

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et géologie

# *Memoire de Fin d'Etudes*

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mines

Option : Exploitation des Mines

Présenté par : SAADI Samir

Thème

**Classification des massifs rocheux et étude de stabilité de la carrière de calcaire de djebel medjones d'Ain El Kebira (Sétif)**

Soutenu le 01/10 /2020 devant le jury composé de:

**Président :** Mr. DJEZAIRI Omar                      Grade : MAA                      U.A.M.B.

**Encadreur :** Mr. SAADOUN Abderrazak                      Grade : MAA                      U.A.M.B.

**Examineur :** Mr.GUELMAMI Ali                      Grade : MAA                      U.A.M.B.

Année Universitaire: 2019/2020

# **REMERCIEMENT**

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Créateur de l'univers qui nous a donné la force et nous a maintenus en santé pour accomplir et réaliser ce modeste travail.

J'offre premièrement de sincères et chaleureux remerciements à notre promoteur **Mr SAADOUNE ABDERRAZAK** pour nous avoir encadrés durant cette période critique d'épidémie, pour son aide, son attention exceptionnels, ainsi que le soutien moral qu'il nous a accordés.

Nous remercions les membres de jury qui nous ont fait l'honneur de participer au jugement de ce travail.

Finalement, ce travail n'aurait pas vu le jour sans la présence, l'écoute, la confiance de nombreuses personnes.

# DÉDICACES

*Louange au bon dieu, le possesseur de toute la grâce*

*Je tiens à dédier ce travail*

*A mes très chers parents qui m'ont soutenu et encouragé  
durant ces années d'études ;*

*A ma très chère fiancée Dounia pour son amour et son  
soutien moral ;*

*A mes chers frères et mon neveu Mohammed ;*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à  
l'élaboration de ce travail.*

## Résumé

Le présent travail s'articule autour d'une analyse de talus l'une au cours de l'exploitation et l'autre prévisionnelle au niveau de la nouvelle carrière Ain El Kebira dans la région de Sétif.

Pour effectuer ce travail, on avait besoin de collecter les données géologiques afin de déterminer les différents facteurs qui peuvent détruire la stabilité de talus, pour qu'on puisse recommander des solutions adéquates afin de limiter ces problèmes.

Pour cela, toutes les données disponibles concernant les différentes discontinuités existantes dans le massif rocheux, leurs pendage, direction et caractéristiques mécaniques et l'existence des eaux dans ces discontinuités afin de calculer le coefficient de sécurité de ces talus par logiciel slide, et la classification des paramètres empirique.

Pour assurer la production en toute sécurité, dans l'exploitation minière les travaux d'exploitations et l'étude de stabilité est un facteur essentielles.

## Abstract

The present work revolves around a slope analysis, one during operation and the other forecast at the new Ain El Kebira quarry in the Sétif region.

To do this work, we needed to collect geological data to determine the various factors that can destroy slope stability, so that we can recommend adequate solutions to limit these problems.

For this, all the available data concerning the different existing discontinuities in the rock mass, their dip, direction and mechanical characteristics and the existence of water in these discontinuities in order to calculate the safety coefficient of these slopes by slide software, and the classification empirical parameters.

In mining, mining works and the stability study are two common factors essential to ensure safe production.

## ملخص

يدور العمل الحالي حول دراسة استقرار المنحدرات في مقلع عين الكبيرة الجديد في منطقة سطيف.

للقيام بهذا العمل، احتجنا إلى جمع البيانات الجيولوجية لتحديد العوامل المختلفة التي يمكن أن تدمر استقرار المنحدر، حتى نتمكن من تصنيف المنحدر للحد من هذه مشاكل الاستقرار.

لهذا الغرض، قمنا بجمع البيانات المتاحة بشأن الانقطاعات المختلفة الموجودة في كتلة الصخور وانحدارها واتجاهها وخصائصها الميكانيكية من أجل حساب معامل الأمان لهذه المنحدرات بواسطة برنامج الشرائح، والتصنيف التجريبي. المعلومات.

في التعدين، تعتبر أعمال التعدين ودراسة الاستقرار عاملين مشتركين لضمان الإنتاج الآمن.

## Table des matières

Introduction Générale.....	06
CHAPITRE I : description structurale d'un massif rocheux et mouvement des terrains.....	07
I-1-Introduction : .....	07
I-2-Classification géologique des roches : .....	07
I-2-1-Roches magmatiques :.....	07
I-2-2- Roches sédimentaires : .....	07
I-2-3-Roches métamorphiques: .....	07
I-3-Structure géométrique des massifs rocheux : .....	07
I-3-1-Aspect géologique :.....	08
I-3.2 Paramètres géométriques des discontinuités :.....	09
a)Orientation : .....	09
b) Extension :.....	10
c)Espacement : .....	10
d) Densité : .....	10
e)Ouverture : .....	11
I-4-Description des massifs rocheux : .....	11
I-4-1-Les essais de laboratoire : .....	11
I-4-2-La fracturation en sondage carotté : .....	12
I-5-Influence des discontinuités dans le comportement d'un massif rocheux : .....	12
I-6- Les familles des discontinuités.....	12
I-6-1- Les joints stratigraphiques.....	12
I-6-2- Les diaclases.....	12
I-6-3- Les fentes ou fractures d'extensions.....	12
I-6-4- Les failles.....	12
I-6-5-les plis : .....	13
I-6-6-La schistosité :.....	13
I-7-L'instabilité des talus et mouvement des terrains : .....	14
I-8-Type des mouvements : .....	14
I-8-1-les glissements.....	14
I-8-2-les types des glissements.....	15
I-8-2-2-les glissements rationnelles.....	15
I-8-2-3-glissement plans.....	15

I-8-2-3-glisement en dièdres.....	16
I-8-2-rupture par basculements.....	16
I-8-3-les phases de glissement.....	16
I-9- Les facteurs influençant la stabilité des talus :.....	17
I-10- Conclusion :.....	17
<b>Chapitre II : méthodes d'études de stabilité des talus dans le domaine minier</b>	
II -1- introduction :.....	18
II -2Méthode empirique (RQD, RMR, SMR, GSI) :.....	18
II -2-1-Rock Quality Designation index (RQD) :.....	18
II -2-2 Rock Mass Rating (RMR) :.....	19
II -2-2 -1-Estimation des paramètres mécaniques à partir du RMR :.....	20
II -2-3-Geological Strength Index (GSI) :.....	21
II -3-Méthode analytique (Equilibre limite par SLIDE) :.....	22
II -3-1- logiciel SLIDE :.....	22
II -4-Conclusion :.....	23
<b>Chapitre III: Description des sites et conditions géologiques et minières du Gisement de calcaire d'Ain El Kebira .....</b>	
III-1-introduction :.....	24
III-2-CONDITIONS GEOLOGIQUES :.....	24
III-2-1-Situation géographique du gisement d'Ain El Kebira :.....	24
III-2-2-Stratigraphie de la région :.....	25
III-2-3- Stratigraphie et lithologie du gisement calcaire :.....	25
III-2-4-Tectonique du gisement :.....	25
III-2-5-Caractéristiques hydrogéologiques du gisement :.....	25
III-2-6-Substances extraites :.....	26
III-3-CONDITIONS MINIERES :.....	26
III-3-1-Régime de travail :.....	26
III-3-2-Paramètres du système d'exploitation :.....	26
III-3-2-1-Exploitation du gisement :.....	26
III-3-2-1-1-Abattage des roches :.....	27
III-3-2-1-2-Foration:.....	27
III-3-2-1-3-Le Tir :.....	27
III-3-2-1-4-types d'explosifs :.....	27

III-3-2-5- Le Bourrage : .....	27
III-3-2-6-Chargement et transport : .....	27
III-4- conclusion : .....	28
Chapitre IV : Classification des massifs rocheux et étude de stabilité de la carrière de Cimenterie d'Ain El Kebira .....	29
IV-1- INTRODUCTION:.....	29
IV-2-Calcul RQD : .....	29
IV-2-1-Classification RQD1pour 1 er gradin :.....	29
IV-2-2-Classification RQD1pour 2ème gradin.....	31
IV-1-3-Classification RQD1pour 3ème gradin.....	32
IV-3-Classification RMR du gradin 1,2 et3 Dans la mine de d'une carrière de calcaire, cas Cimenterie d'Ain El Kebira (Sétif) :.....	34
IV-3-1- Espacement entre discontinuités du gradin 1 ,2 et 3 :.....	34
IV-3-2- Résistance à la compression Rc (MPa) :.....	35
IV-3-3- Classification RMR1 du gradin 1 : .....	36
IV-2-4- Classification RMR2 du gradin 2 :.....	37
IV-2-5- Classification RMR3 du gradin 3 : .....	38
IV-4-Calcul cohésion :.....	40
IV-5-Calcul l'angle de frottement : .....	40
IV-6-Calcul le module de young :.....	41
IV-7-Classification GSI :.....	41
IV-8-classification de SMR :.....	42
IV-9-Etude de stabilité par la méthode d'équilibre limite par logiciel SLIDE :.....	43
IV-10Conclusion : .....	48
Conclusion générale : .....	49

## Liste des abréviations

**E** : Module de Young [ $\text{KN}/\text{m}^2$  ]

**C** : La cohésion [ $\text{KN}/\text{m}^2$ ]

**RC**: La résistance à la compression [ $\text{Kgf}/\text{m}^2$  ]

**$\Phi$**  : Angle de frottement interne.

**Jv**: La densité volumique des joints.

**Jn** : Nombre de famille de discontinuités.

**Jr** : Paramètre de rugosité des joints. **Ja** : Paramètre d'altération des joints.

**Jw** : Paramètre hydraulique.

**E** : Est.

**S** : Sud.

**O** : Ouest.

**N** : Nord.

**F** : effort (charge) maximale atteinte (juste avant la rupture).[  $\text{m}^2$ ]

**S** : la surface de la section de l'éprouvette sur laquelle on applique l'effort F.[  $\text{m}^2$ ]

## Liste des figures

<b>Figure. I.1 :</b> Structure géométrique d'un massif rocheux de calcaire.....	08
<b>Figure.I.2.</b> Différentes structures géométriques de massifs rocheux fracturés.....	09
<b>Figure. I .3.</b> Les joints stratigraphiques.....	13
<b>Figure. I .4.</b> Les diaclases.....	13
<b>Figure. I .5.</b> Les failles.....	13
<b>Figure. I .6.</b> Les plis.....	13
<b>Figure. I .7.</b> La schistosité.....	13
<b>Figure.I.8.</b> Exemple de glissement rationnel.....	15
<b>Figure.I.9.</b> glissement plan.....	15
<b>Figure.I.10.</b> Glissement d'un dièdre.....	16
<b>Figure. III.1.</b> Situation géographique du gisement calcaire d'Ain El Kebira.....	24
<b>Figure.IV.1</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 1 du gradin1.....	29
<b>Figure. IV.2</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 2 du gradin 1.....	30
<b>Figuer.IV.3.</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 3 du gradin 1.....	30
<b>Figuer.IV.4.</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 1 du gradin 2.....	31
<b>Figure. IV.5.</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 2 du gradin 2.....	31
<b>Figure. IV.6.</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 3 du gradin 2.....	32
<b>Figure.IV.7.</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 1 du gradin 3.....	32
<b>Figure. IV.8.</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 2 du gradin 3.....	33
<b>Figure. IV.9.</b> Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 3 du gradin 3.....	33

<b>Figure. IV.10.</b> Profil du site d'étude.....	44
<b>Figure. IV.11.</b> Phase d'introduction les caractéristiques physico-mécaniques du massif.....	45
<b>Figure. IV.12.</b> Choix de type de glissement.....	45
<b>Figure. IV.13.</b> phase de calcule.....	46
<b>Figure.IV.14.</b> Le coefficient de sécurité selon l'approche de GLE/morgenstren-price.....	46
<b>Figure.IV.15.</b> Le coefficient de sécurité selon l'approche de spencer.....	47
<b>Figure. IV.16.</b> Le coefficient de sécurité selon l'approche de Bishop simplifiée.....	47

---

**LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau. II .1.</b> Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux.....	19
<b>Tableau. II .2.</b> Classes et propriétés globales des massifs rocheux .....	20
<b>Tableau II .3.</b> Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI.....	21
<b>Tableau. II .5.</b> Les données et les résultats du logiciel slide.....	22
<b>Tableau. III.1.</b> caractéristiques des chargeuses utilisées dans la carrière.....	28
<b>Tableau. III.2.</b> Caractéristiques du matériel de transport utilisé dans la carrière.....	28
<b>Tableau.IV.1.</b> Classification RQDG globale Des trois gradins par la méthode de Don Deer.....	34
<b>Tableau. IV.2.</b> Espacement entre les discontinuités du gradin 1 ,2 et 3.....	34
<b>Tableau.IV.3.</b> Les résultats des essais de compression uniaxiale.....	35
<b>Tableau .IV.4.</b> Classification RMR 1 du gradin 1(couche de calcaire).....	36
<b>Tableau .IV.5.</b> Classification RMR 2 du gradin 2 (couche de calcaire).....	38
<b>Tableau. IV.6.</b> Classification RMR 3 du gradin 3 (couche de marne).....	39
<b>Tableau.IV.7.</b> Classification RMR globale .....	40
<b>Tableau .IV.8.</b> La présentation des valeurs de la cohésion.....	40
<b>Tableau.IV.9.</b> La présentation des valeurs de l'angle de frottement.....	41
<b>Tableau.IV.10.</b> La présentation des valeurs de module de young.....	41
<b>Tableau. IV.11.</b> La présentation des valeurs de classification de GSI.....	41
<b>Tableau. IV.12.</b> Classification de SMR de gradin 1.....	42
<b>Tableau. IV.13.</b> Classification de SMR de gradin 2.....	42

<b>Tableau. IV.14.</b> Classification de SMR de gradin 3.....	43
<b>Tableau .IV.15.</b> Les caractéristiques physico-mécaniques du massif.....	43
<b>Tableau. IV.16.</b> Les valeurs de Fs selon les différentes méthodes de calcul précédent.....	48

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

## **Introduction générale :**

L'exploitation minière représente une activité économique très importante au niveau mondial. L'augmentation de la population mondiale et l'importance accrue du système capitaliste, sur lequel reposent les bases de la plupart des sociétés d'aujourd'hui, et en conséquence le développement économique et technologique global, font en sorte que nos besoins en minéraux et métaux ne cessent de s'accroître.

Les talus des mines et des carrières à ciel ouvert résultant des activités d'extraction constituent des ouvrages géotechniques au sens où l'on parle d'ouvrages miniers. La conception optimale de ces ouvrages doit intégrer les concepts de sécurité, de récupération du minerai et de rentabilité, et doit reconnaître que les opérateurs miniers et les investisseurs s'attendent à ce que les pentes soient stables ou que les instabilités soient gérables pour la durée de vie de la mine.

La stabilité des talus des mines reste une des questions principales qui se pose lors de l'exploitation à ciel ouvert des gisements. Elle a une influence directe sur la sécurité du travail dans la mine, les principes technologiques d'exploitation, la profondeur totale de la mine, les problèmes de drainage, etc.

La présente étude se propose d'étudier la stabilité des talus de la nouvelle carrière de calcaire, cas Cimenterie d'Ain El Kebira (Wilaya de Sétif). Pour cela, notre travail est organisé comme suit :

- Le premier chapitre consiste à donner une description des massifs rocheux, leur structure et les familles de la discontinuité et L'instabilité des talus et les types du mouvement du terrain.
- Dans le second chapitre, nous avons essayé de présenter deux Méthodes d'études de la stabilité des talus dans le domaine minier, méthode empirique (RQD, RMR, SMR, GSI) et méthode analytique (équilibre limite par slide).
- Un troisième chapitre permet d'avoir la Description des sites et conditions géologiques et minières du gisement de calcaire d'ain kbira, Et enfin un quatrième chapitre consacré pour l'évaluation de la stabilité des niveaux qui sont en cours d'exploitation, Pour cela les propriétés physico-mécaniques des roches devront être déterminées au laboratoire, et aussi une étude prévisionnelle faite pour évaluer la stabilité des autres niveaux qui ne sont pas déjà exploités.

# **CHAPITRE I**

## **Description structurale d'un massif rocheux et mouvement des terrains**

## **I-1-Introduction :**

Dans l'étude de la description structurale d'un massif rocheux et les mouvements des terrains, la conception et la construction des ouvrages au rocher a clairement une importance majeure.

Dans ce chapitre on va présenter les notions relatives à la matrice rocheuse, les paramètres géométriques des discontinuités et le comportement des discontinuités rocheuses, et le mouvement des terrains et leur influence sur l'instabilité des talus.

## **I-2-Classification géologique des roches :**

Comité français de l'opéra rock (CFMR, MMR [2000]) définit la roche comme "une collection de minéraux qui ne se sont pas acquis des liens plus ou moins forts avec leurs membres au cours de l'histoire". Trois principaux types de roches qui sont : [1]

### **I-2-1-Roches magmatiques :**

Elle est produite à travers un refroidissement du magma (granite, basaltes, etc.). [1]

### **I-2-2- Roches sédimentaires :**

Elle est produite par la décomposition des roches d'origine magmatiques ou métamorphiques et couvrent plus de trois quarts de la surface des continents et presque la totalité des fonds des océans.

Elles sont caractérisées par leur épaisseur limitée (calcaires, grés, roches argileuses, etc.).[1]

### **I-2-3-Roches métamorphiques :**

Il est formé par le phénomène de transformation à l'état solide des roches sédimentaires ou rocheuses sous l'influence des hautes pressions et / ou des températures élevées (marbre, quartzites, schistes et micaschistes, gneiss...). [1]

## **I-3-Structure géométrique des massifs rocheux :**

Formés d'une juxtaposition de matériaux hétérogènes, les massifs rocheux sont des structures très complexes.

Ils sont assimilés à un assemblage de blocs appelés matrice rocheuse lesquels sont délimités par des discontinuités constituées de fissures, de fractures ou de failles ou encore de limites stratigraphiques.

Le comportement mécanique des massifs rocheux est un facteur déterminant dans le dimensionnement des ouvrages qui y sont exécutés.

Afin de comprendre, expliquer et modéliser ce comportement, il est nécessaire de connaître la structure géométrique ou plus précisément le modèle de distribution géométrique des fractures, ainsi que les propriétés mécaniques de chacune des composantes que sont la matrice rocheuse et les discontinuités. [1]



**Figure. I.1.** Structure géométrique d'un massif rocheux de calcaire. [1]

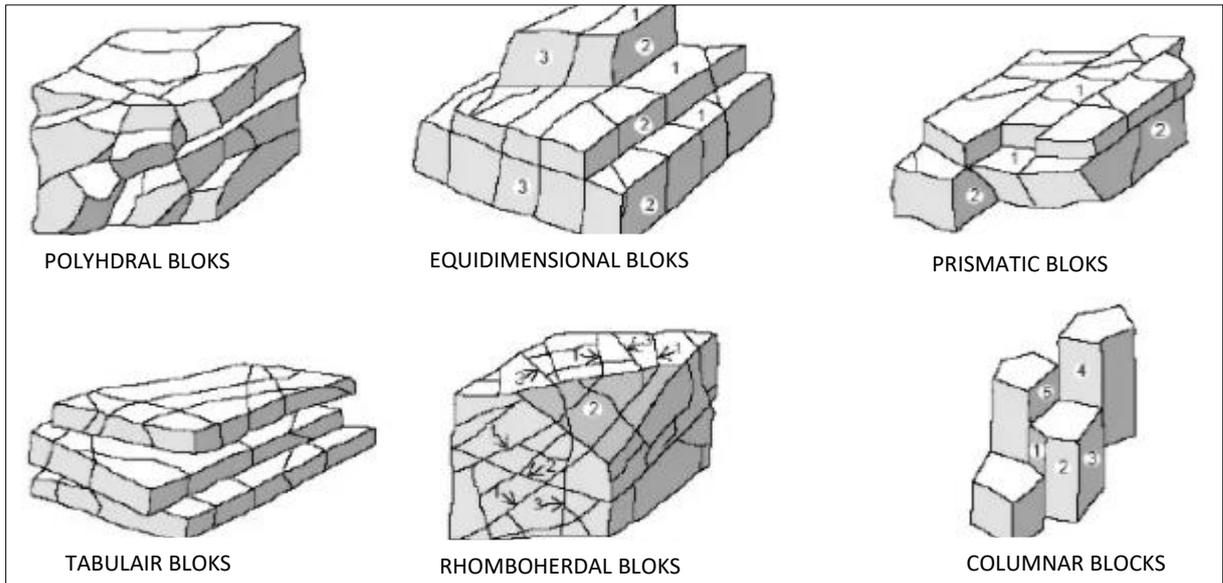
### **I-3-1-Aspect géologique :**

Afin d'étudier le comportement mécanique ou hydraulique d'un massif rocheux, il est essentiel de connaître son degré de fracturation ainsi que la répartition des discontinuités dans l'espace. Pour un ensemble de massifs rocheux, les discontinuités constituent une superposition de différentes familles de fractures, disposant chacune de lois de distribution et des caractères statistiques différents.

Ces derniers sont souvent déterminés par le biais de la méthode de projection stéréographique. L'objectif principal d'une étude géométrique des discontinuités est de déterminer :

- S'ils peuvent être classés en familles (directions voisines).
- S'ils construisent un bloc de roches en blocs (continuité et excellente connexion).

Plusieurs auteurs ont tenté de regrouper les structures d'ingénierie des blocs rocheux en catégories bien définies. Ceci est illustré sur la figure 2 d'une série de blocs rocheux [1]



**Figure.I.2.** Différentes structures géométriques de massifs rocheux fracturés. [1]

### I-3.2 Paramètres géométriques des discontinuités :

La modélisation de la distribution spatiale et de l'emplacement des familles de fractures dans un massif rocheux fracturé est fondée principalement sur la connaissance des paramètres géométriques des discontinuités.

Chacun de ces derniers est associé à une variable aléatoire dont les lois de distribution sont déduites des données acquises sur le terrain. Dans ce qui suit nous définissons sommairement chacun de ces paramètres. [1]

#### a. Orientation :

Pour la direction ou l'azimut, il s'agit de l'angle horizontal du niveau d'interruption avec le nord magnétique, les directions des arrêts déterminent la forme des blocs individuels dans une masse rocheuse qui sont responsables de la variation des propriétés qui régissent leur comportement hydraulique et mécanique.

La première hypothèse simplifiée de la géométrie de discontinuité est l'hypothèse que ces surfaces sont des plans, l'avion dans l'espace est représenté de différentes manières par le vecteur dirigé en déclin ou normal.

C'est l'angle que fait la plus grande pente avec la ligne horizontale. [1]

**b. Extension :**

La taille des fractures conditionne, avec leur orientation et leur espacement, leur probabilité d'intersection.

Par conséquent, elle joue un rôle essentiel dans la connectivité des blocs, une fracture est souvent assimilée à une forme géométrique simple dont une dimension particulière définit son extension (exemple : diamètre d'un disque dans l'espace ou longueur d'un segment dans un plan).

Cette dimension n'est pas accessible directement, Cependant un moyen simple pour la déterminer indirectement se présente en observant les traces des fractures sur l'affleurement.

À noter que les diamètres obéissent souvent une loi exponentielle décroissante ou log-normale. [1]

**c. Espacement :**

C'est la distance moyenne qui sépare deux intersections successives d'une ligne droite, appelée également ligne d'échantillonnage, avec les traces des fractures d'un affleurement.

Cette grandeur dépend de la ligne de levé et de l'extension des discontinuités.

En effet, pour un nombre constant de traces sur une surface, les plus longues ont plus de chance d'être intersectées par la ligne de levé et semblent être plus rapprochées.[1]

**d. Densité :**

Cette grandeur est en relation directe avec l'espacement et le nombre de fractures dans un volume fini, souvent exprimé par une loi uniforme la position dans l'espace des discontinuités est décrite en localisant un point représentatif du modèle géométrique considéré, par exemple, le centre d'un disque ou d'un segment.

Dans ce cas-là, le nombre de centres considérés dans un volume ou sur une surface définit, respectivement, la densité volumique et la densité surfacique des fractures.

Quant à la densité linéique, elle est définie comme étant l'inverse de l'espace ou le nombre d'intersections entre les discontinuités et la ligne d'échantillonnage. [1]

#### **e. Ouverture :**

Les orientations des discontinuités déterminent la forme de blocs individuels existant dans un massif rocheux et par suite elles sont responsables de leur anisotropie qui gouverne leur comportement hydraulique et mécanique.

Une première hypothèse simplificatrice sur la géométrie des discontinuités consiste à supposer que ces surfaces sont des plans.

La représentation d'un plan dans l'espace peut se faire de diverses manières à partir du vecteur de pendage ou de la normale orientée. [1]

### **I-4-Description de massif rocheux :**

La description précise du massif rocheux, celle des roches qui en constituent la matrice est celle des discontinuités qui le traversent, est une phase indispensable de l'étude géo mécanique d'un site, que le but soit la fondation d'un barrage, le percement d'un tunnel, le creusement d'un déblai, ou tout autre ouvrage en milieu rocheux. Cette description se fait sur le terrain et au laboratoire, à l'aide d'observations et de mesure diverses. [2]

#### **I-4-1- Les essais de laboratoire :**

Les propriétés des roches prise en considération :

- La masse volumique sèche.
- Le poids volumique humide.
- La porosité.
- La résistance en compression uniaxiale.
- La résistance en traction indirecte.
- Module de Young. [2]

#### **I-4-2- La fracturation en sondage carotté :**

L'exploitation d'un sondage carotté comprend la description pétrographique des faciès rencontrés et la description des discontinuités (nature géologique, espacement, remplissage, rugosité, orientation). [2]

### **I-5- Influence des discontinuités dans le comportement d'un massif rocheux :**

Les discontinuités peuvent influencer sur le comportement du massif rocheux et cela par la facilitation d'écoulement d'eau, la création des réseaux d'écoulement et la coupure des roches en plaques, blocs et coins (libre de tomber et de bouger).

On peut les considérées comme un plan de faiblesse pour le glissement et elles peuvent changer la distribution et l'orientation des contraintes. [3]

### **I-6-Les familles des discontinuités :**

Les familles des discontinuités peuvent être divisées par les caractéristiques morphologiques communes associées à une origine commune Comme suit : [3]

#### **I-6-1-Les joints stratigraphiques :**

Elle représente une discontinuité dans les milieux sédimentaire qui une forte extension souvent une faible ondulation. [3]

#### **I-6-2-Les diaclases:**

Ils sont Surtout orthogonaux ou oblique aux articulations articulaires ou au clivage. Ils ne montrent aucune trace de mouvement et ont un étirement limité.

#### **I-6-3-Les fentes ou fractures d'extension :**

Formé sous l'action de la traction à laquelle la masse solide a été exposée lors des mouvements tectoniques. Il est souvent rempli de cristallisation de calcite ou de quartz.[3]

#### **I-6-4-Les failles :**

Dérivé d'une zone de fracture de la masse rocheuse qui a subi une grande force de coupe. Il représente donc une déconnexion qui sépare deux grandes entités de la masse.

Il se caractérise par un grand étirement et est souvent rempli de matériaux en poudre et modifiés, et parfois recristallisé. [3]

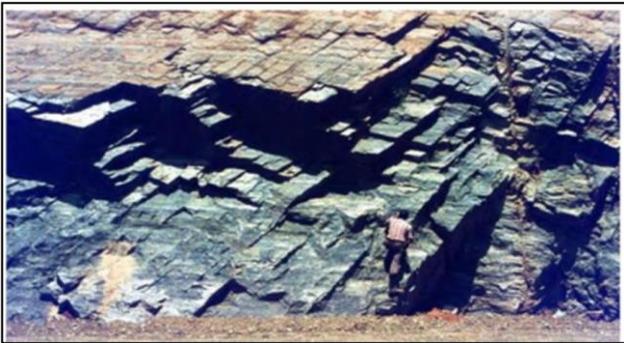
### I-6-5-les plis :

Les plis sont causés par la courbure d'une couche de roche sous l'influence d'une force ou d'un mouvement tectonique. En général, les plis ne sont pas considérés comme des éléments d'un bloc de roche.

Souvent associée à un degré élevé de fracture et à des roches relativement faibles et molles. [3]

### I-6-6-La schistosité :

Le fractionnement en roches métamorphiques, une forte pression agaçait et transformait la régulation des minéraux internes. Ceux-ci sont alignés dans une direction orthogonale avec la pression et ont entraîné la formation de plans de rupture préférentiels. La plaque, qui est divisée en fonction de ce clivage, en est un bon exemple. [3]



**Figure I.3.** Les joints stratigraphiques.



**Figure I.4** Les failles.



**Figure.I.5.** Les diaclases.



**Figure.I.6.** Les plis.



**Figure.I.7.** La schistosité.

### **I-7- L'instabilité des talus et mouvement des terrains :**

Les mouvements de la Terre et l'instabilité des talus sont généralement associés au mouvement gravitationnel des masses déstabilisatrices de la Terre par L'effet des contraintes naturelles (fonte de neige, pluviométrie anormalement forte, secousses sismiques, diminution de butée par érosion de la mer).

Et aussi par l'activité humaine (terrassment, vibration, déboisement, exploitation des matériaux ou de nappes aquifères).

Il couvre des formes très diverses causées par la multiplicité des mécanismes de démarrage (Corrosion, dissolution, déformation et rupture sous charges statiques ou dynamiques), ils sont liés par eux-mêmes.

La complexité du comportement géotechnique des matériaux utilisés et leurs conditions Dépôts (structure géologique, ingénierie des réseaux de fractures, et caractéristiques des aquifères souterrains, etc.). [4]

### **I-8-Types des mouvements :**

Les phénomènes naturels des mouvements de terrain associés au développement géodynamique externe de la Terre sont regroupés.

De manière simplifiée, on peut distinguer dans la zone d'étude, 3 familles de mouvements du sol comme suit :

- Affaissements / Effondrements.
- Eboulements / Chutes de blocs et de pierres.
- Glissements de terrain / Coulées de boue

#### **I-8-1-Les glissements :**

Ils se caractérisent par la translation latérale d'une certaine masse de matériaux au niveau d'une surface de rupture nettement individualisée et se produisent généralement dans des matériaux faiblement cohérents (marnes, argiles..).

Les glissements sont les mouvements qui affectent le plus fréquemment les ouvrages de génie civil et génie minier.

### I-8-2-Les types des glissements :

Selon la forme de la surface de rupture, on distingue quatre types de rupture :

#### I-8-2-1-Glissements rotationnels :

Ils se produisent généralement dans des terrains meubles homogènes (argileux et silex) ou dans des roches homogènes où les discontinuités géologiques sont insuffisantes pour influencer la forme de la surface de glissement.

La masse se déplace vers l'aval le long d'une surface assimilée généralement dans les calculs de stabilité à un arc de cercle.

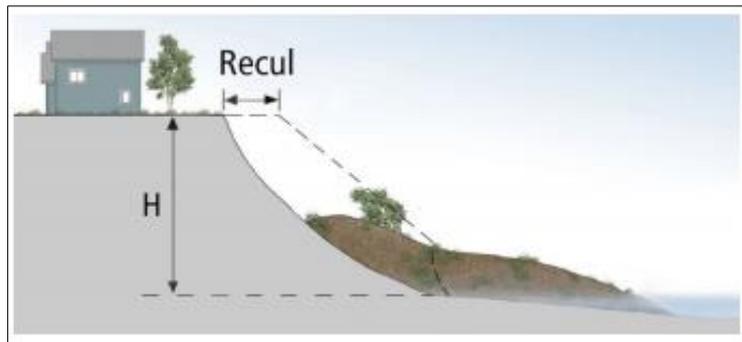


Figure.I.8. exemple de glissement rotationnel.

#### I-8-2-2-Glissements plans :

On rencontre ce type de glissements généralement dans les sols stratifiés ou dans les roches fissurées il se produit le long du joint de stratification (il se produit généralement au contact entre le substratum et le matériau de couverture).

L'ensemble des couches se déplacent selon une surface de rupture plus ou moins plane.

L'épaisseur des terres glissées peut atteindre plusieurs dizaines de mètres.

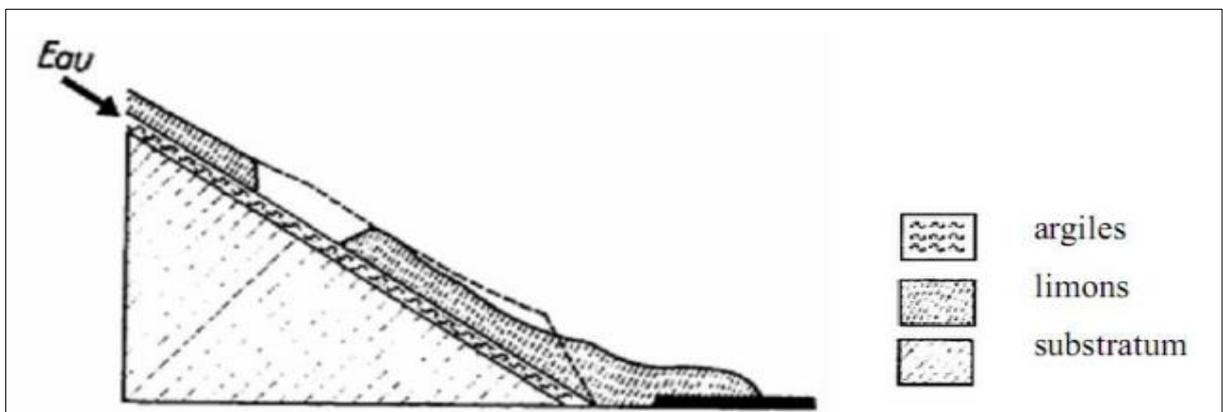


Figure. I.9. Glissements plans.

### I-8-2-3- Rupture en dièdres :

Cette rupture se produit lorsque le terrain est découpé par une fracturation principale caractérisée par plusieurs orientations.

Conjuguées avec l'orientation du talus, les fissures forment des blocs qui se trouvent dégagés par les surfaces libres du talus (gradins, banquettes) et qui sous l'effet des forces mises en jeu se détachent et chutent.

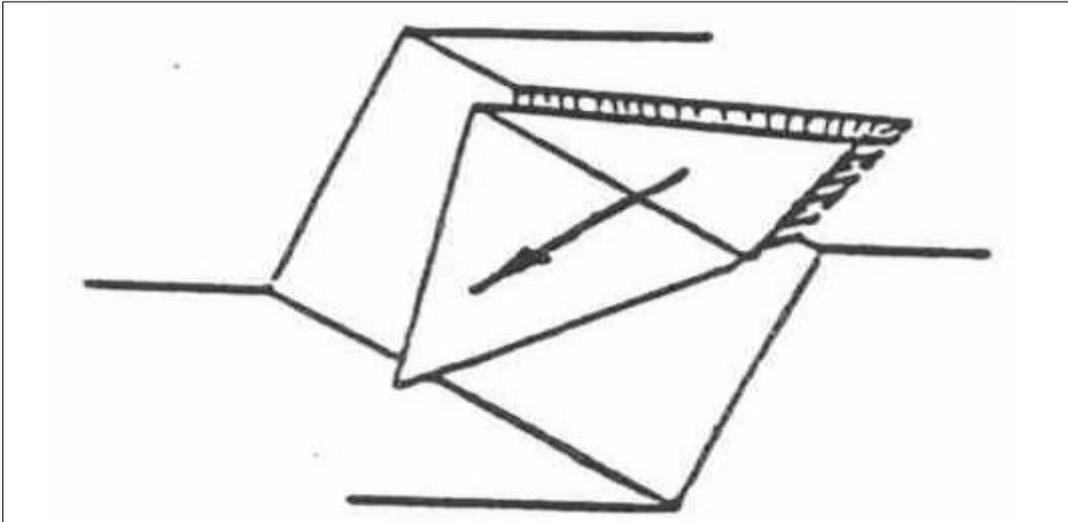


Figure. I.10 Rupture d'un dièdre

### I-8-2-4-Rupture par basculement :

Ce mode de rupture est beaucoup plus rare que les 3 autres précédents, Il se produit lorsque le massif est découpé par une famille de fissures importantes qui présente les caractéristiques suivantes :

- orientation parallèle au talus.
- fort pendage.
- écartement réduit entre les fissures, ce qui conduit à la formation de plaques de faible épaisseur.

### I-8-3-Les phases des glissements :

Les glissements de terrain se caractérisent par des phases d'activité où les vitesses de déplacement sont élevées alternées avec des phases de calme.

**A-** La phase de préparation : dans cette phase on remarque une absence d'évolution mesurable ou un mouvement de faible amplitude qui peut conduire à une diminution progressive des caractéristiques du terrain.

**B-** La phase du paroxysme (rupture) : c'est une période généralement de courte durée pendant laquelle on observe des déplacements importants. La stabilisation du glissement a lieu généralement après cette phase.

**C-** La phase d'amortissement (relaxation) : elle succède immédiatement à la phase de paroxysme c'est la phase la plus couramment rencontrée par le géotechnicien car il est amené à intervenir dans cette phase pour stabiliser ou surveiller le phénomène.

**D-** La phase de stabilisation : le versant est stabilisé pour une durée indéterminée. [5]

### **I-9- Les facteurs influençant la stabilité des talus :**

Une gamme complète de facteurs contribue à réduire l'élasticité du bloc dans Cas de bloc de mine, parmi les plus importants d'entre eux, on peut citer la transformation migration minérale dans les altérites, facteur hydraulique et climatique, corrosion Pour la masse variable, fissuration primaire des roches. [5]

### **I-10- Conclusion :**

Ce chapitre a présenté un état des connaissances générales concernant une description de la structure géométrique des massifs rocheux caractérisée par la présence des discontinuités et les approches usuelles de caractérisation des roches ,nous avons essayé de présenter les caractéristique géométriques des discontinuités est leur famille et leur influence sur un massif rocheux , et en a essaie de présenter l'instabilité des talus et mouvement des terrains type des mouvements et facteurs influant sur la stabilité des talus .

# **Chapitre II**

## **Méthodes d'étude de stabilité des talus dans le domaine minier**

## II -1- Introduction:

Dans ce chapitre on va citer deux méthodes d'étude de la stabilité des talus au niveau des carrières qui se présente dans la méthode empirique (RQD, RMR, SMR, GSI) et la méthode d'équilibre limite par logiciel slide.

## II -2-Méthodes empiriques (RQD, RMR, SMR, GSI):

La caractérisation du massif rocheux s'effectue habituellement à l'aide de systèmes de classification géo mécanique, ces derniers sont des méthodes empiriques qui utilisent différentes propriétés afin d'attribuer au massif rocheux une valeur de qualité.

Plusieurs systèmes de classification ont été développés. En se basant sur un grand nombre de références. Palmström (1995) a rassemblé un recueil de ces systèmes les plus utilisés.

### II -2-1-Rock Qualité Désignation index (RQD):

La classification de la qualité des roches (RQD) a été élaborée par Deere et al. (1967) afin de donner une estimation quantitative de la fracture qui affecte le comportement de la masse rocheuse lors de l'examen des noyaux obtenus par forage.

Le RQD est défini comme 56% des secteurs sains de plus de 10 cm de long, sur la longueur totale du forage de puits. Ce paramètre est défini comme suit :

$$RQD = \frac{\sum \text{longueur de pieces} \geq 100 \text{ mm}}{\text{longueur totale de la cours}} * 100 \quad (1)$$

La relation entre la valeur RQD et la qualité du bloc peut être déterminée selon une suggestion (Deere, 1968) cette relation est présentée dans le tableau II .1ci-dessous.

**Tableau. II .1.** Corrélation entre l'indice RQD et la qualité du massif rocheux (tiré de Deere, 1968) [9]

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

### **II -2-2 Rock Mass Rating (RMR):**

Cette version a été choisie simplement parce que toutes les modifications apportées pour améliorer ce système n'affectent généralement que le poids des coefficients de divers paramètres géologiques.

Les relations empiriques basées sur des études de cas préliminaires n'ont pas beaucoup changé.

Par conséquent, l'utilisation d'une version plus récente après une nouvelle pesée de transaction peut entraîner de multiples confusions et de graves erreurs de conception expérimentale (Milne, 2007).

Avec la version 1976 du système de classification, la somme de ces coefficients détermine la valeur du taux RMR, qui peut aller de 0 à 100. L'utilisation de RMR dépend de la simplicité de spécification des différents paramètres suivants :

- 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.

Ensuite, la formule générale du RMR de base est l'agrégation des paramètres évalués, le plus souvent pour l'état sec de la terre :

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

Ou : 
$$\text{RMR} = \text{RMR de base} + A6 \quad (3)$$

A6 : Orientation des discontinuités par rapport aux directions représentatives du problème traité.

### II -2-2 -1-Estimation des paramètres mécaniques à partir du RMR:

La classification RMR comporte cinq classes en fonction des paramètres mécaniques du massif rocheux (cohésion, angle de frottement) et chaque classe à sa description.

**Tableau. II .1.** Classes et propriétés globales des massifs rocheux [8]

Valeur du RMR	81 à 100	61 à 81	41 à 60	21 à 40	< 21
Classe	I	II	III	IV	V
Description	Très bon rocher	Bon rocher	Rocher moyen	Rocher médiocre	Rocher très médiocre
Cohésion $C_m$ (KPa)	> 400	300 à 400	200 à 300	100 à 200	<100
Angle de frottement interne $\vartheta_m$ (°)	> 45	35 à 45	25 à 35	15 à 25	<15

Plusieurs auteurs ont proposé des relations entre les paramètres mécaniques du massif rocheux et la valeur du RMR. Nous avons retenu les relations suivantes qui permettent d'estimer une cohésion et un angle de frottement, ainsi qu'un module d'Young :

-cohésion :

-Céq (kPa)  $\approx 5$  RMR (Bieniawski, 1979) (4)

- l'angle de frottement :

- $\Phi_{\text{éq}}$  (deg) = 0,5 RMR + 8,3  $\pm$  7,2 (Trunck&Hönisch, 1989) (5)

-le module de young :

-Eéq (GPa) =  $10^{(RMR-10)/40}$  (Serafim& Pereira, 1983) (6)

### II -2-3-Geological Strength Index (GSI):

Introduit par Hoek et al. (1995) puis amélioré par Hoek et Brown (1997), le Geological Strength Index ne présente pas une classification géomécanique en soi.

Cependant, il constitue un lien entre le RMR, (Q-system) et la détermination des paramètres de déformabilité et de la résistance des massifs rocheux.

Afin d'estimer le GSI, il est nécessaire de calculer le RMR' et le Q' qui sont des valeurs modifiées de RMR et de Q. Le RMR' est calculé en retenant une valeur 15 pour le coefficient relatif à l'eau (A5) et une valeur nulle pour le coefficient de correction relatif à l'orientation des discontinuités

$$\text{RMR} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 \quad (7)$$

Q' Il est calculé en ne tenant pas compte de l'état initial de la masse par rapport à l'eau Restrictions (Jw / SRF) :

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} \quad (8)$$

Après avoir calculé les taux RMR et Q', le GSI est déterminé comme suit :

$$\text{GSI} = 9(\log Q + 44) \quad \text{si} \quad \text{RMR}' 85 \leq 23 \quad (9)$$

L'estimation du GSI est basée sur l'observation directe de la structure de la masse rocheuse De la vérification de la qualité de la masse rocheuse sur le site.

Cet indicateur est compris entre 5 et 85. Par définition, des valeurs proches de 5 correspondent Matériaux de très mauvaise qualité. Alors que des valeurs proches de 85 décrivent le matériau Excellente qualité. [6]

**Tableau II .2.** Qualité du massif rocheux selon la valeur du GSI.

Valeur du GSI	76-95	56-75	41-55	21-40	<20
Qualité de massif rocheux	Très bon	bonne	Moyenne	Mauvais	Très mauvais

## II -3- Méthode analytique (Equilibre limite par SLIDE):

### II -3-1- logiciel SLIDE:

Actuellement, ils existent plusieurs logiciels pour l'analyse des glissements de terrain, mais qui se différencient chacun par ces méthodes de résolution et ces paramètres de modélisation.

Dans notre cas nous utiliserons un logiciel de calcul basé sur la méthode d'analyse appelé (slide v 0.6).

Ce logiciel utilise la méthode de l'équilibre limite pour déterminer le coefficient de sécurité  $F_s$  selon le principe suivant : [6]

$$F_s = \frac{\text{la somme des moments résistants}}{\text{la somme de moment moteurs}} \quad (10)$$

Les données requises pour l'entrée et les résultats fournis par le programme sont résumés dans le tableau suivant :

**Tableau. II .3.** Les données et les résultats du logiciel slide. [10]

Données fournies au logiciel	Résultats livrés par logiciel
-la méthode de calcul.	-le facteur de sécurité avant et après le confortement.
-les paramètres géotechniques de chaque couche $\gamma$ ( $\text{KN}/\text{m}^3$ ), $c$ ( $\text{KN}/\text{m}^2$ ), $\varphi$ ( $^\circ$ ) .	-les cercles de ruptures.
-les surcharges si nécessaire.	- la sollicitation sur les tranches.
-géométrie du talus.	- la résistance au cisaillement en fonction de la longueur du talus
-la grille de centre de ruptures.	
-le niveau de la nappe phréatique.	
-le types de confortement et ce après	

l'analyse de stabilité.	
-------------------------	--

#### **II -4-Conclusion:**

Les systèmes de classifications des massifs rocheux sont des méthodes empiriques qui déterminent les propriétés du massif en fonction de plusieurs facteurs affectent sa stabilité.

Leur rôle consiste à combiner de manière structurée les informations provenant d'observation de mesure ou encore de l'expérience de manière à fournir des estimations quantitative et qualitative sur la situation de massifs et le type de soutènement adéquat.

Et la méthode d'équilibre limite par slide permettez-nous de calcules le coefficient de sécurité pour voire l'état de stabilité de ce massif rocheux.

# **Chapitre III**

**Description des sites et  
conditions géologiques et  
minières du Gisement de  
calcaire d'Ain El Kebira**

### III-1-introduction:

L'étude de la stabilité des talus des mines à ciel ouvert tient en compte de la stratigraphie et de la lithologie du site à étudier, la présence d'une nappe d'eau qui traverse le site ainsi que de la tectonique du gisement.

Dans ce présent chapitre, nous avons éclairci toute information relative aux Conditions géologiques, et minière du gisement de calcaire d'Ain Kebira.

### III-2- Conditions géologique :

#### III-2-1- Situation géographique du gisement d'Ain El Kebira:

La wilaya de Sétif est située dans la partie Nord-Est du pays soit à 300 km d'Alger,

Elle est délimitée :

- Au Nord par la wilaya de Bejaia et Jijel.
- A l'Est par la wilaya de Mila.
- Au Sud par les wilayas de Batna et M'silla.
- A l'Ouest par la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Le périmètre du calcaire "Jebel Majons" correspond à la partie sud et sud-est de la montagne Medjounes, Il est situé à 22 km au nord-est de la province de Sétif et à 6 km de la ville d'Ain El Kebira.



Figure. III.1. Situation géographique du gisement calcaire d'Ain El Kebira

### **III-3-Stratigraphie de la région:**

La série stratigraphique du massif et de son voisinage comprend les formations sédimentaires du Trias, du Crétacé, du Tertiaire et du Quaternaire.

Les formations du Crétacé et du Tertiaire appartiennent à la nappe de Djemila qui couvre des surfaces considérables sur la moitié nord de la carte géologique de Sétif.

Le sondage réalisé sur le flanc ouest du Djebel Medjounès (à proximité du gisement calcaire)

### **III-4- Stratigraphie et lithologie du gisement calcaire:**

Le gisement calcaire du Djebel Medjounès appartient à la série des calcaires bien réglés du Campanien supérieur et du Maestrichtien. Il est constitué de deux panneaux A et B (séparés par une faille) avec une étendue totale de 0,9 Km<sup>2</sup>.

Au cours de la réalisation de la carte géologique du gisement au 1/2500 par la société GmbH, le gisement calcaire a été subdivisé en plusieurs couches.

Ces couches, numérotées du bas vers le haut, sont les suivantes.

Couche1 : Il s'agit d'une alternance de roche calcaire marneuse et de marne fortement calcaire avec une épaisseur supérieure à 65 m.

Couche 2 : Elle se compose de roches marneuses ouillées fortement calcaires en alternance avec des couches de calcaires fortement marneux et de roches marneuses faiblement calcaires Et leur puissance environ de 18 m.

Couches 3 à 7 (unité calcaire principale) : Cet ensemble de couches représente le calcaire principal du gisement avec une épaisseur de 49 m.

### **III-5-Tectonique du gisement:**

Le massif du Djebel Medjounès se caractérise par le fait que les formes de ses montagnes sont très largement identiques avec les formes des plissements, de telle sorte que les flancs des montagnes coïncident avec les flancs des couches.

### **III-6-Caractéristiques hydrogéologiques du gisement:**

Les quantités d'eau souterraine captables sont assez faibles. Il en est de même dans les environs du gisement, à la différence que cette région faisant partie du bord septentrional du bassin de Sétif, les précipitations sont un peu plus abondantes, et donc la région d'étude est favorisée vis à vis des régions situées plus au Sud. Cette situation se traduit par l'existence de

petits et moyens cours d'eau pérenne dans lesquels s'amassent les eaux souterraines locales et dont le nombre, la densité et le débit augmentent très nettement au bord Nord du bassin.

### **III-7-Substances extraites:**

Le gisement de calcaire de Djebel Medjounes a été élaboré en vue d'alimenter la cimenterie d'Ain El-Kebira. La cimenterie utilise un mélange de 3 composant suivant :

- Calcaire du Djebel Medjounès (88 %).
- Marnes argileuses (10 %).
- Minerai de fer (2 %). [12]

### **III-3-Conditions minières:**

#### **III-3-1-Régime de travail:**

- Nombre de jours ouvrables par an : 260 jours
- Nombre de jours ouvrables par semaine : 06 jours
- Nombre de postes par jour : 01 poste
- Durée d'un poste de travail : 8 heures

#### **III-3-2-Paramètres du système d'exploitation:**

Le nouveau cite de gisement du Djebel Medjounès occupe une superficie de  $0,9\text{km}^2$  . 3 gradins sont en exploitation, la hauteur de chaque gradin est de 15 m L'angle de pendage varie de  $70^\circ$  à  $85^\circ$ . La longueur de la plateforme de travail 40 m (cela dépend de l'avancement des travaux).

##### **III-3-2-1-Exploitation du gisement:**

La méthode d'exploitation appliquée est celle à ciel ouvert par des gradins de 15m. La technique d'extraction utilisée est celle de forage et de tir. L'abattage de la matière s'opère de haut en bas suivant les gradins et les talus garantissant la stabilité lors des travaux d'abattage, Le tir se fait une fois par semaine ouvrable suivant une seule rangée de trous.

### **III-3-2-1-1-Abattage des roches :**

Les travaux d'abattage du calcaire se font à l'aide d'explosifs ce qui permet d'avoir une bonne et régulière fragmentation de la roche.

### **III-3-2-1-2-Foration:**

La foration des trous de mine se fait à l'aide des sondeuses de type INGERSOLL RAND dont les caractéristiques sont présentées comme suit :

Diamètre des trous et de 162 mm le rendement et de 80 m/post sens de foration trou vertical et incliné le nombre des foreuses disponible sur la carrière c'et 3 ferreuse

### **III-3-2-1-3-Le Tir:**

Après avoir foré des trous qui sont au nombre de 20 dans une seule rangée, on introduit à l'intérieur de chaque trou une cartouche d'amorçage qui est de la marmanite au-dessus duquel on place de l'anfomyl et au-dessus de ce dernier on place le bourrage.

Le bourrage permet d'avoir une bonne explosion et permet surtout d'arrêter le soufflage de l'explosif en l'air durant la détonation. Les explosifs sont reliés entre eux par un cordon détonateur ce qui permet l'explosion.

### **III-3-2-4-Types d'explosif:**

Ils sont chargés par deux types d'explosif (anfomyl et le marmanit) Anfomyl et la marmanite, En été, on combine ces deux explosifs dans un même trou mais par contre en hiver seul l'Anfomyl est utilisé car la marmanite ne résiste pas à l'humidité.

En charge 1 trou avec 72.5 kg de marmanit qui reprisent 1/3 de la charge, et de 125 kg d'anfomyl 2/3 de la charge.

### **III-3-2-5- Le Bourrage:**

Le bourrage c'est effectué par le calcaire.

### **III-3-2-6-Chargement et transport:**

Le tout venant extrait au tir est chargé sur camion-bennes par chargeuses.

Les caractéristiques du matériel de chargement disponible dans la carrière sont données dans le tableau suivant :

**Tableau.III.1.** Caractéristiques des chargeuses utilisées dans la carrière.

Matériel	Types	Capacité de godet $m^3$	Nombre
Chargeuse sur pneu	Komatsu W700	6	1
Chargeuse sur pneu	Komatsu W600	6	1
Chargeuse sur pneu	Katerpillar 988	8	4

Le matériau abattu sera ensuite transporté vers la trémie de réception. La distance maximale de transport atteint 3,78 km, Les caractéristiques des moyens de transport disponibles en carrière sont données dans le tableau suivant :

**Tableau III.2.** Caractéristiques du matériel de transport utilisé dans la carrière.

Matériel	Type	Capacité de la benne	Nombre
Camion	Komatsu R.50	50	05
Camion	Komatsu R.35	35	03
Camion	Komatsu R.32	32	02

### III-4- conclusion:

Le choix des paramètres d'exploitation de la carrière d'Ain Kebira dépend généralement des caractéristiques des terrains et de la sécurité du travail.

L'étude de ses caractéristiques concernant les conditions géologiques, hydrogéologiques et les paramètres d'exploitation ont permis d'obtenir une image aussi complète que possible sur les caractéristiques des massifs rocheux traversés afin d'évaluer leurs stabilité.

# **Chapitre IV**

## **Classification des massifs rocheux et études de stabilité de djbel medjone d'ain el kebira**

### IV-1-Introduction:

Dans ce chapitre en va étudier la stabilité actuelle de la carrière de neveux cite d'Aine Kebira, et prévoir un éventuel risque d'instabilité, en commence par une classification des massifs rocheux à travers défèrent systèmes (RQD, RMR, GSI, SMR) après une modélisation par la méthode d'équilibre limite en utilisons logiciel slide pour déterminer le facteur de la sécurité.

### IV-2-Calcul RQD :

D'après Don Deer, 1967 en calcul RQD par la formule suivant :

$$RQD = \frac{\sum \text{longueur de pieces } \geq 100 \text{ mm}}{\text{longueur totale de la cours}} * 100$$

#### IV-2-1-Classification RQD1 pour 1 er gradin:

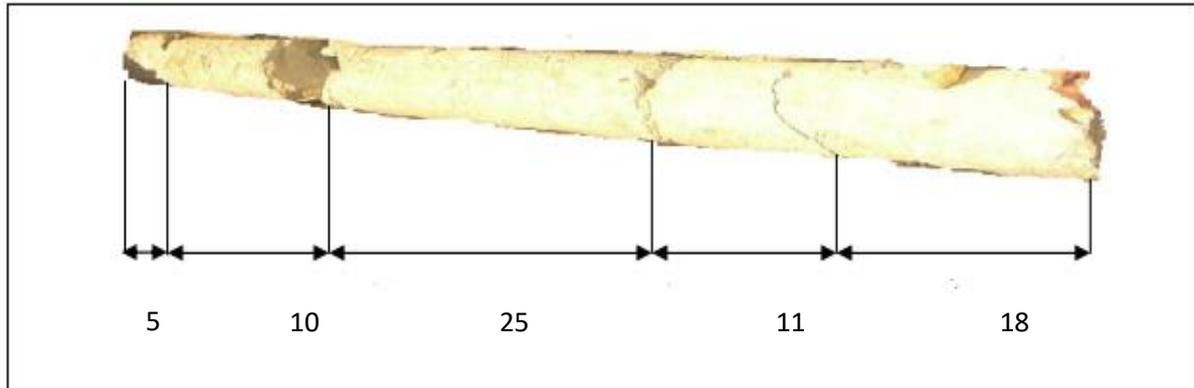
##### Partie 1:



**Figure. IV.1.** Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 1 du gradin 1

$$RQD1 = \frac{11+16+23+10+12}{80} * 100 = 90\%$$

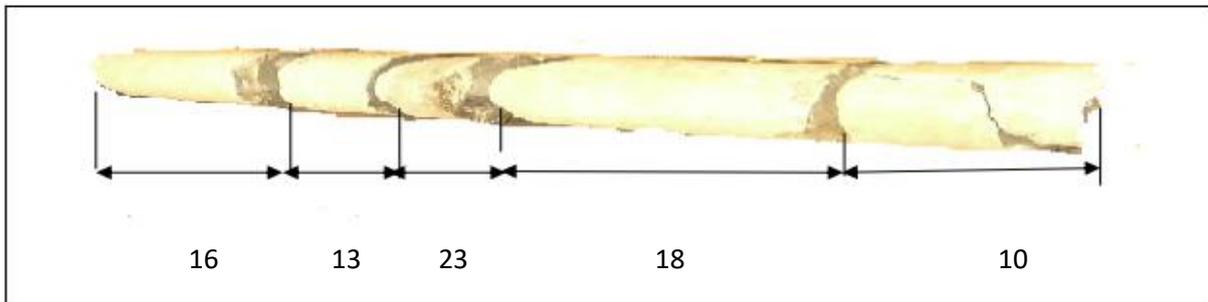
**Partie 2 :**



**Figure. IV.2** Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure de 10cm d'une partie 2 du gradin 1

$$RQD2 = \frac{10+25+11+18}{69} * 100 = 93\%$$

**Partie 3 :**



**Figure.IV.3.** Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure de 10cm d'une partie 3 du gradin 1

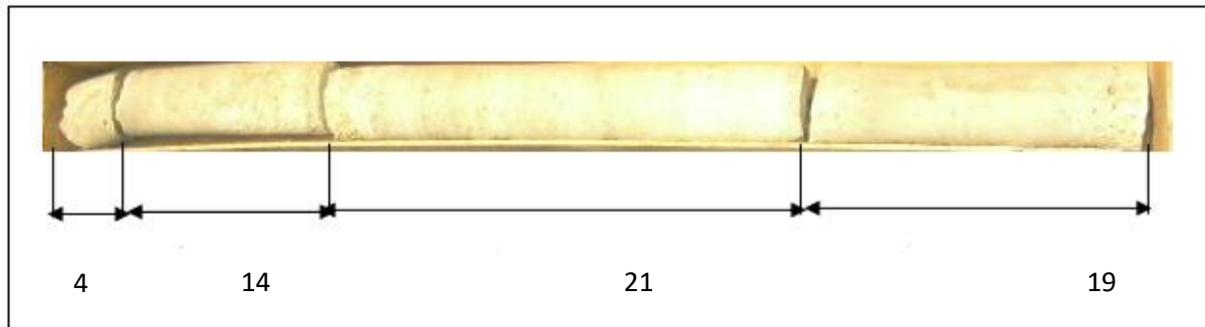
$$RQD 3 = \frac{16+13+23+18+10}{80} * 100 = 100\%$$

$$RQD 1 \text{ global} = \frac{RQD1+RQD2+RQD3}{3}$$

$$RQD 1 \text{ global} = \frac{100+93+90}{3} = 94\%$$

### IV-2-2-Classification RQD pour 2ème gradin :

#### Partie 1 :



Figuer.IV.4. Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 1 du gradin 2

$$RQD1 = \frac{19+14+21}{59} * 100 = 92\%$$

#### Partie 2 :

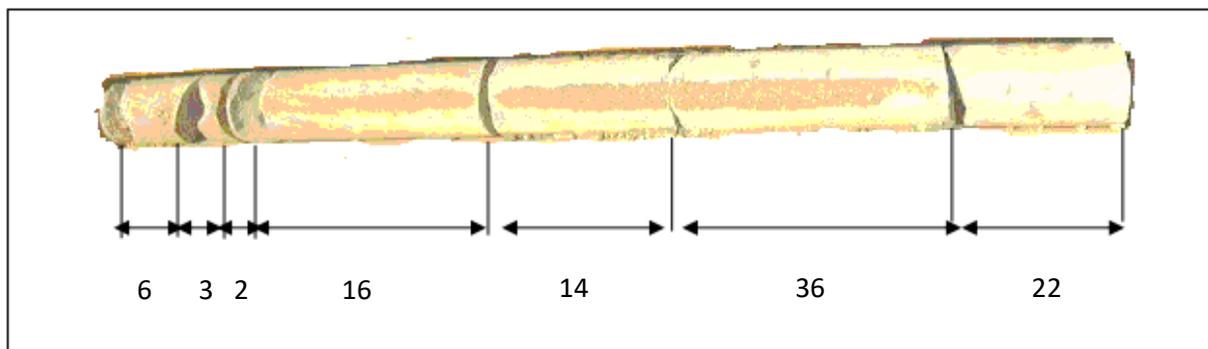
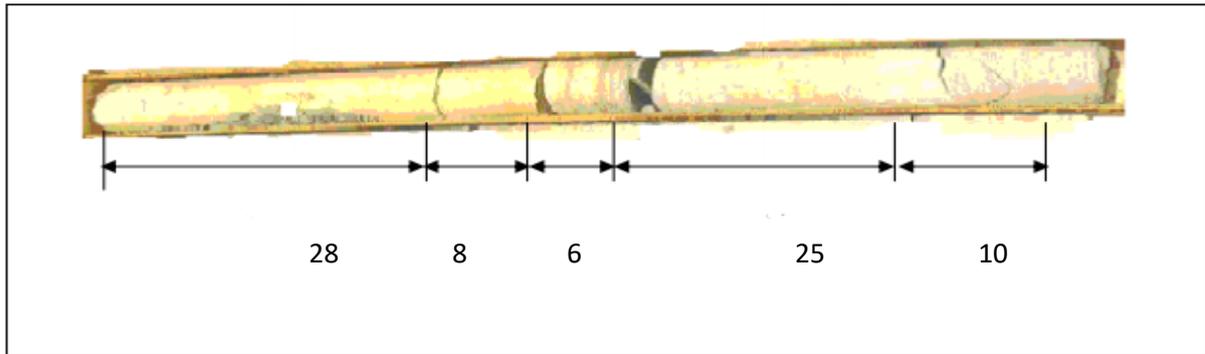


Figure. IV.5. Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inferieure 10cm d'une partie 2 du gradin 2

$$RQD2 = \frac{16+14+36+22}{99} * 100 = 89\%$$

**Partie 3:**



**Figure. IV.6.** Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieur 10cm d'une partie 3 du gradin 2

$$\text{RQD 3} = \frac{28+25+10}{77} * 100 = 82\%$$

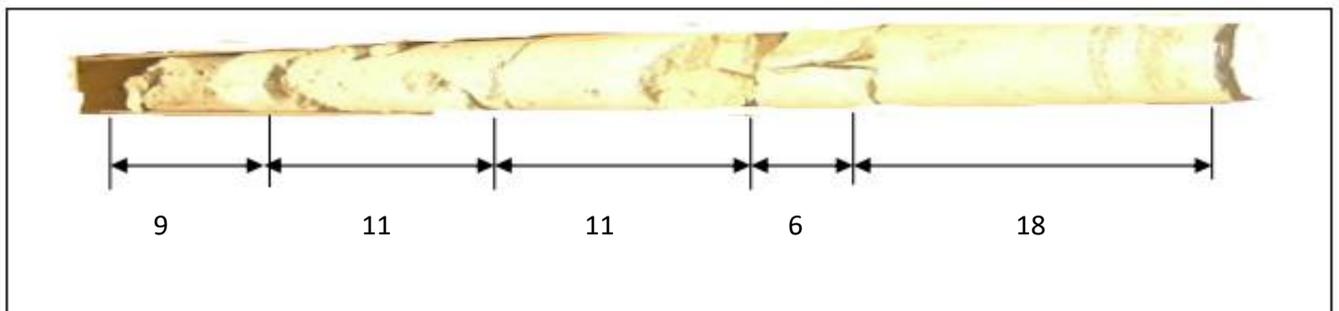
$$\text{RQD 2 global} = \frac{\text{RQD1}+\text{RQD2}+\text{RQD3}}{3}$$

$$\text{RQD 2 global} = \frac{92+82+89}{3} = 87\%$$

**IV-2-3-Classification RQD pour gradin 3 :**

**Partie**

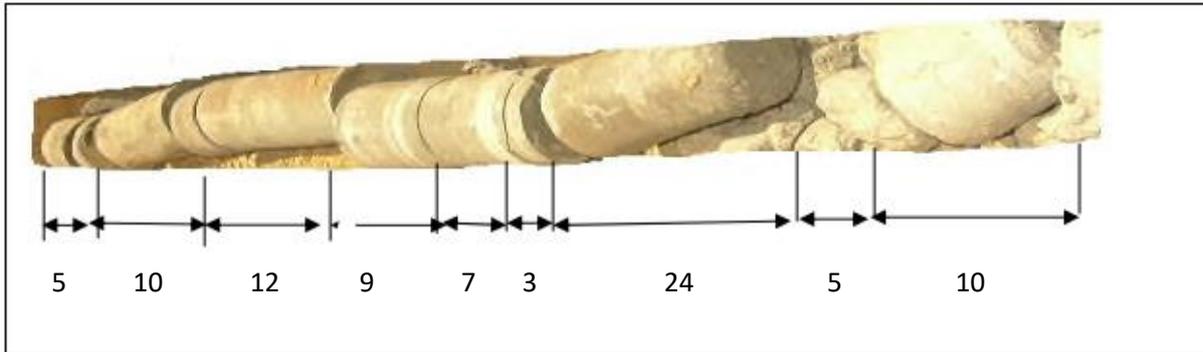
**1**



**Figure. IV.7** Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieur 10cm d'une partie 1 du gradin 3

$$\text{RQD1} = \frac{11+18+11}{55} * 100 = 73\%$$

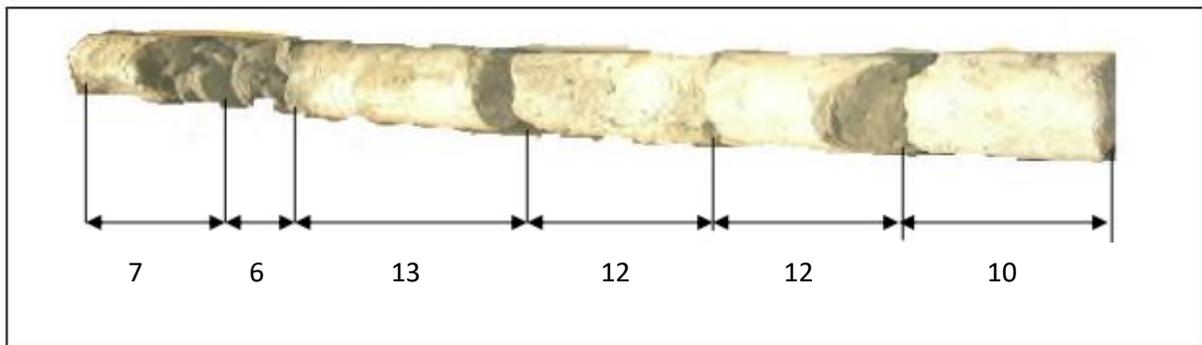
**Partie 2 :**



**Figure. IV.8.** Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 2 du gradin 3

$$RQD2 = \frac{10+12+24+10}{85} * 100 = 68\%$$

**Partie 3:**



**Figure. IV.9.** Carotte de forage avec des morceaux supérieur et inférieure 10cm d'une partie 3 du gradin 3

$$RQD3 = \frac{13+12+12+10}{60} * 100 = 78\%$$

$$RQD\ 3\ global = \frac{RQD1+RQD2+RQD3}{3}$$

$$RQD\ 3\ global = \frac{78+68+77}{3} = 74\%$$

**Tableau.IV.1.**Classification RQDG globale Des trois gradins par la méthode de Don Deer.

Gradin	RQD %	Classe RQD	Qualité du massif rocheux
1	94	90 – 100	Excellent
2	87	75 -90	Bonne
3	74	50-75	Moyenne
RQD global	85	75 -90	Bonne

**IV-3-Classification RMR du gradin 1, 2 et3 Dans la mine de d'une carrière de calcaire, cas Cimenterie d'Ain El Kebira (Sétif) :**

**IV-3-1- Espacement entre discontinuités du gradin 1, 2 et 3 :**

Les espacements entre la discontinuité sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau. IV.2.**Espacement entre les discontinuités du gradin 1, 2 et 3.

/	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G1	0.03	0.05	0.02	0.06	0.08	0.03	0.1	0.05	0.07
G2	0.06	0.05	0.03	0.06	0.07	0.03	0.04	0.1	0.05
G3	0.02	0.05	0.06	0.03	0.03	0.02	0.06	0.1	0.07

Ou :

$$E=L/N$$

E : espacement m ;

L : longueur de la partie du massif mesuré m

N : nombre de fissures sur la partie mesuré

Espacement entre discontinuité du gradin 1 est 0,054 m

Espacement entre discontinuité du gradin 2 est 0,054 m

Espacement entre discontinuité du gradin 3 est 0,048 m

#### **IV-3-2- Résistance à la compression Rc (MPa) :**

- Principe :

L'essai est effectué au moyen d'une machine de compression directe d'un l'échantillon cylindrique du calcaire (D =54mm) soumis à un effort de compression simple.

- Mode opératoire :

Préparer les échantillons de roche sous forme de carotte extraite de roches appartenant au talus étudié dimensionnée selon les normes (Longueur de la carotte=2 \* Diamètre).

- Polissage des faces de la carotte afin de la préparer pour la machine de compression.
- Mise en place et centrage de l'échantillon entre les plateaux d'une presse de la machine.
- Appliquer une force axiale sur les échantillons et l'augmenter progressivement jusqu'à la rupture de l'échantillon.

**Tableau.IV.3.**Les résultats des essais de compression uniaxiale

N échantillon	La résistance à la compression(Mpa)
Echantillon 01(calcaire)	53,80
Echantillon 02(Marnes)	17,8

### IV-3-3- Classification RMR1 du gradin 1 :

Pour classe le RMR d'après Beniaowski en utilise la formule suivant :

$$\text{RMR}_{\text{de base}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

A1 : Compression (Co) de la roche intacte est : 60 Mpa

A2 : Qualité du massif estimé RQD1 est : 53,80%

A3 : Espacement entre les discontinuités est : 0.052m inférieur de 60 mm

A4 : Conditions des discontinuités : discontinuités de faiblement rugueuse, avec une séparation inférieure de 1 mm face souples

A5 : Venus d'eaux souterraines : pas de venus d'eau souterraines conditions générales sec.

La valeur de RMR représenté dans le tableau suivant :

**Tableau .IV.4.** Classification RMR 1 du gradin 1(couche de calcaire)

Paramètre	Paramètre Estimé	Classe	La valeur
Compression (Co) de la roche intacte	53,80 Mpa	25-50	7
Qualité du massif estimé RQD1	64%	50-75	13
Espacement entre les discontinuités	0,054 m	>50mm	10
Conditions des discontinuités	discontinuités de faiblement rugueuse, avec une séparation inférieure de 1 mm face souples	Condition2	20
Venus d'eaux souterraines	pas de venus d'eau souterraines conditions générales sec.	Condition générale sec	15

Pour classe le RMR d'après Beniaowski en utilise la formule suivant :

$$\text{RMR}_{\text{de base}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR}_1 = 7 + 13 + 10 + 20 - 5 + 15 = 65$$

#### **IV-3-4- Classification RMR2 du gradin 2 :**

Pour classe le RMR d'après Beniaowski en utilise la formule suivant :

$$\text{RMR}_{\text{de base}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

A1 : Compression (Co) de la roche intacte est : 59,80 Mpa

A2 : Qualité du massif estimé RQD1 est: 73%

A3 : Espacement entre les discontinuités est : 0.054 inférieur de 60 mm

A4 : Conditions des discontinuités : discontinuités de faiblement rugueuse, avec une séparation inférieure de 1 mm face souples

A5 : Venus d'eaux souterraines : pas de venus d'eau souterraines conditions générales sec.

La valeur de RMR représenté dans le tableau suivant :

**Tableau .IV.5.**Classification RMR 2 du gradin 2 (couche de calcaire)

Paramètre	Paramètre Estimé	Classe	La valeur
Compression (Co) de la roche intacte	59,8 Mpa	50-100	7
Qualité du massif estimé RQD1	73%	50-75	13
Espacement entre les discontinuités	0,054 m	>50mm	10
Conditions des discontinuités	discontinuités de faiblement rugueuse, avec une séparation inférieure de 1 mm face souples	Condition2	20
Venus d'eaux souterraines	pas de venus d'eau souterraines conditions générales sec.	Condition générale sec	15

Pour classe le RMR d'après Beniaowski en utilise la formule suivant :

$$\text{RMR}_{\text{de base}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

$$\text{RMR } 2=7+13+10+20+15=65$$

### IV-3-5-Classification RMR3 du gradin 3:

Pour classe le RMR d'après Beniaowski en utilise la formule suivant :

$$\text{RMR}_{\text{de base}} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

A1 : Compression (Co) de la roche intacte est : 17,8 Mpa

A2 : Qualité du massif estimé RQD1 est: 53,6%

A3 : Espacement entre les discontinuités est : 0.042 inférieurs de 60 mm

A4 : Conditions des discontinuités : discontinuités de faiblement rugueuse, avec une séparation inférieure de 1 mm face souples

A5 : Venus d'eaux souterraines : pas de venus d'eau souterraines conditions générales sec.

La valeur de RMR représenté dans le tableau suivant :

**Tableau. IV.6.** Classification RMR 3 du gradin 3 (couche de marne)

Paramètre	Paramètre Estimé	Classe	La valeur
Compression (Co) de la roche intacte	17,8 Mpa	5-25	2
Qualité du massif estimé RQD1	56,6%	50-75	13
Espacement entre les discontinuités	0,042 m	>50mm	10
Conditions des discontinuités	discontinuités de faiblement rugueuse, avec une séparation inférieure de 1 mm face souples	Condition2	20
Venus d'eaux souterraines	pas de venus d'eau souterraines conditions générales sec.	Condition générale sec	15

Pour classe le RMR d'après d'après Beniaowski en utilise la formule suivant :

$$\mathbf{RMR \text{ de base} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5}$$

$$\mathbf{RMR \text{ 3} = 2 + 13 + 10 + 20 + 15 = 60}$$

$$\mathbf{RMR \text{ global} = \frac{RMR1 + RMR2 + RMR3}{3}}$$

$$\mathbf{RMR \text{ globale} = \frac{65 + 65 + 60}{3} = 63.33}$$

**Tableau.IV.7.**Classification RMR globale

Les gradins	RMR de base	Classe	Qualité de roche
G1	65	II	Bonne
G2	60	III	Moyenne
G3	65	II	Bonne
RMR globale	63.33	II	Bonne

#### IV-4- Calcule cohésion:

D'après (Bieniawsk 1997) en utilise la formule suivant pour estimer la cohésion :

$$C_{\text{éq}} \text{ (kPa)} \approx 5 \text{ RMR}$$

**Tableau .IV.8.** La présentation des valeurs de la cohésion

Couche	RMR	Céq(MPA)
Calcaire(1)	65	0.3
Calcaire(2)	65	0.3
Marne (3)	60	0.275

#### IV-5- Calcule l'angle de frottement:

D'après (Trunck&Hönisch, 1989) en utilise la formule suivant pour estimer l'angle de frottement :

$$\Phi_{\text{éq}} \text{ (deg)} = 0,5 \text{ RMR} + 8,3 \pm 7,2$$

**Tableau.IV.9.**la présentation des valeurs de l'angle de frottement

Couche	RMR	$\Phi_{\text{éq}}$ (deg)
Calcaire(1)	65	33,3
Calcaire(2)	65	33,3
Marne (3)	60	30.8

#### IV-6-Calcule le module de young :

D'après (Serafim& Pereira, 1983) en utilise la formule suivant pour estimer le module de young:

$$E_{\text{éq}} \text{ (GPa)} = 10^{(RMR-10)/40}$$

**Tableau.IV.10.**la présentation des valeurs de module de young

Couche	RMR	$E_{\text{éq}}$ (GPa)
Calcaire(1)	65	17,78
Calcaire(2)	65	17,78
Marne (3)	60	13,33

#### IV-7-Classification GSI:

Après avoir calculé les taux RMR le GSI est déterminé comme suit :

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad \text{si } RMR_{89} > 23$$

**Tableau. IV.11.** la présentation des valeurs de classification de GSI

Couche	RMR	GSI	Classe	Qualité de massif
Calcaire	60	55	41-55	Moyenne
Marne	55	50	41-55	Moyenne
Globale	58,3	53,3	41-55	Moyenne

$$\text{GSI globale} = \frac{\text{GSI1} + \text{GSI2} + \text{GSI3}}{3}$$

$$\text{GSI globale} = \frac{55 + 55 + 50}{3} = 53.3$$

GSI globale=53.3

#### IV-8-classification de SMR :

Tableau. IV.12. Classification de SMR de gradin 1.

Couche	Calcaire					
Paramètre	RMR de base	F1	F2	F3	F4	SMR
Note	65	0.15	1	-6	0	65.15

Tableau. IV.13. Classification de SMR de gradin 2.

Couche	Calcaire					
Paramètre	RMR de base	F1	F2	F3	F4	SMR
Note	66	0,15	0,15	-6	0	65,15

**Tableau .IV.14.** Classification de SMR de gradin 3.

Couche	Marne					
Paramètre	RMR de base	F1	F2	F3	F4	SMR
Note	60	1	0,15	-25	0	50

Les résultats de SMR montrent que la couche de calcaire est stable et la couche de marne partiellement stable.

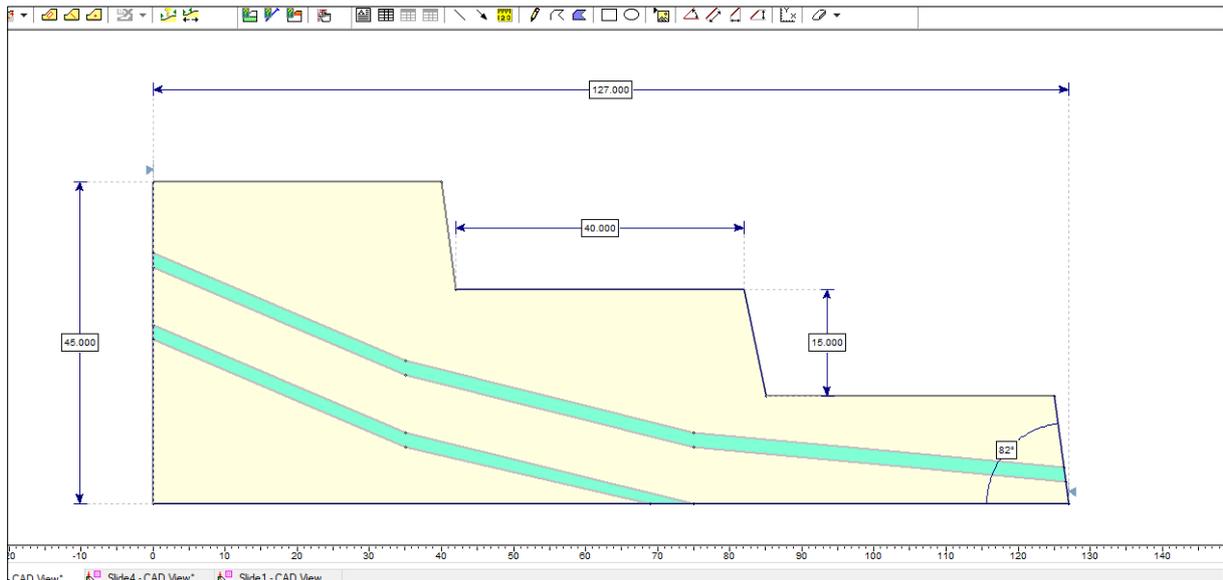
#### **IV-9-Etude de stabilité par la méthode d'équilibre limite par logiciel SLIDE:**

L'étape suivante consiste à étudier la stabilité des talus dans les trois gradins par la méthode d'équilibre limite (Slide) en utilisant différents approches (GLE/morgenstren-price, spencer, Bishop simplifiée) afin de déterminer un facteur de sécurité, Les propriétés physico-mécaniques du massif sont présenté dans le tableau (**Tableau .IV.15.**).

**Tableau .IV.15.** Les caractéristiques physico-mécaniques du massif.

Paramètre	Céq (kPa)	Φéq (deg)	Eéq (GPa)	γ (kN/m <sup>3</sup> )
Calcaire	300	33,3	17,78	25,51
Marne	300	30,8	13,33	22,54
Calcaire	257	33,3	17,78	25,54

Le domaine étudié s'étend sur une largeur d'environ 127 m, de hauteur de 45 m, Il est Constitué de gradins dont la largeur de la plate-forme de travail d'environ de 40 m et l'angle d'inclinaison de talus de gradin  $82^\circ$  et la hauteur des gradins et de 15 m



**Figure. IV.10.** Profil du site d'étude

Le calcul du coefficient  $F_s$  de sécurité a été réalisé à l'aide du logiciel Slide en utilisant la méthode d'équilibres limites (méthodes déterministes). Il suffit d'introduire les paramètres physico-mécaniques du massif rocheux, les coordonnées (X, Y), les paramètres géométriques du modèle à étudier ainsi que le niveau de la nappe d'eau (le modèle étudié n'est pas influencé par la nappe d'eau).

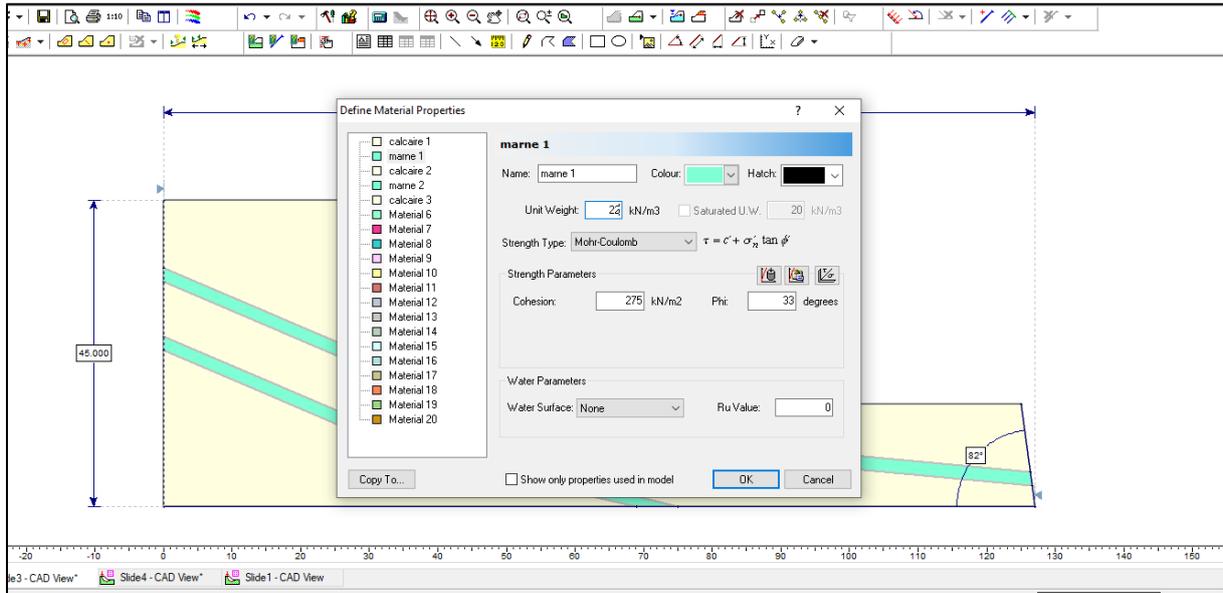


Figure. IV.11. Phase d'introduction les caractéristiques physico-mécaniques du massif

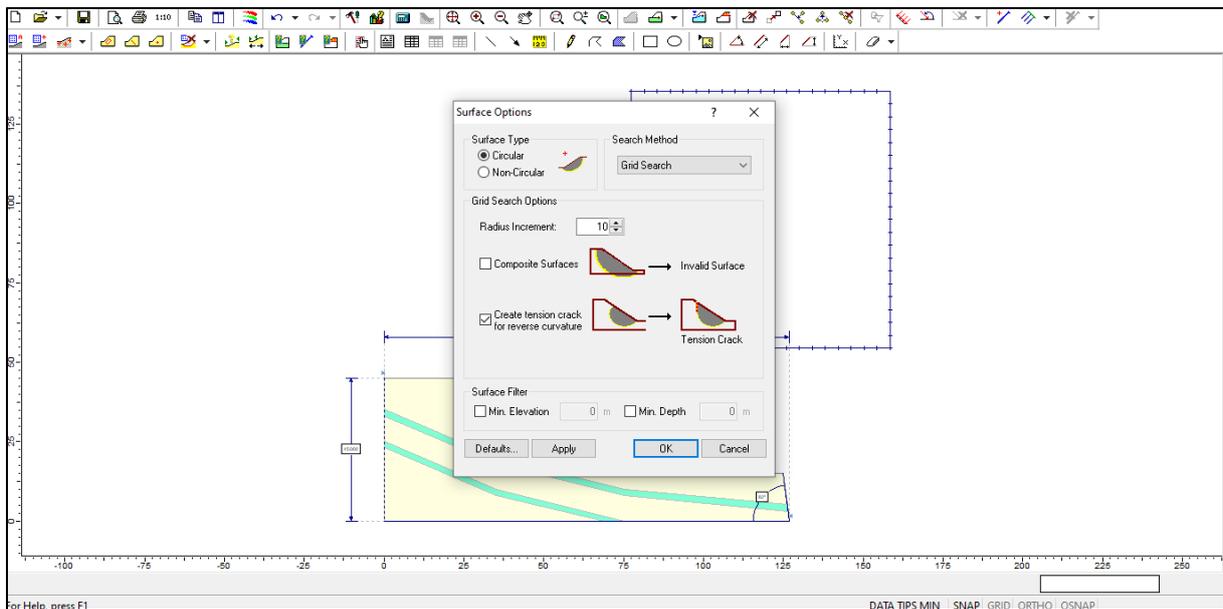


Figure. IV.12. Choix de type de glissement.

On a choisi 3 méthodes de calcul : Bishop simplifiée, spenser, GLE/morgenn.

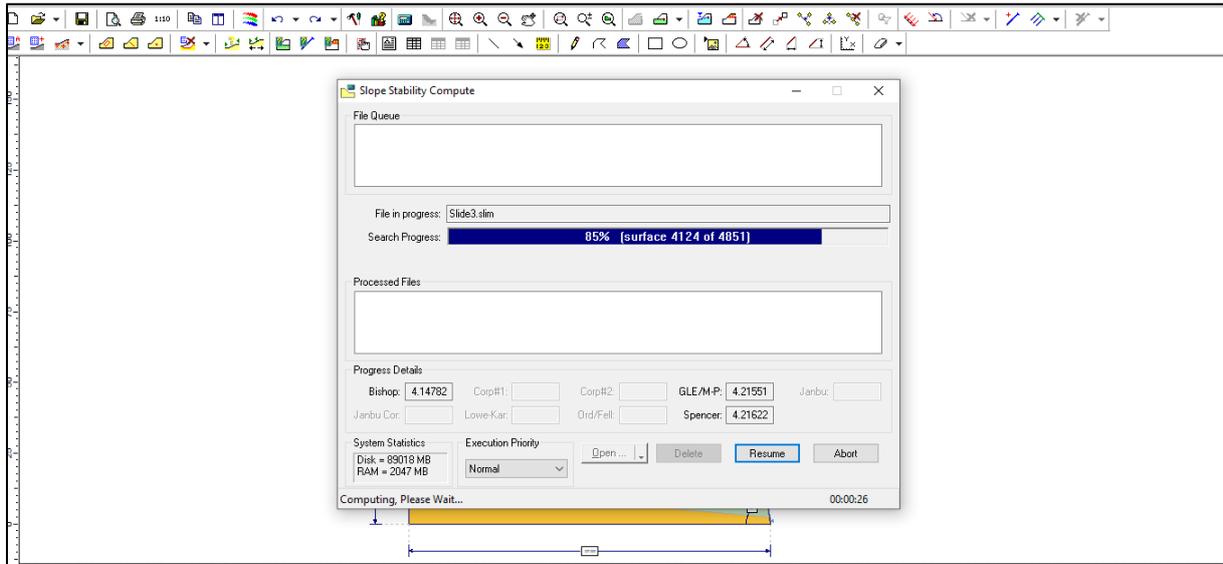


Figure. IV.13. phase de calcul.

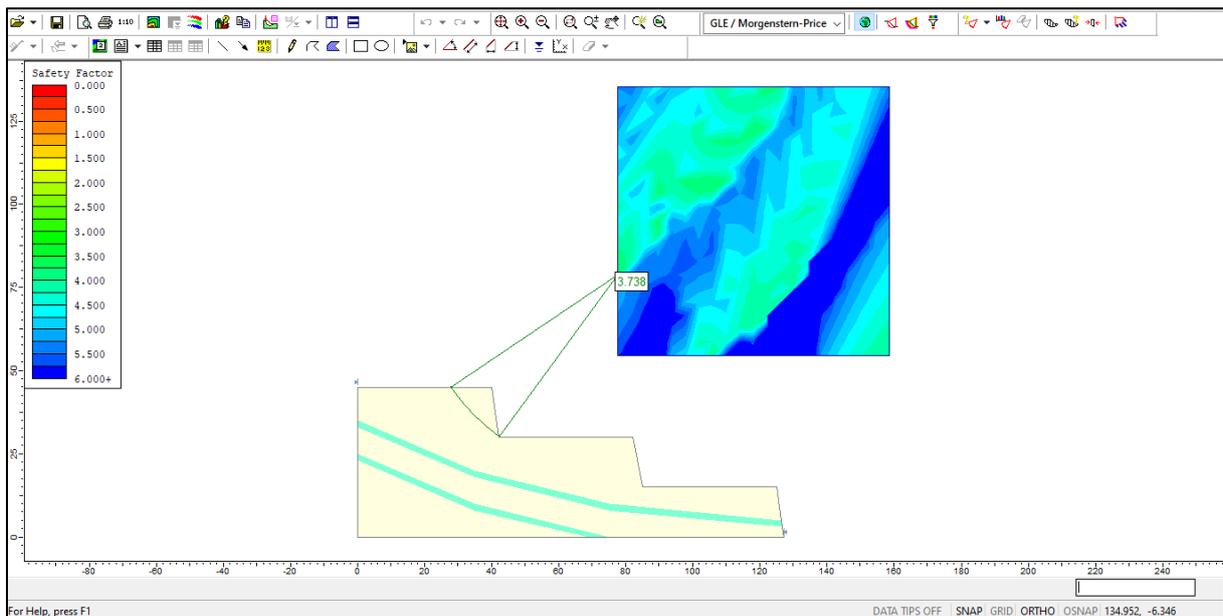


Figure. IV.14. Le coefficient de sécurité selon l'approche de GLE/morgenstren-price.

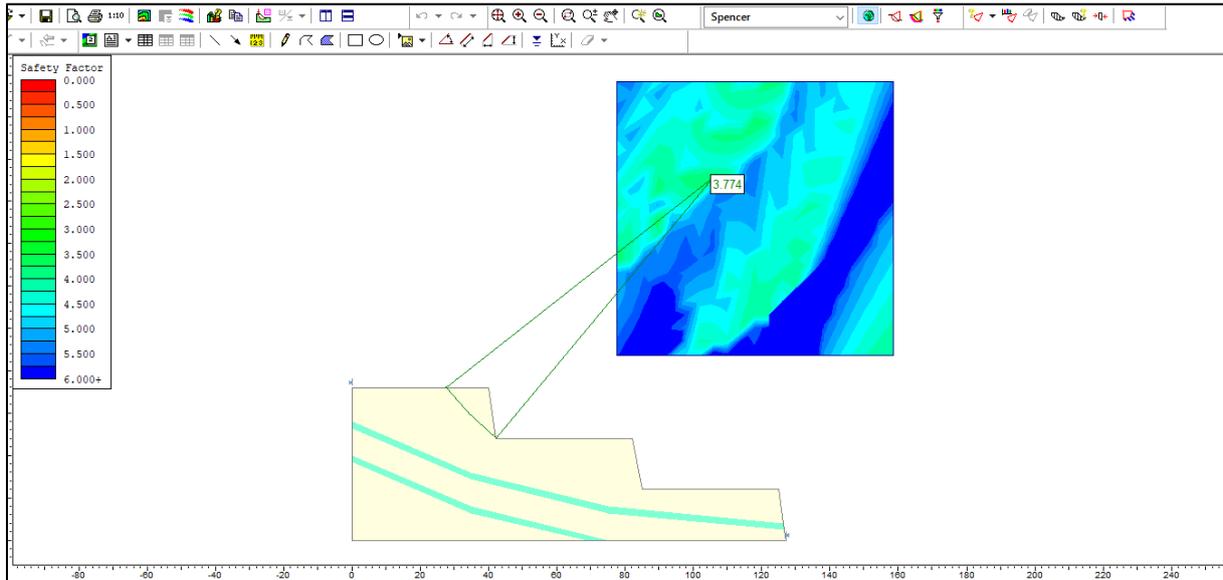


Figure.IV.15.Le coefficient de sécurité selon l'approche de spencer.

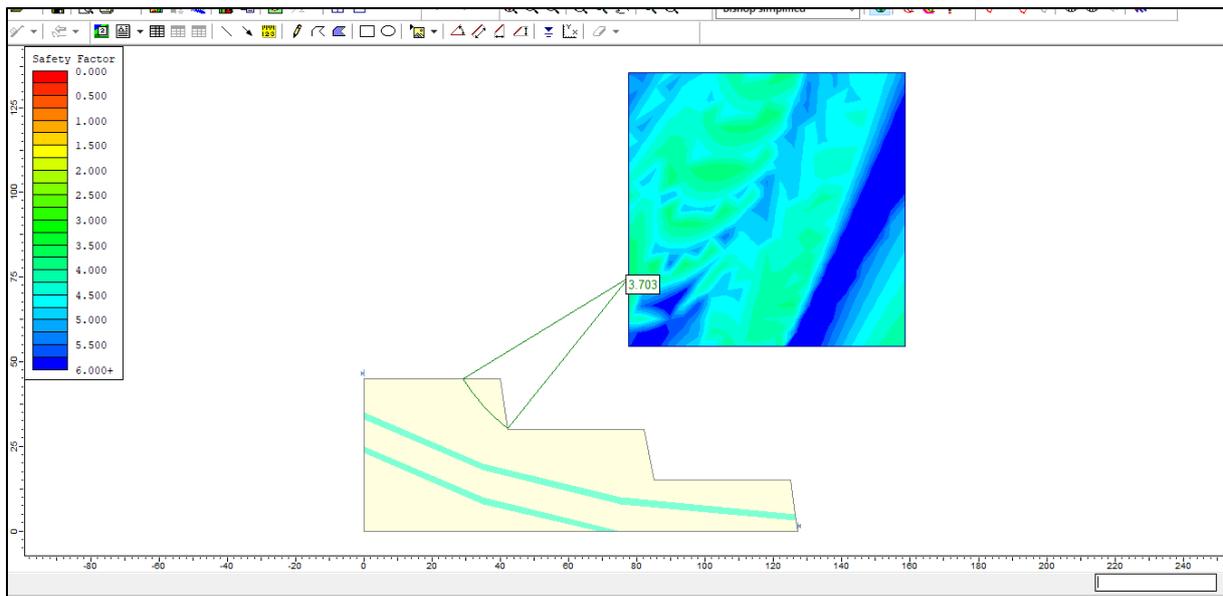


Figure. IV.16.Le coefficient de sécurité selon l'approche de Bishop simplifiée.

**Tableau. IV.16.** Les valeurs de Fs selon les différentes méthodes de calcul précédent.

Les approches	GLE/morgenstren-price	Spencer	Bishop simplifiée
Fs	3,738	3,774	3,703

LES RESULTATS OBTENUS DE FACTEUR DE SECURITE PAR LES DEFIRENT APPROCHES MONTRE UNE STABILITE TOTALE DES GRADINS.

#### **IV-10- Conclusion :**

Dans ce chapitre, l'évaluation de la stabilité de la carrière d'aine kbira a été faite par une classification des massifs utilisant différent systèmes RQD, RMR, SMR, GSI et une méthode équilibre limite par logiciel Slide.

Les résultats montre une bonne qualité de calcaire avec une qualité moyenne de marne ce qui justifier par SMR (calcaire stable et marne partiellement stable).

La valeur de facteur de sécurité montre une stabilité totale à moyenne terme.

**CONCLUSION**  
**GENERALE**

**Conclusion générale :**

L'objectif de cette recherche est d'identifier les différents modes de rupture probable pour l'étude de stabilité à l'intérieur de nouveau site de la carrière de cimenterie Ain Kebira comme cas d'étude présentant la plus importante carrière de granulats dans la wilaya de Sétif.

Cette étude est basée sur deux étapes : une caractérisation de la qualité du massif rocheux et de ses propriétés mécaniques après une modélisation numérique par la méthode d'équilibre limite (Slide) pour calculer le facteur de sécurité

Les résultats des classifications RQD RMR, GSI, nous indiquent que le massif rocheux de la carrière de Djebel MEJOUNES est constitué de formations de moyenne à bonne qualités. Les résultats de la classification SMR montrent que la carrière présente une stabilité optimale au niveau des formations rocheux.

D'une manière générale, la méthode empirique SMR reste un outil d'analyse rapide qui peut donner une idée générale sur les pentes des talus stables en se basant sur des paramètres qualitatifs, Par contre, cette méthode ne peut pas garantir des résultats fiables.

L'étude de stabilité par la méthode d'équilibre limite par logiciel SLIDE du comportement de l'ouvrage présente stabilité totale par différents approches avec facteur de sécurité supérieur à trois :GLE/morgenstren-price  $FS=3,738$ , spencer  $FS=3,744$ ,Junbu, Bishop simplifiée  $FS =3,703$ ) se qui encouragé l'exploitation de ce gisement en toute sécurité.

# **LES ANNEXES**

## LES ANNEXES

## Annexe 01 : Notes des paramètres du SMR (Romana, 1985). [11]

<b>SMR= RMR<sub>débase</sub> + (F1*F2*F3) + F4</b>						
Facteurs d'ajustement liés aux joints (F1, F2, F3).	$\alpha_j$ =Direction du pendage des joints $\beta_j$ =Pendage du joint $\alpha_s$ =Direction du pendage du talus $\beta_s$ =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^\circ  =$						
Valeur de F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1	
Relation	$F1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_s )^2$					
$ \beta_j  =$	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°	
La valeur	Rupture plane	0,15	0,4	0,7	0,85	1
	Basculement	1				
Relation	$F2 = \text{tg}^2 \beta_j$					
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	F3 = Ajustement de BIENIAWSKI pour l'orientation des joints, 1976					
F4 : Facteur d'ajustement pour la méthode d'ajustement	F4=Valeur empirique de la méthode d'excavation.					
	Talus naturels	Presplitting	Smooth blasting	Explosif ou mécanique	Deficient blasting	
Valeur de F4	15	10	8	0	-8	

**Annexe 02** : Description des classes SMR (Romana, 1985). [11]

Description des classes SMR										
CLASSE N°	Vb	Va	IVb	IVa	IIIb	IIIa	IIb	IIa	Ib	Ia
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	reexcavation		Important/corrective		systematic		occational		Aucune	

## Annexe 03 : Notes des paramètres du RMR (Romana, 1985). [11]

PARAMETRES			COEFFICIENTS						
1	Résistance de la Roche (MPa)	Indice Franklin (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		>2m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2m	<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		
		Hydro-Géologie	Complètement sec	Humide	Suintements (eau interstitielle)	Pression d'eau modérée	Problèmes sérieux de venues d'eau		
	Note		15	10	7	4	0		

**LA**  
**BIBLIOGRAPHIE**

## LA BIBLIOGRAPHIE

[1] Transvalor - Presses des MINES, 2010 60, boulevard Saint-Michel - 75272 Paris Cedex 06 - France email : presses@ensmp.fr <http://www.ensmp.fr/Presses> © Photo de couverture : Michel Chalhoub ISBN : 978-2-911256-26-4 Dépôt légal : 2009 Achevé d'imprimer en 2010(Paris) Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous les pays.

[2] BULLETIN DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSÉES - 211 - SEPTEMBRE-OCTOBRE 1997 - RÉF. 4154 - pp. 73-

[3] FLEURISSON Centre de Géologie de l'Ingénieur École des mines de Paris École nationale des ponts et chaussées Université de Marne-la Vallée, Bâtiment IFI 5, bd Descartes Champs-sur-Marne 77454 Marne-la-Vallée Cedex 2 [fleurisson@cgi.ensmp.fr](mailto:fleurisson@cgi.ensmp.fr)

[4] Gadri Larbi., 2012, << étude de la déformation et de la rupture des massifs fissurés, cas de la mine sous terrain de bokhadra>>, Mémoire Présenté Pour l'obtention de diplôme de doctorat en science option exploitation minière, Université badji Mokhtar Annaba.

[5][https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement\\_territoire/orientations\\_gouvernementales/glissements\\_terrains\\_types\\_causes.pdf](https://www.mamh.gouv.qc.ca/fileadmin/publications/amenagement_territoire/orientations_gouvernementales/glissements_terrains_types_causes.pdf)

[6] Mr. ZAHRI F, 2017, << Contribution à l'étude de la stabilité des massifs rocheux par modélisation numérique (Cas des carrières de granulats de Sétif - Algérie)>>, THÈSE Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences.