



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 و الجيوتكنولوجيا
Département Mines Et Géotechnologie



MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

Caractérisation géomécanique et modélisation d'un massif
rocheux « Cas de carrière Kef Dhbaa Morsott-
TEBESSA »

Par

Boukhatem Bouthaina

Devant le jury :

MEBROUK Faouzi	Président	MAA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
AMRANI Dounia	Encadreur	MAA	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa
DJELALLI Adel	Examineur	Pr	Université Echahid Cheikh Larbi Tebessi – Tébessa

Année universitaire 2023/2024



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) لو خاتم تبسة الصفة : طالب، أستاذ باحث، باحث دائم : حالية

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 1100103700030003 و الصادرة بتاريخ 2024-03-09
المسجل بمعهد البحر قسم البحر البحر
و المكلف بانجاز أعمال بحث (مذكرة التخرج، مذكرة ماستر، مذكرة ماجستير، أطروحة دكتوراه)، عنوانها :

مذكرة ماجستير : مذكرة التخرج
Caractérisation géométrique et modélisation d'un
massif rocheux « fas de carrière Kef Dhbaa Morott -Tebes

أصرح بشرفي أنني أتزم بمراعاة المعايير العلمية والمنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية
المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه.

التاريخ : 2024/6/6

امضاء المعنى (ة)

B

06 جوان 2024

مجلس الشورى
ويتفق بعضه
هون مكتب لادار
الإقليمية
بوقرة باسين



Année universitaire : 2023/2024

Tébessa le :

Lettre de soutenabilité


Noms et prénoms des étudiants :

1 **Boukhatem Bouthaina** -----
2-----
3-----

Niveau : **2^{em} Année Master** Option : Géotechnique

Thème : Caractérisation géomécanique et modélisation d'un massif rocheux
« Cas de carrière Kef Dhbaa Morsott-TEBESSA »

Nom et prénom de l'encadreur : Amrani Dounia

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
Introduction générale	
<i>Chapitre I</i> : Recherche bibliographique sur les massifs rocheux, les géomatériaux et les méthodes de classification	
<i>Chapitre II</i> : Contexte géologique, hydrogéologique du site d'étude	
<i>Chapitre III</i> : Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott – Tébessa-	
<i>Chapitre IV</i> : Classification Géomécanique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »	
<i>Chapitre V</i> : Modélisation SIG, Surfer	
Conclusion générale et recommandations	



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



مقرر رقم 482 مؤرخ في: 09 جوان 2024

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 ويتم 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 1380 المؤرخ في 09 أوت 2016 و المتضمن تأهيل مؤسسات التعليم العالي لضمان التكوين لنيل شهادة الماستر اختصاص الصيانة جيوتقني بعنوان السنة الجامعية 2024/2023،
- وبموجب المقرر رقم 482 المؤرخ في 09 جوان 2024..... والمتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر،
- وبعد الاطلاع على مقرر تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر المؤرخ في 09 جوان 2024.....
يقرر ما يأتي:
المادة الأولى: يُرخص للطلاب (ة) بوخاتم بثينة ، المولود (ة) بتاريخ 2001/04/23، ببوخضرة -تبسة بمناقشة مذكرة الماستر والموسومة بـ

Caractérisation géomécanique et modélisation d'un massif rocheux
Cas : Carrière Kef Dhbaa Tébessa.

المادة 2: يكلف رئيس قسم المناجم و الجيوتكنولوجيا، بتنفيذ هذا المقرر الذي يسلم نسخة عنه إلى الطالب المعني بالمناقشة وأعضاء لجنة المناقشة فور توقيعه، وبضمان نشره عبر قضاة المؤسسة المادية والرقمية.
المادة 3: تُحفظ نسخة عن هذا المقرر ضمن الملف البيداغوجي للطلاب المعني وينشر في النشرة الرسمية لجامعة العربي التبسي.

حُرر ب تبسة، في: 09 جوان 2024

عن المدير، وبتفويض منه
مدير معهد المناجم

مدير معهد المناجم
د. عولقي تقي الدين



مقرر رقم: 483 مؤرخ في: 09 جوان 2024

يتضمن تعيين لجنة مناقشة مذكرة الماستر

إن مدير جامعة العربي التبسي بتبسة،
بموجب القرار الوزاري رقم 318 و المؤرخ في 05 ماي 2021 المتضمن تعيين السيد "قواسمية عبد الكريم" مديرا لجامعة العربي التبسي - تبسة،
وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم: 12-363 مؤرخ في 8 أكتوبر 2012. يعدل ويتم المرسوم التنفيذي رقم 09-08 المؤرخ في: 04 جانفي 2009 و المتضمن
إنشاء جامعة العربي التبسي بتبسة.
وبمقتضى المرسوم التنفيذي رقم 08-265 المؤرخ في 17 شعبان عام 1429 الموافق 19 غشت سنة 2008 الذي يحدد نظام الدراسات للحصول على شهادة الليسانس
وشهادة الماستر وشهادة الدكتوراه. لاسيما المادة 9 منه.

وبموجب القرار رقم 362 المؤرخ في 09 جوان 2014 الذي يحدد كفاءات إعداد ومناقشة مذكرة الماستر. لاسيما المادتان 10 و 11 منه،
وبموجب القرار رقم 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة تبسة.
وبموجب القرار رقم 375 المؤرخ في 15 جوان 2020 المعدل للحق القرار 1080 المؤرخ في 13 أكتوبر 2015 والمتضمن تأهيل ماستر الفروع ذات تسجيل وطني بجامعة
تبسة. اختصاص جيوتقني

ويعد الإطلاع على محضر المجلس العلمي لمعهد المناجم المؤرخ في: 27 جوان 2024

يقر ما يأتي:

المادة الأولى: تُعَيَّنُ بموجب هذا المقرر لجنة مناقشة مذكرة الماستر المحضرة من طرف الطالب:

بوخاتم بثينة . المولود (ة) بتاريخ 2001/04/23. ببوخضرة - تبسة

والموسومة ب

Caractérisation géomécanique et modélisation d'un massif rocheux
Cas : Carrière Kef Dhbaa Tébessa

والمسجل (ة) بمعهد المناجم

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

رقم	الاسم واللقب	الرتبة	مؤسسة الانتماء	الصفة
1	مبروك فوزي	أستاذ مساعد - أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	رئيسا
2	عمراني دنيا	أستاذ مساعد أ	جامعة العربي التبسي - تبسة	المؤطر
3	عادل جلالي	أستاذ	جامعة العربي التبسي - تبسة	ممتحنا

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

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

حرر ب تبسة، في: 09 جوان 2024

عن المدير، وبتقويض منه

مدير معهد المناجم

مدير معهد المناجم
عبد الوهاب زويبي





UNIVERSITÉ LARBI TEBESSI - TEBESSA



جامعة العربي التبسي-تبسة

معهد المناجم

INSTITUT des Mines

تبسة في: 06/30.04.2020

رقم: 534/ج.ع.ت.م/م.2020

رفع التحفظات

اسم و لقب الأستاذ المناقش: حيلاني معادل
عنوان المذكرة: Caractérisation géomécanique et
Modélisation d'un massif rocheux "Cas de carrière
Kef Dhbaa Morsatt - Tébessa"

الطلبة:

- 1- بنو خاتم بنديطة
- 2-

التخصص: بنو خاتم بنديطة، القسم: الصناعات المعدنية والجيولوجيا

موافق على وضع المذكرة في المكتبة بعد إجراء التصحيح المطلوب

موافق على وضع المذكرة في المكتبة و هي معفية من التصحيح

إمضاء الأستاذ المناقش

حيلاني معادل

اهراء

"بسم خالقي وميسر اموري وعصمت امري، لك كل الحمد والامتنان"
اهدي هذا النجاح لنفسني اولاً ثم لي كل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة
وتمت لي سنداً لا عمر له..

لي من كلكه الله بالهيبه والوقار.. لي من احمده اسمه بكل فخر..
لي من حصده الاشواق عن دبي ليمجد لي طريق العلم بعد فضل الله ما انا فيه يعود
لي - ابي - الرجل الذي سعى طوال حياته لكي نكون افضل منه

- ابي الغالي -

لي ملاكي في الحياة لي معنى الحب و لي معنى الحنان و التفاني..
لي من كان دعاؤها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي
التي كانت لي الام والاخت و الصديقة و اعمى الاول و وجهتي التي اُستمد منها القوة

- امي الحبيبة -

لي مصدر قوتي، الداعمين الساندين، ارضي الصلبة و جداري المتين، لي من راهنوا على نجاحي.. و يذكرني بمدى قوتي و استطاعتي، الذين لا يحبطني
و يؤمنوا بشجاعتني مهما ضعفت و ارتحيت و اقفين خلفي.. مثل ظلا مهما كثرت تحبطني.
لي من بذلوا جهداً في مساعدتي و كانوا عوناً و سنداً لي الشموع التي تدير طريقني

- اخواني -

الله اشكر كلكم ان وفقني لهذه اللحظة فالحمد لله بني العالمين و الصلاة و السلام على نبيه الكريم.

خريجتكم بثينة

Remercîment

Avant tout, je remercie **Dieu** le tout puisse, le miséricordieux, de me avoir données le courage, la force, la santé et la persistance et de me avoir permis de finaliser cette étude dans de meilleurs conditions

Je remercie mon encadreuse **madame Amrani Dounia** pour les efforts qu'elle a déployés, pour m'aider, conseiller, encourager et corriger.

Je voudrais remercier les membres de jury d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie aussi tout le corps enseignant dans le département des mines et géotechnologies qui a contribué à ma formation universitaire.

Je remercie également tous les employés travaillant à la société du SARL SOTRAMA –TEBESSA- pour leur bon traitement et leur assistance, dirigés par M. Nemer moussa, M. Ammar et un merci spécial à la belle Rania pour tous ses conseils, son aide et ses encouragements.

Je remercie aussi mon camarade Aya pour son encouragement Permanent, et son soutiennent.

En fin, Je remercie tous ceux de près ou de loin qu'ont contribué à la réalisation de ce travail.



Résumé



Résumé

Une étude complète a été réalisée pour analyser les caractéristiques géologiques et d'ingénierie de la masse rocheuse dans la pierre de Kef Dhbaa Morsott-TEBESSA. Cette étude visait à la classification géomécanique de la masse de roche en évaluant les caractéristiques structurales telles que les fissures et les partitions, ainsi que les propriétés physiques, mécaniques et chimiques des roches. Des tests de laboratoire et in situ étendus ont également été effectués pour déterminer les caractéristiques géotechniques des roches, y compris la résistance, la dégradation et la densité

Le système d'information géographique (SIG) a également été utilisé pour construire un modèle de masse rocheuse tridimensionnelle et pour analyser ses caractéristiques spatiales. En parallèle, le programme Surfer a été utilisé pour déterminer sa géométrie et ses dimensions, avec une analyse graphique réalisée par la projection stéréoscopique été aussi présentée. Tous les résultats ont ensuite été intégrés dans un modèle pour évaluer le potentiel pour l'exploitation de la masse de roche dans la carrière.

Cette étude a résumé que la masse rocheuse dans la pierre de Kef Dhbaa Morsott-TEBESSA, a des propriétés géomécaniques et géotechniques appropriées pour l'exploitation dans l'industrie des matériaux de construction. La modélisation à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) et la filtration se sont révélées efficaces pour analyser et évaluer les caractéristiques de cette masse rocheuse.

Mots clés : classification géomécanique, caractérisation géotechnique, système d'information géographique SIG, SURFER, projection stéréoscopique.

تلخيص

تم إجراء دراسة شاملة لتحليل الخصائص الجيولوجية والهندسية للكتلة الصخرية في محجر محجر كاف الضبع مرسط-تبسة حيث هدفت هذه الدراسة إلى التصنيف الجيوميكانيكي للكتلة الصخرية من خلال تقييم الخصائص الهيكلية مثل الشقوق والفواصل، إلى جانب الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية للصخور. كما تم إجراء اختبارات مخبرية معملية وموقعية لتحديد الخصائص الجيوتقنية للصخور، بما في ذلك المقاومة والقابلية للتحلل والكثافة.

كما تم استخدام نظام المعلومات الجغرافية (SIG) لبناء نموذج ثلاثي الأبعاد للكتلة الصخرية وتحليل خصائصها المكانية. وبالتوازي تم استخدام برنامج Surfer لتحديد شكلها الهندسي وأبعادها، مع إجراء تحليل رسومي لها كما تم تقديم الإسقاط المجسم. ثم تم دمج جميع النتائج في نموذج متكامل لتقييم إمكانية استغلال الكتلة الصخرية في المحجر.

حيث لخصت هذه الدراسة إلى أن الكتلة الصخرية في محجر محجر كاف الضبع مرسط-تبسة تتمتع بخصائص جيوميكانية وجيوتقنية ملائمة لاستغلالها في صناعة مواد البناء. وقد أثبتت النمذجة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية فعاليتها في تحليل وتقييم خصائص هذه الكتلة الصخرية

الكلمات المفتاحية: التصنيف الجيوميكانيكي، الخصائص الجيوتقنية، نظام المعلومات الجغرافية SIG ، SURFER ، الإسقاط المجسم .

Abstract

A comprehensive study was carried out to analyze the geological and engineering characteristics of the rock mass in the Kef Dhbaa Morsott-TEBESSA open bit this study aimed at the geomechanical classification of rock mass by assessing structural characteristics such as cracks and partitions, as well as the physical, mechanical and chemical characteristics of rocks. Extensive laboratory tests have also been conducted to determine the geotechnical characteristics of rocks, including strength, degradation and density.

The Geographic Information System (GIS) was also used to construct a three-dimensional rock mass model and to analyze its spatial characteristics. In parallel, the Surfer program was used to determine its geometry and dimensions, with a graphical analysis carried out by stereoscopic projection also being presented. All the results were then integrated into an integrated into a model to assess the potential for exploiting the mass rock in the quarry.

This study summarized that the rock mass in the Kef Dhbaa Morsott-TEBESSA open bit has appropriate geomechanical and geotechnical properties for exploitation in the construction materials industry. Modelling using geographic information system (GIS) and filtration have proved to be effective in analyzing and evaluating the characteristics of this rock mass.

Keywords: geomechanical classification, geotechnical characteristics, geographic information system (SIG), SURFER, stereoscopic projection.



Tableaux des matières

Tableaux des matières

Dédicace	
Remerciements	
Résumé.....	I
Tableaux des matières	IV
Liste des figures	XI
Liste des tableaux	XIV
Liste des abréviations	XVIII
Introduction générale.....	2
CHAPITRE I: Généralité sur les massifs rocheux	4
I.1 Introduction.....	5
I.2 Caractérisation du massif rocheux	5
I.2.1 Définition de la roche et du sol :.....	5
I.2.2 Classification géologique des roches	5
I.3 Les massifs rocheux	7
I.3.1 Structure géométrique des massifs rocheux.....	7
I.3.2. Aspect géologique.....	8
I.3.3 Morphologie d'une discontinuité :	10
I.3.4 Influence des discontinuités dans le comportement d'un massif rocheux (Zhao. J, 2008): .	11
I.3.5 Description des discontinuités	12
I.3.6 Types de discontinuités.....	12
I.3.7 Les caractéristiques géométriques des discontinuités.....	15
I.4 Les géomatériaux	22
I.4.1 Les granulats	23
I.4.1.1 Les différents types des granulats	23
I.4.1.1.1 Les granulats naturels :	23
I.4.1.1.2 Les granulats artificiels :.....	24
I.4.1.1.3 Les granulats Recyclées.....	24
I.4.1.2 Classification des granulats.....	25
I.4.1.3 forme des granulats :	26
I.4.1.4 Les caractéristiques principales des granulats	27
I.4.1.4.1 Caractéristiques physiques.....	27
I.4.1.4.1.1 Analyse granulométrique par tamisage [NF- EN-12620]	27
I.4.1.4.1.2 La masse volumique	28

Tableaux des matières

I.4.1.4.1.3 Taux d'absorption d'eau (AB%).....	28
I.4.1.4.1.4 La porosité [P 18-555]	28
I.4.1.4.2 Les Caractéristiques chimiques.....	29
I.4.1.4.2.1 Par la méthode classique	29
I.4.2.4.2.2 Contrôle qualité par rayon X (QCX)	30
I.4.2.4.2.3 Essai au bleu de méthylène [NF P94- 068].....	31
I.4.2.4.3 Les caractéristiques mécaniques	31
I.4.2.4.3.2 Essai los Angeles des gravillons [NF EN 1097-2].....	32
I.5 Méthodes de classifications des massifs rocheux	32
I.5.1 Rock Quality Designation (RQD).....	34
I.5.2 Système RMR (Rock Mass Rating) [9]	35
I.5.3. Le Q –Système	39
I.5.4. Système du GSI (Geological Strength Index).....	42
I.5.4.1. Système GSI modifié (1999)	44
I.5.5 Systèmes du SMR (Slope Mass Rating)	45
I.5.6 Limitation des systèmes de classification	48
I.6 Conclusion	49
CHAPITRE II Contexte géologique, hydrogéologique du site d'étude.....	50
II.1 Introduction	51
II .2. Contexte géographique	51
II.2.1 Localisation	51
II.2.2 Géographie.....	52
II.3. Contexte géologique	52
II.4. La géomorphologie.....	53
II.4.1. Les monts septentrionaux	53
II.4.2. Les monts méridionaux	53
II.5. Description lithologique	54
II.6. La stratigraphie	54
II.6.1. Trias	56
II.6.2. Crétacé	56
II.6.2.1. Aptien	56
II.6.2.2. Zone de Clansayes	56
II.6.2.3. Albien et Vraconien.....	56

Tableaux des matières

II.6.2.4. Cénomanién	56
II.6.2.4.1. Cénomanién inférieur	56
II.6.2.4.2. Cénomanién moyen	57
II.6.2.4.3. Cénomanién supérieur	57
II.6.2.5. Turonien	57
II.6.2.6. Emschérien (Santonien et Coniacien)	57
II.6.2.7. Campanien	57
II.6.2.8. Maestrichtien	57
II.6.3. Paléogène	57
II.6.3.1. Eocène inférieur et crétacé supérieur (Dano-montien et Maestrichtien supérieur)	57
II.6.3.2. Eocène inférieur (Thanésien)	58
II.6.3.3. Eocène moyen et inférieur (lutétien inférieur, et yprésien)	58
II.6.4. Néogène	58
II.6.4.1. Miocène	58
II.6.4.1.1. Miocène moyen et inférieur (Vindobonien et Burdigalien)	588
II.6.4.1.2. Miocène supérieur (pontien)	58
II.6.4.2. Pliocène	58
II.6.5. Quaternaires	58
II.6.5.1. plio-quaternaire (Vila franchien)	58
II.6.5.2. Cailloutis du Dj.Djebissa	59
II.6.5.3. Matériel d'épandage ancien	59
II.6.5.4. Matériel d'épandage ancien en terrasse	59
II.6.5.5. Alluvions anciennes de piedmont	59
II.6.5.6. Croute calcaire	59
II.6.5.7. Alluvions anciennes	60
II.6.5.8. Limons récents	60
II.6.5.9. Alluvions actuelles:	60
II.6.5.10. Travertins T	60
II.6.5.11. Eboulis actuels A	60
II.7. Tectonique	62
II.8. Les effondrements	63
II.8.1. La branche méridionale	63
II.8.2. La branche septentrionale	63

Tableaux des matières

II.9. Les plissements.....	64
II.10. La morpho-structure	64
II.10.1 Relief	64
II.10.2. Massifs montagneux	64
II.10.3. Les éboulis :.....	64
II.10.4. Les glacis	65
II. 11 Le contexte hydrogéologique de la région d'étude	65
II.12 Conclusion.....	68
CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa ».....	69
III.1 Introduction	70
III.2 Détermination des propriétés physiques du massif rocheux	70
III.2.1. La masse volumique :.....	70
III.2.1.1 La masse volumique apparente	70
III.2.1.2 La masse volumique réelle [NA 255-2018]	71
III .2.2 Le poids volumique.....	74
III.2.3 Taux d'absorption d'eau (AB%).....	74
III.2.4 La porosité.....	76
III.3 Détermination des propriétés chimiques du massif rocheux.....	77
III.3.1 Laboratoire analytique.....	77
III.3.1.1Attaque par acide perchlorique	77
III.3.1.2 Dosage pour la détermination des oxydes.....	79
III.3.1.3 Dosage de la silice (SiO ₂).....	80
III.3.1.4 Dosage de l'oxyde ferrique (Fe ₂ O ₃).....	80
III.3.1.5-Dosage d'alumine (Al ₂ O ₃).....	81
III.3.1.6 Dosage de la chaux (CaO).....	82
III.3.1.7 Dosage de magnésie (MgO).....	82
III.3.2 Contrôle qualité par rayon X (XRF)	83
III.3.3 Essai au bleu de méthylène [NF P94- 068]	88
III.4 Détermination des essais mécaniques	90
III.4.1 Essai Micro-Deval Résistance à l'abrasion [NF EN 1097-1]	90
III.4.2 Essai Los Angeles des Gravillons [NF EN 1097-2].....	93
III.4.3 Essai ultrasons	98

Tableaux des matières

III.4.4 Essai résistance à la compression par scléromètre	100
III.4.5 Résistance en compression [NF P94-420]	103
III.5 Conclusion.....	105
CHAPITRE IV : Classification Géomécanique des massifs rocheux ‘ Kef Dhbaa Morsot entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’	106
IV.1 Introduction.....	107
IV.2 Classification Géomécanique des massifs rocheux	107
IV.2.1 Système du RQD (Rock Quality Designation)	108
IV.2.2.1 Mesure de l’orientation des discontinuités.....	109
IV.2.3 Système du GSI (Geological Strength Index).....	116
IV.2.4. Q Système	117
IV.2.5 Systèmes du SMR (Slope Mass Rating)	119
IV.3. Projection stéréographique.....	121
IV.4 Projection stéréographique des discontinuités du massif rocheux de la carrière KEF DHBAA MORSOT – TEBESSA-	123
IV.4.1. Application au cas d’étude	124
IV.5 Conclusion	126
CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer	127
V.1 Introduction	128
V.2- Les Systèmes D’informations Géographiques	128
V.2.1 Définition.....	128
V.4. Données géographiques.....	130
V.4.1 Système de coordonnéesO.....	130
V.4.2 Projection de la carte	130
V.4.2.1 Échelle	130
V.4. 3.Mode Raster	130
V.4.4 Mode vecteur.....	131
V.4.5 Modèle numérique de terrain (MNT)	132
V.4.6 DEM (Digital Élévation Model).....	132
V.4.7 Rôles de SIG.....	132
V.5. Le SIG et la Géologie.....	133
V.5.1 Construction du SIG géologique	133
V.6 Utilités d’un SIG	133

Tableaux des matières

V. 7 Domaines d'application d'un SIG	134
V.8 présentation du logiciel ArcGIS	134
V.9 Fonctionnement d'un SIG sous ArcGIS.....	134
V.9.1 Couches	134
V.9.2 Références géographiques	135
V.9.3 Présentation de l'interface ArcMap.....	135
V.9.4 ArcCatalog est principalement utilisé pour les taches suivantes.....	135
V.9.5. Présentation de l'interface ArcToolBox.....	135
V.9.6 Le document MXD.....	136
V.9.7 Arc Scene	136
V.10 Les Avantages d'un ArcGIS.....	136
V.11 Interprétation des résultats.....	137
V.11.1 Créations des cartes à l'aide d'ArcGis	137
V.12 Golden software surfer	141
V.12.1 Présentation du programme.....	141
V.12.2 L'objectif d'utilisation du programme	142
V.13 Cartographie géotechnique de la carrière de Kef Dhbaa Morsott –Tebessa-.....	143
V.13.1 Modélisation des cartes à l'aide de Surfer.....	143
V.13.1.1 Carte de contour (Contour map).....	143
V.13.1.2 Carte en relief en couleurs (Relief map color)	143
V.13.1.3 Carte des valeurs de grille (Grid values map)	144
V.13.1.4 Carte des vecteurs de grille (Grid vectors map)	145
V.13.1.5 Carrière de Kef Dhbaa Morsott en surface 3D.....	145
V.13.1.6 Carte postale (Post map).....	146
V.13.1.7 Carte d'élévation	146
V.14 Analyses graphique à partir des données géotechniques.....	147
V.15 Analyses graphique à partir de la classification géomécanique d'un massif rocheux « carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa ».....	157
V.16 Conclusion.....	161
Conclusion générale	162
Référence bibliographique	165

Liste des figures

LIST DES FIGURES	
CHAPITRE I	
TITRE	NP
I.1 Roche plutonique (Benmarce Abdelhakim, 2019)	06
I.2 Roche volcanique (Benmarce Abdelhakim, 2019)	06
I.3 Les principales phases de formation des roches sédimentaires	06
I.4 Roche Métamorphisme régional. (Benmarce Abdelhakim, 2019)	07
I.5 Structure géométrique du massif rocheux de calcaire	08
I.6 Différentes structures géométriques des massifs rocheux fracturés.	09
I.7 Types de structures des massifs rocheux avec les représentations statistiques correspondantes	10
I.8 Caractéristiques des discontinuités dans un massif rocheux.	11
I.9 Diaclases	13
I.10 Failles	13
I. 11 Stratification	14
I.12 Plans de schistosité	14
I.13 Les plis	15
I.14 Les joins sédimentaire	15
I.15 Orientation d'un plan de discontinuité	16
I.16 L'extension.	16
I.17 Mesure de l'espace	17
I.18 Mesure de la fréquence des discontinuités	18
I.19 Profils de référence et chiffres-clés pour la détermination du coefficient de Rugosité du joint (JRC)	19
I.20 Persistance de différents ensembles de fractures	19
I.21 Fissure ouverte et remplie (Schroeder, 2010).	20
I.22 Epaisseur déformable d'un joint Matériau remplissant totalement ou partiellement la discontinuité (nature et épaisseur).	21
I.23 les deux familles de granulats	24
I.24 Schéma d'installation de production de granulats recyclés	25
I.25 forme granulats	26
I.26 Série de tamis avec machine vibrante	28
I.27Appareillage micro deval	32
I.28 appareillage de Los Angeles.	32
I.29 Un caisse la carotte de calcaire	34
I.30. Estimation du GSI à partir d'une description géologique de la masse rocheuse	43
I.31. Estimation du GSI modifié à partir d'une description géologique de la masse rocheuse	45
I.32. Orientation d'une pente de type plane	46
CHAPITRE II	
II.1 Localisation géographique de région (photo satellitaire)	52
II.2 Carte géologique de la région de Morsott	55
II.3 Log synthétique des monts du Mellègue	62
II.4 Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500000, montre le fossé de Morsott et de Tébessa	63
CHAPITRE III	
III.1 Préparation des échantillons	70
III.2 Préparation des échantillons	72
III.3les échantillons représentatifs	75
III.4 les masses sèches des échantillons	75
III.5 placer les échantillons dans l'eau après les de l'eau et bien les avoir séchés	75

Liste des figures

III.6 pesage des échantillons avoir retirés Pendant 24 heures	75
III.7 Préparation les échantillons	78
III.8 Mode opératoire d'attaque par acide perchlorique.	79
III.9 Creuset taré.	80
III.10 Creuset dans le four	80
III.11 Dessiccateur	80
III.12 Mode opératoire du dosage de l'oxyde ferrique.	81
III.13 Dosage d'alumine	82
III.14 placé les échantillons au four.	84
III.15 Ajouter (04) gouttes de TEA à 20 g de matière.	84
III.16 Placage le récipient dans le broyeur	85
III.17 Peser 08 grammes de matériaux broyés.	85
III.18 L'emplacement de la pastille dans la pastilleuse et recouverte de matière broyée.	85
III.19 Retirage de la pastille, nettoyage de la surface de pastille	86
III.20 Placage de la pastille dans le porte échantillon de l'analyse fluorescente X (PW 1660).	86
III.21 Masse humide des prises d'essai	88
III.22 Essai au bleu de méthylène	89
III.23 Essai du bleu de méthylène sur le papier filtre.	89
III.24 Appareillage Micro Deval	90
III.25 a Préparation les échantillons de Micro- Deval	92
III.25 b Préparation l'échantillon de Los Angeles.	93
III.26 Appareillage Los Angeles.	94
III.27 Graphique de nuage de points représente les valeurs de MDE.	97
IV.28 Graphique de nuage de points représente les valeurs de LA	97
III.29 Graphique de nuage de pointes correspondant LA en fonction de MDE.	98
III.30 Étude à l'ultrason.	98
III.31 Mesure la résistance par scléromètre.	100
III.32 Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter.	100
III.33 Schmidt Hammer Test JCS estimation chart showing correlation between Schmidt hammer rebound number, hammer orientation, UCS and rock density	101
III.34 Préparation des échantillonnages en utilisant la carotteuse.	103
III.35 Dispositif expérimental	103
III.36 Eprovette de Calcaire (cylindrique)	103
CHAPITRE IV	
IV.1 le levis topographique sur autoucade	107
IV.2 Photos de la mesure RQD	108
IV.3 Photos de la mesure RQD de calcaire	108
VI.4 Mesure de l'orientation de discontinuités (pendage et direction pendage)	110
IV.5 Mesures d'espacement entre discontinuités insitu.	110
IV.6 Principe de travail stéréographique.	122
IV.7 Montrant les conditions (1) et (2).	123
IV.8 Montrant la zone instable par la projection stéréographique.	123
IV.9 Représentation stéréographique des 16 points carrière de Kef Dhbaa morsot –Tebessa-	124
IV.10 Représentation stéréographique des familles de discontinuités 16 points de KEF DHBAA MORSOT –TEBESSA-	124
IV.11 Familles avec représentation par points	126
CHAPITRE V	
V.1 La définition générale d'un système d'information géographique	128
V.2 Les différentes composantes d'un SIG	129
V.3 Exemple de données rasters.	131

Liste des figures

V.4 Exemples de données vectorielles.	132
V.5 Présentation de la carte de la pente (DEM généré par SRTM)	137
V.6 Présentation de la carte de la pente de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa.	138
V.7. Présentation de la carte de plan situation de la zone d'étude (la carrière Kef Dhbaa Morsott-tebessa)	139
V.8 Présentation de la carte de plan de situation de la zone d'étude sur l'orthophoto.	139
V.9 Présentation de la carte de plan de situation de la zone d'étude Kef Dhbaa Morsott-Tebessa sur un fond topo	140
V.10 Présente la localisation de la carrière kef Dhbaa sur la carte géologie de la région Morsott à l'échelle 1/50000.	140
V.11 Présentation de la localisation de la carrière Kef Dhbaa Morsott sur la carte géologie de la région Tébéssa à l'échelle 1/500000	141
V.12 Carte de contour de la carrière de Kef Dhbaa Morsott –Tebessa-	143
V.13 Carte en relief en couleur de la carrière Kef Dhbaa Morsott –Tebessa-	144
V.14 Carte des valeurs de grille de la carrière Kef Dhbaa Morsot-Tebessa-	144
V.15 Carte vectorielle de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa-	145
V.16 Surface 3D de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa-	145
V.17 Carte postale	146
V.18 Carte d'élévation de la carrière Kef Dhbaa Morsott-Tebessa-	146
V.19 Représentation de la distribution de la masse volumique apparente.	147
V.20 Représentation de la distribution de la masse volumique réelle	148
V.21 Représentation de la distribution de taux d'absorption d'eau (AB%)	148
V.22 Représentation de la distribution de la porosité n%	149
V.23 Représente la distribution de SiO₂	150
V.24 Représentation de la distribution d' Al₂O	150
V.25 Représentation de la distribution de Fe₂O	151
V.26 Représentation de la distribution de CaO	152
V.27 Représente la distribution de MgO	152
V.28 Représentation de la distribution de K₂O	153
V.29 Représentation de la distribution de CL	154
V.30 Représentation de la distribution de VBS	154
V.31 Représentation de la distribution de MDE	155
V.32 Représentation de le distribution de LA%	155
V.33 Représentation de la distribution de l'Essai ultrasons V (m / s)	156
V.34 Représentation de la distribution de l'Essai résistance à la compression par scléromètre Rc (MPa)	157
V.35 Représentation de la distribution de Système du RQD (Rock Quality Designation)	158
V.36 Représentation de la distribution de Système RMR (Rock Mass Rating)	158
V.37 Représentation de la distribution de Système du GSI (Geological Strength Index)	159
V.38 Représentation de la distribution de Q Système (Rock Massif Quality)	160
V.39 Représentation de la Systèmes du SMR (Slope Mass Rating)	160

Liste des tableaux

LIST DES TABLEAUX	
TITRE	NP
CHAPITRE I	
I.1 Description de l'espace des discontinuités	17
I.2 Classification des discontinuités selon leur extension	20
I.3 Description des discontinuités selon la mesure des ouvertures (Zhao. J, 2008)	21
I.4 -Systèmes de classification des massifs rocheux (Bieniawski, 1993; Palmström, 1995).	33
I.5 Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux	35
I.6 Classification RMR (Bieniawski, 1989).	36
I.7 Valeur du paramètre de réduction A6 selon l'orientation du tunnel par rapport à l'indication du pendage, (Bieniawski, 1989)	37
I.8 Note d'ajustement pour l'orientation des joints	37
I.9 Qualité du massif rocheux selon le RMR (Bieniawski, 1976).	38
I.10 Relations entre RMR sec et la résistance à la compression simple (Stille et al. 1982).	38
I.11 Évaluation de la cote Q et de la qualité du massif.	40
I.12 Valeur des différents paramètres de la classification Q-Système (D'après Barton et al, 1974)	41
I.13 Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI,	42
I.14 Notes des paramètres du SMR (Romana, 1985).	47
I.15 Les différentes classe de stabilité par la valeur du SMR	48
CHAPITRE II	
II.1 Classification hydrogéologique simplifiée de quelques formations géologiques de la région d'étude (Abdeslam. Ilham thèse doctorat).	66
CHAPITRE III	
III.1 présente les valeurs des masses volumiques apparentes	71
III.2 Présente les valeurs de la masse volumique réelle (absolue)	73
III.3 Les valeurs des poids volumiques.	74
III.4 Les valeurs de coefficient d'absorption.	76
III.5 Les valeurs de la porosité.	77
III.6 présente les valeurs des caractéristiques chimiques par la méthode classique	83
III.7 Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.	87
III.8 Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.	87
III.9 Classe des sols en fonction du VBS.	89
III.10 Résultats d'essai au bleu de méthylène	90
III.11 Appréciation des résultats de l'essai Micro Deval (NF P18-572, 1990).	92
III.12 Les valeurs des micros deval des échantillons.	93

Liste des tableaux

III.13 Tableau de référence des valeurs de Los Angeles (NF P 18-573, 1990)	95
III.14 Les valeurs des micros deval des échantillons.	95
III.15 Les normes routières.	96
III.16 Les normes béton.	96
III.17 Qualité de la roche à partir de la vitesse du son.	99
III.18 Présente la mesure du temps de propagation du son, à partir de temps mesuré	99
III.19 Classification selon la résistance à la compression simple (AFNOR XP P 94-10).	101
III.20 Les valeurs de résistance à la compression (Scléromètre).	102
III.21 La résistance à la compression	104
III.22 Classification des roches en fonction de la résistance à la compression	104
CHAPITRE IV	
IV.1 Les valeurs RQD des différents niveaux (16 point) .	109
IV.2 Classification RMR de Calcaire.	111
IV.3 Les valeurs RMR des différents niveaux (16 point) .	112
IV.4 Classification et caractéristiques globales des massifs rocheux (selon Bieniawski).	113
IV.5 Les valeurs de la cohésion C.	114
IV.6 Les valeurs de l'angle de frottement φ_{eq} .	115
IV.7 Module de Young E_{eq} .	116
IV.8 Les valeurs GSI des différents niveaux (16 point) .	117
IV.9 Classification Qsys de Calcaire.	118
IV.10 Les valeurs Qsys des différents niveaux (16 point) .	118
IV.11 Exemple de mesure de SMR	119
IV.12 les paramètres géométriques (pendage, direction de pendage) des joints et du talus (16points) .	120
IV.13 Les valeurs SMR des différents niveaux (16 point) .	121
IV.14 Représentation par points des Familles de discontinuités avec les points réels.	125

Liste des abréviations

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 Quality index

GSI: Geological Strength Index.

SMR: Slope Mass Rating.

SACSIR: South African Council of Scientific and Industrial Research.

NGI : Norwegian Géotechnique Institute.

SRF : Stress Réduction Factor.

C.F.M.R : Comité français de mécanique des roches

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

(s) : Direction.

(d) : Pendage.

A1 : Résistance en compression uniaxiale de la roche intacte.

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.

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.

F1, F2, F3: Sont des facteurs d'ajustement liés à joint orientation par rapport à l'orientation des pentes.

F4 : Facteur de correction.

αs : Direction des pendages du talus

αj : Direction des pendages des joints

βs : Pendage du talus

βj : Pendage du joint

W : La teneur en eau

E : Module de Young [KN /m²].

M h : La masse naturelle.

M s : La masse de matériau sec.

Liste des abréviations

ρh : La masse volumique naturelle.

ρd : La masse volumique sèche.

$\rho\omega$: Masse volumique de l'eau égale à 1.

ρsat : La masse volumique saturée

ρs : La masse volumique des particules solides.

$V t$: Le volume de l'échantillon.

Vv : Volume des vides.

Vw : Volume de l'eau dans l'échantillon.

Mr : Masse de conteneur.

Vr : Volume de conteneur.

M : Masse de conteneur +échantillon.

$M1$: Poids de pycnomètre.

$M2$: Poids pycnomètre+ matériaux.

$M3$: Poids de pycnomètre +EAU + matériaux.

$M4$: Poids du pycnomètre +eau.

$M5$: Poids de l'échantillon.

$M6$: Volume du pycnomètre

$M7$: Volume de l'eau

$M8$: Volume de l'échantillon

Ms : Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 C°.

Ma : Masse de l'échantillon imbibé.

MVA : Masse volumique Apparente [g/ cm^3].

MVR : La masse volumique réelle [g/ cm^3].

ABS : Coefficient d'absorption d'eau.

e : Indice de vides.

n : Porosité .

γ : Est le poids volumique du matériau.

ρ : Est la masse volumique du matériau.

g : Est l'accélération de la gravité.

VBS : Valeur au bleu de méthylène.

MDE : Coefficient micro-deval.

LA : Coefficient Los Angeles.

Liste des abréviations

R c : La résistance en compression uni axiale.

L : Longueur que séparent les deux appuis.

F : Effort (charge) maximale atteinte.

D : Diamètre de l'éprouvette.

H : Hauteur d'éprouvette.

S : La surface de la section de l'éprouvette sur laquelle on applique l'effort F.

RC : La résistance à la compression.

ArcGis : Système d'information géographique.



Introduction générale

La caractérisation géomécanique qui se résume dans la caractérisation géotechnique et la classification géomécanique des massifs rocheux jouent un rôle essentiel dans la compréhension et la prévision de leur comportement dans différentes conditions environnementales et mécaniques. Ces études sont particulièrement utiles pour des projets d'ingénierie tels que la création de tunnels, de barrages et d'autres infrastructures qui interagissent directement avec les roches (carriers, mines ...). Dans le cadre particulier du massif rocheux, l'emploi de systèmes d'information géographique (SIG) comme ArcGIS et de programme de modélisation comme Surfer permet d'analyser et de visualiser de manière approfondie les données géotechniques et géomécaniques. Les roches et les massifs rocheux sont composés de matériaux considérés comme des éléments fondamentaux qui peuvent être endommagés ou non par des discontinuités. La recherche sur les massifs rocheux repose sur la description de la roche saine, ainsi que sur la description des discontinuités et leurs classifications.

La région de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa, opérée par l'entreprise SARL SOTRAMA dans la wilaya de TEBESSA, présente de grandes opportunités minières et géologiques. Ces propriétés se manifestent par des éléments non métalliques qui se divisent en minéraux industriels pour l'industrie et en minéraux industriels pour les matériaux de construction. Cette recherche vise à examiner le massif rocheux (Carrière de kef Dbaa Morsott-TEBESSA). L'analyse géotechnique et la classification géomécanique, ainsi que l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG) tels qu'ArcGIS et de programme de modélisation tels que Surfer, permettent une analyse approfondie et une visualisation spécifique des données géotechniques et géomécaniques. Tandis que, une analyse graphique réalisée par la projection stéréoscopique est présentée.

Mon but de cette étude est de caractériser géomécaniquement un massif rocheux avec une modélisation par le programme Surfer et l'emploi de systèmes d'information géographique (SIG) ArcGIS, le travail a été fait :

- **Introduction générale**
- **Le premier chapitre** s'articule sur une étude bibliographique concernant les massifs rocheux, différents systèmes de classification et ainsi que les géomatériaux.
- **Le deuxième chapitre** est réservé pour le contexte géologique et hydrogéologique du site d'étude.
- **Le troisième chapitre** consiste à la caractérisation géotechnique des formations rocheuses des différents massifs du Carrière kef Dhbaa Morsott wilaya de Tebessa comme cas d'étude.
- **Quatrième chapitre** sur la classification géomécanique des massifs rocheux de kef Dhbaa

Morsott –Tebessa avec une analyse graphique réalisée par la projection stéréoscopique.

- **Cinquième chapitre** comprend une modélisation par programme de Surfer ainsi que systèmes d'information géographique (SIG) ArcGIS et suivi d'une **Conclusion générale**.



CHAPITRE I: Généralité sur les massifs rocheux



I.1 Introduction

Il est crucial de comprendre la diversité des roches et leur comportement géologique en utilisant des méthodes de classification des massifs rocheux et des géomatériaux. Grâce à ces techniques, il est possible de classer les roches en différentes catégories en fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques. Plusieurs méthodes sont utilisées pour classer les massifs rocheux. En premier lieu, l'analyse géotechnique examine les propriétés mécaniques des roches, comme leur résistance, leur solidité, leur porosité et leur déformation. Cela revêt une importance capitale pour les projets de génie civil, les travaux de construction et la planification des fouilles. La classification pétrographique s'attache ensuite à l'étude des propriétés minéralogiques des roches. Grâce à cette approche, il est possible de repérer les minéraux qui composent les roches et de saisir leur structure, leur texture et leur composition chimique. Son utilité réside dans l'étude de l'origine et de l'évolution des roches, ainsi que dans l'exploration des minéraux.

I.2 Caractérisation du massif rocheux

I.2.1 Définition de la roche et du sol :

A • Roches : Les roches sont des **géomatériaux** caractérisés par une cohésion ($C \neq 0$) et une résistance à la compression simple supérieure à 10 MPa.

B • Sols : Géomatériaux : Substances pulvérulentes ou cohésives qui présentent une résistance minime ou nulle à la compression. La cohésion diminue lorsqu'on est isolé. La ligne directrice générale est de classer les sols trouvés en profondeur comme des roches, tandis que ceux trouvés en surface sont appelés sols [1]

I.2.2 Classification géologique des roches

Les roches sont réparties en trois catégories principales en fonction de leur composition, de leur origine ou de la façon dont elles se forment.

- **Roches Magmatiques (roches ignées) :** Les roches magmatiques, également appelées roches ignées, englobent les roches intrusives et les roches extrusives

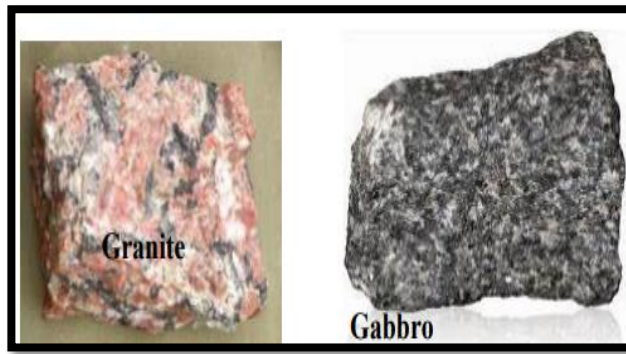


Figure I.1 Roche plutonique [2]

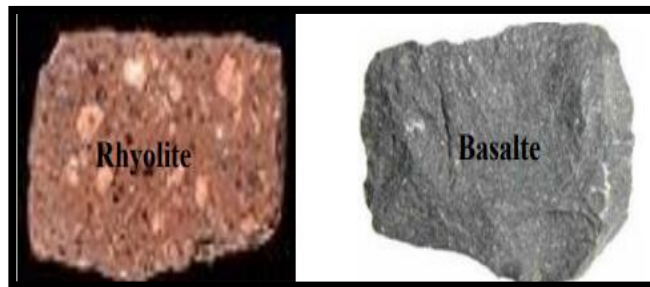


Figure I.2 Roche volcanique [2]

- **Les roches sédimentaires** : Constituant 75 % des affleurements, elles sont le résultat de l'accumulation et/ou de la précipitation en solution de débris, de fragments de roche ou de coquille, produisant respectivement des roches clastiques, biologiques et physicochimiques. L'étude des conditions et des processus de dépôt relève de la sédimentologie ; des études logiques des sédiments peuvent être nécessaires pour expliquer certaines propriétés des roches (par exemple, l'anisotropie, l'hétérogénéité). Les roches sédimentaires se présentent dans des strates produites par des sédiments successifs, et leur aspect actuel est le résultat de la diagenèse, c'est-à-dire de la transformation de sédiments meubles en roches plus ou moins visqueuses. [3]

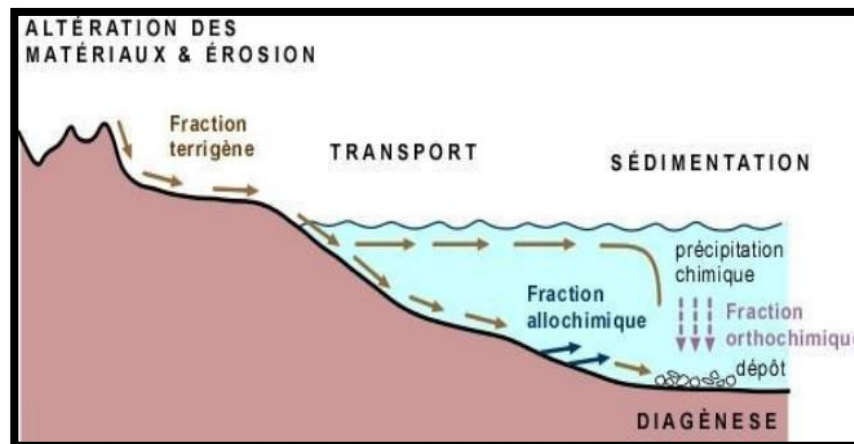


Figure I.3. Les principales phases de formation des roches sédimentaires [3]

- **Les roches métamorphiques** : Les roches métamorphiques sont le résultat de transformations de roches ignées ou sédimentaires sous l'action de températures et/ou de

pressions élevées

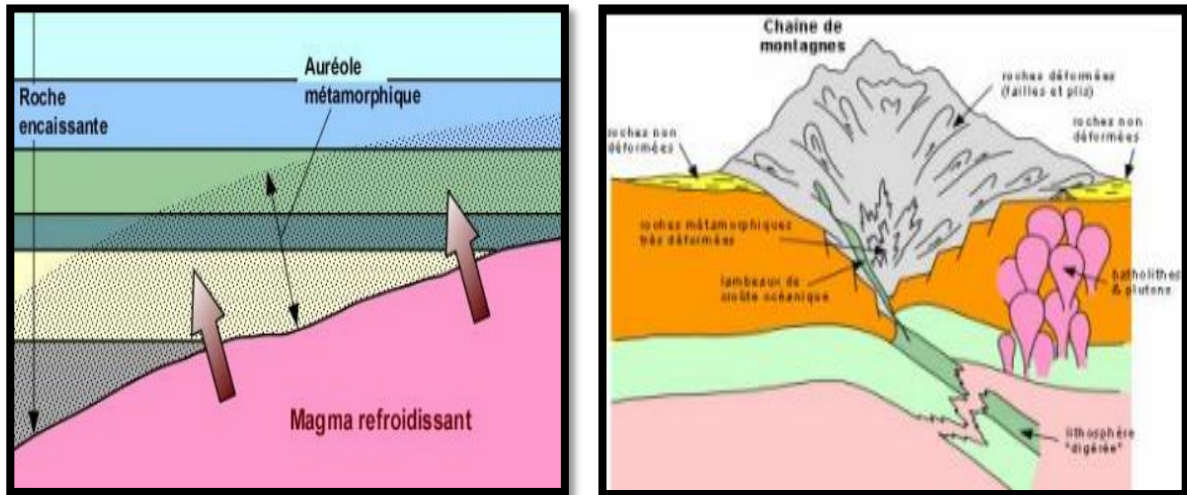


Figure I.4 Roche Métamorphisme régional. (Benmarce Abdelhakim, 2019) [2]

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 [2].

I .3.1 Structure géométrique des massifs rocheux

Les masses rocheuses sont composées de juxtapositions de matériaux hétérogènes et présentent des structures très complexes. Ils ont été assimilés à un ensemble de blocs appelés matrice rocheuse qui sont définis par des discontinuités constituées de fissures, de fractures ou de failles, voire de limites stratigraphiques. [4]



Figure. I.5 Structure géométrique du massif rocheux de calcaire (carrière Kef Dhbaa Morsot)

Les propriétés mécaniques du massif rocheux sont le facteur décisif pour déterminer la taille du projet. Afin de comprendre, expliquer et modéliser ce comportement, il est nécessaire de connaître la géométrie des fractures ou un modèle de répartition géométrique plus précis, ainsi que les propriétés mécaniques de chaque composant (matrice rocheuse et discontinuités). [5]

I.3.2. Aspect géologique

Pour étudier le comportement mécanique ou hydraulique d'un massif rocheux, il est nécessaire de connaître l'étendue de ses fractures et la répartition des discontinuités dans l'espace. Les mesures sur le terrain permettent une définition statistique de diverses discontinuités et de leurs paramètres. Toutes les discontinuités dans les massifs rocheux sont le résultat de la superposition de différentes familles. Chaque famille peut avoir des modèles de distribution et des caractéristiques statistiques différents. Ainsi, pour ajuster la loi de répartition d'une famille, il faut distinguer cette famille parmi toutes les discontinuités. La méthode de classification classique est la projection sphérique [5]

Les principaux objectifs des études de géométrie des discontinuités sont de déterminer :

- S'ils peuvent être divisés en familles (direction à proximité)
- Si le massif rocheux est structuré en blocs (continuité et connectivité importantes).

La première classification des discontinuités observées sur le terrain consiste à les répartir en une population homogène d'un point de vue structural. Il est donc nécessaire d'indiquer clairement la nature géologique et structurale de tous les éléments structuraux. De nombreux

auteurs ont tenté de classer les géométries des masses rocheuses en catégories Claires. La figure I.6 illustre une série de corps rocheux cités par Palmström [1995]. On distingue les parcelles à blocs polyédriques, équidimensionnels, prismatiques ou colonnaires, les parcelles à couches minces dont l'épaisseur est inférieure à leur longueur, et les parcelles contenant plusieurs familles de fracture.

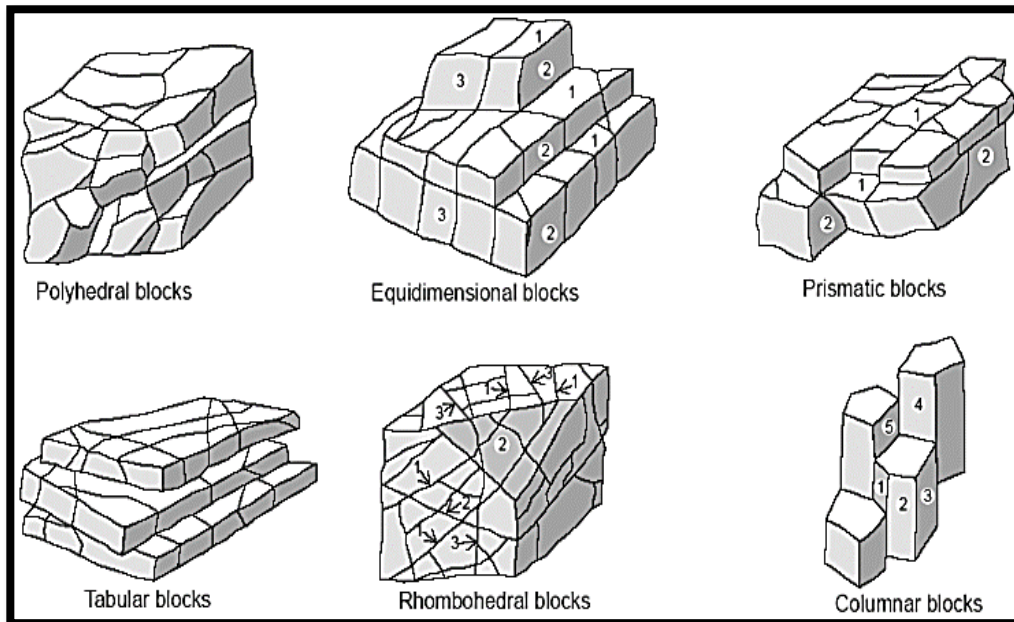


Figure. I.6 Différentes structures géométriques des massifs rocheux fracturés. [4]

- Le Rock Mechanics Manual (CFMR-MMR [2000]) conforte en ce sens les différents types de définitions déjà citées ci-dessous.

Parmi plusieurs variantes plus complexes mais moins importantes, les trois principaux modèles géométriques sont présentés sur la figure (Fig. I.6). Formés de blocs parallélépipédiques (Fig.I.7a), de nombreux granites et calcaires massifs présentent trois types de fractures triangulaires. Toutes les coutures sont continues. Pour calculer les propriétés mécaniques de cette masse, une solution analytique peut être utilisée. Cependant, il est important de noter que cette géométrie semble très idéalisée.

- Le schéma de la figure (I.7b) représente un massif aux caractéristiques sédimentaires dans lequel une direction est plus importante et les joints verticaux sont moins continus.

Cette définition peut correspondre à des grès et des marnes avec une alternance de couches de calcaire, de marnes et de calcaire, formations dites flysch ou schistes. L'observation montre que l'espacement entre les bandes est généralement égal ou égal à la moitié de la taille de la couture.

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

Ces types de montagnes sont très courants mais défient un traitement analytique simple ; l'utilisation de méthodes d'homogénéisation numérique nous semble très pertinente. D'un point de vue géométrique, la structure de ces parcelles est définie par un nombre limité de paramètres, que nous précisons dans le paragraphe suivant. Les roches écrasées telles que les schistes et les brèches de faille, fréquemment présentes dans des zones tectoniques, ont une direction d'anisotropie largement répandue. Dans ce genre de massif (Fig. I.7-c), il est difficile de déterminer précisément le nombre de familles de fractures. Cependant, des techniques empiriques approximatives offrent la possibilité de calculer leurs caractéristiques mécaniques.

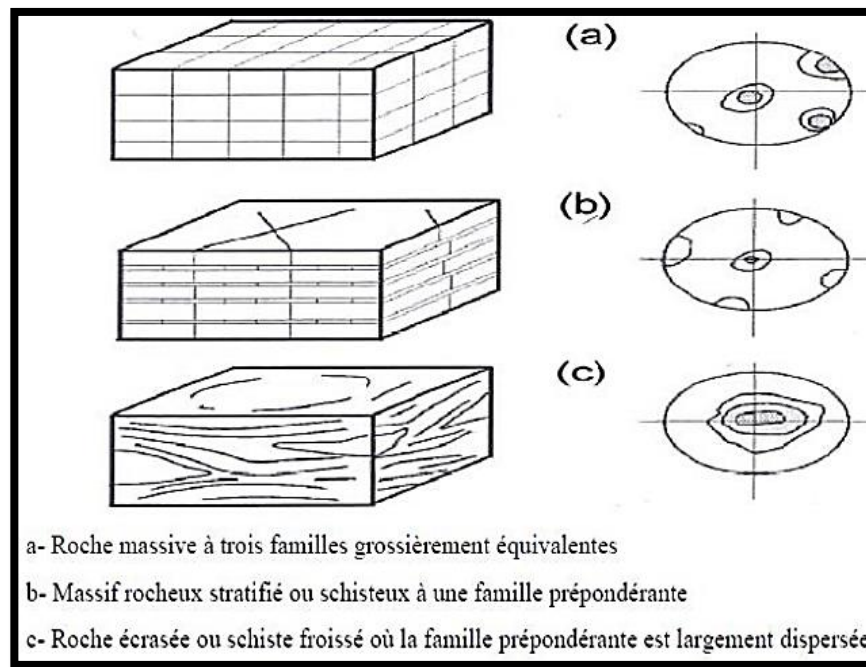


Figure I.7 Types de structures des massifs rocheux avec les représentations statistiques correspondantes. [5]

I.3.3 Morphologie d'une discontinuité :

Plusieurs paramètres caractérisent la morphologie d'une discontinuité. Nous présentons leur définition de la façon suivante: [6]

- ❖ **Type de roche** : Le type de roche est déterminé par sa provenance, qui peut être sédimentaire, ignée ou métamorphique.
- ❖ **Type de discontinuité** : Différents types de discontinuité existent, allant des joints de tension de longueur limitée aux failles pouvant atteindre davantage de kilomètres.
- ❖ **Persistance** : Il s'agit de mesurer la longueur continue ou la surface d'une interruption. La seule mesure possible de la dimension des discontinuités sur le terrain est la longueur des

traces des discontinuités.

- ❖ **Rugosité** : La rugosité d'une surface de discontinuité joue souvent un rôle crucial dans la résistance au cisaillement, surtout lorsqu'elle est imbriquée et sans déplacement. Lorsque la discontinuité est complétée, la rugosité diminue.
- ❖ **Résistance des épontes** : La résistance au cisaillement des surfaces rugueuses est influencée par la résistance des épontes, qui sont constituées de roches formant les parois des discontinuités. Quand les points de contact locaux sont soumis à des contraintes élevées en raison de la résistance des épontes lors du cisaillement, les aspérités seront supprimées ou cisailées, ce qui entraînera une diminution de la composante relative à la rugosité de l'angle de frottement.
- ❖ **Désagrégation** : La désagrégation a pour effet de diminuer la résistance de cisaillement des discontinuités et du massif rocheux.
- ❖ **Ouverture** : La distance perpendiculaire qui sépare deux épontes adjacentes d'une discontinuité ouverte est appelée ouverture.
- ❖ **Type de remplissage** : Il s'agit du matériau qui sépare les épontes voisines d'une rupture.
- ❖ **Écoulement** : Le lieu où les discontinuités sont infiltrées offre des informations sur l'ouverture car le débit des eaux souterraines se concentre presque entièrement dans ces zones (perméabilité secondaire).

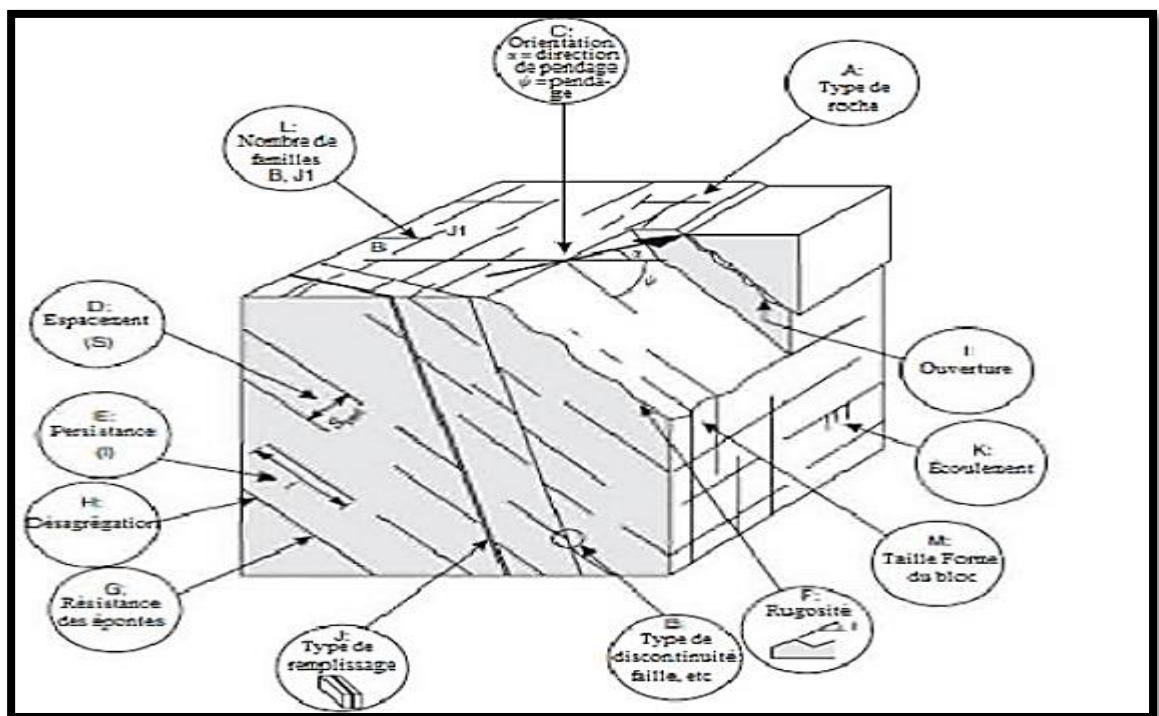


Figure I.8 Caractéristiques des discontinuités dans un massif rocheux. [7]

I.3.4 Influence des discontinuités dans le comportement d'un massif rocheux (Zhao, J, 2008):

- La roche peut être divisée en plaques, blocs et coins (qui peuvent tomber et se déplacer) ;
- Cela peut servir de plan de protection contre le glissement ;
- Cela facilite l'écoulement de l'eau et crée des réseaux d'écoulement.
- Provoquer des déformations importantes ;
- Modifier la répartition et l'orientation des contraintes. [6]

I.3.5 Description des discontinuités

Il est possible de définir une discontinuité comme une cassure d'origine mécanique ou une fracture présentant une faible résistance en traction dans la roche [7]. Il est possible que la discontinuité soit naturelle et reflète l'histoire géologique et structurale de la zone (avec une origine géologique ou géomorphologique), ou artificielle (qu'elle soit causée par les activités humaines comme les excavations dans le massif rocheux). L'identification géologique des discontinuités, depuis l'échelle millimétrique jusqu'à l'échelle kilométrique, permet d'obtenir des informations géométriques et mécaniques [8]. [5]. Toutes les ruptures dans un massif rocheux sont le fruit de la combinaison de diverses familles. Les lois de distribution et les caractères statistiques peuvent varier selon chaque famille.

I.3.6 Types de discontinuités

Les principales discontinuités dans les massifs rocheux se présentent sous les formes :

- **Les diaclases:** Les diaclases se manifestent lorsque des ruptures de type fragile surviennent. Il est possible que certains plans soient liés à la diagenèse et au retrait de la roche, tandis que d'autres peuvent être caractéristiques de la tectonique. En tout cas, les diaclases se présentent habituellement sous la forme de deux familles qui se rejoignent orthogonalement et perpendiculairement aux plans de stratification dans les roches qu'elles ont stratifiées. Ainsi, les diaclases facilitent la découpe d'éléments parallélépipédiques, ce qui rend les chutes de blocs plus faciles. [6]



Figure I.9 Diaclases [9] [10]

- **Les failles (fractures)** : Les failles sont des zones de rupture causées par les forces de cisaillement provenant des contraintes de compression (failles inverses ou normales en fonction de l'orientation des contraintes principales) ou par la force de traction. Les lèvres peuvent se déplacer de manière nulle ou à plusieurs kilomètres de part et d'autre du plan de la rupture (le rejet). Des stries sont fréquemment présentes sur les plans de failles pour indiquer le sens du mouvement. [6]



Figure I.10 Failles [5]

- **Joints de stratification** : Le phénomène de sédimentation des formations sédimentaires est caractérisé par des joints de stratification. Ils ont une grande étendue et fréquemment une faible ondulation [8]. Les strates sont séparées de manière plus ou moins régulière. Ils établissent une connexion entre deux matériaux rocheux, qui peuvent être identifiés comme de légers dépôts argileux ou schisteux qui favorisent le glissement. Les associations de stratifications se

distinguent par un plan de rupture privilégié dans les roches sédimentaires et par le glissement des bancs sur les bancs. [8]



Figure I. 11 Stratification [6]

Les plans de schistosité : Les plans de schistosité représentent la circulation des roches en feuillets parallèles. Origine associée aux forces tectoniques. L'extension peut varier en taille. [2]



Figure I.12 Plans de schistosité [10]

les plis : Les plis se produisent lorsque la strate rocheuse se flexionne sous l'influence d'une force tectonique ou d'un mouvement. En règle générale, les plis ne sont pas perçus comme des composants du massif rocheux. Ils sont fréquemment liés à un niveau élevé de fracturation et à des roches plutôt faibles et fragiles. [5]



Figure II.13 Les plis [10]

• **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 [11]



Figure I.14 Les joints sédimentaire [11]

I.3.7 Les caractéristiques géométriques des discontinuités

Une famille de discontinuités est caractérisée par:

Orientation : Le plan de la discontinuité dans l'espace est positionné. Offre la possibilité de classer les familles directionnelles. [2]

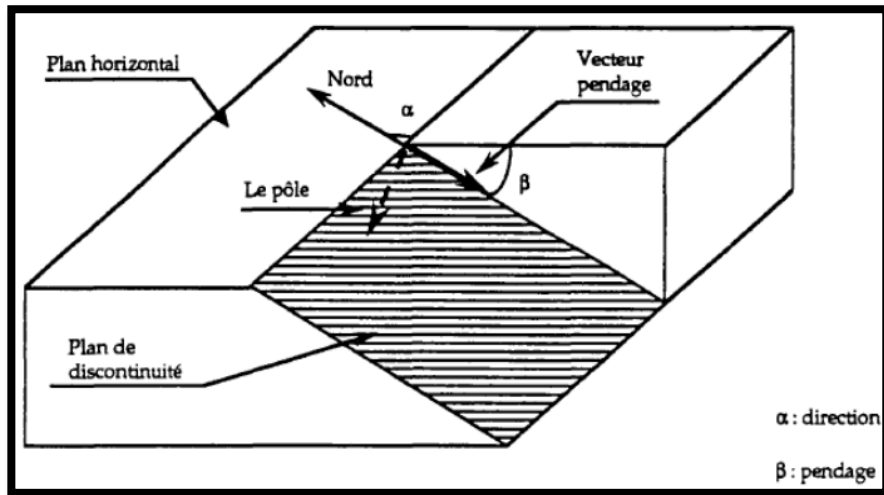


Figure I.15 Orientation d'un plan de discontinuité [11]

Extension : La dimension de la discontinuité dans l'espace se manifeste par l'extension. Il est compliqué d'évaluer ce paramètre car on ne peut pas observer la totalité de la discontinuité sur le terrain, mais seulement sa trace sur un parement. On peut estimer l'extension en se basant sur la répartition de la longueur de trace de la discontinuité [12] [11].

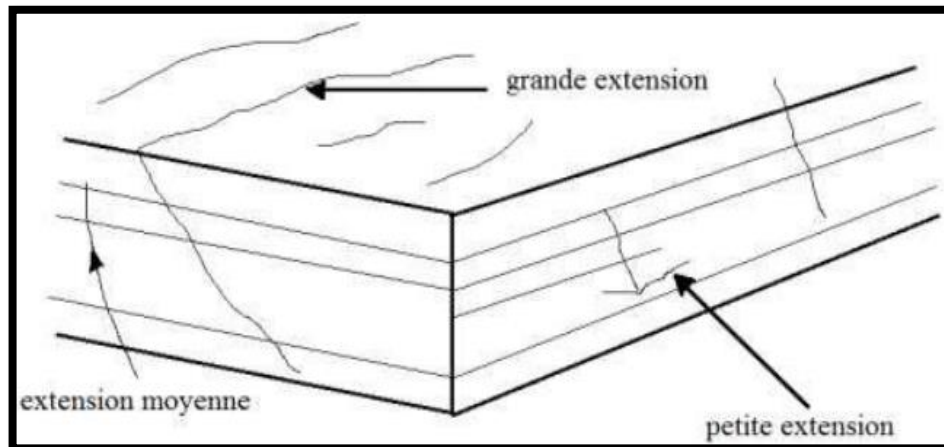


Figure I.16 L'extension. [5]

Espacement : La répartition des joints et la densité L'espacement correspond à la distance perpendiculaire entre les joints afin de déterminer le véritable écart entre les plans. [7]

L'espacement apparent et l'espacement des joints sont fréquemment mesurés, et ils varient en fonction des différentes faces et directions de mesure.

Cet espacement régit la dimension des blocs individuels, ainsi que le processus de rupture et de circulation. La densité correspond à la quantité de ruptures dans une famille, par unité de volume, de surface ou de longueur. Ces paramètres sont interconnectés et fréquemment, on estime la densité en se basant sur l'espacement car il est facile à mesurer en pratique.

Ces paramètres jouent un rôle crucial car ils permettent d'avoir une vision de la

fracturation moyenne du massif et de la continuité in situ du massif.

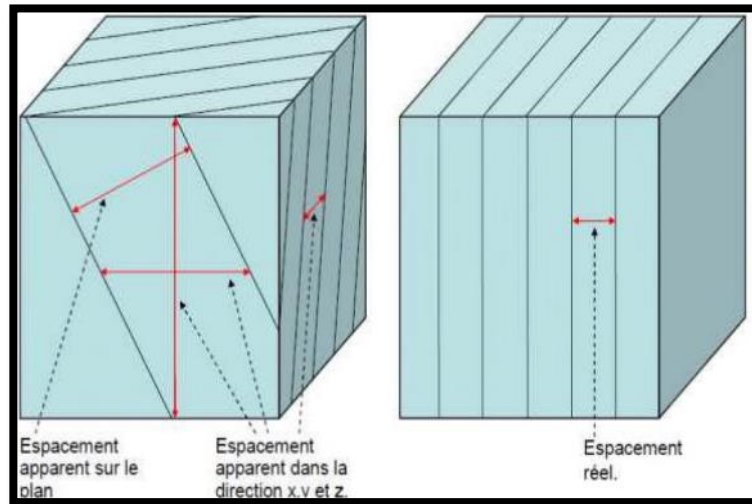


Figure I.17 Mesure de l'espacement [5]

Tableau I.1 Description de l'espacement des discontinuités [9]. [11]

Espacement des discontinuités (m)	Description
<0.02	Espacement extrêmement étroit
0.02-0.06	Espacement très étroit
0.06-0.2	Espacement étroit
0.2-0.6	Espacement modéré
0.6-2	Espacement large
2-6	Espacement très large
>6	Espacement extrêmement large

La fréquence des discontinuités (λ) : Élaborée en effectuant des calculs sur le terrain, comme en mesurant l'écart entre les discontinuités le long d'une ou de plusieurs lignes tracées perpendiculairement à leur direction ou selon des lignes qui traversent les différentes familles de joints de manière statistiquement optimale [13]. [5]

Si le nombre de discontinuités le long de la ligne du levé est N et que la longueur du levé est L, la fréquence des discontinuités est $\lambda = N/L$ et l'espacement moyen (x) est $X = L/N$. Il est possible de conclure que la fréquence est simplement le contraire de l'espacement moyen des interruptions. L'orientation de la ligne de levé par rapport à celle des discontinuités influence la fréquence et l'espacement moyen [14]. [5]

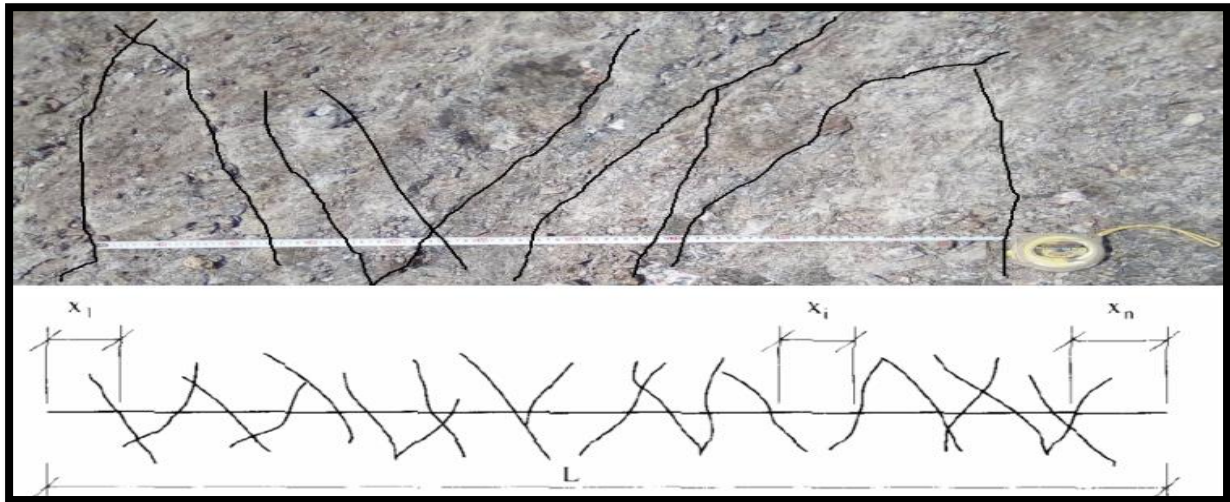


Figure I.18 Mesure de la fréquence des discontinuités [5]

Degré de fracturation du massif rocheux : Quand on peut trouver des forages carottés, cette qualité est définie par RQD (Rock Quality Designation) (Deere, 1988). Cet indicateur correspond à la proportion de la somme des éléments de carottes du forage dont la longueur est au moins 10 cm par rapport à la longueur totale de la passe carottée. [6]

Nombre de familles de discontinuités : Organiser les discontinuités en familles responsables Les ruptures dans un massif rocheux ne sont pas déterminées de manière arbitraire, mais sont généralement structurées en familles dont le nombre est lié aux phénomènes géologiques et mécaniques qui ont eu lieu lors de sa formation et de son histoire tectonique. L'analyse de la distribution d'une population de discontinuités en familles directionnelles repose sur le traitement des paramètres azimut et pendage, mais il est également possible de prendre en considération d'autres paramètres géométriques tels que l'extension et l'ouverture. [11]

La rugosité : La rugosité désigne la structure de la surface de discontinuité d'un ensemble individuel à petite échelle. Elle doit être évaluée en se basant sur des critères visuels et sensoriels. Pour décrire la rugosité, il est recommandé d'utiliser les expressions suivantes (Barton et Choubey, 1977) [6].

- **Très rugueuse :** La surface présente une grande rugosité et des aspérités visuelles importantes, ressemblant à du gravier fin ou de calibre moyen.
- **Rugueuse :** La surface devient rugueuse lorsque l'on la frôle du doigt, semblable à du papier de verre à gros grain. Les aspérités ont une apparence visuelle.
- **Légèrement rugueuse :** La surface présente une légère rugueuse, semblable à celle du papier de verre à grain plus fin. Les aspérités ne se manifestent pas à l'œil nu.
- **Lisse :** La surface est plutôt lisse, semblable à celle du papier. Il est possible d'ajuster le coefficient de rugosité du joint (JRC) : il peut varier de 0 pour une surface plane et lisse à 20, pour une surface très rugueuse.

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

- **Miroir de faille** : La surface est extrêmement lisse, voire polie, et montre une ondulation causée par un déplacement en cisaillement. Il est possible d'ajuster le coefficient de rugosité du joint (JRC): il peut varier de 0 pour une surface plane et lisse à 20, pour une surface très rugueuse.

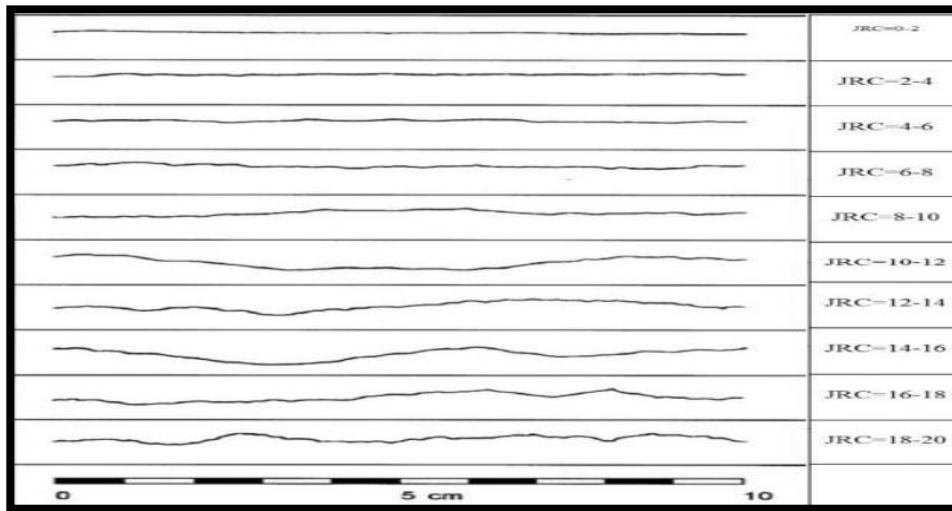


Figure I.19 Profils de référence et chiffres-clés pour la détermination du coefficient de Rugosité du joint (JRC) [14] [5]

Persistance : L'évaluation de la persistance consiste à mesurer la longueur continue ou la surface d'une interruption. La seule mesure possible de la dimension des discontinuités sur le terrain est la longueur des traces des discontinuités.

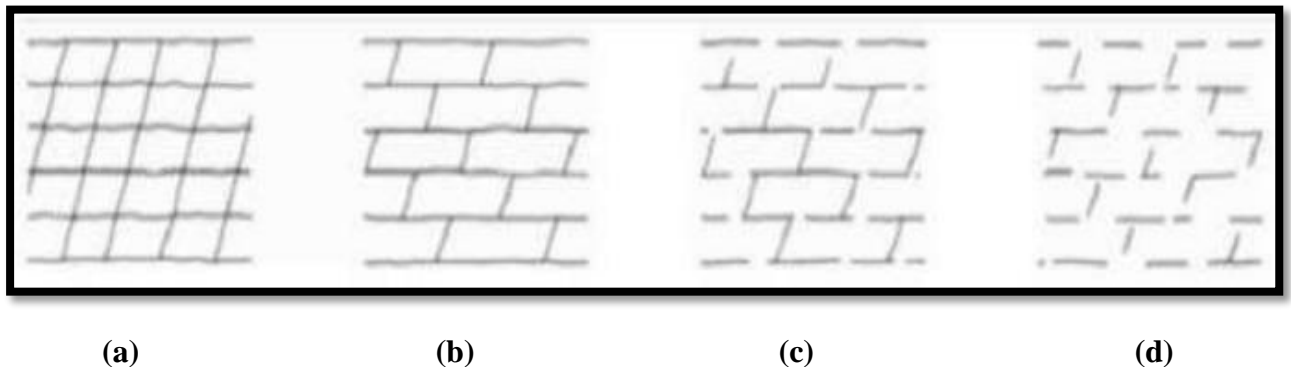


Figure I.20 Persistance de différents ensembles de fractures [9]. [10]

(a) : Deux ensembles de diaclases persistants avec persistance élevée.

(b) : Un ensemble de diaclases avec persistance élevée + un ensemble de diaclases discontinues avec persistance moyenne.

(c) : Deux ensembles de diaclases discontinus avec persistance moyenne.

(d) : Deux ensembles de diaclases discontinus avec faible persistance. On classe les persistance des discontinuités selon la longueur de leurs traces

Tableau I.2 Classification des discontinuités selon leur extension [9] [10].

Persistence	Longueur de la trace (m)
Persistence très faible	<1
Persistence faible	1-3
Persistence moyenne	3-10
Persistence élevée	10-20
Persistence très élevée	> 20

Ouverture et matériaux du remplissage : La présence d'une ouverture et de matériaux de remplissage est très rare. En général, il y a un espace entre les deux surfaces d'une discontinuité appelé ouverture, qu'il soit rempli d'air, d'eau (joint ouvert) ou de matériaux de remplissage (Schroeder, 2010). [6]

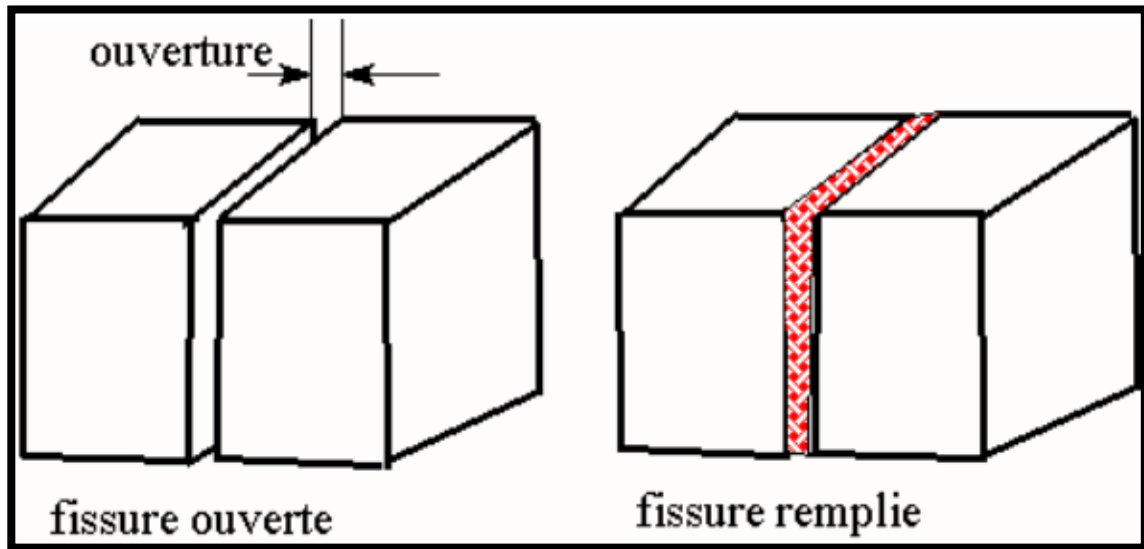


Figure I.21 Fissure ouverte et remplie (Schroeder, 2010). [9]

De manière générale, les caractéristiques du matériau de remplissage ont un impact sur la résistance au cisaillement, la déformabilité et la capacité à perméabiliser les bouchons. Il est possible de distinguer :

- **Matériaux tendres (délicats) :** qui peuvent être découpés à l'ongle ou essuyés à la main (comme l'argile, le sable);
- **Matériaux durs (solides) :** qui sont impossibles à découper à l'ongle (comme la calcite, le quartz, et

Tableau. I.3 Description des discontinuités selon la mesure des ouvertures (Zhao. J, 2008) [5].

Ouverture	Description	Dispositif
< 0.1 millimètre	Très étroit	Dispositif fermé
0.1-0.25 millimètre	Etroit	
0.25-0.5 millimètre	Partiellement ouvert	
0.5-2.5 millimètre	Ouvert	Dispositif espacé
2.5-10 millimètre	Largement ouvert	
1-10 centimètre	Très largement ouvert	Dispositif ouvert
10-100 centimètre	Extrêmement ouvert	
> 1 mètre	Caverneux	

Épaisseur et remplissage des joints : L'épaisseur des joints, telle qu'elle est définie d'un point de vue mécanique, joue également un rôle crucial, en particulier lors de la compression. L'ouverture du joint est liée à cela, mais elle tient également compte de la nature altérée et déformable des épontes.

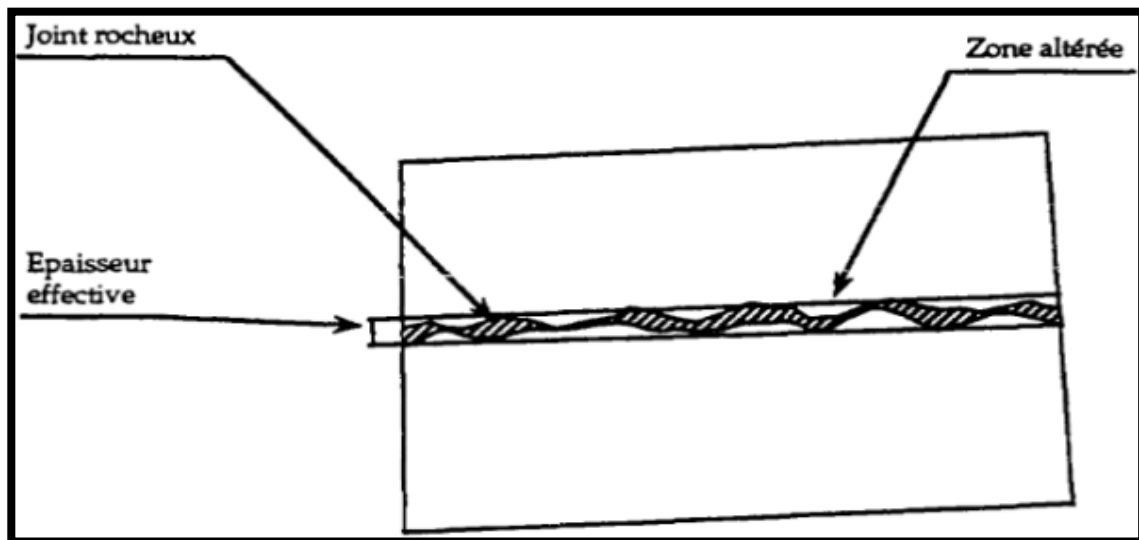


Figure. I.22 Epaisseur déformable d'un joint Matériau remplissant totalement ou partiellement la discontinuité (nature et épaisseur). [9]

❖ **Type géotechnique de la roche**

Les caractéristiques de la matrice et du massif sont déterminées par le paramètre le plus crucial. Les caractéristiques essentielles de la matrice rocheuse en ce qui concerne sa stabilité sont :

- La résistance à la compression simple de l'échantillon peut être évaluée pour évaluer la dureté de la roche ;
- Le type et le degré d'altération, de fracturation et de solubilité de la roche ;
- La capacité à se gonfler, la souplesse, etc.

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

- ✓ Les roches dures, qui présentent une résistance à la compression supérieure à 80 MPa, sont peu altérables et non gonflantes : les roches magmatiques et métamorphiques, ainsi que certains calcaires et grès, qui ne sont pas fracturés et ne sont pas ou peu altérés.
- ✓ Les roches semi-dures, avec une résistance à la fracturation de $8 < R_c < 80$ MPa, sont des roches magmatiques et métamorphiques altérées, du grès argileux, des schistes, des argilites, des pélites, des marnes, des conglomérats calciques, des calcaires détritiques et du charbon.
- ✓ Les roches faibles (argileuses), avec une résistance au courant inférieure à 8 MPa, sont gonflantes, plastiques et très altérables : les roches magmatiques et métamorphiques très altérées ou complètement désintégrées, ainsi que les roches de la seconde classe altérées, telles que les argiles, les loess, les sables argileux, les limons, les craies, certaines alluvions et moraines.
- ✓ Les roches non cohérentes, sans cohésion, avec un angle de frottement et un angle de talus naturel de 28-38°, qui ne sont pas plastiques ni gonflantes : les zones caillouteuses situées au pied des talus des roches des deux premières classes, telles que les graviers et les sables purs.
- ✓ La cohésion des vases, des tourbes et des sols mouvants est inférieure à 20 KPa. Il n'y a pas de frottement interne en état saturé [15].

I.4 Les géomatériaux

Les géomatériaux de massif rocheux désignent les matériaux constituant un massif rocheux, c'est-à-dire un ensemble de roches et de discontinuités qui se comportent comme un tout. Tous les matériaux provenant de l'excavation, tels que la pierre de taille, les graviers, les sables ou les argiles, sont considérés comme géomatériaux. Utilisés dans le domaine de la construction, représentent de loin la principale source de ressources naturelles pour l'aménagement. Les bétons, les asphaltes ou les couches de fondation, les ciments, les céramiques, les briques, le torchis, la

chaux vive, le plâtre, les tuiles, les remblais, les digues ou les parties bruyantes, les ornements, etc., font partie de leur composition. De manière traditionnelle, ces matériaux proviennent de zones spécialisées et peuvent donc être transportés sur de grandes distances depuis les carrières ou les gravières. Cependant, lorsque ces géomatériaux sont excavés pour permettre la construction, il est nécessaire de prendre soin de ces déchets. Encore une fois, il y a plusieurs voies d'élimination qui mènent vers des endroits de stockage. [16]

I.4.1 Les granulats

GRANULAT : est un ensemble de grains allant de 0 à 125 mm de taille, tandis que

GRANULAIRE : la répartition des dimensions des grains granuléés

I.4.1.1 Les différents types des granulats

Concerte granulâtes sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée.

- «Naturels» sont issus de roches meubles ou massives.
- «Artificiels» sont issus de transformation thermique et mécanique de roches ou minerais.
- «Recyclées» sont de démolition ou réutilisation.

I.4.1.1.1 Les granulats naturels :

Les granulats naturels d'origine minérale sont issus de roches grossières ou massives, sans transformations mécaniques .ce sont principalement des dépôts alluvionnaires trouvés dans les rivières ou les mers .ils sont classés en : [17]

- Eruptives : granites, basaltes porphyres,
- Sédimentaire : calcaire, grés, quartzites,
- Métamorphiques : gneiss, amphibolites.

Granulats roulés et granulats de carrières : Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

1- Les granulats alluvionnaires

Dit roulé, sa forme est obtenue par érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules d'argile nuisibles à la résistance du béton, puis tamisés et criblés pour obtenir différentes granulométries. Les granulats utilisés dans le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou calcaires siliceux, bien que différentes roches puissent être trouvées selon l'endroit où elles sont

produites.

2- Les granulats de carrière

Sont obtenus par abattage et concassage, Cela leur donne une forme angulaire et l'étape de pré-criblage est cruciale pour obtenir des granulats propres. Différentes étapes de fragmentation conduisent à l'obtention d'agrégats des classes de particules souhaitées. Les propriétés des granulats concassés dépendent d'un grand nombre de paramètres : l'origine de la roche, la régularité du lit, le degré de concassage, etc. Par conséquent, la sélection de ces agrégats doit être effectuée avec soin et seulement après que les échantillons aient été convenus. [20]

I.4.1.1.2 Les granulats artificiels :

Les matériaux granulés artificiels sont des sous-produits de l'industrie sidérurgique, produits par transformation thermique et mécanique de roches ou de minéraux. Les plus couramment utilisés sont les matériaux laitiers granulés concaves, les matériaux laitiers granulés à haut fourneau et les matériaux peuvent être utilisés pour créer des bétons spécifiques. [21]

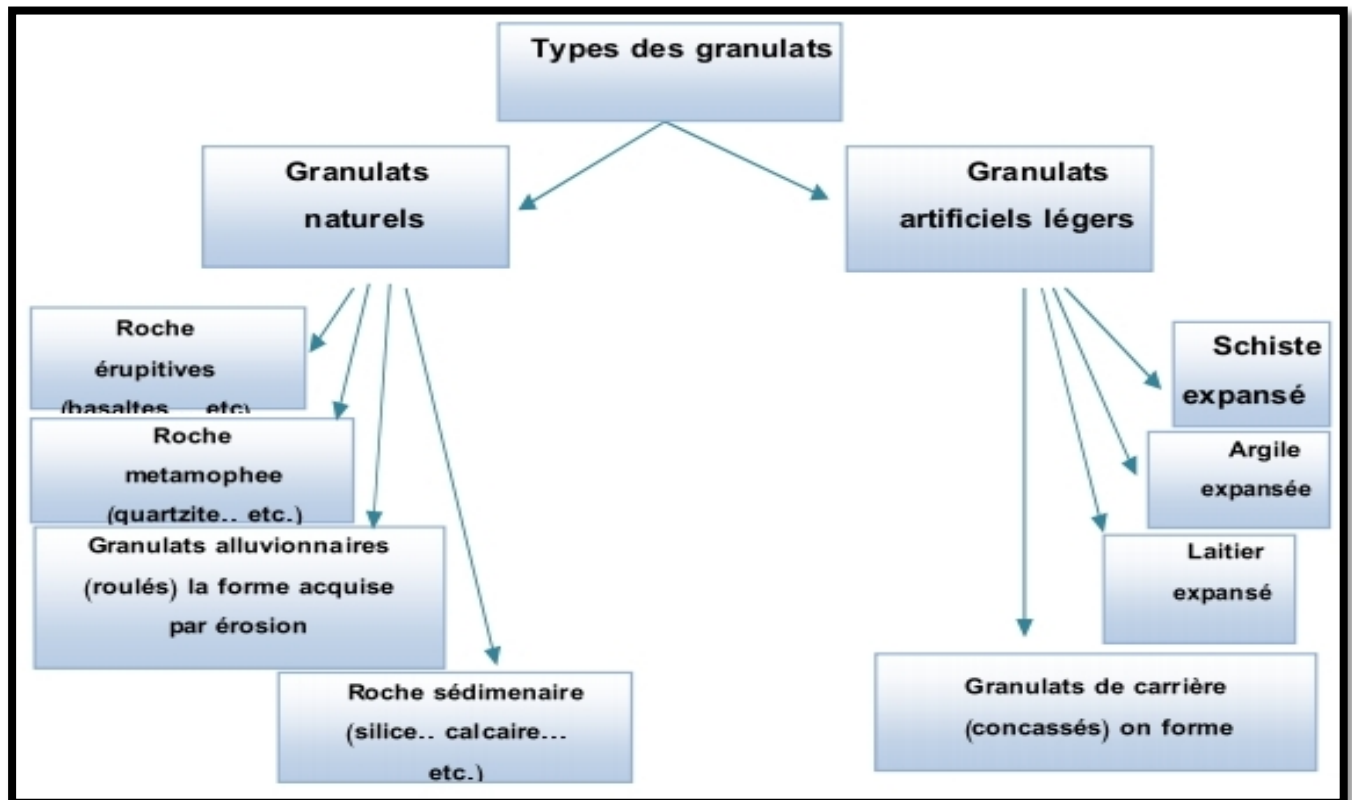


Figure I.23 les deux familles de granulats [17]

I.4.1.1.3 Les granulats Recyclées

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

Le granulat recyclé est les matériaux granulés issu de la transformation de matériaux inorganique précédemment utilisé, notamment le béton et les enrobés bitumineux.

a) Les déchets de chantier :

Les déchets de chantiers sont des déchets inertes issus de travaux publics et industriels pour la fabrication de matériaux de construction. Ils ne sont biodégradables et non- déterrent de l'environnement ou de la santé humaine.

Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramique, les briques, les carrelages et enrobés bitumineux sans goudron. [18]

b) Les déchets de démolition

Les déchets de démolition sont une sous-catégorie des déchets de construction, englobant tous les matériaux de démolition ou de réhabilitons. Le béton, qui constitue 75% des matériaux de construction, se distingue dans les installations de concassage en raison de la présence d'impuretés. Pour éliminer ces impuretés, des opérations de tri manuel ou mécanique sont réalisées. Les débris plus gros comme les plaques métalliques, les panneaux de bois et les acétates d'armature sont jetés dans le concasseur primaire, tandis que les particules plus petites sont éliminées par épuration à l'air et humide .des électro-aimants sont ajoutés au circuit de concassage pour éliminer les débris métalliques. [19]

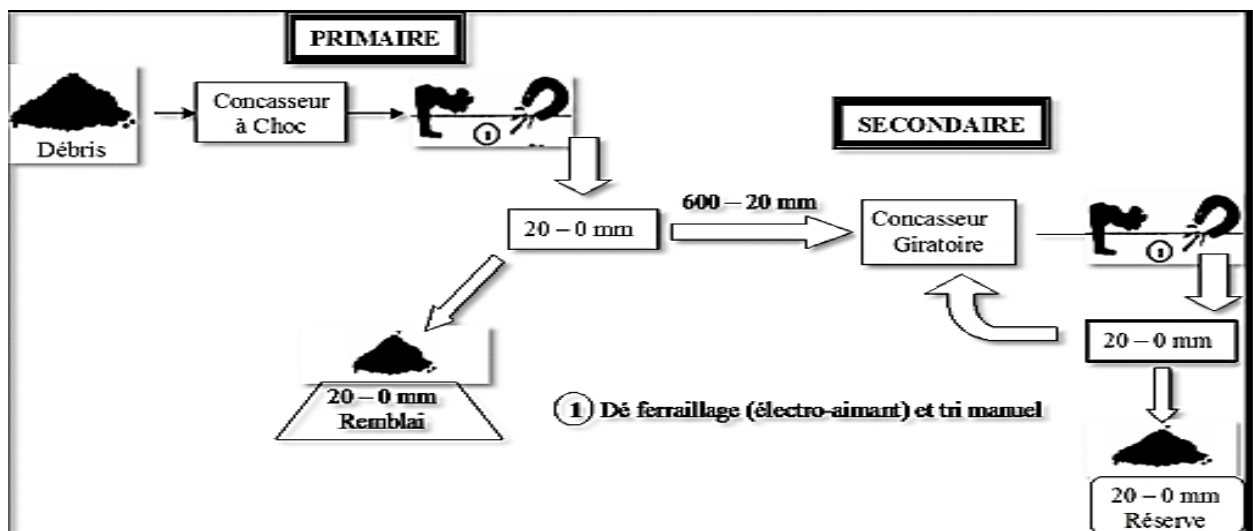


Figure I.24 Schéma d'installation de production de granulats recyclés [19]

I.4.1.2 Classification des granulats

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

Les granulats sont classés par leur dimension à l'aide de tamis (mailles carrées) et de passoirs (trous circulaires), et une ou deux numéros identifient une classe de granulats. Si on donne un seul nombre, il s'agit du diamètre maximum D exprimé en mm, tandis que si on donne deux nombres, le premier représente le diamètre minimum d des grains et le second le diamètre maximum D . La classe d/D d'un granulat définit son point de vue granulair. Le granulat est appelé $0/D$ lorsque d est inférieur à 2 mm. Les dimensions extrêmes d et D des granulats rencontrés identifient cinq classes granulaires principales. [19]

- Les fines $0/D$ avec $D \leq 0,08$ mm,
- Les sables $0/D$ avec $D \leq 6,3$ mm,
- Les gravillons d/D avec $d \geq 2$ mm et $D \leq 31,5$ mm,
- Les cailloux d/D avec $d \geq 20$ mm et $D \leq 80$ mm,
- Les graves d/D avec $d \geq 6,3$ mm et $D \leq 80$ mm,

I.4.1.3 forme des granulats :

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

- La longueur L , distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités du granulat,
- L'épaisseur E , distance minimale de deux plans parallèles tangents au granulat,
- La grosseur G , dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat. [20]

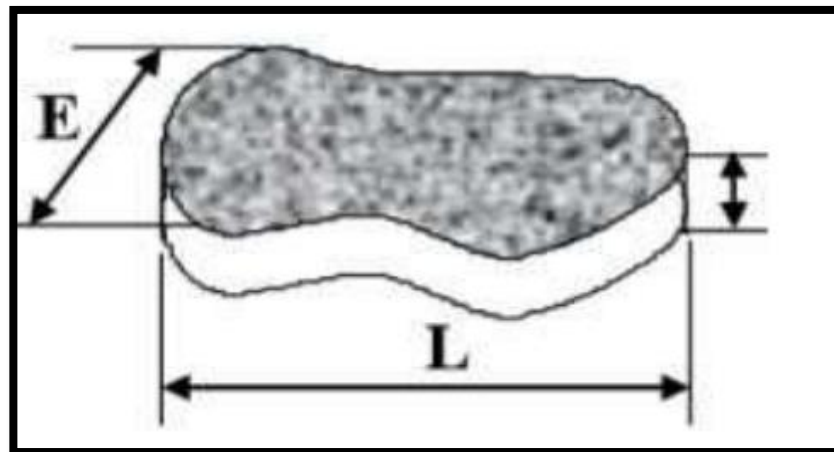


Figure I.25 forme granulat [20]

Dans les mêmes conditions $L \leq G \leq E$, on peut déterminer aussi :

- L'indice d'allongement $\beta = \frac{G}{L} \leq 1$

- L'indice d'aplatissement $\alpha = \frac{E}{G} \leq 1$ [20].

Angularité

Le pourcentage d'éléments concassés dans un matériau donné est connu sous le nom d'angularité. Le rapport de concassage ou l'indice de concassage le caractérise.

L'indice de concassage (IC) d'un matériau d/D est égal au pourcentage de passants au tamis d'ouverture D contenus dans le matériau brut utilisé pour sa fabrication.

Lorsque le rapport de concassage (RC) d'un matériau d1/D1 fabriqué à partir d'un matériau d2/D2 est égal au rapport d2/D1, un matériau est dit concassé pur [21]

I.4.1.4 Les caractéristiques principales des granulats

- ✓ Caractérisation physique
- ✓ Caractérisation chimique
- ✓ Caractérisation mécanique

Rq: A cause de leur variation et nombre on va citer quelques-unes.

I.4.1.4.1 Caractéristiques physiques

I.4.1.4.1.1 Analyse granulométrique par tamisage [NF- EN-12620]

- **But de l'essai**

La méthode de l'analyse granulométrique permet d'évaluer la taille et les taux pondéraux respectifs des différents grains qui composent l'échantillon.

- **Principe de l'essai**

L'essai implique la division d'un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes à l'aide d'une série de tamis. Le choix des dimensions des mailles et du nombre de tamis est basé sur la nature de l'échantillon et la précision attendue. La masse initiale du matériau est ajoutée aux différents refus et tamisât. Les pourcentages obtenus sont utilisés à la fois dans des tableaux et des graphiques.



Figure I.26 Série de tamis avec machine vibrante

I.4.1.4.1.2 La masse volumique

C'est la masse de l'unité de volume de la roche (g/cm^3). Suivant l'état du matériau, on définit: ρ_s la masse volumique absolue ou masse volumique du solide, ρ_h la masse volumique naturelle, ρ_d la masse volumique sèche et ρ_{sat} la masse volumique saturée [22].

$$\rho_s = Ms / Vs \text{ (I.1)} \quad \rho_d = Ms / Vt \text{ (I.2)} \quad \rho_h = Mh / Vt \text{ (I.3)} \quad \rho_{sat} = Msat / Vt \text{ (I.4)}$$

Avec :

- Ms : La masse du matériau sec ; g.
- Vs : Le volume des grains après broyage ; cm^3 .
- Vt : Le volume de l'échantillon ; cm^3 .
- Mh : La masse naturelle ; g.
- $Msat$: 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

I.4.1.4.1.3 Taux d'absorption d'eau (AB%) [P 18-555]

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h à 20°C à la pression atmosphérique, par sa masse sèche.

I.4.1.4.1.4 La porosité [P 18-555]

La proportion de vide est appelée porosité. La forme des vides, leur taille, leur répartition, leurs liaisons ou au contraire l'isolement de certains, influent sur le comportement mécanique du massif rocheux C'est le rapport du volume des vides V_v de la roche au volume total (V) :

$$n = V_v / V \quad \text{(I.5)}$$

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

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

La porosité a une signification analogue à celle de l'indice des vides. Elles sont liées par la formule:

$$n = e / (e+1) \quad (I.6)$$

Selon la porosité, les roches sont classées en :

- 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 : $n > 20 \%$

I.4.1.4.2 Les Caractéristiques chimiques

I.4.1.4.2.1 Par la méthode classique

L'analyse chimique par la méthode classique consiste à calculer le pourcentage des différents oxydes du calcaire (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO)

SiO₂ :

- Peser **0.5** g d'échantillon préalablement sèche dans une capsule en verre
- Ajouter **2ml** d'eau distillé et **5 ml** de **HClO₄** tout en agitant l'échantillon puis le couvrir d'un verre de montre ;
- On prend le mélange et on le fait chauffer dans un bain de sable jusqu'à l'obtention d'une patte gélatineuse puis on laisse refroidir
- Ajouter **10 ml HCL** concentré
- On filtre cette solution dans une fiole à jaugeur de **500ml** avec un filtre rapide (OOR) tout en rinçant parfaitement la capsule (utilise de l'eau distillée bouillante jusqu'à la disparition des chlorures).

On récupère le filtre on le met dans un creuset en platine bien taré (soit P1) on doit incinérer le filtre au bec argon pour le carbonisé puis sur un bec mecker jusqu'à la disparition des cendres, puis on met le creuset dans un four à **1200°C** pendant 30min le refroidir dans un dessiccateur pendant 10 min le temps de refroidissement, on le pèse soit P2

$$\% \text{SiO}_2 = P2 - P1 / G * 100 \quad (I.7)$$

CaO:

- Prendre **100 ml** du filtrat ajouté **100 ml** d'eau distillée
- Ajouter **5** gouttes d'hélianthine
- Ajouter **NH₄OH** (50%) jusqu'à coloration jaune
- Ajouter **15 ml** de T.E.A (33%)

- Ajouter **40** ml de NaOH à **2N**
- Ajouter l'indicateur de chaux calcon jusqu'à coloration Rose
- Titrer avec l'EDTA jusqu'à l'apparition d'une couleur bleu limpide
- Soit V1 (ml) volume d'EDTA

$$\%CaO = 2 * T * V1 \quad (I.8)$$

Mgo :

- Prendre **100** ml du filtrat
- Ajouter **5** gouttes d'hélianthine
- Ajouter **NH4OH** (50%) jusqu'à coloration jaune
- Ajouter rapidement **30** ml de T.E.A (33%)
- Ajouter **10** ml de **NH3** pur (25%)
- Ajouter l'indicateur de **Mgo 12 à 15** gouttes coloration violette
- Titrer avec l'ESTA jusqu'à virage incolore
- Soit V2 (ml) volume d'EDTA versé
- Avec $V2 > V1$

AL2O3 :

- Dans la même solution ayant servi au dosage du Fe2O3
- Ajouter du CH3COONH4 jusqu'à coloration bleu
- Ajouter aussitôt 5 ml d'acide acétique CH3COOH pur
- Ajouter 3 gouttes de complexant de cuivre
- Ajouter 10 gouttes de PAN coloration rose violette
- Chauffer jusqu'à ébullition
- Titrer avec l'EDTA jusqu'à la couleur jaune paille
- Soit V2 : volume d'EDTA versé.

I.4.2.4.2 Contrôle qualité par rayon X (QCX)

Spectrométrie de fluorescence X

▪ **Objet**

L'analyse chimique des échantillons de calcaire, argile, sable, minéral de fer, tuf, gypse et laitier est effectuée à l'aide d'un spectromètre à fluorescence X dans ce manuel.

▪ **Définition**

L'analyse chimique par fluorescence X permet d'évaluer le taux d'oxydation des divers oxydes (SiO2, Al2O3, Fe2O3, CaO, MgO, Cl-, SO3, K2O, Na2O) et de calculer automatiquement les modules et indices.

La spectrométrie de Fluorescence X, également appelée X Ray Fluorescence (XRF), est une méthode d'analyse basique qui permet de :

- ✓ Identifier les composants chimiques d'un échantillon, c'est-à-dire identifier les composants qui le composent (par exemple : le calcium, le silicium, l'aluminium, le fer, etc.).
- ✓ Évaluer les composants présents, c'est-à-dire déterminer leur concentration (par exemple : 65 % de calcium, 18 % de silicium, etc.).

I.4.2.4.2.3 Essai au bleu de méthylène [NF P94- 068]

▪ Définition

L'essai au bleu est l'une des méthodes utilisées pour identifier et classer les sols. Son but est de déterminer la quantité de particules argileuses présentes dans un échantillon de matériau.

▪ Principe de l'essai

La tâche consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène adsorbée par le matériau présent dans l'eau à l'aide d'un dosage. Ce pourcentage est directement associé à la fraction 0/50mm. Le bleu du sol est directement lié à la surface des particules constitutives du matériau. Il absorbera plus de bleu de méthylène d'autant plus qu'il contient une grande quantité d'argile. Le dosage se fait par ajouts successifs de bleu de méthylène et par vérification de l'adsorption après chaque ajout. Une goutte de suspension est appliquée sur un papier filtre, ce qui crée une tâche.

Si une auréole bleue claire persistante se forme à la périphérie de la tâche, cela signifie que l'adsorption aura atteint son maximum.

I.4.2.4.3 Les caractéristiques mécaniques

I.4.2.4.3.1 Essai micro deval résistance à l'abrasion [NF EN 1097-1]

▪ Définition

La résistance à l'usure des granulats naturels et artificiels utilisés dans le domaine routier est évaluée par l'essai Micro-Deval, qui permet de caractériser l'usure par frottements réciproques en présence d'eau d'un gravillon et de charges abrasives et de mesurer la quantité de fines produites lors de la rotation d'un cylindre contenant le matériau et de l'eau. Le coefficient Micro-Deval (MDE) est un critère de classification des sols granulaires et des matériaux rocheux, plus le pourcentage d'usure est faible, plus l'échantillon est résistant à l'usure.



Figure I.27 Appareillage micro deval [20]

I.4.2.4.3.2 Essai los Angeles des gravillons [NF EN 1097-2]

La résistance à la fragmentation par choc est une mesure utilisée pour évaluer la capacité des granulats à se fragmenter sous l'effet du trafic. Les catégories de résistance mécanique normalisée ne sont définies que par l'essai Los Angeles.



Figure I.28 appareillage de Los Angeles. [20]

I.5 Méthodes de classifications des massifs rocheux

A. Systèmes de classification des massifs rocheux

Dans le domaine du génie civil et minier, il y a 16 systèmes de classification des massifs rocheux qui ont été élaborés, principalement en se basant sur la fissuration et le comportement mécanique de ces massifs. Malgré leur utilisation répandue en ingénierie, leur capacité à prendre en compte la résistance anisotropique et l'effet d'échelle reste restreinte (Macieja, 2012). [6]

B. La classification géomécaniques

L'objectif de mesurer la qualité d'un massif rocheux en utilisant une note empirique est de décrire sa qualité en utilisant une série de termes allant d'un rocher très bon à un rocher très médiocre. Les objectifs clés de ces catégories sont résumées comme suit :

Il est possible d'évaluer de manière indirecte les caractéristiques mécaniques à grande échelle d'un massif fracturé, notamment son module de déformation, sa résistance à la compression simple, sa cohésion et son angle de frottement.

- ✓ Calculer la durée pendant laquelle le massif rocheux peut rester sans soutènement (temps

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

de suspension). Il s'agit d'un indicateur crucial pour déterminer la portée d'excavation.

- ✓ Donner des recommandations de soutènement des ouvrages [23]. [11]

Tableau. I.4 -Systèmes de classification des massifs rocheux (Bieniawski, 1993;Palmström, 1995). [24] [11]

Système de Classification	Référence	Pays d'origine	Applications
Rock Loads	Terzaghi, 1946	E.U.A	Tunnels avec support en acier
Stand-up	Time Lauffer, 1958	Autriche	Tunnels
New Austrian tunneling method (NATM)	Rabcewicz, 964/1965,1975	Autriche	Tunnels
Rock Quality Designation (RQD)	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 Bieniawski, 1989	Afrique du Sud E.U.A	Tunnels, mines, SLOPES
Extensions du système RMR	Laubscher 1977, 1984 Ghose and Raju.1981 Kendorski et al. 1983 Serafim and Pereira, 1983. Gonzales de Vallejo, 1983 Unal, 1983 Romana, 1985 Newman et Bieniawski, 1985	Afrique du Sud Inde E.U.A Portugal Espagne E.U.A Espagne E.U.A	Mines Mines de charbon Mines en roche dure Fondations Tunnels Support du toit/charbon Stabilité des pentes Mines de charbon
Rock Mass Quality	Barton et al. 1974	Norvège	Tunnels, chambres
Strength-Size	Franklin, 1975	Canada	Tunnels
Ramamurthy & Aurora Classification (RAC)	Ramamurthy et Aurora, 1993	Inde	Roche intacte
Geological strength index (GSI)	Hoek et al. 1995	Canada	Mines
Rock mass index system (RMI)	Palmström, 1995	Norvège	Tunnels, TBM, mines

❖ Les différents systèmes de classification :

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

Des méthodes empiriques, basées sur une classification géotechnique du rocher, ont été mise au point et servent aux recommandations du soutènement :

- RQD (Rock Quality Designation) d'après Deer (1967);
- RMR (Rock Mass Rating) d'après Bieniawski (1976);
- Q-system (Barton, 1974);
- GSI (Geological Strength Index) d'après Hoek- Brown (1995);
- SMR (Slop Mass Rating) d'après Romana (1985).

❖ Les buts des systèmes de classification des massifs rocheux

La classification Géomécanique implique d'évaluer la qualité d'un massif rocheux en attribuant une note. Chaque méthode de classification a pour objectif :

- Pour évaluer de manière indirecte les caractéristiques mécaniques à grande échelle d'un massif fracturé.
- Évaluer la durée pendant laquelle le massif rocheux peut rester sans soutènement (temps de suspension).
- Donner des recommandations de soutènement des ouvrages.

I.5.1 Rock Quality Designation (RQD)

Selon Deere (1964), un indice appelé RQD (Rock Quality Désignation) est proposé pour évaluer la qualité du roc de la masse rocheuse. Cet indice, obtenu à partir de carottes provenant de forages géologiques, permet d'évaluer le pourcentage de carottes récupérées sur une distance spécifique. En utilisant une méthode qualitative, seules les longueurs de morceaux de plus de 10 cm sont conservées et cette somme est divisée par la longueur de course de la carotte de forage. Ce paramètre est défini de la manière suivante : [4]

$$RQD = \frac{\sum \text{longueur des morceaux} \geq 10\text{cm}}{\text{Longueur du forage}} * 100 \text{ (I.9)}$$

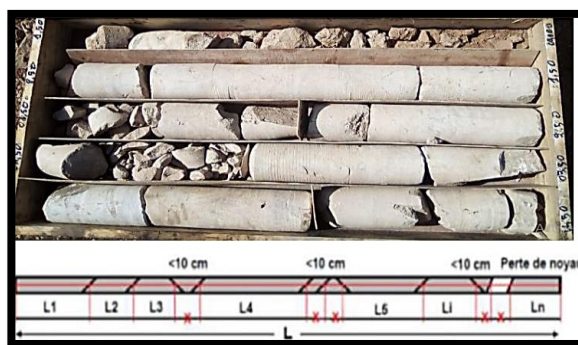


Figure I.29 Un caisse la carotte de calcaire [8]

Selon Palmstrom (1982), il est proposé de lier le RQD et de déduire le nombre de discontinuités par unité de volume. Il a suggéré la relation suivante, qui serait applicable aux

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

roches sans argile et utilisable lorsque aucun forage n'est disponible mais que des traces de discontinuités sont visibles en surface ;

$$\mathbf{RQD=115-3.3J_v} \quad \mathbf{(I.10)}$$

Où J_v est la densité volumique des joints, c'est-à-dire la somme du nombre de joints par m^3 , pour toutes les familles de discontinuités présentes, Ce paramètre permet de déterminer les dimensions des blocs dans un système rocheux fracturé. La relation entre la valeur du RQD et la qualité du massif peut être établie selon la proposition de Deere (1968) et elle est présentée au tableau ci-dessous.

Tableau I.5 Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux

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

I.5.2 Système RMR (Rock Mass Rating) [9]

Selon Bieniawski (1973), le RMR a été élaboré au sein du Council for Scientific and Industrial Research en Afrique du Sud. En 1989, il a subi une légère modification. Il se base sur les informations de 268 tunnels situés dans les roches dures. On utilise ce système de classification pour concevoir les fondations, les tunnels et les talus rocheux. On le calcule en utilisant cinq paramètres :

- A1 : la résistance à la compression uniaxiale,
- A2 : Rock Quality désignation(RQD)
- 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.

$$\mathbf{RMR \text{ de base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5} \quad \mathbf{(I.11)}$$

Le paramètre de réduction de Bieniawski prend en considération l'orientation de l'ouvrage par rapport au massif rocheux. Le coefficient A6 a une valeur négative pour diminuer la qualité du massif rocheux. L'évaluation doit prendre en considération l'impact des conditions externes qui s'appliquent à l'ingénierie :

$$\mathbf{RMR89= RMR \text{ de base}+ A6} \quad \mathbf{(I.12)}$$

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

La méthode de notation de chaque paramètre peut est expliquée dans le tableau (I.6)

Tableau. I.6 Classification RMR (Bieniawski, 1989).

PARAMETRES		COEFFICIENTS					
1	Résistance de la roche (MPa)	> 10	4-10	2-4	1-4	Indice Franklin Non utilisable (MPa)	
	Résistance à la compression (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25 1-5 <1	
	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	>2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	<0,06 m	
	note	20	15	10	8	5	
4	Nature des joints	Surfaces très rugueuses non continue Eponte en contact Eponte non altérées	Surfaces légèrement rugueuses Epaisseur <1 mm Eponte non altérées	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	30	25	20	10	0
5	Venues d'eau	Débit sur 10 m	Aucune venue d'eau	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	>125 l/min
		Pression d'eau contrainte principale	0	<0,1	0.1 0.2	0.2-0.5	> 0.5
		Hydrogéologie	Complètement sec	Humide	Suintements (eau interstitielle)	Pression d'eau modérée	Problèmes sérieux de venues d'eau
	Note	15	10	7	4	0	
6	direction des discontinuités	0	-5	-25	-50	-60	
	note	Très favorable	favorable	Bonne	défavorable	Très défavorable	

Tableau. I.7 Valeur du paramètre de réduction A6 selon l'orientation du tunnel par rapport à l'indication du pendage, (Bieniawski, 1989)

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

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

Tableau I.8 Note d'ajustement pour l'orientation des joints [25].

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.

Tableau.I.9 Qualité du massif rocheux selon le RMR (Bieniawski, 1976). [6]

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

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

Estimation des caractéristiques mécaniques des massifs rocheux à partir du RMR

Le RMR offre également la possibilité d'évaluer des caractéristiques mécaniques des massifs rocheux, comme la solidité et l'angle de frottement. L'estimation du temps de soutien moyen d'une excavation avant l'application du soutènement peut être effectuée. Différents écrivains ont avancé des liens entre ces paramètres et la valeur du RMR. (Bieniawski, 1989). On peut évaluer la cohésion, l'angle de frottement et le module de Young en utilisant des corrélations :

a- La cohésion

$$C_{eq} \text{ (KPa)} = 5 \text{ RMR}, \text{ (Bieniawski, 1979)} \quad \text{(I.13)}$$

b- L'angle de frottement

$$\varphi_{eq} (^{\circ}) = 0,5 \text{ RMR} + 8,3 \pm 7,2, \text{ (Trunck et Hönish, 1989)} \quad \text{(I.14)}$$

c- Le module de Young

$$E_{eq} \text{ (GPa)} = 10(\text{RMR}-10)\sqrt{40}, \text{ (Serafim et Pereira, 1983)} \quad \text{(I. 15)}$$

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

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

I.5.2.1 Limitations du système RMR

- ✓ Dans le secteur minier, on néglige le paramètre de l'orientation des discontinuités (A6), ce qui entraîne une nouvelle utilisation du système conservé comme RMR de base. La principale raison de cette correction est d'ignorer les conditions environnementales, ce qui

conduit à une classification exclusivement basée sur le massif rocheux [23]. [11]

- ✓ Le système RMR ne prend pas en compte les contraintes comme paramètre, il considère le système RMR comme approprié pour un projet jusqu'à une contrainte verticale de 25 MPa. Cependant, dans le secteur minier, les exploitations souterraines sont souvent confrontées à des contraintes plus élevées [23].

Les paramètres géologiques de ce système sont quasiment universels, ce qui permet d'enregistrer rapidement et simplement toute expérience d'excavations dans la masse rocheuse.

Ainsi, le système de classification RMR est largement utilisé pour la conception de fondations, la stabilité des talus, l'évaluation du décapage, ainsi que dans de nombreuses applications minières [26]. [11]

I.5.3. Le Q –Système

Le système Q a été introduit par Barton et ses collègues (1974) afin de décrire la qualité de la masse rocheuse utilisée pour l'excavation de tunnels. Ce système de classification est appelé Rock Mass Quality ou Tunneling Quality Index (système Q), ou simplement le système du NGI en hommage à l'Institution Géotechnique Norvégienne. En tant que critères de classification, le système Q considère l'importance d'évaluer six caractéristiques spécifiques du massif rocheux : [8].

$$Q = \frac{RQD}{jn} * \frac{j_r}{j_a} * \frac{j_w}{SRF} \quad (I.16)$$

- Indice RQD (Deere, 1964);
- Nombre de familles de joints (JN);
- Indice de rugosité des joints (JR), Celle du plus faible plan de fissuration;
- Indice de l'altération des joints (JA), caractéristiques de ce dont les fissures sont remplies;
- Facteur de réduction pour la présence d'eau (JW);
- Facteur de réduction pour les contraintes in situ (SRF)

La signification des divers paramètres de cette classification, ainsi que des explications supplémentaires qui permettent d'évaluer ces derniers de manière plus appropriée.

La cote Q est calculée de la manière suivante et peut varier de 0,001 à 1000 sur une échelle logarithmique.

$$Q = \frac{RQD}{jn} * \frac{j_r}{j_a} * \frac{j_w}{SRF} \quad (I.17)$$

Les trois quotients de la formule représentent des caractéristiques particulières du massif rocheux, l'interprétation est la suivante :

-RQD/JN représente la structure globale du massif ce qui constitue une mesure approximative de la taille des blocs rocheux (éléments dissemblables);

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

-JR/JA représente la résistance au cisaillement des discontinuités (les plus défavorables ou argileuses) séparant les blocs rocheux;

-JW/SRF consiste le paramètre de réduction due à la présence d'eau JW qui a un effet néfaste sur la résistance au cisaillement et indirectement quant à l'évaluation de l'état général des contraintes SRF.

La cote Q permet d'évaluer qualitativement la masse rocheuse selon neuf catégories de qualité pour la construction de tunnels. Le Tableau I.11 présente cette qualification:

Tableau I.11 Évaluation de la cote Q et de la qualité du massif. [5]

Indice Q	Qualité de la masse rocheuse
0,001 - 0,01	Exceptionnellement pauvre
0,01 - 0,1	Extrêmement pauvre
0,1 - 1	Très pauvre
1 - 4	Pauvre
4 - 10	Moyenne
10 - 40	Bonne
40 - 100	Très bonne
100 - 400	Extrêmement bonne
400 - 1	Exceptionnellement bonne

La valeur des différents paramètres de cette classification, ainsi que des notes explicatives supplémentaires permettant d'évaluer ceux-ci plus adéquatement, sont donnés au Tableau I.12

CHAPITRE I : Généralité sur les massifs rocheux

Tableau I.12 Valeur des différents paramètres de la classification Q-Système (D'après Barton et al, 1974) [2]

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 concassé, semblable à un sol	20
Rugosité des diaclases	Jr
Parois en contact	
Diaclases discontinués	4
Rugueuses, irrégulières, ondulées	3
Lisses, ondulées	2
Très lisses, ondulées	1.5 1.Ajouter 1.0 si l'espace moyen de la famille dominante >3m
Rugueuses ou irrégulière, planaires	1.5
Lisses, planaires	1
Très lisses, planaires	0.5
Parois séparées lorsque cisaille	Jr
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 : Généralité sur les massifs rocheux

Altération des diaclases		Ja
Parois en contact		
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 l/m	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

Bieniawski [1976] a été le premier à proposer des corrélations empiriques entre le RMR et le Q-system :

$$\mathbf{RMR=9\log Q+ 44} \quad \mathbf{(I.18)}$$

Le RMR et le Q-system ne prennent pas en considération les mêmes paramètres et donc, elles ne sont pas équivalentes.

I.5.4. Système du GSI (Geological Strength Index)

En 1995, Hoek - Brown a introduit le GSI, un nombre sans dimension qui est déterminé empiriquement il varie entre 5 et 85, et qui peut être estimé en examinant la qualité de la masse rocheuse sur place. Ainsi, la méthode GSI repose sur une observation directe de la configuration du massif rocheux.

Tableau I.13 Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI, [27].

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

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

$$\mathbf{GSI = RMR de base - 5 \text{ si RMR de base } > 23} \quad \mathbf{(I.19)}$$

$$\mathbf{GSI = 9 (\text{Log } Q' + 44) \text{ si RMR de base } < 23} \quad \mathbf{(I.20)}$$

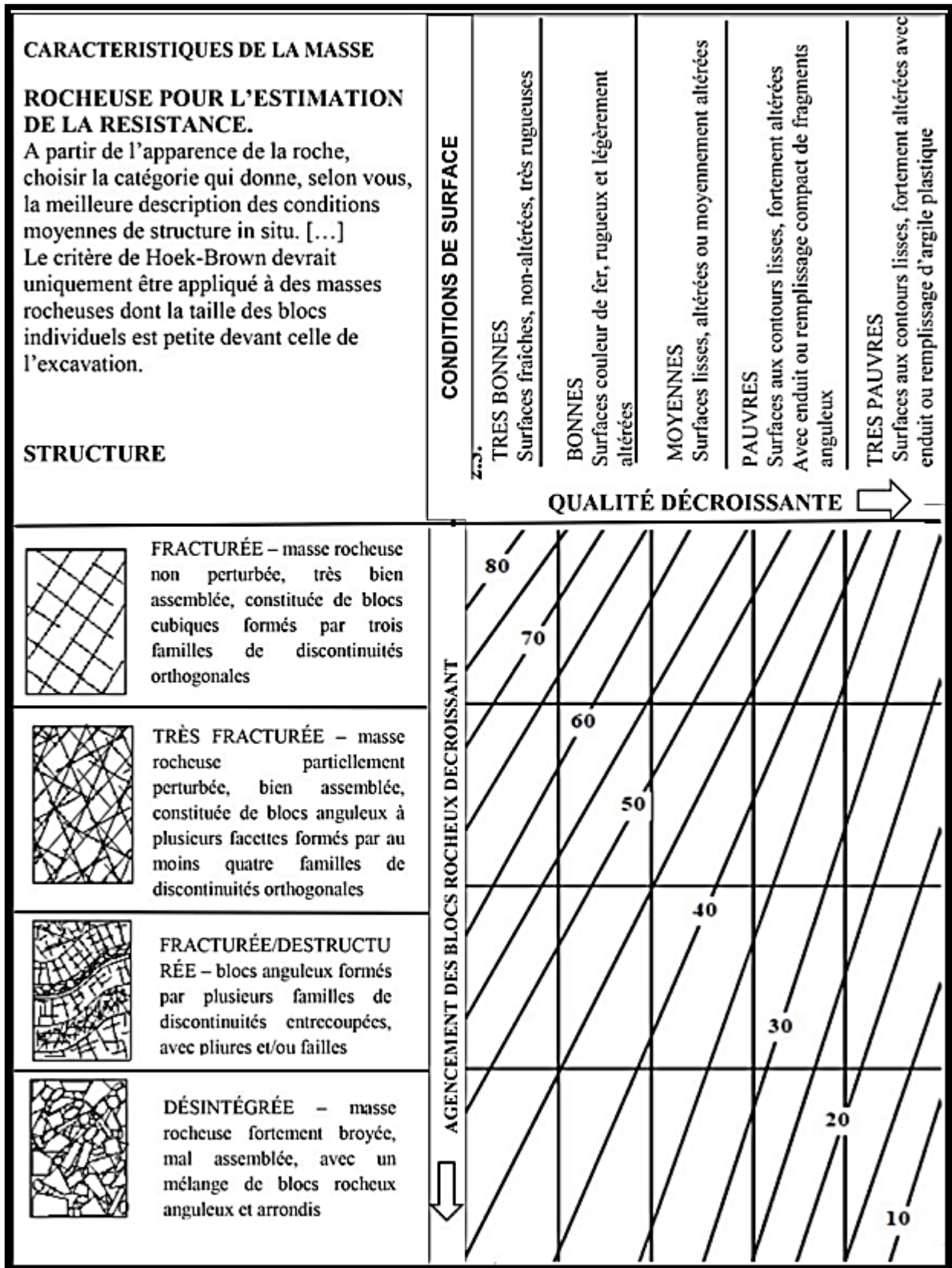


Figure I.30. Estimation du GSI à partir d'une description géologique de la masse rocheuse [27]

I.5.4.1. Système GSI modifié (1999)

Selon Sonmez et Ulusay (1999), ils ont suggéré des améliorations à la classification GSI qu'ils considèrent comme trop précise. Selon eux, le manque de données pour décrire les conditions de surface des discontinuités et la structure de la masse rocheuse rend difficile l'obtention de valeurs plus précises du GSI. Ainsi, ils ont proposé l'ajout de deux paramètres supplémentaires:

a- SCR (Surface Condition Rating) :

On obtient cet indice en combinant trois coefficients qui décrivent la rugosité, l'altération et le remplissage des joints :

$$\text{SCR} = \text{Rr} + \text{Rw} + \text{Rr} \quad (\text{I.21})$$

Rr, Rw et Rr peuvent être estimés à partir de la figure (I.21).

b- SR (Structure Rating) :

La taille des blocs peut jouer un rôle crucial dans le comportement mécanique de la roche : les blocs plus grands sont généralement moins déformables et moins faciles à tourner que les blocs plus petits [30]. [7]

A partir de la mesure de la densité volumique des joints (J_v), on peut déduire une valeur du SR en utilisant la courbe semi-logarithmique située en haut à gauche de la figure I.30.

Selon Sonmez et Ulusay, en utilisant ces deux paramètres supplémentaires, il est possible de déterminer une valeur plus précise pour le GSI en ajoutant des informations sur les propriétés structurelles de la roche.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur les massifs rocheux, les géomatériaux et les méthodes de classification géomécaniques

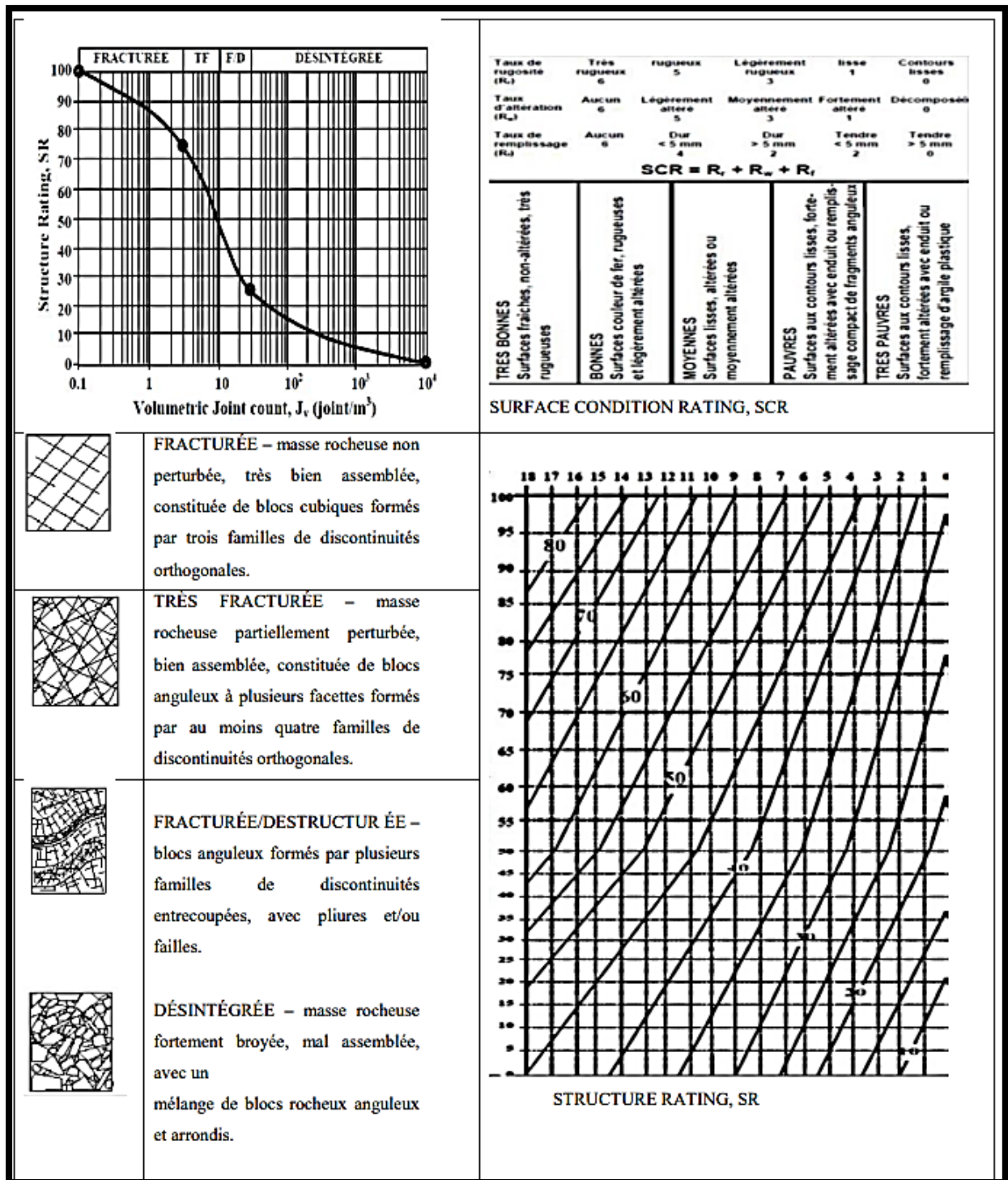


Figure I.31. Estimation du GSI modifié à partir d'une description géologique de la masse rocheuse [11].

I.5.5 Systèmes du SMR (Slope Mass Rating)

Le SMR (Slope Mass Rating) est principalement axé sur la stabilité des pentes rocheuses (Romana 1985, Romana 1995). On obtient le système SMR en utilisant le RMR en ajoutant un produit de facteurs d'ajustement liés à la relation entre les joints et le talus, ainsi qu'un facteur lié

à la méthode d'excavation.

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (\text{F1.F2.F3}) + \text{F4}. \quad (\text{I.22})$$

Le RMR représente la valeur "de base" sans l'ajustement causé par l'orientation des Discontinuités. Les joints sont ajustés en fonction des trois facteurs F1, F2 et F3.

- ✓ F1 : Le parallélisme entre les directions des joints et des talus est essentiel. Ce paramètre peut fluctuer de 1 (lorsque les deux sont presque parallèles) à 0,15 (lorsque l'angle entre les deux dépasse 30° et que la probabilité de rupture est extrêmement faible). Il a été établi de manière empirique :

$$\text{F1} = (1 - \sin A)^2. \quad (\text{I.23})$$

Où : A est l'angle entre les directions des joints et du talus.

- ✓ F2 : Le mode de rupture plan dépend du pendage des joints.

Les valeurs s'étendent de 1 (pour les joints avec une inclinaison supérieure à 45°) à 0,15 (pour les joints avec une inclinaison inférieure à 20°). Si un renversement ou un basculement se produit, le facteur demeure égal à 1. Il a également été démontré de manière empirique :

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

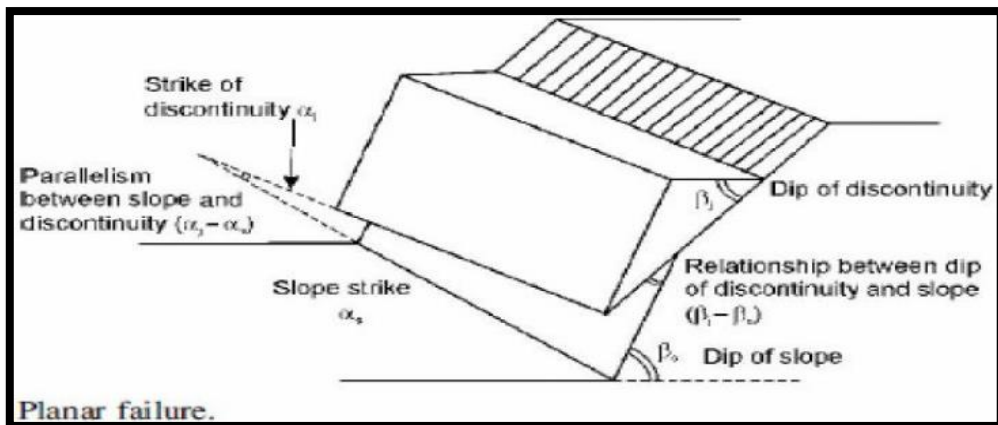


Figure I.32. Orientation d'une pente de type plane. [28][5]

Où B : est le pendage des joints.

- ✓ F3 : La relation entre la pente du talus et le pendage des joints est connue sous le nom de F3. Il est également nécessaire de distinguer une rupture plane d'une rupture par renversement ou basculement dans ce paramètre. Les corrections de Bieniawski ont été maintenues.

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur les massifs rocheux, les géomatériaux et les méthodes de classification géomécaniques

- ✓ Le coefficient d'ajustement F4 tient compte de la technique d'excavation. Il repose sur les fondements empiriques suivants :
- ✓ En raison de l'érosion à long terme et des protections naturelles telles que la végétation, les talus sont plus stables.
- ✓ La roche prédécoupée augmente également la stabilité.
- ✓ 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.

Chaque système de discontinuités reçoit une valeur de SMR et la plus petite est choisie pour évaluer la totalité du talus. En utilisant le SMR, on peut donc évaluer la stabilité du talus et recommander les différentes techniques de confort (ancrage, boulons, béton projeté,). Le tableau I.14 présente les valeurs des paramètres

Tableau.I.14 Notes des paramètres du SMR (Romana, 1985).

SMR= RMR de base + (F1*F2*F3) + F4					
Facteurs d'ajustement liés aux joints (F1, F2, F3).	α_j =Direction du pendage des joints β_j =Pendage du joint α_s =Direction du pendage du talus β_s =Pendage du talus				
	Très favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très défavorable
Rupture plane $ \alpha_j - \alpha_s =$	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
Basculement $ \alpha_j - \alpha_s - 180° =$					
Valeur de F1	0.15	0.4	0.7	0.85	1
Relation	$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s)^2$				
La valeur de F2	$\beta_j =$				
Rupture plane	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
Basculement	0.15	0.4	0.7	0.85	1
Relation	$F_2 = \text{tg}^2 \beta_j$				
Rupture plane $\beta_j - \beta_s =$	>10°	10-0°	0°	0°-(-10°)	<(-10°)
Basculement $\beta_j + \beta_s =$	<110°	110°-120°	>120°	-	-
Valeur de F3	0	-6	-25	-50	-60
Relation	$F_3 = \text{Ajustement de BIENIAWSKI pour l'orientation des joints, 1976}$				
F4 : Facteur d'ajustement pour la méthode d'ajustement	$F_4 = \text{Valeur empirique de la méthode d'excavation.}$				
	Talus naturels	Prespliting	Smooth blasting	Explosif ou mécanique	Deficient blasting
Valeur de F4	15	10	8	0	-8

CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur les massifs rocheux, les géomatériaux et les méthodes de classification géomécaniques

On détermine la valeur de SMR pour chaque système de discontinuités. En fin de compte, la valeur la plus faible est choisie pour évaluer la totalité du talus. La description des classes SMR figure dans Tableau I.15

Tableau I.15 Les différentes classe de stabilité par la valeur du SMR

Description des classes SMR										
Classe	Va	Vb	Iva	IVb	IIIa	IIIb	Iia	Iib	Ia	Ib
Description	Très mauvais		Mauvais		Moyen		Bien		Très bien	
Stabilité	Complètement Instable		Instable		Partiellement stable		Stable		complètement stable	
Rupture	Grand plan		Plan ou grand Dièdre		Quelques joints ou beaucoup de dièdres		Quelques blocs		Aucune	
Support	Réexcavation		Importante corrective		Systématique		Systématique		Aucun	

I.5.6 Limitation des systèmes de classification

Depuis de nombreuses dizaines d'années, les classifications quantitatives des massifs rocheux fracturés sont employées pour la conception et la construction des structures réalisées dans ces massifs. Les méthodes utilisées reposent sur la compréhension des critères qui décrivent la qualité du massif rocheux et combinent les différents paramètres mesurés sur le site afin de donner une note sur la qualité du massif rocheux [23].

Il est aisé d'utiliser ces méthodes lors de l'avant-projet. Toutefois, elles ont certaines contraintes, que nous récapitulons ci-dessous :

Les critères de classification sont généralement employés pour tous les types de massifs rocheux, sans prendre en considération leurs particularités et le projet en question [14]

- On ne prend pas en considération les caractéristiques complexes du massif rocheux, notamment son anisotropie et son comportement différé (dépendant du temps).
- Les caractéristiques de déformabilité et de résistance qui en découlent sont liées à un milieu isotrope..
- Le RMR et le système Q ne conviennent pas aux roches tendres.

I.6 Conclusion

En résumé, il est essentiel de caractériser et de classer un massif rocheux afin de saisir les caractéristiques géotechniques et le comportement des roches. Ces informations sont indispensables pour la planification et la réalisation de projets de construction, d'exploitation minière et de gestion des risques naturels. En regroupant les roches selon leurs caractéristiques, ces méthodes facilitent la prise de décisions éclairées et réduisent les risques liés à la géotechnique. Pour obtenir une caractérisation et une classification précises, il est essentiel d'adopter une approche multidisciplinaire qui combine des observations sur le terrain, des essais en laboratoire et des analyses numériques. Finalement, une description et une classification Géomécanique adéquates des formations rocheuses jouent un rôle essentiel dans la stabilité et la sécurité des projets, tout en assurant des résultats fiables et durables dans le domaine de l'ingénierie géotechnique.



**CHAPITRE II Contexte géologique,
hydrogéologique du site d'étude**

II.1 Introduction

L'objectif du chapitre actuel est de décrire géotechniquement le massif rocheux de la zone Kef Dhbaa Morssott -Tebessa, en exposant sa description et ses caractéristiques géologiques et hydrogéologiques.

II .2. Contexte géographique

II.2.1 Localisation

La région étudiée est située au Nord-Est de l'Algérie, dans la partie orientale de la wilaya de Tébessa, Le territoire de la wilaya de Souk Ahras, d'Oum el Bouaghi, de Khenchla et enfin d'El Oued au sud est bordé par la frontière tunisienne [29]. L'oued Tébessa-Morsott est un sous-oued du bassin versant de Medjerda et du sous-oued d'Oued Mèllegue. Il s'agit d'une grande plaine allongée grossièrement au NW-SE avec des rebords de Djebels culminants à 1470 m. Son altitude varie de 780 m à 820 m

Le bassin versant Tébessa-Morsott fait partie du bassin versant de Medjerda et du sous bassins d'Oued Mèllegue. C'est une vaste plaine de forme grossièrement allongée au NW-SE dont les rebords sont constitués de Djebels culminants à 1470 m, son altitude varie entre 780 m et 820 m, ses limites sont définies comme suit :

- Limite Est : Dj .Cherab, Dj .Djebissa, Koudiat ELGoussa, Koudiat El-mouhad, Draa Snoubar.
- Limite Ouest : Dj boukkane, Dj Tezbent, Dj Belkif, Dj Snoubar, Dj Matlougue, Dj Serdiess, Dj Draa Snoubar.
- Limite Nord: Koudiat Nasla ,Khanguet El Araar ,Dj .Hamzal ,Kef Rokma ,Darraz El-faia ,Dj.Guenifiada ,Dj. Zitouna ,Dj. Koudiat Draa El –Seguir ,Dj .Dyr ,Dj .Mektonba.
- Limite Sud : Dj .Bouroumane, Dj Djoua, Dj Anoual, Koudiat El –Douamis, Dj .Osmor, Dj .Tela

II.2.2 Géographie

Morsott est une commune située sur la route nationale 16 entre Tébessa et Annaba, à trente-quatre kilomètres au nord du chef-lieu de wilaya de Tébessa. Morsott se trouve sur le versant El Hodh du plateau du Djebel Boukhadra. Si l'on considère Djebel Boukhadra, Djebel Benkeffif et Djebel Mzouzia, cela représente une assiette [30].

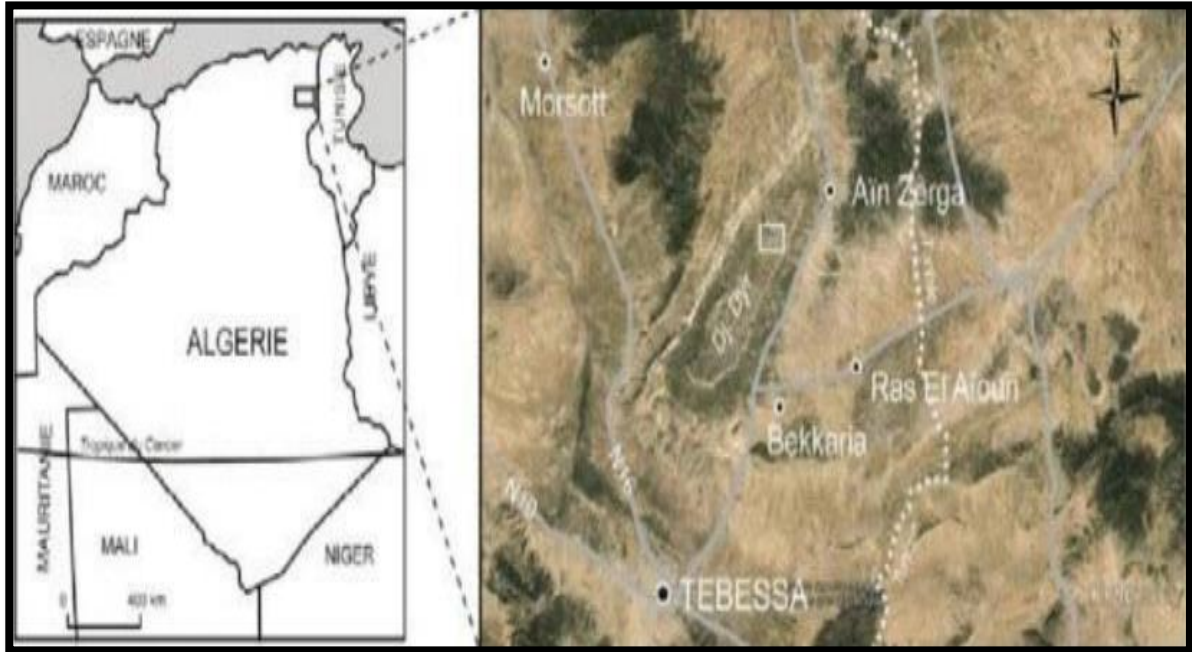


Figure II.1 Localisation géographique de région (photo satellitaire)

II.3. Contexte géologique

Le bassin de Tébessa-Morsott résulte de l'effondrement des formations crétacées et éocènes avec comblement progressif d'origine continentale moi-plio-quadernaire. Cette sédimentation s'est faite principalement, depuis les bordures encapées (calcaires, marnocalcaires, marneuses et gréseuses).

Un grano-classement s'est produit des bordures vers l'axe de la plaine. En bordure, on rencontre de gros cailloutis. Voir des galets calcaires, et au centre les humons récents argileux très fins des l'oued kébir et oued kosb [30]. D'une façon générale, il fallait s'attendre à ce que les formations de remplissage en bordures soient plus perméables qu'au centre du bassin mais le long des bordures mêmes, on constatera des différenciations très nettes entre la nature et la granulométrie des apports continentaux, dépendant de la nature géologique des affleurements et de la situation des débouchés des anciens oueds sur la plaine. L'ensemble de ces formations a été plissé de façon modérée (rétrécissement latéral estimé à 5% seulement au niveau des calcaires turoniens sur la coupe du Djebel Zitouna), suivant une orientation moyenne NE-SW. Cette direction moyenne qui représente la phase de plissement principal dite « Atlasique » a été acquise entre le Lutétien

inférieur et le Miocène.

Par la suite, se sont individualisés des fossés d'effondrement d'orientation globale NW-SE, dont ceux de Tébessa (WNW-ESE) et de Morsott (NNW-SSE). Leur mise en place a débuté avant le Plio-Villafranchien et s'est poursuivie jusqu'à une époque récente. L'amplitude verticale maximale du déplacement atteint 450 m environ pour le fossé de Morsott et jusqu'à 800 m pour celui de Tébessa [31].

Il a présence en bordure du bassin de plusieurs affleurements de trias, qui ont une importance sur la salinité de la nappe.

- Djebel Djebissa à l'extrémité de la nappe
- Djebel Belkif
- Djebel Hmaimat
- Au nord de Morsott

II.4. La géomorphologie

La plaine de Tébessa-Morsott correspond à un grand fossé d'effondrement qui s'élève à une altitude de 800 m, entourée de part et d'autre par deux grands ensembles de masses calcaires, séparées par des dépressions. L'évolution morphologique dans cette région a conduit à un façonnement de reliefs typique pour un terrain sédimentaire, caractérisé par un contraste lithologique qui se matérialise par l'opposition des pentes très faibles au centre de la plaine (2%) et les pentes fortes aux niveaux des bordures (18%). Ces reliefs sont formes d'un ensemble des anticlinaux et synclinaux a facies prédominants de calcaire et de marnes qui stratigraphique datent du crétacé, de l'Albien jusqu'au maestrichtien et paléogène avec la mise en place des formations triasiques [32] [33].

II.4.1. Les monts septentrionaux

Le passage des hautes plaines de Mellègue aux monts de Tébessa se manifeste par le resserrement des plaines et par l'agrégation des unités géomorphologiques tel que le val perche de Dyr et celui de Bou Rbaia. La majorité des plis dans cette bordure septentrionale sont tranches par des failles transversales [33].

II.4.2. Les monts méridionaux

Au sud, le fossé de Ain Chabro tranche les monts de Nememcha, interrompant les formes des reliefs qui possédaient, auparavant une certaine symétrie. Le relief devient de plus en plus

complexe à l'est avant de s'incliner vers le Nord-Est ou elle ferme la plaine de Tébessa. Cette barrière présente en petits massifs tels que Dj. Anouel, Dj. Azmor, Dj. Bourramane et Dj. Djebissa [33].

II.5. Description lithologique

La plaine de Tébessa-Morsott est représentée par un bassin d'effondrement, caractérisé par des dépôts d'origine continentale, la description lithologique des principaux facies caractérisant la plaine de Tébessa-Morsott montre :

- Une formation triasique diapirique disloquant des formations sus-jacentes affleurant en bordure du bassin et au niveau de Dj. Djebissa et au Nord de Morsott, cette formation est caractérisée par de grandes importances salinités de la nappe.
- Une formation carbonatée représentée par d'importantes couches calcaire fissurée et des marnes d'âge crétacé. Cette formation est très nette au niveau des bordures de la plaine.
- Un important dépôt alluvionnaire d'âge Moï-plio-quaternaire (sables, argile, limons et graviers) qui occupe sur la surface de toute la plaine et surtout au piedmont des reliefs accidentés en discordance avec les formations précédentes. Enfin, une carte regroupant les principaux facies géologique du bassin d'effondrement de Tébessa-Morsott a été produite à partir des cartes géologiques de Tébessa, Morsott [32].

II.6. La stratigraphie

La zone de Tébessa-Morsott ne présente à l'affleurement que des formations sédimentaires, essentiellement calcaires et marneuses, dont les âges sont compris entre le Trias et le Miocène, le tout étant recouvert par endroit par des formations superficielles quaternaires, de type éboulis de pente ou alluvions.

Cependant, la série stratigraphique n'est pas exhaustive, aucune trace de Jurassique n'ayant été encore retrouvée, à l'exception de la partie basale du Crétacé inférieur. La formation la plus ancienne est donc le Trias évaporitique, mais il est intrusif dans des formations sédimentaires plus récentes. Les roches encaissantes sont perturbées par ce diapirisme très caractéristique de la partie orientale de l'Atlas saharien, ainsi que de l'Atlas tunisien, ce qui entraîne une diminution de leur épaisseur, des changements brusques voire des renversements de pendage et de laminage. Sur la feuille de Morsott, on peut observer pas moins de trois appointements triasiques appelés «trois diapirs», d'une ampleur variable, situés aux Djebels Belkif, Hameimat Nord (ce dernier est situé à proximité de notre zone d'étude) et Hameimat Sud. Des dépôts d'âge Aptien dans la feuille de Morsott et d'âge Barrémien dans les territoires voisins (par exemple dans la région de l'Ouenza ou

au niveau du Djebel Mesloula) sont les plus anciens en "position normale" (Dubourdiou, 1959). On ne connaît donc pas l'histoire géologique antée-barrémienne dans la région. Sur le plan stratigraphique, on observe des séries géologiques qui vont de la formation la plus ancienne à la formation la plus récente [34].

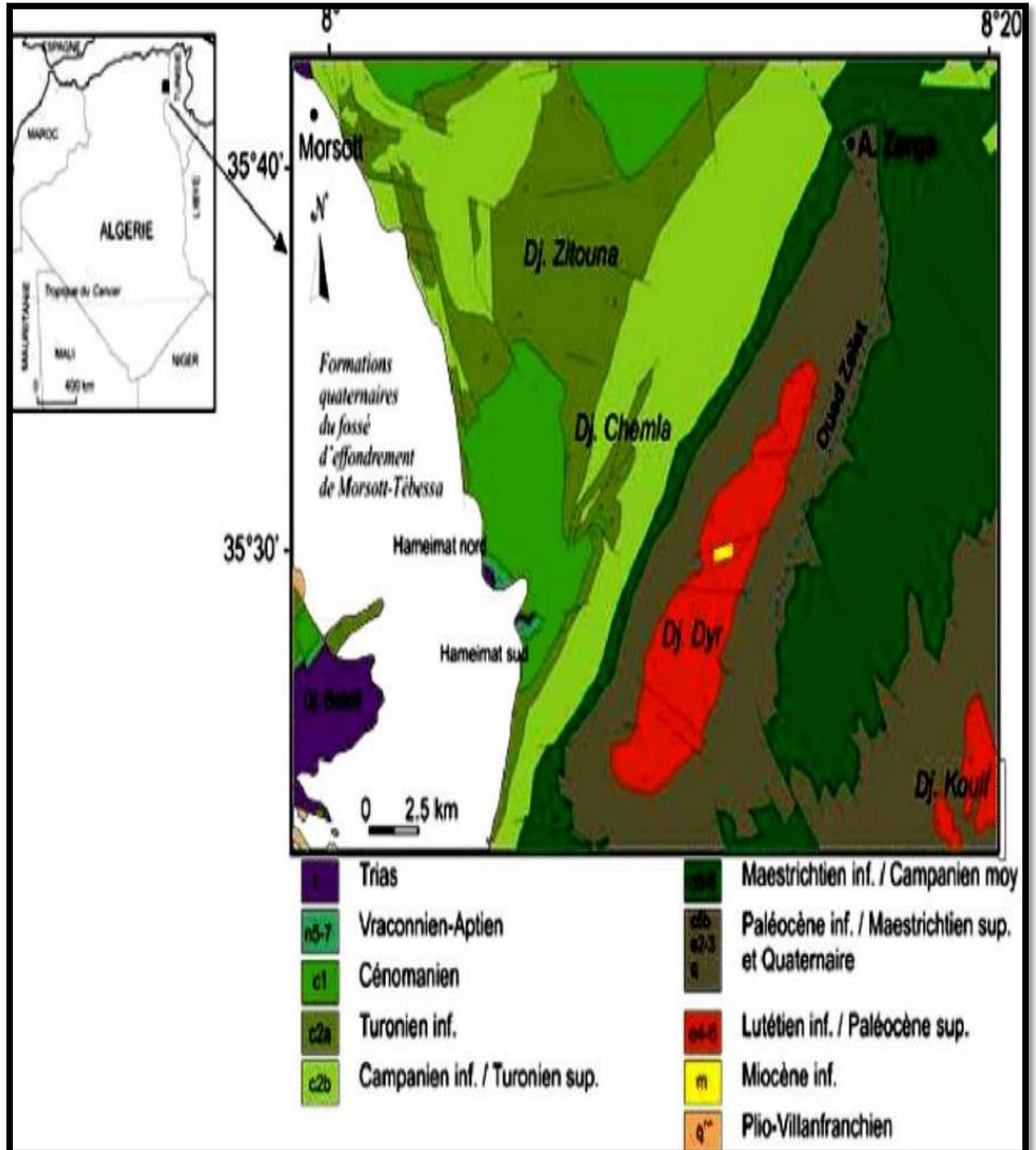


Figure II.2 Carte géologique de la région de Morsott (d'après la carte géologique de Morsott au 1/50 000 [

II.6.1. Trias

Il n'apparaît qu'en diapir au Dj.Djebissa. Les formations triasiques sont les plus anciennes dans notre secteur d'étude, les faciès caractéristiques du trias sont :

- Argiles rouges à gypse avec lentilles de gypse
- Bancs de calcaires roux dolomitiques en gros bancs et de dolomites rousses
- Calcaire et calcaires dolomitiques noirs en plaquettes

II.6.2. Crétacé

II.6.2.1. Aptien

Il s'agit d'un ensemble de calcaires massifs et de dolomite. Les calcaires sont souvent formes d'oolithes ferrugineux avec des intercalations de marnes et marno-calcaires. Les orbitoline sont très abondantes, l'épaisseur de ces séries d'environ 470 m [35].

II.6.2.2. Zone de Clansayes

C'est une de bancs de calcaires massif, gris à débris d'huitres ou oolithiques, il existe les Rudistes dans les assises calcaires. Les bancs deviennent lumachelliques au sommet avec des intercalations gréseuses, l'épaisseur de ces séries est de 90 m. Ces assises forment une grande parties des pentes moyennes du versant Ouest du Dj.Bouroumane.

II.6.2.3. Albien et Vraconien

Il s'agit de calcaire et marno-calcaires gris en plaquettes et en petits bancs dont de rares couches de marnes brunes viennent interrompre l'homogénéité. Ces assises forment le bas des pentes du Dj.Bouroumane l'épaisseur est de 210 m.

II.6.2.4. Cénomanién

II.6.2.4.1. Cénomanién inférieur

Ce sont des marnes alternant avec des lumachelles et des calcaires compacts cristalline massifs intercalés dans des marnes, sur ces derniers des empreintes d'Ammonites, l'épaisseur est d'environ 160 m.

II.6.2.4.2. Cénomaniens moyen

C'est une série très épaisse de marnes grises sans fossiles avec quelques bancs de lumachelles à la base, l'épaisseur est de 200 m.

II.6.2.4.3. Cénomaniens supérieur

Il s'agit de marnes jaunes avec quelques bancs de calcaires ocre, épais, durs et intercalés et de lumachelles, L'épaisseur est de 200 m.

II.6.2.5. Turonien

Il s'agit de marno-calcaire gris, de calcaires et de dolomites ou de calcaires dolomitiques, l'épaisseur est d'environ 320 m.

II.6.2.6. Emschérien (Santonien et Coniacien)

C'est une série épaisse de 250 m de marnes noires ou vertes (jaune en altération), admettant à la partie supérieure des niveaux plus calcaires et dans les 2/3 inférieurs (coniacien), des assises épaisses de lumachelles ocre très bien marqués dans la topographie. Les fossiles sont nombreux surtout dans la partie inférieure.

II.6.2.7. Campanien

Les 60 m de calcaires marneux Blancs, crayeux de cet étage forment quand ils ne sont pas marqués par les éboulis, une seconde falaise au-dessous des reliefs Maestrichtiens.

II.6.2.8. Maestrichtien

Ce sont des marnes grises, des marno-calcaires blancs, et des calcaires blancs massifs très lités à nombreuses empreintes d'Incérâmes.

II.6.3. Paléogène

II.6.3.1. Eocène inférieur et crétacé supérieur (Dano-montien et Maestrichtien supérieur).

C'est une puissante série de 300 m d'épaisseur de marnes noires ou jaunâtres quelquefois gypseuses ou pyriteuses à rares petits bancs marno-calcaires, des faunes découvertes plus à l'Est ont permis de montrer que la base appartenait au Maestrichtien supérieur et le milieu au Danien [35].

II.6.3.2. Eocène inférieur (Thanésien)

Ce sont des marnes et calcaires marneux à silex référents plusieurs couches phosphates ou les dents de squales ne sont pas rares, l'épaisseur est de 10 à 15 m.

II.6.3.3. Eocène moyen et inférieur (lutétien inférieur, et yprésien)

Il s'agit des calcaires massifs à silex en bancs épais de 50 à 60 m de puissance à la base 5 m de calcaires marneux blancs à silex.

II.6.4. Néogène

II.6.4.1. Miocène

II.6.4.1.1. Miocène moyen et inférieur (Vindobonien et Burdigalien)

C'est une série gréseuse continentale de 150 m de puissance à l'Ain Bekkaria transgressive sur tous les terrains antérieurs, il a un poudingue de base très siliceux souvent ferrugineux admettant quelques intercalations de marne jaune ou verte. Les niveaux supérieurs très durs et conglomératiques forment les reliefs d'Hadjar Sefra [35].

II.6.4.1.2. Miocène supérieur (pontien)

Cet étage (marnes rouges continentales, quelque fois bariolées) n'affleure qu'au Sud du col de Tenoukla, de puissance supérieure à 100 m.

II.6.4.2. Pliocène

Il s'agit des argiles rouges compactes et des conglomérates souvent bien cimentés. La formation recouvre largement les calcaires éocènes de la bordure N et les calcaires Maestrichtien de la bordure NE. L'épaisseur du pliocène près de Bekkaria atteint 400 m.

II.6.5. Quaternaires

II.6.5.1. plio-quaternaire (Vila franchien)

Il s'agit d'argile rouge, de conglomérates et essentiellement de croutes calcaire, des limons, des éboulis, des cailloutis et des poudingues. Ces sédiments présentent la plus part du temps un pendage qui s'il tient parfois à l'origine tectonique ou d'origine continentale. Il s'accumule dans les parties basses des reliefs et constituent la plus grande partie du comblement de fossé d'effondrement (Tebessa-Morsott). Leur épaisseur dépasse dans certains endroits 170 m. A cette série se rapport la plus grande partie des terrains de comblement de le fossé d'effondrement. Un sondage exécuté pour la recherché d'eau dans la basse plaine de Tébéssa. Ils renferment en général une faune d'Hélicidés. L'origine des sédiments détritiques et toujours immédiatement proche [35].

II.6.5.2. Cailloutis du Dj.Djebissa

Il est perché sur les argiles à gypse du trias ou sur les marnes Cénomaniennes dans la région de Dj .Djebissa.

II.6.5.3. Matériel d'épandage ancien

Il s'agit des éboulis et cônes de déjection.

- Eboulis et cônes de déjection anciens ravines par les oueds actuels.
- Gros éboulis amas de blocs souvent énormes de calcaires Maestrichtiens, paraissant soliflués, disloqués et en cours de destruction par l'érosion.
- Localement: anciens cônes de déjection rougeâtres formes d'esquilles.

II.6.5.4. Matériel d'épandage ancien en terrasse

Ce sont des cailloutis et argiles peu épais en général sur les marnes crétacées.

II.6.5.5. Alluvions anciennes de piedmont

Ce sont les formations de bordure de la plaine de Tébéssa, argileuses ou caillouteuses, dans le premier cas, elles sont constituées à partir des marnes Sénoniennes à l'ouest et au NE de Tébéssa, Dano-montiennes au NW Cénomaniennes. Et dans le second cas, à partir des calcaires Maestrichtien à l'ouest et au NE Eocène du Nord, Turonien à l'est.

Ce sont la plus part du temps des cônes de déjection [35].

II.6.5.6. Croute calcaire

Dépôts superficiels dus à l'évaporation d'eau chargée de calcaire, développée surtout sur les alluvions caillouteuses anciennes.

II.6.5.7. Alluvions anciennes

Constituant les basses terrasses des oueds, elles se raccordent généralement à des formations anciennes occupant latéralement de plus grandes surfaces aux bordures de la plaine.

II.6.5.8. Limons récents

Ils sont développés surtout dans la grande vallée de l'Oued Kébir. Dans la zone d'El-Merdja, des dépôts de gypse alluvionnaires font l'objet d'exploitation locale

II.6.5.9. Alluvions actuelles:

Elles n'existent que rarement car en règle très générale, les oueds recoupent la formation sur lesquelles ils coulent sur les bordures de la plaine, elles affectent l'allure de dépôts torrentiels.

II.6.5.10. Travertins T

Déposées par les sources de Tébessa et de Tenoukla.

II.6.5.11. Eboulis actuels A

Ils existent au pied de tous les grands reliefs calcaires, leur extension est en réalité plus grande que ce a été figuré sur la carte, mais ils se confondent la plupart du temps avec les éboulis anciens [35].

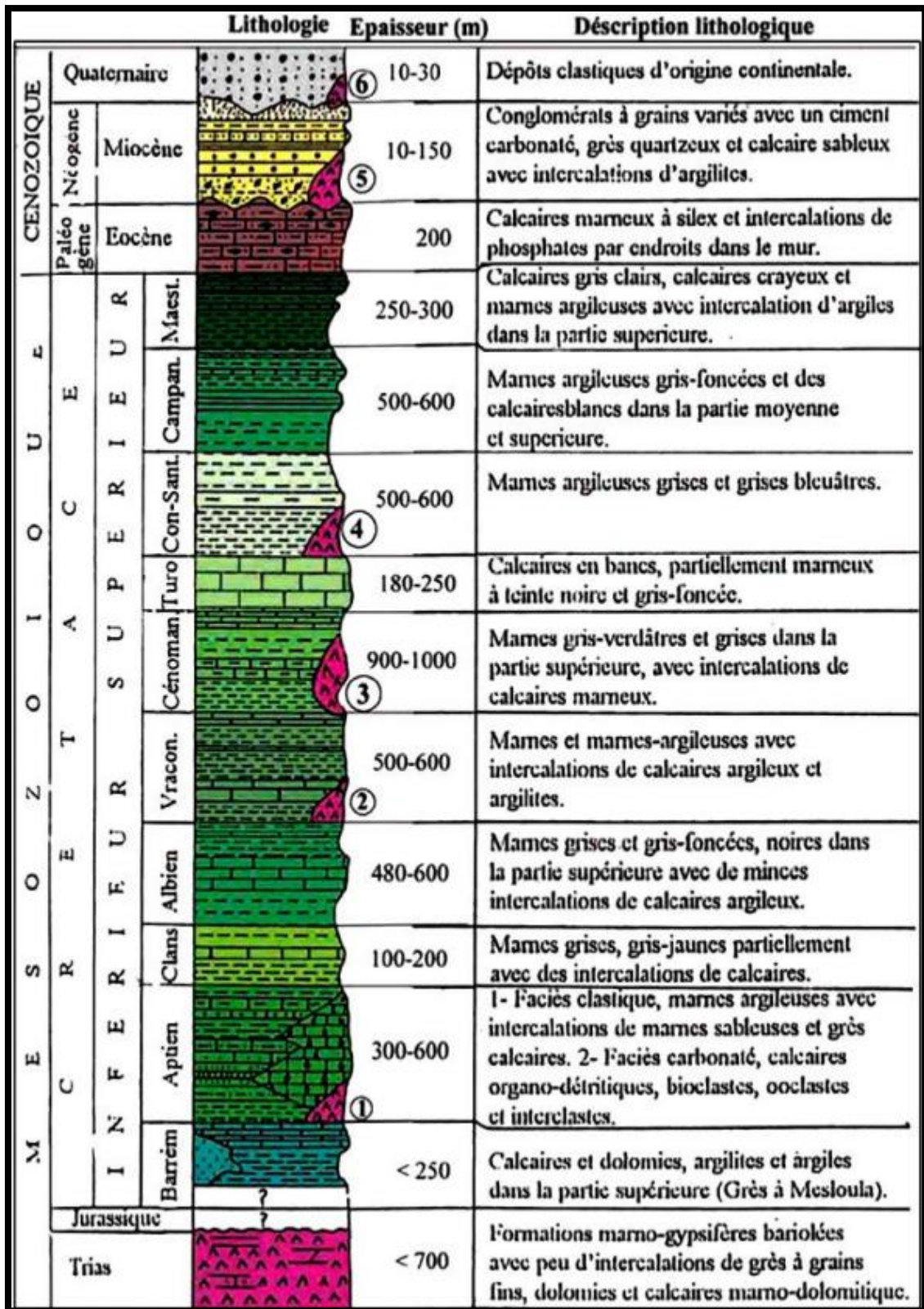


Figure II.3 Log synthétique des monts du Mellègue (D'après: Dubourdiou., 1956- 1959; David., 1956; Madre., 1969; Fleury., 1969; Thibieroz et Madre., 1976; Chikhi., 1980; Otmanine., 1987; Bouzenoune., 1993 et Vila et al., 2000) in L.,Sami. 2003[37]

II.7. Tectonique

L'évolution tectonique dans cette région résulte de nombreuses phases de l'orogénèse alpine ayant été le responsable de la formation des horsts et des grabens, ainsi que des structures plissées. La plaine de Tébessa-Morsott correspond à un bassin de sédimentation modérément subsidient [38]. C'est un fossé d'origine tectonique qui s'est formée au tertiaire et au quaternaire dans laquelle sont accumulées des formations détritiques, reposant sur les calcaires aux bordures. Le fossé d'effondrement de Tébessa-Morsott est la conséquence des mouvements tectoniques qui ont subi différentes phases d'origine alpine étant responsables de la formation de bassin et de graben, ainsi que des structures plissées [39].

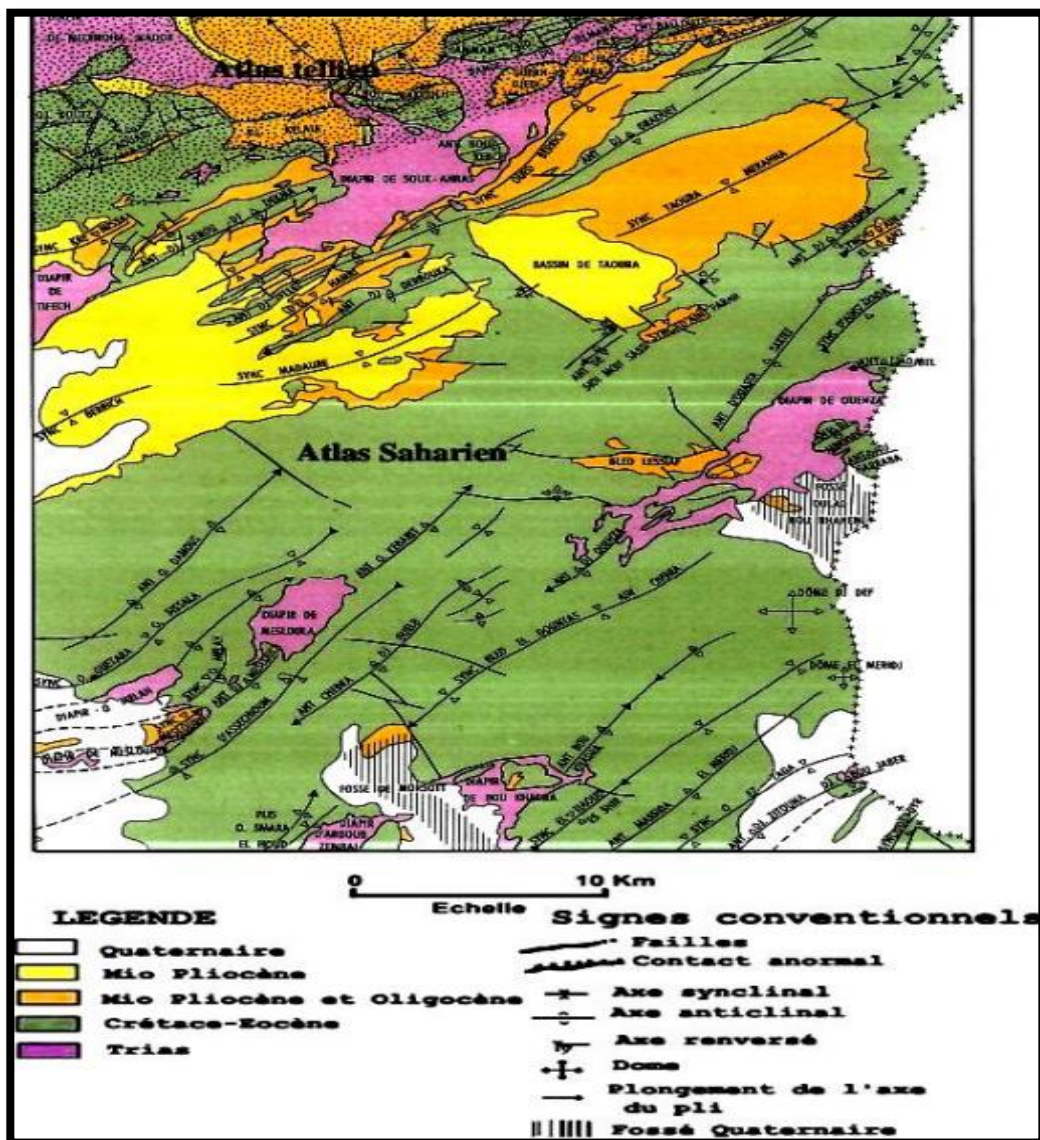


Figure II.4 Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500000, montre le fossé de Morsott et de Tébessa (Service de la carte géologique de l'Algérie, 1951)

II.8. Les effondrements

Dans la plaine de Tébessa-Morsott, la phase atlasique a été suivie par une phase de relâchement tectonique appelée phase d'effondrement des fossés, elles ont généralement une direction nord-ouest sud-est pour le fossé de Morsott et ouest-nord sud-est pour le fossé de Tébessa, résultat d'une force tectonique distensive NE-SW [40].

Le fossé d'effondrement de Tébessa-Morsott est rempli par des dépôts marneux plio-quadernaire atteignant 6000 m dans la région de Tébessa et 3000 m dans la région de Morsott au point le plus bas. D'après (A.Othmanine. 1987), ils ont un caractère marquant de la région, dont le plus important est celui de Tébessa-Morsott. Il est constitué de deux branches distinctes : la branche méridionale orientée N 110 et la branche septentrionale de direction N 150.

II.8.1. La branche méridionale

- Au Sud, la limite du fossé correspond à des petites failles parallèles et de direction N140 à N160 qui abaissent en gradins les calcaires maestrichtiens d'au moins 400 m et les calcaires turoniens de 200 m. A l'extrême SE du fossé une faille de direction EW à SW-NE met en contact le calcaire aptien du Dj. Roumaine avec le Cénomaniens.

- A l'Est, le fossé limité par le diapir de Bekkaria.

- Au Nord, le fossé limité par des failles de directions N 110 à 120, au niveau de Dj Guenifida, mais plus à l'Est ces failles prennent une direction N 140 et diminuent d'importance. Les pendages des couches change des sens aux abords du fossé dessinant un petit pli anticlinal de direction NW-SE qui tend à devenir E-W vers l'est. A l'extrême NW le fossé s'amortie dans le demi synclinal de Draa Es Snoubar orienté ENE-WSW.

- A l'Ouest, le fossé semble se prolonger dans la partie occidentale de Dj Belkfif comprenant El-Alia, Kt Deries et Kt El-Agab [41]

II.8.2. La branche septentrionale

- Au Nord, le fossé s'amortie au niveau du diapir Boukhadra-Mzouzia. L'arête de calcaire albien limitant le diapir au Nord est interrompu sur une distance de 500 m mais ne semble pas décalée.

- La limite orientale correspond à des failles N 150 découpant les calcaires turoniens de Haoud Srhir et Haoud El Kebir et de Dj Zitouna en corniches de même orientation que le fossé. Au Sud

des Hamimats la limite suit les corniches de Kef Lahmar orienté ENE-WSW.

- La limite occidentale est matérialisée par les failles interrompant à l'est Dj Metloug et Dj Belkif faisant basculer les calcaires turoniens de ce dernier vers le fossé [41].

II.9. Les plissements

Le pli est une déformation d'une ou plusieurs couches dues à des contraintes latérales ou de glissement d'un autre pli suivant la direction des couches [42]. En effet, les couches prennent une forme synclinale ou anticlinal : comme le cas de Dj-Zitouna et Dj. Dyr celui de Serdiess. Synclinal comme le cas de petit gouttier de Troubia et Tazbent.

II.10. La morpho-structure

II.10.1 Relief

Le contraste est met entre la partie occidentale et la partie orientale. La dénivellation entre les deux ensembles est de 200 m environ. Il Ya en fait deux systèmes orographiques perpendiculaires, d'une part des plis dont certains s'édentent sur plusieurs kilomètres de direction NE-SW, correspondant à de forts reliefs et d'autre part de vastes plaines orientées NW-SE formant le fossé.

II.10.2. Massifs montagneux

Au plan structural, les massifs constituent le reste de principales structures tectoniques atlasiques de la région et qui sont bien dégagées du point de vue morphologique. On observe souvent une alternance de calcaire et de marne d'une importance épaisseur (cénomaniens-Emschtériens) favorisant le dégagement des formes structurales par l'érosion différentielle. Les plus caractéristiques se voient dans les surfaces structurales qui forment les revers des monoclinaux, et dans les versants à corniches. Elles sont formées essentiellement par les calcaires massifs du turonien et de l'éocène).

II.10.3. Les éboulis :

Des épandages détritiques à éléments de calcaires éocènes sous forme d'éboulis se sont accumulés au pied du synclinal du Dj. Dyr. Ces éboulis sont importants par leur nombre et le volume déplacé. On y trouve plusieurs générations d'éboulis ayant une relation directe avec des linéaments importants. En effet, on trouve plusieurs cônes d'éboulis tronqués par des linéaments. Ceci indique la postériorité de ces derniers ainsi que leur rejeux actuels et récents. C'est le cas du

linéament allant de Bel-Dabb qui est parallèle au fossé d'effondrement et d'orientation N118°E, il en est de même du linéament allant de Rass Ragouba et de Fedj el Hattab à l'est de Dyr.

D'autres éboulis semblent être stoppés ou limités par des linéaments. Le meilleur exemple est celui de Bordj Ahmed lakhdar, stoppé par le linéament N°287 ainsi que le cône d'éboulis d'Ain khire, venant lutter contre le linéament N°2 d'orientation N75°E.

La répartition de ces éboulis ne serait pas seulement mise en rapport avec la valeur moyenne des pentes mais serait étroitement liée à une influence structurale et au processus dynamique qui touche la région.

II.10.4. Les glacis

Les glacis sont généralement liés à une longue évolution en climat semi-aride. Durant le plio-quadernaire, la région d'étude a connu un climat semi-aride caractérisé d'oued el kosob.

Les glacis sont très perturbés entre oued Zerga et oued Rbai à cause de la tectonique récente et actuelle.

II. 11 Le contexte hydrogéologique de la région d'étude

Il est supposé qu'il existe trois (03) formations qui pourraient être des aquifères potentiels.

Les calcaires et marno-calcaires du Turonien, les calcaires, grés, dolomies du Trias et les alluvions, limons, croûte calcaire du Plio-quadernaire sont les trois formations. [41].

Toutes ces formations sont perçues comme des nappes hydrogéologiques distinctes, ce qui permet de distinguer :

- La couche d'eau du Plio-quadernaire ;
- La couche d'eau du Turonien ;
- La couche d'eau du Trias.

A. Les caractéristiques hydrogéologiques par formation.

Tableau II.1 Classification hydrogéologique simplifiée de quelques formations géologiques de la région d'étude (Abdeslam. Ilham thèse doctorat).

Formations Géologiques	Classification hydrogéologique	Lithologie (type de roches)	Epaisseurs (m)	Débits (l/s) Rabattement(m)
Trias (t)	Aquifère	gypses, calcaires, dolomies, brèches, et cargneules.	ind	?
Turonien inférieur (C2a, C2d)	Aquifère	calcaires en gros bancs, calcaires en plaquettes, marnes argileuses.	100-150	8.5 l/s - 30l/s 7 m - 20 m
Turonien supérieur (C2e)	Aquifère/Aquiclude	marnes argileuses, marno-calcaires	150-250	4 l/s – 7 l/s 26 m -60m
Plio-quadernaire (Pq)	Aquifère	alluvions, limons, croûtes calcaires, calcaires lacustres, poudingues, grés et graviers.	> à 100	?

• La nappe du Trias

Cette formation géologique d'extension limitée, se trouve en bordure du bassin d'effondrement, il s'agit d'un complexe de gypses, de calcaires, de dolomies, des brèches, et de cargneules. Malgré des perspectives hydrogéologiques probablement intéressantes, les eaux de cette nappe présentent

de mauvaises qualités hydrochimiques (eaux très chargées, salées).

- **La nappe du Turonien inférieur (C2a, C2d)**

Cet aquifère est constitué par des calcaires en gros bancs et des calcaires en plaquettes, séparées par des niveaux de marnes argileuses. L'importance hydrogéologique de cet aquifère, nous est appréciée par les forages (ACP1 et ACP2), les forages de Koudiat Charia (S3) et Sidi Chaabane (SC1). Ces forages donnent respectivement 23 l/s, 15 l/s, 8.5 l/s et 30 l/s, pour de faibles rabattements (7m pour ACP1 et 20 m pour SC1). Les possibilités aquifères de cette nappe sont étroitement liées au degré de fissuration des calcaires.

- **La nappe aquifère du Turonien supérieur (C2e)**

Le Turonien supérieur est une formation géologique constituée par une alternance de marnes argileuses et de marno-calcaires. Les différents auteurs lui attribuent une puissance allant de 150 à 250 mètres. L'importance hydrogéologique de cette nappe est donnée par les forages EA1 et KA1, ces forages donnent respectivement 7 l/s et 4 l/s pour des rabattements importants de 60 et 26 mètres ; au vue des débits extraits, cette nappe à elle seule ne constitue pas un bon réservoir hydrogéologique.

- **La nappe aquifère du Plio-quaternaire**

Cette nappe de grande extension, occupe presque la totalité du bassin d'effondrement de Morsott, elle est limitée à l'Est et à l'Ouest par deux (02) grandes failles d'orientation Nord-Ouest-Sud-Est, elle est constituée par des dépôts très variés correspondant aux alluvions, aux limons, aux croûtes calcaires, aux calcaires lacustres, aux poudingues, aux grés et aux graviers. Cet aquifère joue un rôle très important dans l'alimentation en eau potable de habitants de toute la région d'étude. L'alimentation de cette nappe est assurée principalement par les précipitations, l'infiltration des eaux d'irrigation et par l'alimentation latérale à partir des affleurements des terrains créacés en bordure Est et Sud-Est [41].

II.12 Conclusion

Le bassin d'effondrement de Morsott (Kef Dhbaa) région d'étude, les sédiments d'origine continentale sont présents, principalement des alluvions anciennes et récentes (argiles, grés, cailloutis et calcaires). Les registres stratigraphiques des forages effectués dans la zone d'étude confirment cela. Ce bassin d'effondrement est entouré d'importants reliefs. Il s'agit d'un ensemble d'anticlinaux présentant principalement des faciès de calcaire et de calcaire marneux, qui se prolongent du Trias au Maestrichtien. Le crétacé et le miocène ne sont recouverts que par le plio-quadernaire et sont fragilisés par ces formations.



**CHAPITRE III Caractérisation géotechnique
des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa
Morsott-Tébessa »**

III.1 Introduction

La première étape dans le domaine de la géotechnique est de déterminer le massif rocheux qu'on veut exploiter. Cette opération est réalisée à l'aide d'essais en laboratoire et sur le terrain. Ces essais offrent la possibilité d'évaluer les caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques de la roche concernée. Ce chapitre examine les différents paramètres physiques, chimiques et mécaniques du massif rocheux de l'entreprise SARL SOTRAMATEBESSA, en se basant sur le cas d'étude du carrier KEF DHBAA MORSOTT -TEBESSA. La valeur des échantillons obtenus sur le terrain est de 16 points. Les propriétés physiques de la roche comprennent la masse volumique, l'absorption d'eau, l'indice des vides, la porosité et la vitesse de propagation du son. Les propriétés chimiques telles que la réalisation des essais chimiques traditionnels, le contrôle de la qualité

III.2 Détermination des propriétés physiques du massif rocheux

III.2.1. La masse volumique :

III.2.1.1 La masse volumique apparente

Les masses de matériaux granulés sont déterminées selon les normes françaises (NA5089)

- 1- Prélever un échantillon d'une masse 120% et 150% de la masse nécessaire pour remplir le conteneur.
- 2- Faire sécher l'échantillon à l'étuve (110±5) °C
- 3- Tamiser l'échantillon pour avoir la classe granulaire demandée
- 4- Relever la masse et le volume du conteneur
- 5- Poser le conteneur sur une surface horizontale et remplir à l'aide de la pelle jusqu'à ce qu'il déborde, enlever avec soin tout excédent au sommet du conteneur et niveler la surface des granulats à l'aide de la règle.
- 6- Peser le conteneur rempli et enregistrer sa masse

(Masse volumique apparente)

$$MVA = (M - M_r) / V_r \text{ (grs / cm}^3\text{)}$$

(III.1)



Figure III.1 Préparation des échantillons.

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

➤ Expression des résultats

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.1 présente les valeurs des masses volumiques apparentes

Echantillon	Masse de conteneur Mr (g)	Volume de conteneur (cm ³)	Masse de conteneur +échantillon (M) (g)	Masse volumique Apparente MVA= (M-Mr)/Vr (g/ cm ³)
01	5737	3272.6	10475	1.45
02	5737	3157.6	10287	1.44
03	5737	3272.6	10331	1.40
04	5737	3157.3	10296	1.44
05	5736.4	3272.6	10429	1.43
06	5736.4	3157.6	10288	1.46
07	5737	3157.3	10288	1.44
08	5736.4	3272.6	10429	1.43
09	5737	3157.6	10368	1.41
10	5737	3157.6	10163	1.40
11	5737	3157.6	10155	1.39
12	5737	3157.6	10152	1.39
13	5737	3157.6	10163	1.40
14	5737	3272.6	10395	1.42
15	5737	3157.6	10062	1.36
16	5737	3157.6	10163	1.40

▪ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui est représentées dans le tableau **III.1** les échantillons utilisés sont denses est ça revient à leur texture massive et compacte

III.2.1.2 La masse volumique réelle [NA 255-2018]

La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel).

Mode opération :

- 1-Peser le pycnomètre vide (M1).
- 2-Verser de l'eau destiné dans le pycnomètre

3-Préparer 500g un échantillon de granulats sec

4-Verser l'échantillon dans le pycnomètre à l'aide de la main écope et provoquer le départ des vides et de l'air

5- Noter la masse M2 (matériaux +pycnomètre)

6-Compléter le niveau d'eau dans le pycnomètre jusqu'au trait repère

7-Noter la masse M3 (eau+ matériaux+ pycnomètre)

Relève traitement des données

- Classe granulaire
- Poids de pycnomètre (M1) (g)
- Poids pycnomètre + matériaux (M2) (g)
- Poids pycnomètre +EAU + matériaux (M3) (g)
- Poids du pycnomètre +eau (M4) (g)
- Poids de l'échantillon $M5=M2 -M1$ (g)
- Volume du pycnomètre $M6= M4 -M1$ (cm³)
- Volume de l'eau $M7 = M3-M2$ (cm³)
- Volume de l'échantillon $M8 =M6-M7$ (cm³)

La masse volumique réelle de l'échantillon :

$$\text{MVR} = (M5/M8) \text{ (grs/ cm}^3\text{)}$$

(III.2)



Figure III.2 Préparation des échantillons.

➤ **Expression des résultats**

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Tableau III.2 Présente les valeurs de la masse volumique réelle (absolue)

Echantillon	Poids de pycnomètre (M1) (g)	Poids pycnomètre+ matériaux (M2) (g)	Poids de pycnomètre +EAU + matér (M3) (g)	Poids du pycnomètre +eau (M4) (g)	Poids de l'échantillon M5=M2-M1 (g)	Volume du pycnomètreM6= M4 -M1 (cm3)	Volume de l'eauM7= M3-M2 (cm3)	Volume de l'échantillon M8=M6-M7 (cm3)	La masse volumique réelle de l'échantillon $\gamma_{sd} = \frac{M5}{M8} \text{ (calcul cm}^3\text{)}$
1	577.9	977.9	1993.2	1742.3	400	1164.4	1015.3	149.1	2.68
2	572.2	972.3	1987	1737	400.6	1164.8	1014.8	150	2.67
3	572.2	972.2	1985.7	1737	400.1	1164.8	1013.8	151	2.64
4	572.2	972.3	1986.3	1737	400.1	1164.8	1014.1	150	2.67
5	572.2	972.2	1986.2	1737	400	1164.8	1014.7	150.1	2.66
6	572.2	972.2	1989.2	1737	400	1164.8	1017	147.8	2.70
7	573	973.3	1988.4	1737	400.3	1164	1015.1	149	2.68
8	572.2	972.2	1988	1737	403.2	1165	1013	152	2.65
9	572.2	972.3	1987	1737	400	1164.8	1014.8	150	2.66
10	572.2	972.2	1988.4	1737	400	1164.8	1016.2	148.2	2.69
11	572.2	972.3	1987.1	1737	400	1164.8	1014.9	149.9	2.67
12	572.2	972.2	1987	1737	400	1164.8	1014.8	150	2.66
13	572.2	972.3	1988.2	1737	400.1	1164.8	1015.9	148.9	2.68
14	572.2	972.2	1988.4	1737	400	1164.8	1016.2	148.2	2.69
15	572.2	972.3	1986.3	1737	400.1	1164.8	1014	150.8	2.65
16	272.2	972.2	1988	1737	400	1164.8	1015.8	149	2.68

▪ **Interprétation des résultats**

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau III.2 les échantillons utilisés sont denses.

III .2.2 Le poids volumique

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

$$\gamma = \rho * g \quad \text{(III.3)}$$

Où :

γ : Est le poids volumique du matériau (N/m³);

ρ : Est la masse volumique du matériau (kg/m³);

g : Est l'accélération de la gravité (cm/S²).

➤ Expression des résultats

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.3 Les valeurs des poids volumiques.

Echantillons	Poids volumiques (kn/m³)
Ech01	26.3
Ech02	26.2
Ech03	25.9
Ech04	26.2
Ech05	26.1
Ech06	26.5
Ech07	26.3
Ech08	25.9
Ech09	26.4
Ech 10	26.2
Ech11	26.2
Ech12	26.1
Ech13	26.3
Ech14	26.4
Ech15	26
Ech16	26.3

III.2.3 Taux d'absorption d'eau (AB%) [P 18-555]

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon .cette imbibition partielle est obtenu par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h à 20°C à la pression atmosphérique, par sa masse sèche.

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Le coefficient d'absorption est obtenu par :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} * 100 \quad (III.4)$$

Ms : masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 C°.

Ma : masse de l'échantillon imbibé.



Figure III.3 les échantillons représentatifs



Figure III.4 les masses sèche des échantillons



Figure III.5 Placage des échantillons dans l'eau après les de l'eau et bien les avoir séchés

Figure III .6 Pesage des échantillons avoir retirés Pendant 24 heures

➤ **Expression des résultats**

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.4 Les valeurs de coefficient d'absorption.

Echantillon	Ms	Ma	Coefficient d'absorption %
Ech01	1455	1468	0.89
Ech02	1654	1663	0.54
Ech03	2668	2679	0.41
Ech04	2015	2024	0.44
Ech05	2648	2661	0.49
Ech06	2135	2157	1.03
Ech07	2247	2259	0.53
Ech08	1090	1103	1.19
Ech09	1889	1911	1.16
Ech10	3472	3488	0.46
Ech11	3044	3054	0.32
Ech12	2405	2432	1.12
Ech13	2890	2915	0.86
Ech14	1012	1012	0
Ech15	948	956	0.84
Ech16	2702	2732	1.11

D'après les valeurs qui sont représentées dans le tableau **III.3** on constate que les échantillons sont de faible coefficient d'absorption d'eau.

III.2.4 La porosité [P18-554]

La porosité est définie comme le rapport du volume des vides contenus dans les grains et accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon

Selon la porosité, les roches sont classées en:

- 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 : $n > 20 \%$

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

La porosité est obtenue comme suit :

$$n = MVR * \text{coefficient d'absorption} \quad (\text{III.5})$$

➤ Expression des résultats

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.5 Les valeurs de la porosité.

Echantillon	La porosité %
Ech01	2.4
Ech02	1.4
Ech03	1.08
Ech04	1.17
Ech05	1.30
Ech06	2.8
Ech07	1.4
Ech08	3.2
Ech09	3.1
Ech10	1.2
Ech11	0.85
Ech12	2.9
Ech13	2.3
Ech14	0
Ech15	2.2
Ech16	2.9

▪ Interprétation des résultats

Selon les données présentées dans le tableau **III.5**, il est évident que les échantillons présentent une porosité faible.

III.3 Détermination des propriétés chimiques du massif rocheux

III.3.1 Laboratoire analytique

III.3.1.1 Attaque par acide perchlorique

En ce qui concerne cette partie d'analyses les méthodes suivantes qui sont décrites ci-dessous :

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Matériels utilisés:

Echantillon, cristallisoir, plaque chauffante, papier filtre, balance électronique, acide perchlorique, Hcl, verre de montre, baguette, eau distillée, triangle, acide chlorhydrique, fiole jaugé 500 ml. On filtre

▪ Mode opératoire:

- Peser 0.5 g d'échantillon (calcaire) et 1.5 g de sodium carbonate NaHCO_3
- Ajouter 2ml d'eau distillée et 5ml d'acide perchlorique dans un cristallisoir.
- Avec une baguette remuer jusqu'à ce que le produit soit bien solubilisé dans l'acide.
- Couvrir le cristallisoir avec un verre de montre.
- Mettre la solution sur une plaque chauffante sur un triangle jusqu'à l'obtention d'une patte gélatineuse et lui ajouter 10 ml d'acide Chlorhydrique (Hcl) et d'eau distillée.
- Réchauffer le mélange pendant 15 min.



Figure III .7 Préparation les échantillons

- Filtrer le contenu dans une fiole jaugé de 500 ml sur un filtre rapide à l'aide de l'eau distillée en rinçant parfaitement le cristallisoir. Compléter jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée.

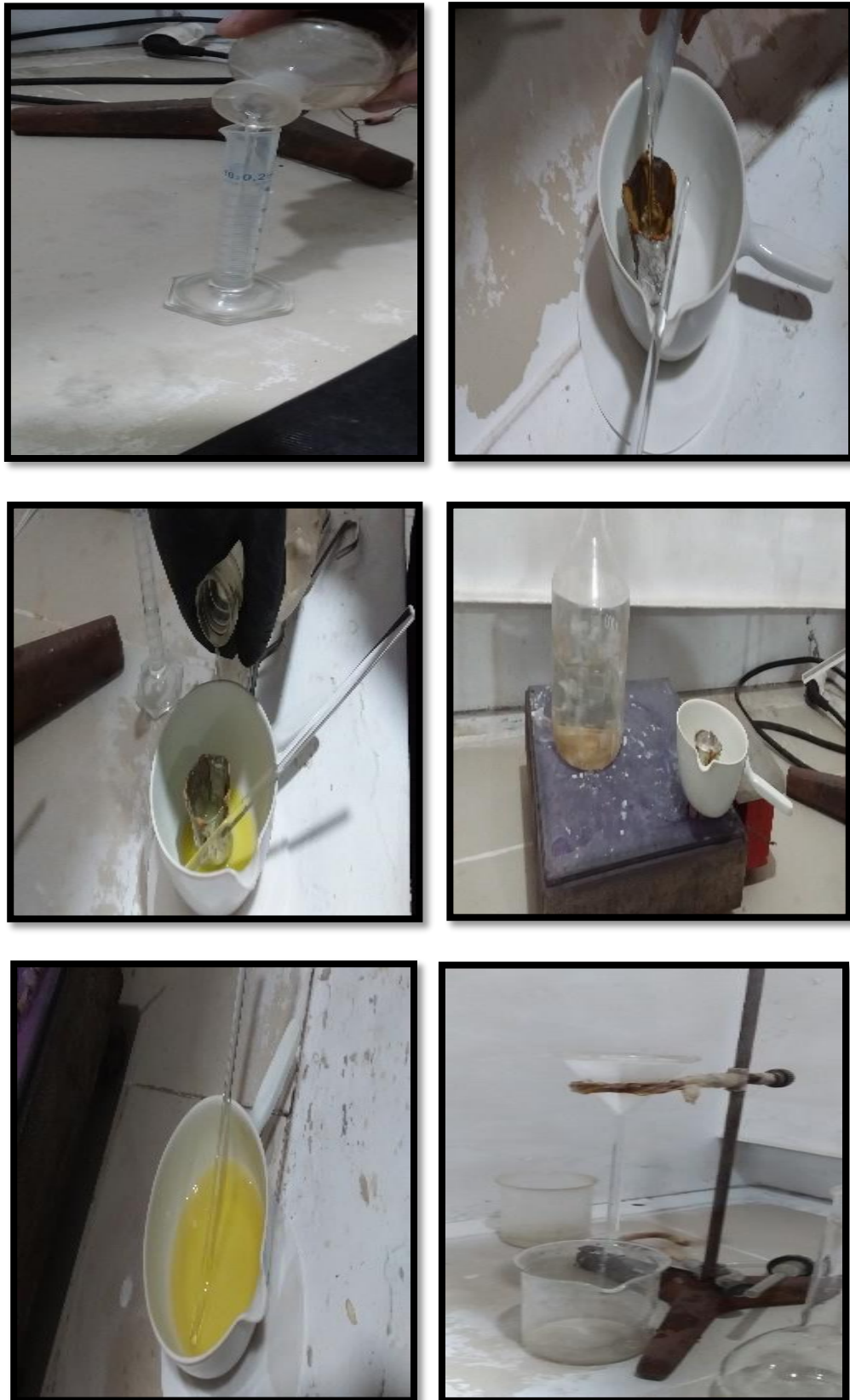


Figure III.8 Mode opératoire d'attaque par acide perchlorique.

III.3.1.2 Dosage pour la détermination des oxydes

Après la filtration de la solution :

- Le filtre est utilisé pour l'analyse de la silice.
- Le filtrat est utilisé pour l'analyse de la silice, l'oxyde ferrique, l'alumine, la chaux, et la magnésie.

▪ **Matériels utilisés:**

EDTA, Becher, NH₃ (1+1), Acétate d'ammonium, PH mètre, NaOH, Agitateur, Plaque chauffante, Four, Balance électronique, Dessiccateur, Papier filtre, Les indicateurs, Complexonate de cuivre, PAN, Pipette.

III.3.1.3 Dosage de la silice (SiO₂)

- Récupérer le filtre et le mettre dans un creuset en platine bien taré (soit P1).
- Calciner le contenu de creuset en platine dans un four à 1000°C pendant une heure.
- Refroidir le creuset dans un dessiccateur pendant 10 minutes.



Figure III.9 Creuset taré.

Figure III.10 Creuset dans le four.

Figure III.11 Dessiccateur.

- Peser le contenu de creuset (soit P2).

La silice est déterminée selon la formule suivante:

$$\text{SiO}_2 (\%) = \frac{P2 - P1}{G} \times 100 \quad (\text{III.6})$$

P1: le poids du creuset avant la calcination.

P2: le poids du creuset après calcination.

III.3.1.4 Dosage de l'oxyde ferrique (Fe₂O₃)

▪ **Mode opératoire:**

- Au moyen d'une pipette, prélever 100 ml de la solution préparée (le filtrat) dans une fiole jaugé de 500 ml et la mettre sur l'agitateur.

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

- Ajouter 0.5g d'acide amino-acétique et 0.3g d'indicateur sulfoslicilque; la couleur de la solution sera violet.
- A l'aide d'un PH mètre, ajuster le PH de cette solution à 1.5 avec l'hydroxyde d'ammonium pour que le Fe_2O_3 soit le seul à être complexé.
- A l'aide d'un thermomètre, chauffer ensuite de 40 à 50°C sur une plaque chauffante pour préciser le dosage de Fe_2O_3 .



Figure III.12 Mode opératoire du dosage de l'oxyde ferrique.

Le pourcentage d'oxyde de fer est déterminé selon la formule suivante:

$$Fe_2O_3 = 1.977 \times NEDTA \times VEDTA. \quad (III.7)$$

NEDTA: Normalité d'E.D.T.A (1,2).

VEDTA: Volume d'E.D.T.A en ml.

III.3.1.5-Dosage d'alumine (Al_2O_3)

▪ Mode opératoire:

- Au moyen d'une pipette, prélever 100 ml de la solution préparée (le filtrat) dans une fiole jaugé de 500 ml et la mettre sur l'agitateur.
- Ajouter ensuite 5 ml d'acide acétique.
- Ajouter goutte à goutte de l'acétate d'ammonium jusqu'à le PH ne doit pas passer 3.1.
- Ajouter 3gouttes de la solution de complexonate de cuivre et 2ml d'indicateur PAN qui donne la couleur rose violacée.
- Porter à ébullition pour accélérer la vitesse de complexation de l'alumine.
- Titrer avec l'E.D.T.A a environ 0.03ml/l jusqu'au virage du rose violet à la jaune pale.

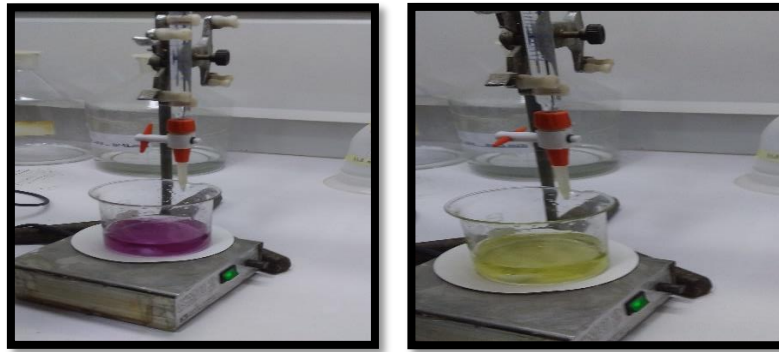


Figure III.13 Dosage d'alumine.

- Prendre le volume de titrage.

Le pourcentage de l'alumine est déterminé selon la formule suivante:

$$\text{AL2O3} = 0.7647 * \text{NEDTA} * \text{VEDTA} \quad (\text{III.8})$$

III.3.1.6 Dosage de la chaux (CaO)

- Au moyen d'une pipette, prélever 100 ml de la solution préparée (le filtrat) dans une fiole jaugé de 500 ml et la mettre sur l'agitateur.
- Prendre 50 ml de la solution filtrée dans la fiole Verser ensuite 50 ml de triéthanolamine (TEA) pour masquer le Fe₂O₃ et Al₂O₃.
- Ajuster le PH de cette solution à 12.5 avec la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH 2mol/L).
- Ajouter 0.1 g d'indicateur murexide (indicateur CaO).
- Titrer avec E.D.T.A jusqu'à l'apparition d'une couleur violacé. Le pourcentage du CaO est déterminé selon la formule suivante:

$$\text{CaO} = 1.6824 * \text{NEDTA} * \text{V1} \quad (\text{III.9})$$

III.3.1.7 Dosage de magnésie (MgO)

- Au moyen d'une pipette, prélever 100 ml de la solution préparée (le filtrat) dans une fiole jaugé de 500 ml et la mettre sur l'agitateur.
- Ajouter 50 ml de la solution de triéthanolamine (TEA) et l'introduire dans un Bucher et à l'aide d'un PH mètre, ajuster le PH de cette solution à (10±0.5) avec la solution d'hydroxyde de sodium (NH₃) (1+1).
- Ajouter environ 0.1g d'indicateur (Indicateur de MgO).

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

➤ Titrer avec la solution d'E.D.T.A jusqu'à l'apparition d'une couleur jaune normal. Le pourcentage d'oxyde de magnésium est déterminé selon la formule suivante:

$$\text{MgO} = 1.2093 * \text{NEDTA} * \text{VEDTA}. \quad (\text{III.10})$$

➤ Expression des résultats

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.6 présente les valeurs des caractéristiques chimiques par la méthode classique

Les éléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fer	Cao	Mgo
Les valeurs moyennes de niveau 01	1.8%	0.32 %	1.23 %	55.99 %	1.49%
Les valeurs moyennes de niveau 02	0.4 %	1.58 %	0.99 %	57.18 %	1.74 %

▪ Interprétation des résultats

D'après les valeurs qui sont représentées dans le Tableau **III.6** Les analyses chimiques des différents échantillons des calcaires montrent que ces derniers sont très carbonatés

III.3.2 Contrôle qualité par rayon X (XRF)

Définition

L'analyse chimique par fluorescence X consiste à calculer le pourcentage des différents oxydes du calcaire

(SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, C1, Na₂O, MgO, K₂O, CaO, SO₃) ainsi que le calcul automatique des modules : LSF, MS, ALM

▪ Mode opératoire

A) Nous disséquons l'échantillon



Figure III .14 : placé les échantillons au four.

B) Préparation de la pastille



Figure III.15 Ajouter (04) gouttes de TEA à 20 g de matière.



Figure III.16 Placage du récipient dans le broyeur.



Figure III.17 Peser 08 grammes de matériaux broyés.

Une pastille propre doit être placée dans la pastilleuse et recouverte de matière broyée. Ensuite, il faut niveler avant de passer la pastille sur la presse HERZOG sous une pression de 150 KN.



Figure III.18 L'emplacement de la pastille dans la pastilleuse et recouverte de matière broyée.

Après avoir retiré la pastille, nettoyez la surface de la pastille sans toucher ni avec les doigts ni avec un pinceau.



Figure III.19 Retirage de la pastille, nettoyage de la surface de pastille.

C) Analyse de l'échantillon



Figure III.20 Placage de la pastille dans le porte échantillon de l'analyse fluorescente X (PW 1660).

- Passer l'échantillon pour analyse à l'aide d'un micro-ordinateur connecté au spectromètre :

Après avoir ouvert le programme X40 ;

Il faut taper MUS et cliquer sur "entrée" ;

Ensuite, il faut programmer CALCAIRE 1 ;

Cliquez sur "entrée" ;

Identifiez le QCX-mesurement et visualisez les résultats des fichiers ;

- Une station de transmission : une ;

- Montrer les résultats de l'analyse.

➤ **Expression des résultats**

Les tableaux suivant montrent les résultats obtenus :

**CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa
Morsott-Tébessa »**

Tableau III.7 Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.

Les Eléments	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Ech06	Ech07	Ech08
SiO2	5.50	4.85	6.43	4.59	5.80	3.51	5.46	6.75
Al2O	1.1	0.82	1.53	0.75	1.57	0.42	1.18	2.57
Fe2O	0.29	0.31	0.44	0.25	0.79	0.16	0.45	2.61
CaO	53.65	55.02	52.41	54.88	53.42	56.96	53.73	52.76
MgO	0.62	0.65	0.71	0.63	0.61	0.46	0.65	0.74
K2O	0.26	0.14	0.44	0.20	0.28	0.00	0.26	0.66
Na2O	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
SO3	0.35	0.33	0.51	0.32	0.15	0.09	0.29	0.19
CL	0.013	0.012	0.014	0.013	0.014	0.017	0.013	0.015
PAF	42.84	43.95	41.97	43.82	42.65	45.27	42.95	39.45
MAF	-	-	-	-	-	-	-	-
LSF	316.166	373.04	260.81	394.83	287.11	546.24	316.56	167.92
MS	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau III.8 Les valeurs des compositions chimiques des échantillons.

Les Eléments	Ech01	Ech02	Ech03	Ech04	Ech05	Ech06	Ech07	Ech08
SiO2	0.000	0.190	0.00	0.012	0.000	0.809	9.541	0.061
Al2O	0.21	0.26	0.13	0.27	0.13	0.54	3.57	0.26
Fe2O	0.30	0.10	0.23	1.36	0.10	0.25	0.90	0.09
CaO	58.2	58.3	58.1	57.1	58.4	57.1	55.1	57.6
MgO	0.78	0.70	0.61	1.20	0.64	0.61	1.20	1.36
K2O	0.03	0.04	0.61	0.040	0.03	0.07	0.54	0.03
Na2O	-	-	-	-	-	-	-	-
SO3	-	-	-	-	-	-	-	-
CL	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
PAF	46.625	46.618	46.355	46.161	46.614	45.558	39.928	46.761
MAF	0.6905	2.723	0.5470	0.2017	1.276	2.184	3.970	2.841
LSF	1139.36	6.384	-0.3280	4592	-10291	1839	153.6	10668
MS	-0.2684	0.5283	-0.8463	0.007483	-1.170	1.025	2.137	0.1743

▪ **Interprétation des résultats**

Les valeurs pour les contrôles de qualité par rayon X des différents échantillons de calcaire sont représentées dans les **tableaux III.7** et **III.8** montrent que ces derniers se composent principalement de plus de 50% de CaO.

III.3.3 Essai au bleu de méthylène [NF P94- 068]

▪ **Préparation de la solution**

Le bleu de méthylène est préparé à une teneur de 10g/l. Il est recommandé d'utiliser de l'eau distillée ou déminéralisée ainsi que du bleu de méthylène, de qualité pharmaceutique étiqueté CODEX, avec un degré de pureté $\geq 98,5\%$, sous forme de poudre.

- Incorporer entre 500 et 700g d'eau distillée ou déminéralisée dans le récipient à une température inférieure à 50°C.
- utiliser 10g de poudre séchée.
- Ajouter progressivement la poudre de bleu dans l'eau jusqu'à ce que la poudre se dissolve complètement dans l'eau.
- Ajouter une quantité de 1000 \pm 5 g de solution d'eau distillée ou déminéralisée, puis agiter pendant 5 minutes.
- Maintenir la solution telle qu'elle a été préparée dans une bouteille en verre teinté et la placer à l'ombre. Il est possible d'utiliser cette solution après un mois de préparation.



Figure III.21 Masse humide des prises d'essai



Figure III. 22 Essai au bleu de méthylène

Tableau III.9 Classe des sols en fonction du VBS.

Valeur de VBS	Commentaire
$VBS < 0,1$	Sol sableux insensible à l'eau
$0,1 < 0,2$	Sol sableux sensible à l'eau
$0,2 < VBS < 1,5$	Sol sablo-argileux
$1,5 < VBS < 2,5$	Sol sablo-limoneux
$2,5 < VBS < 6$	Sol limoneux
$6 < VBS < 8$	Sol argileux
$VBS > 8$	Sol très argileux

➤ **Expression des résultats**

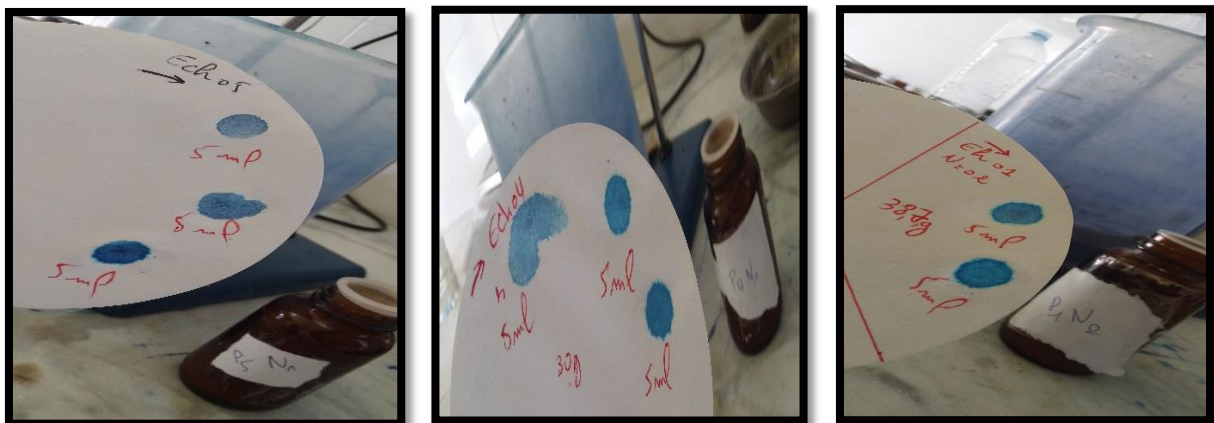


Figure III.23 Essai du bleu de méthylène sur le papier filtre.

Tableau III.10 Résultats d'essai au bleu de méthylène

Echantillon	La valeur au bleu $VBS = B / M_0 * 100$	Observation
Ech01	0.45	Sol sablo-argileux
Ech02	0.31	Sol sablo-argileux
Ech03	0.5	Sol sablo-argileux
Ech04	0.33	Sol sablo-argileux
Ech05	0.5	Sol sablo-argileux
Ech06	0.29	Sol sablo-argileux
Ech07	0.41	Sol sablo-argileux
Ech08	0.90	Sol sablo-argileux
Ech09	0.26	Sol sablo-argileux
Ech10	0.31	Sol sablo-argileux
Ech11	0.32	Sol sablo-argileux
Ech12	0.42	Sol sablo-argileux
Ech13	0.27	Sol sablo-argileux
Ech14	0.26	Sol sablo-argileux
Ech15	0.5	Sol sablo-argileux
Ech16	0.25	Sol sablo-argileux

▪ **Interprétation des résultats**

Selon les données présentées dans le tableau III.10 il est évident que les échantillons présentent de sol sablo-argileux.

III.4 Détermination des essais mécaniques

III.4.1 Essai Micro-Deval Résistance à l'abrasion [NF EN 1097-1]



Figure III.24 Appareillage micro deval

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Masse du refus au tamis 1.6 mm ; (m') (g)

Masse du passant au tamis 1.6 mm ; ($m = 500 - m'$) (g)

Coefficient de friabilité ; ($M_{de} = 500 - m' / 5$) (%) (III.11)

▪ Mode opératoire

1- L'essai doit être réalisé sur des granulats ayant une granularité comprise entre 10 mm et 14 mm. La courbe granulométrique de l'échantillon correspondant à cette classe granulaire doit répondre à l'une des exigences suivantes :

- 60 % à 70 % des granulats passent au travers d'un tamis de 12.5 mm, ou

- 30 % à 40 % des granulats passent au travers d'un tamis de 11.2 mm

2- Tamiser l'échantillon de laboratoire sur tamis de 10 mm, 11.2 mm (ou 12.5 mm) et 14 mm, afin de constituer des fractions distinctes comprise entre 10 mm et 11.2 mm (ou 12.5 mm) et entre 11.2 mm (ou 12.5 mm) et 14 mm. Laver les fractions séparément, les sécher à l'étuve à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante.

3- Laisser les fractions refroidir. Mélanger les deux fractions afin d'obtenir un échantillon de laboratoire modifié d'une granularité entre 10 mm et 14 mm.

4- La prise d'essai doit consister en deux éprouvettes, d'une masse de (500 ± 2) g.

5- Introduire dans chaque cylindre d'essai une éprouvette. Ajouter un nombre suffisant de billes d'acier pour obtenir une charge de (5000 ± 5) g.

6- Ajouter (2.5 ± 0.05) l d'eau dans chaque cylindre.

7- Fixer soigneusement un couvercle sur chacun des cylindres, puis les placer sur les deux arbres.

8- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) min⁻¹ pendant $(12\ 000 \pm 10)$ tours.

9- Après l'essai recueillir le granulat et les billes d'acier dans un bac en ayant soin d'éviter les pertes de granulats. Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre et le couvercle, en recueillant l'eau de lavage.

10 - Verser le matériau ainsi que l'eau de lavage sur un tamis de 1.6 mm, protégé par un tamis de 8 mm. Laver les matériaux sous un jet d'eau propre.

11- Séparer soigneusement les granulats retenus sur le tamis à 8 mm des billes d'acier, en ayant soin de ne perdre aucune des particules de granulats.

12- Mettre le refus à 8 mm sur un plateau. Ajouter le refus à 1.6 mm sur le même plateau.

13- Sécher le contenu du plateau à l'étuve à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante.

14- Tamiser à sec le refus à 1.6 mm

15- Peser à 0.1 % près sur le refus sur le tamis de 1.6 mm, soit m' .

Note : l'essai peut être réalisé sans l'ajout d'eau et on obtient le M_{ds} .

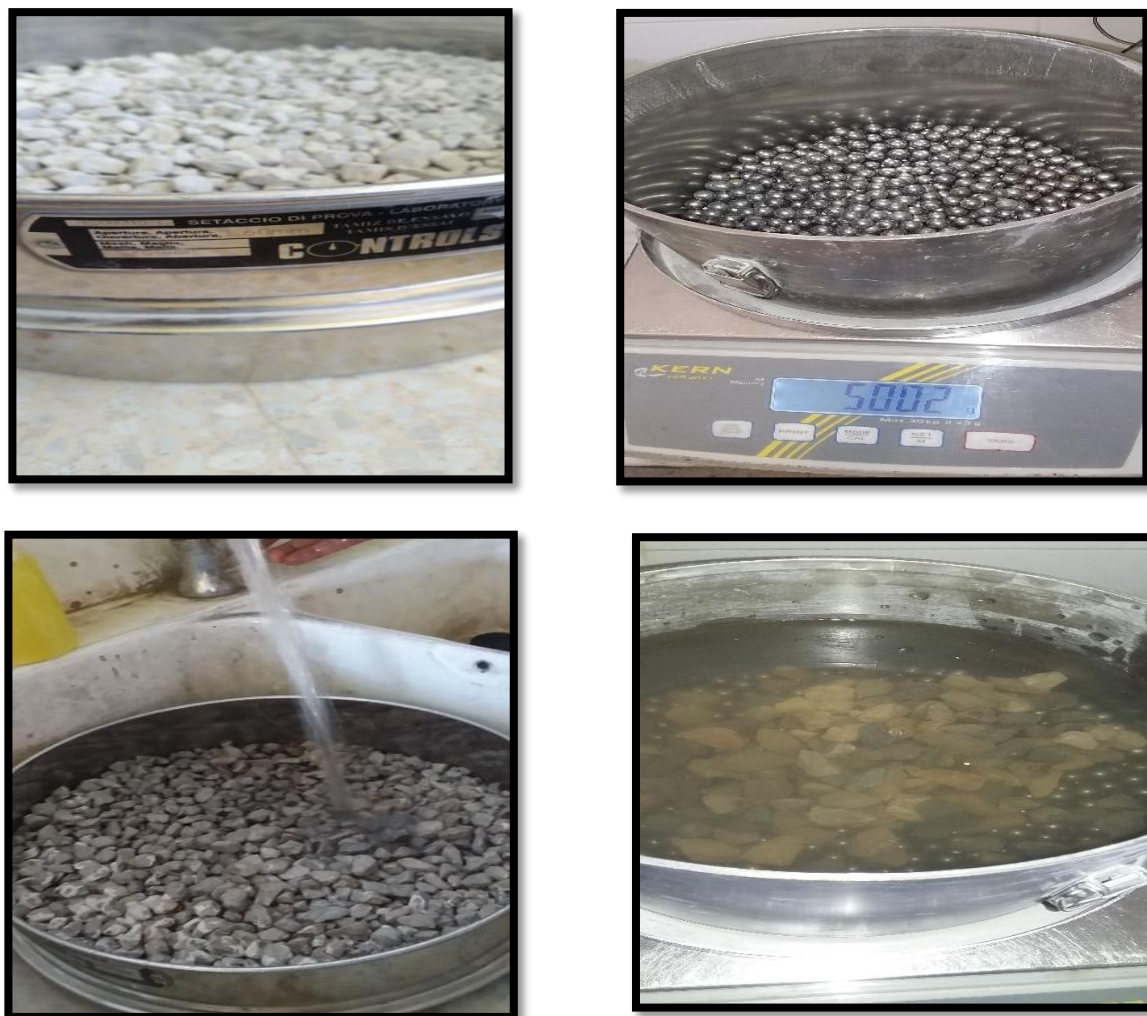


Figure III.25 a Préparation des échantillons de Micro- Deval

Tableau III.11 Appréciation des résultats de l'essai Micro Deval [NF P18-572, 1990].

Coefficient <i>MDe</i>	Appréciation
<10	Très bon à bon
10 à 20	Bon à moyen
20 à 35	Moyen à faible
>35	Médiocre

➤ **Expression des résultats**

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Tableau III.12 Les valeurs des Micros Deval des échantillons.

Echantillon	MDE	Appréciation
Ech01	16	Bon à moyen
Ech02	20	Bon à moyen
Ech03	25	Moyen à faible
Ech04	21	Moyen à faible
Ech05	21	Moyen à faible
Ech06	16	Bon à moyen
Ech07	16	Bon à moyen
Ech08	22	Moyen à faible
Ech09	22	Moyen à faible
Ech10	26	Moyen à faible
Ech11	25	Moyen à faible
Ech12	26	Moyen à faible
Ech13	25	Moyen à faible
Ech14	22	Moyen à faible
Ech15	29	Moyen à faible
Ech16	24	Moyen à faible

■ Interprétation des résultats

L'essai Micro-Deval effectué sur les échantillons a donné les résultats suivants selon les valeurs du **tableau III.12** et les appréciations du **tableau III.11**

Les échantillons numéros **1,2** et **6,7** ont été classés comme des matériaux de résistance à l'usure de bonne à moyenne en présence d'eau, tandis que les autres échantillons ont été classés comme des matériaux de résistance à l'usure de moyenne à faible.

III.4.2 Essai Los Angeles des Gravillons [NF EN 1097-2]



Figure III.25 b Préparation de l'échantillon de Los Angeles.

Masse du refus au tamis 1.6 mm ; (m) (g)

Los-Angeles LA ;

$$(LA = 5000 -m / 5000) (\%) \quad (III.12)$$

▪ **Mode opératoire**

1-L'essai doit être réalisé sur des granulats ayant une granularité comprise entre 10 mm et 14 mm
La courbe granulométrique de l'échantillon correspondant à cette classe granulaire doit répondre à l'une des exigences suivantes :

- 60 % à 70 % des granulats passent au travers d'un tamis de 12.5 mm, ou
- 30 % à 40 % des granulats passent au travers d'un tamis de 11.2 mm

2- Tamiser l'échantillon de laboratoire sur tamis de 10 mm, 11.2 mm (ou 12.5 mm) et 14 mm, afin de constituer des fractions distinctes comprise entre 10 mm et 11.2 mm (ou 12.5 mm) et entre 11.2 mm (ou 12.5 mm) et 14 mm Laver les fractions séparément, les sécher à l'étuve à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante.

3-Laisser les fractions refroidir. Mélanger les deux fractions afin d'obtenir un échantillon de laboratoire modifié d'une granularité entre 10 mm et 14 mm

4- Vérifier que le tambour soit propre avant d'y mettre l'échantillon. Placer avec précaution les 11 boulets (4690 g à 4860 g) dans la machine, puis y introduire la prise d'essai. Remettre le couvercle et faire 500 tours à la machine, à une vitesse constante de 30 tr/min à 33 tr/min

5-Verser le granulat sur un plateau placé sous l'appareil en veillant à éviter toute perte de matériau. Vider le tambour et le nettoyer soigneusement en éliminant toutes les fines, surtout autour de la plaque saillant. Enlever soigneusement les boulets du plateau en veillant à ne perdre aucune particule de granulat.

6-Mettre le refus à 8 mm sur un plateau. Ajouter le refus à 1.6 mm sur le même plateau.

7-Sécher le contenu du plateau à l'étuve à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ jusqu'à masse constante.

8-Tamiser à sec le refus à 1.6 mm

9- Peser à 0.1 % près sur le refus sur le tamis de 1.6 mm, soit m'.



Figure III.26 Appareillage Los Angeles.

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Note : les classes granulaires données au tableau peuvent être utilisées.

Classe granulaire (mm)	Classe granulaire (mm)	Masse de la charge de boulets (g)
4 à 8	8	3410 à 3540
6.3 à 10	9	3840 à 3980
8 à 11.2	10	4260 à 4420
11.2 à 16.0	12	5120 à 5300

Tableau III.13 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
>40	Médiocre

➤ Expression des résultats

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.14 Les valeurs des micros deval des échantillons.

Echantillons	LA %	Appréciation
Ech01	20	Bon à moyen
Ech02	20	Bon à moyen
Ech03	22	Bon à moyen
Ech04	21	Bon à moyen
Ech05	21	Bon à moyen
Ech06	19	Bon à moyen
Ech07	20	Bon à moyen
Ech08	22	Bon à moyen
Ech09	21	Bon à moyen
Ech10	25	Bon à moyen
Ech11	23	Bon à moyen
Ech12	23	Bon à moyen
Ech13	22	Bon à moyen
Ech14	21	Bon à moyen
Ech15	26	Moyen à faible
Ech16	23	Bon à moyen

▪ **Interprétation des résultats**

Les résultats de Los Angeles montrent que les échantillons ont une résistance à la fragmentation par choc,

Bon à moyen soft que la valeur de l'échantillon 15 a une résistance à la fragmentation par choc

Moyen à faible comme le montrent les valeurs du **tableau III.14**

✚ **Après extraction** et d'après les normes routières et les du béton on a essayé de classer les granulats du carrier KEF DHBAA MORSOTT comme suit :

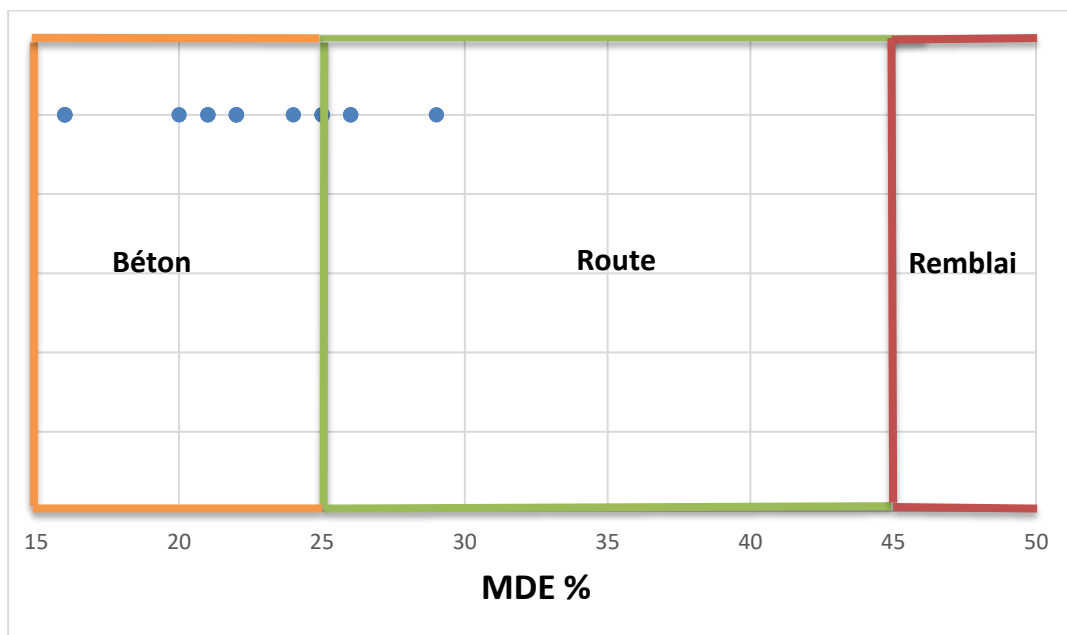
Tableau III.15 Les normes routières.

Essai	Test	Mesures	Seuil
LA Los Angeles	Simule le passagerépété d'un poids lourd qui risque defragmenter 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 tempsde 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 plusles sables sont friables.	$F_s \leq 60$

Tableau III.16 Les normes béton.

Essai	Test	Mesures	Seuil
LA Los Angeles	Simule le le répété d'une chargelourde 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	Idem plus il est élevé, plus les granulats s'usent vite.	$MDE \leq 25$

■ Représentation graphiques du MDE et LA.



■ **Figure III.27** Graphique de nuage de points représente les valeurs de MDE.

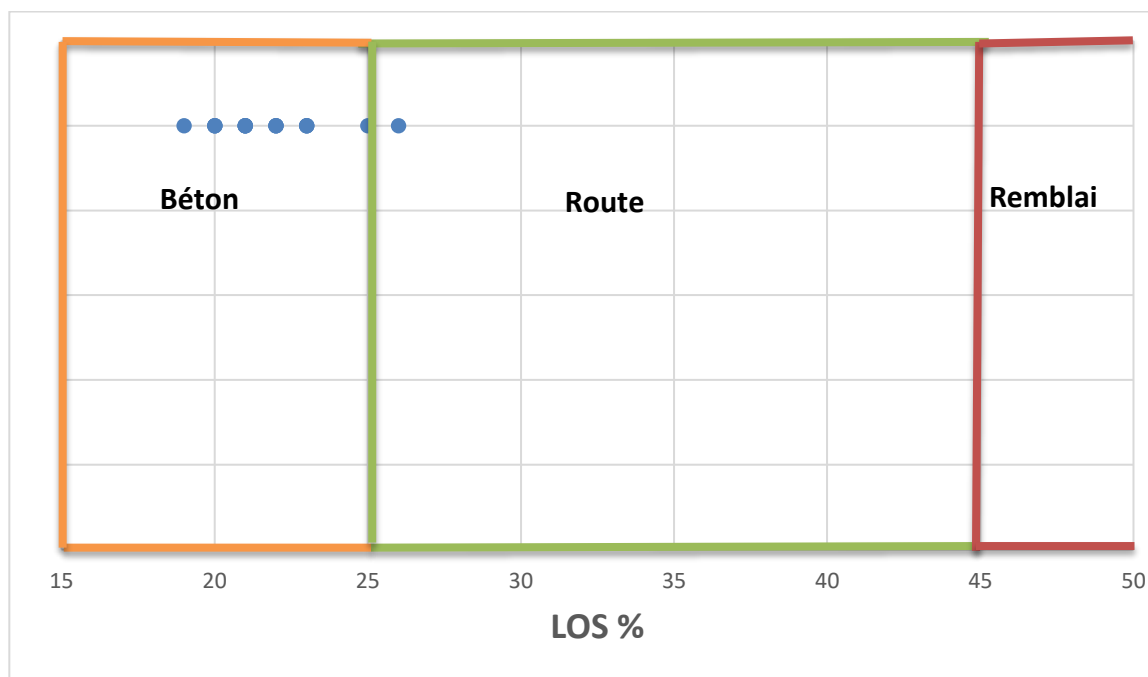


Figure IV.28 Graphique de nuage de points représente les valeurs de LA

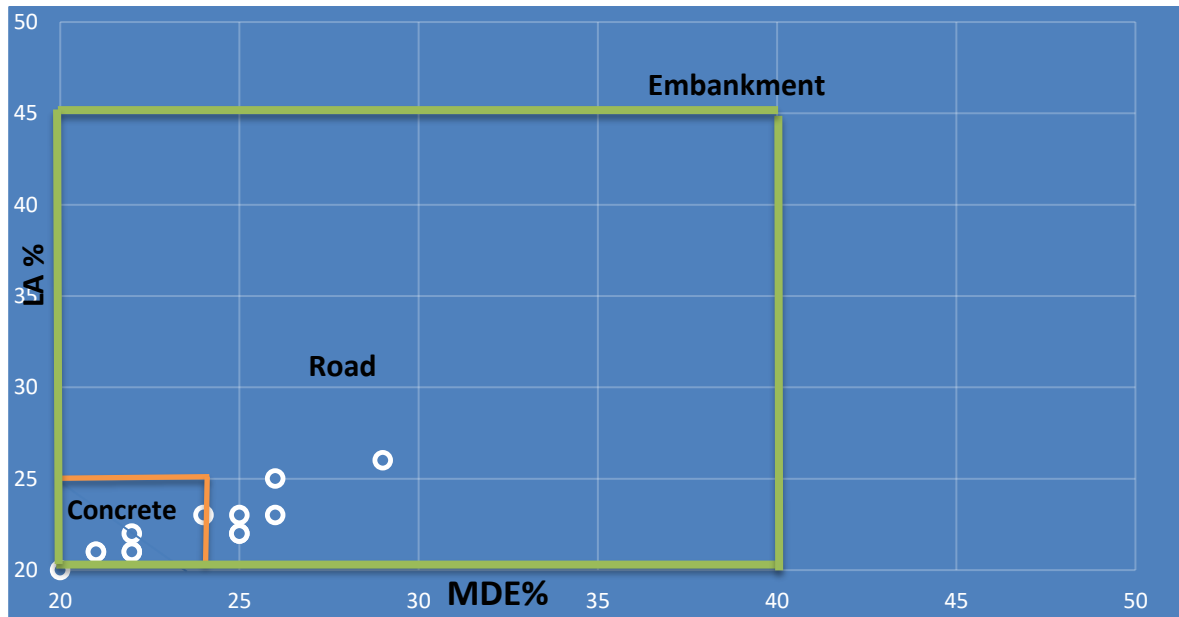


Figure III.29 Graphique de nuage de points correspondant LA en fonction de MDE.

➤ 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 KEF DHBAA MORSOTT-TEBESSA doivent être destinés beaucoup plus pour les routes et un peu pour l'utilisation en béton.

III.4.3 Essai ultrasons

L'essai d'auscultation dynamique, également appelé essai ultrasonique, est une technique non invasive qui vise à mesurer la vitesse de propagation des ondes longitudinales en utilisant un générateur et un récepteur respectivement. Il est possible de réaliser ces essais sur des échantillons en laboratoire ou sur des structures. La méthode repose sur la mesure du temps nécessaire pour une onde, d'où son nom (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) pour parcourir une distance donnée.



Figure III.30 Étude à l'ultrason.

La formule suivante définit la vitesse de propagation du son à travers la roche :

$$V = X / T \quad (III.13)$$

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Avec :

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

X : est la longueur de parcours, en cm.

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

Tableau III.17 Qualité de la 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

➤ Expression des résultats

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.18 Présente la mesure du temps de propagation du son, à partir de temps mesuré

Echantillons	Distance (m)	Temps (s)	Vitesse $V=X/t$ (m / s)	Appréciation de la qualité
Ech01	0.123	0.0000255	4823.53	Excellente
Ech02	0.092	0.000027	3407.41	Bon
Ech03	0.083	0.0000238	3487.39	Bon
Ech04	0.106	0.0000131	8091.60	Excellente
Ech05	0.263	0.0000413	6368.04	Excellente
Ech06	0.15	0.0000333	4504.50	Excellente
Ech07	0.086	0.000025	3440.00	Bon
Ech08	0.13	0.000036	3611.11	Bon
Ech09	0.076	0.000012	6333.33	Excellente
Ech10	0.096	0.0000198	4848.48	Excellente
Ech11	0.163	0.0000301	5415.28	Excellente
Ech12	0.114	0.000027	4222.22	Bon
Ech13	0.16	0.000032	5000	Excellente
Ech14	0.082	0.0000161	5093.17	Excellente
Ech15	0.065	0.000016	4062.50	Bon
Ech16	0.15	0.0000333	4504.50	Excellente

■ **Interprétations des résultats**

Les échantillons utilisés sont d'une qualité variante entre **bon et excellent**, comme indiqué dans les **tableaux III.17 et III.18**

III.4.4 Essai résistance à la compression par scléromètre

L'objectif de l'essai au scléromètre est de déterminer la résistance de la roche, mais il peut également servir à vérifier si la valeur de l'indice de rebondissement correspond à la résistance de la roche. Une application spécifique de l'essai au scléromètre est d'évaluer la résistance à l'abrasion des planchers de roche, qui est largement influencée par la dureté de surface.

Mode d'opération

- La sonde sclérométrique peut être libérée en pressant dessus.
- Déplacer la sonde vers la zone de mesure ;
- le dispositif jusqu'à ce que la projection de la bille se déclenche ;
- Appuyez le bouton de fermeture. Après avoir enfoncé le bouton poussoir, relâcher la pression exercée sur la sonde.
- Le bouton poussoir peut être relâché mais la sonde reste bloquée.



Figure III.31 Mesure la résistance par scléromètre.

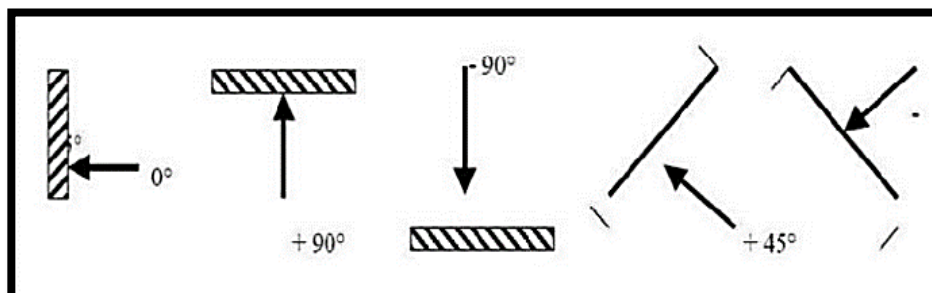


Figure III.32 Inclinaisons possibles par rapport à l'élément à ausculter.

Remarque : 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 la roche, est connue sous le nom d'indice de rebondissement. Dans

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

l'expérience, la valeur du poids unitaire a été croisée avec la valeur de la valeur de rebond Schmidt moyenne corrigée en utilisant le graphique de dispersion moyenne de la résistance.

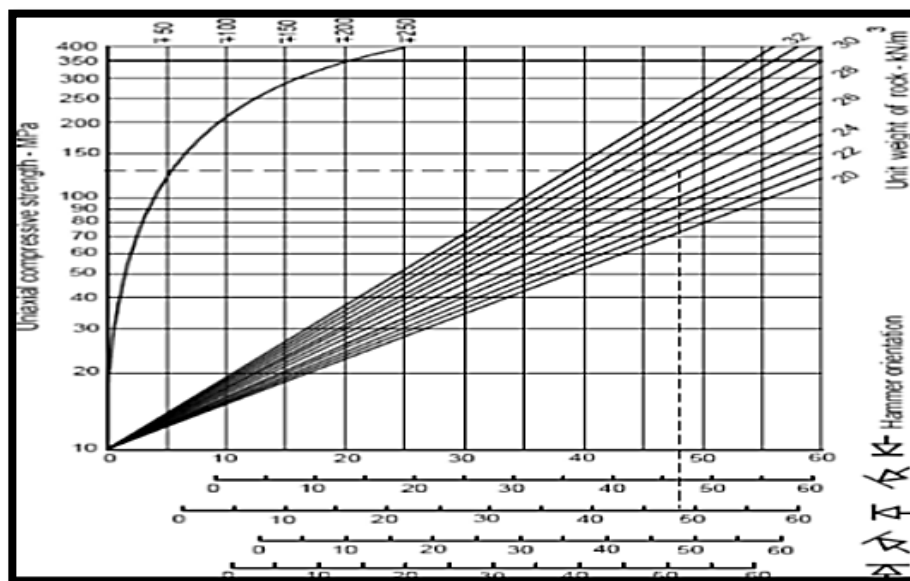


Figure III.33 Schmidt Hammer Test JCS estimation chart showing correlation between Schmidt hammer rebound number, hammer orientation, UCS and rock density (Deere and Miller, 1966).

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

Tableau III.19 Classification selon la résistance à la compression simple (AFNOR XP P 94-10).

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	
R6b		

➤ Expression des résultats

Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

Tableau III.20 Les valeurs de résistance à la compression (Scléromètre).

Les points	Résistance à la compression (MPa)	Descriptions
01	100	Roche de résistance élevée
02	99.5	Roche de résistance élevée
03	89	Roche de résistance élevée
04	92	Roche de résistance élevée
05	81	Roche de résistance élevée
06	95	Roche de résistance élevée
07	103	Roche de résistance élevée
08	92	Roche de résistance élevée
09	94	Roche de résistance élevée
10	85	Roche de résistance élevée
11	81	Roche de résistance élevée
12	88	Roche de résistance élevée
13	102	Roche de résistance élevée
14	143	Roche de résistance élevée
15	105	Roche de résistance élevée
16	100.5	Roche de résistance élevée

▪ Interprétation des résultats

Selon les valeurs du **tableau III.20** et du tableau de classification de la résistance **III.19**, les massifs rocheux ont une résistance élevée.



Figure III.34 Préparation des échantillonnages en utilisant la carotteuse.

III.4.5 Résistance en compression [NF P94-420]

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



Figure III.35 Dispositif expérimental



Figure III.36 Eprouvette de Calcaire (cylindrique)

CHAPITRE III Caractérisation géotechnique des massifs rocheux « Carrière Kef Dhbaa Morsott-Tébessa »

Elle est donnée par la formule Suivante:

$$R_c = F / S \text{ (MPa)} \quad \text{(III.14)}$$

F : effort (charge) maximale atteinte (juste avant la rupture) ;

S : section ou surface sur laquelle on applique l'effort

❖ Expression des résultats

Tableau III .21 La résistance à la compression

Echantillons	la résistance à la compression RC(MPa)
Ech01	100 .6Mpa
Ech02	94.5 Mpa
Ech03	67.77Mpa
Ech04	93.27Mpa
Ech05	76.7Mpa
Ech06	100.2Mpa
Ech07	95.06Mpa
Ech08	73.2Mpa
Ech09	112.5 Mpa
Ech10	78.88Mpa
Ech11	94.9Mpa
Ech12	90.71Mpa
Ech13	96.5 Mpa
Ech14	100.5 Mpa
Ech15	66.88Mpa
Ech16	100.02Mpa

Tableau III.22 Classification des roches en fonction de la résistance à la compression

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

▪ Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus dans les tableaux ci-dessus, on constate que les différentes échantillons étudiées et sont classées comme étant une roche résistantes.

III.5 Conclusion

Il est possible de conclure que la caractéristique du massif rocheux de la carrière KEF DHBAA MORSOTT ENREPRISE SARL SOTRAMA -TEBESSA -est la suivante :

- Taux d'absorption est faible ;
- masse volumique dense ;
- Porosité faible ;
- La présence de calcaire très carbonaté;
- Les calcaires contenant plus de 50% de CaO;
- Une qualité assez bonne à excellente;
- Une résistance élevée à la compression;
- Une résistance in situ élevée;
- Une résistance moyenne à faible à l'usure en présence d'eau;
- Une résistance à la fragmentation par choc est bonne ;
- Une résistance à la compression uniaxiale résistante.

Enfin, en se basant sur les résultats obtenus, il est possible de conclure que les granulats provenant du massif rocheux de la carrière KEF DHBAA MORSOT ENTREPRISE DE SARL SOTRAMA –TEBESSA- doivent être principalement utilisés dans les secteurs des travaux routiers, du transport de marchandises et du carburant.



**CHAPITRE IV : Classification Géomécanique
des massifs rocheux' Kef Dhbaa Morsot
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa'**

IV.1 Introduction

Les méthodes de classification Géomécanique des massifs rocheux sont abordées dans ce chapitre.

Cinq classifications Géomécanique de référence dans le domaine de la mécanique des roches (RQD, RMR, GSI, Q sys, SMR) ont été réalisé sur le massif rocheux de la carrière Kef Dhbaa Morсот-Tébessa) (ENTREPRISE DE SOTRAMA TEBESSA) suivant ces deux niveaux divisés en 16 point (Figure IV.1) :

- ✓ Niveaux 841 gradin N01 ;
- ✓ Niveaux 853 gradin N02;

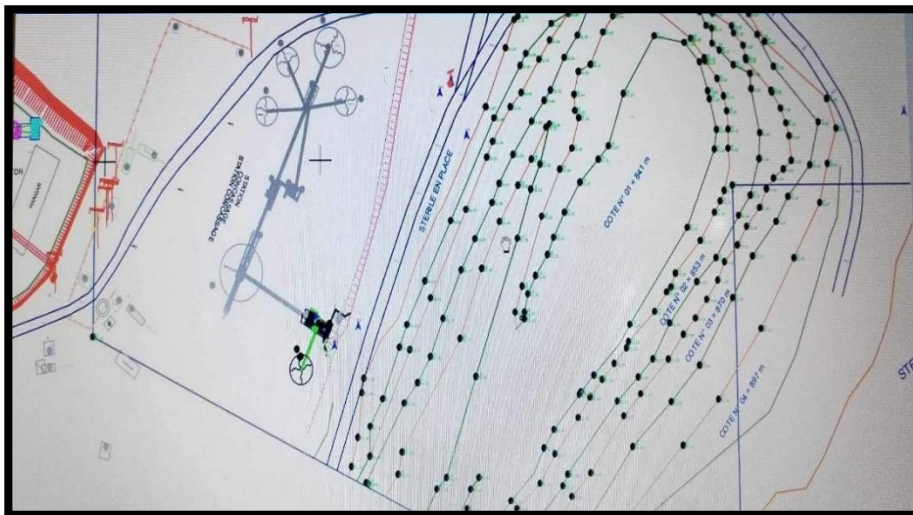


Figure IV. 1 le levis topographique sur autoucade.

IV.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 (Slope Mass Rating) 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, Q sys, SMR

IV.2.1 Système du RQD (Rock Quality Designation)

Le calcul du RQD, ont été réalisé sur le massif rocheux de la carrière Kef Dhbaa Tébessa suivant ces deux niveaux divisés en 16 point (Figure IV.2)

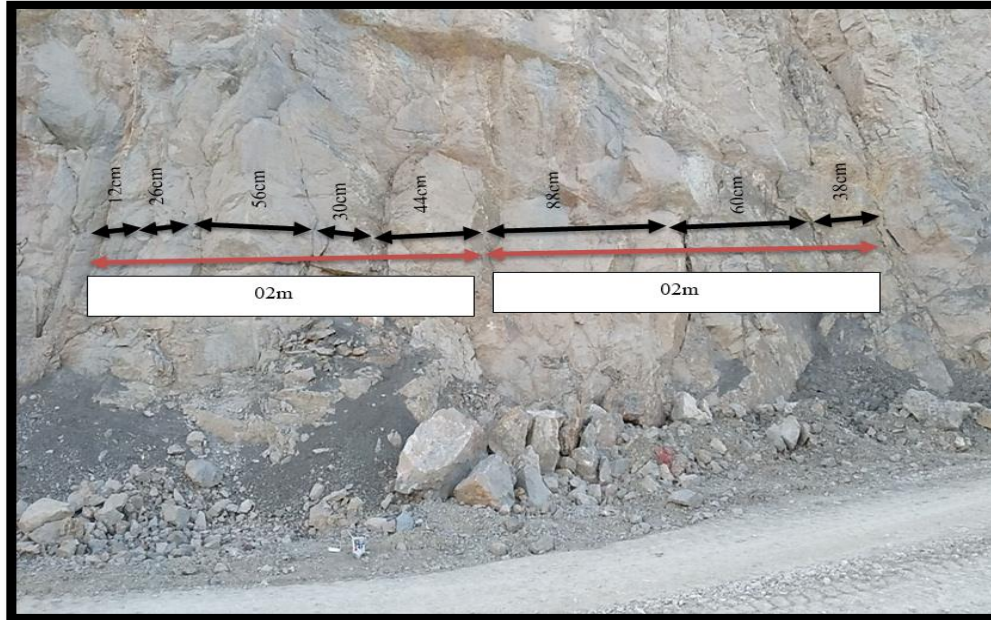


Figure IV.2 Photos de la mesure RQD

❖ Exemple de mesure

Calculé de RQD comme suit :

$$RQD = \frac{\sum \text{longueur des morceaux} \geq 10\text{cm}}{\text{Longueur du forage}} * 100 \quad (\text{IV.1})$$

$$RQD = ((1.68 \text{ m})) / ((2 \text{ m})) * 100 = 84 \%$$

$$RQD = 84\% \text{ (bon roche)}$$

$$RQD = ((1.86\text{m})) / ((2\text{m})) * 100 = 93\%$$

$$RQD = 93\% \text{ (excellente roche)}$$



Figure IV.3 Photos de la mesure RQD de calcaire

CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’

Les valeurs de RQD calculées pour les différents niveaux (**16 point**) sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.1 Les valeurs RQD des différents niveaux (**16 point**).

Niveaux	Station de mesure	RQD	Qualité de la roche
Gradin N01 841	01	95%	Excellente
	02	93%	Excellente
	03	84%	Bon
	04	91.5%	Excellente
	05	90%	Bon
	06	95.5%	Excellente
	07	92.5%	Excellente
	08	89%	Bon
Gradin N 02 853	09	96%	Excellente
	10	92%	Excellente
	11	95.5%	Excellente
	12	91.5%	Excellente
	13	95.5%	Excellente
	14	96.5%	Excellente
	15	85%	Bon
	16	95%	Excellente

➤ Synthèse et conclusion

On peut conclure à partir de l'analyse des paramètres RQD des deux niveaux de la carrière Kef Dhbaa Morsot que le massif rocheux est de qualité bonne a excellente

IV.2.2 Système RMR (Rock Mass Rating)

Selon Beniaowski, le RMR est calculé à l'aide de la formule suivante

$$\text{RMR (de base)} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5. \quad (\text{IV.2})$$

IV.2.2.1 Mesure de l'orientation des discontinuités

CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsof entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’

La direction de pendage (azimut) et l'angle de pendage d'une discontinuité déterminent son orientation.

- ✓ Une boussole géologique est utilisée pour mesurer l'azimut et le pendage.
- ✓ La direction de pendage est toujours perpendiculaire au plan.
- ✓ Le pendage et la direction sont mesurés en degrés.

On garde toujours à l'esprit que le type est décrit comme :

Le type: d = diaclase, s = plan de stratification, f = plan de faille;



Figure VI. 4 Mesure de l'orientation de discontinuités (pendage et direction pendage)



FigureIV.5 Mesures d'espacement entre discontinuités insitu.

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morso
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

❖ **Exemple de mesure de RMR**

Tableau IV.2 Classification RMR de Calcaire.

Cauches	Calcaire					
Paramètre	Rc(MPa)	RQD (%)	Nature des joints (m)	Espacement des joints (m)	Hydrogéologie	RMR De base
Mesure	99.5 Mpa	93%	Surface légèrement rugueuse	0.6-2m	Complètement sec	82
Valeurs extrêmes de la classification	50-100	90-100	Ouverture < 1mm, Epontes légèrement altérées			
Note	7	20	25	15	15	
RMR de base= 82			Pendage= 79°		RMR89= 82	
			Note = 0			

Les valeurs RMR calculées pour les différents niveaux sont présentées dans le tableau ci-dessous.

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

Tableau IV.3 Les valeurs RMR des différents niveaux (16 point).

Niveaux	Station de mesure	RR Mde base	RMR89	Qualité de la roche
GradinN01 841	01	87	87	Très bonne roche
	02	82	82	Très Bonne roche
	03	74	74	Bonne roche
	04	82	82	Très Bonne roche
	05	82	82	Très Bonne roche
	06	87	87	Très Bonne roche
	07	87	87	Bonne roche
	08	74	74	Bonne roche
GradinN02 853	09	87	82	Très bonne roche
	10	77	77	bonne roche
	11	82	82	Très Bonne roche
	12	80	80	bonne roche
	13	82	82	Très bonne roche
	14	82	82	Très bonne roche
	15	79	79	bonne roche
	16	82	82	Très bonne roche

➤ **Synthèse et conclusion**

On peut conclure que le massif rocheux de la carrière Kef Dhbaa Morsot est d'une qualité bonne à très bonne, selon l'analyse du paramètre RMR.

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

IV.2.2.2 Estimation des caractéristiques mécaniques des massifs rocheux à partir du RMR

On peut estimer les caractéristiques mécaniques du massif rocheux à partir du RMR

Tableau IV.4 Classification et caractéristiques globales des massifs rocheux (selon Bieniawski).

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

$$C_{eq} \text{ (KPa)} = 5 \text{ RMR, Bieniawski (1979).} \quad \text{(IV.3)}$$

La cohésion a été déterminée à partir de l'estimation ci-dessus ou ces valeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

Tableau IV.5 Les valeurs de la cohésion C.

Station de mesure	RMR de base	Cohésion C(KPa)
1	87	435 Mpa
2	82	410 Mpa
3	74	370 Mpa
4	82	410Mpa
5	82	410 Mpa
6	87	435Mpa
7	87	435 Mpa
8	74	370 Mpa
9	87	435 Mpa
10	77	385Mpa
11	82	410 Mpa
12	80	400 Mpa
13	82	410 Mpa
14	82	410 Mpa
15	79	395 Mpa
16	82	410 Mpa

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

b- L’angle de frottement

$$\varphi_{eq}(\text{°}) = 0,5 \text{ RMR} + 8,3 \pm 7,2 \text{ (Trunck et Hönish en 1989)} \quad \text{(IV.4)}$$

Tableau IV.6 Les valeurs de l’angle de frottement φ_{eq} .

Station de mesure	RMR	L’angle de frottement $\varphi_{eq}(\text{°})$
1	87	44.6°
2	82	42.1°
3	74	38.1°
4	82	42.1°
5	82	42.1°
6	87	44.6°
7	87	44.6°
8	74	38.1°
9	87	44.6°
10	77	39.6°
11	82	42.1°
12	80	41.1°
13	82	42.1°
14	82	42.1°
15	79	40.6°
16	82	42.1°

c-Le module de Young

$$E_{eq} \text{ (GPa)} = 10(\text{RMR}-10) \sqrt{40}, \text{ (Serafim et Pereira, 1983)} \quad \text{(IV.5)}$$

Tableau IV. 7 Module de Young *Eeq*.

Station de mesure	RMR	Module de Young <i>Eeq</i> (GPa)
1	87	19.25 Gpa
2	82	18 Gpa
3	74	16 Gpa
4	82	18 Gpa
5	82	18 Gpa
6	87	19.25 Gpa
7	87	19.25 Gpa
8	74	16 Gpa
9	87	19.25 Gpa
10	77	16.75Gpa
11	82	18 Gpa
12	80	17.5 Gpa
13	82	18 Gpa
14	82	18 Gpa
15	79	17.25 Gpa
16	82	18 Gpa

IV.2.3 Système du GSI (Geological Strength Index)

La valeur de GSI est estimée en utilisant le critère de Hoek et Brown, qui s'appuie sur une observation directe de la structure du massif rocheux.

Après avoir calculé le RMR, le GSI est déterminé comme suit :

On a

$$\text{RMR}'89 > 23$$

Donc

$$\text{GSI} = \text{RMR}'89 - 5 \quad (\text{IV.6})$$

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

Tableau IV .8 Les valeurs GSI des différents niveaux (16 point).

Station de mesure	RMR89	GSI	Description du massif Rocheux
1	87	82	Très bonne
2	82	77	Très Bonne
3	74	69	Bonne
4	82	77	Très Bonne
5	82	77	Très Bonne
6	87	82	Très Bonne
7	87	82	Très Bonne
8	74	69	Bonne
9	87	82	Très bonne
10	77	72	Bonne
11	82	77	Très bonne
12	80	75	Bonne
13	82	77	Très bonne
14	82	77	Très bonne
15	79	74	Bonne
16	82	77	Très bonne

➤ **Synthèse et conclusion**

Selon les résultats du GSI et le **tableau IV.7**, On peut conclure que le massif rocheux de la carrière **Kef Dhbaa morsot** est d'une qualité bonne à très bonne.

IV.2.4. Q Système

La formule générale du Q est présentée de la manière suivante :

$$Q = \frac{RQD}{j_n} * \frac{j_r}{j_a} * \frac{j_w}{SRF} \quad (VI.7)$$

❖ **Exemple de mesures**

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsof
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

Tableau IV.9. Classification Qsys de Calcaire.

RQD%	93%	Q sys = 13.95 (bonne roche)
Jn	2	
Jr	3	
Ja	2	
Jw	1	
SRF	5	

TableauIV.10 Les valeurs Qsys des différents niveaux (16 point).

Station de mesure	Qsys	Classe	Descriptions
1	14.25	B	Bonne roche
2	13.8	B	Bonne roche
3	13.35	B	Bonne roche
4	13.73	B	Bonne roche
5	13.5	B	Bonne roche
6	14.32	B	Bonne roche
7	13.87	B	Bonne roche
8	13.35	B	Bonne roche
9	14.4	B	Bonne roche
10	13.95	B	Bonne roche
11	14.32	B	Bonne roche
12	13.72	B	Bonne roche
13	14.32	B	Bonne roche
14	14.47	B	Bonne roche
15	12.75	B	Bonne roche
16	14.25	B	Bonne roche

➤ **Synthèse et conclusion**

Selon les résultats du Qsys et le **tableau IV. 8**, le massif rocheux de la carrière Kef Dhbaa Morsot est de qualité bonne

IV.2.5 Systèmes du SMR (Slope Mass Rating)

La formule générale du SMR est déterminée comme suit :

$$\text{SMR} = \text{RMR Base} + (\text{F1} * \text{F2} * \text{F3}) + \text{F4} \quad (\text{VI.8})$$

Sachant que les directions de la pente de la falaise allant de direction et de pendage

❖ **Exemple de mesure**

Tableau IV.11 Exemple de mesure de SMR

Direction du pendage des joints (α_j) (°)	185°
Pendage du joint (β_j) (°)	81°
Direction du pendage du talus (α_s) (°)	183°
Pendage du talus (β_s) (°)	75°
RMR de base	87
F1	0.15
F2	1
F2	- 25
F4	0
SMR	83.25
Classe	I
Description	Très bonne
Stabilité	Entièrement stable
Rupture	Aucune

**CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot
entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’**

Tableau IV.12 les paramètres géométriques (pendage, direction de pendage) des joints et du talus (16points).

	Station de mesure	La direction		Le pendage	
		Direction pendage du talus αs	Direction pendage des joints αj	Pendage du talus βs	Pendage du joint βj
Niveau 841 gradin N01	01	183° NE	185°SE	75°	81°
	02	174°NE	153°SE	82°	82°
	03	180°NE	173°SE	85°	79°
	04	172°NE	172°SE	72°	82°
	05	170°NE	191°SE	81°	86°
	06	161°NE	190°SE	80°	87°
	07	175°NE	167°SE	75°	83°
	08	181°NE	156°SE	81°	82°
Niveau 853gradin N02	09	173°NE	182°SE	73°	81°
	10	165°NE	165°SE	85°	79°
	11	172°NE	168°SE	74°	85°
	12	170°NE	150°NE	69°	75°
	13	163°NE	164°SE	71°	73°
	14	178°NE	182°SE	82°	80°
	15	180°NE	160°NW	73°	82°
	16	179°NE	165°SW	76°	81°

CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’

Les valeurs SMR calculées pour les différents niveaux sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV.13 Les valeurs SMR des différents niveaux (16 point).

Station de mesure	SMR	Classe	Qualité	Stabilité	Rupture
1	83.25	I	Très bonne	Entièrement stable	Aucune
2	78.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
3	70.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
4	78.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
5	78.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
6	83.25	I	Très Bonne	Entièrement Stable	Aucune
7	83.25	I	Très Bonne	Entièrement Stable	Aucune
8	70.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
9	83.25	I	Très bonne	Entièrement stable	Aucune
10	73.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
11	78.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
12	76.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
13	78.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
14	78.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
15	75.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc
16	78.25	II	Bonne	Stable	Quelque bloc

➤ Synthèse et conclusion

Selon les résultats du **SMR** et le **tableau IV.9**, le massif rocheux de la carrière Kef Dhbaa Morsot est de qualité très bonnes (classe I) et entièrement stable et aucune rupture dans les points 1, 6,7 et 9 mais les autres points sont d'une qualité bonne (classe II), stable avec quelque bloc de rupture.

IV.3. Projection stéréographique

La projection stéréographique est une technique qui permet de représenter et d'analyser en deux dimensions des données tridimensionnelles. Dans ce type de projection, une ligne dans l'espace est représentée par un point, tandis qu'un plan est représenté par un arc de cercle.

CHAPITRE IV :Classification Géomécanique des massifs rocheux‘ Kef Dhbaa Morsot entreprise de SARL SOTRAMA Tébessa’

La projection stéréographique utilise une sphère de référence dont le plan équatorial est horizontal. Les plans et les lignes, caractérisés par leur pendage et leur direction, sont positionnés sur ce plan équatorial. La direction est l'angle formé entre l'arc de cercle représentant le plan et le nord du canevas, tandis que le pendage est l'angle formé entre l'arc du cercle et le contour externe du canevas. Pour une ligne, la direction correspond à l'angle entre le nord et une droite passant par le point et le centre du canevas, et son pendage est l'angle entre le point et le contour du canevas.

Pour estimer la stabilité des talus rocheux à l'aide de cette méthode, il est nécessaire de représenter stéréographiquement les conditions de rupture planaire. La première condition stipule que « le plan de discontinuité doit intersecter la surface du talus », ce qui signifie que l'angle du talus (α_p) doit être inférieur à l'angle du plan de discontinuité (α_f). Stéréographiquement, cela se représente de la manière suivante. [51]

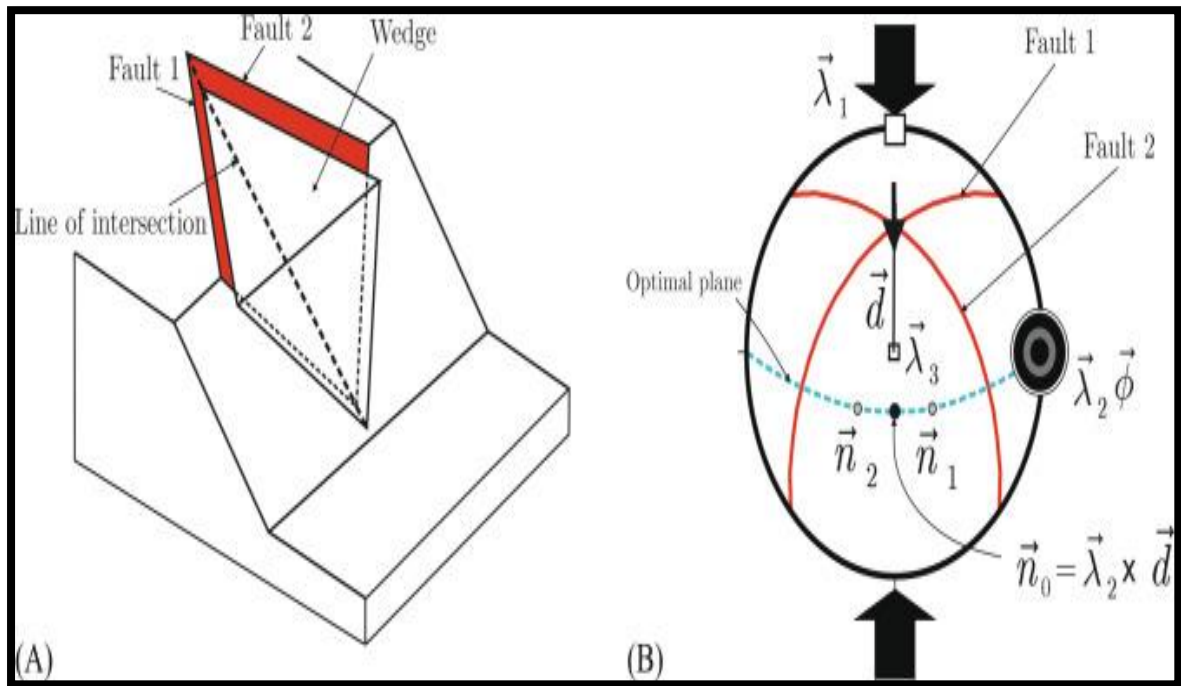
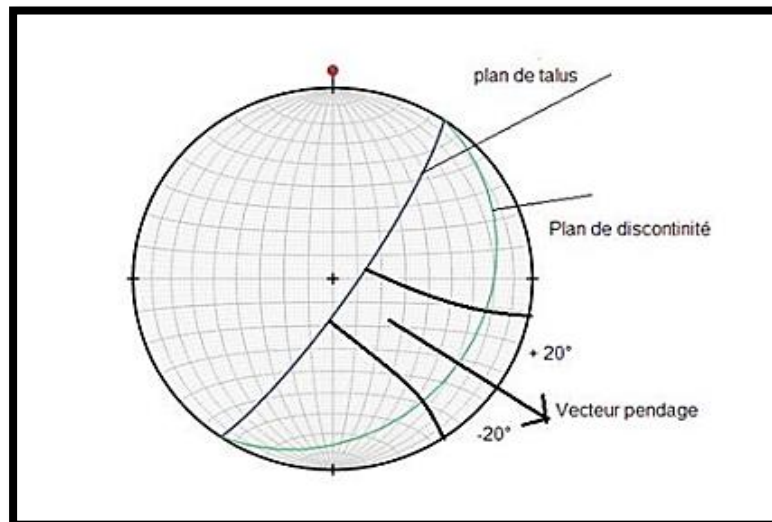


Figure IV.6 Principe de travail stéréographique. [51]

La deuxième condition Cette condition précise que l'angle entre le plan de discontinuité, ou le plan potentiel de glissement, et la face du talus ne doit pas excéder une différence de 20° . Stéréographiquement, cela est représenté de la manière suivante. [51]



FigureIV.7Montrantles conditions (1) et (2). [51]

La troisième condition peut être représentée comme montré sur la (figure VI.8). Cette projection montre la zone instable se situant dans le cercle de frottement tel que représenté sur la figure suivant :

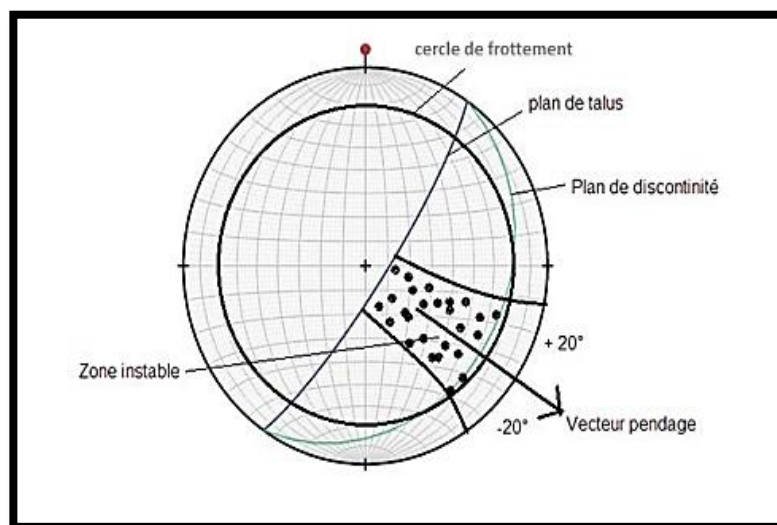
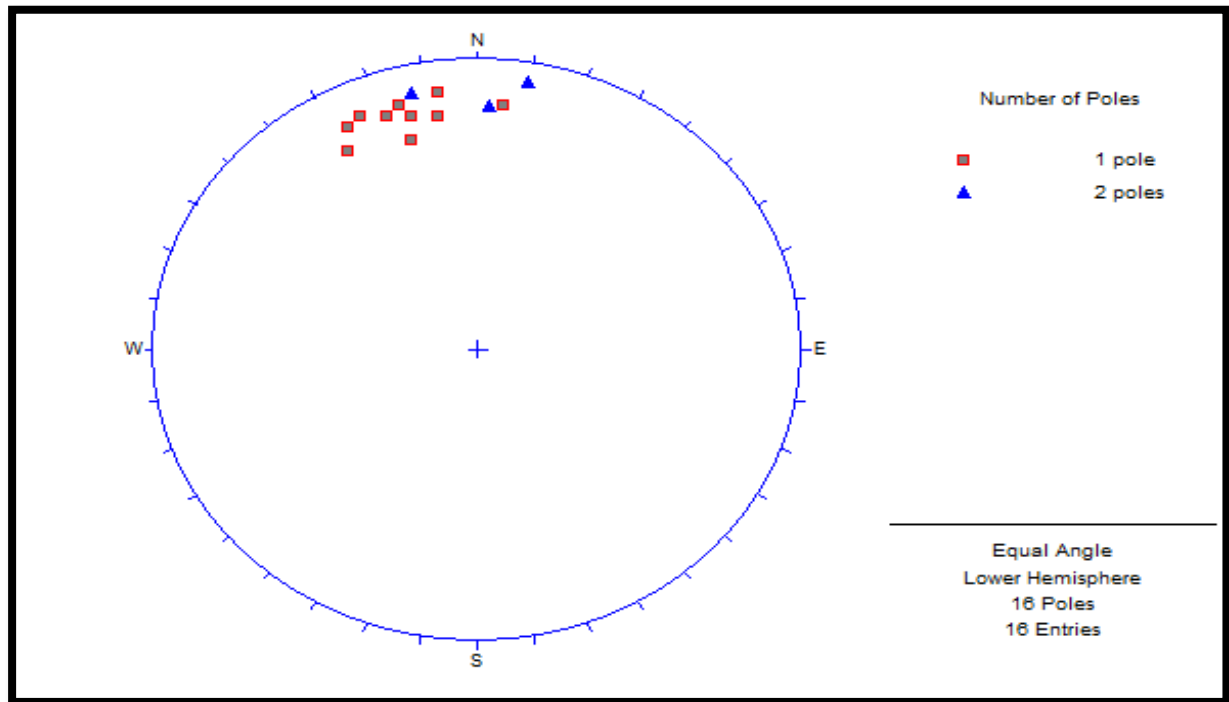


Figure IV.8 Montrant la zone instable par la projection stéréographique. [51]

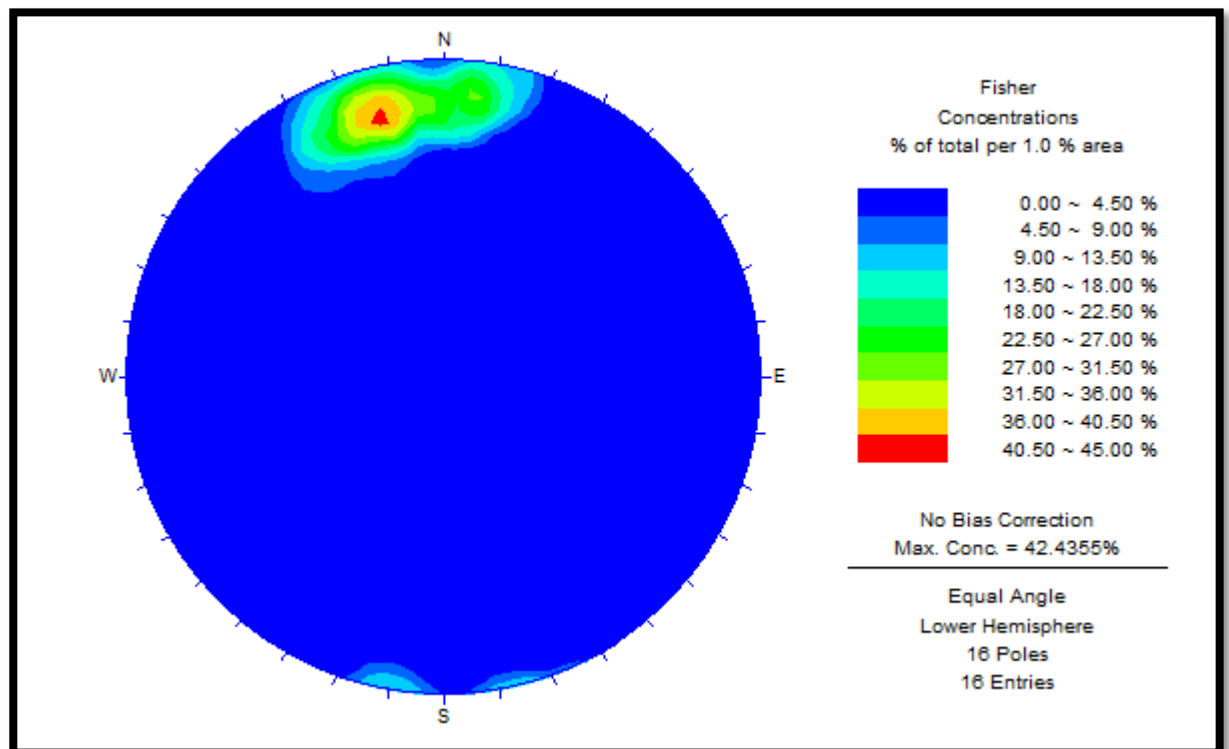
IV.4 Projection stéréographique des discontinuités du massif rocheux de la carrière KEF DHBAA MORSOT – TEBESSA-

D'après les données collectées lors des travaux dans la carrière Kef Dhbaa Morsot à Tébessa, nous avons pu obtenir une idée sur la fracturation présente à deux niveaux différents. Et à partir les données représentées dans les tableau VI.12.

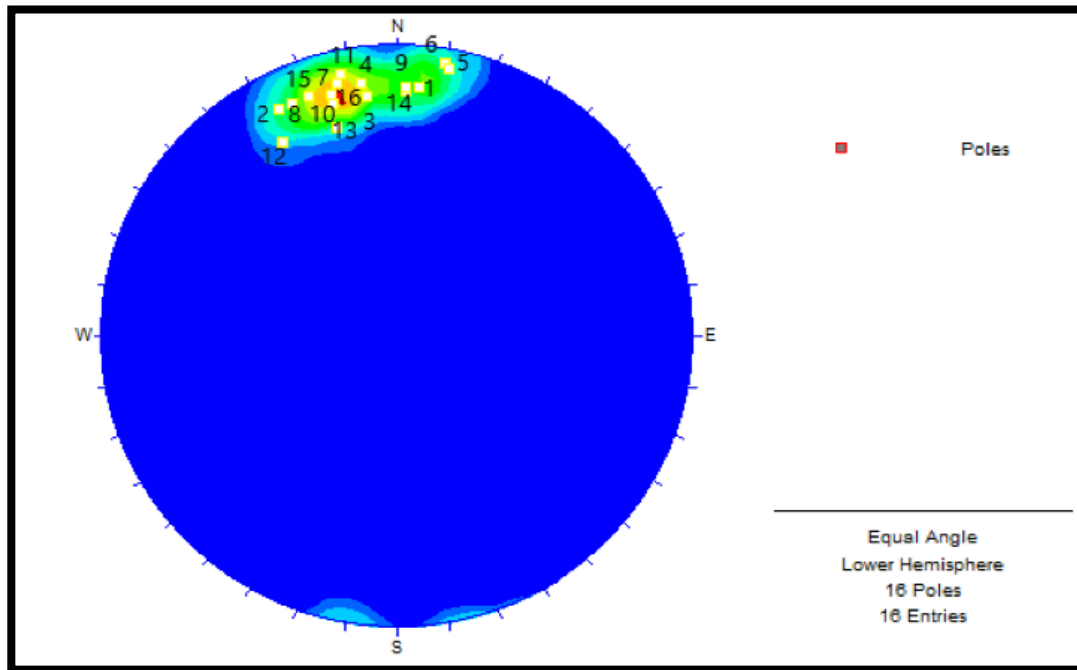
IV.4.1. Application au cas d'étude



FigureIV.9 Représentation stéréographique des 16 points carrière de Kef Dhbaa morsott-Tebessa.



FigureIV.10 Représentation stéréographique des familles de discontinues des 16 points carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa.



FigureV.11 Familles de discontinuités avec représentation par points.

Tableau IV.14 Représentation par points des Familles de discontinuités avec les points réels.

Points dans un dessin	Points en réalité
12	1
8	2
10	3
13	4
16	5
3	6
14	7
1	8
2	9
15	10
7	11
11	12
4	13
9	14
6	15
5	16

➤ **Synthèse et conclusion**

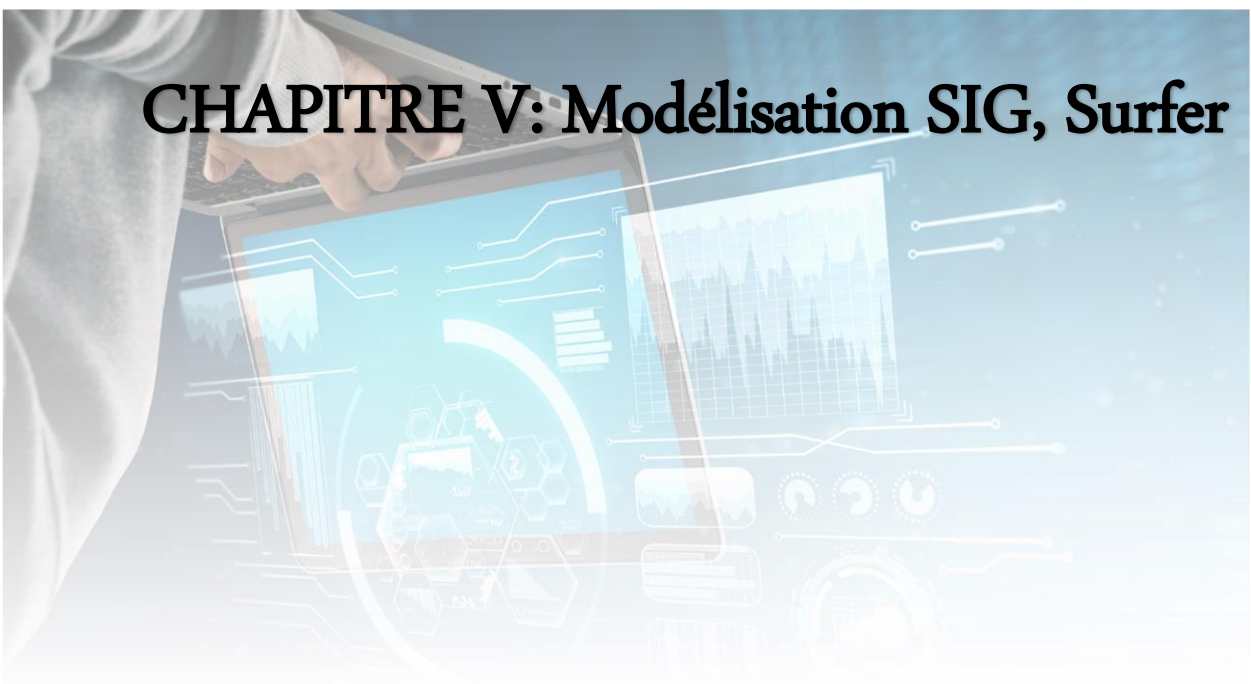
D'après la figure IV.11et les données que nous avons collectées, nous pouvons avoir une famille de discontinues réparties en plusieurs points et à différents niveaux.

IV.5 Conclusion

On fin, peut conclure qu’après les résultats du RQD, RMR, Q et GSI SMR qui sont présenté dans ce chapitre, et qui ont permis de caractériser, classer et définir la qualité des massifs rocheux du carrière Kef Dhbaa Morsott « Société SOTRAMA-TEBESSA » comme cas d’étude sont de qualités bonnes (classe II), a très bonnes (classe I) et d’une situation stable (avec quelque bloc de rupture) a entièrement stable (et aucune rupture).



CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer



V.1 Introduction

Le SIG, également connu sous le nom de système d'information géographique, est un outil puissant qui permet de recueillir, gérer, analyser et représenter des informations géographiques. En général, un SIG est constitué de plusieurs éléments essentiels. En premier lieu, il existe la base de données géographiques, qui conserve les informations géographiques et attributaires. Il y a ensuite les outils de saisie de données, qui permettent de recueillir des données géographiques provenant de différentes sources. Les logiciels de gestion et d'analyse des données géographiques jouent un rôle essentiel en proposant des fonctionnalités avancées pour structurer, représenter et étudier les données. Finalement, les SIG offrent des outils de visualisation, comme des cartes interactives et des graphiques, afin de présenter de manière claire et compréhensible les résultats de l'analyse.

V.2- Les Systèmes D'informations Géographiques

V.2.1 Définition

Un SIG représente principalement un système de gestion de base de données qui peut gérer des données localisées, telles que la saisie, le stockage, l'extraction (en particulier sur des critères géographiques), l'interrogation et l'analyse, ainsi que la représentation et la cartographie. Le but visé est principalement un objectif de synthèse, offrant à la fois une gestion des données et une assistance à la prise de décision.

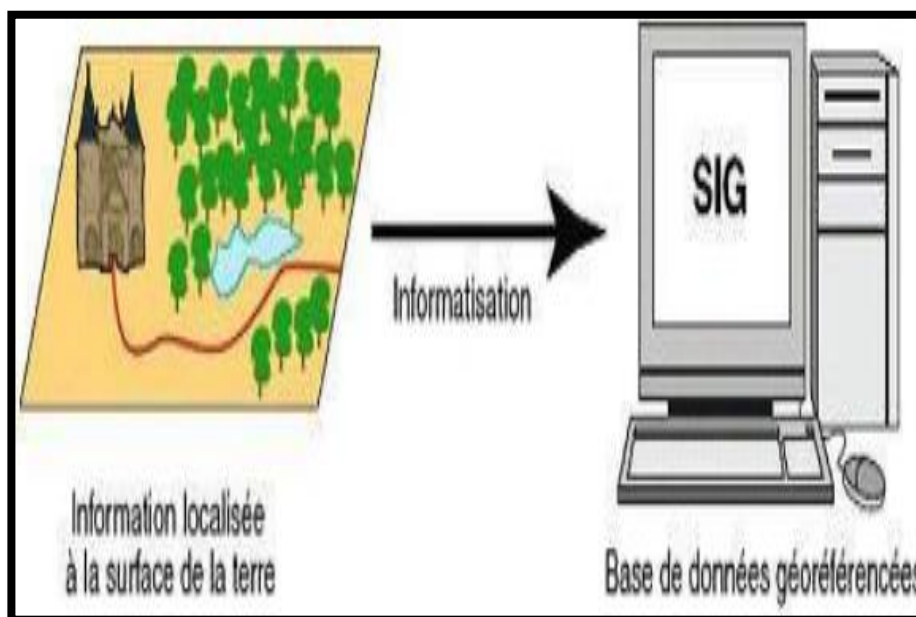


Figure V.1 La définition générale d'un système d'information géographique.[43]

Les SIG permettent entre autres :

- De stocker sous forme numérique de gros volumes de donnée géographique de manière centralisée et durable.
- D'afficher et de consulter les données sur l'écran, de superposer plusieurs couches d'information, de rapprocher des informations de différentes natures.
- D'actualiser ou de modifier les données sans avoir à recréer un document.
- D'analyser les données en effectuant par exemple des calculs de surface ou de distance.
- D'ajouter ou d'extraire des données, de les transformer pour les mettre à disposition d'un prestataire ou d'un décideur (élu).
- D'éditer des plans et des cartes à la demande et en grand nombre à des coûts peu élevés[43]

V.3. Composantes d'un SIG

Le SIG exige 5 composantes clés pour fonctionner en ensemble :

- **Matériel** : un ordinateur- imprimante, souris...
- **Logiciel** : il doit permettre de travailler sur des informations géographiques, intégrer un système de gestion de base de données, permettre de faire des analyses et de visualiser l'information avec une interface graphique (agréable) pour l'utilisateur.
- **Données** : Géographique et tabulaires.
- **Utilisateurs** : Professionnels, gestionnaires, aménagiste...etc.
- **Méthodes** : variables suivant le type d'organisation. (Le savoir-faire)[44]

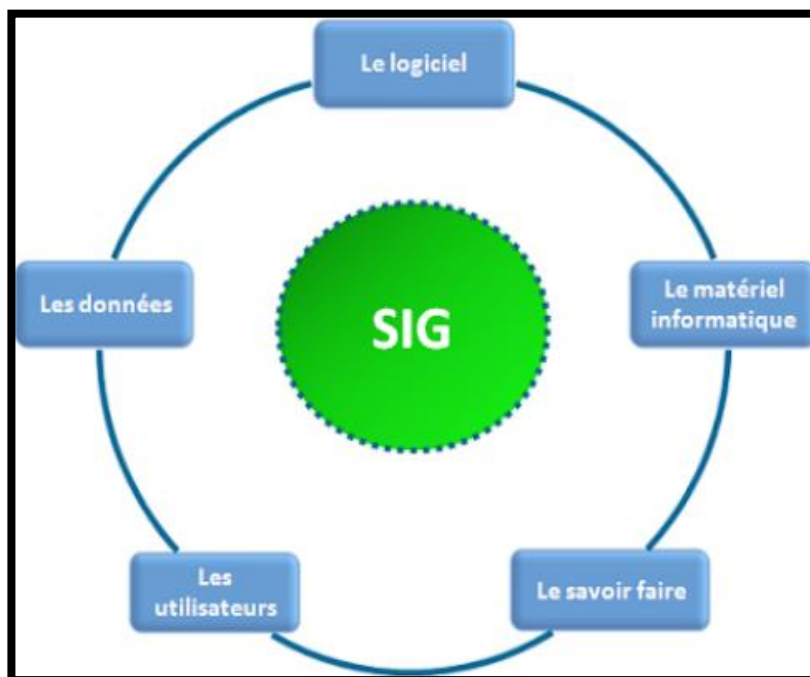


Figure V.2 les différentes composantes d'un SIG [43]

V.4. Données géographiques

V.4.1 Système de coordonnées

La structure de référence fixe qui se superpose sur la surface d'une zone et permet de localiser un point. Système de base composé d'un ensemble de points, de lignes et/ou de surfaces, ainsi que d'un ensemble de règles qui permettent de déterminer les positions des points dans l'espace en deux ou trois dimensions. Le système cartésien de coordonnées et le système géographique de coordonnées utilisés sur la surface de la Terre sont des exemples fréquents de systèmes de coordonnées. [45]

V.4.2 Projection de la carte

Dans une projection de carte, un objet tridimensionnel, comme le globe de la Terre, est présenté dans un format bidimensionnel. la projection de la carte est simplement l'élément le plus captivant du système de coordonnées de référence en raison de sa grande souplesse. Ainsi, la méthode mathématique utilisée pour passer de l'ellipsoïde au plan est appelée : système de Projection ou projection planétaire. [46]

V.4.2.1 Échelle

L'échelle d'une carte correspond à la relation constante entre les longueurs représentées sur la carte et les longueurs correspondantes mesurées sur le terrain. Habituellement, l'échelle est exprimée par une fraction de 1/50 000, ce qui implique que 1m sur la carte représente 50 000 mm, soit 50m sur le terrain. [47]

V.4.3. Mode Raster

Le mode raster, également connu sous le nom de mode matriciel, réduit l'image en une matrice de pixels. Chaque matrice incarne une couche de données. Les informations raster peuvent être issues d'un scan d'une carte ou d'une image numérique comme les images satellites. Les réalités continues (plage de couleur, paysage...) peuvent être intéressantes avec le mode raster, mais en raison de la taille des cellules, le rendu est souvent imprécis et de qualité esthétique médiocre, surtout après un zoom. Les différentes couches d'information ne sont rassemblées qu'en superposant des matrices et les attributs sont facilement accessibles malgré une demande élevée en mémoire pour le stockage. [48]

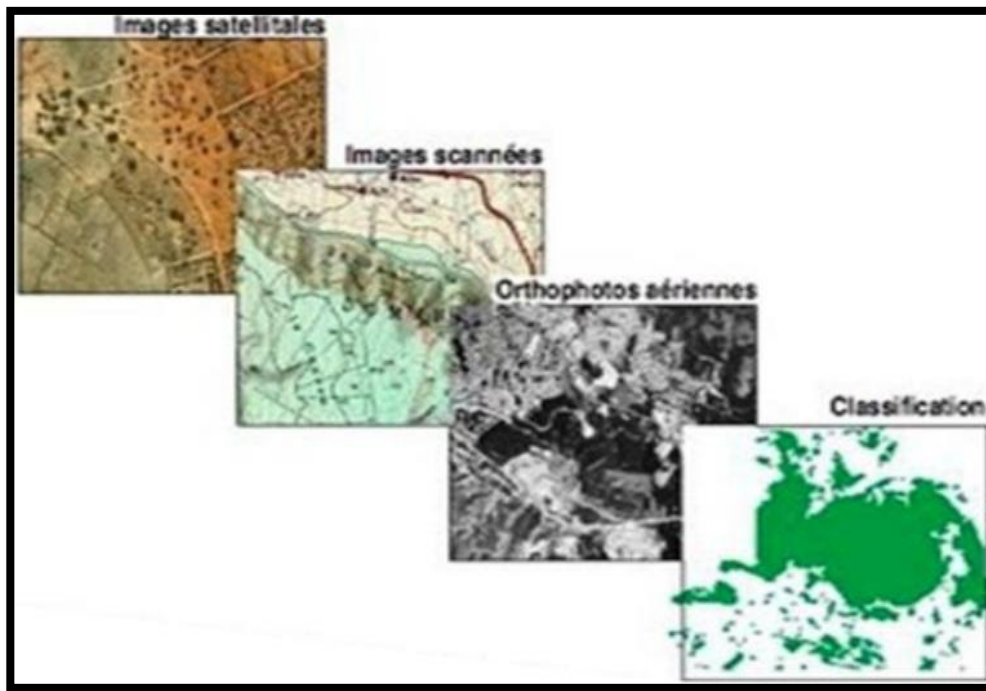


Figure V.3 Exemple de données rasters. [48]

V.4.4 Mode vecteur

Le mode vectoriel est une perspective discrète du monde, composée d'entités différentes, à la différence du mode raster qui est un modèle continu. Le mode vecteur permet de représenter les entités du monde réel à travers des formes géométriques qui représentent leur contour, et les informations sont regroupées sous la forme de coordonnées (x, y). Trois formes principales sont présentes : les points, les lignes et les polygones.

La majorité des données vectorielles proviennent de la numérisation manuelle ou semi-automatique. [48]

- **Les points** : désignent des emplacements d'éléments distincts pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes, ou par des entités qui ne possèdent pas de surface réelle, comme les points cotés.
- **les lignes** : sont des formes géographiques trop étroites pour être représentées par des surfaces (comme les rues ou les rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur mais pas une surface, comme les courbes de niveau.
- **Les polygones** : symbolisent la forme et l'emplacement d'objets homogènes tels que des pays, des parcelles, des types de sols...

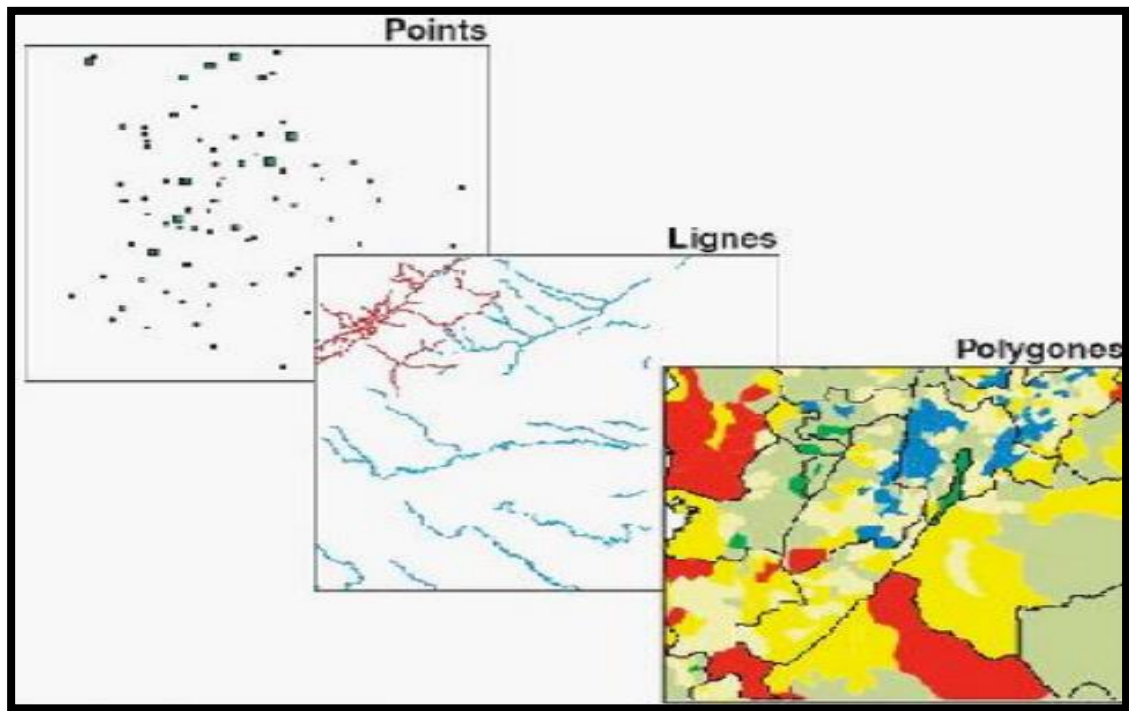


Figure V.4 Exemples de données vectorielles. [43]

V.4.5 Modèle numérique de terrain (MNT)

Un modèle numérique de terrain est une représentation numérique simplifiée de la surface d'un territoire, en coordonnées altimétriques (généralement en mètres au niveau de la mer) et planimétriques, calées dans un repère géographique. [49]

V.4.6 DEM (Digital Élévation Model)

Le DEM est une image numérique des reliefs terrestres de différentes altitudes, et il est l'une des sorties essentielles du système d'information géographique (SIG). Il permet de représenter numériquement la région d'étude en utilisant les variations (x, y, z)

(x, y) représente les coordonnées horizontales, tandis que (z) représente les coordonnées verticales (l'altitude). De plus, l'ordinateur peut effectuer d'autres simplifications. [50]

V.4.7 Rôles de SIG

Les rôles de SIG sont :

- **Abstraction** : La modélisation de la base de données consiste à définir les projets, leurs caractéristiques et leurs liens.
- **Acquisition** : Pour alimenter le SIG en données, il est nécessaire de définir d'une part la

forme des objets géographiques et d'autre part leurs caractéristiques et leurs liens.

- **Archivage** : Transfert des informations de la zone de travail vers la zone d'archivage (disque dur).
- **Analyse** : Réponse aux questions posées.
- **Affichage** : Création automatique des cartes. [43]

V.5. Le SIG et la Géologie

La géomatique englobe tous les outils et techniques utilisés pour représenter, analyser et intégrer des données géographiques. Ces trois actions pourraient donner une définition du cycle de travail continu d'un service géologique contemporain.

V.5.1 Construction du SIG géologique

Le modèle de données utilisé dans le SIG géologique doit satisfaire à plusieurs contraintes importantes, telles que :

- ✓ Décrire de manière fidèle et exhaustive le contenu de la carte géologique
- ✓ Créer des liens entre les divers objets de la carte en fonction de leurs significations géologiques.
- ✓ Créer une approche de construction topo logiquement "propre", (par exemple en ce qui concerne la superposition de lignes dans divers thèmes), mais tout en restant rationnelle en ce qui concerne les coûts de production.
- ✓ Offrir un outil avec un potentiel d'analyse optimal.

Il est possible d'améliorer le potentiel d'analyse du SIG en effectuant le relevé géologique et la préparation des données en vue de la création d'un modèle spatial SIG complet. [48]

V.6 Utilités d'un SIG

Arc GIS est utilisé par les experts dans divers domaines pour de nombreuses applications, telles que la planification et l'analyse, la gestion d'actifs, la sensibilisation opérationnelle, les opérations sur le terrain comme l'inspection mobile et le déploiement d'urgence, les études de marché, la gestion des ressources, la logistique, l'éducation et la sensibilisation. En règle générale, ces experts font appel au SIG car il leur permet de :

- Résoudre des difficultés.
- Effectuer des choix plus éclairés.

- Organiser avec réussite.
- Améliorer l'utilisation des ressources.
- Prévoir et gérer les évolutions.
- Effectuer et gérer des opérations de manière plus performante.
- Favoriser la coopération entre les différentes équipes, disciplines et institutions.
- Améliorer la compréhension et la compréhension.
- Améliorer la communication. [45]

V. 7 Domaines d'application d'un SIG

Étant donné leur polyvalence, les SIG ne sont pas susceptibles d'être décrits de manière exhaustive. Cependant, deux méthodes peuvent être adoptées :

- Une classification par type de territoire, allant du niveau local au niveau international.
- Une classification par domaine d'application, comprenant des SIG thématiques. [43]

V.8 présentation du logiciel ArcGIS

ArcGIS est l'un des SIG les plus couramment employés ; Ce logiciel présente de multiples possibilités pour recueillir, manipuler, gérer, analyser et modifier les données spatiales.

Il est possible de manipuler plusieurs couches d'informations spatiales, ce qui permet d'analyser une ou plusieurs couches en ayant le contrôle des autres. Il n'y a qu'un seul lien entre ces différentes couches, c'est-à-dire l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système opératoire.

Les couches d'informations sont utilisées pour décrire un espace géographique terrestre spécifique. Elles peuvent être des documents cartographiques qui illustrent des objets thématiques géographiquement identifiés (carte de type IGN, photographies aériennes, images satellitaires, etc.). Ou provenant des études et des méthodes de cartographie (carte de la teneur en eau du sol, carte topographique, carte de la hauteur des arbres dans un habitat forestier, etc.).[45]

V.9 Fonctionnement d'un SIG sous ArcGIS

V.9.1 Couches

Les données sont stockées dans un SIG sous forme numérique et sont structurées en couches appelées «shapefiles» dans ArcGIS.

CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

Chacune des couches renfermera un ensemble de données distinctes, et c'est en les regroupant qu'il sera possible d'obtenir un document final qui représente toutes les données géographiques pertinentes.

V.9.2 Références géographiques

On distingue deux types de données, qui sont considérés lors de l'analyse d'une carte :

- Les données liées aux attributs
- Les données spatiales

V.9.3 Présentation de l'interface ArcMap

ArcMap est l'application principale d'ArcGIS. Elle offre la possibilité de réaliser une variété de tâches SIG courantes, ainsi que des tâches spécialisées adaptées à l'utilisateur. Elle propose des instruments qui permettent de représenter, modifier, analyser, regrouper et partager des données dans des environnements en 2D et 3D. [6]

V.9.4 ArcCatalog est principalement utilisé pour les tâches suivantes

Organisation de notre contenu SIG

- Création de nouvelles couches/shapefiles, géodatabases...etc.)
- Recherche et ajout de contenu aux applications ArcGIS
- Documentation de votre contenu
- Gestion des serveurs GIS
- Réalisation de métadonnées normalisées. [48]

Remarque : Au lieu de recourir à ArcCatalog, il est possible d'ouvrir et utiliser la fenêtre catalogue incluse dans l'application ArcMap.

V.9.5. Présentation de l'interface ArcToolBox

Le module ArcToolBox nous offre la possibilité d'utiliser toutes les fonctionnalités de traitement d'analyse. La boîte à outils offre un large éventail de fonctionnalités de géotraitement. Il effectue également la conversion des formats de données pour importer ou exporter des fichiers, ainsi que les modifications de projection. La fenêtre ArcToolBox peut être ouverte en utilisant le bouton "Afficher/Masquer la fenêtre ArcToolBox" situé sur la barre d'outils standard, ou en choisissant "Géo traitement>ArcToolBox". En appuyant sur un outil, une fenêtre correspondant à celui-ci s'ouvre, nous donnant la possibilité de le configurer. La caractéristique la plus pratique de la fenêtre ArcToolBox est qu'elle enregistre le contenu de notre document, ce qui nous permet de

personnaliser le contenu afin d'inclure uniquement les boîtes à outils nécessaires à notre projet en cours. [48]

V.9.6 Le document MXD

Un document ArcMap (avec l'extension «.mxd») est un fichier qui renferme les éléments d'un environnement de travail (couches d'information, style de représentation, ordre symbolique, liens hypertextes, barres d'outils ajoutées, boutons personnalisés, informations bulles, layout de la carte). Le document de travail est un seul fichier, à la différence d'une couche. Il ne renferme aucune information géographique. Il ne contient qu'une série d'instructions qui sont transmises à ArcMap et qui spécifie les couches géographiques utilisées dans la session, les fenêtres ou les données ouvertes, la structure des objets, etc. Pour sauvegarder l'avancement de notre travail, il vous suffit de vous rendre dans le menu>Fichier>Enregistrer sous > (indiquer le nom du fichier).

On peut également enregistrer le "chemin relatif" des couches employées. Grâce à cela, nous pouvons transférer l'intégralité de notre dossier de travail et rouvrir notre document après le déplacement, sans aucun problème. Il est nécessaire de maintenir le document et les couches utilisées à la même position car le logiciel ne prend pas en considération les modifications. Afin de réaliser cela, il est nécessaire de se rendre dans le menu "fichier" puis de choisir "Enregistrer le chemin relatif aux sources de données" et de sélectionner "Ok". [48]

V.9.7 Arc Scene

Arc Scene offre la possibilité de visualiser vos données SIG en trois dimensions grâce à une application de visualisation 3D.

V.10 Les Avantages d'un ArcGIS

- Concevoir, diffuser et exploiter des cartes intelligentes,
- Collecter des données géographiques,
- Créer et de gérer des bases de données géographiques,
- Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale,
- Créer des applications basées sur la carte,
- Communiquer et de partager des informations grâce à la puissance de la géographie et des visualisations.

V.11 Interprétation des résultats

V.11.1 Créations des cartes à l'aide d'ArcGis

Cette carte représente classification des pentes de la carrière Kef Dhbaa obtenu par un levé topographie par une grande précision :

0.67% à 9% le terrain est facile

9% à 18% le terrain un peu difficile

18% à 26% le terrain difficile

26% à 35% le terrain très difficile

35% à 44% le terrain très très difficile

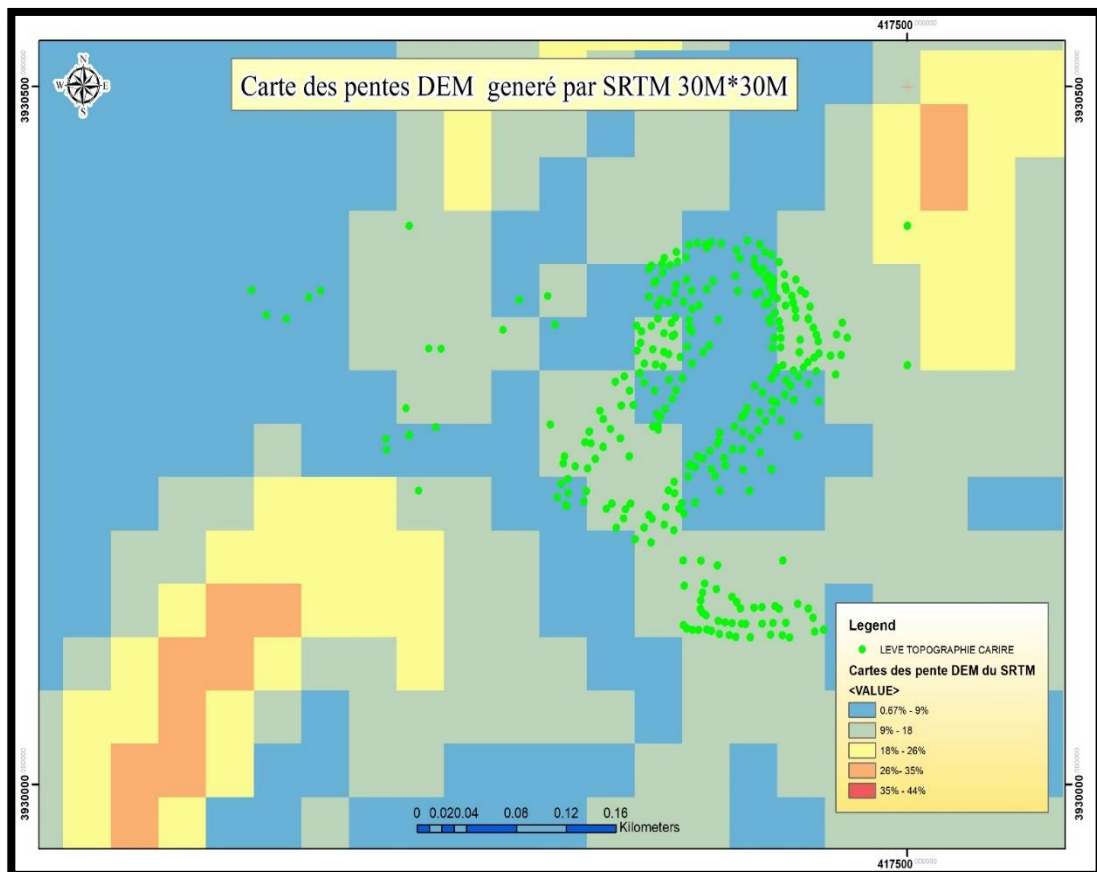


Figure V.5 Présentation de la carte de la pente (DEM généré par SRTM)

La figure V.6 montre la carte des pentes à partir le levé topographique de la carrière de Kef Dhbaa morsott

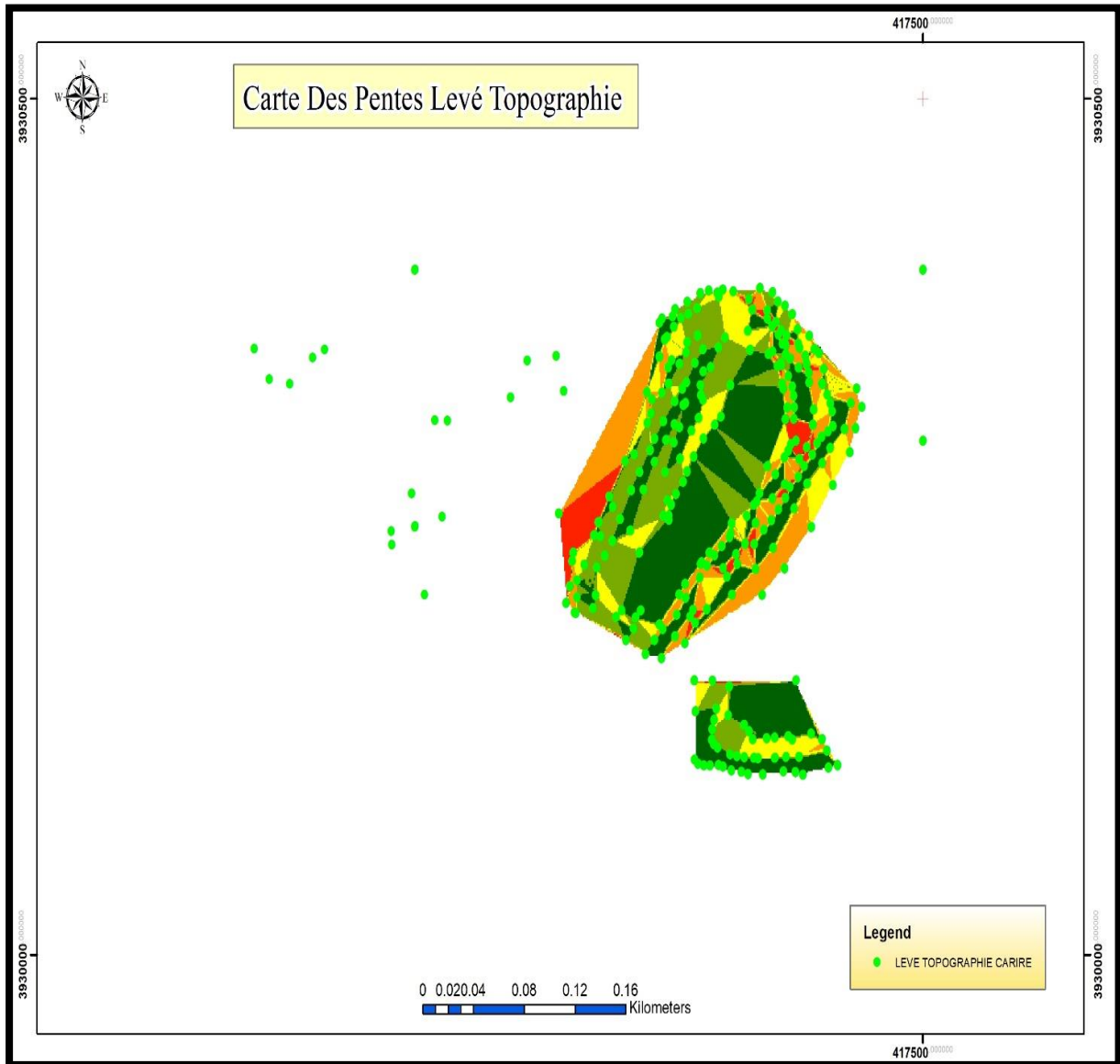


Figure V.6 Présentation de la carte de la pente de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa.

CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

Cette carte nous montre le plan de la situation de la zone d'étude de la carrière de Kef dhbaa morsott

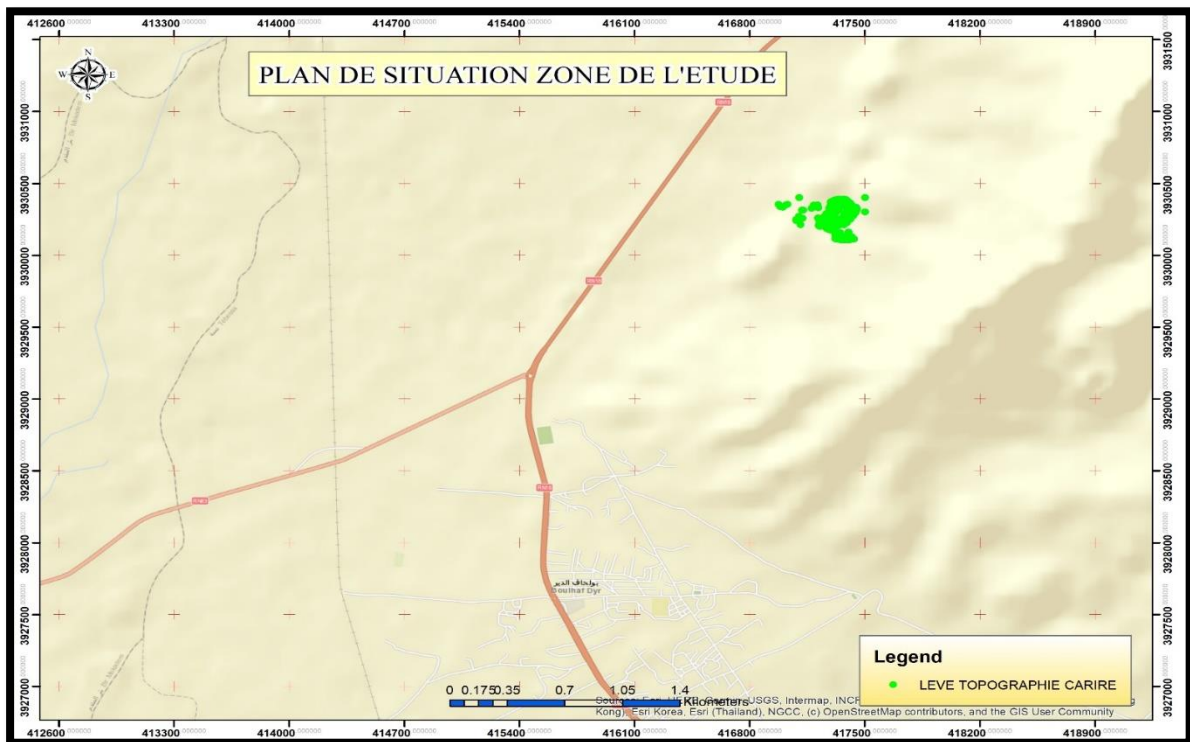


Figure V.7 Présentation de la carte de plan situation de la zone d'étude (la carrière Kef Dhbaa Morsott-tebessa)



Figure V.8 Présentation de la carte de plan de situation de la zone d'étude sur l'orthophoto.

Cette carte nous montre l'emplacement de la carrière de Kef Dhbaa Morsott sur le fond topographique

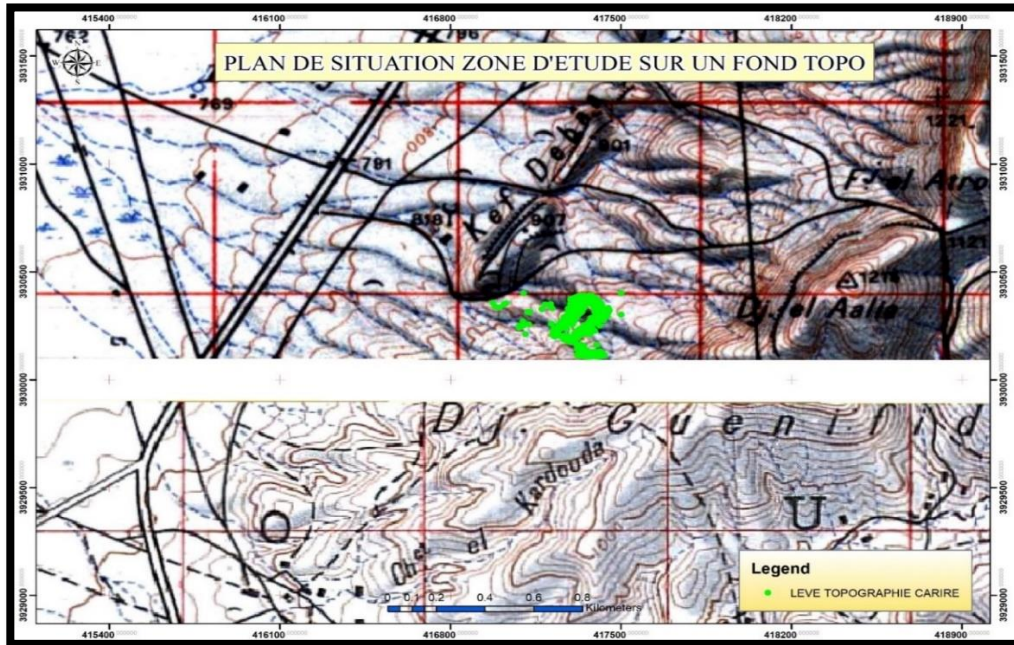


Figure V.9 Présentation de la carte de plan de situation de la zone d'étude Kef Dhbaa Morsott-Tebessa sur un fond topo

Cette carte nous représente la localisation de la carrière de kef dhbaa sur la carte géologique de morsott

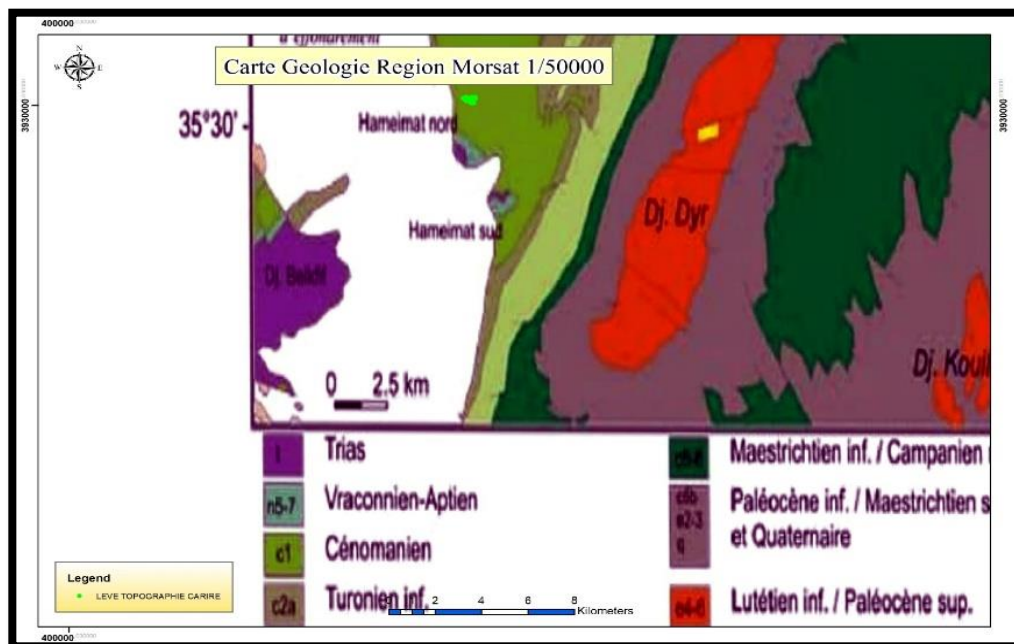


Figure V.10 Présente la localisation de la carrière kef Dhbaa sur la carte géologique de la région Morsott à l'échelle 1/50000.

CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

Cette carte nous représente la localisation de la carrière de kef dhbaa sur la carte géologique de tebessa

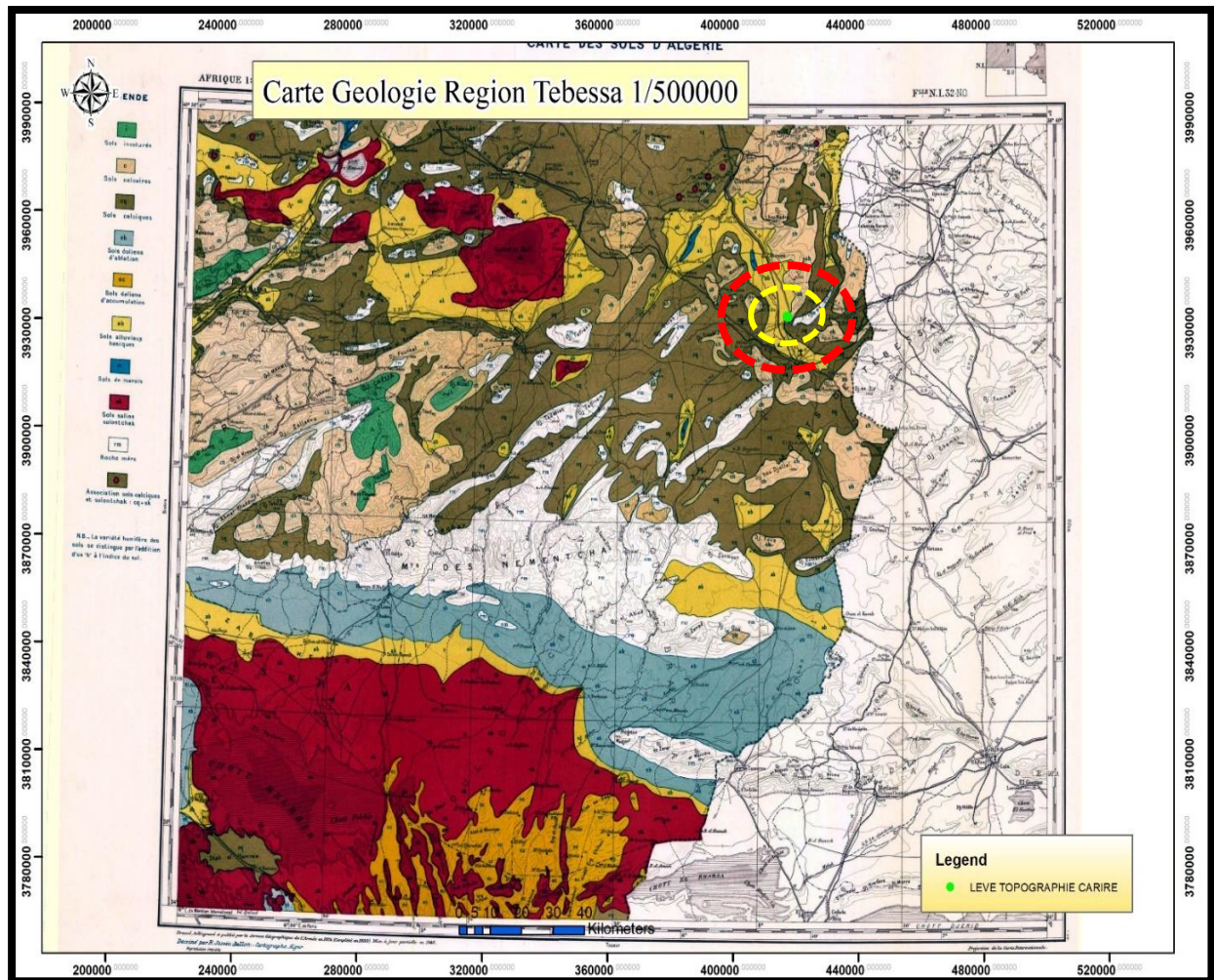


Figure V.11 Présentation de la localisation de la carrière Kef Dhbaa Morsott sur la carte géologique de la région Tébessa à l'échelle 1/500000

V.12 Golden software surfer

V.12.1 Présentation du programme

Surfer 19 est un puissant logiciel de visualisation et de cartographie en 3D développé par Golden Software. Il est principalement utilisé pour créer et analyser des cartes de contours, de surfaces et volumétriques de haute qualité. Surfer est largement utilisé dans divers domaines tels que la géologie, les sciences de l'environnement, l'exploitation minière, l'exploration pétrolière et gazière, et l'ingénierie.

Le principe De programme est le suivant : le logiciel permet de créer des Grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y, z afin de les ordonnées. C'est à partir de ces

grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes : Base map, contour map, 3D surface, vecteur et bien d'autres.

V.12.2 L'objectif d'utilisation du programme

- **Visualisation des données géospatiales** : Surfer permet de visualiser des données géospatiales sous forme de cartes de contours, de cartes de surfaces et de représentations en 3D. Il peut être utilisé pour afficher et analyser des données topographiques, des données géologiques, des données environnementales, des données de modèles numériques de terrain, et bien d'autres.
- **Analyse des données géospatiales** : Surfer offre des fonctionnalités d'analyse pour les données géospatiales, telles que le calcul de volumes, l'interpolation des données, la création de profils en travers, la comparaison de différentes surfaces, la détection de tendances, et plus encore. Il permet aux utilisateurs d'extraire des informations précieuses à partir de leurs données.
- **Cartographie et présentation** : Surfer est largement utilisé pour créer des cartes de haute qualité pour la publication, la présentation et la communication visuelle des données géospatiales. Il permet de personnaliser les cartes en ajustant les couleurs, les étiquettes, les intervalles de contours, les légendes, les échelles, etc., pour produire des cartes attrayantes et informatives.
- **Planification et prise de décision** : Surfer peut être utilisé pour aider à la planification et à la prise de décision dans divers domaines. Par exemple, dans le domaine de l'ingénierie, il peut être utilisé pour analyser les modèles de flux de terrain, les modèles d'érosion, les modèles hydrologiques, etc., afin de prendre des décisions éclairées concernant les projets de construction et de développement.
- **Exploration et modélisation des ressources naturelles** : Surfer est souvent utilisé dans les industries extractives telles que l'exploitation minière, le pétrole et le gaz, pour analyser et modéliser les ressources naturelles. Il permet de créer des modèles de gisements, d'analyser les données de forage, de générer des cartes de profondeur, des modèles de réservoirs, des cartes de prospection, etc.
- **Recherche scientifique** : Surfer est un outil précieux pour les chercheurs dans divers domaines scientifiques, tels que la géologie, l'océanographie, la climatologie, la biologie, etc. Il permet de visualiser et d'analyser des données spatiales complexes, d'identifier des tendances, de générer des hypothèses et de soutenir la recherche scientifique.

V.13 Cartographie géotechnique de la carrière de Kef Dhbaa Morsott – Tebessa-

V.13.1 Modélisation des cartes à l'aide de Surfer

V.13.1.1 Carte de contour (Contour map)

- La figure V.12 nous montre la carte de contour de la carrière de Kef Dhbaa Morsott – Tebessa- cette carte nous permet de concevoir d'autres cartes différentes.

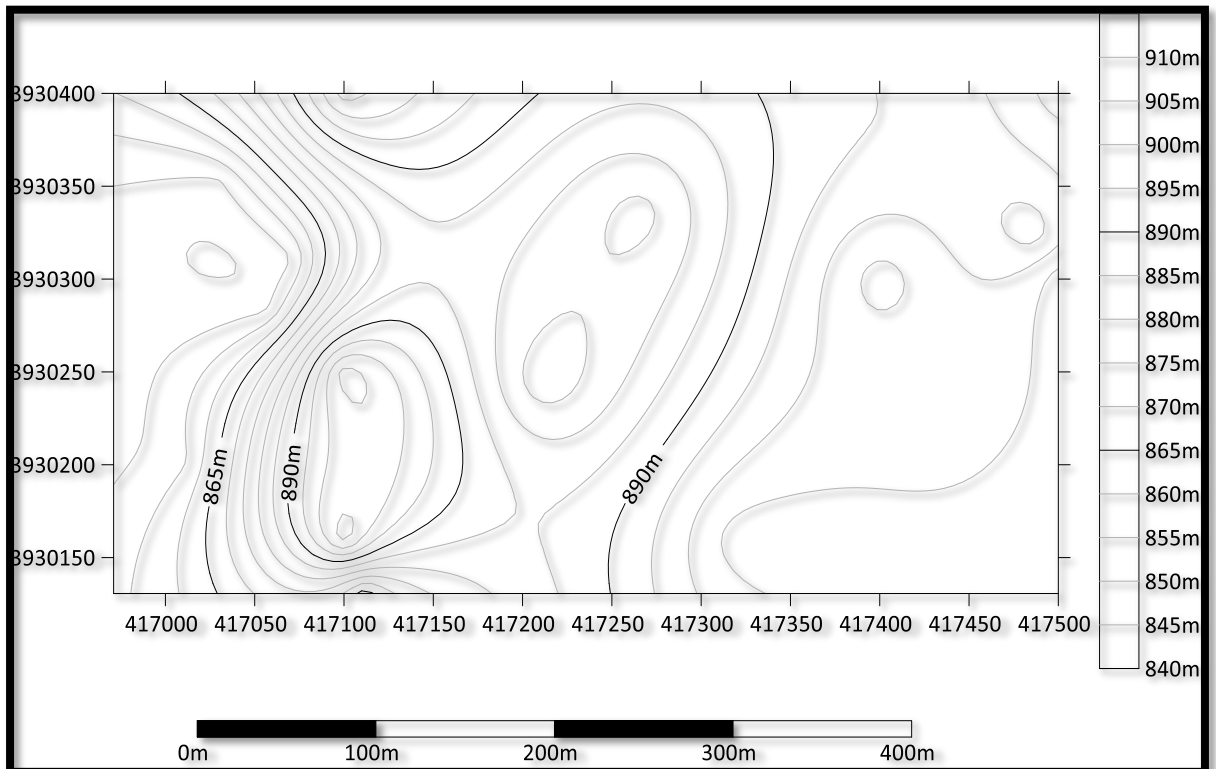


Figure V.12 Carte de contour de la carrière de Kef Dhbaa Morsott –Tebessa-

V.13.1.2 Carte en relief en couleurs (Relief map color)

Cette carte nous montre le relief de la carrière de Kef Dhbaa Morsott – Tebessa- ; car elle montre que l'échelle de couleurs va de 840m à 910 m et l'échelle de la carte est de la carte est de 0 à 400m

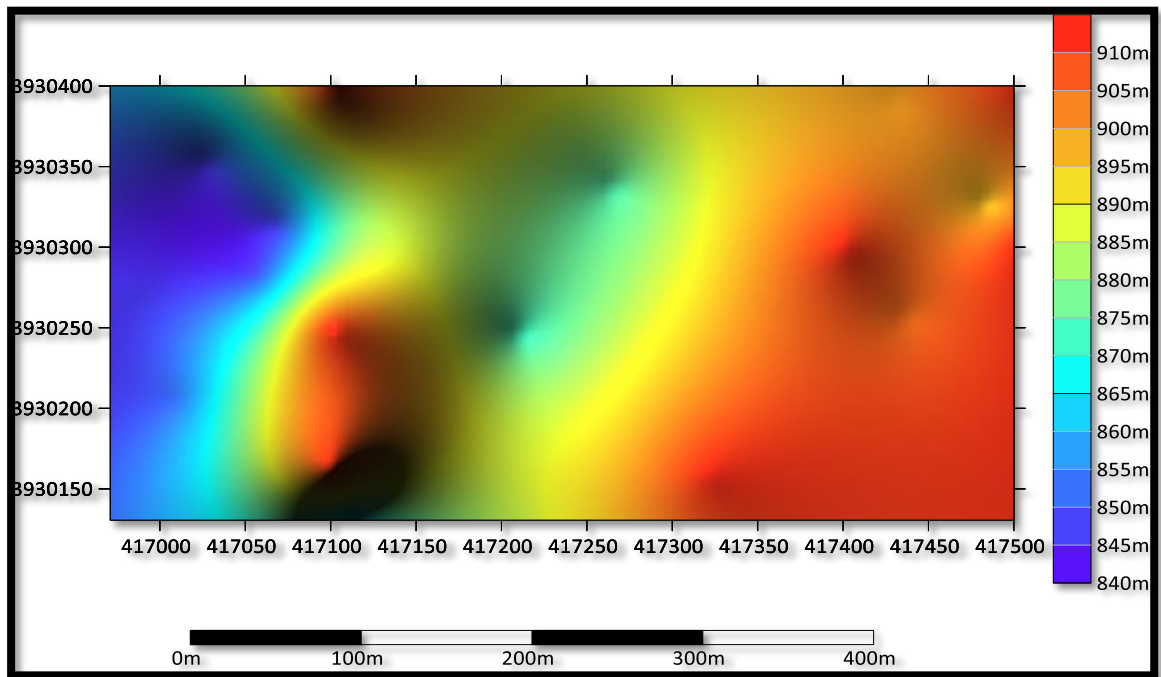


Figure V.13 Carte en relief en couleur de la carrière Kef Dhaba Morsot-Tebessa-

V.13.1.3 Carte des valeurs de grille (Grid values map)

Cette carte nous montre la couche de valeurs de grille, qui est recouverte d'une couche de relief de couleur remplie et à la même échelle que les premières cartes. Une carte des valeurs de grille affiche des symboles et des étiquettes pour afficher les positions et les valeurs des nœuds de grille.

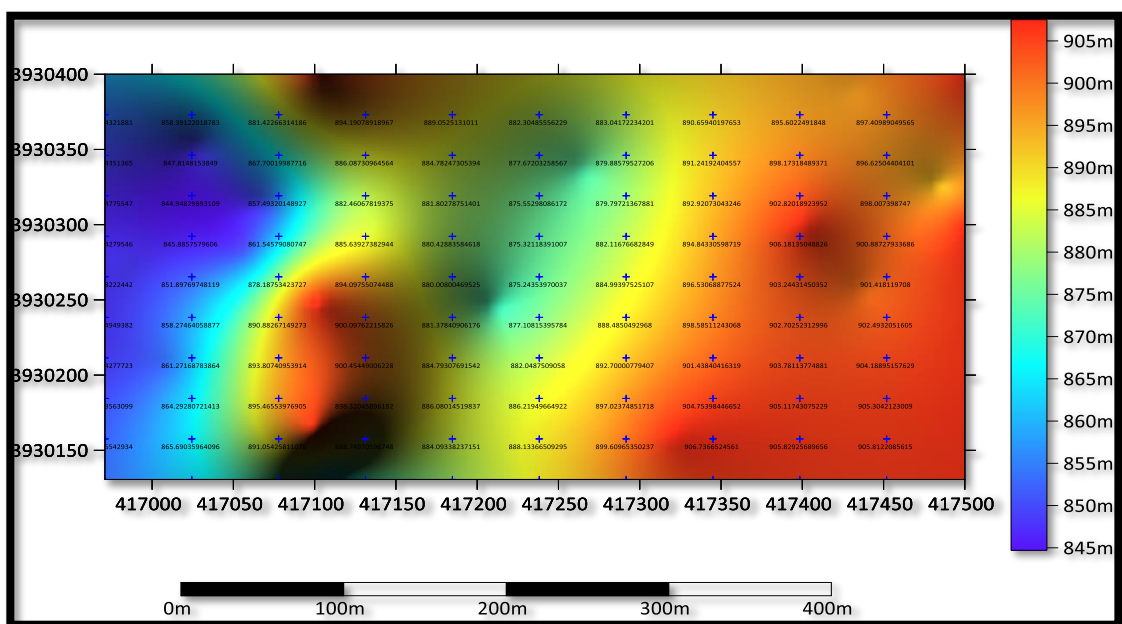


Figure V.14 Carte des valeurs de grille de la carrière Kef Dhaba Morsot-Tebessa-

V.13.1.4 Carte des vecteurs de grille (Grid vectors map)

Cette carte nous montre la carte vectorielle en grille ; les flèches nous montrent la direction de l'eau

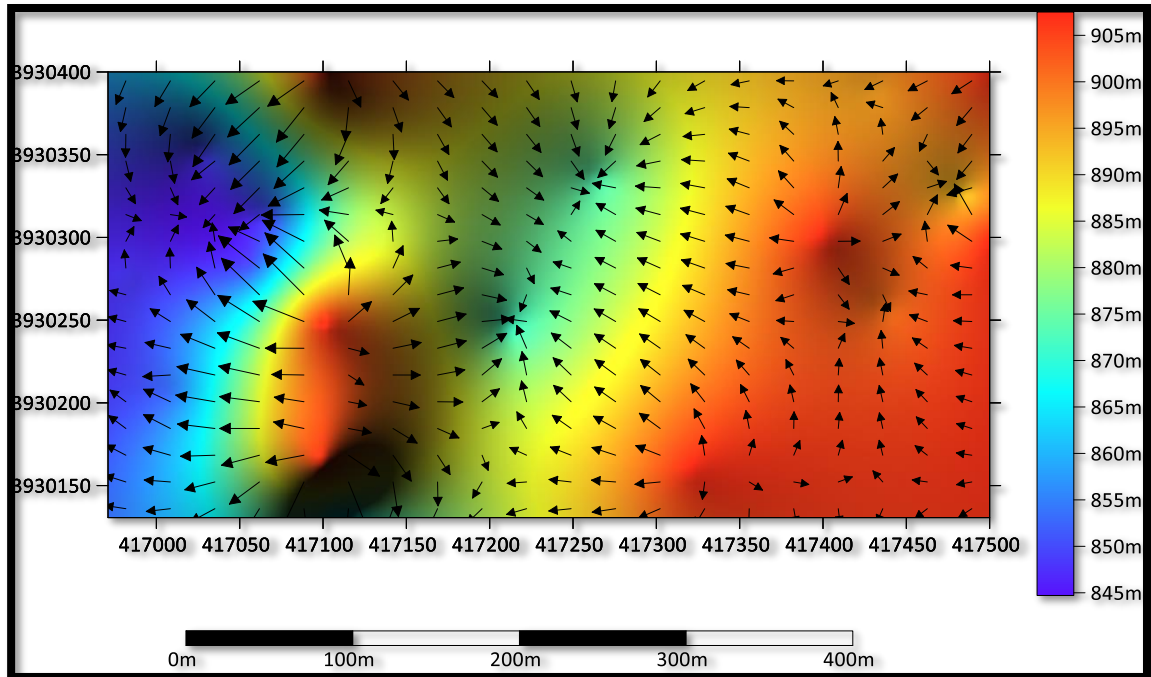


Figure V.15 Carte vectorielle de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa-

V.13.1.5 Carrière de Kef Dhbaa Morsott en surface 3D

Cette figure montre une vue 3D de la carrière de Kef Dhbaa Morsott –Tebessa-

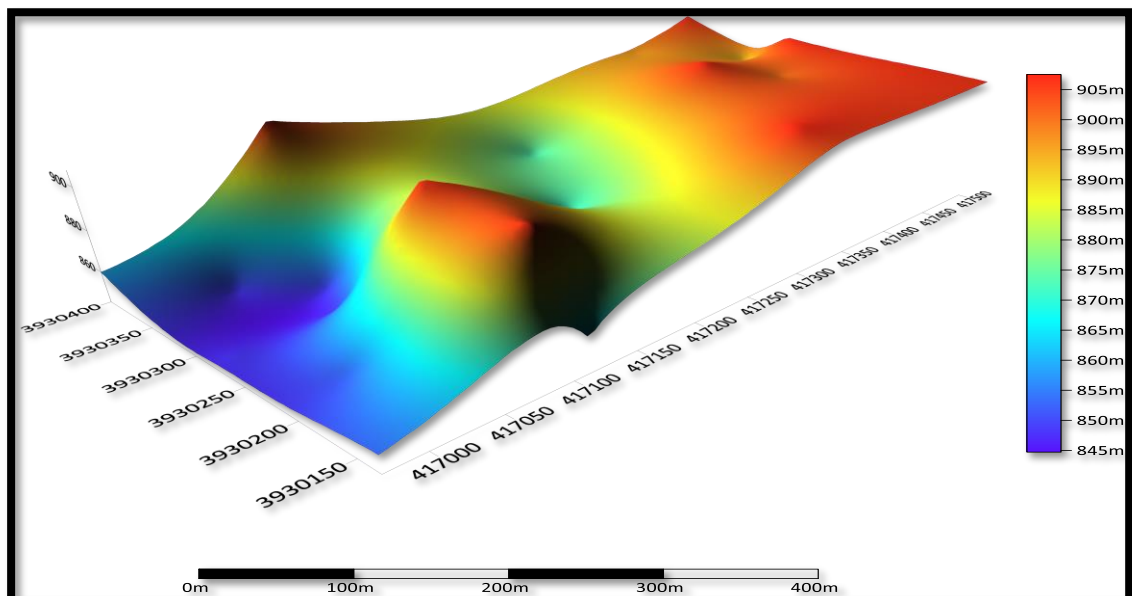


Figure V.16 Surface 3D de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa-

V.13.1.6 Carte postale (Post map)

Une carte en relief en couleur posée sur une carte de contour avec des marques de facteur de sécurité, comme le montre la figure V.17

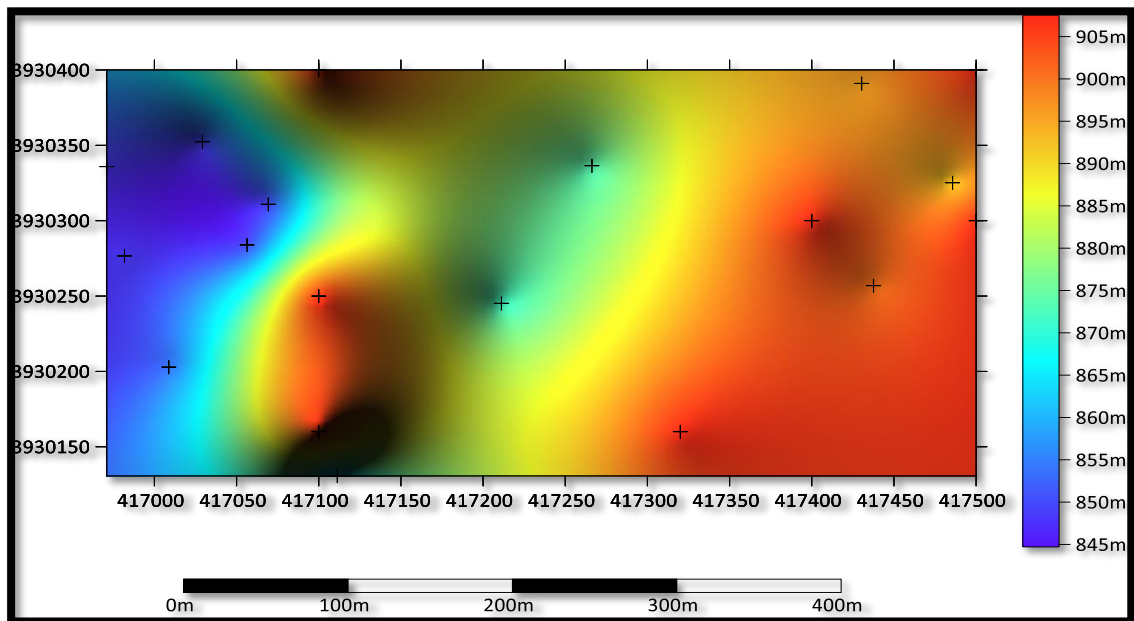


Figure V.17 Carte postale

V.13.1.7 Carte d'élévation

La figure V.18 montre la carte d'élévation de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa-

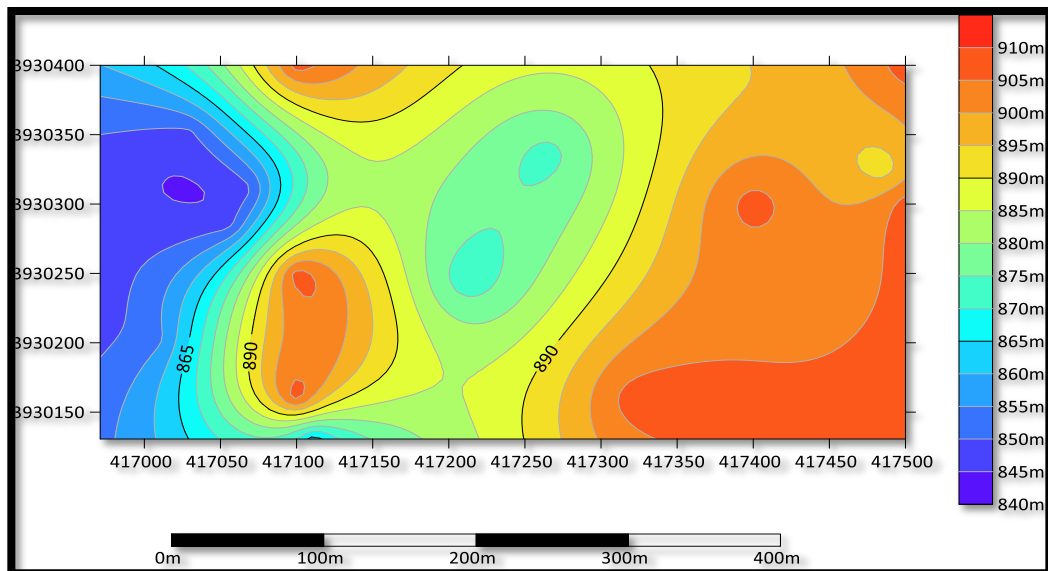


Figure V.18 Carte d'élévation de la carrière Kef Dhbaa Morsott-Tebessa-

V.14 Analyses graphique à partir des données géotechniques

➤ Les propriétés physiques

✚ La figure V.19 montre la distribution des valeurs de la masse volumique apparente. Les valeurs de la MVA maximum se localisent dans le 12 m de front d'abattage

Les valeurs de la masse volumique apparente MVA sont les suivantes :

- La valeur maximale de la masse volumique apparente $MVA = 1.46 \text{ (g/ cm}^3\text{)}$
- La valeur moyenne de la masse volumique apparente $MVA = 1.41 \text{ (g/ cm}^3\text{)}$
- La valeur minimum de la masse volumique apparente $MVA = 1.36 \text{ (g/ cm}^3\text{)}$

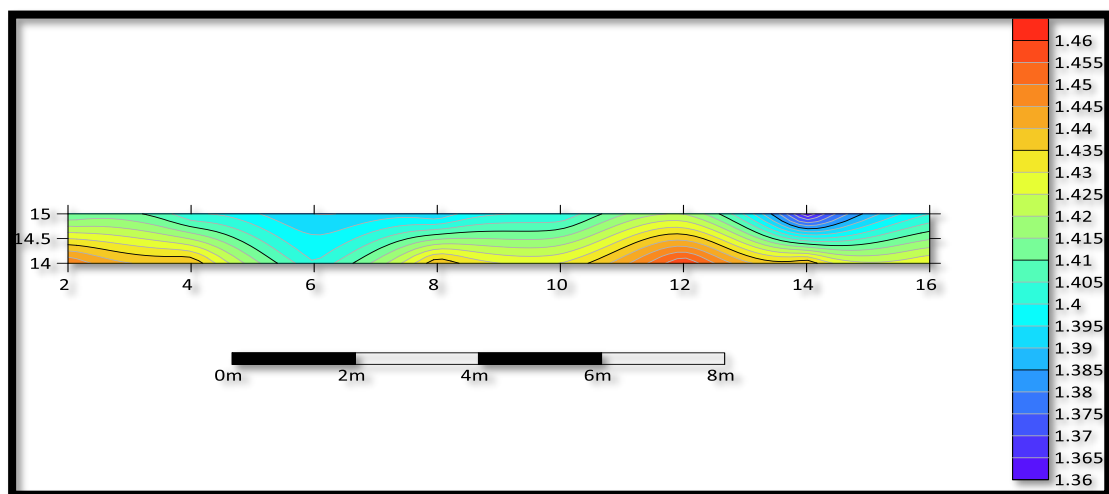
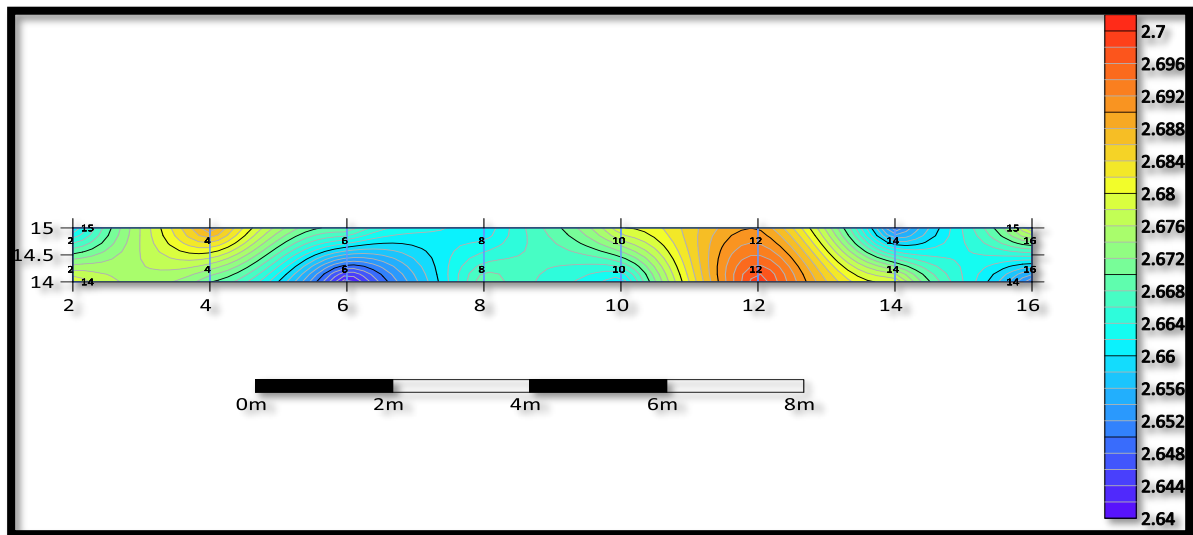


Figure V.19 Réprésentation de la distribution de la masse volumique apparente.

✚ La figure V.20 montre la distribution des valeurs de la masse volumique réelle. On observe une hétérogénéité de la distribution de MVR sur le front d'abattage

Les valeurs de la masse volumique réelle MVR sont les suivantes :

- La valeur maximale de la masse volumique réelle $MVR = 2.7 \text{ (g/ cm}^3\text{)}$
- La valeur moyenne de la masse volumique réelle $MVR = 2.67 \text{ g/ cm}^3\text{)}$
- La valeur minimum de la masse volumique réelle $MVR = 2.64 \text{ (g/ cm}^3\text{)}$



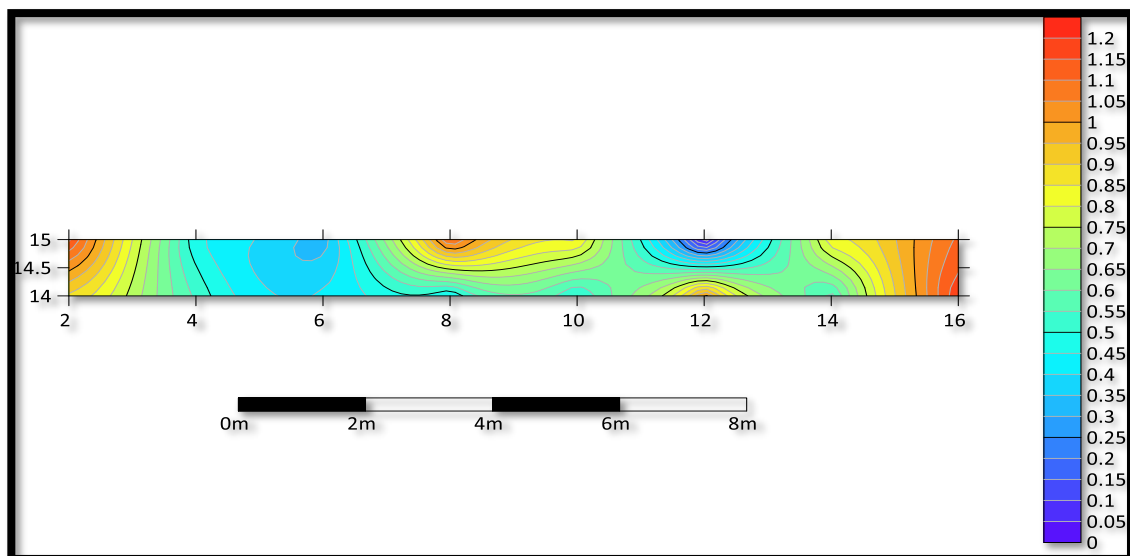
FigureV.20 Représentation de la distribution de la masse volumique réelle

✚ La figureV.21 montre la distribution des valeurs de taux d'absorption d'eau (AB%)

On observe aussi une hétérogénéité de la distribution de taux d'absorption

Les valeurs de taux d'absorption d'eau (AB%) sont les suivantes ABS sur le frond d'abattage.

- La valeur maximale de la masse volumique réelle **ABS = 1.2 %**
- La valeur moyenne de la masse volumique réelle **ABS = 0.6%**
- La valeur minimum de la masse volumique réelle **ABS = 0 %**



FigureV.21 Représentation de la distribution de taux d'absorption d'eau (AB%)

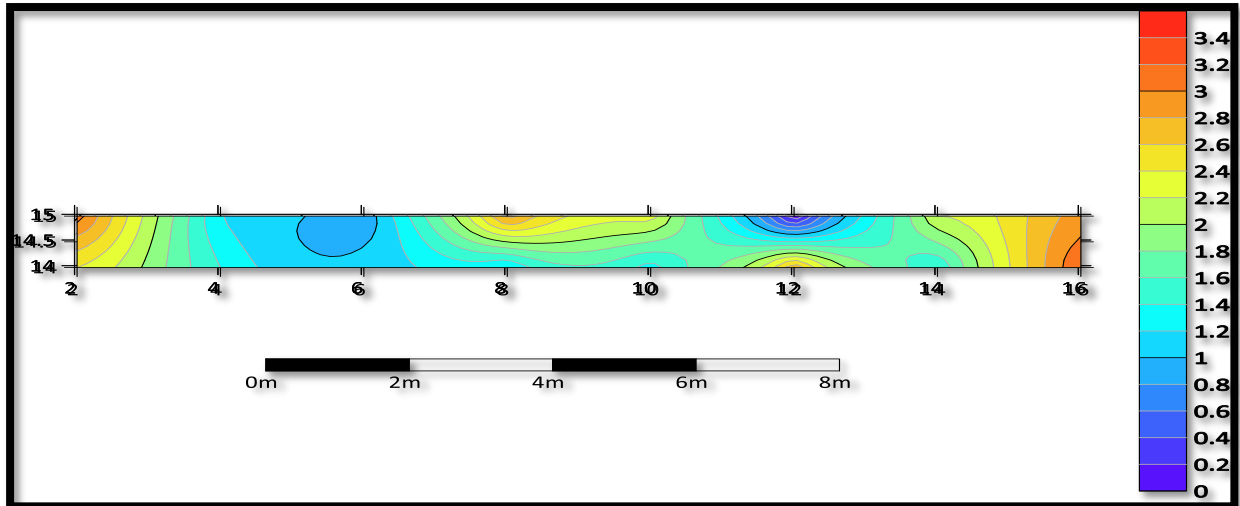
✚ La figureV.22 montre la distribution des valeurs de la porosité n %

CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

Ont observons aussi une hétérogénéité de la distribution de porosité sur le frond d'abattage

Les valeurs de la porosité n % sont les suivantes :

- La valeur maximale de la masse volumique réelle $n = 3.4\%$
- La valeur moyenne de la masse volumique réelle $n = 1.6\%$
- La valeur minimum de la masse volumique réelle $n = 0\%$



FigureV.22 Réprésentation de la distribution de la porosité $n\%$

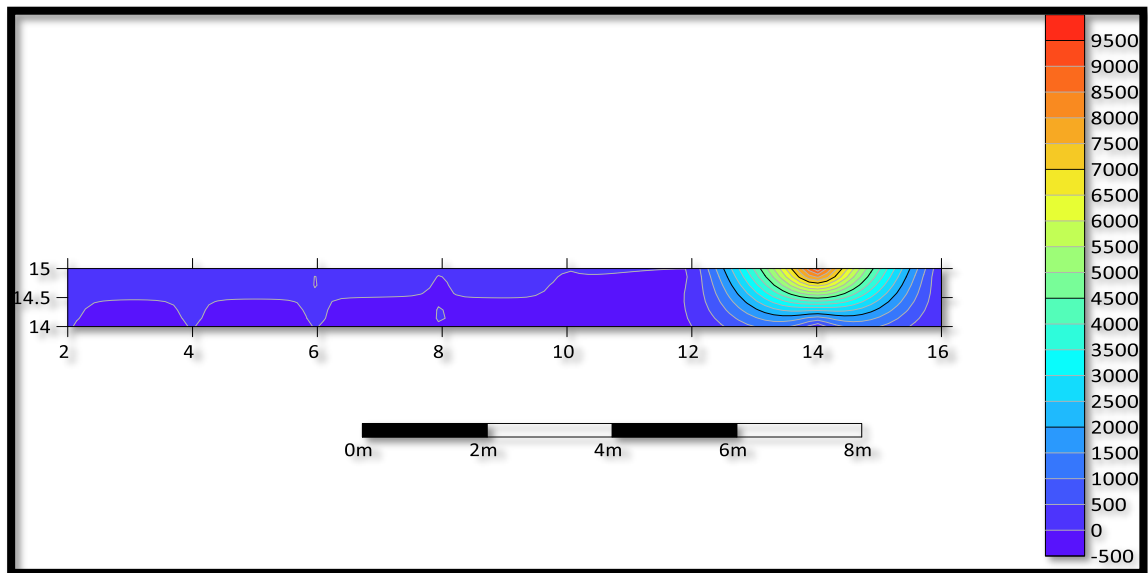
➤ Les propriétés chimiques

✚ La figureV.23 montre la distribution des valeurs de **SiO₂**.

Ont ce basant sur la distribution du SiO₂ au frond d'abattage on voir cette valeur homogène avec une consontration élevé à 14 m à droite du frond

Les valeurs de **SiO₂** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **SiO₂**= **9.5 %**
- La valeur moyenne de **SiO₂**= **4.5 %**
- La valeur minimum de **SiO₂**= **0%**



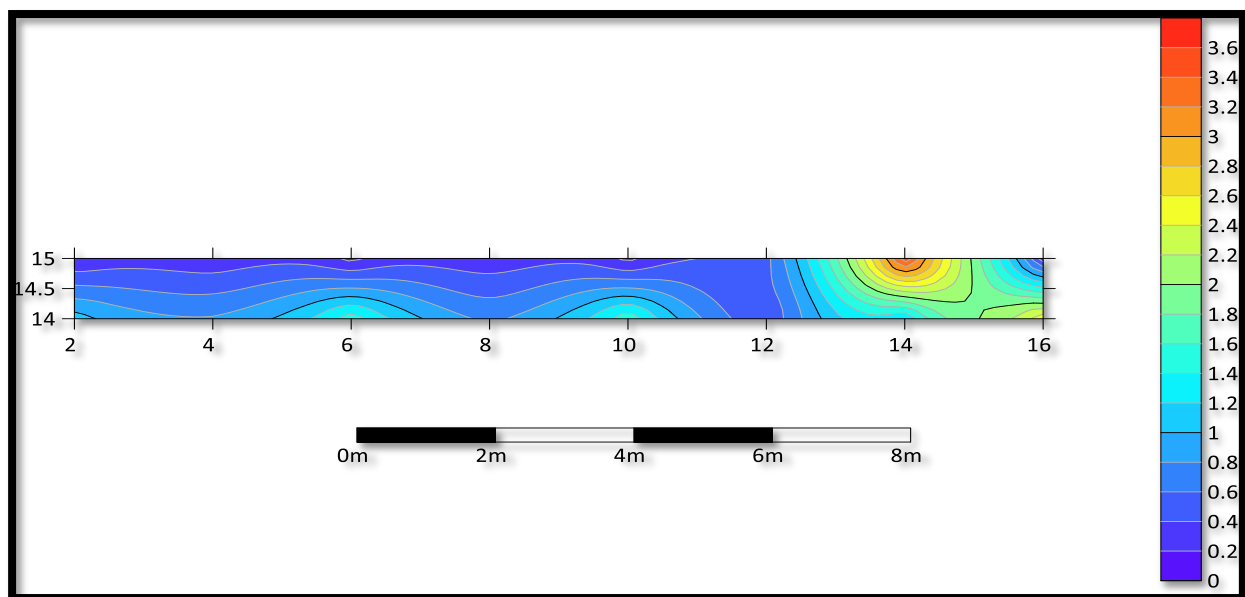
FigureV.23 Réprésente la distribution de SiO_2

✚ La figureV.24 montre la distribution des valeurs d' Al_2O

On se basant sur la distribution du Al_2O au frond d'abattage on voit cette valeur homogène avec une concentration élevée à 14 m à droite du frond

Les valeurs d' Al_2O sont les suivantes :

- La valeur maximale de Al_2O = 3.6 %
- La valeur moyenne de Al_2O = 1.8 %
- La valeur minimum de Al_2O = 0%



FigureV.24 Représentation de la distribution d' Al_2O

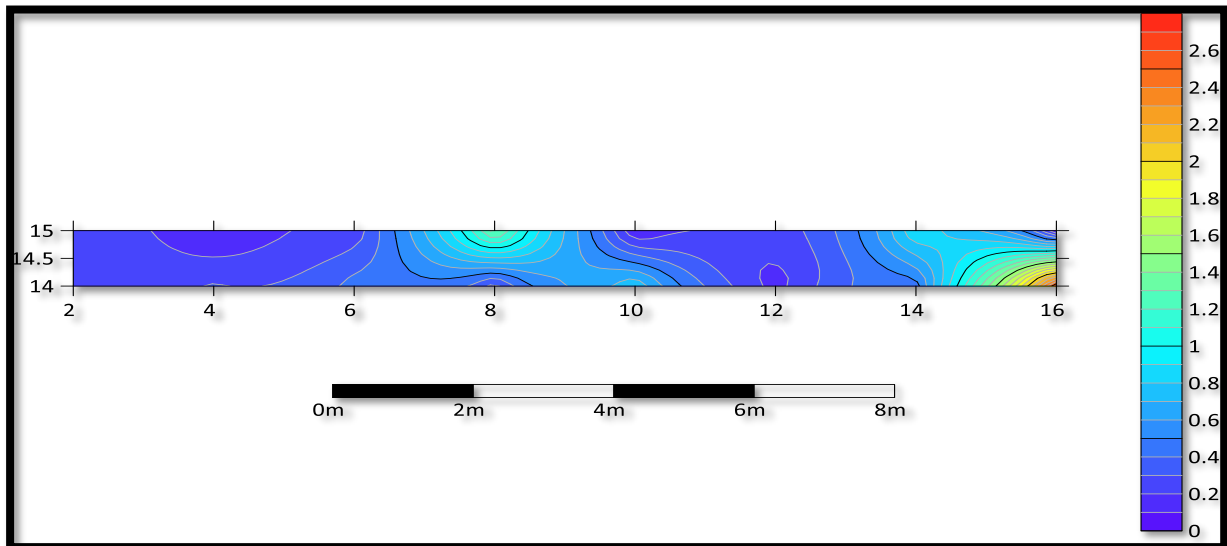
CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

La figureV.25 montre la distribution des valeurs de **Fe₂O**

On observe une homogénéité de la distribution de Fe₂O sur le front d'abattage

Les valeurs de Fe₂O sont les suivantes :

- La valeur maximale de **Fe₂O** = **2.6 %**
- La valeur moyenne de **Fe₂O** = **1.4%**
- La valeur minimum de **Fe₂O** = **0%**



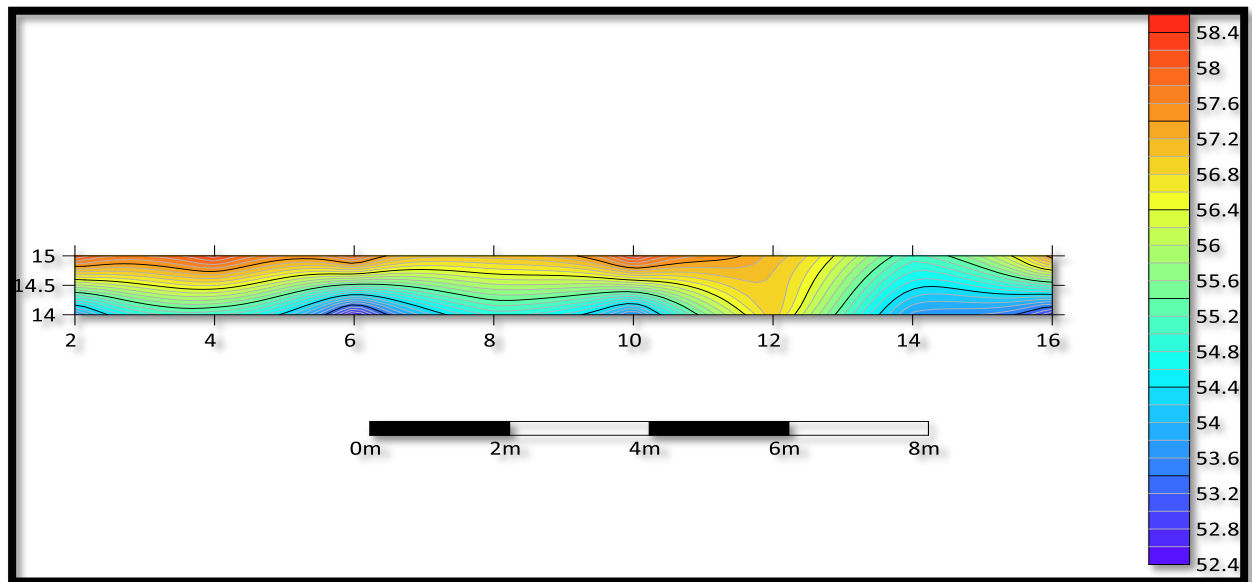
FigureV.25 Représentation de la distribution de **Fe₂O**

La figureV.26 montre la distribution des valeurs de **CaO**

On observe une hétérogénéité de la distribution de CaO sur le front d'abattage

Les valeurs de **CaO** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **CaO** = **58.4 %**
- La valeur moyenne de **CaO** = **55.6 %**
- La valeur minimum de **CaO** = **52.4 %**



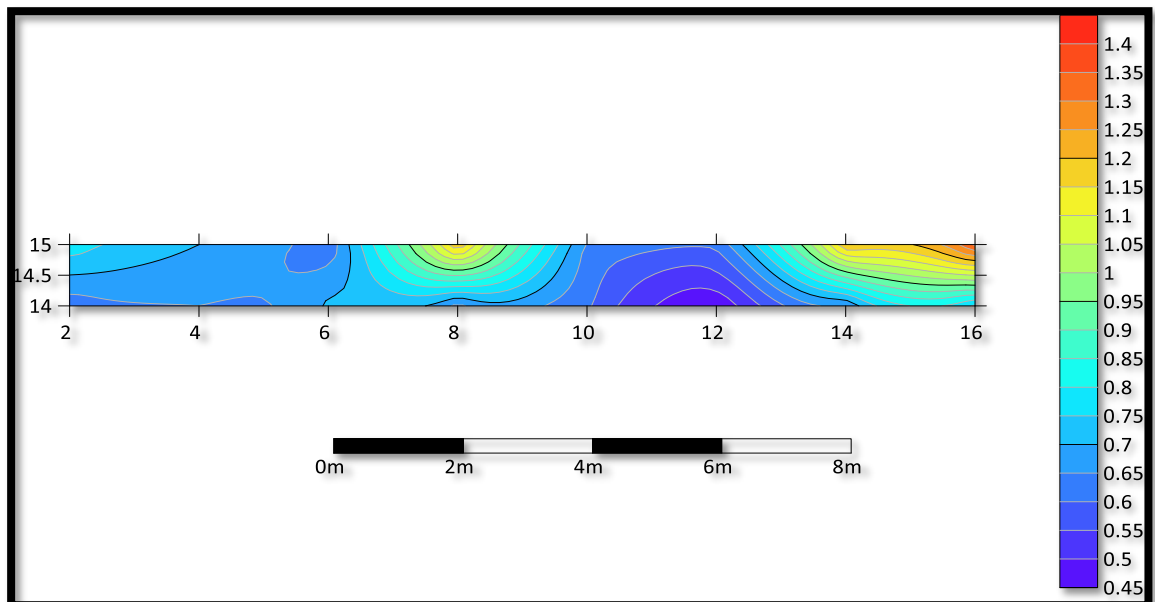
FigureV.26 Réprésentation de la distribution de **CaO**

✚ La figureV.27 montre la distribution des valeurs de **MgO**

On se basant sur la distribution du MgO au frond d'abattage on voit que cette valeur est homogène avec une concentration élevée à 8 m et 16 m à droite du frond

Les valeurs de **MgO** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **MgO** = **1.4 %**
- La valeur moyenne de **MgO** = **0.7 %**
- La valeur minimum de **MgO** = **0.45**



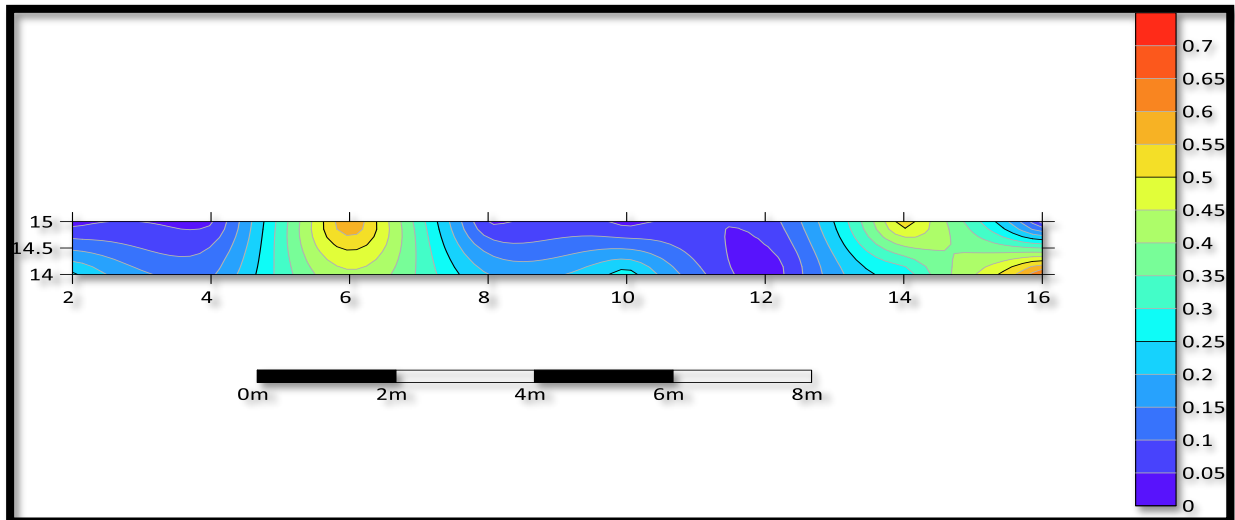
FigureV.27 Réprésente la distribution de **MgO**

✚ La figureV.28 montre la distribution des valeurs de **K2O**

On se basant sur la distribution du K2O au frond d'abattage on voit que cette valeur est homogène avec une concentration élevée à 6m à droite au frond.

Les valeurs de **K2O** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **K2O** = **0.7 %**
- La valeur moyenne de **K2O** = **0.35 %**
- La valeur minimum de **K2O** = **0%**



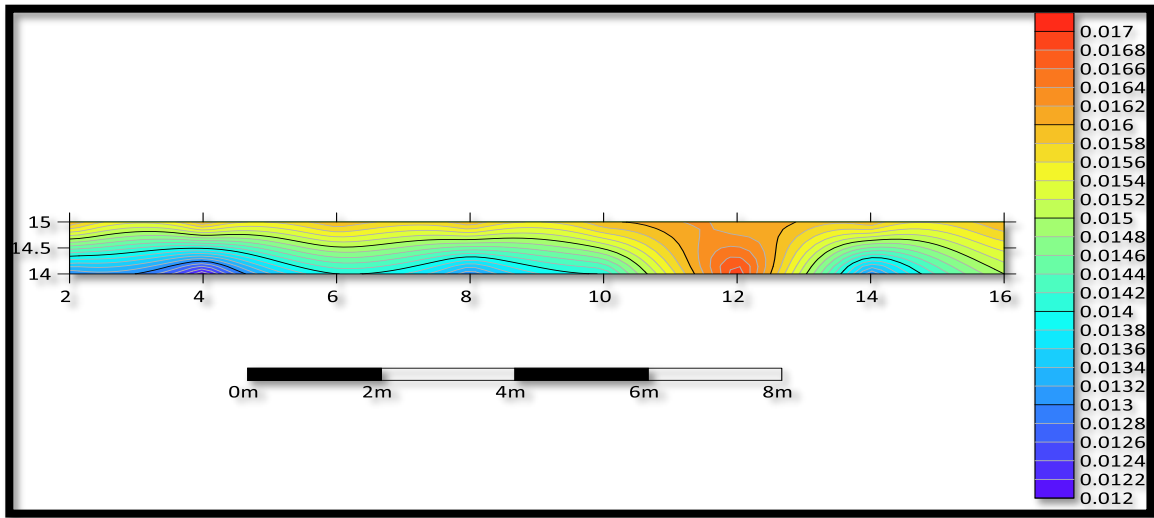
FigureV.28 Représentation de la distribution de **K2O**

✚ La figureV.29 montre la distribution des valeurs de **CL**

On observe une hétérogénéité de la distribution de **CL** sur le frond d'abattage

Les valeurs de **CL** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **CL** = **0.017 %**
- La valeur moyenne de **CL** = **0.015%**
- La valeur minimum de **CL** = **0.012%**



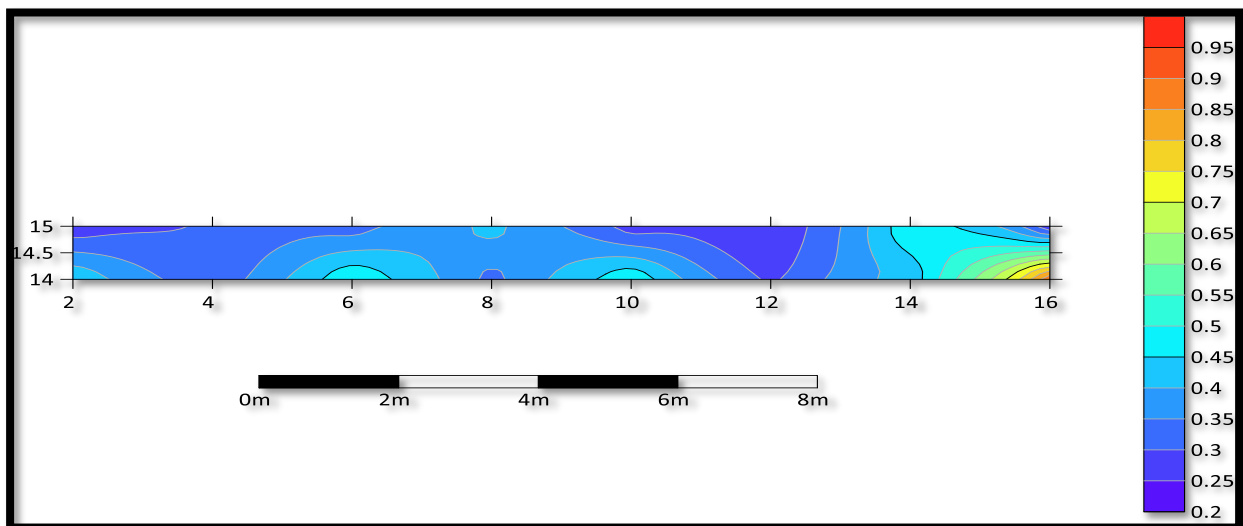
FigureV.29 Réprésentation de la distribution de CL

✚ La figureV.30 montre la distribution des valeurs de VBS

On observe une homogénéité de la distribution du VBS sur le front d'abattage.

Les valeurs de VBS sont les suivantes :

- La valeur maximale de VBS = 0.9 %
- La valeur moyenne de VBS = 0.55 %
- La valeur minimum de VBS = 0.2%



FigureV.30 Réprésentation de la distribution de VBS

➤ Les propriétés mécaniques

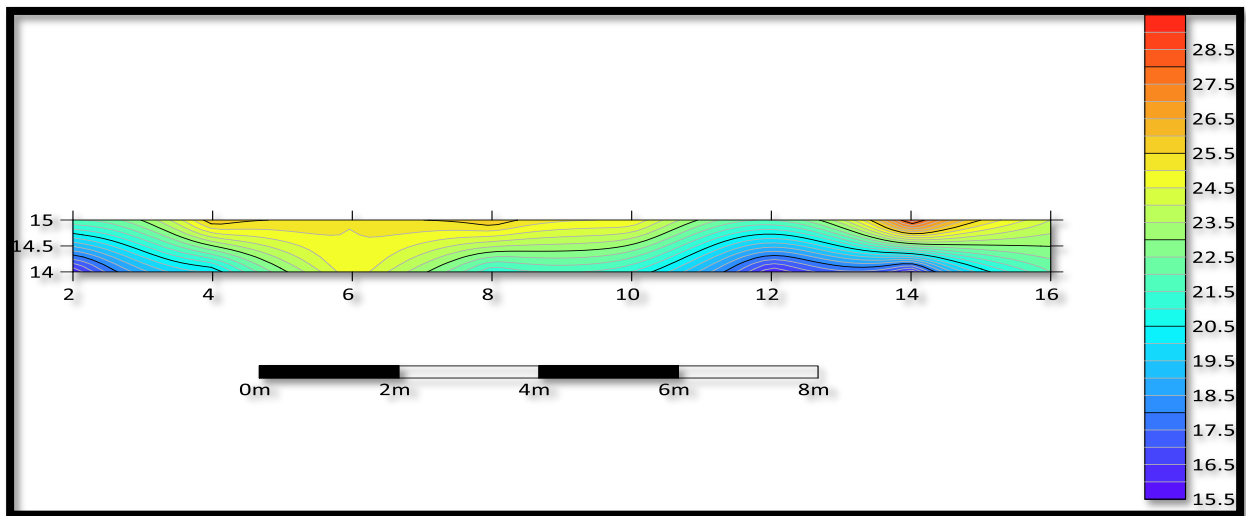
✚ La figureV.31 montre la distribution des valeurs d'essai de micro deval MDE

On observe une hétérogénéité de la distribution de la MDE sur le front d'abattage.

Les valeurs de MDE sont les suivantes :

CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

- La valeur maximale de **MDE = 28.5 %**
- La valeur moyenne de **MDE = 22.5 %**
- La valeur minimum de **MDE = 15.5%**

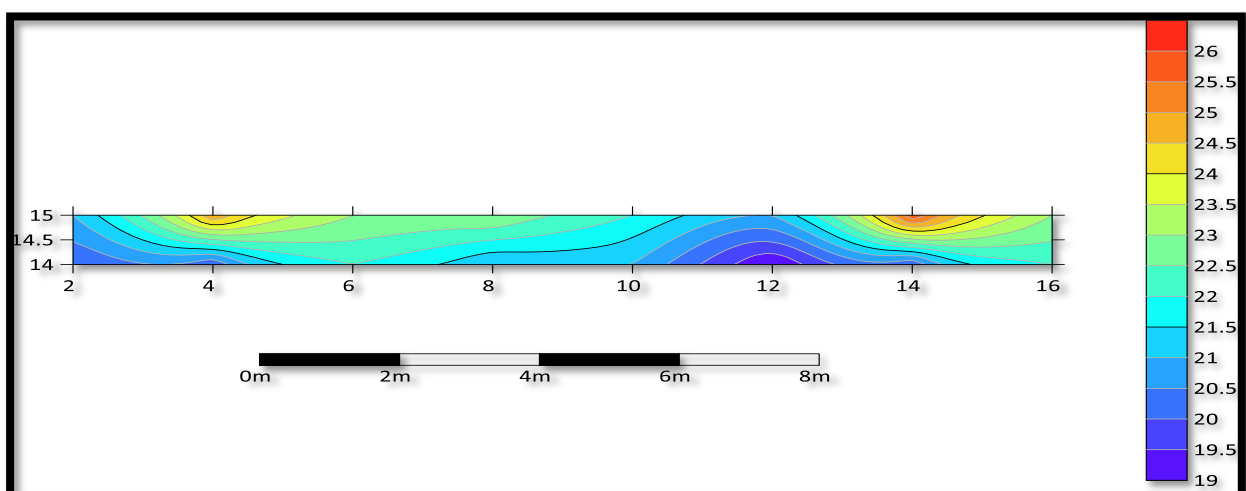


FigureV.31 Réprésentation de la distribution de MDE

✚ La figureV.32 montre la distribution des valeurs d'essai de los Angeles **LA**. On se basant sur la distribution du LA au frond d'abattage on voit cette valeur est homogène avec une concentration élevée à 4m et 14 m à droite au frond.

Les valeurs de **LA** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **LA = 26%**
- La valeur moyenne de **LA=22.5 %**
- La valeur minimum de **LA=19%**



FigureV.32 Réprésentation de la distribution de LA%

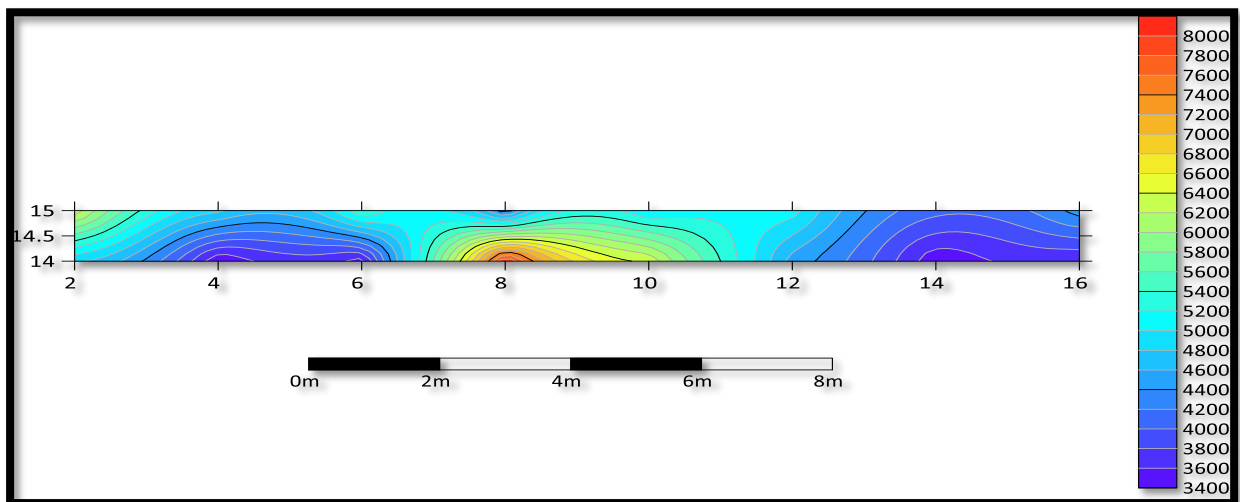
✚ La figureV.33 montre la distribution des valeurs de l'Essai ultrasons **V (m / s)**

CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

On se basant sur la distribution du ultrason V au frond d'abattage on voir cette valeur est homogène avec une consontration élevé à 8m à droite au frond.

Les valeurs de V sont les suivantes :

- La valeur maximale de $V= 8000(\text{m} / \text{s})$
- La valeur moyenne de $V=5800 (\text{m} / \text{s})$
- La valeur minimum de $V=3400 (\text{m} / \text{s})$



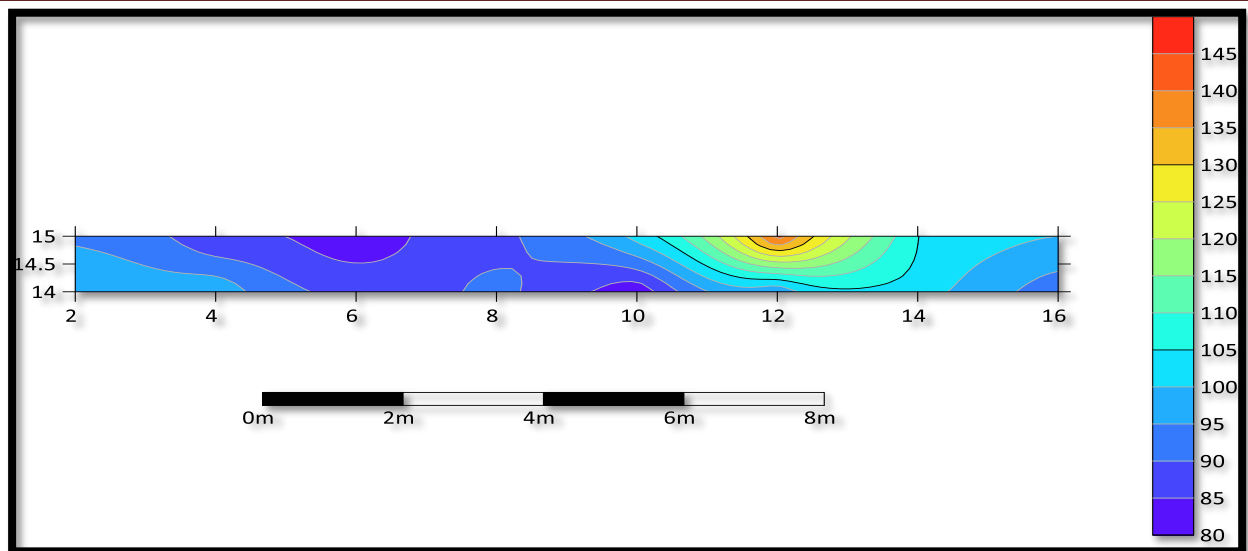
FigureV.33 Réprésentation de la distribution de l'Essai ultrasons V (m / s)

✚ La figureV.34 montre la distribution des valeurs d'essai de **résistance à la compression par scléromètre R_c (MPa)**

On se basant sur la distribution du R_c au frond d'abattage on voir cette valeur est homogène avec une consontration élevé à 12 m à droite au frond.

Les valeurs de R_c sont les suivantes :

- La valeur maximale de $R_c = 145(\text{MPa})$
- La valeur moyenne de $R_c =115 (\text{MPa})$
- La valeur minimum de $R_c =80 (\text{MPa})$



FigureV.34 Réprésentation de la distribution de l'essai résistance à la compression par scléromètre R_c (MPa)

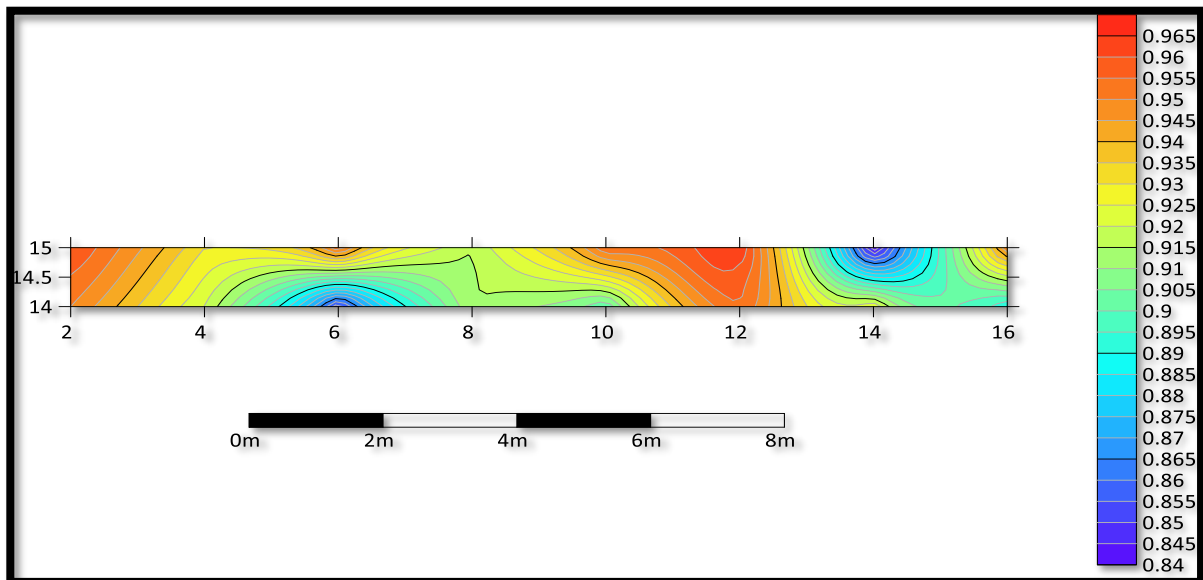
V.15 Analyses graphique à partir de la classification géomécanique d'un massif rocheux « carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa »

✚ La figureV.35 montre la distribution des valeurs du **Système du RQD (Rock Quality Designation)**

A partir de 2m à 4 m le RQD élevé et de bonne qualité et à partir de 4 m à 8 m la partie inférieure présente la valeur de RQD a légèrement diminuer de 2 à 14 m et augmenter à 14 m jusqu'à 16 m la valeur de RQD a encore été (88% -96%).

Les valeurs de **RQD** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **RQD= 96%**
- La valeur moyenne de **RQD= 90 %**
- La valeur minimum de **RQD= 84 %**

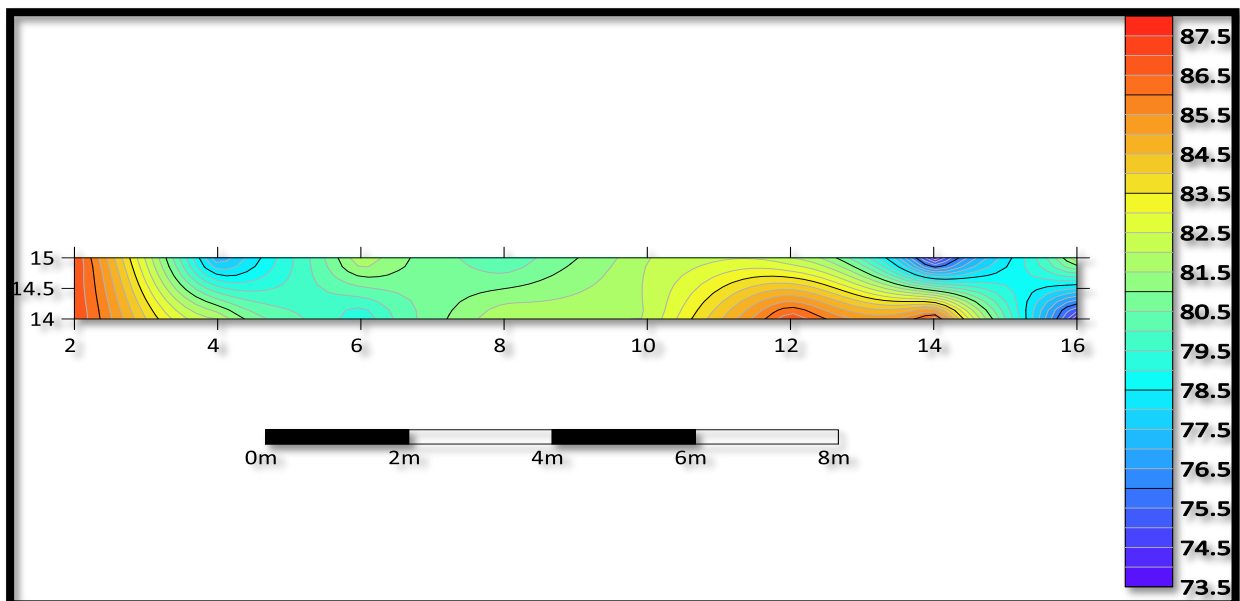


FigureV.35 Représentation de la distribution de Système du RQD (Rock Quality Designation)

La figureV.36 montre la distribution des valeurs du Système RMR (Rock Mass Rating). A partir de 2m à 4 m le RMR élevé et de bonne qualité et à partir de 4 m à 10 m la partie inférieure présente la valeur de RMR a légèrement diminuer de 2 à 16 m et augmenter à 12m.

Les valeurs de **RMR** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **RMR = 87.5**
- La valeur moyenne de **RMR = 80.5**
- La valeur minimum de **RMR = 73.5**



FigureV.36 Représentation de la distribution de Système RMR (Rock Mass Rating)

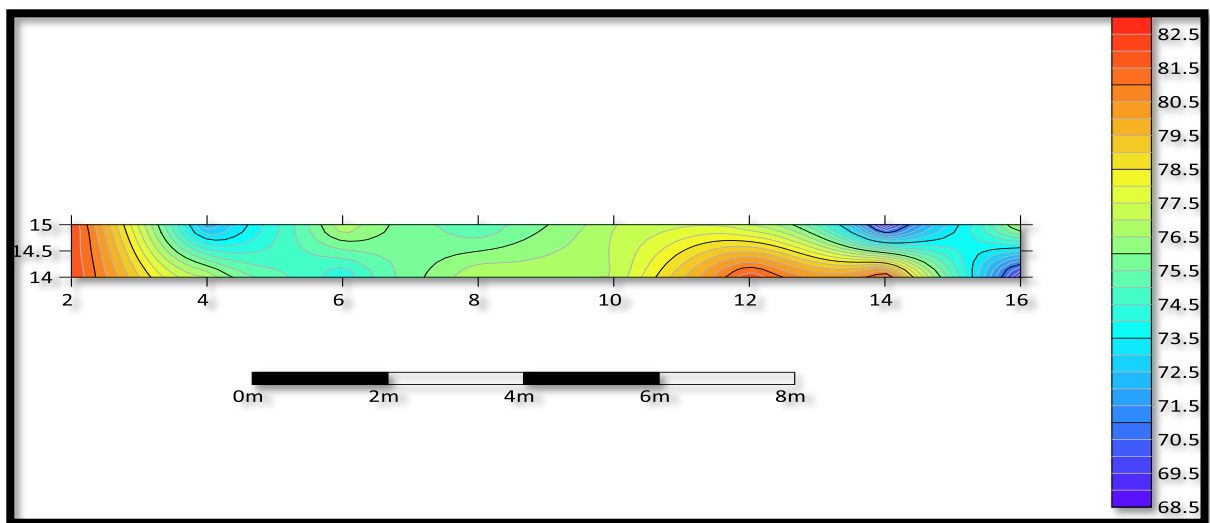
CHAPITRE V: Modélisation SIG, Surfer

✚ La figureV.37montre la distribution des valeurs du **Système du GSI (Geological Strength Index)**

A partir de 2m à 4 m le GSI élevé et de bonne qualité et à partir de 4 m à 10 m la partie inferieur présente la valeur de GSI a légèrement diminuer de 2 à 16 m et augmenter à 12m.

Les valeurs de **GSI** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **GSI = 82.5**
- La valeur moyenne de **GSI = 75.5**
- La valeur minimum de **GSI = 68.5**



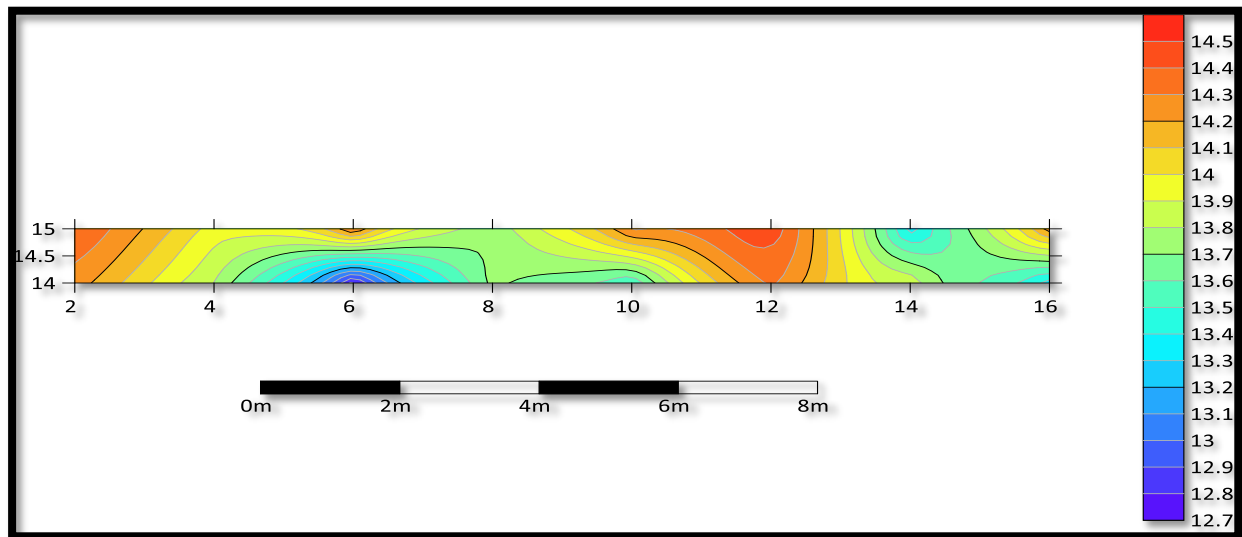
FigureV.37 Représentation de la distribution de **Système du GSI (Geological Strength Index)**

✚ La figureV.38 montre la distribution des valeurs du **Q Système (Rock Massif Quality)**

A partir de 2m à 4 m le Qsys élevé et de bonne qualité et à partir de 4 m à 10 m la partie inferieur présente la valeur de Qsys a légèrement diminuer de 2 à 16 m et augmenter à 12m.

Les valeurs de **Q Système** sont les suivantes :

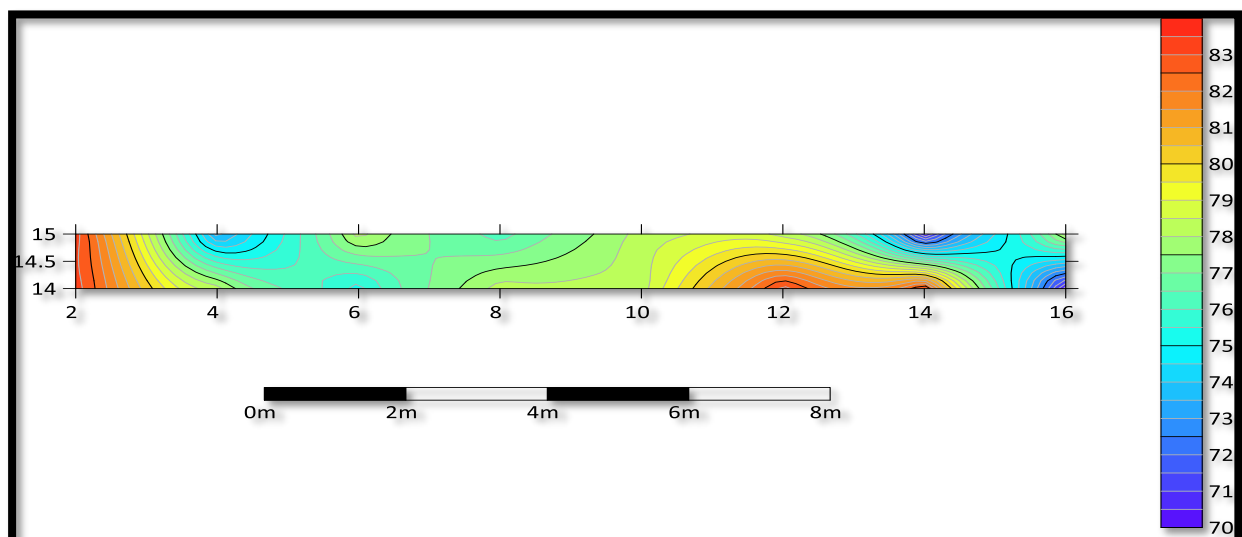
- La valeur maximale de **Q Système = 14.5**
- La valeur moyenne de **Q Système = 13.6**
- La valeur minimum de **Q Système = 12.7**



FigureV.38 Représentation de la distribution de Q Système (Rock Massif Quality)

✚ La figureV.39 montre la distribution des valeurs du Systèmes du SMR (Slope Mass Rating)
A partir de 2m à 4 m le SMR élevé et de bonne qualité et à partir de 4 m à 10 m la partie inférieure présente la valeur de SMR a légèrement diminuer de 2 à 16 m et augmenter à 12m.
Les valeurs de **SMR** sont les suivantes :

- La valeur maximale de **SMR = 83**
- La valeur moyenne de **SMR = 76**
- La valeur minimum de **SMR = 70**



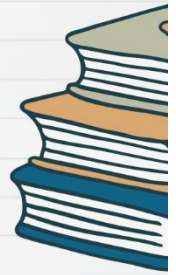
FigureV.39 Représentation de la Systèmes du SMR (Slope Mass Rating)

V.16 Conclusion

- ✚ En conclusion, l'utilisation d'**ArcGIS** (SIG) pour créer des cartes des pentes à partir des levés topographiques, des cartes topographiques et des cartes géologiques a permis de localiser avec précision la zone d'étude de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa et de fournir des informations cruciales pour la compréhension et la gestion du territoire. Cette approche peut être appliquée à d'autres régions pour mieux appréhender leur géographie, leur géologie et leurs caractéristiques environnementales.

- ✚ En utilisant le programme de **Surfer** et des données pour étudier les dangers géotechniques, nous avons la possibilité de concevoir différentes cartes, telles que :
 - ✓ La carte de contour,
 - ✓ La carte en 3D et
 - ✓ La carte numérisée.
 - ✓ Les positions de la zone et les valeurs des nœuds de la grille ont été affichées sur la carte de valeur de la grille.
 - ✓ L'Orientation des flux d'eau à l'aide d'une carte de grille vectorielle.
 - ✓ La carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa est simulée dans la surface de vue 3D.
 - ✓ L'analyse et la distribution des valeurs des données géotechniques et la classification géomécanique de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa.

Conclusion générale



La présente étude a porté sur la caractérisation géotechnique, la classification géomécanique, et la modélisation d'un massif rocheux dans la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa, exploitée par l'entreprise SARL Sotrama à Tébessa. L'objectif principal était de fournir une analyse approfondie de la géologie, de la géomécanique et des propriétés géotechniques du massif rocheux, ainsi que de développer des modèles géotechniques utilisant les programmes ArcGIS et Surfer tandis que, une analyse graphique réalisée par la projection stéréoscopique est présentée.

Au cours de cette étude, une collecte exhaustive des données géologiques et géotechniques a été réalisée sur le site de la carrière. Les propriétés géomécaniques des roches ont été évaluées à l'aide de tests de laboratoire, tels que l'indice de qualité des roches, la résistance à la compression uniaxiale... etc. Des essais in situ ont également été effectués pour mesurer les paramètres géotechniques. En utilisant les données collectées, une classification géomécanique détaillée du massif rocheux a été réalisée. Différents systèmes de classification ont été utilisés, tels que :

- ❖ Le système de classification **RQD** (rock quality designation).
- ❖ Le système de classification géomécanique de **RMR** (Rock Mass Rating).
- ❖ Le système de classification géotechnique de **GSI** (Geological Strength Index).
- ❖ Le système de classification **Q sys** (Rock Massif Quality).
- ❖ Le système de classification **SMR** (Slope Mass Rating).

Ces classifications ont permis de déterminer les caractéristiques et les zones de stabilité du massif rocheux, ce qui est essentiel pour la planification et l'exploitation d'une carrière.

Par la suite, des modèles géotechniques ont été développés en utilisant les programmes ArcGIS et Surfer. *L'ArcGIS* a été utilisé pour créer des cartes, et permettant une visualisation claire des zones d'étude et *Surfer*, quant à lui, a été utilisé pour générer des modèles en tridimensionnelle du massif rocheux, en intégrant les données géologiques et géotechniques. La projection stéréoscopique nous donne une idée sur l'état de fracturation du terrain. Ces modèles ont permis d'obtenir une meilleure compréhension de la structure et des propriétés du massif rocheux, aidant ainsi à la prise de décisions lors de l'exploitation de la carrière.

En conclusion, cette étude a fourni une classification géomécanique détaillée, une caractérisation géotechnique approfondie et des modèles géotechniques du massif rocheux de la carrière de Kef Dhbaa Morsott-Tebessa. Les résultats obtenus sont d'une grande importance pour l'entreprise SARL Sotrama, car ils permettent d'optimiser la planification de l'exploitation, de minimiser les risques géotechniques et d'assurer la sécurité des opérations. De plus, l'utilisation des programmes ArcGIS et Surfer a démontré leur efficacité dans l'analyse et la modélisation des données géotechniques et géomécaniques.

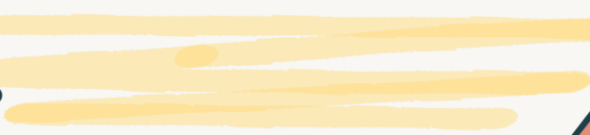
En fin, d'après les résultats qu'on a us on peut conclure que le massif rocheux de la carrière de Kef

Dhbaa Morsott-TEBESSA :

- ✓ Sont de qualités bonnes a très bonnes et d'une situation stable a entièrement stable d'après les résultats du cinq classification geomecanique RQD, RMR, Q, GSI et SMR.
- ✓ Apparu une seule famille de discontinuités, selon les résultats obtenus, par l'analyse graphique réalisée par la méthode de projection stéréoscopique, qui est dû au résultat du mouvement tectonique des plaques continentales.
- ✓ Les granulats issus du massif rocheux doivent être principalement utilisés dans les secteurs des travaux routiers, du transport de marchandises et du carburant suivant la caractérisation géotechnique obtenu



Référence bibliographique



- [1] Mémoire de Master (Caractérisation et classification du massif rocheux du Djebel de Boukhadra -Tébessa Melle SADEK Kahina. Melle CHAOUCH Ibtissem.2016 univ de Bejaia)
- [2] (Fleurisson J.A. (2001) — Structures géologiques et stabilité des pentes dans les massifs rocheux : description, analyse et modélisation, In : Revue Française de Géotechnique n°95-96
- [3] BENGHAZI Zied, 2018Cours Technologie des Géo-matériaux.
- [4] Maciej A, [2012], « Modification des classifications mécaniques pour les massifs rocheux schisteux », Thèse de maîtrise des sciences appliquées de l'université de Montréal,
- [5] Comité Français de Mécanique des Roches. "Manuel de mécanique des roches". Tome 2:Les applications. Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris. 2000.
- [6] Abdelouahed T., [1992], « Modélisation des massifs rocheux fissurés par la méthode des éléments distincts », Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des ponts et chaussées en géologie de l'ingénieur
- [7] Priest, S. D. 1993. Discontinuity Analysis for Rock Engineering Chapman and Hall. New York.
- [8] Schroeder Ch. 2010. Etude de stabilité des parois rocheuses, Revue de société Belge de géologie de l'ingénieur et de mécanique des roches (SBGIMR).
- [9] Zhao J. 2008. Propriétés des discontinuités, part 3, cours de mécanique des roches, l'école polytechnique fédérale de Lausanne.
- [10] GUITTARD, J. 2005.et VIRELY, D. Rapport synthèse sur le site du tunnel de St Béat
- [11] Choi S, O. Chung S, K.2004.Stability analysis of jointed rock slopes with the Barton-Bandis constitutive model in UDEC. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr, vol. 41, No (3), CD-ROM, Elsevier Ltd
- [12] Hoek E ET Bray J.W., (1981), « Rock Slope Engineering », Revised 3rd Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London,
- [13] Abdelouahed T., [1992], "Modélisation des massifs rocheux fissurés par la méthode des éléments distincts", Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées en géologie de l'ingénieur.
- [14] Bieniawski, Z. T. "Classification of Rock Mass for engineering: the RMR system and future trends". Comprehensive Rock Engineering. J. A. Hudson. 3; Rock Testing and Site Characterization. 1993

- [15] Hudson J.A., [1993], « Comprehensive rock engineering-principales, practice and projects », rock Testing and Site Characterization, Oxford, vol 3.
- [16] Mémoire de master (cartographie par sig des géomatériaux destinés au génie civil) par AMRANI SALAHDDINE 2016
- [17] CTTT : les caractérisations d'un enrobage à base de sable de dune par les essais des 4 niveaux de formulation.
- [18] www.mgpelearning.blogspot.com
- [19] ADEME, Guide des déchets de chantiers de bâtiment, Paris(1998).
- [20] RILEM, Demolition and reuse of concrete, Report of technical committee, 37-DRC, T.C Hansen, E&FN SPON. (1988).
- [21] A .Boumadiane [ingénieure expert routier] « les bétons bitumineux, formulation, exécution ; contrôle de qualité»
- [22] Boucif R. et Tamourt M., [2015], « Etude de stabilité du flanc Nord de la mine de kef Essnoun-Tébessa», Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du Diplôme de master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia
- [23] Chalhoub M., [2006], «Apport des méthodes d'homogénéisation numérique à la classification des massifs rocheux fracturés », Thèse de doctorat 2006, Ecole Nationale des mines de Paris,
- [24] Palmstrom A., [1995], "A rock mass characterisation system for rock engineering purposes", Thèse de post de doctorat de l'université Oslo Norvège.
- [25] Barton, N., R. Lien, et al., (1974), « Engineering classification of rock masses for the design of rock support ». Rock Mechanics 6.
- [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,
- [27] Hoek E. ET Brown E.T., [1995], "Practical estimates of rock mass strength". Int Rock Mech Min Sci,
- [28] Singh, B. R. K, Goel. "Rock mass classification: a practical approach in Civil Engineering". Oxford, Elsevier Science Ltd.

[29] **Mueiel Ruault et Djerrab. (2008)** : Bio-stratigraphie et paléo-environnement du crétaé moyen des Hameimats à partir de l'étude de la faune et de la microfaune-coupe du Djebel Chemla (Morsott, NE Algérie). Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene.

[30] **Aouissi Riadh. (2008)** : Signification structurales des anomalies gravimétriques de l'atlas saharien septentrional oriental Nord-est Algérien (essai de modélisation). Université Badji Mokhtar-Annaba.

[31] **Bassi Lakhdar et Kamache Rabie. (1997)** : Etablissement de la carte de transmissivité au niveau de la plaine de Tébessa-Morsott. Université des sciences et de la technologie-Tébessa.

[32] **Kachi Slimane. (2007)** : Vulnérabilité de la nappe alluviale de Tébessa-Morsott face aux polluants. Université Badji Mokhtar-Annaba.

[33] **Ghrieb Lassaad. (2007)** : Impact des formations triasiques sur les eaux d'une plaine en zone semi-aride : cas de la plaine Bekkaria-Tébessa (extrême est Algérien). Université Badji Mokhtar-Annaba

[34] **Muriel Ruault et Djerrab. (2012)** : Bio-stratigraphie et paléo-environnements du crétaé supérieur du SE constantinois (monts des Hameimats, Tébessa et Mellègue), a partir de l'étude de la faune et de la microfaune. Doc. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene

[35] **Naceur Sebti, Bendridi Redha. (2001)** : Identification et distribution spatiale des porosités de la nappe alluviale de Tébessa-Morsott.

[36] **Dubourdiou, G. (1956)** : Etude géologique de la région de l'Ouenza (confins Algero-Tunisiens). Thèse des sciences, Paris. Publ. Serv. Carte Geol. Algérie, Bull, n°10,

[37] **David, L. (1956)** : Etude géologique des monts de la haute Medjrda. Thèse sci. Paris. Publ. Serv. Carte Géol. Algérie, NS. Bull, n°11

[38] **Kowalski W.M. (1997)** : Les stades d'effondrement du graben de Tébessa (confins Algéro-Tunisien) et la tectonique plicative plio-quaternaire. Bull. Soc. Hist. Nat. Pays de monbeliard, France.

[39] **Bouzenoune A. (1993)** : Minéralisations peridiapiriques de l'aptien calcaire : les carbonates de fer du gisement hématitique de l'Ouenza (Algérie orientale). Doc, Université Pierre et Marie Curie, Paris

[40] **Kowalski W.M et Hamimed M. (2000)** : Diapirisme polyphasé ou glacier de sel alpin dilemme du matériel triasique des confins Algéro-tunisiens. Bull. Serv. Géologie de l'Algérie.

[41] **Abdeslam Ilham** : La ressource hydrique et ses conséquences sur l'alimentation en eau pontale dans la région Nord du bassin d'effondrement Tébessa-Morsott NE Algérien.

[42] **Dubourdiou, G. et Durozoy (1950)** : Observation tectonique dans les environs de Tébessa et de l'Ouenza (Algérie) Bull. Serv. Géol. France 5eme serie, 1, XX

[43] Module de Systèmes d'informations Géographiques(SIG), Département Génie Civil, Cours préparé par Mme ADJROUD. S

[44] Thierno A.W. (2008). Initiation à Map Info Professional, étapes cartographique et élémentaire avec Map Info Professional. Ed. ENPC-LVMT, Marne.

[45] ESRI. (2004). Utilisation d'Arc Map, Arc GIS 9, ESRI 380 New York Street Realands. ESRI France

[46] Galatia S.R. (2006).Géographique information système demystified. Ed. Artech house, Boston.

[47] Ougrine M. (2003). Contribution des images ETM+ de Landsat 7 à la mise à jour cartographique à 1/200 000, cas de la feuille de M'silla (Hauts Plateaux Algérie). Centre régional Africain des sciences et technologies de l'espace en langue française

[48] Mémoire de master (Cartographie SIG des feuilles au 1/200 000 de Hassi Chamba, Tabelbala et Ben Zohra ; région SW de l'Algérie : Géologie et minéralisations associées) par RODRIGUEZ Mario Afonso univ de Tizi Ouzou 2020

[49] Ramos F. (2003). Modélisation et validation d'un système d'information géographique 3D opérationnel. Thèse, Doct. Univ. Marne –La Vallée, France

[50] Serrutum S. & Grossely C.P. (1997). Use of digital terrain modeling for farm planning for mechanical harves of sugar cane in Mauritius. Computers and electronics in agriculture

[51] http://www.numdam.org/item/JMPA_1854_1_19__132_0.pdf

