	77	83,63	88,18	85,45	71

❖ Interprétation

D'après les valeurs qui sont représentées dans le Tableau IV.11 Les analyses chimiques des différents échantillons des calcaires montrent que ces derniers sont très carbonatés.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

IV.3.2. Contrôle qualité par rayon X (QCX)

IV.3.2.1. Définition

L'analyse chimique par fluorescence X consiste à déterminer le pourcentage des différents oxydes dans le calcaire (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , $C1$, Na_2O , MgO , K_2O , CaO , SO_3) ainsi que le calcul automatique des modules : LSF, MS, ALM.

IV.3.2.2. Mode opératoire

A) Préparation de la pastille



Figure IV.7. Peser 20 g de matière et l'introduire Dans une cuve, ajouter deux (02) gouttes TEA.



Figure IV.8. Placer le récipient dans le broyeur et bien fermer le couvercle, à l'aide de la minuterie, régler le temps de broyage à 4 minutes et broyer.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA



Figure IV.9. Peser 08 gramme de la matière broyée.



Figure IV.10. Mettre une pastille propre dans le dispositif de pastilleuse et remplir par la matière broyée puis niveler, passer sur presse HERZOG sous une pression de 150 KN.



Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Figure IV.11. Retirer la pastille obtenue, nettoyer sans touche la surface de la pastille avec les doigts ni avec le pinceau.

B) Analyse de l'échantillon



Figure IV.12. Placer la pastille dans le porte échantillon de l'analyse à fluorescente X (PW 1660).

- Faire passer l'échantillon pour analyse à l'aide du Micro-ordinateur relié au spectromètre en suivant les étapes :

Après mise en service du logiciel X40

- Taper MUS et appuyer sur «entrée» ;
- Programme=CALCAIRE 1 ;
- Appuyer sur «entrée» ;
- Ident= QCX-mesurment ;
- Résultats de fichiers ;
- Transmission station : 1 ;
- Affichage de résultats d'analyse.

➤ Expression des résultats

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Tableau IV.12. Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.

Eléments	Ech 01	Ech 02	Ech 03	Ech 04	Ech 05
SiO ₂	0,51	3,31	2,89	4,20	2,66
Al ₂ O	0,30	0,77	0,80	1,15	0,74
Fe ₂ O	0,07	0,15	0,24	0,31	0,11
CaO	58,30	56,4	56,40	55,6	56,70
MgO	0,57	0,44	0,45	0,42	0,64
K ₂ O	0,02	0,05	0,05	0,08	0,05
Na ₂ O	-	-	-	-	-
SO ₃	-	-	-	-	-
CL	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
PAF	46,47	44,79	44,85	44,15	45,09
MAF	4,55	5,10	3,37	3,68	6,60
LSF	3123,0	539	604,2	410,30	664,5
MS	1,41	3,58	2,80	2,88	3,11

Tableau IV.13. Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.

Eléments	Ech 06	Ech 07	Ech 08	Ech 09	Ech 10
SiO ₂	3,71	3,39	0,0	3,60	6,30
Al ₂ O	0,80	1,00	0,12	0,76	1,90
Fe ₂ O	0,19	0,20	0,05	0,21	0,38
CaO	56,2	56,3	59,50	56,1	54,10
MgO	0,43	0,62	0,31	0,53	0,52
K ₂ O	0,06	0,06	0,00	0,06	0,12
Na ₂ O	-	-	-	-	-
SO ₃	-	-	-	-	-
CL	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
PAF	44,68	44,96	47,07	44,63	43,07
MAF	4,33	4,90	2,59	3,67	5,05
LSF	494,5	512,3	-	496	264,40
MS	3,65	2,82	-	3,73	2,76

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Tableau IV.14. Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.

Eléments	Ech 12	Ech 13	Ech 14	Ech 15	Ech 16
SiO ₂	0,00	4,01	0,00	3,19	3,62
Al ₂ O	0,07	1,10	0,10	0,65	0,89
Fe ₂ O	0,08	0,19	0,04	0,15	0,21
CaO	59,30	55,60	59,0	56,40	56,0
MgO	0,26	0,55	0,33	0,41	0,45
K ₂ O	0,00	0,09	0,00	0,04	0,05
Na ₂ O	-	-	-	-	-
SO ₃	-	-	-	-	-
CL	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
PAF	46,87	44,29	46,76	44,80	44,49
MAF	0,83	5,69	2,31	4,33	4,26
LSF	-	432,10	-	566,0	487,1
MS	-	3,12	-	4,05	3,28

❖ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans les Tableaux IV.12, 13, 14 pour les Contrôle de qualité par rayon X des différents échantillons des calcaires montrent que ces derniers se compose principalement de plus de 50% de CaO.

IV.4. Détermination des essais mécaniques



Figure IV.13. Préparation des échantillonnages en utilisant la carotteuse.

IV.4.1. Essai franklin

L'Essai franklin consiste à mesurer la résistance à la compression sous une charge ponctuelle d'une éprouvette de roche, et de déterminer l'indice de résistance sous cette charge ponctuelle I. sous les étapes suivantes :

- Placer une éprouvette de roche entre deux pointes tronconique de même axe ;
- Mesurer la distance H entre les extrémités des pointes tronconiques lorsqu'elles sont au contact de l'éprouvette ;
- Transmettre, entre les deux pointes tronconiques, une force F de compression croissante jusqu'à la rupture de l'éprouvette ;
- Noter la force maximale F_{max} atteinte ;
- Observer la forme de la rupture et valider ou non l'essai.

IV.4.1.1. Mode opératoire

En l'absence de prescription, l'essai est réalisé sur l'éprouvette dans l'état de teneur en eau ou elle est au moment de l'essai.

Le processus opératoire suivi dépend de la forme de l'éprouvette (compression axiale sur éprouvette cylindrique sa section transversale circulaire).

L'essai n'est pas retenu si les points de contact des pointes tronconique avec l'éprouvette ne se trouvent pas sur le contour de la surface de rupture.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA



Figure IV.14. Réalisation d'essai franklin.

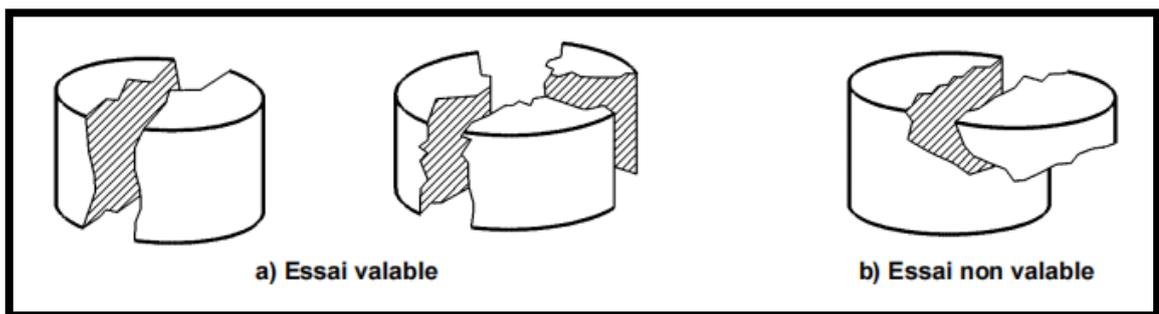


Figure IV.15. Types de rupture d'une éprouvette cylindrique lors d'une compression axiale

➤ **Expression des résultats**

Tableau IV.15. Les résultats du franklin des échantillons.

Echantillons	Diamètre D (m)	F (KN)	I (Mpa)	Rc(Mpa)
Ech 01	/	/	Non valide	\
Ech 02	0,60	6	0,021	0,504
Ech 03	0,80	17,5	0,035	0,84
Ech 04	0,40	9	0,075	1,8
Ech 05	0,60	10	0,035	0,84
Ech 06	0,62	9,5	0,031	0,744
Ech 07	0,55	12	0,052	1,248
Ech 08	0,61	19	0,065	1,536
Ech 09	0,50	8	0,040	0,96

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Ech 10	0,80	21	0,042	1,008
Ech 11	0,60	16	0,057	1,368
Ech 12	/	/	Non valide	/
Ech 13	0,75	7,5	0,017	0,408
Ech 14	/	/	Non valide	/
Ech 15	0,70	12,5	0,032	0,768
Ech 16	/	/	Non valide	/
Ech 17	/	/	Non valide	/
Ech 18	/	/	Non valide	/

❖ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau IV.15, et à partir du tableau de classification selon la résistance IV.16 ci-dessous, les échantillons sont de très faible résistance.

IV.4.2. Essai résistance à la compression par scléromètre

L'essai au scléromètre à but de la détermination la résistance de la roche, comme elle peut être aussi utilisée pour vérifier si la valeur de l'indice de rebondissement a atteint la valeur désirée correspondant à la résistance de la roche, une application particulière de l'essai au scléromètre consiste à évaluer la résistance à l'abrasion des planchers de roche, qui dépend largement de la dureté de surface.

IV.4.2.1. Mode d'opération

- Libérer la sonde sclérométrique en pressant dessus ;
- Placer la sonde à l'endroit de la mesure ;
- l'appareil jusqu'à déclenchement de la projection de la bille ;
- Presser le bouton poussoir Tout en maintenant le bouton poussoir enfoncé, relâcher la pression exercée sur la sonde ;
- La sonde reste bloquée et on peut relâcher le bouton poussoir.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA



Figure IV.16. Mesure la résistance par scléromètre.

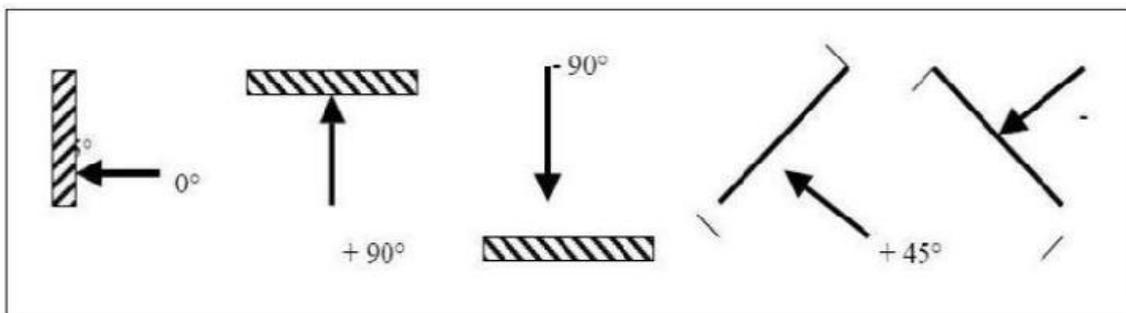


Figure IV.17. Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter.

Remarque

L'indice de rebondissement est la mesure enregistrée sur une échelle graduée fixe par rapport au bâti de l'appareil de scléromètre, après la projection d'une masselotte chargée par ressort sur une tige métallique en contact avec la surface de roche.

Dans l'expérience, il a été constaté qu'en utilisant le graphique de la dispersion moyenne de la résistance pour croiser la valeur du poids unitaire avec la valeur de la valeur de rebond Schmidt moyenne corrigée.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

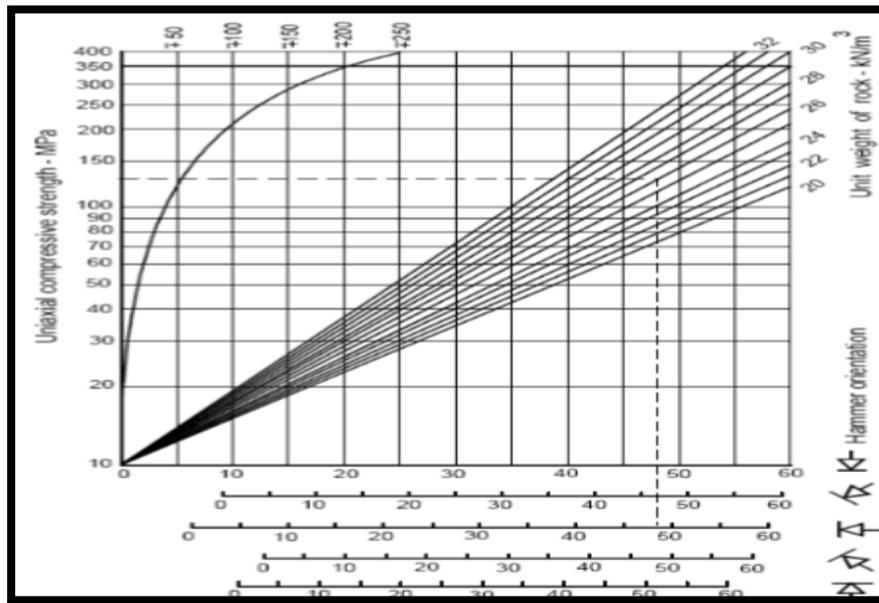


Figure IV.18. Schmidt Hammer Test JCS estimation chart showing correlation between Schmidt hammer rebound number, hammer orientation, UCS and rock density (Deere and Miller, 1966).

Les résultats obtenus sont interprétés en se référant aux valeurs présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.16. Classification selon la résistance à la compression simple (AFNOR XP P 94-010).

Classes	Description	Résistance Rc en (MPa)
R1	Roche de résistance très élevée	>200
R2a	Roche de résistance élevée	120 à 200
R2b		60 à 120
R3a	Roche de résistance moyenne	40 à 60
R3b		20 à 40
R4	Roche de faible résistance	6 à 20
R5a	Roche de très faible résistance et sols cohérents consolidés	0,5 à 6
R5b		<0,5
R6a	Sols plastiques ou peu consolidés	X
R6b		

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

➤ Expression des résultats

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.17. Les valeurs de résistance à la compression (Scléromètre).

Points	Résistance à la compression (MPa)
(1)	64
(2)	58
(3)	55
(4)	108
(5)	235
(6)	100
(7)	64
(8)	160
(9)	90
(10)	150
(11)	110
(12)	104,5
(13)	119
(14)	90
(15)	145
(16)	100,5
(17)	56
(18)	70

❖ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau IV.17 et à partir le tableau de classification selon la résistance IV.16, les massifs rocheux sont d'une moyenne à très élevée résistance.

❖ Après extraction :

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Pour mieux examiner la qualité du massif rocheux après extraction on a essayé de réaliser :

- ✓ Essais d'usure Micro-Deval.
- ✓ Essai Los Angeles.

IV.4.3. Essai d'usure Micro-Deval (NF P 18-572)

IV.4.3.1. Définition

L'essai Micro-Deval permet de mesurer la résistance à l'usure des matériaux granulaires utilisés dans le domaine de bâtiment et des travaux publics, selon la norme NF P 18-572 (1990).

Dans notre cas, l'essai permet la détermination de la résistance à l'usure des matériaux en présence d'eau, pour étudier le comportement du matériau dans les plus mauvaises conditions climatiques.

Le coefficient Micro-Deval (MDE) est critère de classification des sols granulaires et matériaux rocheux. Plus le pourcentage d'usure est faible, plus l'échantillon est résistant à l'usure.

IV.4.3.2. Préparation du matériau

La masse de l'échantillon envoyé au laboratoire doit être au moins égal à 2 Kg pour les granulats appartenant à la classe granulaire comprise entre 10mm et 14mm.

- Tamiser l'échantillon de laboratoire sur les tamis entre 10mm et 12,5mm ;
- Laver le matériau et le sécher totalement à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante ;
- . La masse M de l'échantillon nécessaire pour l'essai est de 500 g.

NB : la classe granulaire est généralement choisie en fonction de la fraction prépondérante dans le matériau.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA



Figure IV.19. Préparation du matériau Micro-Deval.

IV.4.3.3. Mode opératoire

- Mettre dans le cylindre 500g de notre matériau d'une fraction de : 10-12.5mm ;
- Ajouter les poids de la charge abrasive selon le type de classe granulaire (indiqué dans le tableau IV.18) ;
- Compléter avec 2.5 litres d'eau ;
- Régler la machine à 1200 tours.

Tableau IV.18. Charges abrasives en fonction de la classe granulaire (NF P18-572, 1990).

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive
04-6.3	1000±5
6.3-10	4000±5
10-14	5000±5

- A la fin de l'essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac. Laver soigneusement l'intérieur du cylindre, en recueillant l'eau et les particules dans le bac.
- Emboîter les tamis de 8mm et de 1,6mm, laver et tamiser manuellement l'ensemble (matériau + eau + billes en acier) sur les deux tamis dans un bac. La charge abrasive sera retenue sur le tamis de 8mm avec peut être une partie du

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

matériau ; une autre partie du matériau sera retenue sur le tamis de 1,6mm et le reste (tamisât du tamis 1,6mm) sera recueilli dans le bac. Retirer la charge abrasive du matériau sur le tamis 8mm. Sécher le refus au tamis 1,6 mm à l'étuve à 110 °C, jusqu'à masse constante.

- Peser soigneusement ce refus de masse M' (g).

Le coefficient Micro-Deval s'exprime par la formule

$$MDE = \frac{M-M'}{M} * 100 \quad \text{(IV.10)}$$

Avec :

M : Masse sèche totale de l'échantillon soumis à l'essai, $M= 500g$;

M' : masse de refus de 1,6mm.

Plus le coefficient M_{DE} est élevé, moins le matériau est résistant à l'usure.

Les résultats obtenus sont interprétés en se référant aux valeurs présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.19. Appréciation des résultats de l'essai Micro Deval (NF P18-572, 1990).

Coefficient M_{DE}	Appréciation
<10	Très bon à bon
10 à 20	Bon à moyen
20 à 35	Moyen à faible
>35	Médiocre

➤ Expression des résultats

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Tableau IV.20. Les résultats Micro Deval des échantillons.

Echantillons	MDE	Appréciation
(1)	12	Bon à moyen
(2)	17,2	Bon à moyen
(3)	25	Moyen à faible
(4)	25	Moyen à faible
(5)	25,4	Moyen à faible
(6)	26	Moyen à faible
(7)	28,2	Moyen à faible
(8)	28,6	Moyen à faible
(9)	21	Moyen à faible
(10)	29,4	Moyen à faible
(11)	32,2	Moyen à faible
(12)	32,6	Moyen à faible
(13)	28,2	Moyen à faible
(14)	35	Moyen à faible
(15)	18,76	Bon à moyen
(16)	22,26	Moyen à faible
(17)	23,96	Moyen à faible
(18)	34,18	Moyen à faible

❖ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau IV.19, et les appréciations du tableau IV.20, L'essai Micro-Deval réalisé sur les échantillons donne les résultats suivants :

- ✓ Échantillons N° 1,2 et 15 sont classé comme matériau de bonne à moyenne résistance à l'usure en présence d'eau ;
- ✓ Les autres échantillons sont classés comme des matériaux moyens à faible à l'usure en présence d'eau.

IV.4.4. Essai Los Angeles (NF P 18-573)

La mesure de la résistance à la fragmentation par choc est destinée à évaluer des granulats à se fragmenter sous l'action du trafic. Seul l'essai Los Angeles est pris en compte pour la définition des catégories de résistance mécanique normalisée, selon la norme NF P 18-573 (1990).

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA



Figure IV.20. Appareillage Los Angeles.

IV.4.4.1. Préparation du matériau

- Laver le matériau et le sécher totalement à l'étuve à 110 °C jusqu'à masse constante ;
- Tamiser le matériau à sec sur les tamis de la classe 12.5mm à 14mm. La masse M de l'échantillon nécessaire pour l'essai est de 5000g.

NB: la classe granulaire est généralement choisie en fonction de la fraction prépondérante dans le matériau.



Figure IV.21. Préparation l'échantillon de Los Angeles.

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

IV.4.4.2. Exécution de l'essai

Introduire avec précaution les boulets dans l'appareil Los Angeles, ensuite l'échantillon à soumettre à l'essai (cet ordre évite l'écrasement des grains avant essai). La charge de boulet est fixée conformément aux indications du ci-dessous.

Tableau IV.21. Charge de boulet suivant le type de classe granulaire.

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets
6.3-10	9
10-14	11

- Actionner la machine à 500 rotations, (sauf pour la classe 15-50 mm, c'est 2000 rotations), à une vitesse régulière comprise entre 30 tr/min et 33 tr/min ; au cours de l'essai, le matériau subira des chocs de boulets en rotation ;
- A la fin de l'essai, recueillir le matériau dans un bac placé sous l'appareil, en évitant toute perte de matériau ;
- Tamiser le matériau recueilli sur le tamis 1,6 mm (tamiser en plusieurs parties pour assurer le tamisage dans de bonnes conditions) ;
- Une fois tamisée, lavé le refus au tamis de 1,6 mm. égoutter et sécher à l'étuve à 110°C jusqu'à masse constante M'.

Le coefficient Los Angeles est, par définition :

$$L_A = \frac{M-M'}{M} * 100 \quad (\text{IV.11})$$

Avec :

M : Masse sèche totale de l'échantillon soumis à l'essai, M= 5000g ;

M' : Masse de refus de 1,6mm.

Tableau IV.22. Tableau de référence des valeurs de Los Angeles (NF P 18-573, 1990).

Coefficient LA	Appréciation
<15	Très bon à bon
15 à 25	Bon à moyen
25 à 40	Moyen à faible

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

>40	Médiocre
-----	----------

➤ Expression des résultats

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau IV.23. Les résultats Los Angeles des échantillons.

Echantillons	LA en %
(1)	25,58
(2)	24,96
(3)	26,01
(4)	27,00
(5)	25,37
(6)	24,88
(7)	27,08
(8)	26,52
(9)	25,89
(10)	25,16
(11)	24,72
(12)	26,96
(13)	26,33
(14)	25,99
(15)	26,77
(16)	25,78
(17)	24,65
(18)	27,00

❖ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau IV.23, les résultats de Los Angeles montrent que les échantillons ont une résistance à la fragmentation par choc moyenne à faible.

✚ *Après extraction* et d'après les normes routières et les du béton on a essayé de classer les granulats du carrier ENG EL MA LABIOD comme suit :

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

Tableau IV.24. Les normes routières.

Essai	Test	Mesures	Seuil
LA Los Angeles	Simule le passage répété d'un poids lourd qui risque de fragmenter les granulats	Passing à 1.6 mm plus il est élevé, plus les granulats sont tendres.	$LA \leq 45$
MDE Micro-Deval	Simule le comportement d'un granulat par temps de pluie	Idem plus il est élevé, plus les granulats s'usent vite.	$MDE \leq 45$
LA+ MDE	Pour les sols sableux	Refus à 0.2 mm plus il est élevé plus les sables sont friables.	$F_s \leq 60$

Tableau IV.25. Les normes béton.

Essai	Test	Mesures	Seuil
LA Los Angeles	Simule le répété d'une charge lourde qui risque de fragmenter les granulats	Passing à 1.6 mm plus il est élevé, plus les granulats sont tendres.	$LA \leq 25$
MDE Micro-Deval	Simule le comportement d'un granulat par temps de pluie	Idem plus il est élevé, plus les granulats s'usent vite.	$MDE \leq 25$

- **Représentation graphiques du MDE et LA .**

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

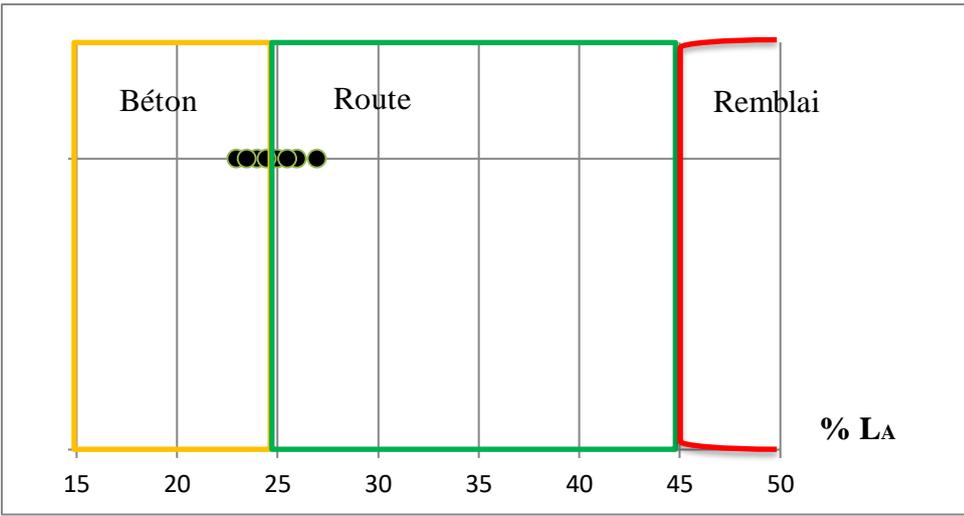


Figure IV.22. Graphique de nuage de points représente les valeurs de LA.

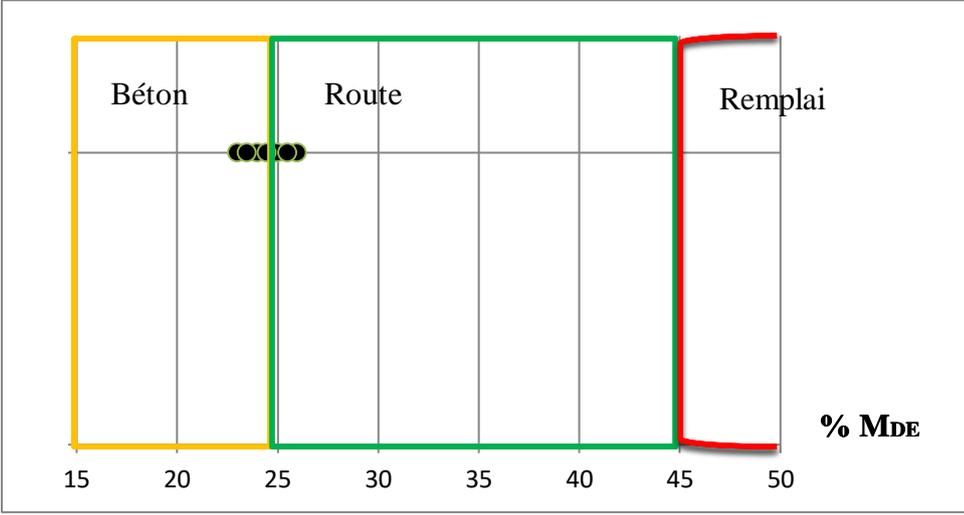


Figure IV.23. Graphique de nuage de points représente les valeurs de MDE..

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

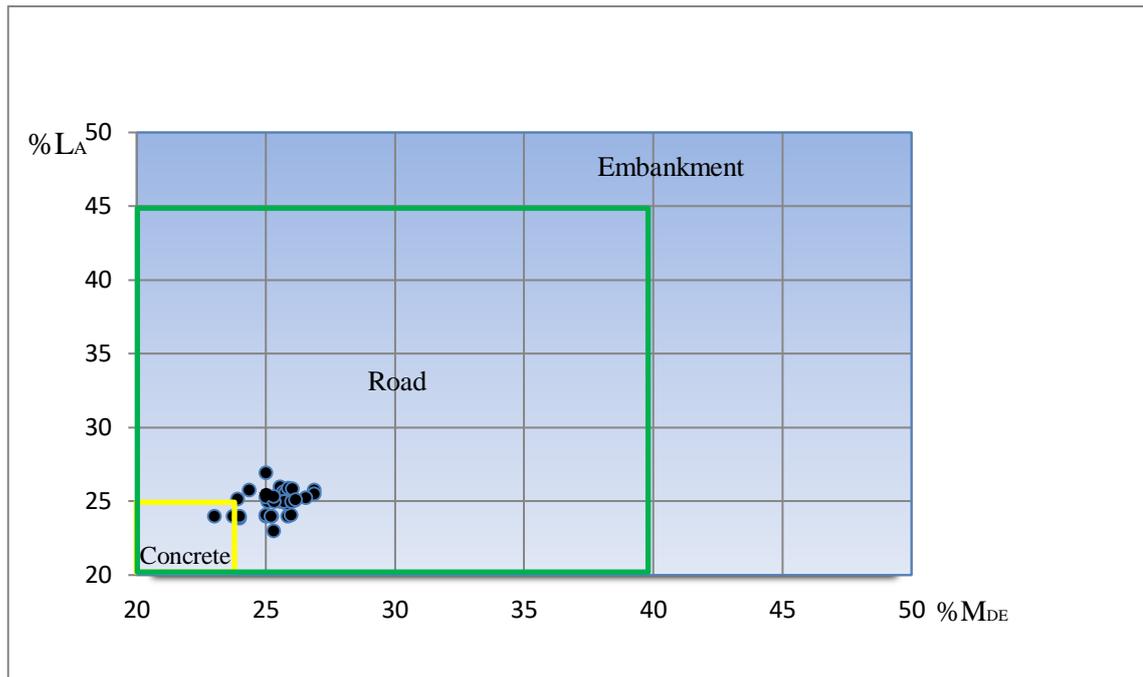


Figure IV.24. Graphique de nuage de points correspondant **LA** en fonction de **MDE**.

✚ Synthèse des résultats :

D'après les graphiques de nuage du point qui correspondent **LA** en fonction de **MDE** on peut dire que les granulats issus du massif rocheux de la carrière ENG EL Ma LABIOD-TEBESSA doivent être destinés beaucoup plus pour les routes et un peu pour l'utilisation en béton.

IV.5. Conclusion

On peut conclure que le massif rocheux de la carrière ENG EL Ma LABIOD-TEBESSA est caractérisé comme suit :

- Teneurs en eau très faibles ;
- Masse volumique dense ;
- Moyenne porosité ;
- Calcaire très carbonaté ;
- Calcaires de plus de 50% de CaO ;
- D'une qualité entre assez bon à excellent ;
- Résistance sous charge ponctuelle très faible ;
- D'une moyenne à très élevée résistance in situ ;

Chapitre IV : Caractérisation géotechnique du massif rocheux carrière EL MA LABIOD TEBESSA

- MDE de faible a bonne résistance à l'usure en présence d'eau ;
- LA de faible à moyenne résistance à la fragmentation par choc.

En fin, d'après les résultats qu'on a u on peut conclure que les granulats issus du massif rocheux de la carrière ENG EL Ma LABIOD-TEBESSA doivent être destiner beaucoup plus pour les routes et un peu pour l'utilisation en béton.

Chapitre V : Classification géomécanique

V.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous abordons le sujet des méthodes de classification géomécaniques des massifs rocheux.

En premier lieu, nous présentons les types de classification existante, puis nous exposons trois classifications géomécaniques largement utilisées dans le domaine de la Mécanique des roches (RQD, RMR, GSI).

V.2. Classification géomécanique des massifs rocheux

Il existe de nombreuses méthodes de classification se basant sur différents paramètres géotechniques. Les méthodes les plus utilisés sont :

- RQD (Rock Quality Designation) d'après Deere (1968).
- SMR (Sope Mass Ratting) d'après Romana (1985).
- RMR (Rock Mass Rating) d'après Bieniawski (1989).
- Système du NGI ou Q système (Rock Massif Quality) Barton (1974).
- Recommandation AFTES.
- Système du GSI (Geological Strength Index)

Dans notre cas nous basant sur les systèmes RQD, RMR, GSI

V.2.1. Système du RQD (Rock Quality Designation)

Dans le but de la reconnaissance géologique du terrain ou bien l'identification de la nature géotechnique, le calcul du RQD, ont été réalisé sur le massif rocheux de la carrière d'EL MA LABIOD, TEBESSA suivant ces quatre niveaux divisés en 18 point (Figure V.1) :

- ✓ Niveaux 1110/1120 ;
- ✓ Niveaux 1120/1130 ;
- ✓ Niveaux 1130/1145 ;
- ✓ Niveaux 1145/1160.

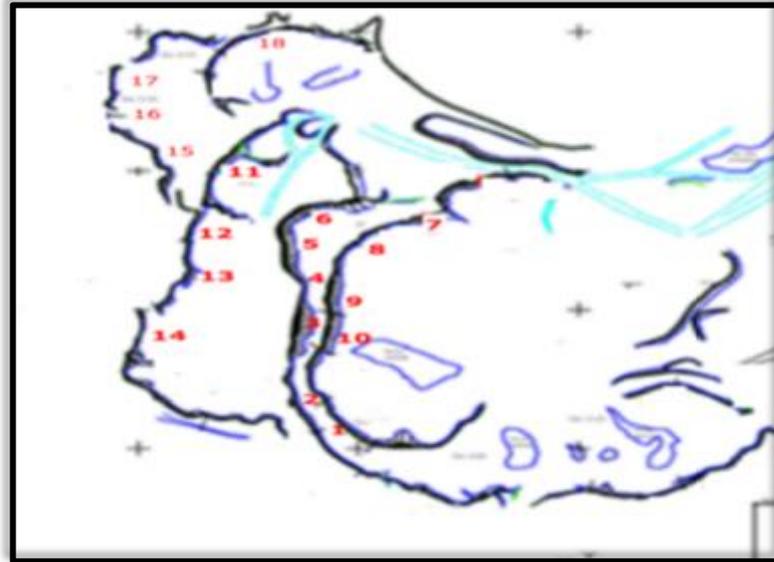


Figure V.1. Carte topographique avec la localisation des points de travail.

Où :

$$RQD = \frac{\sum \text{longueur des pièces} \geq 10\text{cm}}{\text{Longueur de forage}} * 100$$

Exemple de mesure

$$RQD = ((7,02\text{m})) / ((8,20\text{m})) * 100 = 86\%$$

$$RQD = 86\%$$



Figure V.2. Le niveau 1120/1130.

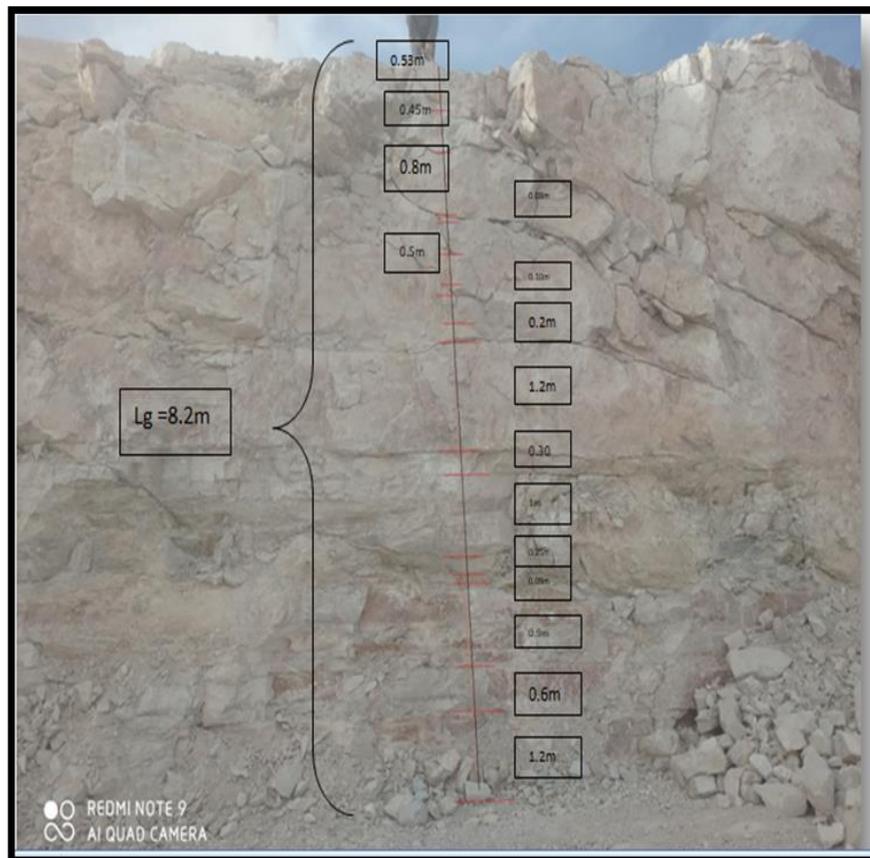


Figure V.3. Photos de mesure du système RQD.

Chapitre V : Classification géomécanique

Le tableau ci-dessous représente les valeurs RQD calculé des différents niveaux de la carrière divisée en 18 point.

Tableau V.1. Les valeurs **RQD** des différents niveaux.

Niveaux	Points	RQD	Qualité de la roche
1110/1120	(7)	72	Moyenne
	(8)	77	Bonne
	(9)	54	Moyenne
	(10)	78	Bonne
1120/1130	(1)	61	Moyenne
	(2)	88	Bonne
	(3)	86	Bonne
	(4)	81	Bonne
	(5)	85	Bonne
	(6)	78	Bonne
1130/1145	(11)	82	Bonne
	(12)	84	Bonne
	(13)	82	Bonne
	(14)	73	Moyenne
	(18)	78	Bonne
1145/1160	(15)	78	Bonne
	(16)	86	Bonne
	(17)	76	Bonne

➤ Synthèse et conclusion

D'après l'analyse du paramètre RQD des quatre niveaux de la carrière d'EL MA LABIOD, TEBESSA on peut conclure que le massif rocheux est d'une qualité moyenne a bonne.

V.2.2. Système RMR (Rock Mass Rating)

D'après Beniaowski le RMR est calculé d'après la formule suivante :

$$\text{RMR de base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$



Figure V. 4. Mesure des différents paramètres du RMR sur terrain.

Exemple de mesure

Tableau V.2. Classification RMR de Calcaire.

Cauches	Calcaire					
Paramètre	Rc(MPa)	RQD (%)	Nature des joints (m)	Espacement des joints (m)	Hydrogéologie	RMR De base
Mesure	55MPa	86	Surface lustrées ou remplissage <5mm ou joint ouvert	>3mm	Complètement sec	70
Valeurs extrêmes de la classification	50-100	75-90	1 à 5mm joints continus			
Note	7	17	6	30	10	

RMR de base=70	Pendage=20%	RMR_{g9}= 65
	Note = -5	

Chapitre V : Classification géomécanique

Le tableau ci-dessous représente les valeurs RMR calculé des différents niveaux de la carrière divisée en 18 point.

Tableau V.3. Classification RMR des massifs rocheux ENG EL MA LABIOD.

Niveaux	Points	RMR de base	RMR_{89}	Qualité de la roche
1110/1120	(7)	56	56	Moyenne
	(8)	75	75	Bonne
	(9)	56	56	Moyenne
	(10)	70	70	Bonne
1120/1130	(1)	56	51	Moyenne
	(2)	65	65	Bonne
	(3)	70	65	Bonne
	(4)	70	70	Bonne
	(5)	68	63	Bonne
	(6)	65	65	Bonne
1130/1145	(11)	70	70	Bonne
	(12)	70	65	Bonne
	(13)	65	65	Bonne
	(14)	56	51	Moyenne
	(18)	65	60	Bonne
1145/1160	(15)	70	70	Bonne
	(16)	65	65	Bonne
	(17)	65	60	Bonne

➤ Synthèse et conclusion

D'après l'analyse du paramètre RMR des quatre niveaux de la carrière d'EL MA LABIOD, TEBESSA on peut conclure que le massif rocheux est d'une qualité moyenne a bonne.

V.2.2.1. Estimation des caractéristiques mécaniques des massifs rocheux à partir du RMR

On peut estimer les caractéristiques mécaniques du massif rocheux à partir du RMR

Chapitre V : Classification géomécanique

Tableau V.4. Classe et propriétés globales des massifs rocheux (selon Bieniawski).

Valeur du RMR	81 à 100	61 à 81	41 à 60	21 à 40	0 à 20
Classe	I	II	III	IV	V
Description	Très bon rocher	Bon rocher	Rocher moyen	Rocher médiocre	Rocher très médiocre
Cohésion (KPa)	>400	300 à 400	200 à 300	100 à 200	<100
Angle de frottement interne φ (°)	>45	35 à 45	25 à 35	15 à 25	<15

a- La cohésion

$$C_{eq} \text{ (KPa)} = 5 \text{ RMR, (Bieniawski, 1979)}$$

D'après cette estimation on a déterminé la cohésion qui est résumé dans le tableau ci-dessous :

Chapitre V : Classification géomécanique

Tableau V.5. Les valeurs de la cohésion C.

Points	RMR de base	Cohésion C(KPa)
(1)	56	280
(2)	65	325
(3)	70	350
(4)	70	350
(5)	68	340
(6)	65	325
(7)	56	280
(8)	75	375
(9)	56	280
(10)	70	350
(11)	70	350
(12)	70	350
(13)	65	325
(14)	56	280
(15)	70	350
(16)	65	325
(17)	65	325
(18)	65	325

b- L'angle de frottement

$$\varphi_{eq}(^\circ) = 0,5 \text{ RMR} + 8,3 \pm 7,2, \text{ (Trunck et Hönish, 1989)}$$

Chapitre V : Classification géomécanique

Tableau V.6. Les valeurs de l'angle de frottement.

Point	RMR	L'angle de frottement $\varphi_{eq}(\text{°})$
(1)	56	29,1
(2)	65	33,6
(3)	70	36,1
(4)	70	36,1
(5)	68	35,1
(6)	65	33,6
(7)	56	29,1
(8)	75	38,1
(9)	56	29,1
(10)	70	36,1
(11)	70	36,1
(12)	70	36,1
(13)	65	33,6
(14)	56	29,1
(15)	70	36,1
(16)	65	33,6
(17)	65	33,6
(18)	65	33,6

c- Le module de Young

$$E_{eq} \text{ (GPa)} = 10(\text{RMR}-10)\backslash 40, \text{ (Serafim et Pereira, 1983)}$$

Chapitre V : Classification géomécanique

Tableau V.7. Module de Young.

Point	RMR	Module de Young E_{eq} (GPa)
(1)	56	11,5
(2)	65	13,75
(3)	70	15
(4)	70	15
(5)	68	14,5
(6)	65	13,75
(7)	56	11,5
(8)	75	16,5
(9)	56	11,5
(10)	70	15
(11)	70	15
(12)	70	15
(13)	65	13,75
(14)	56	11,5
(15)	70	15
(16)	65	13,75
(17)	65	13,75
(18)	65	13,75

V.2.4. Système du GSI (Geological Strength Index)

L'estimation de la valeur de GSI se base sur le critère de Hoek et Brown qui s'appuie sur une observation directe de la structure du massif rocheux.

Le GSI se détermine comme suit :

On a $\mathbf{RMR'89} > 23$ donc $\mathbf{GSI} = \mathbf{RMR'89} - 5$

Chapitre V : Classification géomécanique

Tableau V.8. Classification GSI des massifs rocheux carrière EL MA LABIOD.

Niveaux	Points	RMR_{89}	GSI	Description du massif Rocheux
1110/1120	(7)	56	51	Moyenne
	(8)	75	70	Bonne
	(9)	56	51	Moyenne
	(10)	70	65	Bonne
1120/1130	(1)	51	46	Moyenne
	(2)	65	60	Bonne
	(3)	65	60	Bonne
	(4)	70	65	Bonne
	(5)	63	48	Moyenne
	(6)	65	60	Bonne
1130/1145	(11)	70	65	Bonne
	(12)	65	60	Bonne
	(13)	65	60	Bonne
	(14)	51	46	Moyenne
	(18)	60	55	Moyenne
1145/1160	(15)	70	65	Bonne
	(16)	65	60	Bonne
	(17)	60	55	Moyenne

➤ Synthèse et conclusion

D'après l'analyse du paramètre GSI des quatre niveaux de la carrière d'EL MA LABIOD, TEBESSA on peut conclure que le massif rocheux est d'une qualité moyenne à bonne.

V.3. Conclusion

Suivant les résultats que nous avons obtenus d'après les systèmes de classification RQD, RMR et GSI le massif rocheux de la carrière d'EL MA LABIOD, TEBESSA 'ENG' comme cas d'étude est de moyen à bonne qualité.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail de mémoire a été effectué dans le but d'approfondir nos connaissances relatives à l'étude des caractéristiques géotechnique des massifs rocheux cas du carrière 'ENG' El MA LABIOD-TEBESSA comme cas d'étude.

Les recherches bibliographiques nous ont permis de constater que les massifs rocheux sont des structures très complexes. Ils sont assimilés à un assemblage de blocs appelés matrice rocheuse ; les quels sont délimités par des discontinuités constituées de fissures, de fractures ou de failles ou encore de limites stratigraphiques.

On a essayé de définir les différents types des massifs rocheux, les caractéristiques géotechniques du massif rocheux, ainsi que les différentes méthodes de classification geomecanique appropriés.

Le secteur d'étude, objet de ce travail représente un domaine très promoteur en termes de richesse minières notamment les calcaires.

A partir des études effectuées et leurs interprétations les calcaires de la zone d'étude sont divisés en 3 types génétiques :

- Calcaire faiblement marneux gris clair avec présence de fossiles.
- Calcaire blanc grisâtre a teinte crème massif très dur.
- Calcaire de type conglomérats intra-formationelle.

Avec une :

- ✓ Teneurs en eau très faibles ;
- ✓ Masse volumique dense;
- ✓ Porosité moyenne;
- ✓ Calcaire très carbonate;
- ✓ Calcaires de plus de 50% de CaO ;
- ✓ D'une qualité entre assez bon à excellent ;
- ✓ Résistance sous charge ponctuelle très faible ;
- ✓ D'une moyenne à très élevée résistance in situ ;
- ✓ MDE de faible a bonne résistance à l'usure en présence d'eau ;
- ✓ LA de faible à moyenne résistance à la fragmentation par choc.

Conclusion générale

Une synthèse des différentes méthodes de classification géomécanique du massif rocheux en appliquant trois méthodes RQD, RMR et GSI ont été utilisés, ont indiqué que le massif rocheux est de moyenne à bonne qualité.

En fin, d'après les résultats qu'on a us on peut conclure que les granulats issus du massif rocheux de la carrière ENG EL Ma LABIOD-TEBESSA doivent être destinés beaucoup plus pour l'utilisation des routes.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] HAMDAN Ali, 2020 Cours Mécanique des roches- 3^{ème} année Licence Géotechnique.
- [2] BENGHAZI Zied, 2018 Cours Technologie des Géo-matériaux.
- [3] BENMARCE Abdelhakim, Juillet 2019, Mémoire master, Thème: Stabilité des massifs rocheux Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma, Faculté des Sciences et de la Technologie, département de : Génie Civil & Hydraulique, Spécialité : Génie Civil, Option : GEOTECHNIQUE
- [4] https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/46627/filename/AnnexeD-_de_.pdf (13.06.2019).
- [5] Deere, D. U., (1988), «The Rock Quality Designation (RQD) index in practice », In Rock classification systems for engineering purposes, edition Kirkaldie L., Philadelphia p 91- 101.
- [6] HOANG, Thi Thanh Nhan, [2010], « Etude du comportement d'un milieu rocheux fracturé », Thèse doctorat de l'école des ponts Paris Tech.
- [7] Deere, D. U., (1968), « Geological considerations. Rock Mechanics in Engineering Practice » ,R. G. Stagg and D. C. Zienkiewicz. Wiley, New York: pp.1-20.
- [8] Hoek E et Bray J.W., (1981) , « Rock Slope Engineering », Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, pp.341-351.
- [9] Martin, François, [2012], «Mécanique des roches et travaux souterrains », Cachan, huitième édition.
- [10] TAHIRI, Abdelouahed, [1992], « Modélisation des massifs rocheux fissures parla méthode des éléments distincts », Thèse doctorat de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [11] Hamidi M., (1994), « Etude géotechnique de la stabilité des talus dans le quartier de Zerga de la mine d'Ouenza », Mémoires de Magistère. ENP. Alger. p 162 .
- [12] POROKHOVOÏ, Evgueni, [1995], « Stabilité à long terme des talus de mines A ciel ouvert dans les massifs de roches basiques et ultrabasiques », Thèse doctorat de l'école nationale des ponts et chaussées.
- [13] Françoise H et Pierre D., (2000), «Manuel de mécanique des roches. Tome 1», Les presses de l'école des Mines, Paris. 88 p
- [14] Françoise Homand et Pierre Duffaut, [2000],« Manuel de mécanique des roches», Les presses de l'école des Mines Paris.
- [15] DELAGE, P; CUI, Y.J ; 1999. « Comportement mécaniques des sols non saturés » C302; Technique de l'ingénieur, traité construction ; 19 pages.
- [16] DEGOUTTE, G ; ROYET, P ; 2005. « Aide-mémoire de mécanique des sols » ; Réédition ; 99 pages .
- [17] SOUKATCHOFF, V.M ; 2007. « Cours de géotechnique » de l'école nationale

Références bibliographiques

supérieure des mines de Nancy ; 100 pages.

[18] PHILIPPONAT, G ; 1979. « Fondations et ouvrages en terre » ; EditioEyrolles, Paris ; 402 pages.

[19] SAROUT, J ; 2006. « Propriétés physiques et anisotropie des roches argileuses : Modélisation Micromécanique et Expériences Triaxiales ». Thèse de doctorat de l'université Paris XI ORSAY ; 241 pages.

[20] DJEBROU, B; 2007. « traitement du sol par colonne ballastes dans la région de Blida», mémoire de fin d'étude de l'Université SAAD DEHLAB BLIDA ; 102 pages.

[21] LAVASSEUR, M ; 2003. « Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa "glissement de terrain" Exemple d'application au secteur de Ville de La Baie, Québec », Mémoire de maîtrise de l'université du Québec INRS.E.T ; 213 pages.

[22] TERZAGHI, K; PECK, B.R; MESRI, G; 1996.«Soil Mechanics in Engineering Practice»; 3th JOHN WILEY & SONS, INC; 665 pages.

[23] Chalhoub M., [2006], "Apports des méthodes d'homogénéisation numériques a La classification des massifs rocheux fracturées". Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, spécialité géologie de l'ingénieur, p. 39-45.

[24] Cours Mécanique des sols {classification géo-mécanique des massifs rocheux}.

[25] Deere, D. U., [1988], "The Rock Quality Designation (RQD) index in practice»,

In Rock classification systems for engineering purposes, edition Kirkaldie L., Philadelphia p 91-101.

[26] Bieniawski Z.T.,[1989], "Engineering rock mass classifications a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering", New-York, Wiley Interscience, p. 52-56, 58, 59, 73-81.

[27] Barton, N., R. Lien, et al., (1974), « Engineering classification of rock masses for the design of rock support ». Rock Mechanics 6, p.189-236.

[28] Baton N. R.et Choubey V., (1977), « The shear strength of rock joints in theory and practice », edition Rock Mech, pp. 50-54.

[29] Hoek E. et Bray J.W., [1977], "Rock slope engineering", edition Institution of Minery and Metallurgy, p. 5.

[30] Calembert L et al., [1978], "Géologie de l'Ingénieur et Mécanique des Roches", Annales des Travaux Publics de Belgique, p28.

[31] Maciej A., (2012), « Modification des classifications géomécaniques pour les massifs rocheux schisteux », Mémoire de maîtrise des sciences appliquées. Université de Montréal.198 p.

Références bibliographiques

[32] Maciej A, [2012], « Modification des classifications mécaniques pour les massifs rocheuxschisteux », Thèse de maîtrise des sciences appliquées de l'université de Montréal, Spécialité génie minier, 180 pages.