



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 العربي التبسي - تبسة  
Université Larbi Tebessi – Tébessa  
معهد المناجم  
Institut des mines  
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا  
Département des mines et de la géotechnologie



## MEMOIRE

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

Filière : Génie minier

Option : Géotechnique

# Diagnostic géomécanique d'une mine à ciel ouvert

Présenté et soutenu par

Brahim MAKHLOUF

Devant le jury :

	Grade	Etablissement	
Président :	MR. BERRAH Yacine	MCB	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Encadreur :	MR.Zied BENGHAZI	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa
Co-encadreur :	MR.Ilyas HEZAIMIA	Dr.	/
Examineur :	MR. HAMDANE Ali	MAA	Université Larbi Tebessi - Tébessa

# DEDICACES

Je voudrais enfin dédier mon mémoire à ma mère et mon père, à ma femme qui m'a donné l'énergie nécessaire pour terminer mon travail, à mes beaux jumeaux Djoud, Jouri sans oublier le petit Karam que j'embrasse très fort ainsi que mes frères et sœurs que j'adore. Une pensée à mes amis et tous mes camarades.

Brahim

## REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu ALLAH qui m'a donné le courage  
et la volonté afin de

Pour suivre des études en master.

Je remercie mon promoteur Mr.BENGHAZI Zied pour  
l'encadrement de ce mémoire et pour la confiance qu'il m'a  
accordée.

Je tiens à remercier les membres du Jury Mr.HAMDANE  
ALI, BERRAH Yacine et HEZAIMIA Ilyes.

Pour avoir accepté de faire partie du Jury de ce mémoire  
Je remercie également l'ensemble des enseignants qui ont  
assuré l'excellente formation dans le département des mines  
et géotechnologie à L'université de Tébessa.

Brahim

## **Résumé**

Le rôle de la géotechnique est primordial dans les différentes phases du cycle de vie des mines. Où toutes les missions de la géotechnique interviennent, en partant de la phase de reconnaissance, en passant par la conception pour assurer la stabilité et la sécurité du site minier, jusqu'au diagnostic et travaux d'expertise en cas de problèmes géotechniques.

Ce travail est un diagnostic géomécanique des talus de la côte Nord-ouest de la mine à ciel ouvert de Djebel Onk (Kef – Essnoun, Wilaya de Tébessa). Vu l'importance de ce gisement pour l'économie régionale et nationale.

Dans le but de déterminer le comportement géomécanique et la qualité du massif dans la zone d'étude, des essais en laboratoire ont été faits pour obtenir ses propriétés physico-mécaniques. Une modélisation numérique a été réalisée ensuite pour évaluer la stabilité des talus du massif.

Les résultats montrent que la qualité des formations rocheuses du massif est moyenne, et que les talus de la zone d'étude sont stable.

## **Mots-clés**

Géotechnique; Mines à ciel ouvert; Diagnostic géomécanique; stabilité des talus, modélisation.

## ملخص

يعتبر دور الجيوتقنية أساسيا في مختلف مراحل دورة حياة المناجم. حيث تدخل كل مهام الجيوتقنية انطلاقا من مرحلة الاستكشاف، مرورا بالتصميم من أجل ضمان استقرار وأمان الموقع المنجمي، وإلى غاية التشخيص وأعمال الخبرة في حال وجود مشاكل جيوتقنية.

هذا العمل هو تشخيص جيوميكانيكي لمنحدرات الجهة الشمال غربية للمنجم السطحي جبل العنق (كاف السنون – ولاية تبسة). نظرا لأهمية هذا المخزون المعدني للاقتصاد المحلي والوطني.

من أجل تحديد السلوك الجيوميكانيكي ونوعية الكتل الصخرية في منطقة الدراسة، تم إجراء عدد من التجارب المخبرية للحصول على خصائصها الفيزيائية والميكانيكية. ثم تم إجراء نمذجة رقمية لتقييم مدى استقرار منحدرات هذه الكتلة الصخرية.

أظهرت النتائج أن التكوينات الصخرية في المنطقة ذات نوعية متوسطة، وأن المنحدرات الصخرية مستقرة في ذات المنطقة المدروسة.

## كلمات مفتاحية

جيوتقنية؛ مناجم سطحية؛ تشخيص جيوميكانيكي؛ استقرار المنحدرات؛ نمذجة

## **Abstract**

The role of geotechnics is essential in the different phases of the mine life cycle. Where the geotechnical missions must follow all the phases of investigation, going through the design to ensure the stability and safety of the mining site, to the diagnosis and expertise work in the event of geotechnical problems.

This work is a geomechanical diagnosis of the slopes of the Northwest coast of the open-cast mine of Djebel Onk (Kef - Essnoun, Wilaya of Tébessa). Given the importance of this deposit for the regional and national economy.

To determine the geomechanical behavior and the quality of the rock mass in the study area, laboratory tests were performed to obtain its physicommechanical properties. Numerical modeling was then carried out to assess the stability of the slopes of the massif.

The results show that the quality of the rock formations in the massif is average and that the slopes of the study area are stable.

## **Keywords**

Geotechnics; Open-pit mines; Geomechanical diagnosis; slope stability, modeling.

# Sommaire

Titre	page
Dédicace	i
Remerciement	ii
Résumé	iii
ملخص	iv
Abstract	v
Sommaire	vi
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	x
Notations et abréviations	xii
Chapitre I : Les mines à ciel ouvert	2
I.1. Introduction	3
I.2. Définition de quelques termes miniers	3
I.3. Critères de choix entre l'exploitation à ciel ouvert et souterraines	5
I.4 mines à ciel ouverts (méthodes d'exploitation à ciel ouvert, éléments d'une a mine ciel ouvert)	6
I.4.1. Méthodes d'exploitation à ciel ouvert	6
I.4.2. Principaux éléments d'une exploitation à ciel ouvert	9
I.5. Rôle de la géotechnique dans les mines à ciel ouvert	10
I.6. Conclusion	11
Chapitre II : Problèmes géotechniques dans les mines à ciel ouvert	12
II.1.Introduction	13
II.2. problèmes et risques géotechnique dans les mines à ciel ouvert	13
II.3. Evaluation des risques	15
II.4. Mesures de prévention	17
II.5. stabilité des talus des mines à ciel ouvert	22
II.5.1. Position du problème	22
II.5.2 Angle général du talus	24
II.5.3. Description des modes de rupture potentiels	25
II.5.3.1. Rupture plane	26
II.5.3.2 Rupture circulaire	27
II.5.3.3. Rupture de dièdres	29
II.5.3.4. Rupture par basculement	29
II.5.4. Étude de stabilité et le dimensionnement d'une exploitation à ciel ouvert	30
II.5.5. Caractérisation du massif rocheux	30
II.5.5.1. Résistance au cisaillement	31
II.5.5.2. Orientations des fissures	32
II.5.5.6. Principe du dimensionnement	33
II.6. Conclusion	36

Chapitre III : Présentation du cas d'étude	37
III.1. Introduction	38
III.2. Historique et méthodologie des recherches géologique au Djebel Onk	38
III.3. Situation géographique	39
III.3.1. Situation géographique régionale de Djebel Onk	39
III.3.2. Genèse de formation des phosphates	42
III.3.3. Stratigraphie	44
III.3.4. Tectonique	47
III.5. Contexte géologique local de Kef Essnoun	48
III.5.1. Stratigraphie	49
III.5.2. Tectonique	50
III.6. Aperçu hydrogéologique	51
III.6.1. Les eaux de surfaces	51
III.6.2. Les eaux souterraines	51
III.7. Aperçu sur l'exploitation du gisement de Kef Essnoun	52
III.7.1. Caractéristiques géo-minières de Kef Essnoun	52
III.7.2. Méthodes et paramètres d'exploitation	53
III.8. Situation de Kef Essnoun vis-à-vis de la stabilité	53
III.8.1. Histoire et explication du problème	54
III.8.2. Caractéristiques des glissements de terrain	56
III.8.3. Cartographie de la zone de glissement	56
III.8.4. Identification du glissement de terrain	58
III.9. Diagnostiquer la cause de l'instabilité du côté nord-est du Kef Essenoun	59
III.9.1. La Présentation du problème	59
III.10. Facteurs qui déclenchent le glissement de terrain	61
III.10.1. Facteurs géologiques	62
III.10.2. Facteurs d'exploitations	64
III.10.3. Facteurs techniques	64
III.11. Conclusion	65
Chapitre IV : Diagnostic géomécanique du flan nord-ouest de Kef Essnoun	66
IV.1. Introduction	67
IV.2. Propriétés physico-mécaniques	67
IV.3. Classification des massifs rocheux dans flanc Nord-Ouest de la mine de Kef Essnoun	70
IV.3.1. Évaluation de la fissuration	71
IV.3.2. Traitement de données (projection stéréographique)	72
IV.3.3. Fissuration	75
IV.4. Diagnostic géomécanique du site	76
IV.4.1. Détermination du RQD (Rock Quality Designation)	77
IV.4.2. Détermination du RMR	79
IV.4.3. Classification GSI	79
IV.4.4. Indice SMR (cote de masse de la pente)	80
IV.5. étude la stabilité actuelle de flanc nord-ouest de la mine de Kef Essnoun	82



IV.5.1. Modélisation de la stabilité par Slide 6.0	83
IV.5.2. Calcul du coefficient de sécurité	85
IV.5.3. Paramètres de calcul	85
IV.5.3.1. Paramètres géologiques	85
IV.5.3.2. Paramètres géotechniques	86
IV.5.3.3. Résultats de calcul des coefficients de sécurité	86
IV.6. Conclusion	88
Conclusion générale et recommandations	89
Bibliographie	91
Annexe A : Calcul du RQD	I
Annexe B : Observation et caractérisation des discontinuités	III

## Liste des tableaux

<b>Titre</b>	<b>page</b>
<b>Tableau III.1</b> - Paramètres d'exploitation tableau récapitulatif des paramètres d'exploitation 2021.	53
<b>Tableau IV.1</b> - Résultats des essais de la compression uni axiale.	67
<b>Tableau IV.2</b> - Résultats des essais de la résistance à la traction.	68
<b>Tableau IV.3</b> - Résultats des essais de la résistance au cisaillement.	68
<b>Tableau IV.4</b> - Indice de charge ponctuelle des échantillons.	69
<b>Tableau IV.5</b> - Cohésion des échantillons.	69
<b>Tableau IV.6</b> - Angle de frottement des échantillons.	69
<b>Tableau IV.7</b> - Module de Young des échantillons.	70
<b>Tableau IV.8</b> - Ratio Poisson.	70
<b>Tableau IV.9</b> - Densité des échantillons.	70
<b>Tableau IV.10</b> - RQD des différents faciès.	78
<b>Tableau IV.11</b> - Classification des formations rocheuses du Kef Essenoun Nord-Ouest (système.RMR).	78
<b>Tableau IV.12</b> - Classification GSI du massif rocheux de Kef Essnoun.	79
<b>Tableau IV.13</b> - Orientation des familles des discontinuités les plus importantes.	81
<b>Tableau IV.14</b> - Orientation des joints et le talus.	81
<b>Tableau IV.15</b> - Valeur du SMR des différentes formations géologiques.	82
<b>Tableau IV.16</b> – Paramètres géotechniques des différentes formations géologiques.	85
<b>Tableau IV.17</b> – Valeurs des coefficients de sécurité.	86
<b>Tableau A.1</b> – Détail du calcul du RQD.	II

## Liste des tableaux

Titre	page
<b>Figure I.1</b> - La vie d'une mine.	4
<b>Figure I.2</b> - Schéma de l'exploitation par découvert.	7
<b>Figure I.3</b> - Schéma de l'exploitation par fosse.	8
<b>Figure I.4</b> - Principaux éléments d'une exploitation à ciel ouvert.	10
<b>Figure II.5</b> - Fissuromètre.	19
<b>Figure II.6</b> - Tachéomètre.	19
<b>Figure II.7</b> - Scan laser 3D.	20
<b>Figure II.8</b> - Élimination des masses instables et des masses éboulées (Purge, Abattage, Reprofilage).	21
<b>Figure II.5</b> - Exemple d'une mine à ciel ouvert (Jouac).	23
<b>Figure II.6</b> - Définition d'un talus minier.	23
<b>Figure II.7</b> - Angle général d'un talus.	24
<b>Figure II.8</b> - Influence de l'angle général sur le volume de stérile extrait.	25
<b>Figure II.9</b> - Rupture plane.	26
<b>Figure II.10</b> - Exemple de rupture plane dans une carrière à ciel ouvert de gypse par glissement de bancs le long d'une stratification défavorable (Mazan).	26
<b>Figure II.11</b> - Rupture par loupe de glissement.	27
<b>Figure II.12</b> - Exemples de rupture circulaire.	27
<b>Figure II.13</b> - Rupture d'un dièdre (les fissures naturelles sont hachurées).	28
<b>Figure II.14</b> - Exemples de rupture de dièdres.	28
<b>Figure II.15</b> - Rupture par basculement.	29
<b>Figure II.16</b> - Principe de l'essai de cisaillement.	31
<b>Figure II.17</b> - Projection stéréographique dans l'hémisphère inférieur (Wulf).	33
<b>Figure II.18</b> - Equations d'équilibre le long de la discontinuité.	34
<b>Figure II.19</b> - Conditions de stabilité lorsque $C = 0$ (discontinuité).	35
<b>Figure III.9</b> - Carte de situation géographique des gisements de phosphates de la région de Djebel Onk (D'après SO.NA.R.E.M., 1978).	40
<b>Figure III.10</b> - Carte de situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk (D'après Priant et Cortial, 1993). FERFOS.	41
<b>Figure III.11</b> - Schéma de phosphato-genèse, (Kazakov, 1930).	43
<b>Figure III.12</b> - Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk (Cielensky et Benchernine, 1987).	46
<b>Figure III.13</b> - Carte géologique du Djebel Onk.	47
<b>Figure III.14</b> - Plan topographique de Kef Essnoun (SOMIPHOS, ANNEXE II).	48
<b>Figure III.15</b> - Structure de la couche de phosphate dans la zone de Kef Essnoun et localisation des sondages carottés (Prian et Cortiel, 1993).	50
<b>Figure III.16</b> - Photo montrant le glissement affectant la carrière de Kef	54

Essnoun (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).	
<b>Figure III.17</b> - Photos montrant une vue générale de la carrière de Kef Essnoun avant le glissement (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).	55
<b>Figure III.18</b> - Photo montrant une vue d'ensemble du glissement de Kef Essnoun (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).	55
<b>Figure III.19</b> - Coupe géologique Nord-Sud de la carrière de Kef Essnoun après le glissement (Somiphos, l'ANGCM et S.G.N, 2007).	56
<b>Figure III.20</b> - Photos mettant en évidence la fissuration tout autour en amont du glissement de Kef Essnoun du 2007 (SOMIPHOS, 2007).	57
<b>Figure III.21</b> - Coupe géologique Nord-Sud montrant les fissures en amont du glissement (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).	58
<b>Figure III.22</b> - Photo montrant la configuration générale de l'exploitation du gisement de Kef avant et après le glissement du 2007 (Photo Google Earth, 2021).	59
<b>Figure III.23</b> - Coupe montrant la situation de la carrière avant le glissement du 2007 et le renforcement proposé (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).	60
<b>Figure III.24</b> - Coupe montrant la situation de la carrière après le glissement du 2007 et le renforcement proposé (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).	60
<b>Figure III.25</b> - Photo montrant un exemple des fissures apparues en 2013 (SOMIPHOS, 2013).	61
<b>Figure III.26</b> - Synthèse structurale de Djebel Onk à l'intérieur du bassin de Gafsa - Métloui - Onk (Aissaoui, 1984 in Dassamiour Mohamed, 2012).	62
<b>Figure III.27</b> - Photo montrant les dimensions des fronts d'exploitation.	63
<b>Figure IV.28</b> - Observation et caractérisation des discontinuités.	71
<b>Figure IV.2</b> - Diagramme du plan de discontinuité dans la zone 01 calcaire dano-montien.	72
<b>Figure IV.3</b> - Diagramme du plan de discontinuité dans la zone 02 thanetien sup (phosphate).	73
<b>Figure IV.4</b> - Diagramme du plan de discontinuité dans la zone 04 calcaire Ypresien.	74
<b>Figure IV.5</b> - Localisation des stations de mesure sur le flanc Nord de Kef Essnoun.	74
<b>Figure IV.6</b> - Discontinuité de la fissuration du gisement.	75
<b>Figure IV.7</b> - Photo carotte de sondage KES 06.	77
<b>Figure IV.8</b> - Valeur de GSI pour le déférent type de roche de Kef Essnoun.	80
<b>Figure IV.9</b> - Mise à jour topographique du Mois de Mai 2021 .	83
<b>Figure IV.10</b> - Les coupes géologiques actualisées selon la mise à jour du mois de mai 2021.	84
<b>Figure IV.11</b> - Model géotechnique de la coupe 1-1.	86
<b>Figure IV.12</b> - Model géotechnique de la coupe 2-2.	87
<b>Figure IV.13</b> - Model géotechnique de la coupe 3-3.	87

## Notations et abréviations

Notation/ Abréviation	Signification	Unité
b	Largeur d'une banquette	(m)
C	Cohésion	(MPa)
Fs	Coefficient de sécurité	-
GPS	Guidage par satellite	-
GSI	Indice de résistance géologique	-
H	Profondeur de la fosse	(m)
$h_g$	Hauteur du gradin	(m)
RQD	Rock Quality Designation	(%)
SMR	Slope Mass Rating	-
$\alpha_g$	Angle du gradin	(°)
$\alpha_T$	Angle général du talus	(°)
$\sigma_n$	Contrainte normale	(MPa)
$\tau$	Contrainte de cisaillement	(MPa)
$\varphi$	Angle de frottement interne	(°)
$\varphi_{ech}$	Angle de frottement interne de l'échantillon	(°)

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Le rôle de la géotechnique est primordial dans les différentes phases du cycle de vie des mines. Où toutes les missions de la géotechnique interviennent, en partant de la phase de reconnaissance, en passant par la conception pour assurer la stabilité et la sécurité du site minier, jusqu'au diagnostique et travaux d'expertise en cas de problèmes géotechniques.

Les mines à ciel ouvert nécessitent l'excavation de la surface de la terre pour atteindre les minéraux sous-jacents d'utilité économique. Le processus d'excavation nécessite la formation de pentes coupées sur une surface de terre plate antérieure.

La stabilité des pentes coupées est cruciale pour les opérations minières sûres et économiques. La stabilité de la pente est régie par les caractéristiques géologiques et géotechniques locales de la masse formant la pente et les conditions dominantes des eaux souterraines (Singh et al. 1998; Singh et al. 1999).

Ce travail se réfère à l'évaluation géomécanique et étudier la stabilité des talus de la côte Nord-ouest carrière de Djebel Onk (Kef – Essnoun, Wilaya de Tébessa).

Dans le but de déterminer le comportement géomécanique et la qualité du massif dans la zone d'étude. A ces fins, cette monographie est basée sur des essais en laboratoire pour obtenir les propriétés physico-mécaniques et l'analyse in situ des paramètres géomécanique.

Les différentes parties de ce mémoire sont organisés dans quatre chapitres comme suit :

- Le premier chapitre, nous avons d'écrit généralité les mines à ciel ouvert
- Dans le deuxième chapitre, nous a permis d'aborder problème géotechnique de mines à ciel ouvert.
- Dans le troisième chapitre, nous avons d'écrit la présentation de site de Kef - Essnoun.
- Dans le quatrième chapitre, nous avons traité les propriétés physico-mécaniques de massifs rocheux de côte nord-ouest de Kef Essnoun et la classification du massif rocheux de cette région. Nous avons calculé la stabilité de la côte nord-ouest de la mine de Kef Essnoun.

Enfin, nous terminons par une conclusion générale qui souligne l'apport incontestable de notre travaille.

# **Chapitre I :**

## **Les mines à ciel ouvert**

## I.1 Introduction

L'exploitation minière est l'une des activités les plus anciennes de l'humanité. Presque depuis le début de l'âge de pierre, il y a 2,5 millions d'années ou plus, elle a été la principale source de matériaux pour la fabrication d'outils.

On peut dire que l'exploitation minière est apparue lorsque les prédécesseurs des êtres humains ont commencé à récupérer certains types de roches pour les sculpter et fabriquer des outils. L'exploitation minière à ciel ouvert est le plus grand secteur minier et est utilisée pour plus de 60% des matériaux extraits. Il peut être utilisé pour n'importe quel matériau.

La méthode de l'exploitation à ciel ouvert concerne les gisements peu profonds. Cette méthode exige d'importants capitaux (particulièrement à cause des équipements).

Cette méthode se caractérise aussi par de fortes productions (de grands tonnages extraits). Elle présente de nombreux avantages:

- faible cout d'exploitation ;
- productivité supérieur (quantité produite en unité de temps par personne) ;
- meilleure sécurité ;
- investissement de capital inférieur par tonne de matériaux stérile, minerai, mort-terrain ;
- meilleure récupération des reverses du minerai lus considérables (les zones de basses teneurs incluses) ;
- possibilité d'utiliser des équipements plus puissants et plus.

## I.2. Définition de quelques termes miniers

**1-Minéral** : C'est un corps chimique, inorganique, naturel se présentant sous forme de solide cristallin. Il se définit par sa composition chimique et par son mode d'arrangement des atomes.

**2-Gisement** : Un gisement c'est tout gîte exploitable dans les conditions économiques du moment.

**3-Minerai** : C'est un ensemble rocheux contenant des substances utiles en pourcentage suffisant pour justifier une exploitation.

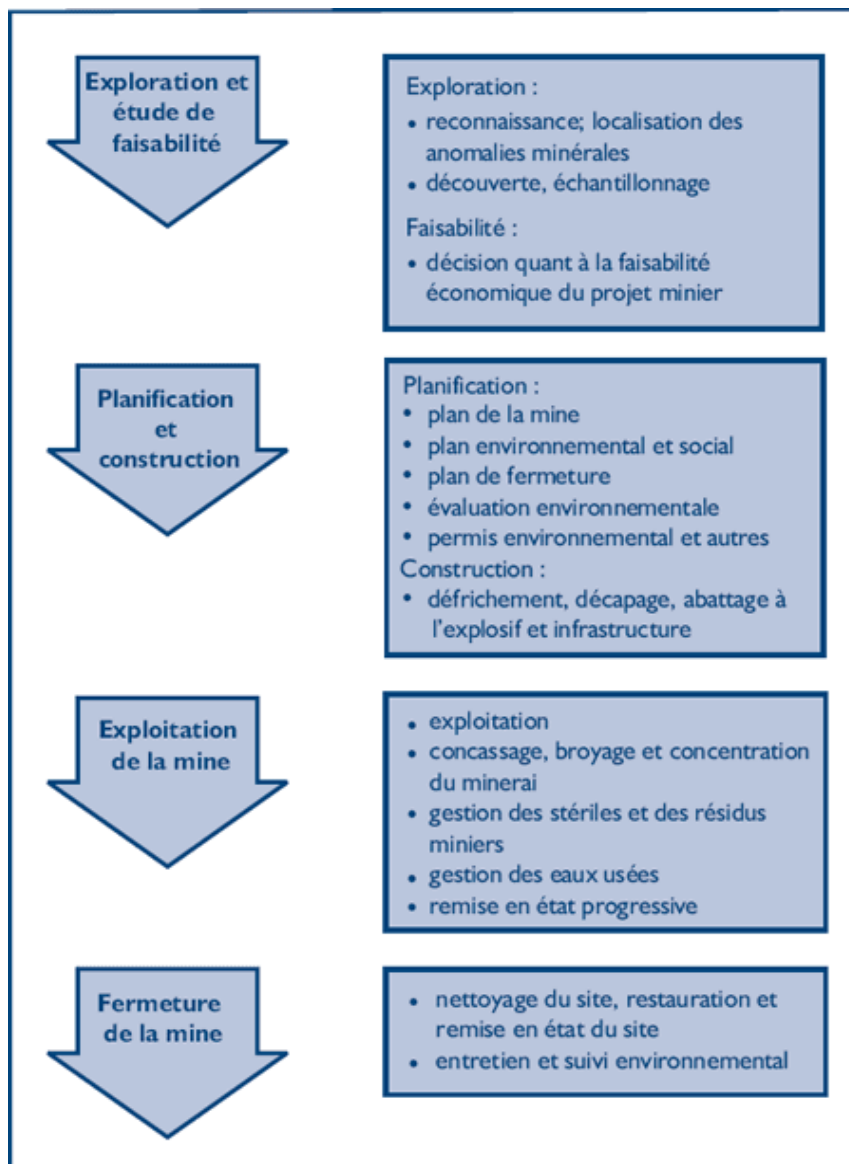
**4-Mines** : Ce sont des zones où on exploite des substances utiles autres que les matériaux rocheux soit à ciel ouvert ou en souterrain.



**5-Cycle de vie d'une mine:** dans le secteur minier, les délais entre les étapes sont longs et les investissements sont énormes.

La vie d'une mine à ciel ouvert se résume en:

- Travaux préparatoires comprenant la construction de la mine, c'est-à-dire l'accès, l'ouverture, le découpage et l'aménagement du terril ;
- Travaux d'exploitation et travaux de développement des travaux miniers, ces travaux concernent l'exploitation proprement dite, c'est-à-dire la production orientée suivant la stratégie de développement conçue (méthode adaptée d'exploitation).



**Figure I.1** - La vie d'une mine.

### **I.3. Critères de choix entre l'exploitation à ciel ouvert et souterraines**

Après qu'un gisement dit être découvert circonscrit et avoué, l'étape qui suit est le choix de la méthode qui est économiquement, physiquement et environnementalement adapté pour une bonne récupération du minerai du dépôt.

Ce choix prend en compte les données de l'exploration. Les facteurs minant ce choix sont les suivants :

#### **a. Les caractéristiques spatiales du gisement**

Ce sont la taille, la forme, la profondeur et la position des dépôts. Ces éléments sont déterminants dans le choix de la méthode d'exploitation.

#### **b. Propriétés physiques de la minéralisation et de la roche encaissante**

La nature du minerai et des terrains encaissants joue évidemment un rôle dans le choix des méthodes d'exploitation et de concentration.

#### **c. Les eaux souterraines et les conditions hydrographiques**

La présence d'une nappe souterraine et d'un réseau hydrographique plus ou moins important est un critère déterminant dans le choix d'une méthode d'exploitation.

#### **d. Les conditions environnementales**

La prévention contre toute destruction de la nature et contre toute contamination de l'eau et de l'air peut affecter énormément le choix d'une méthode d'exploitation.

#### **e. Le critère ou considération économique**

Le choix d'une méthode est toujours économique. En effet personne n'exploitera un gisement à pertes. Parmi les critères de choix d'une méthode d'exploitation c'est toujours l'économique qui prime.

Les données prises en compte dans la considération économique sont les suivantes :

- la teneur ;
- les coûts d'extraction ou de production ;
- la cadence de production ;
- le rapport stérile minerai (coûts d'enlèvement du stérile) ;

- la dilution ;
- les couts de recouvrement (perception ou récupération) ;
- dans la méthode d'exploitation en fosse, le stérile doit être totalement enlevé pour accéder au minerai. Par contre en exploitation souterraine, le stérile est enlevé pour les puits et gradins d'accès au minerai. Le stérile enlevé est peu conséquent. Beaucoup moindre dans le cas de l'exploitation à ciel ouvert.

Le cout d'exploitation à ciel ouvert augmente considérablement avec la profondeur et rapidement pendant qu'il augmente faiblement an souterrain, d'où l'importance du rapport stérile-minerai.

### **I.4 mines à ciel ouverts (méthodes d'exploitation à ciel ouvert, éléments d'une a mine ciel ouvert)**

#### **I.4.1 méthodes d'exploitation à ciel ouvert**

En général, toutes les méthodes d'exploitation débutent par un point commun : le découpage. La tranchée de découpage constitue en fait la suite de la tranchée d'accès et coupe les horizons en direction d'une limite de la mine (ou de la carrière) à une autre.

L'exploitation d'un gradin commence par l'élargissement d'un ou de deux bords de la tranchée de découpage. L'élargissement des bords de la tranchée de découpage est l'exploitation proprement dite du gradin.

Deux grandes méthodes d'extraction apparaissent selon la nature des formations géologiques composant les gisements:

- a) Exploitation de gisements de roches meubles (argiles, marnes, sables, calcaires friables.....);
- b) Exploitation de gisements de roches massives (calcaires durs, gypse, dolomie, basalte, granite....).

Dans le cas a) la fragmentation du minerai sera réalisée à l'aide de moyens mécaniques seulement (bulldozer avec riper, pelles mécaniques...) alors que dans le cas b), il sera question de l'utilisation de substances explosives.

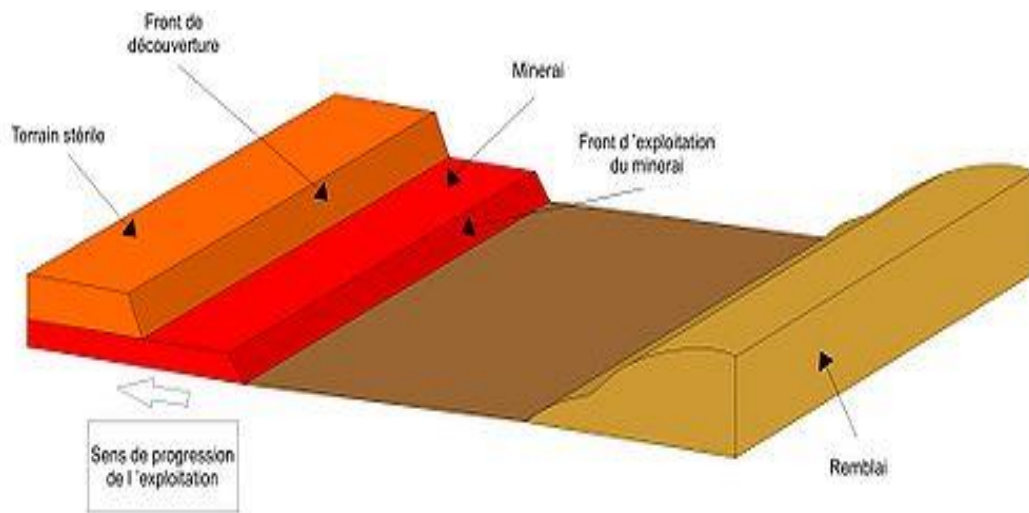
Partant de ces principes, la méthode d'exploitation adaptée sera fonction des dimensions des gisements, de leur emplacement dans l'espace, du taux de recouvrement et des moyens à mettre en œuvre en fonction du niveau de production requis.

Les paramètres de travail retenus, notamment la hauteur des gradins, l'angle d'inclinaison des talus, la largeur d'enlèvement entre autres, seront fonction de la puissance du minerai, de sa structure et de la cohésion des matériaux le composant pour assurer la stabilité des ouvrages miniers à mettre en place et détermineront alors la direction des travaux ou des fronts de taille ainsi que des fronts d'abattage.

Il existe deux méthodes principales dans l'exploitation d'une mine à ciel ouvert :

- l'exploitation par découverte ;
- l'exploitation par fosse.

### a) exploitation par découverte



**Figure I.2** - Schéma de l'exploitation par découverte.

Cette méthode s'applique aux gisements stratiformes, peu profonds et s'étendant fortement horizontalement.

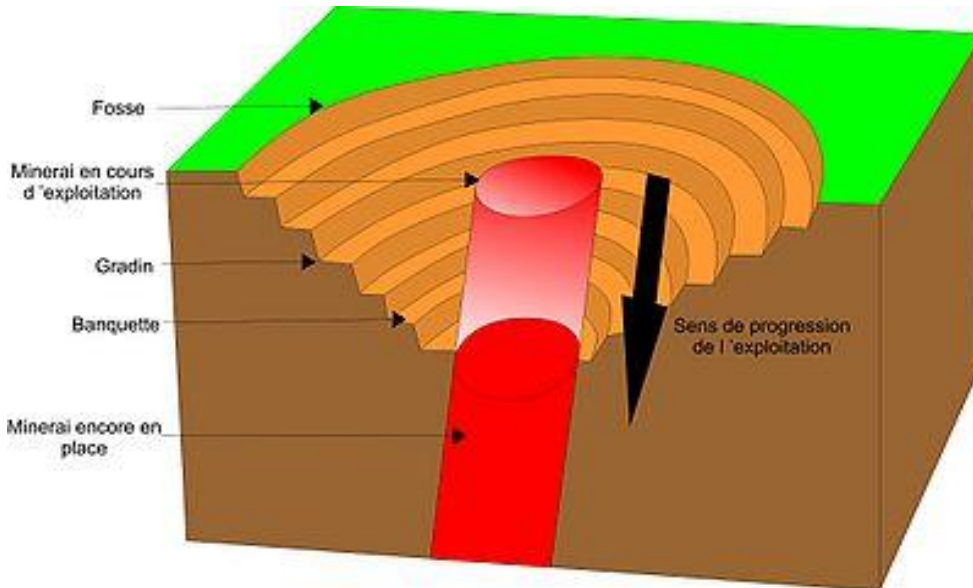
Une tranchée ouverte est créée dans le recouvrement stérile sur la largeur totale à exploiter (elle est élargie progressivement vers les extrémités qui constituent le front de découverte) jusqu'au début de la surface de minéralisation : c'est la découverte. Ce procédé est continu, l'extraction et l'évacuation s'enchaînant.

L'exploitation du minerai se fait à partir d'une tranche initiale qui progresse parallèlement à la découverte (front d'exploitation), les stériles étant remis en place au fur et à mesure pour combler l'excavation (front de remblayage).

Le matériel utilisé est divers: pelles, camions, draglines, pelles mécaniques, racleurs, etc.

Elle est utilisée surtout pour l'exploitation de gisements en roches tendres et elle est particulièrement développée dans les mines de charbon (graphite).

**b) exploitation par fosse**



**Figure I.3** - Schéma de l'exploitation par fosse.

Cette méthode s'applique à l'extraction de minerai encaissé dans des roches dures, disséminé ou en veines profondes avec une extension latérale réduite.

Elle est réservée aux filons, aux couches fortement pentées et aux amas. Ainsi, dans ce type d'exploitation, la découverte va porter sur tout le volume du cône qui constitue la fosse.

Tous les matériaux stériles sont évacués hors de la fosse et stockés (pour remblayer éventuellement le trou).

Les parois de la fosse, pour des raisons de sécurité, doivent avoir une inclinaison horizontale limitée entre 30° et 70°, cette valeur variant selon la nature de la roche.

Seulement, le taux de découverte va s'accroître très vite avec la profondeur (plus la profondeur augmente, plus le cône augmente, impactant fortement sur la découverte totale), ce qui limite l'intérêt économique de la méthode

### I.4.2. Principaux éléments d'une exploitation à ciel ouvert

On appelle fosse (carrière ou découvert) l'ensemble des ouvrages réalisés pour l'exploitation des minerais à ciel ouvert. Un gradin est la partie du mort-terrain ou d'un gisement que l'on enlève de manière autonome et qui est desservi par les moyens de transport qui lui sont propres.

Le gradin est le premier élément d'une exploitation à ciel ouvert. Dans un gradin, on distingue:

- le toit ;
- le mur ;
- le talus ;
- les arêtes supérieures ;
- les arêtes inférieures ;
- l'angle du talus.

On appelle :

**Toit** : la surface horizontale limitant le gradin à sa partie supérieure ;

**Mur** : la surface qui limite le gradin coté du vide de l'exploitation ;

**Talus** : terrain en pente formant le bord de la fosse ;

**Les arêtes supérieures** : les lignes d'intersection du toit du gradin avec son talus ;

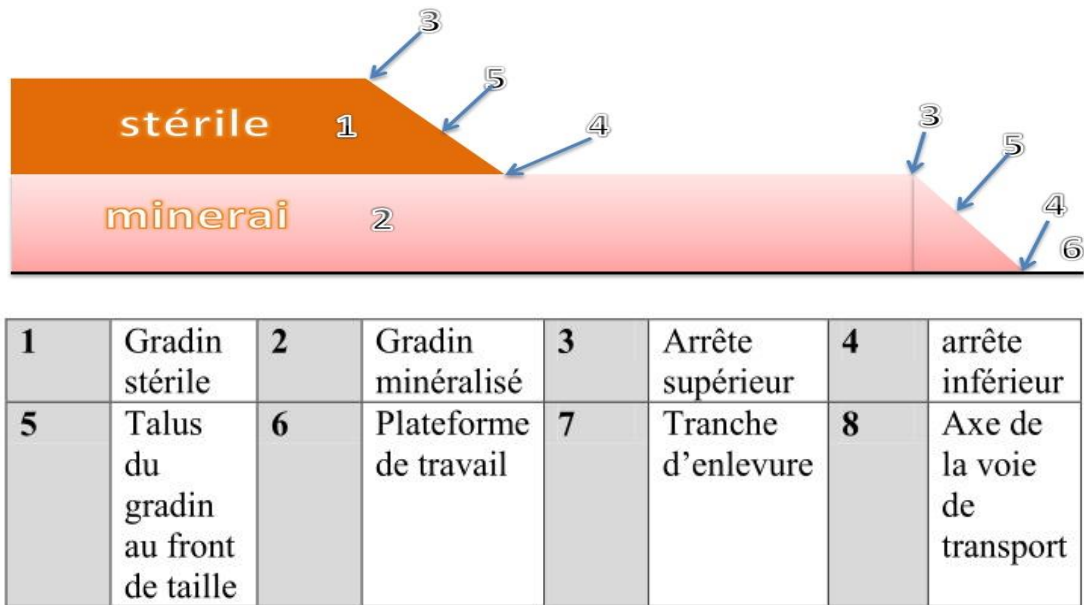
**Les arêtes inférieures** : les lignes d'intersection du mur avec son talus ;

**L'angle du talus** : angle que fait le talus avec l'horizontal.

Les gradins sont exploités par zones de largeur sur toute la longueur du gradin. Ces zones enlevées sont appelées enlevures. Une partie de l'enlevure délimitée en longueur et exploités par des moyens d'abattage et de chargement indépendants est appelé bloc.

Comme éléments fondamentaux de la méthode de surface, on peut citer :

- Le gradin ;
- Le bloc ;
- Les fosses ou ouvrages d'évacuation des eaux de ruissellement.



**Figure I.4** - Principaux éléments d'une exploitation à ciel ouvert.

### I.5. Rôle de la géotechnique dans les mines à ciel ouvert

La fonction géotechnique sur un site minier fait partie des services techniques de la mine de géotechnique d'un ouvrage minier, est une étude d'analyse Son domaine est l'étude du "risque " dans les carrières. Nombreux sont les ouvrages qui subissent une fissuration, glissements des terrains, effondrements...etc.

Il peut exister un défaut de portance, des zones de compressibilité variable, des hétérogénéités liées à l'histoire de la mise en place du terrain, Le travail du géotechnicien s'applique également suite à des mouvements du terrain : il doit alors expliquer les causes des désordres et proposer des techniques de travaux visant à obtenir une stabilisation de l'ouvrage.

Ce travail repose sur l'exploitation des données d'une campagne de reconnaissance des terrains (sondages, forages, essais d'identification,...).

Donc les objectifs et buts de la géotechnique :

- Inventaire des contraintes et des risques géotechniques ;
- Réponses et adaptations aux contraintes du site.

## **I.6 Conclusion**

Nous avons vu tout dans cette partie la déférente caractéristique concernant l'exploitation en carrière et surtout les principales méthodes suivies lors d'une exploitation à ciel ouvert.

L'une des activités les plus importantes de l'excavation à ciel ouvert est la détermination des facteurs stratigraphiques-structuraux de la zone d'intérêt, afin de développer un plan optimal pour le développement de l'activité. Afin de restituer le terrain avec une bonne sécurité.



**Chapitre II :**  
**Problèmes géotechniques**  
**dans les mines à ciel**  
**ouvert**

## II.1.Introduction

L'étude géotechnique d'un ouvrage minier, est une étude d'analyse. Son domaine est l'étude du "risque" dans les carrières. Nombreux sont les ouvrages qui subissent une fissuration, glissements des terrains, effondrements, ...etc.

Il peut exister un défaut de portance, des zones de compressibilité variable, des hétérogénéités liées à l'histoire de la mise en place du terrain.

Le travail du géotechnicien s'applique également suite à des mouvements du terrain: il doit alors expliquer les causes des désordres et proposer des techniques de travaux visant à obtenir une stabilisation de l'ouvrage.

## II.2. problèmes et risques géotechnique dans les mines à ciel ouvert

La géotechnique est une science de l'ingénieur qui se trouve à la confluence des sciences de la Terre, de la construction et de l'exploitation minière. Elle s'applique typiquement aux projets de tunnels, à la stabilisation des pentes ou aux investigations des sols de fondation.

Les études géotechniques jouent un rôle primordial dans l'obtention de la qualité finale des réalisations ouvrage minière dès le début de la conception de tous les paramètres du projet. Différents risques géotechniques impactent le projet minier. Les risques peuvent être d'origine naturelle et/ou anthropique. Les risques liés aux mesures et incertitudes in-situ et/ou laboratoire sont dus à la variabilité intrinsèque des caractéristiques des matériaux et milieux naturels étudiés, et aux appareils de mesure, voire aux facteurs humains.

Les chutes et projections peuvent se produire en tout point de la carrière mais présentent des caractères distincts selon les lieux.

Sur ou depuis les sites d'extraction et de remblayage, le risque est lié à la chute de blocs, à la projection lors d'un tir de mine, à la chute depuis un front de taille ou à l'écroulement ou glissement massif.

En dehors des fronts, sont considérées comme des zones dangereuses les pistes et rampes d'accès en fond de fosse et les aires de stockage de matériaux finis, de stériles utilisés pour le réaménagement.

Ce risque peut concerner:

- La chute et projection de blocs: depuis un front, lors de terrassement, lors ou après un tir;
- L'écroulement massif d'une paroi rocheuse (affaissement);
- Le glissement du talus d'une verse ou stock (chute, ensevelissement);
- L'instabilité sur les fronts d'exploitation (glissement, effondrement).

Les fronts de taille de hauteur élevée renferment une quantité considérable d'énergie potentielle dans leur masse rocheuse.

La libération accidentelle de cette énergie alors que des personnes se trouvent aux alentours peut avoir des conséquences catastrophiques. On distingue généralement deux grands types de rupture de front de taille:

**a)** Les ruptures de la masse rocheuse impliquant une quantité assez importante de roche sur un large pan du front de taille; ces ruptures sont dues à la nature de la roche et des structures existantes – il en existe quatre types:

1) les ruptures planes accompagnées d'un mouvement de glissement le long d'une seule surface de discontinuité; des discontinuités supplémentaires déterminent généralement l'ampleur latérale des ruptures;

2) les ruptures accompagnées d'un mouvement de glissement le long de deux surfaces de discontinuité dont l'intersection forme un dièdre dans la paroi du front de taille;

3) les ruptures par basculement accompagnées d'un mouvement de flexion ou de rotation autour de la base d'une strate ou d'une colonne formée par de longues discontinuités parallèles ou subparallèles au front de taille;

4) les ruptures circulaires, généralement en forme d'arc de cercle, accompagnées d'un mouvement de rotation et de glissement le long d'une surface de rupture dans un massif rocheux présentant de nombreuses discontinuités;

**b)** Les chutes de pierres isolées sur une petite partie du front de taille où des blocs plus ou moins libres peuvent se détacher d'une paroi fragmentée.

L'exposition du personnel, le poids des blocs, la hauteur de la chute et la géométrie du front de taille sont des facteurs essentiels pour évaluer les dangers liés aux chutes de pierres:

- 1) étant donné que le poids du bloc et la hauteur de la chute déterminent l'énergie avec laquelle la masse frappe le sol;
- 2) étant donné que la configuration géométrique du front de taille a une incidence sur la façon dont les pierres s'éboulent et sur le lieu où elles tombent;
- 3) étant donné qu'il existe des risques d'effondrement ou d'envasement, y compris d'éboulements de matériaux, secs ou humides (liquéfaction), liés à la présence de graviers, de sable ou d'autres matériaux instables dans les mines.

Les ruptures de massifs rocheux sont plus susceptibles d'avoir des conséquences catastrophiques que les chutes de pierres.

Cependant, celles-ci peuvent également être très dangereuses compte tenu de l'énergie qu'elles dégagent, et elles s'avèrent souvent mortelles en l'absence de mesures de prévention efficaces.

### II.3. Evaluation des risques

La connaissance des caractéristiques de la structure rocheuse et de l'environnement de la mine permet d'anticiper et souvent de prévoir les dangers, lesquels peuvent par la suite être diminués ou éliminés en adaptant la configuration et la conception de la mine. Plusieurs facteurs peuvent être pris en considération pour évaluer le risque de rupture du front de taille:

**a)** les facteurs géotechniques, notamment:

- 1) la profondeur de l'érosion et la présence éventuelle de blocs rocheux en équilibre instable;
- 2) les discontinuités, telles que joints ou fractures, leur espacement et leur récurrence;
- 3) l'orientation des discontinuités (angle, direction et sens du pendage);
- 4) l'orientation des couches stratifiées par rapport au front de taille;
- 5) la présence d'argile dans la stratification;

- 6) la longueur des structures du front de taille et les possibilités de fragmentation, afin de réduire l'exposition;
  - 7) la présence d'ondulations dans le sol et d'une couche en pente;
  - 8) des fissures sur le front de taille ou les gradins à proximité (par exemple à moins de 10 m) du sommet;
  - 9) la présence de roches ou de blocs instables;
  - 10) la présence de dièdres rocheux ou de surplombs;
  - 11) les zones présentant des signes de faiblesse;
  - 12) l'infiltration d'eau venant d'un litage vertical ou d'une structure;
  - 13) une accumulation d'eau au pied du front de taille;
  - 14) la présence d'eau au sommet du front de taille ou sur des gradins à proximité (par exemple à moins de 30 m) du sommet;
  - 15) les cas de combustion spontanée;
- b) les facteurs miniers, notamment:**
- 1) la hauteur du front de taille;
  - 2) l'angle de pente du front de taille par rapport au sens de progression de l'extraction;
  - 3) la largeur des gradins;
  - 4) la présence de stériles sur un front de taille (près du sommet);
  - 5) les vibrations émises par les équipements;
  - 6) les vibrations émises lors de l'abattage aux explosifs;

Les travaux miniers souterrains réalisés à proximité immédiate d'un front de taille, en particulier ceux qui débouchent en surface sur le front de taille, peuvent provoquer une instabilité du fait d'un affaissement préalable ou d'un risque d'affaissement de la strate rocheuse sus-jacente.

## II.4. Mesures de prévention

Il convient de faire appel à un (des) ingénieur(s) compétent(s) et certifié(s) pour superviser la conception, la construction, l'exploitation et le déclassement du front de taille d'une mine à ciel ouvert.

Une autorité compétente devrait être chargée de surveiller l'ensemble du cycle de vie de toute structure de ce type.

La configuration et la conception de la mine devraient reposer sur des sources d'information telles que la cartographie géologique et le carottage.

La supervision du front de taille consiste à surveillance dernier, soit visuellement, soit à l'aide d'instruments. Cette supervision a pour objectifs:

- a) de préserver la sécurité opérationnelle;
- b) d'alerter suffisamment à l'avance en cas d'instabilité, de sorte que le personnel puisse être évacué rapidement;
- c) de fournir des informations sur l'ampleur et la progression de la rupture pour que des mesures correctives appropriées puissent être prises et que le plan d'exploitation de la mine ou la conception de la pente puissent être modifiés.

Des contrôles doivent être effectués de manière régulière et approfondie depuis tous les angles possibles afin de mettre en évidence les zones potentiellement dangereuses ainsi que les problèmes en cours de formation. Le pied et le sommet du front de taille doivent faire l'objet d'une attention particulière, étant donné que les chutes de pierres au pied du front de taille et les fissures qui se forment à l'arrière de son sommet peuvent être les signes avant-coureurs de problèmes d'instabilité.

Il convient d'examiner les conditions du terrain:

- a) dans les zones où des travaux seront exécutés, avant le début des travaux;
- b) après un abattage aux explosifs;
- c) si la situation le justifie, pendant les travaux.

Les fronts de taille et les banquettes attenants à des voies de circulation devraient être examinés aussi souvent que les conditions du terrain l'exigent. Il est important

d'avoir conscience du fait que les contrôles visuels du front de taille sont souvent d'une efficacité limitée. Ils ne sont pas assez réguliers ni assez précis pour permettre de prendre des décisions en connaissance de cause. Le temps de réaction de celui qui effectue la surveillance (compte tenu de son état de fatigue potentiel) ainsi que les moyens permettant de déclencher l'alarme sont également des aspects essentiels à prendre en considération.

Les travailleurs et autres personnes occupées sur les fronts de taille devraient être formés pour faire face aux dangers et pour repérer et signaler les signes de défaillance ou tout changement des conditions susceptibles de présenter un risque.

Il convient d'établir des plans d'action, qui seront exécutés et mis en œuvre en cas de signes de défaillance ou de changement des conditions identifiés par les travailleurs dans le cadre de leurs activités de suivi et de notification.

Les instruments de surveillance peuvent fournir des données quantitatives sur des déplacements infimes du front de taille, et cela de manière continue et en temps réel.

Exemples d'instruments et de techniques de surveillance:

- a) extensomètres à fil métallique;
- b) appareils de mesure à prisme réflecteur;
- c) positionnement par satellites (GPS);
- d) imagerie laser;
- e) balayage radar des pentes



**Figure II.1-** Fissuromètre.



**Figure II.2 -** Tachéomètre.





**Figure II.3** - Scan laser 3D.

Il est également possible de mettre en œuvre des mesures de stabilisation et de protection.

Exemples de mesures de stabilisation:

**a) Renforcement:**

- 1) renforcement actif (boulons, précontraints);
- 2) renforcement passif;
- 3) ancrage des parois;
- 4) projection de béton;
- 5) contreforts;
- 6) drainage;

**b) Construction de contreforts sur place à l'explosif;**

**c) Purge:**

- 1) Reprofilage de pente;

2) élimination des surplombs;

3) élimination des écaïlles.



**Figure II.4** - Élimination des masses instables et des masses éboulées (Purge, Abattage, Reprofilage).

Les gradins permettent de réduire la distance parcourue par les éboulements rocheux et de contenir la chute de matériaux. Les bermes constituent une parade efficace contre les risques d'éboulement rocheux. Les gradins et les bermes:

- a) Forment un bassin de retenue lors de la chute de matériaux;
- b) Constituent un obstacle efficace pour empêcher le personnel de pénétrer dans une zone à risque;
- c) Devraient être correctement dimensionnés et positionnés;
- d) Devraient être entretenus.

La modélisation des chutes de pierres facilite la conception des gradins et des bermes. Les modèles numériques permettent de mettre au point des mesures de protection contre les chutes de pierres grâce à:

- a) la modélisation des conditions du terrain;

- b) l'application d'effets aléatoires;
- c) la réalisation de nombreuses simulations;
- d) l'analyse des mécanismes de rupture.

Afin de protéger le personnel, des zones d'accès restreint devraient être établies, signalisées ou indiquées par tout autre moyen, et contrôlées:

- a) dans les secteurs à haut risque;
- b) au pied des fronts de taille;
- c) entre les machines ou équipements et le front de taille ou la banquette lorsque ces machines ou équipements risquent d'empêcher les personnes présentes de se mettre en sécurité en cas d'éboulement ou de glissement de terrain.

Lorsque des travaux doivent être réalisés à proximité d'un front de taille, les équipements devraient être mis en place de sorte que les opérateurs soient protégés le plus possible contre les chutes de matériaux.

Il est possible de résoudre les problèmes d'instabilité d'un front de taille situé à proximité de travaux miniers souterrains en réduisant la hauteur du front de taille et en élargissant les banquettes afin de diminuer la pression exercée par les morts-terrains ainsi que le volume de matériaux qui pourraient devenir instables.

Lorsqu'une mine à ciel ouvert est exploitée à proximité d'une zone d'extraction souterraine, les propriétaires, exploitants ou directeurs de travaux concernés devraient se consulter en vue d'établir et de mettre en œuvre des mesures de prévention appropriées.

## **II.5. stabilité des talus des mines à ciel ouvert**

### **II.5.1 Position du problème**

D'un point de vue stabilité, l'étude d'une exploitation à ciel ouvert se ramène au dimensionnement des talus de la fosse.

Une fosse possède plusieurs talus qui ont des orientations différentes et qui souvent rencontrent des terrains pouvant avoir des caractéristiques géotechniques

différentes. Son dimensionnement consiste donc à définir les angles de ces talus de manière à assurer la stabilité générale.



Figure II.5 - Exemple d'une mine à ciel ouvert (Jouac).

Un talus minier est défini par les paramètres illustrés par la figure 6.

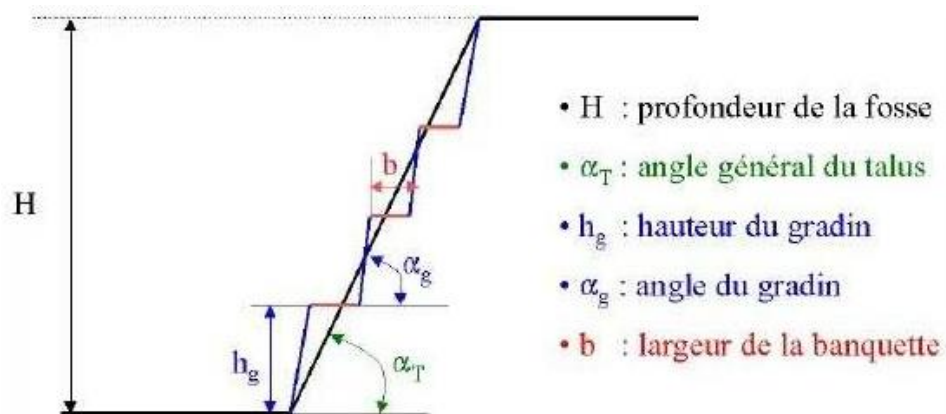


Figure II.6 - Définition d'un talus minier.

Le dimensionnement d'un talus consiste tout d'abord à définir l'angle général ( $\alpha_T$ ) pour la profondeur ultime de la fosse  $H$ . Une fois cet angle défini, les

autres paramètres du talus (gradins, banquettes, rampe d'accès) seront choisis de manière à respecter l'angle général.

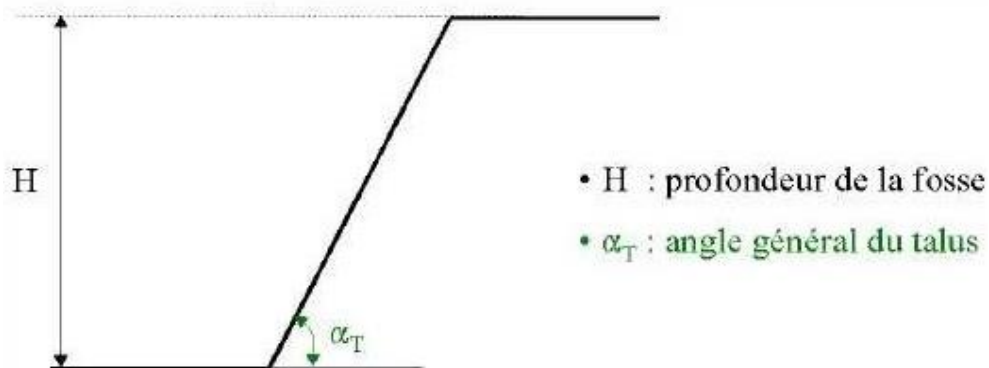
Un gradin est analysé comme un talus de faible hauteur. Son angle  $\alpha_g$  est donc défini de la même façon qu'un talus. La hauteur du gradin  $h_g$  est déterminée en prenant en compte essentiellement des considérations techniques (équipements disponibles, critères de sélectivité, ...).

Il est évident que pour un talus donné, il y a une relation géométrique entre la profondeur  $H$ , l'angle général  $\alpha_T$ , la hauteur  $h_g$ , l'angle  $\alpha_g$  et les largeurs des banquettes (avec éventuellement la rampe).

La largeur des banquettes est généralement définie en dernier lieu. Elle doit permettre la circulation et le croisement des engins utilisés dans l'exploitation.

### II.5.2 Angle général du talus

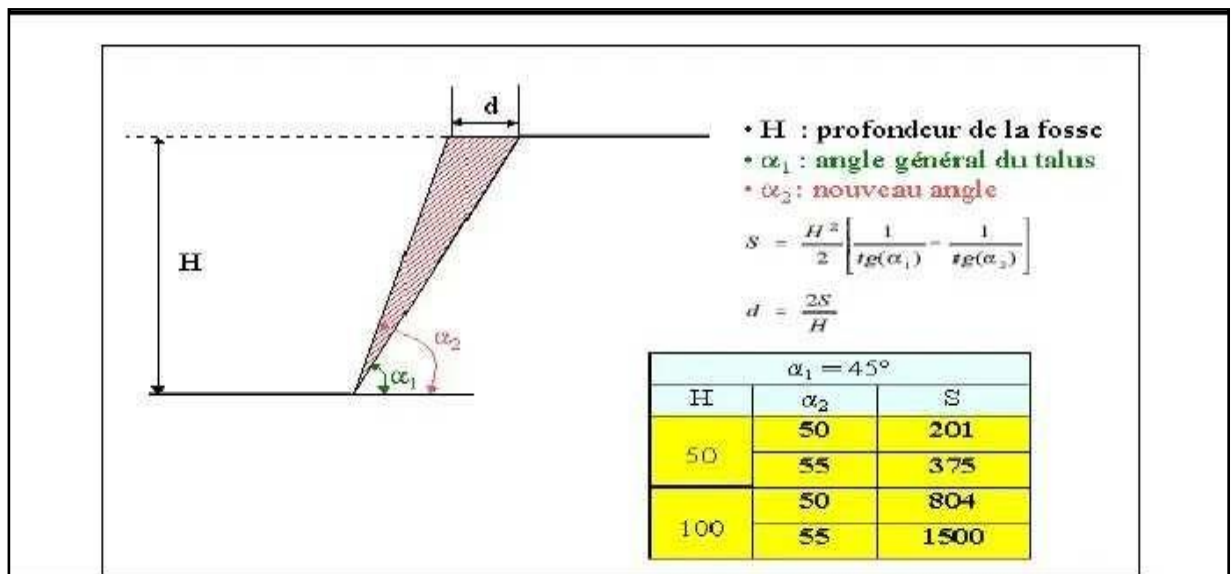
Ainsi, le problème fondamental dans la stabilité d'une exploitation à ciel ouvert se ramène au dimensionnement des angles des talus. Insistons encore une fois sur le fait que l'angle général d'un talus doit être défini pour la profondeur ultime de la fosse (Figure 7).



**Figure II.7** - Angle général d'un talus.

La profondeur maximale de la fosse est généralement définie selon des critères techniques et économiques (configuration du gisement, coût d'extraction à ciel ouvert par rapport au souterrain, taux de découverte, ...).

Une fois la profondeur ultime retenue, l'angle du talus doit être défini pour assurer la stabilité de l'exploitation. Par ailleurs, cet angle va conditionner largement le taux de découverte. On verrait ainsi une tendance chez le mineur à augmenter sensiblement cet angle pour réduire le tonnage du stérile extrait (Figure 8).



(Volume de terrain économisé par tranche unitaire en faisant passer l'angle de  $45^\circ$ , à  $50^\circ$  et à  $55^\circ$ ).

**Figure II.8** - Influence de l'angle général sur le volume de stérile extrait.

### II.5.3. Description des modes de rupture potentiels

Quatre modes de rupture importants peuvent se produire dans une exploitation à ciel ouvert. Il est fondamental lors de l'étude de stabilité de comprendre les mécanismes de ces modes de rupture et les conditions de leur occurrence afin de pouvoir mettre en œuvre un dimensionnement qui permet d'éviter.

### II.5.3.1. Rupture plane

Cette rupture se produit par glissement le long d'une discontinuité majeure (faille en particulier) ou d'une famille de fissures parallèle au talus et présentant une inclinaison défavorable dans le sens

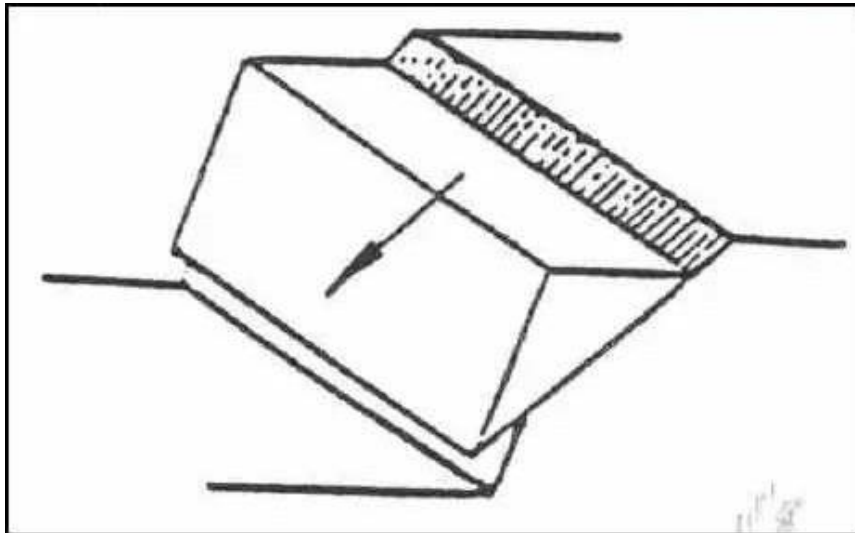


Figure II.9 - Rupture plane.

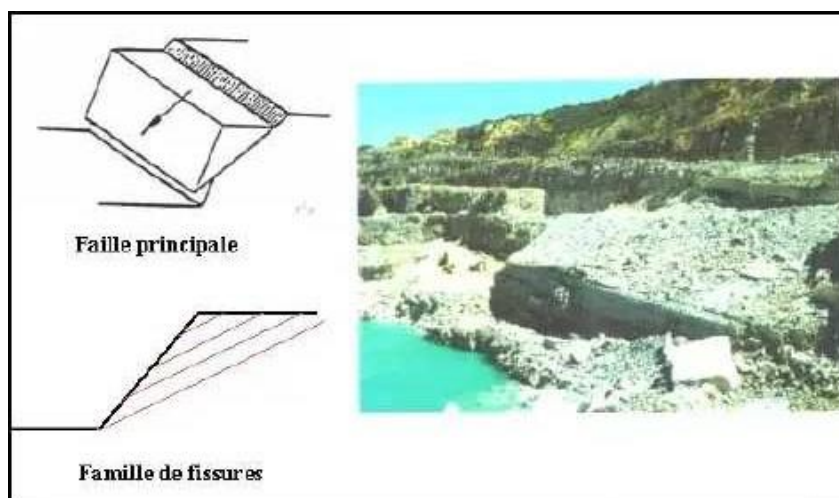
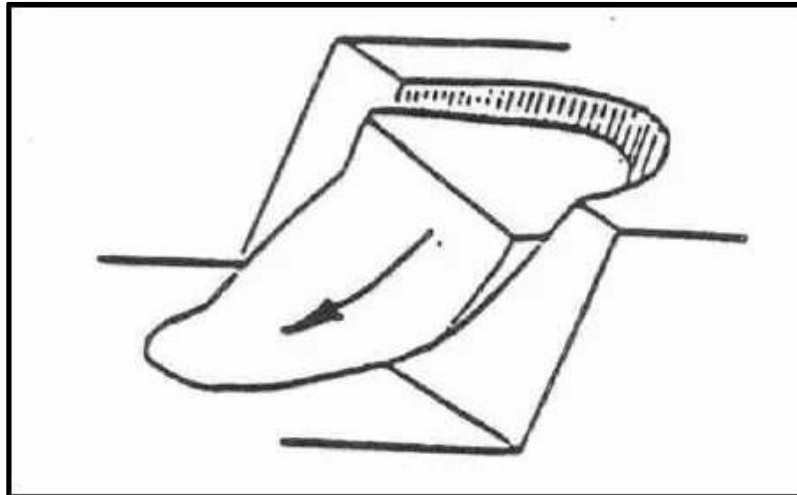


Figure II.10 - Exemple de rupture plane dans une carrière à ciel ouvert de gypse par glissement de bancs le long d'une stratification défavorable (Mazan).

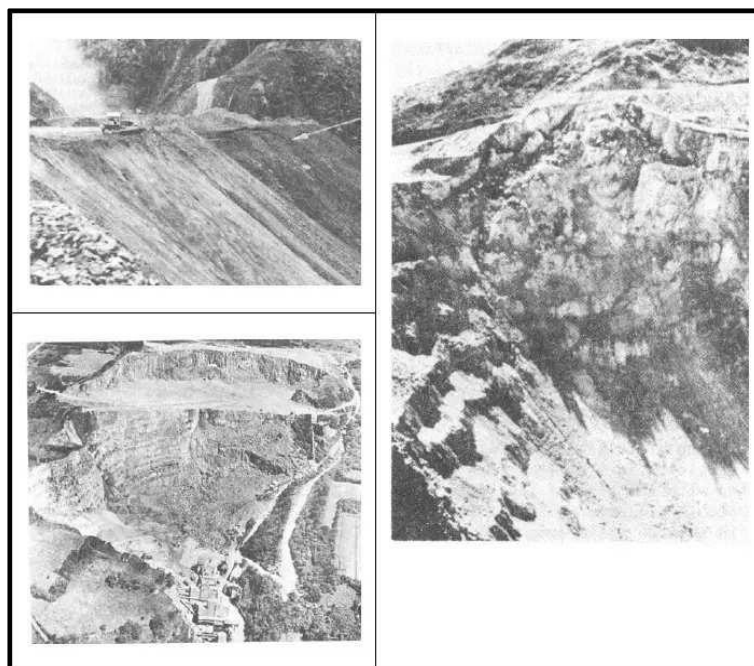
C'est l'un des modes de rupture le plus dangereux surtout lorsqu'il se produit le long d'une faille principale. Des volumes de roche importants peuvent être déplacés dans ce cas.

### II.5.3.2. Rupture circulaire

Cette rupture se produit dans un terrain homogène de faible résistance mécanique (faible cohésion). Le massif ne présentant pas de directions préférentielles de glissement, la rupture se fait par cisaillement du terrain le long d'une loupe de glissement (ligne circulaire).



**Figure II.11** - Rupture par loupe de glissement.

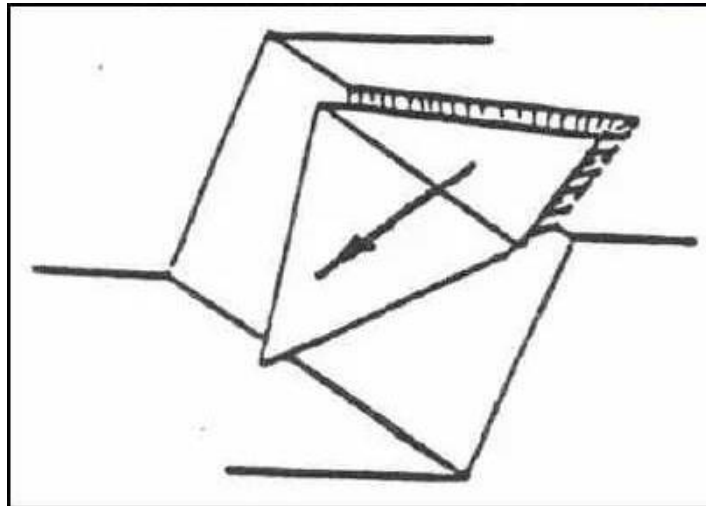


**Figure II.12** - Exemples de rupture circulaire.



Les terrains favorables à ce mode de rupture sont les sols, les remblais, les roches homogènes peu compétentes ainsi que les roches résistantes mais dont le niveau de fracturation leur confère des caractéristiques mécaniques en masse très faibles

Ce mode de rupture est également très dangereux. Lorsque les conditions de stabilité ne sont pas satisfaites, des volumes de roche très élevés peuvent être déplacés.



**Figure II.13** - Rupture d'un dièdre (les fissures naturelles sont hachurées).



**Figure II.14** - Exemples de rupture de dièdres.

### II.5.3.3. Rupture de dièdres

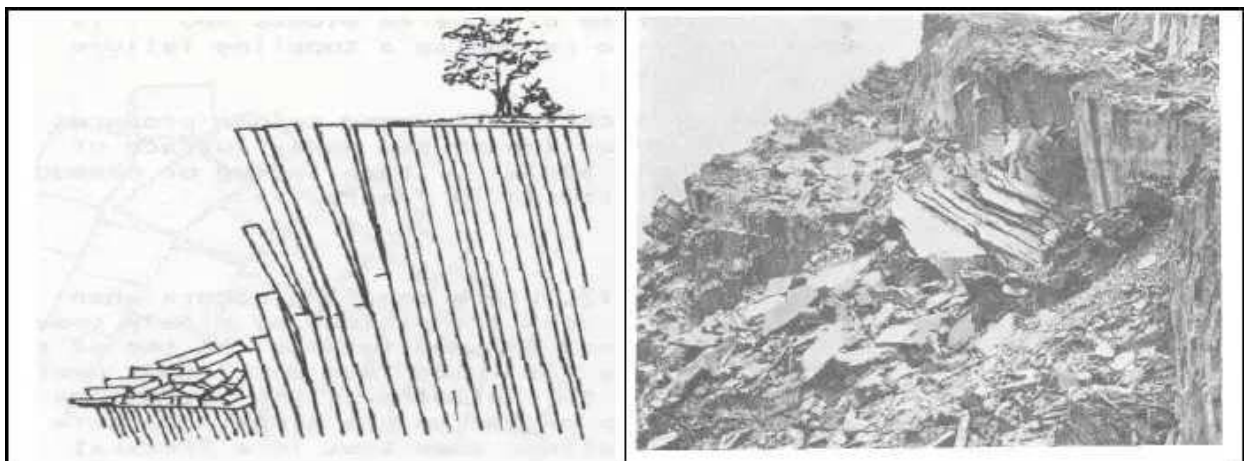
Cette rupture se produit lorsque le terrain est découpé par une fracturation principale caractérisée par plusieurs orientations. Conjuguées avec l'orientation du talus, les fissures forment des blocs qui se trouvent dégagés par les surfaces libres du talus (gradins, banquettes) et qui sous l'effet des forces mises en jeu se détachent et chutent.

Ce mode de rupture est moins dangereux que les deux précédents. Il se produit généralement à une plus petite échelle (1 ou 2 gradins), mais il peut causer des dommages importants.

### II.5.3.4. 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 importante 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.



**Figure II.15** - Rupture par basculement.

La rupture se produit par décollement des plaques et leur basculement. On verrait ainsi une dégradation progressive des gradins qui pourrait conduire à l'instabilité du talus.

#### **II.5.4. Étude de stabilité et le dimensionnement d'une exploitation à ciel ouvert**

Doivent être réalisés de manière à éviter tous les modes de rupture potentiels dans tous les talus de l'exploitation.

L'examen des conditions d'occurrence de chacun de ces 4 modes de rupture conduit aux conclusions suivantes :

- Ce sont les caractéristiques géotechniques du massif rocheux qui vont dicter le mode de rupture qui risquerait de se produire dans un talus donné (fissuration naturelle, résistance mécanique du terrain)
- Sur quatre modes de rupture potentiels, trois sont gouvernés par la fissuration naturelle. Ceci montre clairement l'importance du rôle des discontinuités dans la stabilité d'une exploitation à ciel ouvert.
- L'ensemble des modes de rupture sont dus à des phénomènes de cisaillement : glissement le long des fissures (rupture plane, rupture de dièdres et rupture par basculement) ou cisaillement du terrain en l'absence de fissuration orientée (rupture circulaire)

La lumière de ces conclusions, il devient évident que l'étude de stabilité d'une exploitation à ciel ouvert passe par une bonne caractérisation géotechnique du massif rocheux.

Cette étape devrait permettre par la suite de diagnostiquer les modes de rupture potentiels au niveau de chaque talus en fonction de son orientation et de réaliser le dimensionnement adéquat pour éviter ces modes de rupture.

#### **II.5.5 Caractérisation du massif rocheux**

Les principales propriétés qui interviennent dans l'étude de stabilité d'une exploitation à ciel ouvert sont donc :

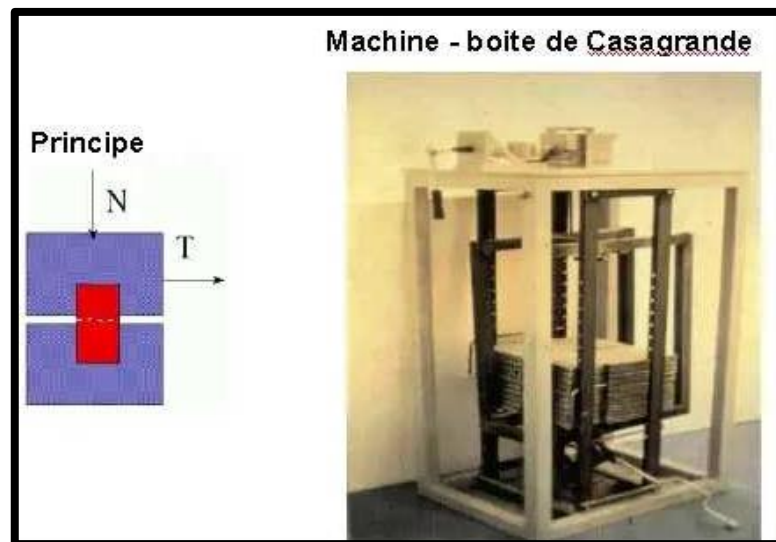
- les caractéristiques de résistance au cisaillement du terrain (roche ou sol) et des fissures naturelles.

- les orientations de ces fissures

### II.5.5.1. Résistance au cisaillement

La résistance au cisaillement d'un terrain ou d'une discontinuité est mesurée en laboratoire à travers des essais de cisaillement. Le principe consiste à cisailer une éprouvette suivant un plan déterminé à l'avance en exerçant un effort normal constant et un effort tangentiel croissant.

La machine la plus couramment utilisée est de type Casagrande. Elle comprend deux boîtes qui viennent coiffer l'éprouvette à tester en laissant libre une zone centrale de faible épaisseur (Fig. 16).



**Figure II.16** - Principe de l'essai de cisaillement.

Au cours de l'essai, l'effort de cisaillement augmente progressivement jusqu'à atteindre une valeur maximale qui correspond à la rupture de l'éprouvette en cisaillement (effort de cisaillement de pic  $T_p$ ), puis il décroît rapidement pour atteindre un palier avec un effort constant correspondant au cisaillement de la fissure obtenue (effort de cisaillement résiduel).

Ainsi, en effectuant plusieurs essais avec des valeurs de chargement normal différentes, on peut déterminer l'évolution de la résistance au cisaillement en fonction de l'effort normal.

Le problème le plus aigu est que ces propriétés sont mesurées en laboratoire sur des petites éprouvettes et ne sont pas donc représentatives des caractéristiques de cisaillement de la masse rocheuse ou de la discontinuité à grande échelle.

Lors du dimensionnement des exploitations à ciel ouvert, on se ramène assez souvent, pour pallier cette difficulté, à la réalisation d'essais in-situ. Le principe étant le même, mais les moyens sont beaucoup plus lourds pour faire des essais sur des blocs de plus grandes dimensions.

### **Orientations des fissures**

L'orientation d'une discontinuité est définie par l'azimut et le pendage de son plan moyen. L'azimut est l'angle entre l'horizontale du plan et le nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre. A la place de l'azimut, on utilise assez souvent la direction du pendage qui est l'angle entre la projection à l'horizontale de la normale du plan et le nord magnétique toujours dans le sens des aiguilles d'une montre. Entre l'azimut et la direction de pendage, il y a un angle de  $90^\circ$ .

Le pendage du plan est l'angle entre l'horizontale et la ligne de plus grande pente. Ces deux paramètres sont mesurés au moyen d'une boussole et d'un inclinomètre (Zhao, 2008).

D'un point de vue pratique, la mesure des orientations des fissures dans un massif rocheux consiste à se définir un repère fixe par rapport à la zone concernée (gradin, galerie) et de relever les azimuts et pendages des fissures indiquées par leur trace sur la surface exposée (parement, toit, ...).

On peut dans une caractérisation plus précise de la fissuration naturelle prendre compte d'autres paramètres.

Une fois le relevé effectué, plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre pour identifier les orientations principales qui caractérisent la fissuration naturelle d'un massif rocheux. La méthode la plus répandue est celle de la projection stéréographique (figure 17).

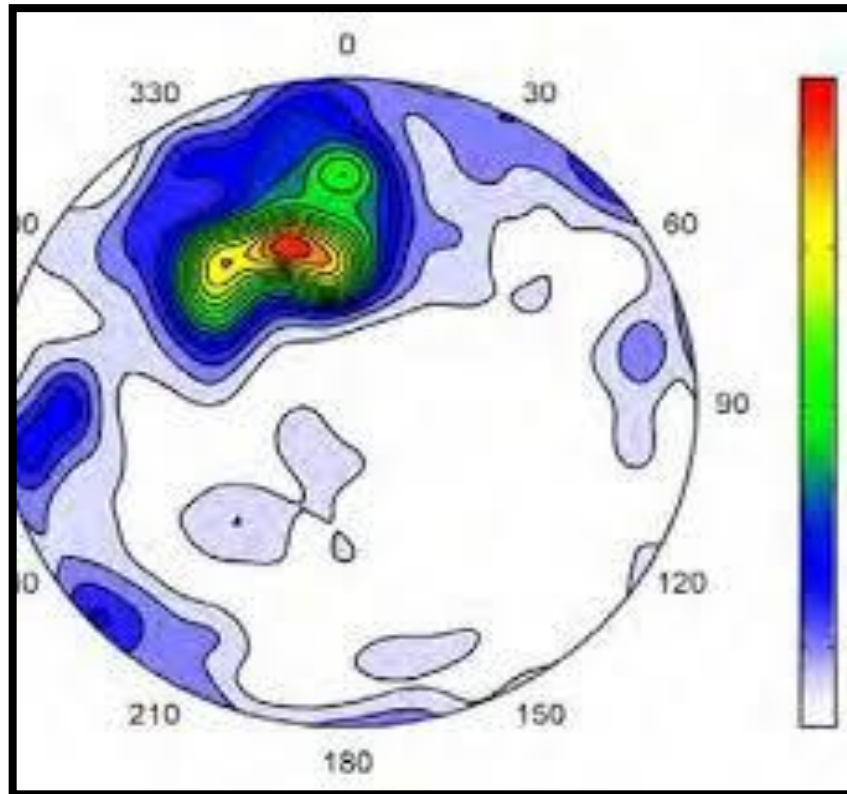


Figure II.17 - Projection stéréographique dans l'hémisphère inférieur (Wulf).

#### II.5.5.6. Principe du dimensionnement

Le dimensionnement des talus dans une exploitation à ciel ouvert doit être effectué de manière à éviter tous les modes de rupture potentiels. Le calcul est différent dans chaque cas, mais le principe général reste le même. Pour illustrer ce principe, l'exemple de la rupture plane est traité ci-après.

Les données du problème sont illustrées par la figure II.18. La profondeur ultime  $H$  de la fosse étant connue, il s'agit de définir l'angle général du talus  $\alpha_T$  pour assurer la sécurité. Le massif rocheux est découpé par une discontinuité principale parallèle au talus et ayant un pendage défavorable.

A titre d'exemple, la discontinuité passe par le pied du talus.

La résistance au cisaillement de la discontinuité est donnée par le critère de Coulomb:

$$\tau = C + \sigma_n \cdot \tan\varphi \quad (1)$$

Une cohésion  $C$  est prise en compte dans ce cas (on verra plus loin le cas où  $C = 0$ ).

Avec cette hypothèse, le cas de la rupture par loupe de glissement se traite de la même façon, mais les équations deviennent un peu plus compliquées puisque la ligne de rupture n'est plus rectiligne mais circulaire.

L'étude de stabilité se ramène à l'établissement des équations d'équilibre le long de la ligne de glissement AC. La division des efforts par la surface cisailée en considérant une tranche unitaire conduit aux contraintes. Il y a cisaillement et glissement lorsque la contrainte active dépasse la résistance au cisaillement.

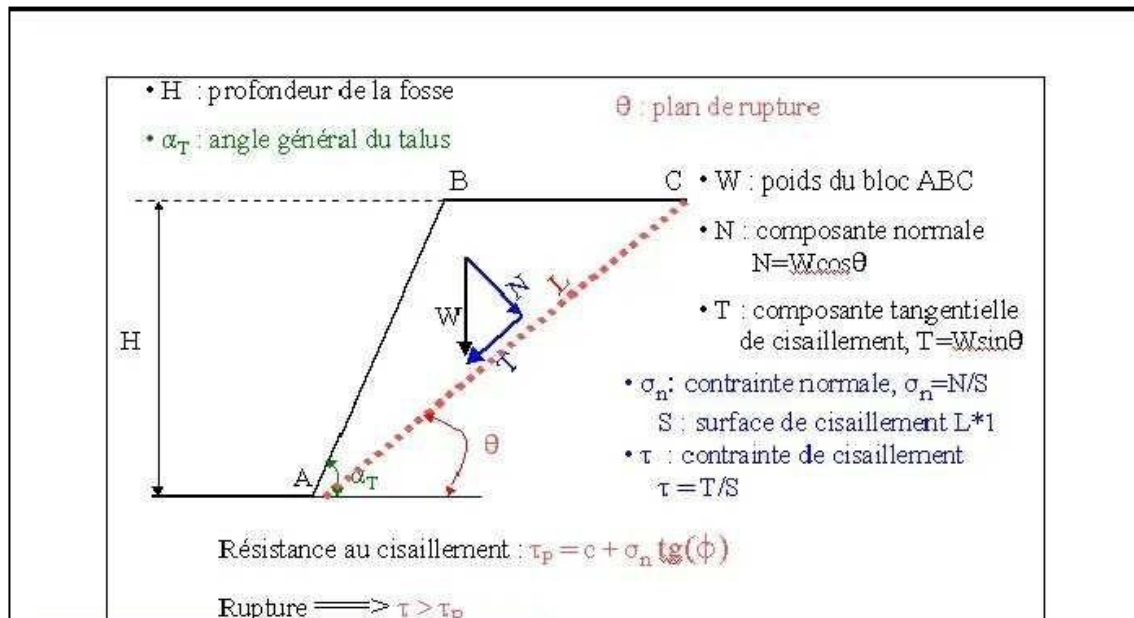


Figure II.18 - Equations d'équilibre le long de la discontinuité.

Le facteur de sécurité est défini comme étant le rapport entre les forces de résistance et les forces actives:

$$FS = \frac{\sum_1^n \text{Forces de résistance}}{\sum_1^n \text{Forces actives}} \quad (2)$$

Appliqué à ce cas, l'expression du facteur de sécurité devient:

$$F_S = \frac{\tau_p}{\tau} = \frac{C + \sigma_n \operatorname{tg}(\varphi)}{\tau} > 1 \quad (3)$$

Pour assurer l'équilibre, ce facteur doit être supérieur à 1. Dans le cas du dimensionnement des talus (stabilité générale), un facteur de 1,5 est souvent utilisé.

Si on remplace les différents paramètres du facteur de sécurité par leur valeur, on aboutit comme suit :

Soit une composante qui dépend de l'angle de frottement et une composante qui dépend de la cohésion.

On peut facilement établir des graphes pour étudier l'influence des caractéristiques du terrain (cohésion  $C$ , angle de frottement et poids volumique) et des caractéristiques du talus (profondeur  $H$  et angle général  $\alpha_T$ ) sur le facteur de sécurité.

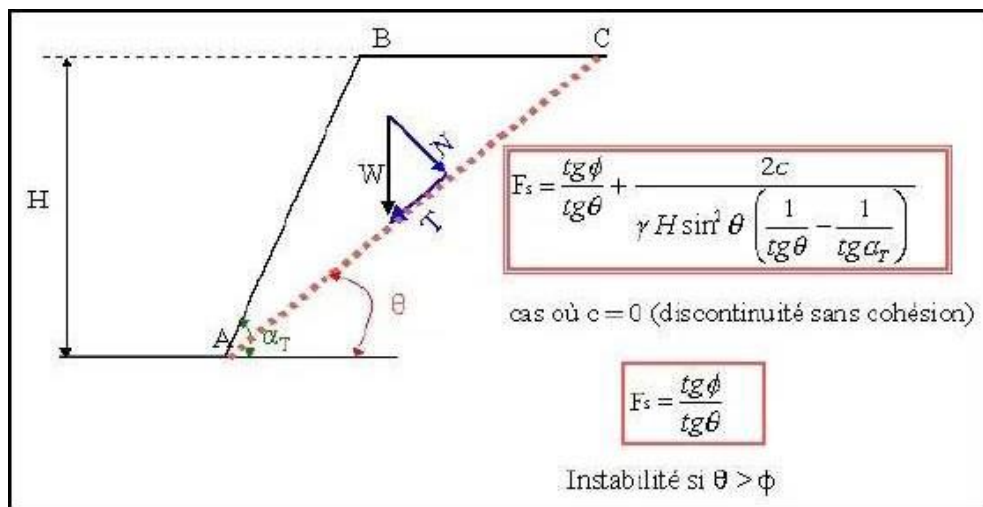


Figure II.19 - Conditions de stabilité lorsque  $C = 0$  (discontinuité).

En pratique, on fait le calcul inverse: le facteur de sécurité est fixé et on recherche l'angle du talus pour obtenir ce facteur.

Il est très facile de constater que lorsque la cohésion est nulle (cas de la discontinuité), les conditions de stabilité se simplifient considérablement et le critère se



ramène à une comparaison entre l'angle de frottement  $t$  et l'inclinaison de la discontinuité (figure II.19).

## II.6. Conclusion

On retiendra de cette brève présentation des aspects de stabilité dans les exploitations à ciel ouvert les points marquants suivants :

- La stabilité dans une exploitation à ciel ouvert dépend du mode de rupture potentiel ;
- Le mode de rupture dans un terrain dépend de ses caractéristiques géotechniques (résistance au cisaillement, orientations des fissures) ;
- Les caractéristiques dans une exploitation à ciel ouvert changent d'un talus à un autre et également au sein du même talus ;
- Le dimensionnement doit être réalisé de manière à éviter tous les modes de rupture possibles ;
- La stabilité est gouvernée avant tout par l'angle général qui doit être défini pour la profondeur ultime de la fosse.

**Chapitre III :**  
**Présentation du cas**  
**d'étude**

### III.1.Introduction

Dans ce chapitre, sur la base des analyses documentaires et des données recueillies sur terrain nous développons une étude globale sur le site d'étude.

La région de Djebel Onk est située dans la partie orientale des monts de appartenant à l'atlas saharien. Djebel Onk est un massif montagneux de calcaire dont le flanc sud plonge rapidement sous le dépôt du Miocène et du Quaternaire.

Le gisement de phosphate est de nature sédimentaire stratiforme constitue le prolongement vers l'Ouest des phosphates localisés dans le territoire Tunisien. Le gisement appartient à une formation tahitienne dont la base est caractérisée par l'apparition du premier dépôt de phosphate important mais fortement argileux à ses couches succèdent les marnes noires puis l'assise de phosphate principale qui fait approximativement 30 m de puissance et d'une formation nature carbonatée.

### III.2.Historique et méthodologie des recherches géologique au Djebel Onk

Selon le rapport de l'EREM rédigé par Cieslinski et al.de 1985 à 1987 :

- Les phosphates Algériens ont été découverts à Boughari par Thomas Ph., en 1873.
- Dans la période (1907 -1908) Joleau à découvert le gisement de Djebel Onk. Des informations plus complètes ont été présentées par Dussert.
- En 1924, Dussert D., fournit des coupes lithologiques détaillées des gîtes de phosphate de la zone du Djebel Onk.
- En 1931 les phosphates de Djebel Onk font l'objet d'une première concession par la compagnie des phosphates de Constantine qui a été le principal producteur en Algérie. Par la suite, une filiale est fondée : Société du Djebel Onk (S.D.O) en 1936.
- En 1951 et 1952, Visse étudie pour la S.D.O, le gisement de phosphate du Djebel DjemiDjema dont il reprend avec beaucoup de détails la stratigraphie et évalue les réserves dans toute la zone du Djebel Onk.
- De 1961 à 1963, des essais de prospection radiométrique aéroportée sont effectués au-dessus du gisement de Djebel Onk.
- En 1963, les études géologique et minière précédant l'exploitation du gisement de DjemiDjema ont été réalisées par la société SERMI, pour la S.D.O. Parallèlement, la société française SOFREMINEs rédige un avant-projet d'exploitation du gisement de Kef Essnoun.

- En Février 1965, l'exploitation du gisement du DjemiDjema fut débutée.
- De 1971 à 1974, les travaux de recherche et de prospection sur les phosphates dans l'Est de l'Algérie ont été relancés par la SONAREM en s'appuyant d'abord sur un levé aéroradiométrique, puis par une campagne de prospection et d'évaluation du district minier du Djebel Onk, afin de mettre en évidence des réserves complémentaires et de mieux caractériser les gisements connus.
- En 1986, le gisement de Kef Essnoun a été reconnu en détail par l'EREM grâce à 32 sondages carottés réalisés à la maille de 250 x 300 m et 22 tranchées réalisées dans les dressants.
- En Novembre 1989, l'entreprise FERPHOS fait connaître son cahier des charges pour des études de développement du complexe minier de Djebel Onk.
- En 1993, BRGM a fourni un rapport d'expertise géologique de tous les gisements de Djebel Onk-En Avril 1992, signature du contrat entre l'entreprise FERPHOS et le consultant BRGM/SOFREMINES concernant le rassemblement des éléments techniques et économiques permettant d'arrêter un projet de développement de l'exploitation des gisements de phosphate de Djebel Onk.

### **III.3. Situation géographique**

#### **III.3.1. Situation géographique régionale de Djebel Onk**

Djebel Onk se situe dans le Nord-Est de l'Algérie, dans l'extrémité orientale des monts de Nemenmcha, derniers chaînons de l'Atlas Saharien. Il constitue la limite géographique naturelle entre les hauts plateaux Constantinois et le domaine Saharien.

Les terrains sont semi-désertiques à faible population (Cieslinski et al. 1985, 1987; Prian, Cortiel, 1993). Du point de vue administratif, la région appartient à la wilaya de Tébessa, éloignée d'environ 100Km au Sud et à 20km de la frontière Algéro-Tunisienne, reliée à Bir El Ater (Daïra) par une route goudronnée (RN 16).

Topographiquement, le massif de Djebel Onk forme un ensemble de calcaire de 20km de longueur qui culmine à 1198m (Djebel Tarfaya) ; les altitudes les plus basses au pied du Djebel Onk sont d'environ 635m. Les terrains sont entaillés par de nombreuses vallées d'oueds prenant source du flanc Nord du secteur et qui se rejoignent plus au Sud.

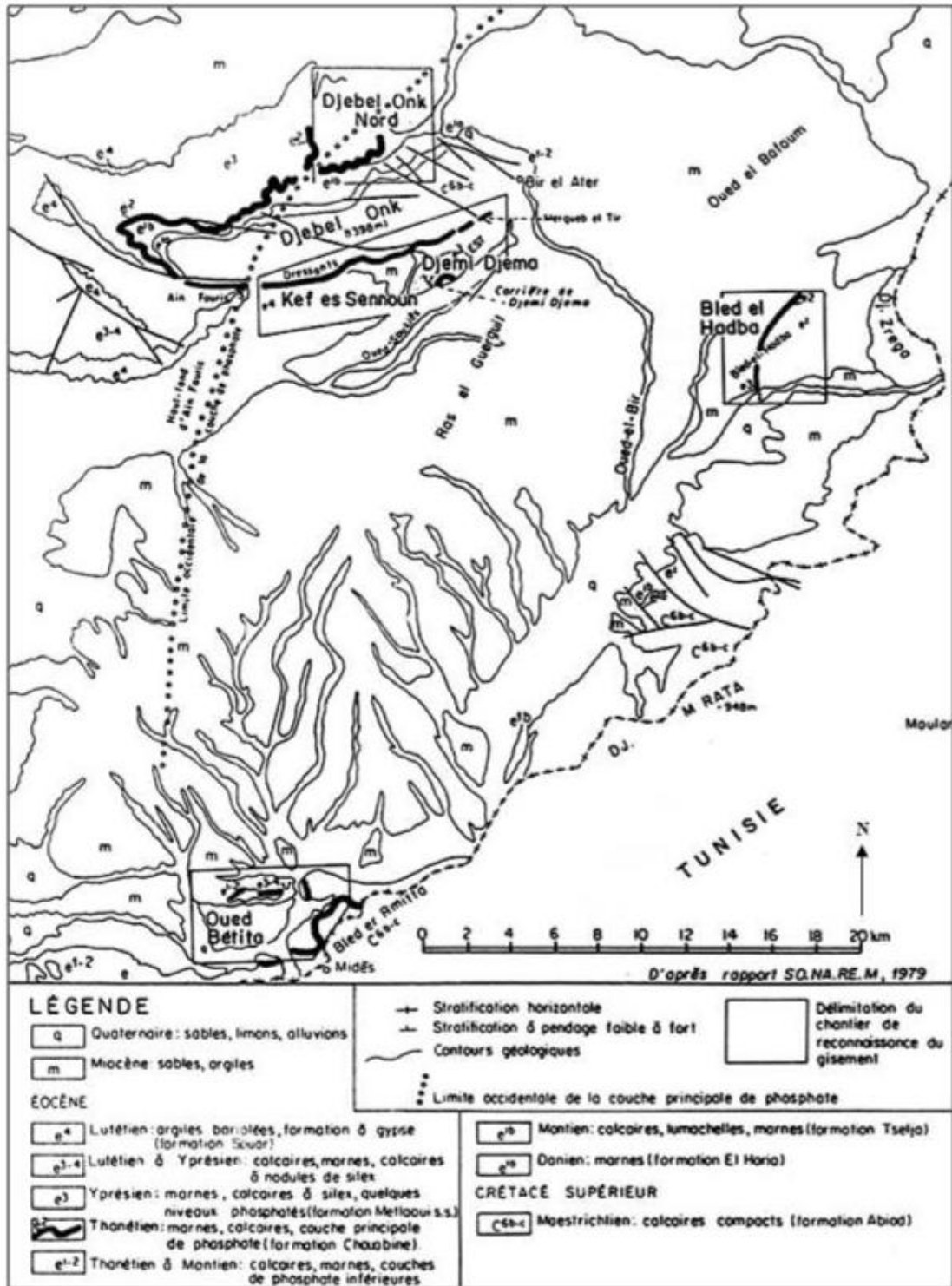


Figure III.1 - Carte de situation géographique des gisements de phosphates de la région de Jebel Onk (D'après SO.NA.R.E.M., 1978).

En général, ces oueds sont secs à l'exception en périodes hivernales (Prian, Cortiel, 1993).

Ses coordonnées LAMBERT sont:

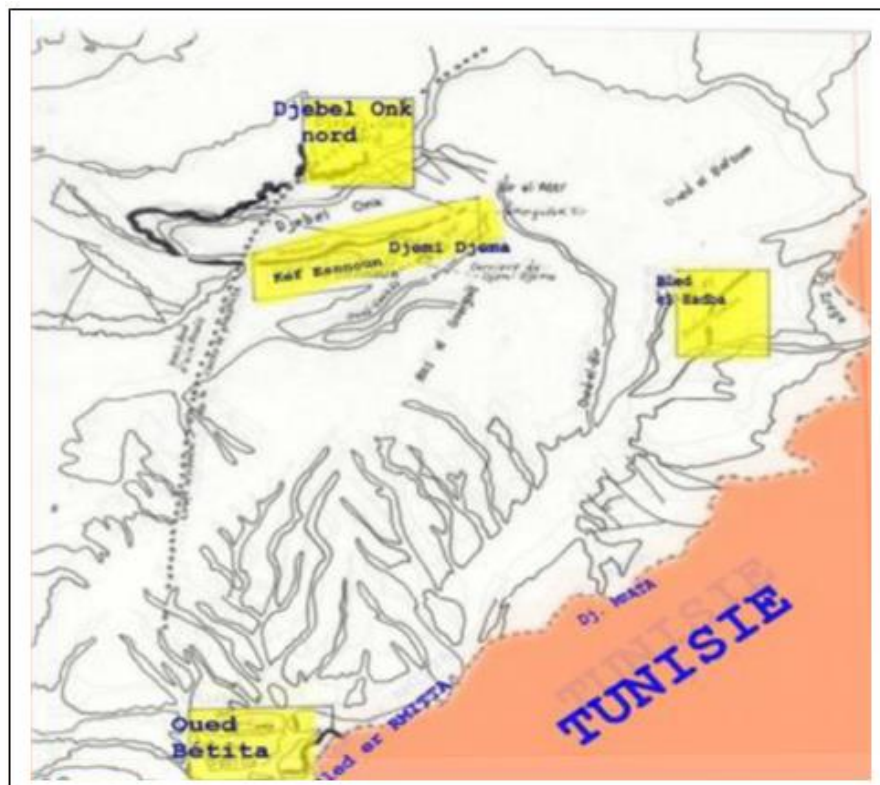
X= 981,500 -----984,500

Y= 165,000 -----170,000

La région de Djebel Onk est subdivisée en cinq secteurs miniers:

- Gisement de Djemi Djema, (Sud du massif du Djebel Onk) ;
- Gisement de Djebel Onk Nord, (nord du centre minier de Djemi Djema) ;
- Gisement d'Oued Betita, (Sud-est du centre minier du Djemi Djema) ;
- Gisement de Bled El Hadba, (Sud-est de Djebel Onk).
- Gisement de Kef Essnoun, (Sud du massif du Djebel Onk).

Ce dernier, qui est l'objet de notre étude, est situé sur le flanc méridional de Djebel Onk, à environ 09 Km au Sud-ouest de la ville de Bir El Ater.



**Figure III.2** - Carte de situation géographique et géologique des gisements de Djebel Onk (D'après Priant et Cortial, 1993). FERFOS.

Le bassin de Djebel Onk appartient à la zone des climats subdésertiques, caractérisée par deux saisons très nettes : un hiver froid et rigoureux et un été chaud où les températures peuvent dépasser 45°.

La pluviométrie accuse des chiffres très faibles et le réseau hydrographique est rarement mis à contribution. L'inconvénient majeur réside précisément dans la brutalité des averses d'orage qui déchaînent les vallées descendantes de Djebel Onk.

La violence des pluies périodiques provoque des ruissellements torrentiels qui inondent et peuvent changer l'ancienne allure de quelques ravins. Les vents de sables sont fréquents en saison sèche.

La population est peu dense. La situation économique de la région s'est améliorée grâce à l'installation du complexe minier de phosphates à Bir El-Ater ; ce qui a contribué à l'agrandissement et au développement de la ville.

### **III.3.2. Genèse de formation des phosphates**

La formation des gisements de phosphates n'est pas, jusqu'à présent tout à fait élucidée. Il y a diverses théories : les unes adoptent une origine organique, les autres une origine non organique, chacune a ses partisans.

Certains chercheurs émettent l'hypothèse que les eaux de fond sont alimentées en phosphore principalement libéré lors des processus de putréfaction des organismes (hypothèse biogénétique). D'autres sont d'avis que les organismes ne constituent pas la source de phosphate, celui-ci est transporté par les cours d'eau du continent à l'océan.

Il existe encore une théorie d'origine volcanique du phosphore le rattachant aux phases du volcanisme sous-marin (Cieslinski et al, de 1985 à 1987). L'une des hypothèses la plus adaptée est celle de Kazakov, 1930. Celle-ci est basée sur les résultats de la campagne océanographique. Ces travaux ont montré que la teneur en  $P_2O_5$  de l'eau de mer augmente avec la profondeur.

Le minimum se trouve dans la zone de photosynthèse où le phosphore est consommé, tandis que le maximum se trouve vers des profondeurs de l'ordre de 500 m.

On distingue, selon cette théorie, les étapes suivantes de formation des phosphates :

- 1- Le phosphore précipite chimiquement sur les bords du plateau continental après y avoir été amené par des courants froids ascendants, (Figure III.3);
- 2- Avec l'échauffement des eaux, il y'a augmentation du pH et diminution de la pression partielle en  $CO_2$ . Cette diminution amène à la précipitation du  $CaCO_3$ , puis

les phosphates. Donc, la sédimentation chimique des phosphates ne peut se produire ni dans les régions profondes, là où la pression du  $\text{CO}_2$  est trop élevée, ni dans la zone de photosynthèse où le phosphore est consommé.

C'est donc entre 50 et 500 m environ que précipitera le phosphate. Cette théorie a été amendée par Visse (1952). Selon cet auteur, le milieu de genèse semble distinct du milieu d'accumulation. On peut rencontrer deux types de gisements:

- 1- Des gisements de plate-forme continentale dont le minerai est caractérisé par une couleur claire, une structure noduleuse ou pseudo-oolithique, une fréquente association avec la glauconie et de nombreux éléments détritiques quartzeux. Ce type de gisement semble lié aux transgressions marines.
- 2- Des gisements de bordure de géosynclinal fournissent des minerais de couleur sombre, à structure pseudo-oolithique avec une exo-gangue généralement argileuse et des formations siliceuses importantes. Ce type de gisements serait plutôt régressif.

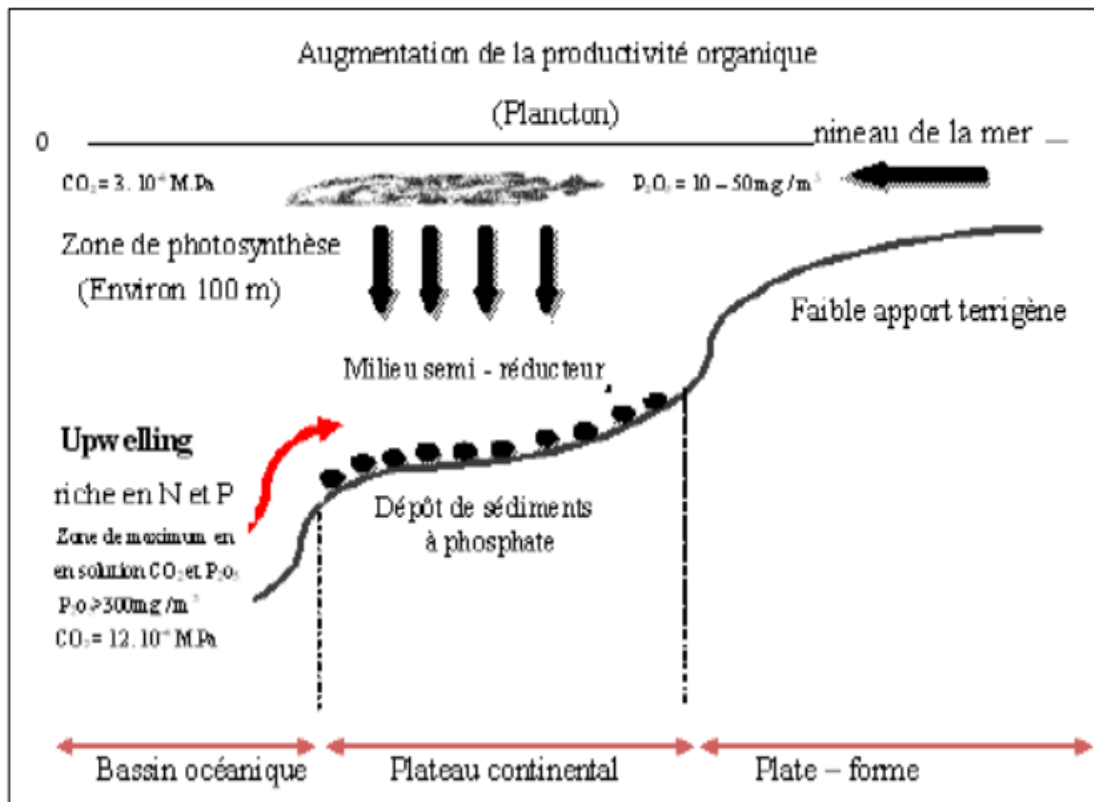


Figure III.3 - Schéma de phosphato-genèse, (Kazakov, 1930).

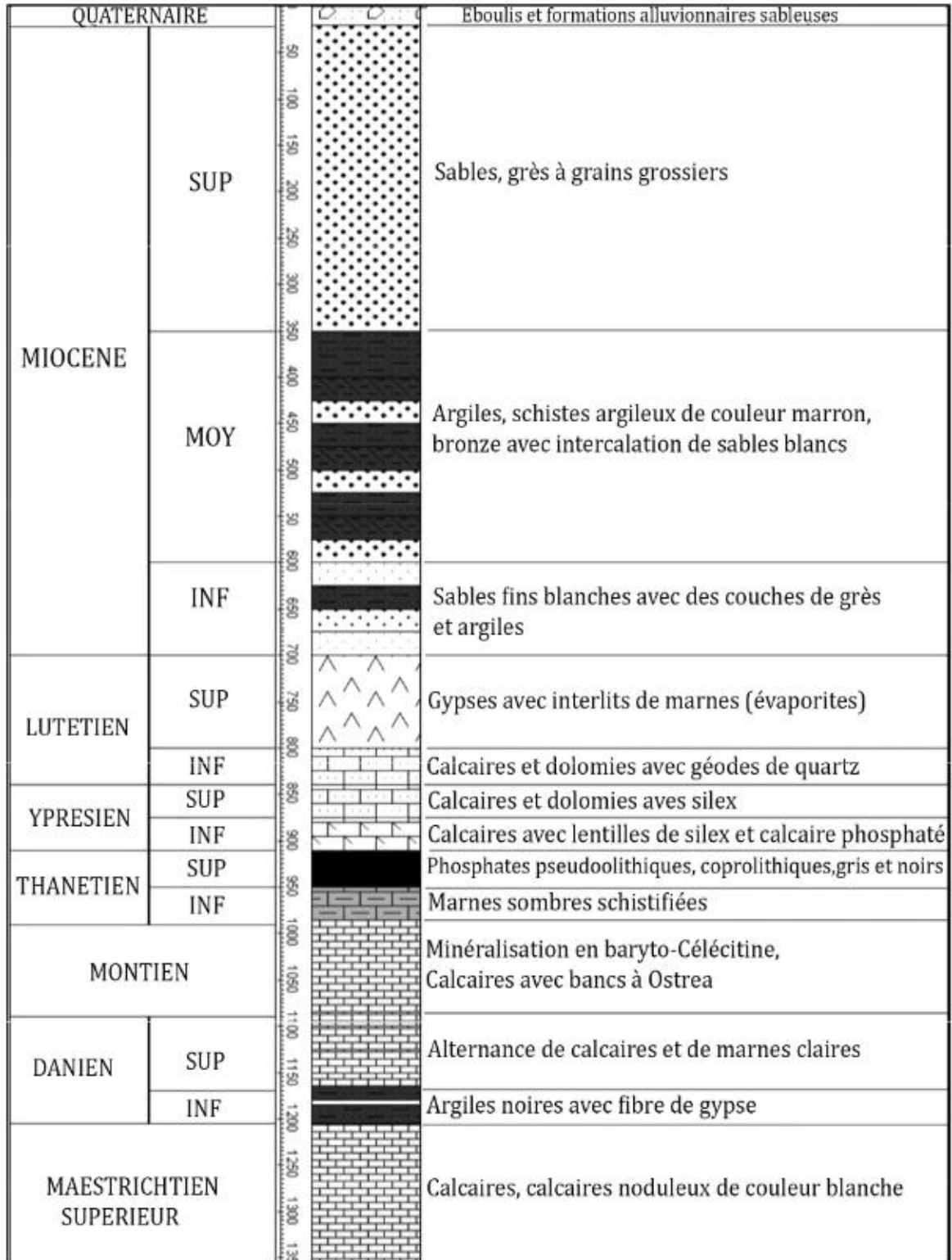


### III.3.3. Stratigraphie

La stratigraphie de la région de Djebel Onk a été établie par Visse (1952). La série sédimentaire affleurant est exprimée par une succession stratigraphique allant du Crétacé Supérieur (Maestrichtien) à l'Eocène moyen (Lutétien). Cette série est recouverte en discordance par une épaisse série sablo-argileuse continentale d'âge Miocène, puis par du Quaternaire (alluvions et éboulis).

- **Crétacé:** représente les sédiments les plus anciens au cœur de l'anticlinal du Djebel Onk tectoniquement très accidentés, seuls les dépôts du Maestrichtien y affleurent. Ce dernier est caractérisé par des calcaires blancs massifs avec des intercalations marneuses.
- **Paléogène:** Ce sont des sédiments marins représentés par des calcaires, des phosphates et de gypse, dans la région, le Paléogène atteint d'assez grandes épaisseurs de 350 m, les variations lithologiques et les restes des organismes ont permis d'en faire les subdivisions stratigraphiques suivantes :
  - ✓ **Danien :** Il est conventionnellement adopté au contact calcaire Maestrichtien série argilo –marneuse. Cette différence lithologique est présentée par une subdivision en deux séries distinctes, où on note la séparation entre le Danien supérieur et le Danien inférieur. L'épaisseur totale du Danien est d'environ 100 m.
    - **Danien inférieur:** Il est représenté par des argiles marneuses schisteuses, de couleur grise foncée à brun vert, intercalé par des marnes dures et irrégulières. L'ensemble est traversé par des filons de gypses de différentes orientations.
    - **Danien supérieur:** Formé d'une alternance de calcaires et marnes calcaires. Dans la partie supérieure du Danien, on note la présence d'un banc caractéristique de 1 à 2 m d'épaisseur, formé de calcaire beige à lumachelle surmontés par des marnes en plaquettes blanches. C'est dans cet étage qu'apparaissent les premiers minces niveaux (10 à 30 cm) de marne phosphatée.
  - ✓ **Montien:** Cet étage est marqué par la présence d'une série de calcaire, calcaires détritiques, calcaires à lumachelle avec des intercalations de marne et dolomie, ces sédiments se caractérisent par une absence ou une faible quantité de silex. Les huîtres sont abondantes, en bancs gris à noir.
  - ✓ **Thanétien:** C'est l'horizon porteur de la minéralisation. Il est visible sur le flanc de l'anticlinale de Djebel Onk avec une épaisseur de 72m. Il se subdivise en deux parties:

- **Thanétien inférieur:** Représenté par des marnes schisteuses. Dans la partie supérieure du Thanétien inférieur apparaissent des intercalations phosphatées atteignant jusqu'à 2 m d'épaisseur, et très riche en matière organique surmontées par des calcaires et des marnes à gros gastéropodes. La puissance varie de 30 à 40 m.
  - **Thanétien supérieur:** présente des phosphates pseudo lithiques et cuprolithiques. Il débute par un niveau dolomitique à gastéropodes, sous-jacent à une couche phosphatée de 30 m d'épaisseur en moyenne à Djebel Onk et à Bled El Hadba, et qui diminue jusqu'à la disparition vers le Nord, l'Ouest et le sud de ce gisement se termine généralement par un niveau lumachellique.
- **Eocène:**
- ✓ **Yprésien:** Il repose directement sur les dépôts du Thanétien et affleure dans la carrière de Djemi–Djema et au Nord du Djebel Onk, il a une épaisseur de 32 m, on note:
    - **Yprésien inférieur:** est représenté par des calcaires avec lentilles de silex et calcaire phosphaté. L'épaisseur moyenne de l'Yprésien inférieur est de 30 m au maximum.
    - **Yprésien supérieur:** Il est constitué par l'alternance de calcaires, calcaire dolomitique et marnes, sa puissance est de 2 à 3 m.
  - ✓ **Lutétien:** Les formations de cet étage recouvrent en concordance les séries Yprésiens; elles sont répandues dans la région de Djebel Onk, on distingue:
    - **Lutétien inférieur:** est caractérisé par des calcaires et dolomie avec géodes de quartz.
    - **Lutétien supérieur:** est caractérisé par la présence des gypses avec inter lits de marnes évaporites. Son épaisseur peut atteindre 100 m.
- Néogène:** Le Néogène est caractérisé par un faciès sablo –argileuse de type continental d'une puissance avoisinante à 600 m.
- **Miocène:** La datation des roches de Miocène a été faite grâce à la découverte des rares fossiles (Hélix Tissiti), il est formé essentiellement par des sédiments représentés par des roches terrigènes et des schistes argilo –gréseux. Tandis que les sédiments de la région de Bled El Hadba sont composés de nombreux fragments solidifiés.



**Figure III.4** - Colonne stratigraphique de la région de Djebel Onk (Cielensky et Benchernine, 1987).

Le Miocène est subdivisé en trois unités de bas en haut:

- **Miocène inférieur:** est représenté essentiellement par des conglomérats, des sables avec des lits minces d'argile siliceuse, sa puissance atteint plus de 200 m.
  - **Miocène moyen:** est essentiellement argileux, parfois schisteux, avec des intercalations de sables à grains fins et moyens. la puissance est d'environ 100 m.
  - **Miocène supérieur:** une série sablo-argilo-conglomératique.
- Quaternaire:** est essentiellement représentées par des éboulis de pente, de dépôts sableux ; dépôts éoliens, des graviers et des dépôts alluviaux et fluviaux.

### III.3.4. Tectonique

Ranchin (1963), a déduit que la région de Djebel Onk appartient à l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien. La série supérieure éocène, du bassin de Djebel Onk – Gafsa – Mélaoui, est structurée en une suite d'anticlinaux et synclinaux dissymétriques, généralement faillés dans leurs flancs, d'axe le plus souvent SW-NE, et décrochés par des accidents transverses N 120° à N 140° E.

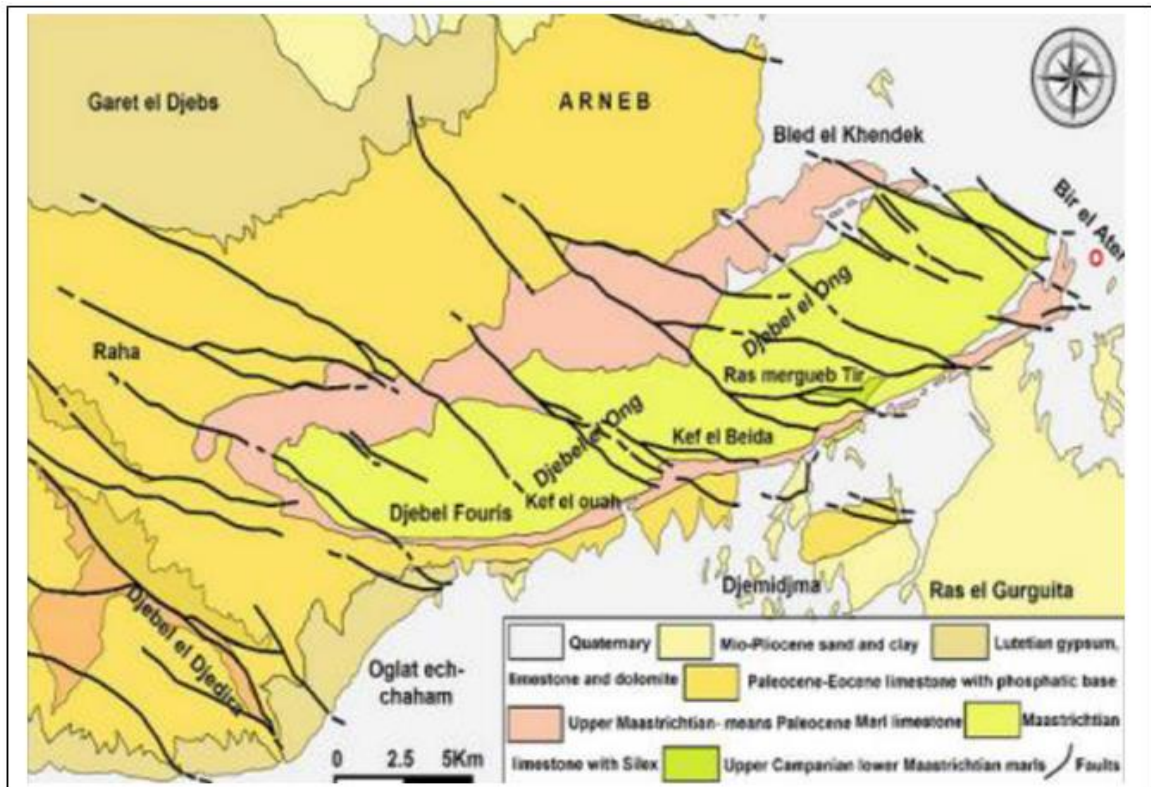


Figure III.5 - Carte géologique du Djebel Onk.

Les anticlinaux de Djebel Onk, Djebel Djemi-Djema et Oued Bétita sont localisés à la bordure de la flexure Sud-Atlasique qui correspond à une zone d'affleurement entre le domaine Atlasique mobile et la plate-forme Saharienne stable. Ils appartiennent à la branche Nord de la flexure Sud Atlasique de direction E-W.

L'anticlinal de djebel Onk prolonge des monts de Nememcha jusqu'à l'Est en périclinal sous les formations du Miocène d'une direction E-NE. Cet anticlinal est asymétrique au flanc méridional avec un pendage de 80° et un flanc septentrional de 10°.

### III.5. Contexte géologique local de Kef Essnoun

Selon le rapport de l'EREM réalisé par Cieslinski et al, de 1985 à 1987, le gisement de Kef Essnoun est situé au Sud du massif du Djebel Onk à 4 km de la ville de Bir El Ater, le siège administratif de la région (Daïra) est à 2 km à l'Ouest du gisement de DjemiDjema entre le Djebel Fouris et le Djebel Tarfaye. Sa superficie, circonscrite par les sondages de reconnaissance, est de 2.1Km<sup>2</sup>, soit 2.7Km de longueur sur 0.8Km de largeur.

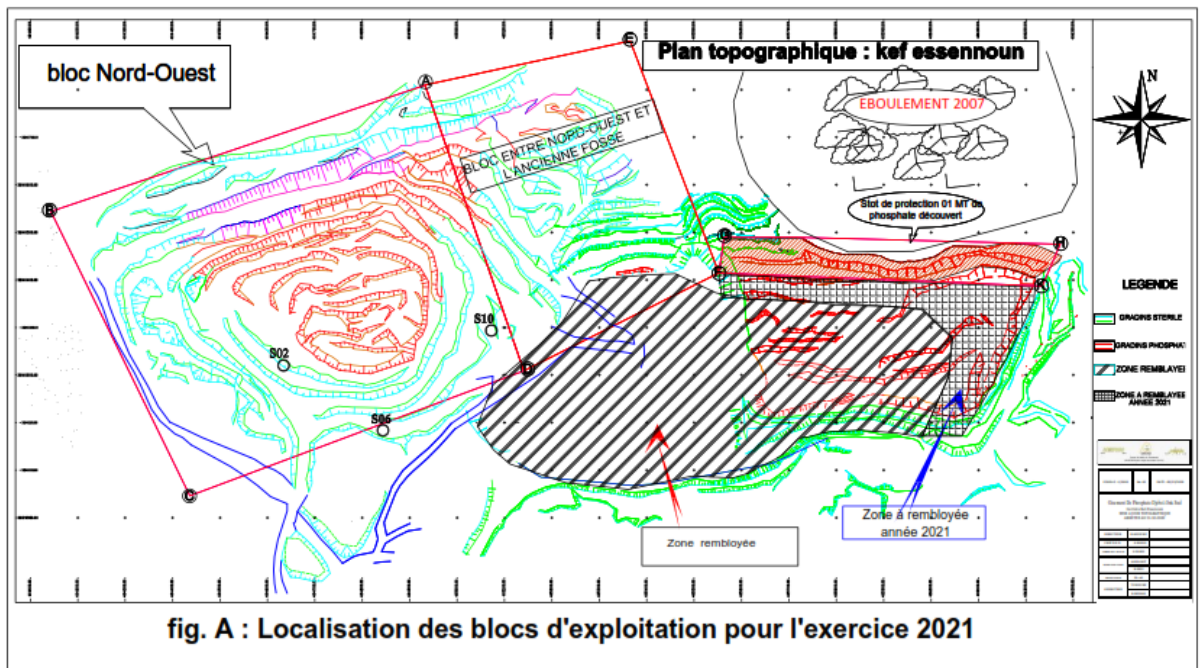


Figure III.6 - Plan topographique de Kef Essnoun (SOMIPHOS, ANNEXE II).

Topographiquement, la zone du gisement, située au pied de Djebel Kef Essnoun, constitue un plateau descendant en pente douce vers le Sud-Ouest. Les cotes topographiques varient de 720m au Sud –Ouest à 810m au Nord-Est (dressant Nord) (figure III.6).

Les coordonnées de ce gisement sont les suivantes :

$x = 951.500$  et  $y = 168.0$  à  $170.0$ .

La géologie du gisement de Kef Essnoun est relativement simple. Les réserves géologiques totales de Kef Essnoun ont été estimées à 317 millions tonnes de minerai à 26.53% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 2.61% MgO dont 168 millions tonnes de réserves prouvées, 50 Mt de réserves probables (zone de rupture de pente, au Sud de la table) et 99 Mt possibles dans les parties les plus profondes du gisement.

### III.5.1. Stratigraphie

Toute la succession lithologique de Djebel Onk est rencontrée à Kef Essnoun mais s'indifférencie, cependant, par une épaisseur verticale plus importante du faisceau phosphaté (jusqu'à 53 m dans certains sondages). Le gisement de Kef Essnoun est constitué de bas en haut par la succession lithologique suivante (Cielensky et al. 1985, 1987) :

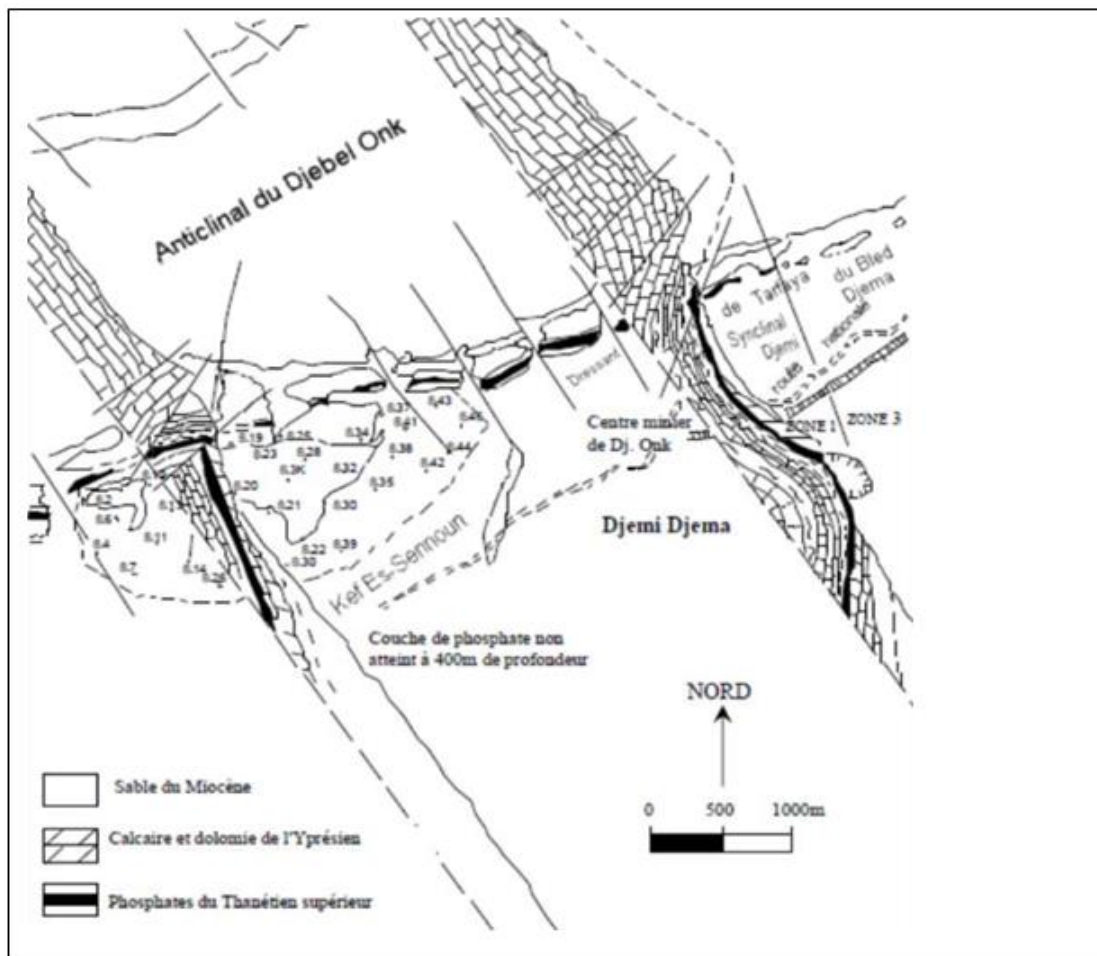
- Des formations du Thanétien inférieur (le mur du faisceau phosphaté) sont représentées par des marnes feuilletées, sombres dans lesquelles s'intercalent localement, dans la partie inférieure, deux niveaux de phosphates dolomitiques d'épaisseur infra métrique ;
- Le faisceau phosphaté, appartenant au Thanétien supérieur est constitué par une couche unique de phosphate sans intercalation stérile ;
- Au toit du faisceau phosphaté, apparaît la série calcaro-dolomitique à silex de l'Ypresien, au-dessus de laquelle se dépose localement les calcaires Lutétien, puis les sables du Miocène et en dernier les dépôts récents du Quaternaire constitués essentiellement d'alluvions.

L'épaisseur totale du recouvrement stérile varie de 40 m au nord à 198 m au sud.

### III.5.2. Tectonique

La tectonique de Kef Essnoun a été décrite par Cieslinski et al, (1985,1987), Prian et Cortiel, (1993) :

Le gisement de Kef Essnoun est caractérisé par une structure simple, qui se présente sous forme d'une table monoclinale à pendage régulier, sous un angle de 5 à 10° vers le Sud. Au sud de la table, on aperçoit une zone de rupture de pente où le pendage des couches atteint 20°. Une série de trois failles majeures de direction NNO-SSE traversent le gisement mais n'engendrent pas de déformations majeures sur la géométrie de la couche phosphatée. Par contre, dans la zone des dressants de Kef Essnoun, allongée N 75° E, la tectonique souple et cassante a entraîné un changement brusque du pendage de la couche phosphatée affleurant où l'angle de pendage est sub-vertical ou fortement incliné vers le Sud-est ou le Nord-ouest.



**Figure III.7** - Structure de la couche de phosphate dans la zone de Kef Essnoun et localisation des sondages carottés (Prian et Cortiel, 1993).

Ces dressants, représentés par les formations du Paléocène (Danien, Montien et Thanétien) et de l'Eocène inférieur (Yprésien) correspondant à la zone de flexure faille du flanc inverse de l'anticlinal de Djebel Onk.

Au Nord-est des dressants, la série est renversée et la couche de phosphate plonge suivant un angle de 30° à 60° vers le Nord-ouest. Par contre dans la partie centrale des dressants, la couche de phosphate est en série normale et plonge vers le sud.

### **III.6. Aperçu hydrogéologique**

De point de vue hydrologique, selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH), le gisement de Kef Essnoun se situe dans le grand bassin versant de Chott Melrhir, dont la superficie est de l'ordre de 68751 Km<sup>2</sup> et où il y existe plusieurs stations hydrométriques.

#### **III.6.1. Les eaux de surfaces**

Les eaux superficielles de la région de Kef Essnoun, qui font partie des eaux sahariennes, marquent leur présence uniquement durant la période pluviale par des petits oueds (Tarfaya, Abiod, El Bir, Regou,...etc.) qui traverse le gisement en coulant du Nord vers le Sud. L'étude de la carte du réseau hydrographique nous permet de confirmer, à l'exception de quelques oueds qui prennent leur naissance dans les régions avoisinantes du Nord, que les sources de tous les oueds proviennent du dressant. Le débit et la vitesse d'écoulement ne deviennent importants qu'après le confluent de tous les oueds dans la partie Sud-ouest de la région au niveau de l'oued EI-Abiod car ce dernier draine les eaux vers le Sud jusqu'à la décharge finale Chott Melrhir (Cieslinski et al. 1985,1987).

#### **III.6.2. Les eaux souterraines**

L'étude hydrogéologique de la région de Bir El Ater a mis en évidence les formations aquifères suivantes (Cieslinski et al. 1985,1987):

- Les alluvions du quaternaire ;
- Les sables du miocène;
- Les calcaires marneux gypsifères du Lutétien ;
- Les calcaires à silex de l'Yprésien ;
- Les calcaires du Dano-montien ;
- Les calcaires compacts fissurés du Maastrichtien.



L'alimentation de ces aquifères s'effectue par l'infiltration des précipitations atmosphériques et le drainage des aquifères voisines. Leur importance hydrique est faible dans l'ensemble. A proximité de Djebel Onk dans la zone de Kef Essnoun, ces formations sont privées d'eau et ne présentent pas d'aquifères. En 1986, L'E.R.E.M a réalisé 32 sondages carottés de profondeur allant de 76 m à 250 m et aucun sondage n'a signalé la présence d'eau.

### **III.7. Aperçu sur l'exploitation du gisement de Kef Essnoun**

Le gisement de phosphate de Kef Essnoun est un important gisement. Sa proximité vis à vis des installations de traitements actuelles, la qualité de son minerai, ses réserves en catégorie industrielles et ses paramètres techniques d'ouverture lui confèrent un caractère prioritaire et stratégique quant à l'exploitation et le traitement de son minerai.

#### **III.7.1. Caractéristiques géo-minières de Kef Essnoun**

Les caractéristiques géo-minières ont été déterminées par CERAD et qui se résument en :

- Présence d'une tectonique importante au Nord (zone des dressants) ;
- Bonne qualité du minerai (une moyenne de 26,53 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et pauvre en MgO dont la teneur moyenne est de 2,61% ;
- Sa simplicité du point de vue exploitation (profondeur moins de 100 m, forte puissance de (25 à 35 m) ;
- Accès facile vers les autres parties (extension et avancement).

Après un important glissement de terrain, localisé dans le flanc Nord-est de la carrière de Kef-Essnoun au niveau de l'interface phosphate marne, en 2007, des mesures de sécurité et une autre méthode d'exploitation ont été adoptées.

Ce qui concerne les mesures de sécurité sont :

- Aménagement d'un stot de sécurité le long des gradins de la partie Sud –Ouest de la plate-forme, pour mettre les mineurs à l'abri d'un mouvement d'ensemble du versant ;
- Mettre en place des inclinomètres afin de poursuivre la surveillance du versant Nord. Ce qui concerne la méthode d'exploitation, elle est orientée vers les parties Ouest et Sud- Ouest de la plate-forme actuelle.

### III.7.2. Méthodes et paramètres d'exploitation

La mine de Kef-Essnoun est une mine à ciel ouvert constituée de plusieurs gradins en forme d'une fosse. Le facteur de recouvrement est de un pour deux, c'est-à-dire que pour chaque gradin de minerai abattu, il faut abattre deux gradins de stériles. Pour cela, on trouve les gradins de stériles dans la périphérie et les gradins de minerais dans le centre de la fosse.

**Tableau III.1** - Paramètres d'exploitation tableau récapitulatif des paramètres d'exploitation 2021.

DESIGNATION	MARNE	STERILE	PHOSPHATE
HAUTEUR DU GRADIN EN (m)	15	15	15
ANGLE DE TALUS EN (degré)	30	70	70
BERME DE SECURITE EN (m)	/	MINI 6	MINI 6
PLATE FORME DE TRAVAIL EN (m)	≥ 40	≥ 40	≥ 40
LA LARGEUR DE LA TRANCHEE EN (m)	20	20	20
LA LANGEUR DE LA TRANCHEE MAXIMALE EN (m)	/	300	300
PENTE MAXIMALE EN (%)	10		

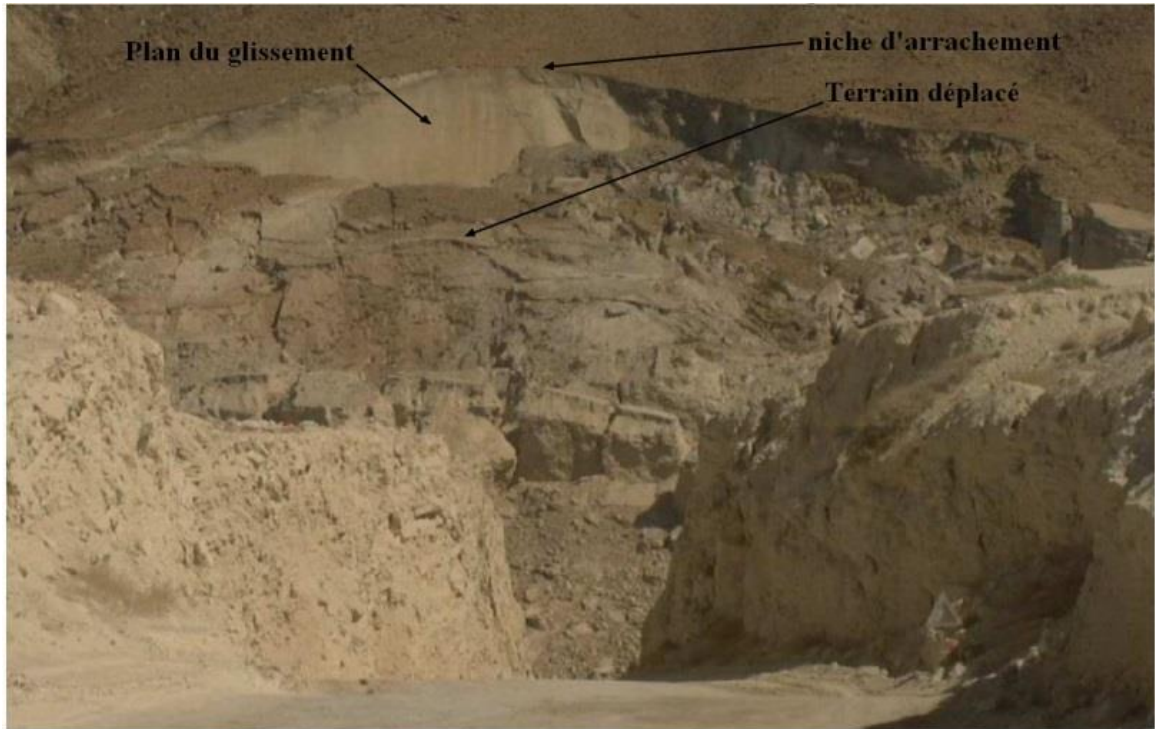
#### Paramètres d'exploitation

Compte tenu des conditions géomorphologiques du gisement et des recommandations de DMT, les paramètres d'exploitation retenus pour l'exercice 2021 sont énumérés dans le tableau III.1.

### III.8. Situation de Kef Essnoun vis-à-vis de la stabilité

Le 8 septembre 2007, un glissement de terrain s'est produit soudainement à la carrière (bord Nord-Est) de la mine de phosphate de Kef Essnoun, qui fait partie de Djebel Onk (Bir El Ater à Tébessa, Nord-Est de l'Algérie). Le glissement de terrain a mobilisé une masse rocheuse constituée d'une couche de phosphate, qui était recouverte de calcaire. Un terrain instable occupe toute la fosse minière avec un volume de plus de 6 Mm<sup>3</sup>. En raison de ce problème, l'opération et le travail de production ont été

temporairement arrêtés pendant une longue période. Des enquêtes ont été lancées pour résoudre le problème et d'autres méthodes ont été recherchées pour reprendre les travaux à la mine de Kef Essnoun (Figure III.8).



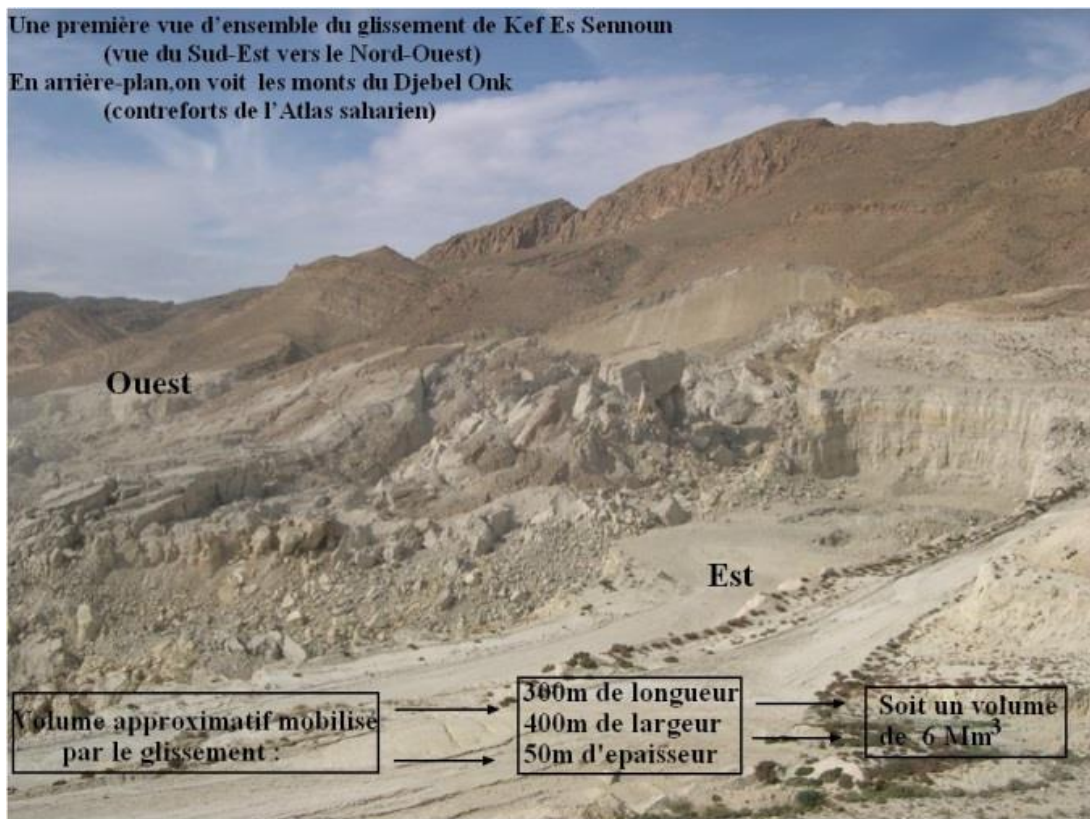
**Figure III.8** - Photo montrant le glissement affectant la carrière de Kef Essnoun (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).

### III.8.1. Histoire et explication du problème

Avant le glissement de terrain, l'exploitation minière du premier niveau de la carrière située au milieu du versant Nord-Est du Kef Essnoun était orientée du Sud vers le Nord. Il y a deux gradins de stériles. Le premier mesure 1 778 m de long et 14 à 26 m, le second a une longueur de 2 130 m et une hauteur de 30 m (Mezam, 2015). Pour la couche productrice de phosphate, la hauteur des marches est d'environ 30 m et la longueur est de 1536 m. La pente de toutes les gradins est de 85 à 90 ° (Figure III.9). Pendant une longue période avant 2007, des signes d'instabilité ont commencé à apparaître dans la partie supérieure de la zone minière. Par conséquent, des mesures préventives doivent être prises.



**Figure III.9** - Photos montrant une vue générale de la carrière de Kef Essnoun avant le glissement (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).



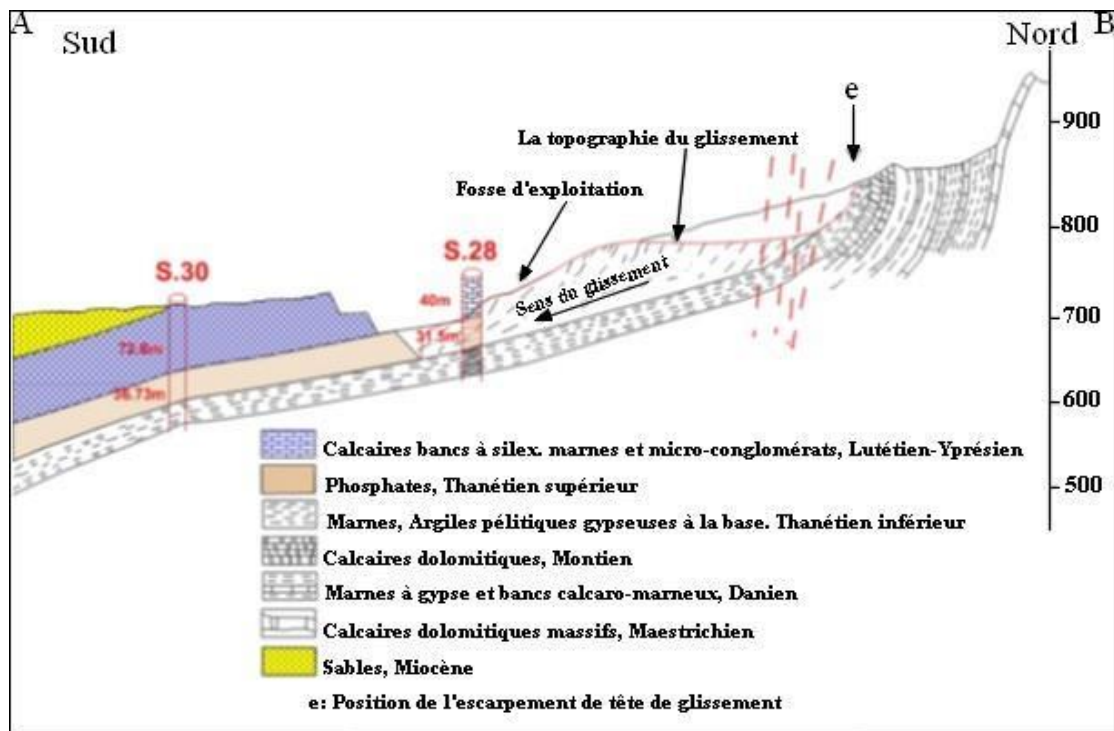
**Figure III.10** - Photo montrant une vue d'ensemble du glissement de Kef Essnoun (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).

### III.8.2. Caractéristiques des glissements de terrain

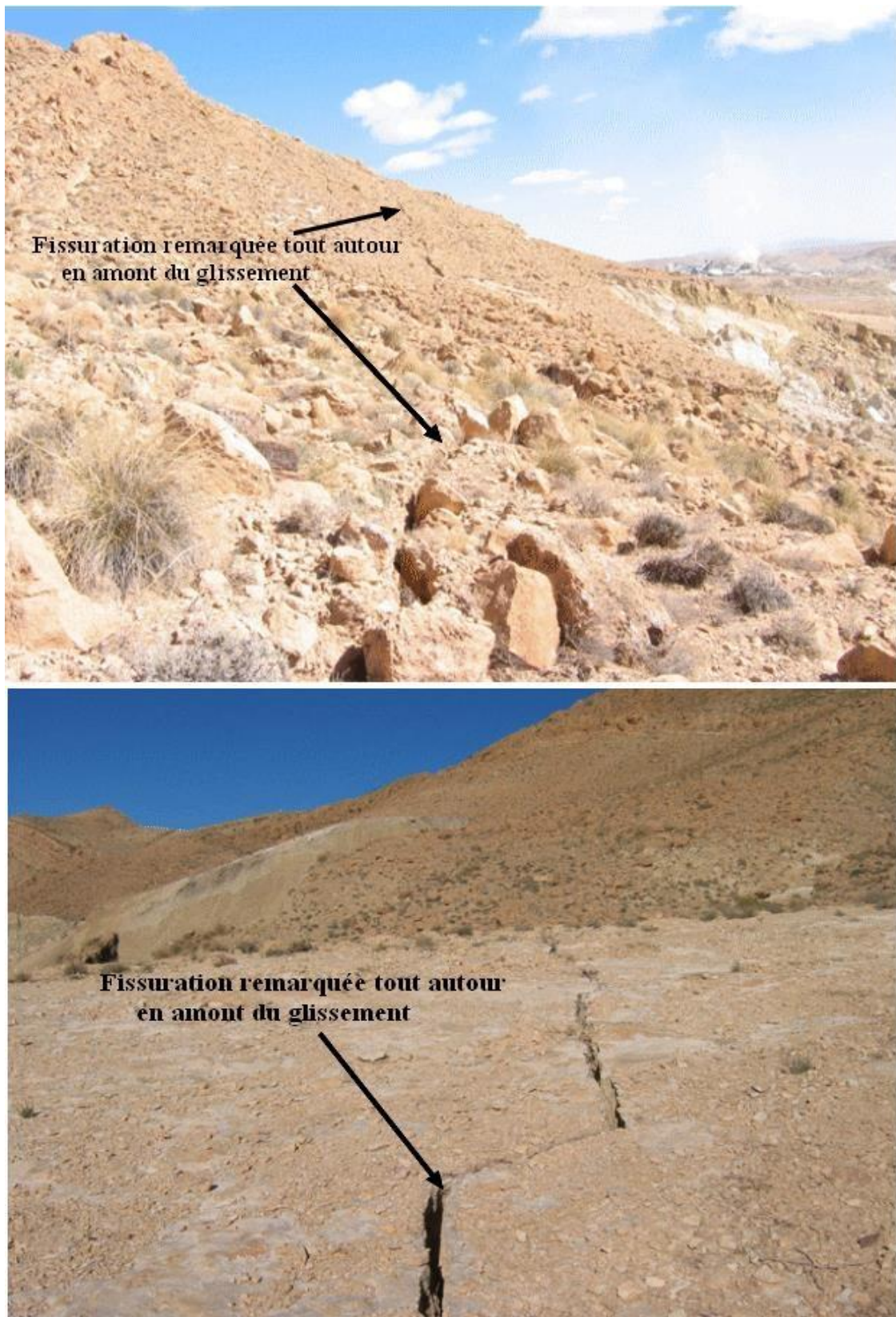
La hauteur de la falaise principale dans la zone de glissement de terrain est de 40 à 50 m. La masse glisse couvrent une superficie d'environ 11 hectares et l'épaisseur moyenne est d'environ 70 m (30 m de phosphate et 40 m de terrains sus-jacents). Par conséquent (SOMIPHOS, 2007), le volume de la masse glissées est estimé à 6 millions de mètres cubes ont presque rempli toute la fosse minière (figure III.10).

### III.8.3. Cartographie de la zone de glissement

Aux fins du tracé de la carte de coupe et du dessin de la zone de glissement, la carte topographique d'état-major (Djebel Onk, NI) est basée sur le groupe chargé de la prospection (SOMIPHOS, ANGCM et SGN, 2007), L'échelle est de 1: 50 000) Avec l'avancement de la sélection du site de Kef Essnoun en septembre 2007, le plan de délimitation de la mine est de 1: 1 000. Ces documents leur permettent de délimiter la zone glissée. Dans notre cas, l'imagerie satellitaire (Google Earth) a été utilisée comme méthode pour donner une image complète du glissement de terrain et de la zone minière actuelle (Figure III.14).



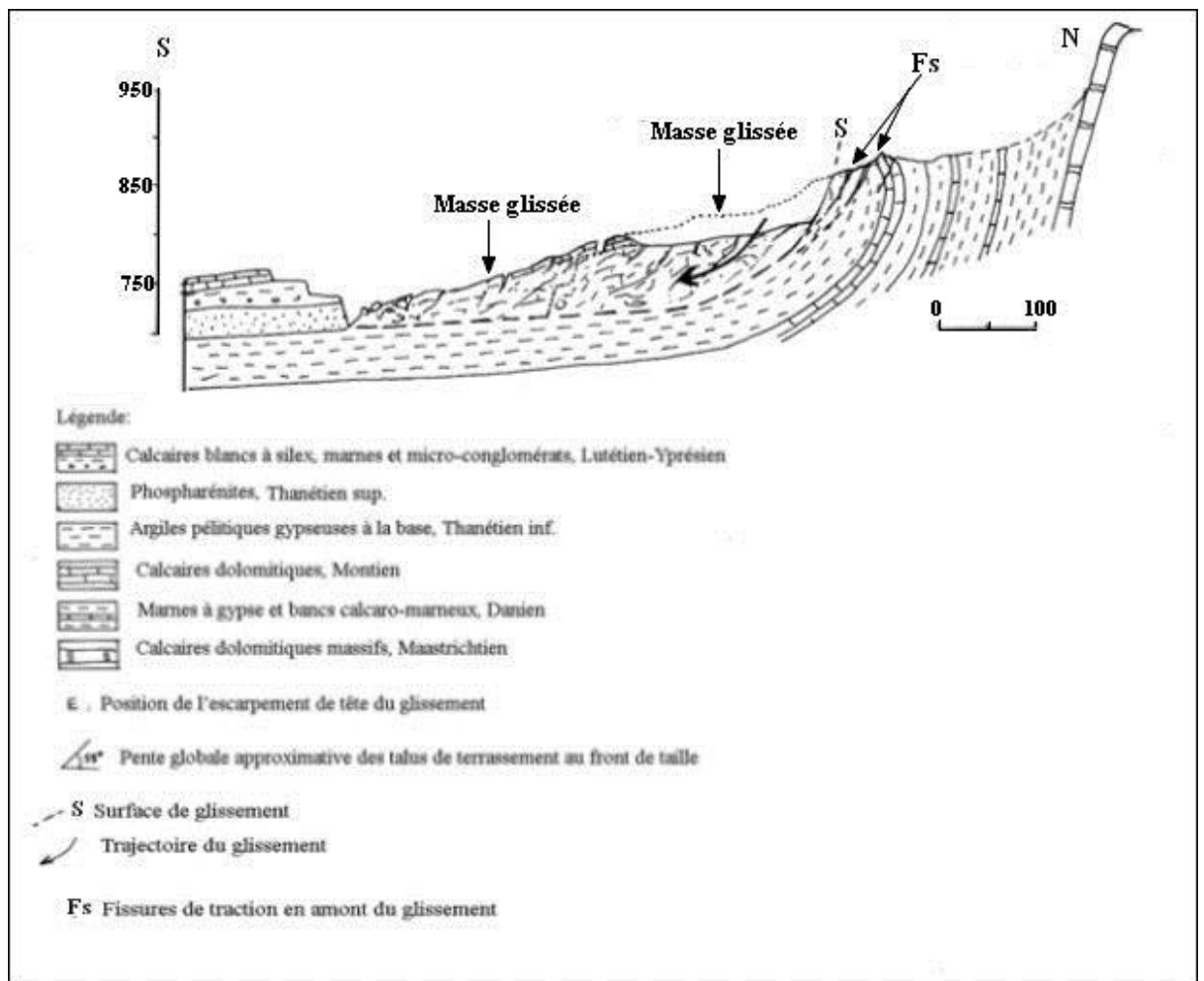
**Figure III.11** - Coupe géologique Nord-Sud de la carrière de Kef Essnoun après le glissement (Somiphos, l'ANGCM et S.G.N, 2007).



**Figure III.12** - Photos mettant en évidence la fissuration tout autour en amont du glissement de Kef Essnoun du 2007 (SOMIPHOS, 2007).

### III.8.4. Identification du glissement de terrain

La coupe géologique de la figure 11 montre que le glissement de terrain est recouvert d'une couche de phosphate du thanétien supérieur, surmontée des terrains de recouvrement, composées de Marno-calcaire, calcaire et dolomite, silex et silex d'Yprésien. Comme mentionné précédemment, l'épaisseur moyenne de la masse rocheuse est de 70 m. Autour de la zone, le réseau de fissures existant dans la roche (Figures III.12 et III.13) a formé une série de fissures concentriques près de la falaise principale. Ces fissures indiquent un état très instable et dangereux.



**Figure III.13** - Coupe géologique Nord-Sud montrant les fissures en amont du glissement (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).

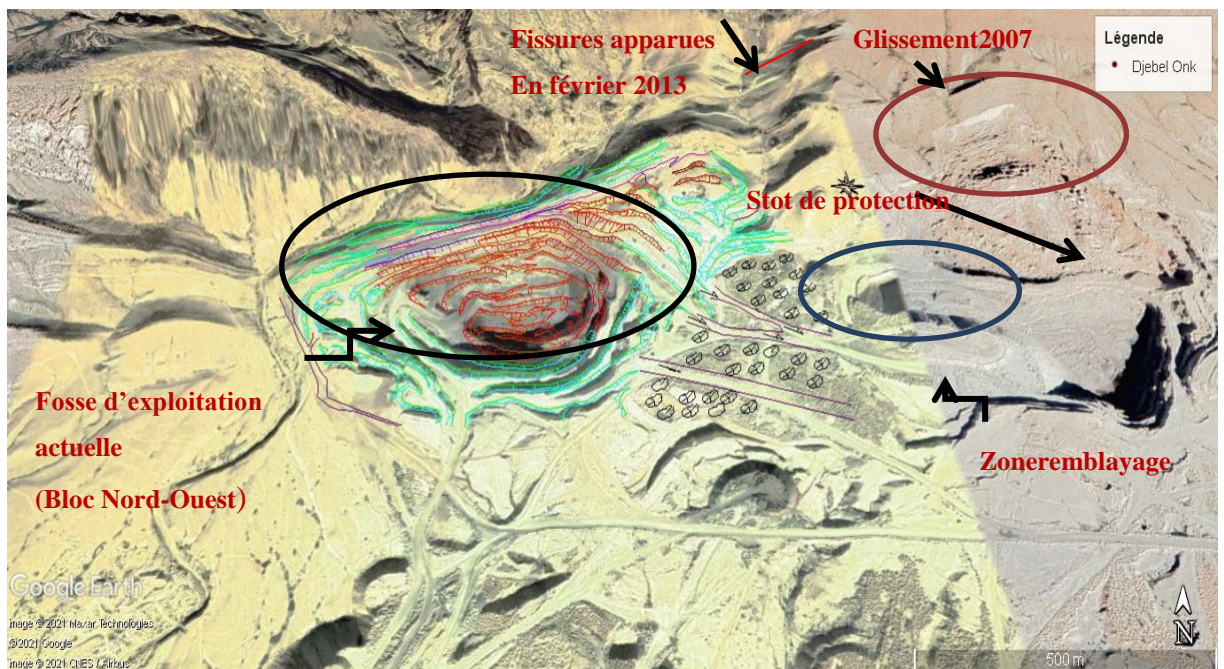
Cette situation a incité les responsables des mines à déclarer la zone de glissement de terrain et ses environs comme des zones strictement interdites et à réorienter les travaux miniers vers des zones plus stables (SOMIPHOS, 2007).

### III.9. Diagnostiquer la cause de l'instabilité du côté nord-est du Kef Essenoun

Après la révélation complète du glissement de terrain, les géologues du SOMIPHOS, de l'ANGCM et du Service géologique de l'État (SGN) ont effectué des inspections sur place aux dates suivantes: 28, 29 et 30 octobre, 2007. Lors de l'inspection, plusieurs photos ont été prises au terrain. Un profil géologique a également été développé, dont le but est de comparer l'état du site avant et après l'exercice, et d'avoir une idée claire de la situation afin de prendre les décisions nécessaires.

#### III.9.1. La Présentation du problème

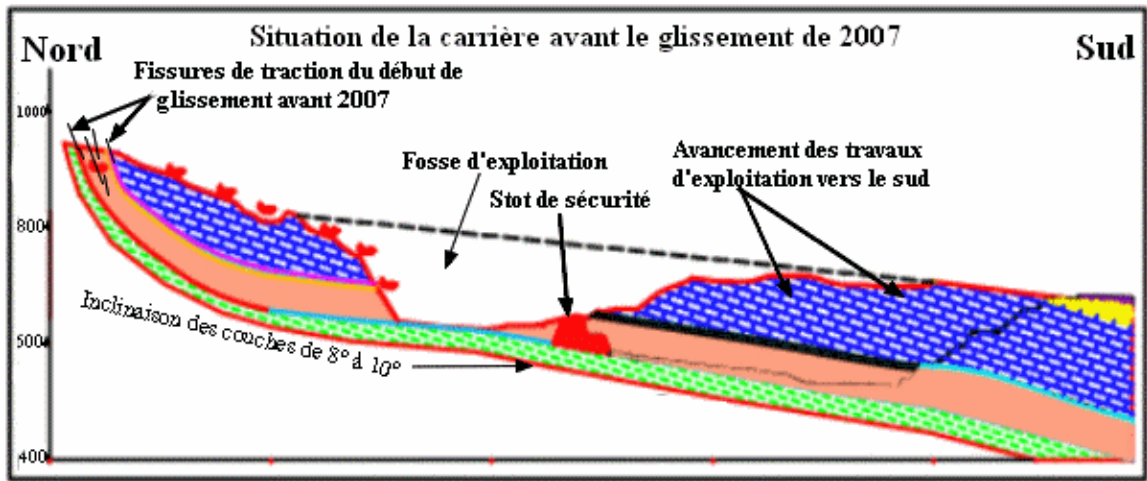
En revenant à l'histoire de la zone d'étude, nous avons constaté qu'en raison du développement du phosphate de Djebel Onk, le responsable de l'époque a décidé de commencer l'extraction du flanc Nord-Ouest de Kef Essenoun montré dans l'image ci-dessous (Figure III.14)



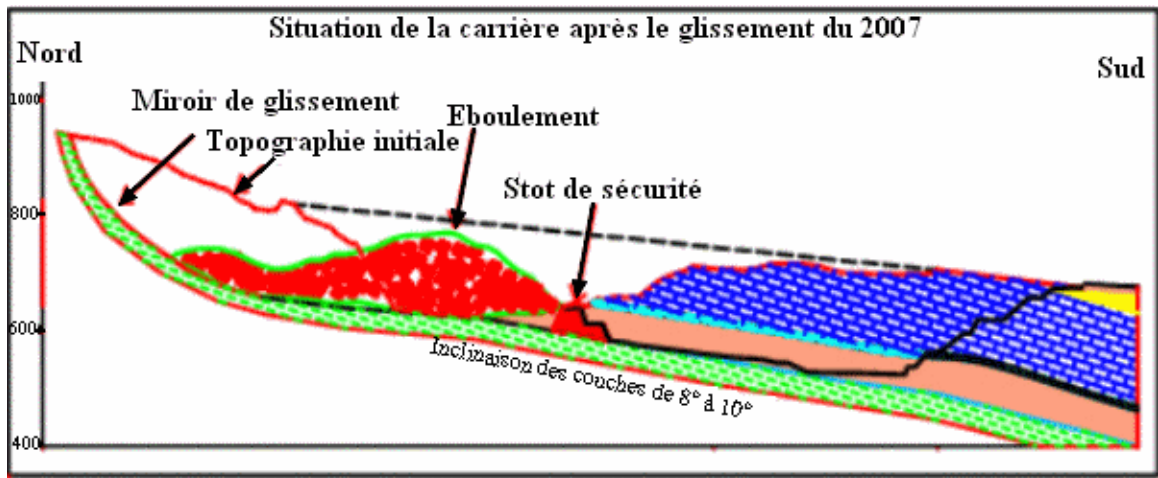
**Figure III.14** - Photo montrant la configuration générale de l'exploitation du gisement de Kef avant et après le glissement du 2007 (Photo Google Earth, 2021).



Malheureusement, après avoir extrait une partie du gisement, le mouvement du terrain a commencé à apparaître avant 2007. Fissures autour de la zone minière.



**Figure III.15** - Coupe montrant la situation de la carrière avant le glissement du 2007 et le renforcement proposé (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).

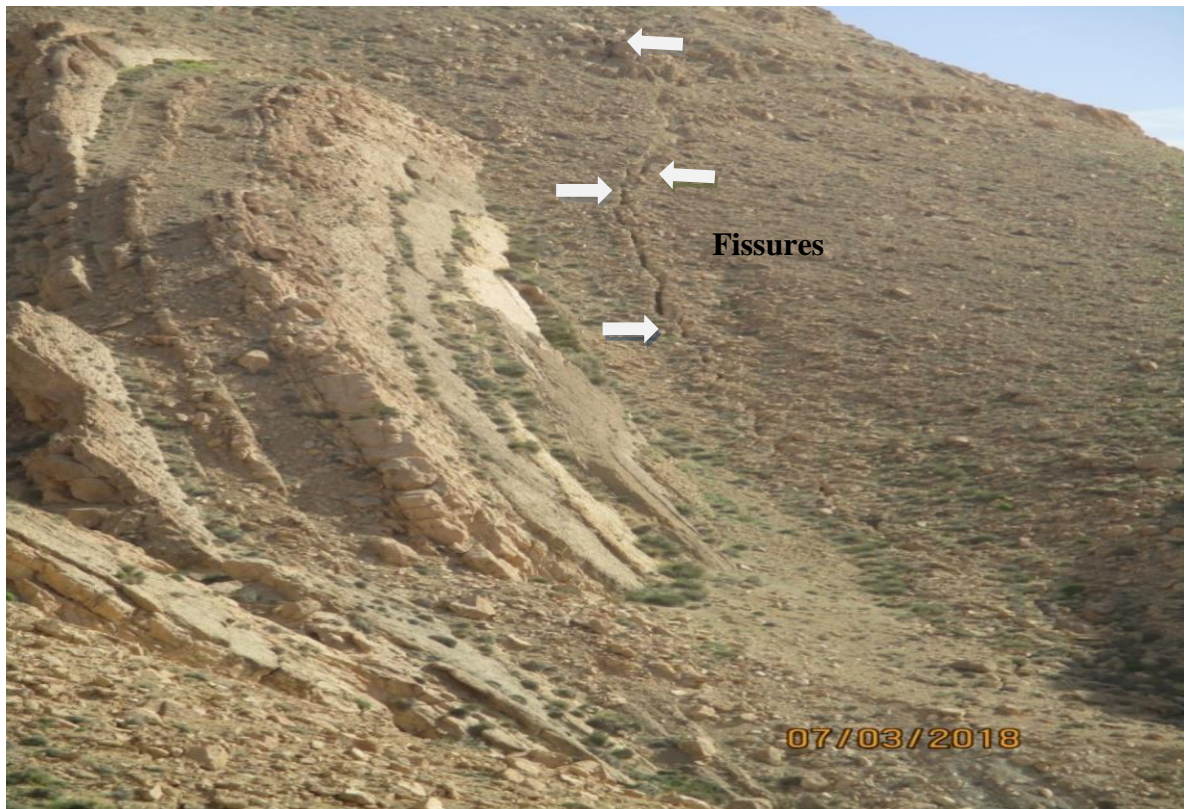


**Figure III.16** - Coupe montrant la situation de la carrière après le glissement du 2007 et le renforcement proposé (SOMIPHOS, l'ANGCM et S.G.N, 2007).

En 2007, les blocs entourés par ces fissures ont commencé à apparaître complètement sous la forme de glissements de terrain, même sous la forme de glissements de terrain remplissant des fosses minières, ce qui nécessitait un renforcement immédiat avec des établis en forme d'un stot de protection, et cela s'est délibérément arrêté. Le mouvement des terres (Figure III.15), cette intervention a permis de poursuivre l'exploitation minière vers le sud. A ce stade, les travaux se poursuivent,

mais les fissures qui présentent toujours le même problème d'instabilité deviennent de plus en plus graves jusqu'à ce que tous les blocs entourés par ces fissures (Figure III.16).

En conséquence, le glissement de terrain a entraîné l'arrêt des opérations minières pendant plus de trois mois (SOMIPHOS, 2007).

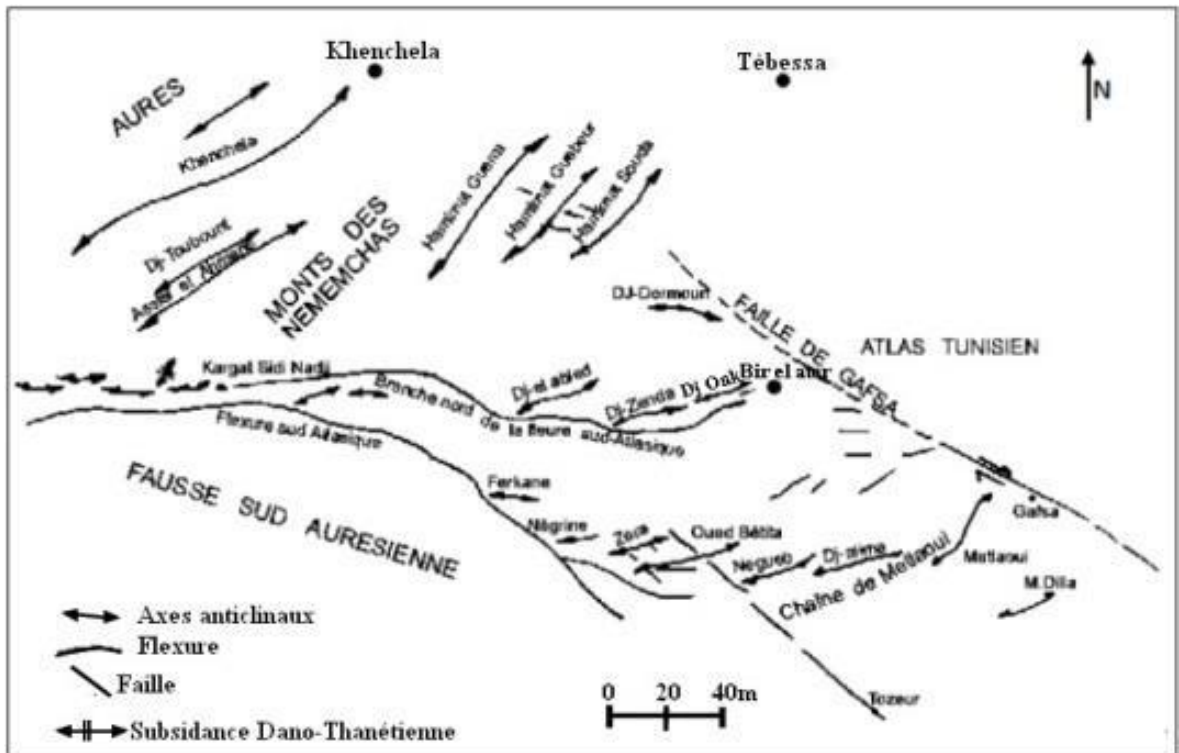


**Figure III.17** - Photo montrant un exemple des fissures apparues en 2013 (SOMIPHOS, 2013).

### **III.10. Facteurs qui déclenchent le glissement de terrain**

Après qu'un glissement de terrain s'est produit du côté Nord-est de la carrière le 8 septembre 2007, les recherches menées ont donné des résultats intéressants. A titre d'observation préliminaire, selon la coupe géologique (figures III.11, III.13, III.15 et

III.16), l'emplacement du plan de glissement est au joint entre la couche exploitable et la roche inférieure du Marne (interface phosphate -Marne), puis le glissement est classifié C'est un type plan (glissement plan). Les experts rapportent que les causes possibles peuvent être attribuées à certains facteurs géologiques et à d'autres facteurs liés aux conditions d'exploitation (Philippe et Seriani, 2007).



### III.10.1. Facteurs géologiques

Les facteurs géologiques peuvent être résumés comme suit:

-Il existe une interface plastique phosphate / marne à faible frottement au bas de la couche de phosphate. La plasticité et le faible coefficient de frottement de cette structure conduisent à une instabilité des bords.

-La couche de calcaire est presque verticale et rectiligne, il est donc possible de "séparer" la masse rocheuse de la fondation de la chaîne de montagnes. Ce redressement

permet à la masse de glisser sur un véritable plan incliné pour se séparer et commencer à bouger.

- la tectonique qui a frappé la zone est à l'origine de la structure actuelle (Figure III. 23). Cette structure est le résultat de plusieurs étapes de déformation qui ont provoqué une série de plis et de failles (Prian et Cortiel, 1993) (Dassamiour Mohamed, 2012).



**Figure III.19** - Photo montrant les dimensions des fronts d'exploitation.

Cette structure apparaît comme une forte fissure, qui est complètement visible aux endroits où les principales directions de la fissure sont Nord / Sud et Nord-Ouest / Sud-Est. Cette fracturation confère à la masse rocheuse des propriétés mécaniques moyennes, de sorte qu'elle se démarque du reste de la masse rocheuse sur ses limites Est et Ouest.

### III.10.2. Facteurs d'exploitations

- le front de taille est très redressé, à une hauteur de 70m, il est presque vertical selon l'image (Figure III.19);
- réduire la taille de la berme;
- apparaître au pied du front d'une couche marneuse, et jouer un rôle clé dans tout le processus de glissement;
- Effet cumulatif des tirs à explosif sur la plate-forme (une forte vibration est liée à la force de l'explosion pendant le tir)

### III.10.3. Facteurs techniques

Du point de vue technique du champ minier, des avis importants ont été émis:

-L'excavation de la carrière a été réalisée au niveau du forage S.28 situé au pied du redressement quasi-verticale, et la sélection n'a pas pris en compte les travaux orientés au Nord, tous les couches y sont presque inclinés verticalement. D'autre part, selon les normes de l'exploitation à ciel ouvert sur les gisements à flanc de coteau, l'exploitation minière doit commencer de la partie supérieure des flancs vers le pied (de haut en bas), et non l'inverse.

-Produire une pente très redresse (presque verticale) jusqu'à une hauteur d'environ 70 m, la hauteur recouvrement calcaire est de 40 m, et la hauteur de la couche de phosphate est de 30 m.

-Réduire la berme de sécurité et de transport à une valeur de quelques mètres seulement pour obtenir du minerai (jumelage des gradins).

-les Tirs de l'explosif puissant au bas du front de phosphate, affaiblissant ainsi la résistance des roches au pied du gradin. Les effets dynamiques des vibrations de tir affectent également la masse à l'équilibre limite.

### III.11. Conclusion

Le gisement de Kef Essnoun est situé sur le flanc méridional de l'anticlinal de Djebel Onk. Il est caractérisé par un faciès phosphaté d'une épaisseur atteignant les 50m et un recouvrement de stérile constitué généralement par une série calcaire-dolomitique à silex de l'Yprésien et surmonté localement par les calcaires de Lutétien puis par les sables du Miocène et les alluvions du Quaternaire. Son épaisseur totale varie de 40 m à 198 m. De plus, la région est caractérisée par un réseau hydrographique généralement sec.

Le choix des paramètres d'exploitation de la mine de Kef-Essnoun dépend généralement des caractéristiques des terrains et de la sécurité du travail. L'étude 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.

Ce qui concerne la méthode d'exploitation, elle est orientée vers les parties Nord-Est et Nord-Ouest de la plate-forme actuelle:

- La poursuite de l'exploitation des côtés Nord-Est et Nord-Ouest;
- La poursuite des travaux de stabilité des marnes;
- Respect des paramètres géotechniques comme arrêtés par DMT;
- La diversification des chantiers pour l'élargissement des plates-formes de travail;
- La continuité des travaux de remblayage de l'ancienne fosse d'exploitation.

Dans le quatrième chapitre ci-dessous, un diagnostic géomécanique et analyse de stabilité sera introduite. L'analyse a été réalisée à partir des données disponibles à la nouvelle mine de Kef Essnoun.

**Chapitre IV :**  
**Diagnostic géomécanique**  
**du flanc nord-ouest de Kef**  
**Essnoun**

## IV.1. Introduction

Pour trouver les causes et les modes de défaillance et pouvoir quantifier les paramètres qui déterminent la stabilité d'une pente, diagnostiquer et concevoir des travaux de stabilisation, il est recommandé de réaliser une étude qui comprend les étapes suivantes:

- Recherche sur le terrain comprenant le forage, l'échantillonnage et les tests sur place pour quantifier les paramètres des roches;
- Recherche en laboratoire;
- Reconnaissance et identification du site;
- Analyse des informations existantes;
- Etude des caractéristiques de surface du site permettant la caractérisation topographique et géotechnique;
- Analyse des informations obtenues, modélisation mathématique et conception.

Pour cela, il est nécessaire en premier lieu, de déterminer les propriétés physico-mécaniques du massif rocheux de flanc nord-ouest Kef Essnoun et de le classifié. Une fois le massif caractérisé et classifié.

## IV.2. Propriétés physico-mécaniques

Dans notre cas d'étude, les paramètres utilisés ont été relevés à la base de données disponible et communiquées par l'entreprise. Ils proviennent des essais antérieurs effectués au niveau d'un laboratoire.

Les propriétés physico-mécaniques de flanc nord-ouest de Kef Essnoun sont présentées dans les tableaux IV.1 et IV.2.

**Tableau IV.1** - Résultats des essais de la compression uni axiale.

Type de l'échantillon (chaque couche)	Résistance à la compression uniaxiale (MPa)
Couche1: Calcaires	<b>34,1</b>
Couche2:Phosphates	<b>10,2</b>
Couche3: Calcaires/ conglomérat	<b>34,1</b>
Couche4: Marnes	<b>21,6</b>



**Tableau IV.2 - Résultats des essais de la résistance à la traction.**

Type de l'échantillon	Résistance au la traction (MPa)
Couche1: Calcaires	2,5
Couche2:Phosphates	1,8
Couche3: Calcaires/conglomérat	2,5
Couche4: Marnes	2,9

**a. Résistance à la compression uniaxiale**

D'après les résultats, les couches de Calcaires et de marnes sont classifiées de modérée résistance; les couches de phosphate sont classifiées de faible.

**b. Résistance à la traction**

Simultanément les résultats présentés sur le tableau IV.2, nous mène à qualifier les couches Calcaire et de marnes de phosphate de modérée résistance.

**c. Résistance au cisaillement**

Les résultats de la résistance au cisaillement nous mènent à déduire que le calcaire, le phosphate et la marne sont résistants (tableau IV.3).

**Tableau IV.3 - Résultats des essais de la résistance au cisaillement.**

Type de l'échantillon	Résistance au cisaillement (MPa)
Couche1: Calcaires	64,4
Couche2:Phosphates	78,3
Couche3: Calcaires/ conglomérat	64,4
Couche4: Marnes	83,6

**d. Indice de charge ponctuelle**

**Tableau IV.4** - Indice de charge ponctuelle des échantillons.

Type de l'échantillon	Indice de charge ponctuelle (MPa)
Couche1: Calcaires	2,2
Couche2:Phosphates	1,0
Couche3: Calcaires / conglomérat	2,2
Couche4: Marnes	1,6

**e. Cohésion de l'échantillon( $C_{ech}$ )**

**Tableau IV.5** - Cohésion des échantillons.

Type de l'échantillon	Cohésion de l'échantillon( $C_{ech}$ ) (MPa)
Couche1: Calcaires	1,4
Couche2:Phosphates	2,4
Couche3: Calcaires/ conglomérat	1,4
Couche4: Marnes	1,2

**f. Angle de frottement interne de l'échantillon ( $\varphi_{ech}$ )**

**Tableau IV.6** - Angle de frottement des échantillons.

Type de l'échantillon	Angle de frottement interne de l'échantillon( $\varphi_{ech}$ ) (°)
Couche1: Calcaires	23
Couche2:Phosphates	30
Couche3: Calcaires/conglomérat	23
Couche4: Marnes	15

**g. Module de Young**

**Tableau IV.7 - Module de Young des échantillons.**

Type de l'échantillon	Module de Young (Mpa)
Couche1: Calcaires	<b>5200</b>
Couche2:Phosphates	<b>4600</b>
Couche3: Calcaires/ <b>conglomérat</b>	<b>5200</b>
Couche4: Marnes	<b>3600</b>

**h. Coefficient de Poisson**

**Tableau IV.8 - Ratio Poisson.**

Type de l'échantillon	Ratio Poisson
Couche1: Calcaires	<b>0.21</b>
Couche2:Phosphates	<b>0.24</b>
Couche3: Calcaires / conglomérat	<b>0.21</b>
Couche4: Marnes	<b>0.14</b>

**i. Densité**

**Tableau IV.9 - Densité des échantillons.**

Type de l'échantillon	Densité (g/cm <sup>3</sup> )
Couche1: Calcaires	<b>2,19</b>
Couche2:Phosphates	<b>2,21</b>
Couche3: Calcaires / conglomérat	<b>2,19</b>
Couche4: Marnes	<b>2,06</b>

**IV.3. Classification des massifs rocheux dans flanc Nord-Ouest de la mine de Kef Essnoun**

IV.3.1. Évaluation de la fissuration

Des mesures de discontinuité sont effectuées du côté Nord-Ouest de la mine à ciel ouvert.

Levé de fracturation				Zone de kef e ssnoun Nord - Ouest			
Location/ID	X:	Y:	Z:	Editor:	Date:		
		0405221	3841126	819	02/02/2021		

<b>Rock Type:</b>	<b>Bedding:</b>	<p><small>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</small></p> <p><small>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</small></p> <p style="text-align: center;"><b>STRUCTURE 65-75</b></p> <p><small>INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</small></p> <p><small>BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</small></p> <p><small>VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</small></p> <p><small>BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</small></p> <p><small>DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</small></p> <p><small>LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</small></p>
<input type="checkbox"/> Clay	<input checked="" type="checkbox"/> massive	
<input type="checkbox"/> Sand	<input type="checkbox"/> irregular	
<input type="checkbox"/> Claystone	<input type="checkbox"/> regular	
<input type="checkbox"/> Sandstone	<input type="checkbox"/> undulating	
<input checked="" type="checkbox"/> Limestone	<b>Strength (R0-R6):</b>	
<input type="checkbox"/> Dolomite	R4-5	
<input type="checkbox"/> Phosphorite	<b>Weathering (I-VI):</b>	
<input type="checkbox"/> Marl	W I - II	
<input type="checkbox"/> other (specify)		

	Type	DipDir [°]	Dip [°]	Spacing [m]	Persistence [m]	Shape	Roughness	JRC	Filling (Type, Width)
D1	b			1,5m		Ondulée	Rugueuse	18	Non
D2	j			2-3m	71,5m		TRB Reg	15	
D3	j			0,2m	0,5-1,5m	Echelonné		12	
D4	j			0,1-0,2m	2m			18	
D5									

D1	D2	D3	D4	D5	<b>Photos:</b>
156/65 154/65 157/62 155/62 159/65 156/63 160/65 155/65 166/65	133/60 140/59 130/52 120/60 125/48	65/83 61/82 50/70	310/35 315/36		<b>Comments</b>

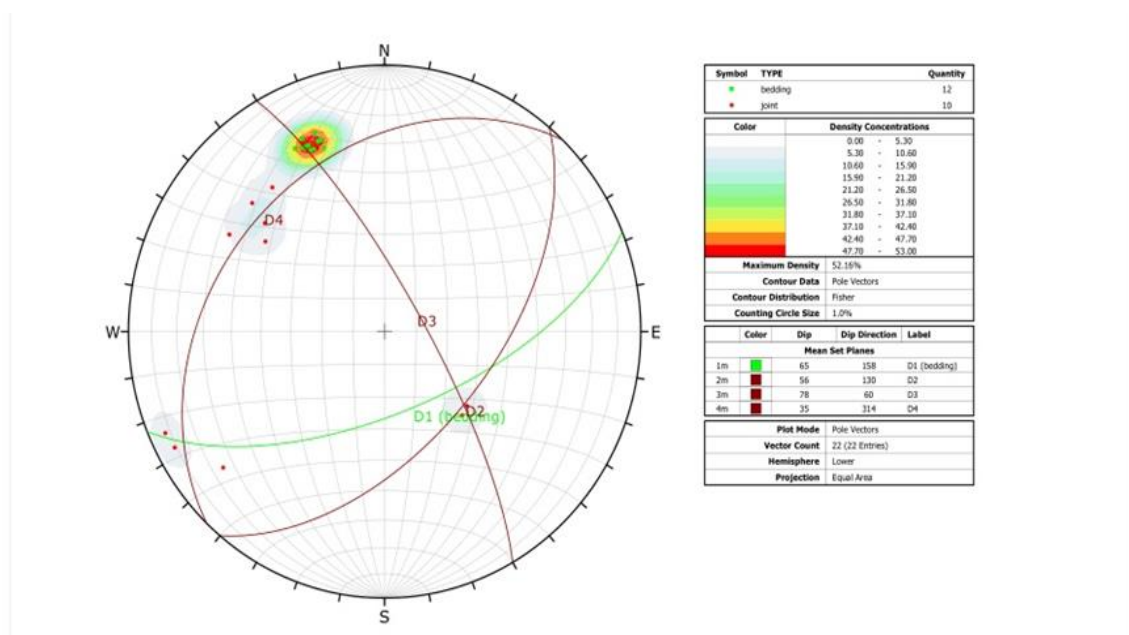
Figure IV.1 - Observation et caractérisation des discontinuités.

La pente a été zonée en 4 zones en fonction de la similitude des caractéristiques et des familles de discontinuités observées dans la pente. Les données obtenues ont été traitées dans le logiciel Dips v.7.0 de la société Rocscience.

Des mesures des discontinuités sont effectuées pour chaque pente, les données d'orientation (Dip Direction/Dip), l'ouverture et la longueur grâce à l'orientation, le plan et le pôle respectif de chaque structure sont représentés graphiquement à l'aide du réseau Schmidt à l'aide du logiciel Dips, afin d'identifier les regroupements de discontinuités qui impliquent un ensemble structurel possible, selon la concentration de pôles il y a 4 familles de discontinuités comme le montre la figure IV.1.

### IV.3.2. Traitement de données (projection stéréographique)

Les données collectées dans le logiciel DIPS sont incorporées, avec la convention de direction pendage / pendage, et la représentation graphique des données sous forme de pôles est effectuée, comme le montre le graphique.

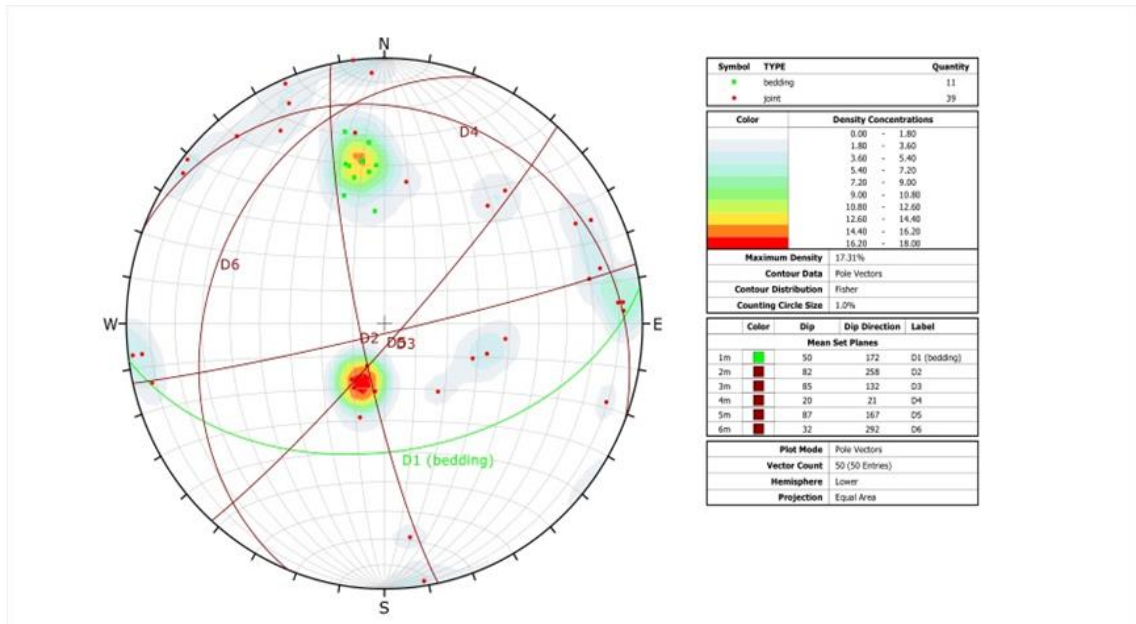


**Figure IV.2** - Diagramme du plan de discontinuité dans la zone 01 calcaire danomontien.

Sur la figure IV.2, nous avons les familles de discontinuités avec leurs orientations Respectives (Dip/Dip Direction) et qui ont été traitées avec le logiciel Dips,

selon la concentration de pôles il y a quatre familles de discontinuités comme le montre la figure:

- La première famille (65/158°)
- La deuxième famille (56/130°)
- La troisième famille (78 / 60°)
- La quatrième (35 / 314°)



**Figure IV.3** - Diagramme du plan de discontinuité dans la zone 02 thanetien sup (phosphate).

La projection stéréographique montre l'existence de 6 familles de discontinuités dans la zone 02 (figure IV.3):

- La première famille (50 / 172°)
- La deuxième famille (82 / 258°)
- La troisième famille (85 / 132°)
- La quatrième famille (20 / 21°)

- La cinquième famille (87 / 167)
- La sixième famille (32 / 292°)

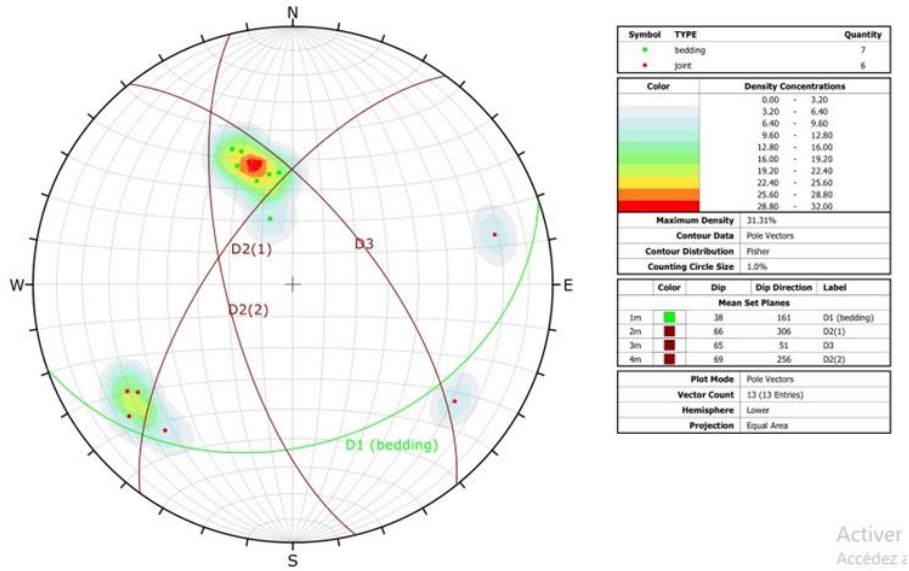


Figure IV.4 - Diagramme du plan de discontinuité dans la zone 04 calcaire Ypresien.

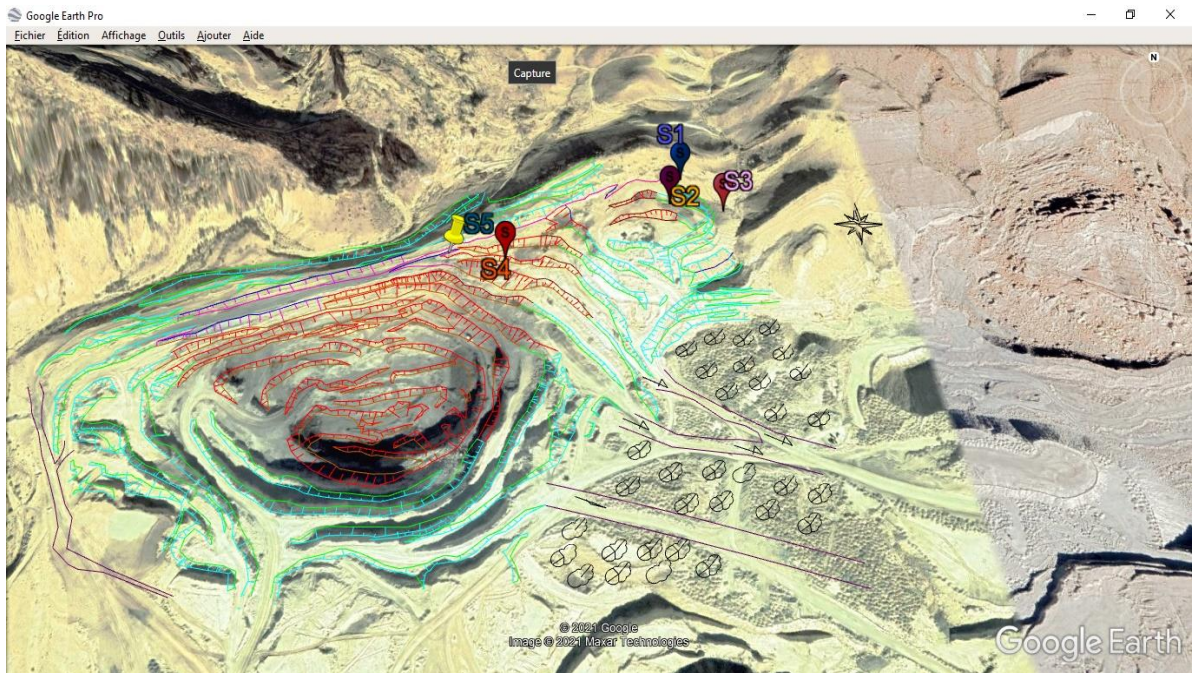


Figure IV.5 - Localisation des stations de mesure sur le flanc Nord de Kef Essnoun.

La projection stéréographique montre l'existence de 4 familles de discontinuités dans la zone 04 (figure IV.4):

- La première famille (38 / 161°)
- La deuxième famille (66 / 306°)
- La troisième famille (65 / 51°)
- La quatrième famille (69 / 256°)

### IV.3.3. Fissuration

Elle a été regroupée en deux types, selon les caractéristiques des discontinuités structurelles:

Ceux de type géométrique qui déterminent la taille, la forme et la position spatiale des fragments de roche ou des blocs, qui ont à voir avec l'orientation et l'espacement des discontinuités.

Celles qui déterminent la résistance le long des discontinuités dans le cas des massifs de roches dures, qui a à voir avec la persistance des discontinuités, les ouvertures, le remplissage des discontinuités et la résistance dès le mur.



**Figure IV.6** - Discontinuité de la fissuration du gisement.



#### IV.4. Diagnostic géomécanique du site

La classification des massifs rocheux, a un intérêt considérable lors de l'étude de faisabilité et de dimensionnement préliminaire d'un projet, surtout quand les informations mécaniques, hydrologiques et l'état de contrainte in-situ du massif rocheux ne sont pas disponibles.

Les systèmes de classification prennent en considération plusieurs facteurs affectant la Stabilité des massifs rocheux. Ces facteurs sont reliés notamment à la résistance de la matrice rocheuse, la présence de l'eau et la description des discontinuités (nombre de Familles, espacement, rugosité, altération des épontes, matériau de remplissage...).

La classification géomécanique consiste à quantifier un massif rocheux par une note empirique décrivant sa qualité par une série de termes allant d'un très bon rocher à un rocher très médiocre. Les buts principaux de ces classifications se résument comme suit :

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

La classification géomécanique de Bieniawski se basant d'abord sur le premier indice RMR (rock mass rating), qui permet d'évaluer la qualité intrinsèque du massif rocheux, le RMR fait intervenir : la résistance à la compression de la matrice rocheuse, l'espacement des discontinuités les conditions des discontinuités (rugosité, continuité, ouverture et remplissage).

Selon Bieniawski: le massif rocheux de kef-Essnoun est classé comme moyen à faible rocher suivant leur intercalation du calcaire, phosphate à faible rocher les marnes.

Les formations rocheuses du massif de Kef Essenoun sont caractérisées d'une résistance faible à moyenne (selon les valeurs de la Résistance à la compression simple).

La première étape consiste à quantifier les conditions d'altération et de fracturation et à déterminer les paramètres mécaniques de la masse rocheuse du Kef

Essenoun en utilisant le schéma de classification de la cote de masse de la pente SMR (Slope Mass Rating), développé par Romana, pour décrire la résistance d'une pente rocheuse individuelle. Ce système est basé sur le système de classification géomécanique de la cote de masse rocheuse (RMR) des roches, développé par Bieniawski, qui a remis à neuf ce système avec des directives quantitatives pour obtenir le taux d'influence des orientations défavorables des joints.

Consiste en une estimation géomécanique des carrières étudiées' stabilité des bords, basée sur la classification SMR (Romana1985). Cette classification est obtenue en appliquant le système RMR (Bieniawski1989) et en utilisant les facteurs d'ajustement qui reposent sur la relation entre la pente et les joints.

#### IV.4.1. Détermination du RQD (Rock Quality Designation)

Il a été calculé à partir de la carotte, Il a été utilisé comme paramètre nécessaire pour aider à classer les méthodes proposées.



**Figure IV.7** - Photo carotte de sondage KES 06.

**Tableau IV.10 - RQD des différents faciès.**

Type de roche	RQD dans (%)	Qualité de la roche
Calcaire (Danien-Montien)	84	Bonne
Marne	45	Médiocre
Phosphate	73	Moyenne
Calcaire-yprésien	70	Moyenne

**Tableau IV.11 - Classification des formations rocheuses du Kef Essenoun Nord-Ouest (système.RMR).**

Classification RMR	Evaluation des couches			
	Calcaire yprésien	phosphate	Marne	Calcaire (Danien-Montien)
paramètres				
Résistance à la compression	4	2	2	4
RQD	13	13	8	17
Espacement des discontinuités	25	25	25	25
évaluation Conditions de la notation des discontinuités	25	25	20	25
Évaluation des eaux souterraines	15	15	15	15
RMR de base	67	69	60	71

#### IV.4.2. Détermination du RMR

L'indice RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski (1989) permet de connaître la situation de stabilité d'un massif rocheux. Elle a été utilisée parce que c'est la méthode de choix dans l'exploitation à ciel ouvert, en raison de sa simplicité et de son économie et parce que c'est celle qui s'adapte le mieux à la réalité du gisement. Dans le cas particulier de Castellanos, l'indice RMR a été déterminé pour chaque domaine structurel, défini par les fronts d'exploitation, à partir des paramètres suivants: RQD; résistance à la compression simple; séparation, ouverture, persistance, rugosité, remplissage et altération des discontinuités; présence d'eau et effet relatif par rapport à l'axe de l'ouvrage.

#### IV.4.3. Classification GSI

Des investigations menées sur le site ont permis d'estimer la valeur de GSI en se basant sur le critère de Hoek et Brown qui s'appuie sur une observation directe de la structure du massif rocheux.

D'après les résultats de la campagne d'observation menée dans le site d'étude, le GSI est présenté, pour les différents faciès, dans le tableau ci-dessous:

**Tableau IV.12** - Classification GSI du massif rocheux de Kef Essnoun.

Faciès	GSI	Qualité du massif rocheux
calcaire (Yprésien-Lutétien)	70	Bonne
Phosphate	70	Bonne
Marne	15	Très mauvaise
Calcaire (Danien-Montien)	75	Bonne

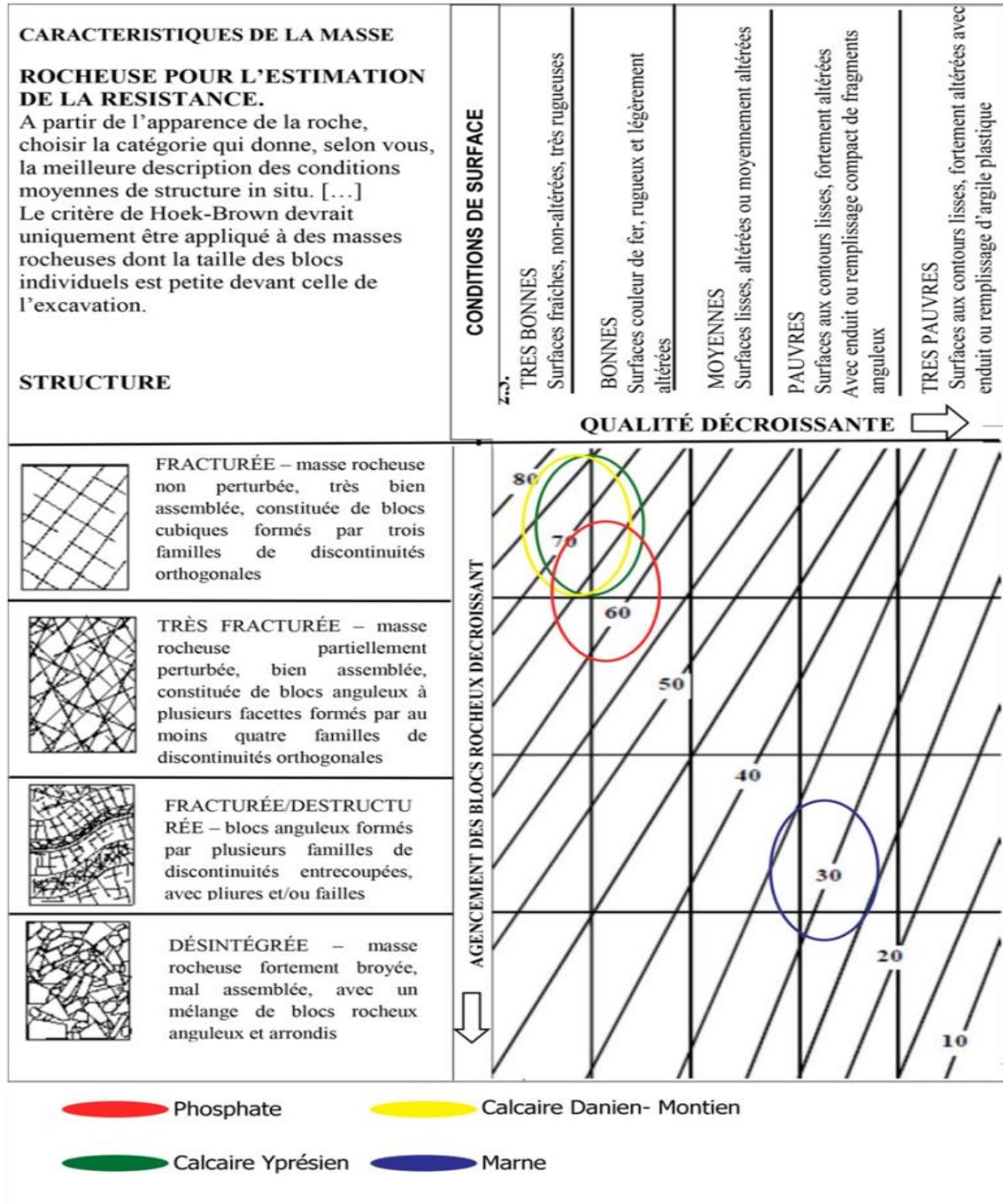


Figure IV.8 - Valeur de GSI pour le différent type de roche de Kef Essnoun.

#### IV.4.4. Indice SMR (cote de masse de la pente)

Classification SMR, c'est une méthode empirique et facile à utiliser, mais elle a des limites. Cette méthode effectue une analyse de stabilité en considérant chaque famille de discontinuités séparément ou par intersection de deux familles, donc le type de rupture probable se produire doit d'abord être identifié.

Pour réaliser l'analyse de stabilité par la méthode SMR, il a été envisagé d'effectuer les analyses pour chacune des familles de discontinuités, afin d'identifier comment elles sont liées à la stabilité de la pente. Les données saisies pour le calcul du SMR sont présentées dans le tableau IV.15.

**Tableau IV.13 - Orientation des familles des discontinuités les plus importantes.**

	Marne		Calcaire Danio-Montien		phosphate		Calcaire Yprésien-Lutétien	
	Dip (°)	Dip direction (°)	Dip (°)	Dip direction (°)	Dip (°)	Dip direction (°)	Dip (°)	Dip direction (°)
<b>set1</b>	61	159	65	158	50	172	38	161
<b>set2</b>	35	107	56	130	85	132	66	306
<b>set3</b>	53	79	78	60	71	56	60	51
<b>set4</b>	<b>49</b>	<b>217</b>	<b>35</b>	<b>314</b>	<b>32</b>	<b>292</b>	<b>69</b>	<b>256</b>

**Tableau IV.14 - Orientation des joints et le talus.**

	Calcaire Yprésien-Lutétien	Phosphate	Marne	calcaire Danien-Montien
<b>Direction du pendage des joints (<math>\alpha_j</math>)</b>	161	172	159	158
<b>Pendage du joint (<math>\beta_j</math>)</b>	38	50	61	65
<b>Direction du pendage du talus (<math>\alpha_s</math>)</b>	270	270	270	180
<b>Pendage du talus (<math>\beta_s</math>)</b>	75	75	75	75

**Tableau IV.15** - Valeur du SMR des différentes formations géologiques.

	<b>Calcaire Yprésien- Lutétien</b>	<b>phosphate</b>	<b>marne</b>	<b>calcaire Danien- Montien</b>
<b>RMR base</b>	67	69	60	71
<b>F1</b>	0.15	0.15	0.40	0.40
<b>F2</b>	1	1	1	1
<b>F3</b>	-6	-25	-60	-60
<b>F4</b>	-8	-8	0	0
<b>SMR</b>	58	57	36	47
<b>Classe</b>	III	III	IV	III
<b>Stabilité</b>	Partiellement stable	Partiellement stable	instable	Partiellement stable

#### **IV.5. étude la stabilité actuelle de flanc nord-ouest de la mine de Kef Essnoun**

Dans ce partie, on va étudier la stabilité actuelle de flanc nord-ouest de la mine de Kef Essnoun et prévoir un éventuel risque d'instabilité représenté par un facteur de sécurité déterminé par la méthodes d'équilibre limite (Slide).

Le calcul des coefficients de sécurité de la carrière de Kef Essnoun côté Nord-Ouest est élaboré sur la base :

- La mise à jour topographique du Mois de Mai 2021.
- L'état d'avancement et de développement de la carrière selon la projection du plan l'exploitation 2021.
- Coupes géologiques actualisées selon la mise à jour topographique.
- Les paramètres géométriques de la carrière (Hauteurs des gradins, plates-formes de travail, Angles des talus des gradins. bermes de sécurité).
- Les paramètres géotechniques du gisement de Kef Essnoun.

### IV.5.1. Modélisation de la stabilité par Slide 6.0

En vue de valider les résultats trouvés dans le chapitre précédent; l'application de la méthode d'équilibre limite c'est avéré l'un des meilleurs moyens permettant d'atteindre cet objectif.

Pour pouvoir réaliser la modélisation selon le logiciel choisi, des coupes 1-1, 2-2, 3-3 ont été réalisées le long de quatre gradins de flanc nord-ouest de la mine de Kef Essnoun, afin d'avoir les épaisseurs des différents couches principales qui constitue le massif de flanc nord-ouest de la mine de Kef Essnoun.

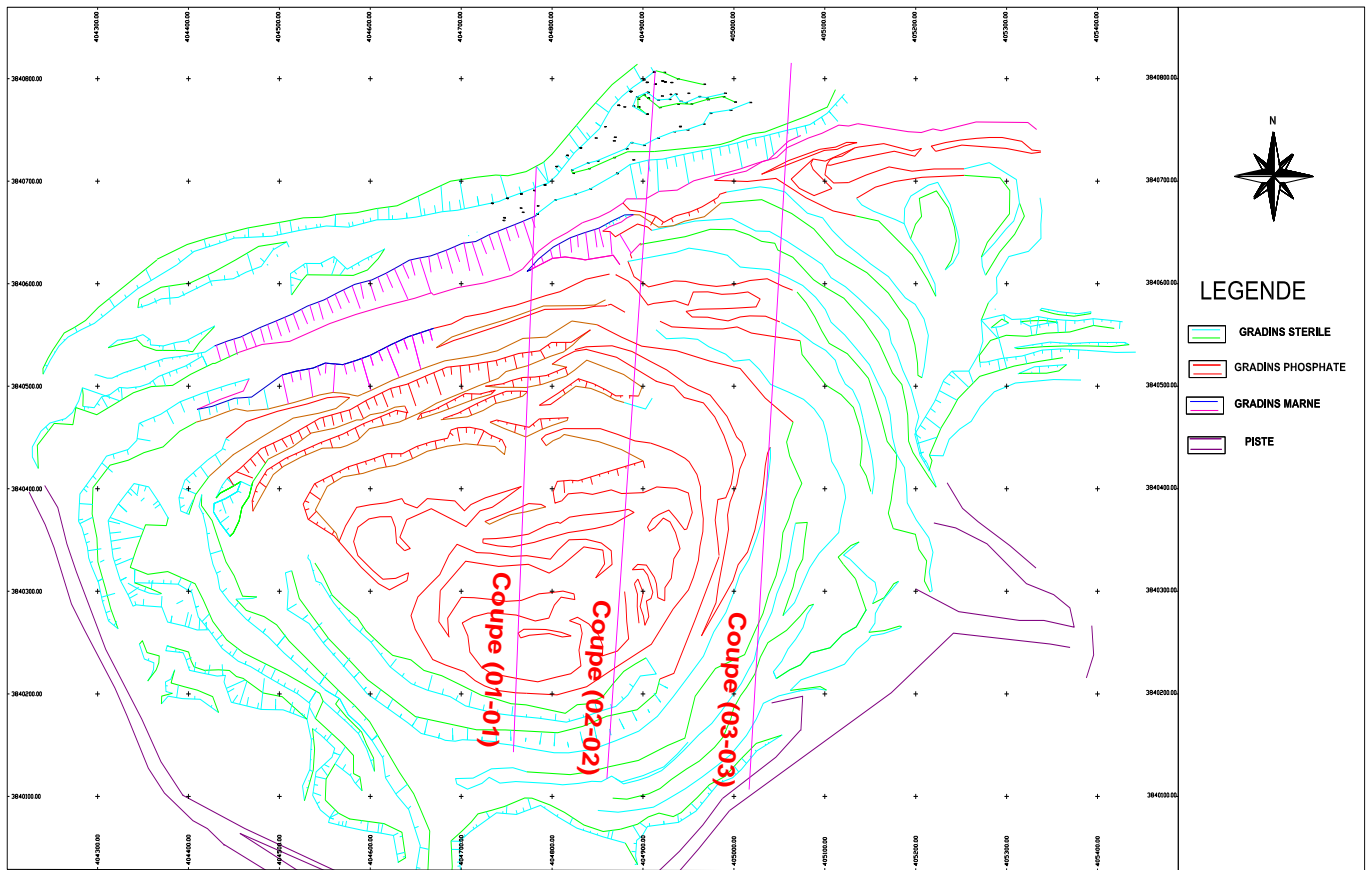


Figure IV.9 - Mise à jour topographique du Mois de Mai 2021 .



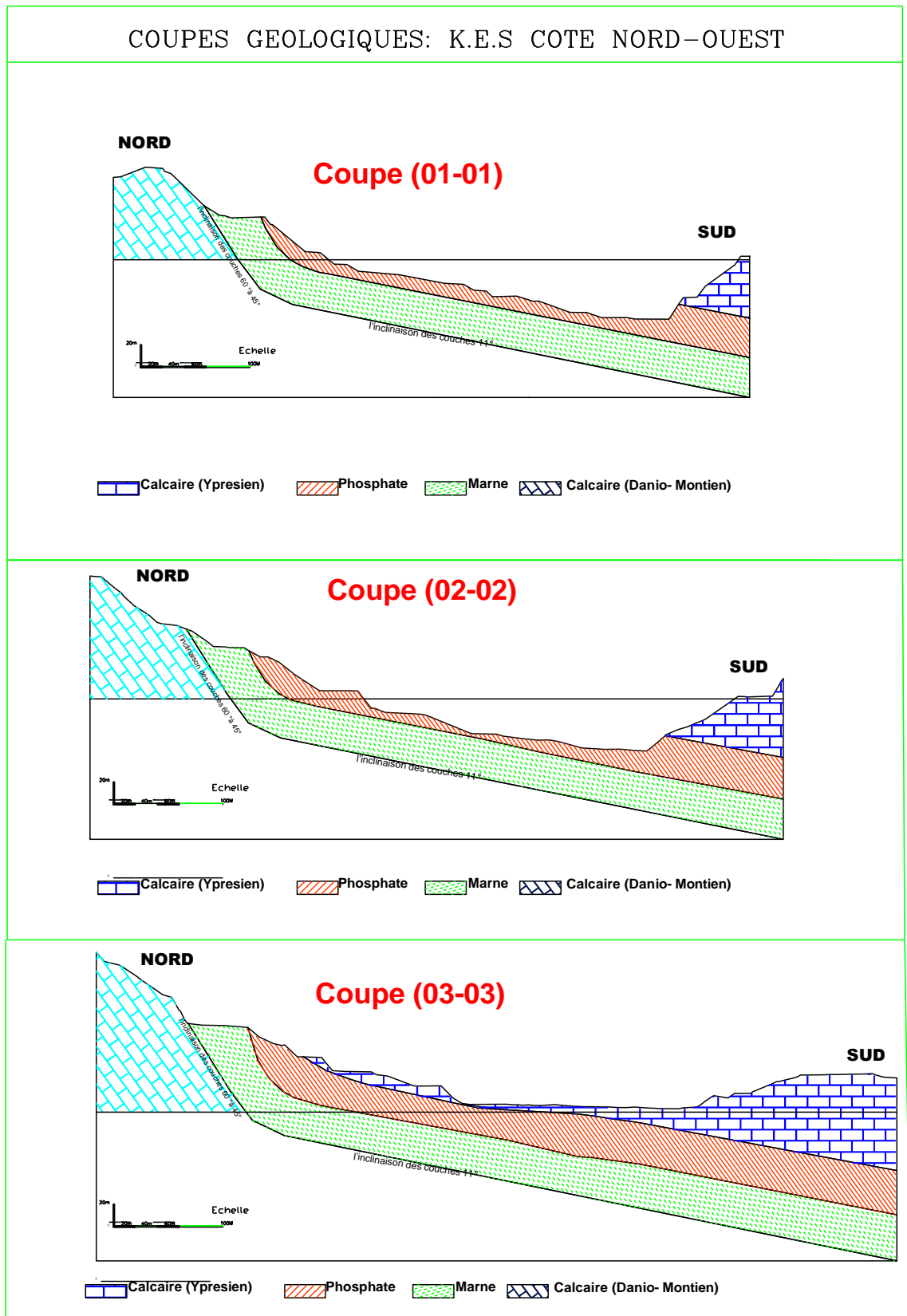


Figure IV.10 - Les coupes géologiques actualisées selon la mise à jour du mois de mai

2021.

#### IV.5.2. Calcul du coefficient de sécurité

Le calcul du coefficient de sécurité ( $F_s$ ) a été réalisé à l'aide du logiciel Slide en utilisant les méthodes d'équilibres limites (méthode Morgenstern-Price). 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), Phase de choix de surface de glissement On a opté pour cette modélisation une surface de glissement non circulaire avec la technique (méthode) de recherche « search block ».

#### IV.5.3. Paramètres de calcul

##### IV.5.3.1. Paramètres géologiques

Quatre formations géologiques ont été considérées dans le calcul:

- Le calcaire supérieur de l'Yprésien ;
- Le phosphate du Thanetien supérieur ;
- La marne du Thanetien inférieur ;
- Le calcaire inférieur du Montien.

**Tableau IV.16** – Paramètres géotechniques des différentes formations géologiques.

<b>Formation géologique</b>	<b>Poids volumique (KN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Angle de frottement interne (°)</b>	<b>Cohésion (KN/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Calcaire supérieur de l'yprésien</b>	<b>21.5</b>	<b>23</b>	<b>1400</b>
<b>Phosphate</b>	<b>21.7</b>	<b>30</b>	<b>2400</b>
<b>Marne</b>	<b>20.2</b>	<b>15</b>	<b>0</b>
<b>Calcaire inférieur du Montien</b>	<b>21.5</b>	<b>23</b>	<b>1400</b>

**IV.5.3.2. Paramètres géotechniques**

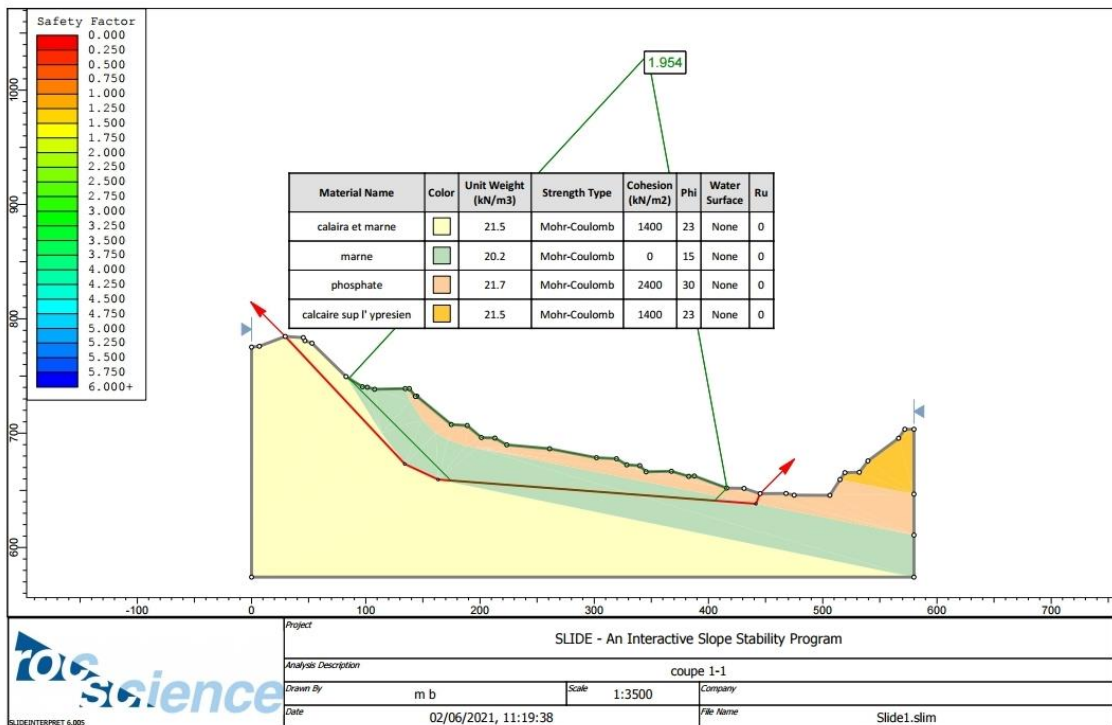
Les paramètres géotechniques pris en compte pour le calcul des coefficients de sécurité de la carrière Kef Essnoun sont les paramètres qui ont été déterminés par les experts DMT comme mentionnés dans le tableau IV.16.

**IV.5.3.3. Résultats de calcul des coefficients de sécurité**

Les résultats de calcul des coefficients de sécurité sont présentés dans le tableau IV.17.

**Tableau IV.17 – Valeurs des coefficients de sécurité.**

Désignation	Configuration de la carrière arrêtée au 31-05-2021		
	Coupe 1-1	Coupe 2-2	Coupe 3-3
Coefficient de sécurité	1.95	1.36	3.50



**Figure IV.11 - Model géotechnique de la coupe 1-1.**

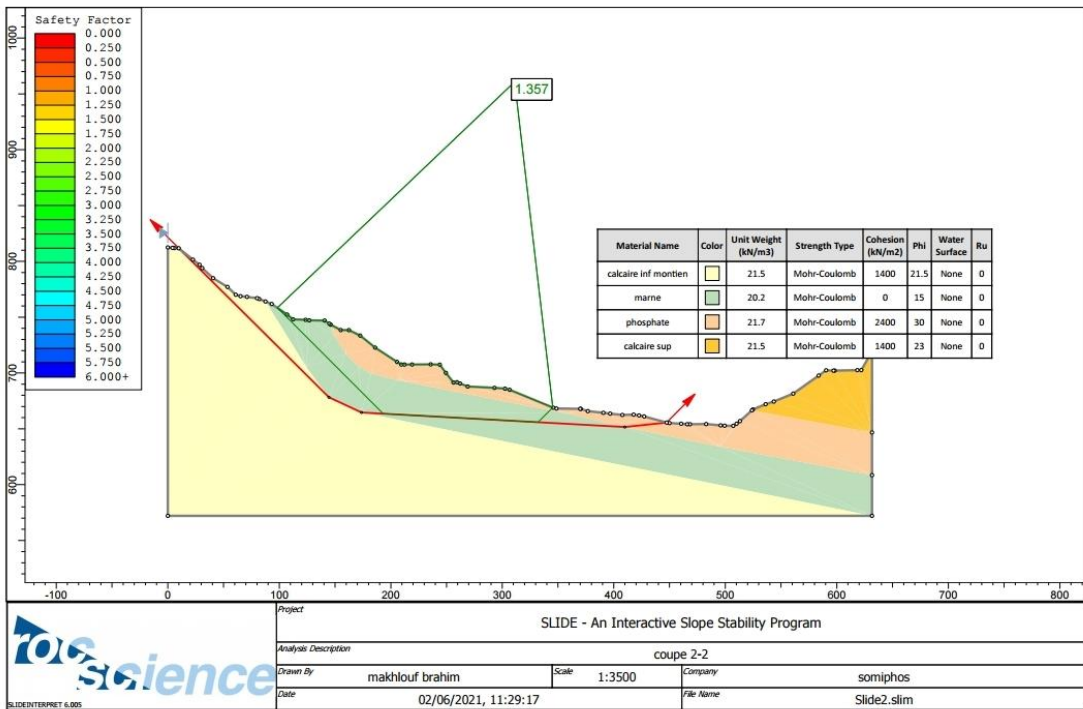


Figure IV.12 - Model géotechnique de la coupe 2-2.

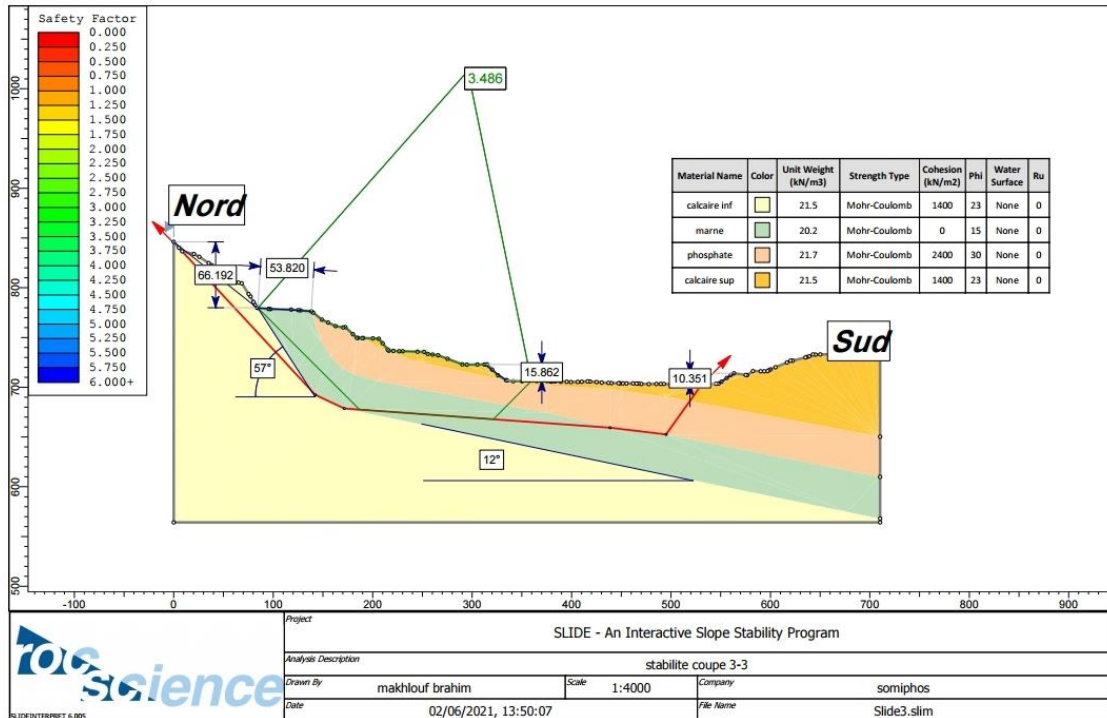


Figure IV.13 - Model géotechnique de la coupe 3-3.

Les figures IV.11, IV.12, et IV.13 et le tableau IV.17 donnent les valeurs des coefficients de Sécurité en fonction des paramètres géotechniques et la méthode de calculs utilisée. C'est valeurs montrent que le flanc étudié est stable.

### **IV.6. Conclusion**

Dans le massif rocheux de la zone étudiée, il est constitué de quatre formations, dont le contact est vertical et se fracture en raison de l'activité et des effets de dynamitage. On trouve des Argilites stratifiées à structure dano-montien.

Les familles de discontinuités présentes dans le massif rocheux influencent son comportement et sa qualité globale.

En général, les classifications géomécanique avec les meilleurs résultats d'application sont Bieniawski (RMR de base), Romana (SMR) et l'indice de résistance géologique (GSI) basé sur l'état de fracturation et la qualité des discontinuités. Le massif rocheux de la carrière "Kef Essnoun" est classé en qualité moyenne. La modélisation par le logiciel Slide montre que le massif est stable.

# Conclusion générale et recommandations

---

## Conclusion générale et recommandations

Ce travail, est un diagnostic géomécanique d'une mine à ciel ouvert. Pour ce faire, on a choisi le flanc nord-ouest du gisement de Kef Essnoun (Djebel Onk – Tébessa), qui présente certains problèmes géotechniques.

Le massif rocheux de la zone étudiée est constitué de quatre formations, dont le contact est vertical et se fracture en raison de l'activité et des effets du dynamitage.

Les familles de discontinuités présentes dans le massif rocheux influencent son comportement et sa qualité globale.

En général, les classifications géomécanique avec les meilleurs résultats d'application sont Bieniawski (RMR de base), Romana (SMR) et l'indice de résistance géologique (GSI) basé sur l'état de fracturation et la qualité des discontinuités. Le massif rocheux de la carrière "Kef Essnoun" est classé en qualité moyenne.

Des interprétations erronées des données peuvent conduire à des résultats inattendus, avec une perte de temps et d'argent conséquentes.

A la lumière des résultats obtenus, on remarque que le calcul donne des valeurs des coefficients de sécurité supérieurs aux valeurs minimales recommandées, donc la partie Nord de la carrière de K.E.S coté Nord-Ouest est stable.

D'après les résultats de ce travail, on peut recommander ce qui suit:

- Les paramètres qui interviennent dans les classifications RMR, SMR et GSI sur le terrain doivent avoir des similitudes et s'il existe des doutes sur l'évaluation des discontinuités ou du massif, ceux-ci doivent être clarifiés sur le terrain et non lors des travaux de bureau.
- Pour estimer la qualité géomécanique du massif rocheux, les différentes classifications utilisées aujourd'hui sont utilisées et qui ont été testées dans de nombreux travaux à travers le monde. Mais en tenant compte des limites que chacun.
- La mise en œuvre et l'exploitation des résultats obtenus par l'entreprise à laquelle appartient le massif rocheux étudié.

Afin d'assurer plus stabilité, nous suggérons aux exécutants de plan d'exploitations de faire le suivant:

## Conclusion générale et recommandations

---

- La continuité d'extraction de la couche marneuse progressivement avec l'opération d'extraction de phosphate et l'enlèvement de stérile.
- Diminuer la consommation spécifique d'explosif dans la zone d'affleurement.
- La continuité progressive de la diminution du dôme côté Nord pour atteindre la cote topographique admissible pour assurer la stabilité définitive.

### Bibliographie

-**Aissaoui D. (1984)**: Les structures liées à l'accident sud-atlasique entre Biskra et le Djebel Mandra, Algérie. Evolution géométrique et cinématique. Thèse 3ème cycle, Strasbourg, 138p.

-Analyse des aspects de stabilité dans les exploitations à ciel ouvert Faouzi HADJ-HASSEN Ecole des Mines de Paris – CGES – Fontainebleau

-**Bieniawski, Z. T. (1989)**, Engineering rock mass classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. John Wiley & Sons. ISBN 0-471-60172-1.

-**BRGM. (1993)** -Rapport de l'expertise sur les travaux de prospection et d'évaluation des réserves du district minier de Djebel Onk.

-**CERAD** (Centre de recherche et développement appliquée), [2000], "Plan d'exploitation du gisement de phosphate de Kef Essenoun, Djebel El Onk", p. 33-45, inédit.

-**Cielensky S, Benchernine N, Watkowski T (1988)**, Travaux de prospection et d'évaluation des phosphates dans la région de Bir El Ater. Rapport interne, EREM, 80p.

-**Dassamiour Mohamed, 2012** Eléments en traces et valorisation des minerais de Phosphate du gisement de Kef Essenoun - Dj. Onk (Algérie Orientale)

-**(DMT) en Septembre 2016**, le bureau d'expertise allemand.

-**EREM. (1985-1987)** - Travaux de prospection et d'évaluation des phosphates dans de Bir El Ater. Rapport EREM, 2 tomes : géologie, 50p. , prospection d'évaluation, Biblio, 53p.

-Exploitation-minière-cours-de-base.

-**Hoek E. et Bray J.W., (1977)**, "Rock slope engineering", edition Institution of Mineryand Metallurgy.



## Bibliographie

---

- Hoek, E, et all, (1997)**, Practical estimates of rock mass strength: International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, v. 34, p. 1165-1186.
- Kazakov A.V., [1930]**, “Phosphorite ores of the Soviet Union. Proc. Res. Inst. Fertilizers and Insectofungisides“, Vol. 68.
- La sécurité et la santé dans les mines à ciel ouvert Deuxième édition révisée  
BUREAU INTERNATIONAL DU TRAVAIL • GENÈVE.
- les-glissements-de-terrains-modélisation-et-prévision-ensps.
- Mezam, M et all. (2017)**. Étude Rétro-analytique du glissement du bord Nord de la mine à ciel ouvert de Kef Essenoun (Djebel Onk), Algérie. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 76, no 4, p. 1307-1320.
- Mon cahier d’exploitation minière 2012.
- Prian, G. P. et Cortiel Ph., [1993]** -Etude de développement du gisement de phosphate De Djebel Onk (Algérie). Rapport d'expertise géologique, B.R.G.M. France, p. 11-29, 133-149, 169-173, inédit.
- Ranchin G., (1963)**, “Etude géologique et minière du gisement de Djebel el Onk“. Rapport S.E.R.M.I., Paris.
- Romana M., (1985)**, “A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating“in Comprehensive Rock Engineering, edition Oxford, Pergamon Press.
- Singh, B, et all, (1999)**, Rock mass classification: a practical approach in civil engineering: Amsterdam, Elsevier Scienceneering: Amsterdam, Elsevier Science.
- SO.NA.R.E.M (1978)** : Rapport sur les travaux de prospection et d’évaluation des phosphates dans le district minier du Djebel Onk, Algérie.
- SOMIPHOS, (2021)** Coupes géologiques et levé topographique de la carrière de phosphate.
- Visse L. (1952)**: Genèse des gîtes phosphatés du Sud-est Algéro– tunisien. XIX Congrès géol. Intern. Alger, série 1, n°27, 60 p.
- Zhao J., (2008)**, “Propriétés des discontinuités“, part 3, cours de mécanique des roches, l’école polytechnique fédérale de Lausanne.

# **Annexe A:**

# **Calcul du RQD**

## Annexe A : Calcul du RQD

Tableau A.1 – Détail du calcul du RQD.

N° caisse	Intervalle foré (m)	Intervalle reçu (m)	tige/ perte (+/-cm)	Profondeur (m)	Epaisseur (m)	Description de la roche	Longueur du morceau de carotte (cm)	RQD (%)
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	quaternaire	120	/
Passe carotté de (m): 2,00					<b>4</b>	calcaire	7	/
Passe carotté A (m): 4,00						calcaire	43*2	
						silex	8	/
						calcaire	22*3	/
<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>4</b>				
Passe carotté de (m): 4,00				<b>7</b>	<b>1</b>	phosphate	100x1	/
Passe carotté A (m): 7,00					<b>2</b>	phosphate	100x1	/
					<b>3</b>	phosphate	100x1	/
<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>0</b>			
Passe carotté de (m): 7,00				<b>8</b>	<b>1</b>	phosphate	70x1	/
Passe carotté A (m): 8,00							06x2	
						marne blanchâtre	5	/
							5	
							6x2	
							8	
<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>0</b>			
Passe carotté de (m): 8,00				<b>11</b>	<b>1</b>	phosphate	100x1	/
passe carotté A (m): 11,00					<b>2</b>	phosphate	100x1	
					<b>3</b>	phosphate	60x1	
						marne blanchâtre	10x2	/
							5	
							5	
							05x2	
							15x1	
<b>3+4</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>0</b>			
passe carotté de (m): 11,00				<b>14</b>	<b>1</b>	marne blanc	27x1	20
passe carotté A (m): 14,00							4	
							24x2	
							6	
							8	
							6	
							11	
							5	
					<b>2</b>	marne blanc	9	
							9	
							8	
							7	

**Annexe B:**

**Observation et  
caractérisation des  
discontinuités**

# Annexe B : Observation et caractérisation des discontinuités

Levé de fracturation				Zone de kef e ssoun Nord - Ouest			
Location/ID	X: 0404908	Y: 3840963	Z: B32	Editor: M.B	Date: 05/02/2021		

<b>Rock Type:</b> <input type="checkbox"/> Clay <input type="checkbox"/> Sand <input type="checkbox"/> Claystone <input type="checkbox"/> Sandstone <input checked="" type="checkbox"/> Limestone <input type="checkbox"/> Dolomite <input type="checkbox"/> Phosphorite <input type="checkbox"/> Marl <input type="checkbox"/> other (specify)	<b>Bedding:</b> <input checked="" type="checkbox"/> massive <input type="checkbox"/> irregular <input type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> undulating <b>Strength (R0-R6):</b> R04 <b>Weathering (I-VI):</b> II	<p><small>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</small></p> <p><small>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</small></p> <p><b>STRUCTURE: 30</b></p> <p><b>SURFACE CONDITIONS</b></p> <p>VERY GOOD: Very rough, fresh unweathered surfaces          GOOD: Rough, slightly weathered, iron stained surfaces          FAIR: Smooth, moderately weathered and altered surfaces          POOR: Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments          VERY POOR: Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings</p> <p><b>DECREASING SURFACE QUALITY</b></p> <p><b>DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</b></p> <p>INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities          BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets          VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets          BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity          DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces          LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</p>
--	---	--

	Type	DipDir [°]	Dip [°]	Spacing [m]	Persistence [m]	Shape	Roughness	JRC	Filling (Type, Width)
D1	b			90-1		irregular	V3 - Rg 10-12		very
D2	d			93-1	0,5-2,5		4	12	
D3	d			95	1,2		4	10	
D4	d			0,5	>2		4	12	
D5									

D1	D2	D3	D4	D5	Photos:
125/50	40/80	165/75	290/75		Comments           Document ID
140/60	60/90	155/60	285/70		
160/50	70/80	170/35	280/70		
160/70	50/80	150/70	280/30		
160/60	80/70	160/60	300/30		
155/50	60/60	150/80			
160/45	60/70	140/70			
160/50	70/80	170/60			
	30/45	170/55			
	30/50	155/60			

# Annexe B : Observation et caractérisation des discontinuités

Levé de fracturation				Zone de ke f e snoun Nord - Ouest			
Location/ID	X:	Y:	Z:	Editor:	Date:		
	0405199	3 841070	813	M. B	04/02/2021		

<b>Rock Type:</b> <input type="checkbox"/> Clay <input type="checkbox"/> Sand <input type="checkbox"/> Claystone <input type="checkbox"/> Sandstone <input type="checkbox"/> Limestone <input type="checkbox"/> Dolomite <input checked="" type="checkbox"/> Phosphorite <input type="checkbox"/> Marl <input type="checkbox"/> other (specify)	<b>Bedding:</b> <input type="checkbox"/> massive <input type="checkbox"/> irregular <input checked="" type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> undulating <b>Strength (R0-R6):</b> <p style="text-align: center;">R2</p> <b>Weathering (I-VI):</b> <p style="text-align: center;">WI</p>	<p><b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</b></p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p> <p style="text-align: center;"><b>STRUCTURE 65-75</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"><input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or masses in situ rock with few widely spaced discontinuities</td> <td style="width: 30%; text-align: center;">90</td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">30</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">20</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">10</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">N/A</td> <td style="text-align: center;">N/A</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;"><b>DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES</b></p>	<input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or masses in situ rock with few widely spaced discontinuities	90		<input type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80		<input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70		<input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60		<input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50		<input type="checkbox"/> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	40			30			20			10			N/A	N/A
<input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or masses in situ rock with few widely spaced discontinuities	90																															
<input type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80																															
<input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70																															
<input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60																															
<input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50																															
<input type="checkbox"/> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	40																															
	30																															
	20																															
	10																															
	N/A	N/A																														

	Type	DipDir [°]	Dip [°]	Spacing [m]	Persistence [m]	Shape	Roughness	JRC	Filling (Type, Width)
D1	6			0,3		planaire	res-20	12	non
D2	∩			0,3-1	0,5	∩	∩	06	∩
D3	∩			0,2	0,5-1	∩	∩	08	∩
D4	∩			0,5-0,6	0,5	∩	∩	12	∩
D5	∩			0,6	0,5	ondulé	∩	10	∩

D1	D2	D3	D4	D5	Photos:
165/52	82/184 75/82	128/88	20/20	176/84	Comments
166/51		125/86	23/20	155/80	
167/63		25/22	156/88		
167/44		[D6]	22/14	172/73	
167/43		243/78	19/20	172/73	
176/150		24/182	24/30	170/62	
171/52		22/4/50	30/20	154/72	
173/148		222/158	25/19	∩	
174/158		352/70	15/18	[D6]	
174/35		288/80		25/75	
				188/45	

# Annexe B : Observation et caractérisation des discontinuités

Levé de fracturation				Zone de kef es snoun Nord - Ouest			
Location/ID	X:	Y:	Z:	Editor:	Date:		
	404995	38407	784	M. B	01/02/2021		

<b>Rock Type:</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Clay</td></tr> <tr><td>Sand</td></tr> <tr><td>Claystone</td></tr> <tr><td>Sandstone</td></tr> <tr><td>Limestone</td></tr> <tr><td>Dolomite</td></tr> <tr><td>Phosphoric</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> Marl</td></tr> <tr><td>other (specify)</td></tr> </table>	Clay	Sand	Claystone	Sandstone	Limestone	Dolomite	Phosphoric	<input checked="" type="checkbox"/> Marl	other (specify)	<b>Bedding:</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/> massive</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> irregular</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> regular</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> undulating</td></tr> </table> <b>Strength (R0-R6):</b> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">R0</p> <b>Weathering (I-VI):</b> <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">I</p>	<input checked="" type="checkbox"/> massive	<input type="checkbox"/> irregular	<input type="checkbox"/> regular	<input type="checkbox"/> undulating	<p><b>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</b>          From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where smooth planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p> <p><b>STRUCTURE</b> </p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;"><input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets</td> <td>90</td> <td>80</td> <td>70</td> <td>60</td> <td>50</td> <td>40</td> <td>30</td> <td>20</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> LAMINATE/DISHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p style="font-size: 0.8em;">SURFACE CONDITIONS: VERY GOOD (very rough, high unweathered surfaces) / GOOD (rough, slightly weathered, iron stained surfaces) / FAIR (smooth, moderately weathered and altered surfaces) / POOR (disintegrated, highly weathered surfaces with compact coatings or filings or angular fragments) / VERY POOR (highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings)</p> <p style="font-size: 0.8em;">DECREASING SURFACE QUALITY →</p> <p style="font-size: 0.8em;">DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓</p>	<input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities										<input checked="" type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	90	80	70	60	50	40	30	20	0	<input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets										<input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity										<input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces										<input type="checkbox"/> LAMINATE/DISHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A							
Clay																																																																											
Sand																																																																											
Claystone																																																																											
Sandstone																																																																											
Limestone																																																																											
Dolomite																																																																											
Phosphoric																																																																											
<input checked="" type="checkbox"/> Marl																																																																											
other (specify)																																																																											
<input checked="" type="checkbox"/> massive																																																																											
<input type="checkbox"/> irregular																																																																											
<input type="checkbox"/> regular																																																																											
<input type="checkbox"/> undulating																																																																											
<input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities																																																																											
<input checked="" type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	90	80	70	60	50	40	30	20	0																																																																		
<input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets																																																																											
<input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - faulted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity																																																																											
<input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces																																																																											
<input type="checkbox"/> LAMINATE/DISHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A																																																																									

Type	DipDir [°]	Dip [°]	Spacing [m]	Persistence [m]	Shape	Roughness	JRC	Filling (Type, Width)
D1			0,5m		plan	Requet	5	gypse 5mm
D2			0,5m	0,3m	ondulé	Loise	3	"
D3			0,5m	0,1m	ondulé	4	3	"
D4			0,5m	0,6m	ondulé	4	3	"
D5								

D1	D2	D3	D4	D5	Photos:
160/60	108/30	70/35	215/60		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">Comments</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Document ID</div>
162/56	110/40	80/50	216/50		
165/65		82/56	218/40		
158/60			225/45		
160/65			220/52		

# Annexe B : Observation et caractérisation des discontinuités

Levé de fracturation				Zone de kef e ssoun Nord - Ouest			
Location/ID	X: 0465297	Y: 384675	Z: 795	Editor: M. B	Date: 03/02/2021		

<b>Rock Type:</b> <input type="checkbox"/> Clay <input type="checkbox"/> Sand <input type="checkbox"/> Claystone <input type="checkbox"/> Sandstone <input type="checkbox"/> Limestone <input type="checkbox"/> Dolomite <input checked="" type="checkbox"/> Phosphorite <input type="checkbox"/> Marl <input type="checkbox"/> other (specify)	<b>Bedding:</b> <input type="checkbox"/> massive <input type="checkbox"/> irregular <input checked="" type="checkbox"/> regular <input type="checkbox"/> undulating <b>Strength (R0-R6):</b> R2 <b>Weathering (I-VI):</b> WI	<p><small>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</small></p> <p><small>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</small></p> <p>STRUCTURE <b>60-70</b></p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities  <input type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets  <input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets  <input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity  <input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces  <input type="checkbox"/> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes         </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p style="text-align: center;">DECREASING SURFACE QUALITY →</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">90</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">80</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">70</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">60</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">50</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">40</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">30</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">20</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">10</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">NIA</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities <input type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets <input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets <input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity <input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces <input type="checkbox"/> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	<p style="text-align: center;">DECREASING SURFACE QUALITY →</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">90</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">80</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">70</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">60</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">50</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">40</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">30</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">20</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">10</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">NIA</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> </table>	90	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	90	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA
<input type="checkbox"/> INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities <input type="checkbox"/> BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets <input type="checkbox"/> VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets <input type="checkbox"/> BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity <input type="checkbox"/> DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces <input type="checkbox"/> LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	<p style="text-align: center;">DECREASING SURFACE QUALITY →</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center;">90</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">80</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">70</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">60</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">50</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">40</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">30</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">20</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">10</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">NIA</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">90</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">60</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> <td style="text-align: center;">NIA</td> </tr> </table>	90	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	90	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA			
90	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA																																																																																																																			
90	80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA																																																																																																																			
80	70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
70	60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
60	50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
50	40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
40	30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
30	20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
20	10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
10	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			
NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA	NIA																																																																																																																			

	Type	DipDir [°]	Dip [°]	Spacing [m]	Persistence [m]	Shape	Roughness	JRC	Filling (Type, Width)
D1	b			0,25-0,3		planaire très - fine	12	12	non
D2	j			0,3-0,7	0,5	"	"	6	"
D3	j			0,2-0,7	0,3-1	"	"	10	"
D4	j			0,3-0,5	0,3	"	"	15	"
D5	j			0,7		"	"	13	"

D1	D2	D3	D4	D5	Photos:  Comments
162/36 177/41 160/36 188/30 178/45	300/89 327/88 305/90 312/84	07/85 336/85	70/69 77/82	276/83	
Document ID					