



République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de recherche scientifique
Université de Larbi Tébessi –Tébessa-



Institut des mines
Département des Mines et de la Géotechnologie

Mémoire final
Pour l'obtention du diplôme de Master académique
Filière : Génie minier
Option : Exploitation des mines

Présenté par
Guergah Abd Elouahab
Benaïcha Khoufoud
Le : 12/06/2024

Gestion de l'énergie de tir dans La partie supérieure du gradin Cas de la carrière de Djebel-Onk

Devant le jury

DEBBOUZ Mokhtar Président MCB Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa
DERBAL Chemseddine Encadreur MCB Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa
NOUIOUA Ismaïl Examineur PR Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi – Tébessa

Année universitaire 2023/2024



Année universitaire : 2023/2024

Tébessa le :

Lettre de soutenabilité

Noms et prénoms des étudiants : Noms et prénoms des étudiants :

1-GUERGAH ABD ELOUAHAB

2-BENAICHA KHOULOU

Niveau : 2ème Master Option : exploitation des mines-

Thème : gestion d'énergie de tir de la partie supérieure du gradin -cas de

Djebel-Onk-

Nom et prénom de l'encadreur : Derbal Chems Eddine

Chapitres réalisés	Signature de l'encadreur
<u>Toutes les parties</u>	

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي

خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) قرقاج عبد الوهاب الصفة : طالب

الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 407011478 و الصادرة بتاريخ : 2023 / 09 / 18
المسجل بمعهد المناجم قسم المناجم والجيوتكنولوجيا
و المكلف بانجاز أعمال بحث مذكرة ماستر ، عنوانها :

Gestion d'énergie de tir de la partie supérieure du gradin
- Cas du Dzebel-Onk -

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية

المطلوبة في انجاز البحث المذكور أعلاه

06 جوان 2024

إمضاء المعني (ة)





التاريخ:

المصادقة على إمضاء
السيد (ة) قرقاج عبد الوهاب
لحضوره وتوقيعه أمامنا
ببلدية تلمسان
بتاريخ: 06 جوان 2024

من رئيس المجلس
وتتوض منه: بوراس عبد الحبيد
صون الإدارة الإقليمية



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

مؤسسة التعليم العالي : جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي - تبسة

تصريح شرفي
خاص بالالتزام بقواعد النزاهة العلمية لانجاز بحث

أنا الممضي أدناه،

السيد (ة) بن عيشة مخلود الصفة : طالبة

المسجل بمعهد المناجم
و المكلف بانجاز أعمال بحث مذكرة ماستر ، عنوانها :
الحامل لبطاقة التعريف الوطنية رقم : 121735 845 و الصادرة بتاريخ : 2021/11/10
قسم المناجم والجيوتكنولوجيا

Creation d'énergie de tir de la partie supérieure du gradin
- Cas de Djebel - Ouf -

أصرح بشرفي أنني ألتزم بمراعاة المعايير العلمية و المنهجية و معايير الأخلاقيات المهنية و النزاهة الأكاديمية

المطلوبة في انجاز البحث المذكور



التاريخ: 2024/06/10

إمضاء المعني (ة)

رئيس المجلس العلمي
وبموض منه: بوراس عبد الحيد
عون الإدارة الإقليمية

Dédicace

من خلود ...

وأخر دعواهم أن الحمد لله رب العالمين ﷻ ... الحمد لله على لذة الانجاز والحمد لله عند البدء وعند الختام

" إلى الأميرة امي "

وقد ورثت في جوفها كيف اكون انسانا ، قبل ان أصرخ صرختي الأولى في هذا العالم

" إلى الطيب والدي "

وقد رببت في كنفه على ان اكون صادقة قبل ان اخطو خطواتي الأولى

إلى تلك النجوم التي تنير طريقي دوما اخواتي ♥

إلى العم الوحيد الذي كان لنا بمثابة الاخ والسند

" إبراهيم "

إلى صديق الأيام جميعا بجلوها ومرها ورفيق الخطوة الاولى والأخيرة لي من كان سحابا ممطرا خلال السنين العجاف

" علي "

إلى تلك المطلعة على عثراتي والتي اجتهدت في اخفاءها دون أن تضغط على الجرح رفيقة الدرب

" هناء "

إلى كل يد صافحتها يوما عن ظهر قلب ، الى كل من ساندني في مشواري ولو بكلمة

" ممتنة جدا ♥ "

أهديكم جميعا هذا العمل المتواضع وثمره جهدي

والله ولي التوفيق

من عبد الوهاب ...

إلى كل من أحببتهم فيك يا رب حبا صادقا ...

وإن كانت هذه الأسطر قليلة في حقهم ... أسألك اللهم أن ترزقهم سعادة الدارين ...

وأن تجعلنا وإياهم ممن رضيت عنهم ...

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah qui nous a permis d'achever ce travail.

Nous remercions nos chers parents qui ont toujours été à nos côtés et grâce à qui nous sommes ici aujourd'hui.

Nous remercions nos professeurs distingués pour les efforts qu'ils ont déployés avec nous.

Nous remercions tous les employés du complexe minier de Djebel Onk pour les informations précieuses qu'ils nous ont fournies et pour leur hospitalité.

Nous remercions tous ceux qui nous ont aidés et soutenus, même par un simple mot, tout au long de ce parcours.

Nous remercions le jury distingué pour ses efforts déployés dans l'évaluation de ce travail et pour ses conseils et orientations.

Enfin, un remerciement spécial au Mr. Chamseddine Derbal pour les efforts considérables qu'il a déployés avec nous et dont nous avons vu les fruits de nos propres yeux.

ملخص

إدارة طاقة التفجير لتحقيق نتائج مثالية هي أحد الأهداف التي تسعى إليها شركات التعدين. في الجزائر، تواجه العديد من المحاجر آثارًا جانبية لعمليات التفجير بدرجات متفاوتة. للتخفيف من هذه الآثار، نقترح استخدام التفجير بشحنات وسيطية، وهي طريقة أثبتت فعاليتها في العديد من البلدان، بما في ذلك أوكرانيا. تعمل هذه الطريقة على زيادة الجزء النشط في منطقة التجزئة غير المنتظمة للجزء العلوي من المدرج، مما يعزز عملية التفجير ويؤثر بشكل إيجابي على المراحل التالية. يهدف هذا العمل إلى نقل الخبرات العلمية من البلدان التي استخدمت هذه الطريقة، لتصبح مواد تعليمية في الجامعات الجزائرية في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: التفجير، شحنات وسيطية، المحاجر، الجزائر، أوكرانيا، عملية التفجير، الخبرات العلمية، التعليم

الجامعي

Abstract

Managing blasting energy to achieve optimal results is one of the goals that mining companies strive for. In Algeria, many quarries suffer from the side effects of blasting to varying degrees. To mitigate this, we propose blasting with intermediate charges, a method that has proven effective in many countries, including Ukraine. This method increases the active part in the irregular fragmentation zone of the upper bench, thereby improving the blasting process, which in turn affects the subsequent stages. This work aims to transfer scientific expertise from many countries that have used this method, which could be used in the future as educational material in Algerian universities.

Keywords: blasting, intermediate charges, quarries, Algeria, Ukraine, blasting process, scientific expertise, university education

Résumé

La gestion de l'énergie de tir pour obtenir des résultats optimaux est l'un des objectifs que les entreprises minières cherchent à atteindre. En Algérie, de nombreuses carrières souffrent des effets secondaires du processus d'abattage à des degrés divers. Pour y remédier, nous proposons le tir avec des charges intermédiaires, une méthode qui a prouvé son efficacité dans de nombreux pays, dont l'Ukraine. Cette méthode augmente la partie active dans la zone de fragmentation irrégulière de la partie supérieure du gradin, améliorant ainsi le processus d'abattage, ce qui a un impact positif sur les différentes étapes qui suivent. Ce travail vise à transférer les expertises scientifiques de nombreux pays ayant utilisé cette méthode, qui pourrait à l'avenir être utilisée comme matériel éducatif dans les universités algériennes.

Mots-clés: tir, charges intermédiaires, carrières, Algérie, Ukraine, processus d'abattage, expertises scientifiques, education universitaire

Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre 1.....	2
1.1 Introduction.....	2
1.2 Historique de la mine.....	2
1.3 Situation géographique de la région.....	4
1.4 Géologie régionale de Djebel-Onk.....	6
1.4.1 Litho-stratigraphie régional.....	6
1.4.2 Colonne stratigraphique de la région.....	7
1.4.2.1 Crétacé.....	7
1.4.2.2 Paléocène.....	7
1.4.2.3 Eocène.....	8
1.4.2.4 Miocène.....	9
1.4.2.5 Quaternaire.....	10
1.5 Géomorphologie du gisement.....	11
1.6 Sédimentologie du gisement.....	11
1.6.1 Période de sédimentation marine.....	11
1.6.2 Période de sédimentation continentale.....	11
1.7 Hydrogéologie du gisement.....	11
1.8 Tectonique régionale.....	12
1.9 Etat des réserves.....	13
1.10 Données de départ.....	15
1.10.1 Paramètres géotechniques.....	15
1.10.2 Les paramètres d'exploitation.....	16
1.11 Conclusion.....	17
Chapitre 2.....	18
2.1 Introduction.....	18
2.2 Ouverture du gisement.....	18
2.2.1 Définitions.....	18
2.2.2 Facteurs de choix de mode d'ouverture.....	19
2.2.3 Mode d'ouverture du gisement de Kef Essenoun.....	20
2.3 Méthode d'exploitation du gisement.....	20
2.3.1 Généralités.....	20
2.3.2 Les éléments fondamentaux d'exploitation.....	22
2.3.2.1 Gradins.....	22
2.3.2.2 Bords de la carrière.....	24
2.3.2.3 Contour de la carrière.....	24
2.3.2.4 Talus de la carrière.....	25

2.3.3	Détermination des paramètres de la méthode d'exploitation	25
2.3.3.1	Hauteur du gradin	25
2.3.3.2	Angle de talus du gradin	25
2.3.3.3	Largeur d'enlevure	26
2.3.3.4	Largeur de la plate-forme de travail	27
2.3.4	Méthode d'exploitation du Djebel-Onk (Kef Essenoun)	28
2.4	Chargement.....	28
2.4.1	Généralités.....	28
2.4.2	Choix des engins de chargement	29
2.4.3	Moyens de chargement existant au niveau de la mine de djebel Onk	30
2.4.4	Calcul du rendement réel d'exploitation pour la pelle Caterpillar 390 F.....	31
2.5	Transport.....	34
2.5.1	Généralités.....	34
2.5.2	Mode de transport utilisé à Djebel-Onk (Kef Essenoun)	36
2.5.3	Calcul du rendement réel d'exploitation pour le camion Caterpillar 773 F.....	37
2.6	Conclusion	40
Chapitre 3.....		41
Partie spéciale.....		41
3.1	Introduction	41
3.2	Structure des massifs rocheux	41
3.2.1	Description des massifs rocheux	41
3.2.2	Description des discontinuités.....	42
3.3	Type et classification des discontinuités	42
3.3.1	Caractéristiques des discontinuités	44
3.3.2	Orientation des discontinuités	45
3.3.3	Espacement	45
3.4	Fréquence des discontinuités (λ)	46
3.5	Degré de fracturation du massif rocheux.....	47
3.5.1	La rugosité	47
3.6	Observations in-situ	48
3.7	Augmentation de la qualité de fragmentation dans la partie supérieure du bloc.....	51
3.7.1	Augmentation de la partie active du trou.....	51
3.7.2	Application du forage intermédiaire.....	51
3.8	Foration.....	52
3.8.1	Choix de mode de foration	52
3.8.2	Caractéristiques technique de la sondeuse	53
3.8.3	Rendement pratique de la sondeuse.....	54
3.9	Paramètres de plan de tir.....	55
3.10	Schéma de tir	62
3.11	Conclusion	63

Partie sécurité.....	64
3.1 Introduction	64
3.2 Sécurité des chantiers	64
3.2.1 Poste avancé de sécurité préventive	64
3.2.2 Poste avancé de sécurité industrielle	65
3.3 Sécurité des chantiers	66
3.4 Sécurité des moyens matériels et du personnel	66
3.5 Accidents de travail	67
3.5.1 Définition d'un accident de travail.....	67
3.5.2 Comment est défini l'accident ?	68
3.2 Conclusion	70
Partie environnement.....	71
3.3 Introduction	71
3.6 Gestion des rejets et des stocks.....	71
3.6.1 Rejets liquides de l'usine de traitement	71
3.6.2 Stocks des rejets grossiers	72
3.6.3 Décharges stériles.....	73
3.6.4 Stocks de phosphate brut	74
3.7 Conclusion	75
Conclusion générale	76

liste de figures

Figure 1 : Mine de Djebel-Onk (prise en 22/02/2024).....	4
Figure 2: Situation géographique du gisement du phosphate du Djebel-Onk(échelle 1/10000) [2]	5
Figure 3 : Carte géologique du Bir El Ater (échelle 1/50000) [3]	6
Figure 4 : Colonne stratigraphique de Djebel-Onk [5]	10
Figure 5 : Carte structurale de la région du Djebel-Onk [4]	12
Figure 6 : Schéma d'une tranchée d'accès et de découpage [8]	19
Figure 7 : Schéma des éléments géométriques et technologiques d'un gradin [8]	22
Figure 8 : Schéma d'un bloc d'exploitation [8]	23
Figure 9 : Coupe verticale d'une mine à ciel ouvert montrant les bords d'exploitation [8]	24
Figure 10 : Processus de chargement par pelle hydraulique Caterpillar 390F (prise en 22/04/2024)	31
Figure 11 : Camion Caterpillar 773F (prise en 20/02/2024)	36
Figure 12 : Description des massifs rocheux.....	42
Figure 13 : Discontinuité de type diaclase	43
Figure 14 : Discontinuité de type faille	43
Figure 15 : La schistosité dans les roches métamorphiques.....	44
Figure 16 : Les plis.....	44
Figure 17 : Définition de la direction et du pendage d'un plan de discontinuité	45
Figure 18 : Mesure de l'espacement (Zhao. J, 2008)	46
Figure 19 : Définition de la rugosité à différentes échelles	47
Figure 20 : Sortie de hors gabaries	48
Figure 21 : Les effets arrière de tir sur le massif rocheux.....	49
Figure 22 : Les effets arrière dans la partie supérieure du gradin	50
Figure 23 : schéma de méthode d'abattage par trous intermédiaires	52
Figure 24 : sondeuse utilisée dans la mine de djebel-Onk	54
Figure 25 : Schéma de tir par trous intermédiaires	62
Figure 26 : Poste avancé de sécurité préventive Kef Essnoun (DSP 4) [1].....	65
Figure 27 : Poste avancé de sécurité industrielle Kef Essnoun [1]	65
Figure 28 : Plaques de signalisation indiquant le sens vers la décharge et l'usine [1]	67
Figure 29 : Rejets liquides de la voie humide [1]	72
Figure 30 : Retenue de décantation des eaux usées de Djemidjema (zone II) [1]	72
Figure 31 : Stock des rejets grossiers Djemidjema (zone II) [1]	73
Figure 32 : Stock des rejets grossiers Kef Essenoun [1]	73
Figure 33 : Décharges internes et externes de stérile Kef Essenoun [1]	74
Figure 34 : Stock brut de phosphate devant concasseur HAZMAG [1].....	74
Figure 35 : Stock brut de phosphate devant concasseur BABITLESS [1].....	75

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ressources géologiques en phosphate des gisements de Djebel-Onk	13
Tableau 2 : la quantité de phosphate et de stérile enlevée durant l'année 2023 [8]	14
Tableau 3 : les paramètres géotechniques effectués par DMT [9]	15
Tableau 4 : les paramètres d'exploitation à Djebel-Onk [1].....	16
Tableau 5 : La consommation spécifique utilisée en Djebel-Onk (2024) [1]	17
Tableau 6 : Angle du talus des gradins selon la dureté des roches	26
Tableau 7 : Caractéristiques techniques de la pelle Caterpillar 390 F.....	32
Tableau 8 : chronométrages de la durée de cycle de chargement	33
Tableau 9 : Caractéristiques technique du camion Caterpillar 773 F.....	37
Tableau 10 : chronométrages de la durée de cycle de transport pour le camion	38
Tableau 11 : Description de l'espacement des discontinuités (Zhao. J, 2008).....	46
Tableau 12 : Caractéristiques techniques de la sondeuse	53
Tableau 13 : Paramètres du schéma de tir proposé.....	61
Tableau 14 : les accidents de travail enregistrés durant le l'année 2023 [11]	69

Introduction générale

Les recherches et les expériences menées sur le processus d'abattage dans les mines à ciel ouvert pour des gradins de différentes hauteurs, sur une taille dégagée, ont confirmé que la plus grande proportion des fractures (plus de 400 mm) se trouvent dans les trous de la première rangée et la partie supérieure du gradin, cela peut être attribué à une méconnaissance du fonctionnement des explosifs.

Plusieurs méthodes ont été développées pour résoudre ce problème, telles que les "trous doublés", mais cette méthode ne peut pas être appliquée faute de moyens de forage adéquats. Nous mentionnons également la méthode de forage intermédiaire, qui consiste à creuser des trous secondaires en plus des trous principaux, mais à une profondeur moindre, ce qui permet d'augmenter la partie active du trou de forage et donc de mieux gérer l'énergie de l'explosion. À travers ce travail, notre objectif est d'appliquer cette méthode en Algérie, notamment dans la mine de phosphate de Djebel Onk à Bir El Ater, en la combinant avec la méthode "l'abattage dans un milieu serré", qui donne des résultats optimaux pour les roches dures avec de gros blocs fissurés, comme cela a été observé dans de nombreuses mines telles que le minerai de fer et le granite.

Chapitre 1

Partie géologique

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, on parle d'abord de l'historique de la mine du Djebel-Onk, puis de la situation géographique du site minier, suivi par la géologie régionale et la colonne stratigraphique de la région. Le chapitre parle également de la géomorphologie, de la sédimentologie du gisement, ainsi que de l'hydrogéologie et la tectonique de la région. Enfin, de l'état des réserves et les données du départ. Le chapitre fournit des informations complètes sur la région et les données géologiques associées.

1.2 Historique de la mine

Le phosphate a été découvert en Algérie en 1873 à Boughari par F. Thomas [1].

Durant la période (1907-1908) le gisement du Djebel-Onk a été découvert par L. JOLEAU, D. DUSSERT a également contribué en fournissant des informations détaillées, mais plus encore par FLANDRIN qui a fourni des détails plus précis en 1948 [1].

Les licences d'exploitation du phosphate ne furent accordées qu'en 1931 à la Société de phosphate de Constantine, alors principal producteur en Algérie, puis à la S.D.O. en 1936 [1].

Entre 1961 et 1963, des expériences d'exploration radiologique aérienne ont été menées pour les gisements du Djebel-Onk afin de déterminer avec précision les réserves et les sites d'exploitation [1].

En 1963, la SERMI réalise des études géologiques et minières pour DJEBEL-ONK avant d'exploiter le gisement Djemidjema (d'après les rapports de G. RANCHIN, 1963, A.B.C). Parallèlement, la société française SOFREMINEs travaille à la préparation d'un avant-projet d'exploitation le gisement de Kef Essenoun (1962) [1].

Après la fin de l'exploitation du Djebel-Kouif, commencée en 1894, il était prévu de commencer l'exploitation du Djemidjema par la société du Djebel-Onk en 1963, mais l'exploitation ne commença qu'en février 1965 [1].

De 1971 à 1974, la société nationale d'exploration et d'exploitation minière SONAREM reprend l'exploration et la recherche du phosphate dans l'est de l'Algérie et dans la région du Djebel-Onk (1977 - 1979): des sondages (S-3 - K, S-4 - K, S-5 - K) ont été réalisés [1].

Dans la période de 1985 à 1987, l'EREM, à la demande de la FERFOS, a réalisé des opérations de recherche et d'évaluation des ressources potentielles en phosphate dans la région du Djebel-Onk, notamment le gisement Kef Essenoun dans lequel la même société a réalisé 32 sondages S-2 à S-46 sur une maille de 250 × 300 m, également, 22 tranchées du Tr-22 à Tr-44 ont été réalisées lors des opérations d'exploration et ont été reconnues en 1986 [1].

En Novembre 1989, FERPHOS fait connaître son cahier des charges pour des études de développement du Complexe minier du Djebel-Onk [1].

En avril 1992, FERPHOS et le consultant BRGM/SOFREMINEs ont conclu un contrat de travail portant sur la collecte des éléments techniques et économiques pour achever le projet d'exploitation du Djebel-Onk [1].

En 1993, le BRGM a soumis un rapport d'expertise géologique sur tous les gisements de la région du Djebel-Onk [1].

En 1999, l'ORGM a soumis un rapport d'exploration des réserves pour la partie nord du Bled El Hadba. En 2015, elle a également soumis un rapport géologique complémentaire [1].

En 2016 et 2017, le Bureau allemand de design (DMT) a mené une étude pluriannuelle des gisements au sud du Djebel-Onk et de Bled El Hadba [1].



Figure 1 : Mine de Djebel-Onk (prise en 22/02/2024)

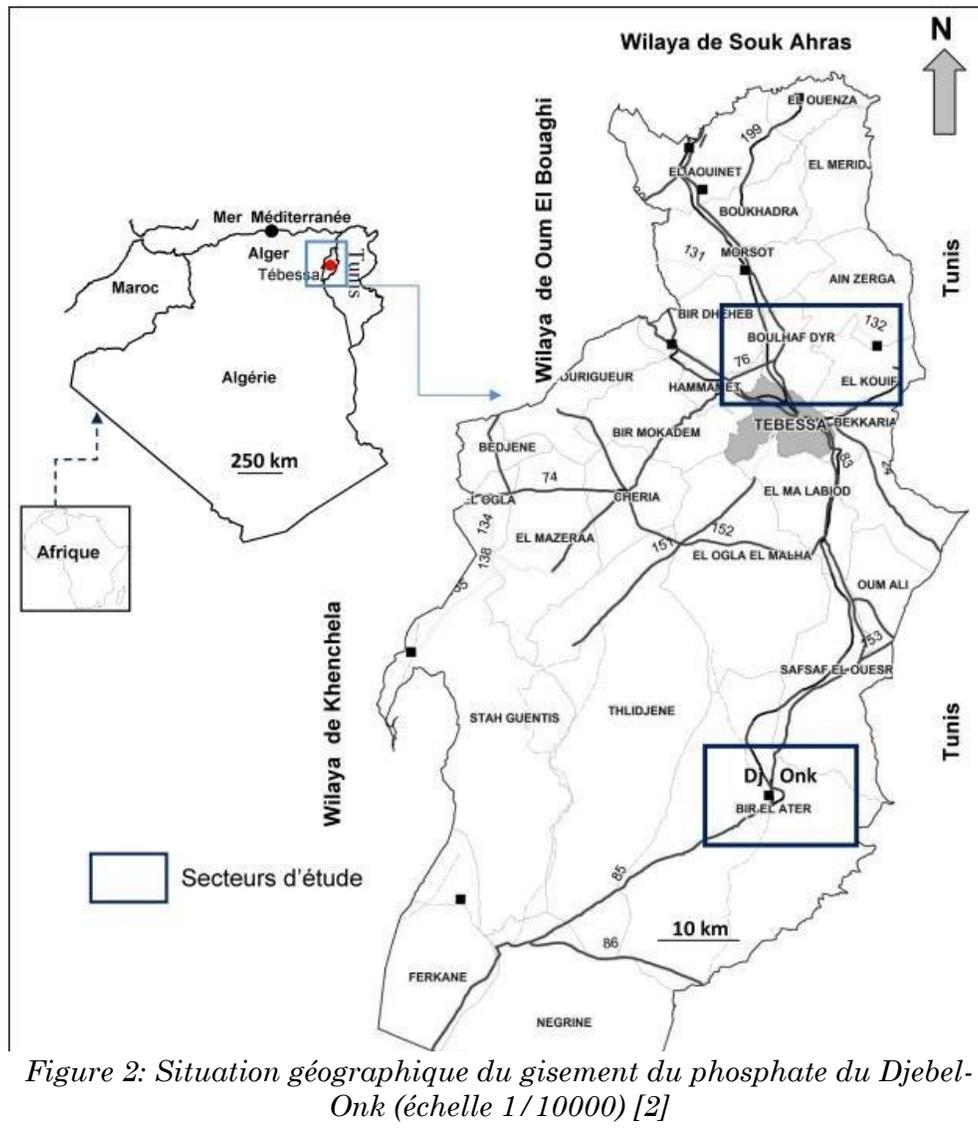
1.3 Situation géographique de la région

La région de Djebel-Onk est située au Nord-est d'Algérie, à 100 km au Sud de la wilaya de Tébessa, près de la ville de Bir-El-Ater [1].

Le gisement de phosphate de cette région se divisé en quelque zones, les zones actuellement exploitées sont [1]:

- Kef Essnoun (Partie Nord-Ouest) ;
- Djemidjema (Zone II) ;

La société de SOMIPHOS travaille également à déplacer ses activités pour inclure le gisement de Bled El Hadba [1].



1.4 Géologie régionale de Djebel-Onk

1.4.1 Litho-stratigraphie régional

La zone du Djebel-Onk, comme le montre la carte géologique, est une série stratigraphique formée du crétacé supérieur (Maestrichtien) à l'éocène moyen (Lutétien), considérées comme des chaînes marines, recouvertes de manière hétérogène par une épaisse série continentale d'argiles sableuses, et dans la dans ce dernier cas, nous trouvons la période Quaternaire [1].

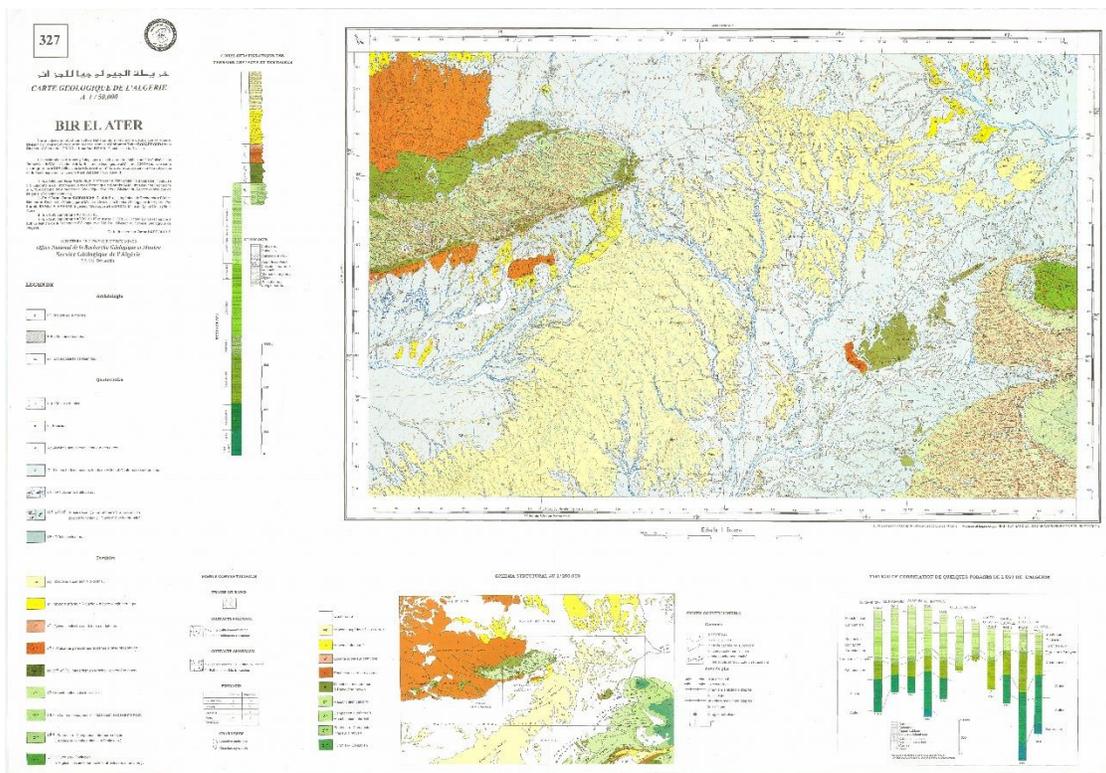


Figure 3 : Carte géologique du Bir El Ater (échelle 1/50000) [3]

1.4.2 Colonne stratigraphique de la région

1.4.2.1 Crétacé

Il est considéré comme l'un des sédiments les plus anciens découverts au Djebel-Onk. D'un point de vue tectonique c'est très turbulent [4].

➤ **Maestrichtien**

En général, il est formé de massifs de calcaires, calcaire noduleux de couleur blanche, intercalés de quelques couches argileuses de silex, et son épaisseur est d'environ 200 m [4].

1.4.2.2 Paléocène

Il consiste des sédiments marines d'une épaisseur allant jusqu'à 350 m, comprend :

➤ **Danien**

Il se compose du Danien inférieur (environ 30 à 40 mètres) et du Danien supérieur (environ 80 mètres), qui sont séparés par une épaisse couche de marne. La partie supérieure est constituée de massif de calcaire de couleur crème ou blanche entrelacés d'épaisses couches de marnes tendres argileuses schisteuses dont l'épaisseur varie entre 10 cm et 1 m, tandis que la partie inférieure est formée d'argiles marneuses schisteuses dont la couleur est comprise entre gris foncé et brun verdâtre, entrecoupé et au milieu se trouve une couche de gypse [4].

➤ **Montien**

Son épaisseur est d'environ 60 m et est composée d'épaisses couches calcaires et de quelques espèces de mollusques (*Ostrea Canaliculita* Sow, *Ostrea Multicostata* Desh) avec des intrusions de marnes, qui apparaissent en plusieurs endroits, à savoir Djebel-Onk, Djemidjema, Darmoun, Oued Betita, Bled El Hadba [4].

➤ **Thanétien**

Bien visibles d'un côté Anticlinal du mont Onk d'une épaisseur allant jusqu'à 72 m. C'est là que se forment le gisement de phosphate. Il est divisé en Thanétien supérieur et inférieur [4].

a) Thanétien inférieur

Il est constitué de couches de marnes dispersées de couleur gris foncé à noire, de 30 à 40 mètres d'épaisseur, contenant des formations de graviers et de fines couches de phosphate au fond. Également sur deux couches de marne se trouvent des animaux marins (Thésiteogracitis), tandis qu'au sommet se trouvent des couches de phosphate d'une épaisseur de 2 mètres, recouvertes de couches de calcaire et de marne, qui contiennent quelques gros mollusques [4].

b) Thanétien supérieur

Il contient une couche de dolomie à gastéropodes, suivie d'une couche de phosphate d'une épaisseur d'environ 30 m à la fois sur Djebel-Onk et Bled El Hadba, et diminue progressivement jusqu'à disparaître vers le nord, tandis que l'ouest et le sud se terminent généralement par une couche de lumachéllique [4].

1.4.2.3 Eocène

➤ **Yprésien**

Il contient plusieurs types de calcaires mêlés de phosphates (phospho-calcaires) sur une grande superficie avec une épaisseur de 32 m [4].

➤ **Lutétien**

Son épaisseur est d'environ 270 m. Il s'étend dans la région du Djebel Darmun [4] et est composé de :

a) Lutétien inférieur

Il se caractérise par la disparition du calcaire au profit de marnes blanches, en plus de Géodes de quartz, silex et un peu de faune marine (Hemither setia muracano.) d'une épaisseur de 30 mètres. Il contient également des massifs de calcaires blancs et quelques nodules de quartz de 15 mètres d'épaisseur, ainsi que sur du gypse et des couches de calcaire de 150 mètres d'épaisseur [4].

b) Lutétien supérieur

Son épaisseur est d'environ 75 mètres. Cette interface est composée de cristaux d'évaporite. Se compose de gypse, argile vertâtre, argile phosphatée verte en plus de couches de calcaire [4].

1.4.2.4 Miocène

Il s'agit d'un groupe de rochers d'argile, de sable et de schiste [4]. Il divise en :

➤ Miocène inférieur

Il est constitué de conglomérats et de sable à gros grains à moyen avec de minces couches d'argile silteuse. Son épaisseur est de 200 m [4].

➤ Miocène moyen

Constitué principalement d'argile marron, parfois d'argile de schiste, mélangé à du sable à grains fin à moyen. Son épaisseur est de 100 m [4].

➤ Miocène supérieur

Il est constitué de roches de sable argileux, de grès et contient également de gros blocs arrondis [4].

1.4.2.5 Quaternaire

Il s'étend sur de vastes zones de la région. Principalement représenté par des éboulis de pentes, des dépôts de sable et des dépôts éoliens, graviers, blocs, sédiments alluviaux et sédiments fluviaux [4].

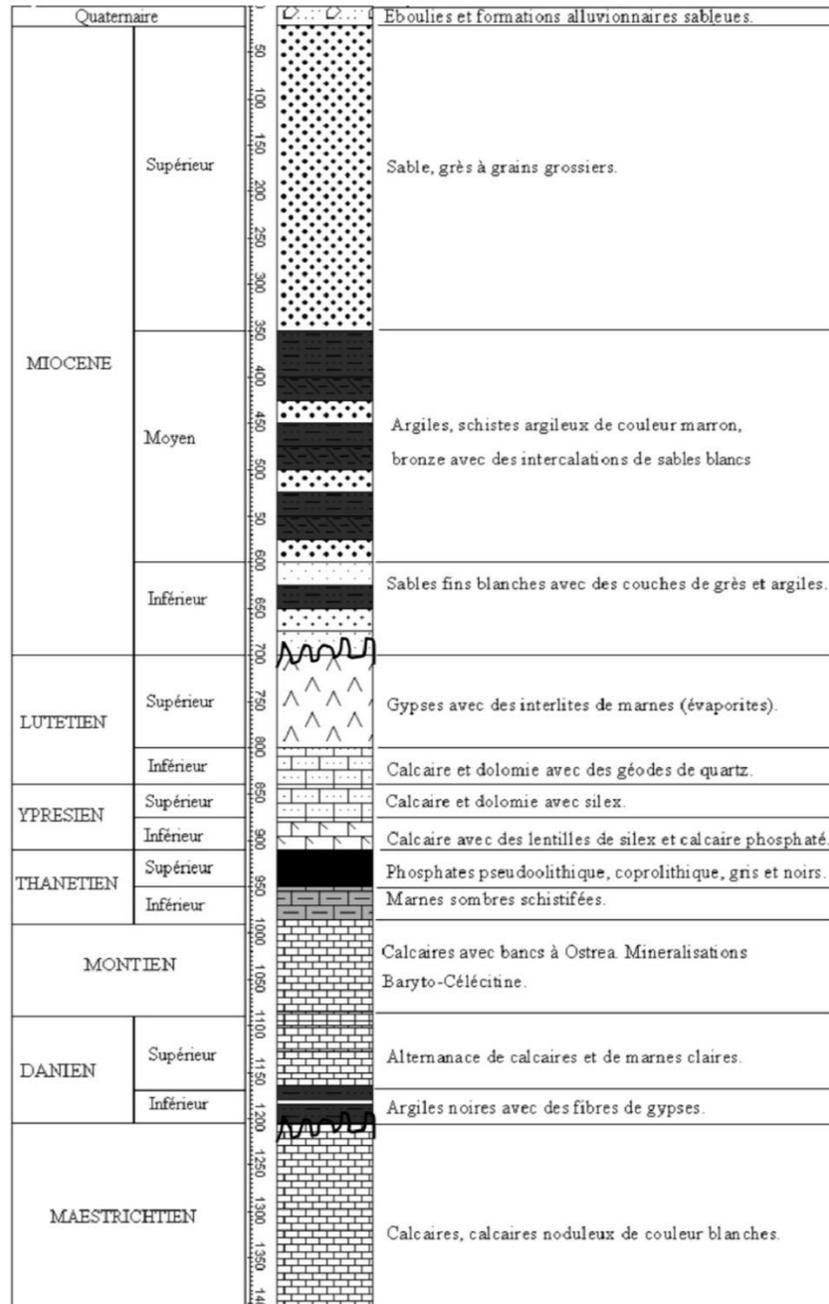


Figure 4 : Colonne stratigraphique de Djebel-Onk [5]

1.5 Géomorphologie du gisement

L'origine du gisement de phosphates du Djebel-Onk est due aux restes squelettiques d'animaux marins qui s'étaient formés auparavant. Djebel-Onk, comme l'indiquent les études, était une ancienne zone marine. Ces animaux marins, comme d'autres animaux terrestres, étaient formés de phosphate et de carbonate de calcium. Au fil du temps, dans ces conditions au fond de la mer, les carbonates ont été remplacés par du fluor, ce qui a rendu les sédiments plus stables [6].

1.6 Sédimentologie du gisement

Au cours de sa formation, la région de Djebel-Onk a traversé deux étapes fondamentales :

1.6.1 Période de sédimentation marine

S'est étendue du Maestrichtien au Lutétien, au cours de laquelle la région a connu de nombreux changements dans la profondeur de la mer et les modèles de sédimentation, qui ont abouti à la formation de nombreux sédiments tels que l'argile, la dolomie et le phosphate [4].

1.6.2 Période de sédimentation continentale

S'étend du Lutétien supérieur jusqu'à la période Quaternaire, au cours de laquelle une période d'érosion s'est produite et de nombreux dépôts de sable, d'argile et de conglomérats se sont formés [4].

1.7 Hydrogéologie du gisement

Selon l'Agence Nationale des ressources hydrauliques (ANRH). La zone de Kef Essenoun est située dans le grand bassin connu sous le nom de Chott Melrir, qui a une superficie d'environ 68751 km² et comprend plusieurs stations hydrométriques [7].

1.8 Tectonique régionale

D'après (Ranchin, 1963-a et autres 1963-b). La région de Djebel-Onk est située à l'extrême est de l'Atlas saharien. La série supérieure de l'Eocène du bassin de Djebel-Onk, Gafsa et Métloui est située dans un groupe d'anticlinaux et de synclinaux dissymétriques. Pour la plupart à flancs brisés, d'axe SW-NE et glissant par accidents transversaux N120° à N140° E. Les anticlinaux des Djebel-Onk, Djemidjema et d'Oued Betita sont situés dans les limites de la flexion sud de l'Atlantique. Comme Il s'étend également jusqu'à la branche nord de la flexion dans la direction E-W [4].

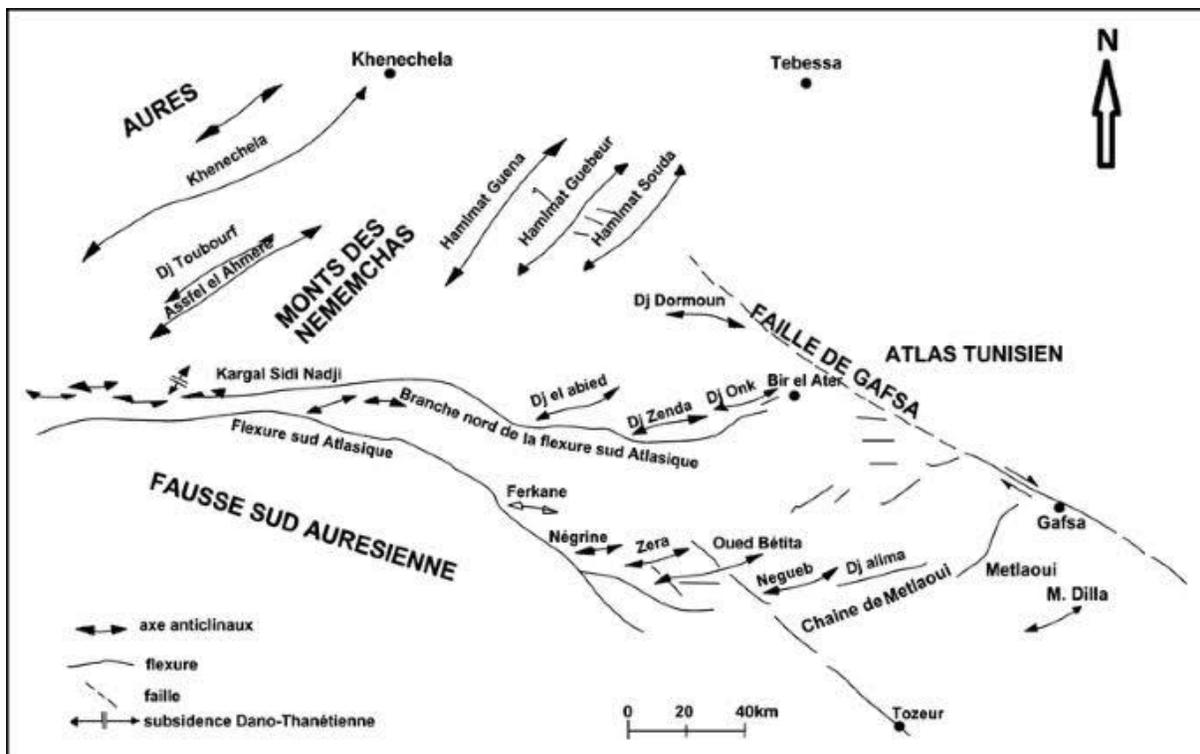


Figure 5 : Carte structurale de la région du Djebel-Onk [4]

1.9 Etat des réserves

Le **tableau 1.1** représente les résultats des travaux d'explorations réalisées par la société de SOMIPHOS pour déterminer les ressources géologiques du gisement en phosphate de la région de Djebel-Onk depuis le début de sa découverte jusqu'au 31/12/2023 [8].

Tableau 1 : Ressources géologiques en phosphate des gisements de Djebel-Onk [8]

Gisements	Catégorie de réserve	Mine à ciel ouvert	Mine Souterraine	Total (t)	Hypothétique (t)	Total (t)
DJEMIDJEMA	B	68 935 761.03	/	422 935 761.03	185 150 000	608 085 761.03
	C1	31 000 000	/			
	C2	109 000 000	214 000 000			
KEF ES SENOUN	B	140 517 549,1	/	289 517 549,1	188 500 000	478 017 549,1
	C1	/	50 000 000			
	C2	14 000 000	85 000 000			
TARFAYA	C2	14 000 000	/	14 000 000	/	14 000 000
TOTAL DJEBEL-ONK SUD		377 453 310,13	349 000 000	726 453 310,13	373 650 000	1 100 103 310,13
BLED EL HADBA	B	210 772 096	/	737 784 315	151 387 630	889 171 945
	C1	232 515 209	/			
	C2	294 497 010	/			
DJ-ONK NORD	C1	31 000 000	61 000 000	92 000 000	/	92 000 000
OUED BETITA	C2	/	125 000 000	125 000 000	50 000 000	175 000 000
TOTAL BEH-OB-DJ-O-N		768 784 315	186 000 000	954 784 315	201 387 630	1 156 171 945
TOTAL GENERAL		1 146 237 625,13	535 000 000	1 681 237 625,13	575 037 630	2 256 275 255,13

Tableau 2 : la quantité de phosphate et de stérile enlevée durant l'année 2023 [8]

Mois	KEF ESSENOUN (T)		ZONE II (T)	
	Phosphate	Stérile	Phosphate	Stérile
Janvier	265 662	694 836	00	00
Février	262 379	625 912	00	00
Mars	261 953	853 148	00	00
Avril	245 734	672 332	00	00
Mai	252 536	691 972	00	00
Juin	232 349	532 872	00	00
Juillet	248 575	430 632	00	00
Aout	258 153	520 636	00	00
Septembre	257 262	601 604	00	00
Octobre	231 551	583 888	00	00
Novembre	235 261	660 444	00	00
Décembre	240 458	598 928	00	00
TOTAL	2 991 873	7 467 204	00	00

1.10 Données de départ

1.10.1 Paramètres géotechniques

Le **tableau 1.3** représente les paramètres géotechniques utilisés dans les évaluations en 2014-2015 et pour interpréter les résultats des expériences menées par SGS Canada en 2016, qui ont été utilisés comme entrants pour mettre à jour les calculs géotechniques précédents [9].

Tableau 3 : les paramètres géotechniques effectués par DMT [9]

Paramètres géotechniques	Paramètres dits prudents 2014 - 2015	Paramètres essais SGS 2016	Paramètres Etude de faisabilité bancable
Résistance uni axiale à la compression UCS (MPa)			
Calcaire / conglomérat	40 - 60	34,1	
Phosphate	25	10,2	
Marne	8	21,6	
Résistance à la compression triaxiale (MPa) à une pression horizontale de 10 MPa			
Calcaire /conglomérat	-	64,4	
Phosphate	-	78,3	
Marne	-	83,6	
Densité (g/cm³)			
Calcaire /conglomérat	2,7	2,19	2,0 – 2,2
Phosphate	2,1	2,21	2,1 – 2,2
Marne	2,3	2,06	2,0 – 2,2
Résistance à la traction (MPa)			
Calcaire / conglomérat	-	2,5	
Phosphate	-	1,8	
Marne	-	2,9	
Indice de charge ponctuelle (MPa)			
Calcaire/conglomérat	-	2,2	
Phosphate	-	1,0	
Marne	-	1,6	
Module de Young (GPa)			
Calcaire / conglomérat	-	5,2	
Phosphate	-	4,6	
Marne	-	3,6	
Ratio Poisson			
Calcaire / conglomérat	-	0,21	
Phosphate	-	0,24	

Marne	-	0,14	
Autres paramètres (used for calculation)			
Cohésion (MPa)			
Calcaire / conglomérat	1,8-2,7	1,4	1,4
Phosphate	1,15	2,4	2,4
stratification Marne (perpendiculaire à la)	0	1,2	1,2
Marne (parallèle à la stratification – plan de glissement)	0	0	0
Angle de frottement			
Calcaire / conglomérat	37	23	23
Phosphate	37	30	30
Marne (perpendiculaire à la stratification)	15	19	19
Marne (parallèle à la stratification – plan de glissement)	15	15	15

1.10.2 Les paramètres d'exploitation

Tableau 4 : les paramètres d'exploitation à Djebel-Onk [1]

Désignation		Paramètres
Hauteur du gradin		≤ 15 m
Plate-forme de travail		≥ 30 m
Berme de sécurité		≤ 10 m
Pente final de la fosse	Calcaire	57°
	Phosphate	57°
	Marnes	08° à 12°

Tableau 5 : La consommation spécifique utilisée en Djebel-Onk (2024) [1]

DESIGNATION		ANFOMI L	BRISAN T	CORDEA U	RELAI S	DEMR (p/t)
TIR PRIMAIRE	STERILE	156	18	4	0,00137	0,00125
	PHOSPHATE	160	17	4	0,00144	0,00125
TIR SECONDAIR E	PHOSPHO-	157	18	4	0,00138	0,00125
	CALCAIRE					0,00125
	PHOSPHATE	165	18			0,00125

1.11 Conclusion

En résumé, ce chapitre a présenté une vue d'ensemble de la mine de Djebel-Onk, en abordant son historique et la situation géographique du site minier. Nous avons exploré la géologie régionale et analysé la colonne stratigraphique, ainsi que la géomorphologie, la sédimentologie, l'hydrogéologie et la tectonique de la région.

L'évaluation des réserves a fourni des indications sur les ressources disponibles et les données initiales nécessaires pour une exploitation efficace. En conclusion, ce travail offre des informations détaillées et essentielles pour comprendre la complexité géologique de la région de Bir El Ater et pour guider les futures explorations minières.

Chapitre 2

Partie minière

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous aborderons d'abord l'ouverture du gisement, en fournissant des définitions et en examinant les facteurs influençant le choix du mode d'ouverture, ainsi que le mode d'ouverture spécifique à Kef Essenoun. Ensuite, nous passerons aux méthodes d'exploitation du gisement, en commençant par des généralités avant de détailler l'exemple de Kef Essenoun. Nous parlerons également du forage, du chargement et du transport, en fournissant des informations générales et des calculs du temps de cycle pour évaluer les rendements.

2.2 Ouverture du gisement

2.2.1 Définitions

L'ouverture est une excavation minière créée pour réaliser l'accès aux moyens de chargement et de transport [10], dans les mines à ciel ouvert, l'ouverture généralement se fait par tranchée [11].

La tranchée est un ouvrage de section trapézoïdale, elle est limitée par deux parois inclinées, sa longueur est plus que sa largeur et sa profondeur [11].

L'ouverture doit assurer généralement

- La productivité de la mine ;
- L'efficacité du travail ;
- La sécurité des travailleurs ;
- la continuité des travaux d'exploitation.

[10]

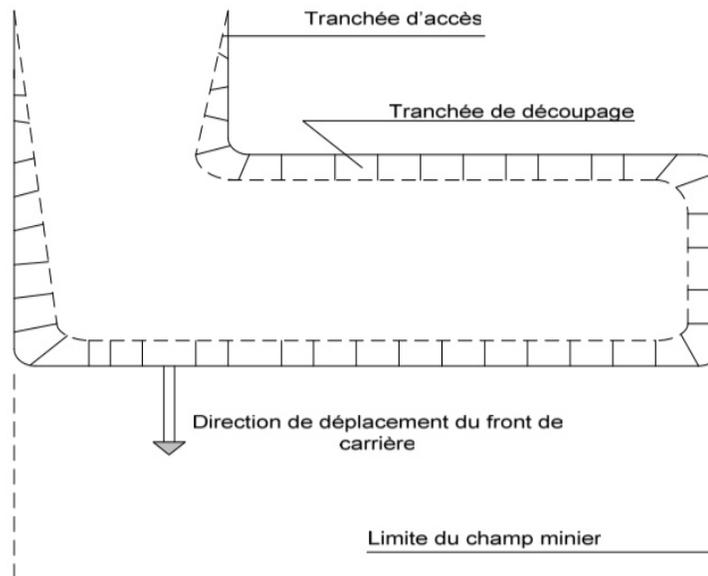


Figure 6 : Schéma d'une tranchée d'accès et de découpage [8]

2.2.2 Facteurs de choix de mode d'ouverture

- Topographie de la surface de sol ;
- Productivité de la carrière ;
- Niveau de mécanisation des travaux minière ;
- Dimensions du champ de la carrière ;
- Caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du gisement ;
- Méthodes d'exploitation du gisement.

[10]

2.2.3 Mode d'ouverture du gisement de Kef Essenoun

Le mode d'ouverture du gisement de Kef Essenoun consiste à creuser une tranchée d'accès commune extérieure qui relie tous les gradins de la mine à la surface. Ce creusement est réalisé par des travaux de forage et de tir [12].

Ces tranchées doivent être développées progressivement vers le sud. L'exploitation vers l'ouest s'étend facilement, tandis que du côté est, il est nécessaire d'élargir les bermes de sécurité aux largeurs requises [12].

Ce mode d'ouverture a été le premier utilisé lors de la mise en exploitation initiale du gisement de Kef Essenoun. Cependant, après le glissement de terrain survenu du côté nord de la mine en 2007, un autre schéma d'ouverture a été adopté, impliquant différentes tranchées d'accès [12]:

- Tranchée d'accès extérieur de groupe ;
- Demi-tranchée d'accès ;

[12]

2.3 Méthode d'exploitation du gisement

2.3.1 Généralités

La méthode d'exploitation est un ensemble structuré de travaux miniers permettant d'extraire la substance utile avec une qualité et une quantité bien réglées et planifiées, tout en garantissant la sécurité et en optimisant l'utilisation des réserves du gisement. Elle implique une corrélation entre les facteurs suivants:

- La méthode d'exploitation et ses paramètres ;
- Les caractéristiques géologiques d'un gisement ;
- Le nombre et puissance des engins participant à la chaîne des processus technologiques d'exploitation ;
- Technologiques d'exploitation ;
- Le mode d'ouverture du gisement.

Ainsi, la configuration d'un gisement et les propriétés physico-mécaniques du minerai à extraire déterminent la structure de la mécanisation complète et, par conséquent, la méthode d'exploitation. La capacité et le nombre d'engins mis en œuvre dépendent du rendement planifié de la carrière, et les paramètres des méthodes d'exploitation sont liés aux dimensions des machines minières [12].

Certains chercheurs ont classé les systèmes d'exploitation à ciel ouvert. Parmi ces classifications, celles de V. Rjevsky et E. Scheschko sont les plus connues et les plus utilisées [12].

Selon E. Scheschko, l'indice principal utilisé dans cette classification est la direction de déplacement des stériles à l'intérieur de la mine à ciel ouvert. Selon cette classification, on distingue trois groupes de méthodes [12]:

- **Groupe A** : Méthodes d'exploitation avec déplacement des stériles en travers de la carrière.
- **Groupe B** : Méthodes d'exploitation avec déplacement des stériles le long de la carrière.
- **Groupe C** : Méthodes d'exploitation avec déplacement mixte des stériles.

D'après l'académicien V. Rjevsky, la classification utilise plusieurs critères [12], tels que :

- La disposition du front de travail dans le plan;
- Le nombre de bords exploitables de la carrière;
- La direction de la progression des travaux;
- La disposition des terrils par rapport au champ de la carrière;
- Le degré de variation d'une zone de travail de la carrière;
- L'angle d'inclinaison des couches d'extraction.

Toutes les méthodes d'exploitation, selon la classification de Rjevsky, sont divisées en deux groupe [12] :

- **Premier groupe** : les méthodes continues;
- **Deuxième groupe** : les méthodes de fonçage.

2.3.2 Les éléments fondamentaux d'exploitation

2.3.2.1 Gradins

C'est un élément technologique fondamental de l'exploitation à ciel ouvert, représentant une partie des morts-terrains ou du gisement enlevée de manière autonome et desservie par ses propres moyens de transport. Chaque gradin dispose généralement de deux surfaces dégagées [11] :

- Le front d'attaque
- Le talus du gradin

Les aspects géométriques et technologiques sont illustrés sur la **figure 2.2**

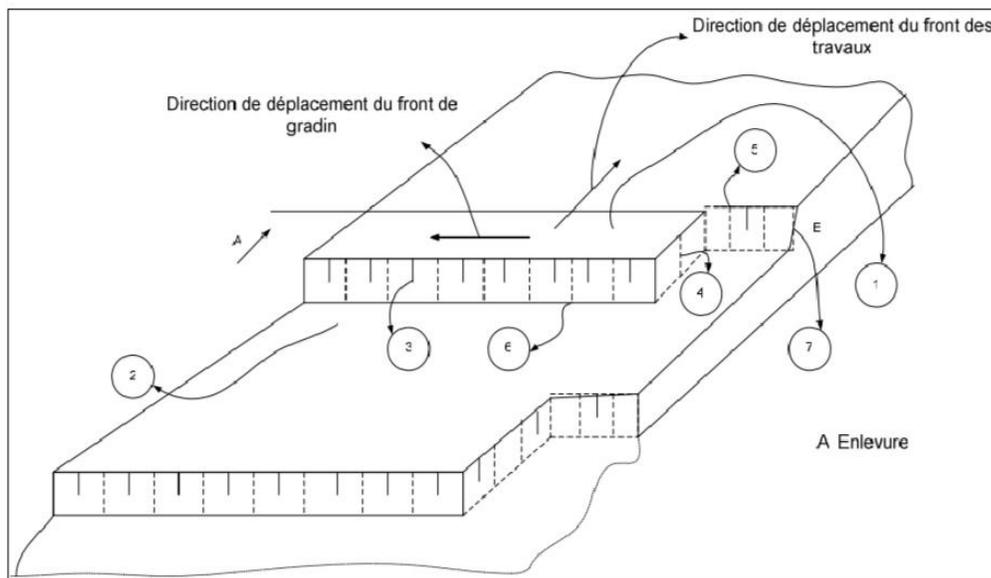


Figure 7 : Schéma des éléments géométriques et technologiques d'un gradin [11]

1. **Toit du gradin** : Surface horizontale qui limite le gradin à sa partie supérieure.
2. **Mur** : Surface horizontale qui limite le gradin à sa partie inférieure.
3. **Talus** : Surface latérale inclinée qui limite le gradin du côté vide de l'exploitation.
4. **Front d'attaque** : Emplacement où l'excavateur travaille.
5. **Arrête supérieure** : Ligne d'intersection entre le toit et le talus.
6. **Arrête inférieure** : Ligne d'intersection entre le mur et le talus.
7. **Angle du gradin** : Angle formé entre le mur et le talus, choisi en fonction de la nature des roches

[11]

La largeur habituelle de la plateforme de travail est de 10 mètres pour faciliter les manœuvres de transport [11].

Les gradins qui avancent au cours de l'exploitation à ciel ouvert sont appelés "gradins en exploitation". Les autres gradins sont limités par des plates-formes étroites, dont la largeur est de 20 à 50 % de la hauteur du gradin. Ces plates-formes, destinées à améliorer la stabilité des talus, sont appelées "banquettes de sécurité" [8].

Une partie de l'enlèvement, limitée en longueur par des moyens d'abattage et de chargement indépendants, est appelée "bloc" [11].

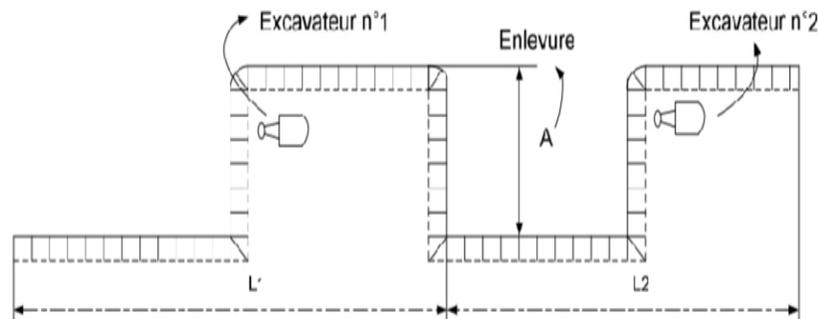


Figure 8 : Schéma d'un bloc d'exploitation [11]

2.3.2.2 Bords de la carrière

Les bords de la carrière sont des surfaces latérales qui délimitent les vides créés par l'exploitation. Ils se composent de plates-formes et de talus de gradins [11].

On distingue :

- **Bords exploitables** : Un ensemble de gradins sur lesquels les travaux d'exploitation sont exécutés progressivement.
- **Bords inexploités** : Des zones où les travaux d'exploitation ne sont pas effectués, utilisées pour l'évacuation des produits et la sécurité des opérations.

[11]

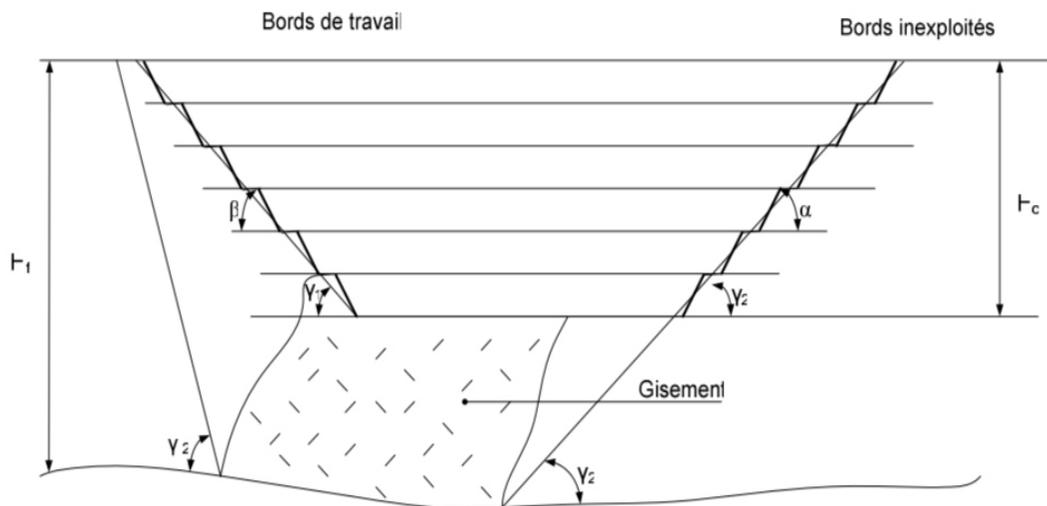


Figure 9 : Coupe verticale d'une mine à ciel ouvert montrant les bords d'exploitation [11]

2.3.2.3 Contour de la carrière

Le contour supérieur de la carrière est l'intersection entre le bord supérieur de la carrière et la surface non exploitée. Le contour inférieur correspond à l'intersection entre le bord inférieur de la carrière et son fond [11].

2.3.2.4 Talus de la carrière

La position principale du bord de la carrière à tout moment de l'exploitation est définie par le talus de la carrière. Ce talus est une surface imaginaire qui passe par le contour supérieur et le contour inférieur de la carrière [11].

2.3.3 Détermination des paramètres de la méthode d'exploitation

2.3.3.1 Hauteur du gradin

Elle est déterminée en fonction des paramètres techniques de l'excavateur, de l'organisation des travaux de forage et de tir, de la sécurité au travail, ainsi que d'autres facteurs. Dans les roches dures, la hauteur du gradin ne doit pas dépasser 1,5 fois la hauteur maximale de coupe [12].

$$H_g \leq 1,5 H_{c. \max} \quad ; \text{ m}$$

Pour les roches tendres

$$H_g \leq H_{c. \max} \quad ; \text{ m}$$

Où :

H_g : La hauteur du gradin

H_{c. max} : La hauteur de creusement max de l'engin d'extraction.

Actuellement, à la mine de Kef Essen Noun, la hauteur utilisée est de 15 m pour les stériles et varie de 7 à 15 m pour le phosphate [1].

2.3.3.2 Angle de talus du gradin

L'angle des talus des gradins doit garantir leur stabilité et dépend des paramètres physico-mécaniques de la roche ainsi que des équipements miniers utilisés [12].

Tableau 6 : Angle du talus des gradins selon la dureté des roches [12]

Coefficient de dureté	Angle du talus des gradins inexploitables (stable) γ	Angle du talus des gradins exploitables α°
6-7	60°	75°

2.3.3.3 Largeur d'enlevure

Lors du choix de la largeur d'enlèvement, plusieurs facteurs sont pris en considération [12] :

- Les propriétés physico-mécaniques des roches
- La méthode de préparation des roches pour l'abattage
- Le type et les dimensions des engins de chargement

[12]

La formule suivante est utilisée :

$$A=W + (n-1) b \quad ; m$$

W : ligne de moindre résistance ; m.

n : nombre de rangées de trous ; $n=1$.

b : distance entre deux rangées de trous.

$$a = W = 4,5 \text{ m}, b = 4,5$$

$$A = 4,5 \text{ m}$$

2.3.3.4 Largeur de la plate-forme de travail

Elle est déterminée par les dimensions des engins de déblayement, de transport et par la technique de tir. Lorsqu'un abattage est effectué à l'explosif, la largeur minimale de la plate-forme de travail [12] est définie par la formule [12] :

$$L_{pt}=A+X+C+T+Z \quad ; \text{ m}$$

A : largeur d'enlevure ; $A=4,5 \text{ m}$

X : largeur du tas de roches abattues en dehors de l'enlevure ; X dépend de la hauteur du gradin, de la nature du terrain, et des paramètres des travaux de forage et de tir. Elle doit être déterminée par des essais sur place. Par exemple, pour un gradin de 10 à 15 m de hauteur, X est de l'ordre de 20 à 25 m. Dans les conditions de Djebel Onk (Kef Essen Noun), X est de 20 m pour les phosphates et 25 m pour les stériles.

C : distance entre l'arête inférieure du tas et la voie de transport ; on prend $C=2,5 \text{ m}$

T : largeur de la voie de transport ; pour une double voie : $T=2A+2B+D$ Où :

A : largeur du camion ; $A=5,4 \text{ m}$

B : largeur de sécurité ; B varie de 0,7 à 1 m, on prend $B=1 \text{ m}$

D : distance de croisement entre deux camions ; D varie de 0,7 à 1,7 m, on prend $D=1,7 \text{ m}$

Donc : $T=2 \times 5,4 + 2 \times 1 + 1,7 = 14,5 \text{ m}$

Z : largeur du prisme d'éboulement ; $Z=(\cot \beta - \cot \alpha)$ Où :

β : angle de stabilité naturelle, $\beta=60^\circ$

α : angle du talus du gradin, $\alpha=75^\circ$

H_g : hauteur du gradin, $H_g=15 \text{ m}$

Donc : $Z=15(\cot 60^\circ - \cot 75^\circ)=4,6 \text{ m}$

Ainsi, la largeur minimale de la plate-forme est :

$L_{pt}=4,5+20+2,5+14,5+4,6 \approx 46 \text{ m}$

2.3.4 Méthode d'exploitation du Djebel-Onk (Kef Essenoun)

Dans le cas de Djebel Onk (Kef Essenoun), la méthode d'exploitation utilisée est celle avec un seul bord exploitable, selon la classification des méthodes d'exploitation de RJEVSKY. V.V. Cette méthode est basée sur les modes de déplacement des roches de recouvrement vers les terrils. À la mine de Kef Essen Noun, la méthode utilisée implique le transport des déblais par camions vers des terrils intérieurs ou extérieurs [12].

2.4 Chargement

2.4.1 Généralités

Le chargement des roches après l'abattage est un processus crucial, contribuant au rendement d'une entreprise minière. Parmi les engins de chargement, on trouve les chargeuses et les pelles hydrauliques [12].

Les avantages de l'utilisation des chargeuses sont les suivants :

- Très mobiles
- Capables de charger de gros blocs
- Coût d'achat relativement modéré
- Nécessitent une qualification opératoire moyenne

Cependant, elles présentent certains inconvénients [13]:

- Temps de cycle long
- Limitations pour les hauts gradins
- Nécessitent un grand espace pour les manœuvres

Les avantages de l'utilisation des pelles hydrauliques incluent :

- Temps de cycle court
- Force de pénétration élevée
- Grande sélectivité
- Bonne visibilité

Les inconvénients des pelles hydrauliques sont [13]:

- Mobilité réduite
- Durée de vie moyenne
- Coût d'achat élevé

2.4.2 Choix des engins de chargement

Le fonctionnement de la carrière est conçu et organisé autour des engins choisis pour le chargement des roches abattues. Le choix de ces engins influence pratiquement le choix des autres équipements et leur mise en œuvre. La sélection du type d'engins d'excavation et de chargement prend en compte les facteurs suivants [13] :

- La capacité du godet
- La nature des roches
- Les mesures de sécurité

- La puissance et la force d'attaque de l'engin
- La méthode d'exploitation
- La production prévue de la carrière

Les exploitations à ciel ouvert utilisent divers types d'engins d'extraction, les plus courants étant [13]:

- Les roues-pelles
- Les excavateurs à godet unique
- Les draglines
- Les scrapers
- Les chargeuses
- Les pelles mécaniques ou hydrauliques

2.4.3 Moyens de chargement existant au niveau de la mine de djebel Onk

À la mine de Djebel Onk, le chargement des roches abattues est effectué à l'aide d'excavateurs à godet unique, notamment des pelles hydrauliques en rétro de marque Caterpillar 390F et des pelles en butte de marque Liebherr 974 [13].



Figure 10 : Processus de chargement par pelle hydraulique Caterpillar 390F (prise en 22/04/2024)

2.4.4 Calcul du rendement réel d'exploitation pour la pelle Caterpillar 390 F

Prenons comme exemple la pelle Caterpillar 390 F pour calculer le temps de cycle, puis déterminons le rendement réel de la pelle [13].

Tableau 7 : Caractéristiques techniques de la pelle Caterpillar 390 F [14]

Caractéristiques techniques	Valeurs	Unités
Poids	87,906	t
Longueur de transport	14,5	m
Largeur de transport	4,45	m
Hauteur de transport	5,84	m
Capacité du godet	2,2	m ³
Train de roulement		SL
Largeur chenilles caoutchouc	650	mm
Flèche		MB
Max. Portée	15 ,73	m
Prof de Dragage	10 ,75	m
Force D'arrachement	365	KN
Largeur d'godet	1,1	m
Fabricant du moteur		Caterpillar
Type de moteur	C18 acert	
Puissance moteur	405	kW
Cylindrée	18,1	L
Alésage du cylindre x course	145x183	mm

*Tableau 8 : chronométrages de la durée de cycle de chargement
pour la pelle Caterpillar 390 F*

N°	Temps de chargement	Temps de déplacement (charge)	Temps de déchargement	Temps de déplacement (vide)	Temps de cycle
1	13	6	9	9	37(s)
2	11	4	9	4	28(s)
3	12	3	10	5	30(s)
4	9	6	5	3	23(s)
5	11	5	4	7	27(s)
6	7	4	5	2	18(s)
7	9	4	9	3	25(s)
8	8	6	5	3	22(s)
9	12	4	5	3	24(s)
10	12	7	5	3	27(s)
Moy	10,4	4,9	6,6	4,2	26,1(s)

Le temps de cycle de la pelle est déterminé de la manière suivante :

$$T_c = T_{ch} + T_m + T_{dch} + T_{ret} ; \text{sec}$$

➤ **Rendement par poste**

$$R_{ch} = \frac{3600 \cdot E \cdot K_r \cdot y \cdot T_p \cdot K_u}{T_c \cdot K_f} ; t/\text{poste}$$

E : Capacité du godet de la chargeuse = 6 m³.

K_u : coefficient d'utilisation de la chargeuse : (0.6 ÷ 0.9), Soit K_u = 0.6

K_r : coefficient de remplissage du godet : (0.8 ÷ 1.2), Soit K_r = 0,8 (selon valeur de tirabilité)

TP : Durée d'un poste de travail = 8 heures, On prend 6 heures

y : Masse volumique du minerai = 2.3 t/m³.

Kf = coefficient de foisonnement de la roche = 1.2

Tc = Temps d'un cycle Moyenne de la chargeuse = 26,1(s)

$$Rch = \frac{3600 * 6 * 0.8 * 2.3 * 6 * 0.5}{26.1 * 1.2} = 3807 \text{ t/poste}$$

➤ **Rendement par jour**

$$Rch \text{ j} = Rch * np$$

$$Rch \text{ j} = 3807 * 3 = 11421 \text{ t/jour}$$

np : Nombre de postes par jour = 3 postes

➤ **Rendement par mois**

$$Rch \text{ m} = Rch \text{ j} * nj$$

$$Rch \text{ m} = 11421 * 30 = 342630 \text{ t/mois}$$

nj : Nombre de jours ouvrables par mois = 30 jours

➤ **Rendement par année**

Nous calculons le rendement par mois en tenant compte de la variation du nombre de jours d'un mois à l'autre et nous additionnons les valeurs.

$$Rch \text{ a} = 2855250 \text{ t/année}$$

2.5 Transport

2.5.1 Généralités

Choix de la méthode d'exploitation, des équipements miniers, le mode de mise à terril et influe finalement sur le rendement de travail et le prix de revient des produits [12].

Le but principal du transport de carrières est le déplacement de la masse minière des chantiers aux points de déchargement qui sont les terrils pour les roches stériles et les stocks ou les trémies de réception des usines de traitement pour les minéraux

utiles. Les charges sont déplacées par le transport de carrière. Leur volume et leur direction sont plus ou moins constants [12].

Selon la direction des expéditions, on distingue :

- **Le flux concentré** : toute la masse minière est déplacée par une seule voie de transport ;
- **Les flux dispersés** : les charges sont d'abord transférées par une voie de communication, puis déplacées par différentes voies ;
- **Les flux mixtes.**

Dans les carrières, les flux dispersés de transport des stériles sont le plus souvent utilisés. Le calcul du processus dépend de plusieurs facteurs [12] :

- La distance de transport.
- La productivité de la carrière.
- Les caractéristiques des roches à transporter.
- Le type d'engin de chargement.
- Les conditions géologiques du gisement.
- Le profil des pistes (neutre).
- L'état des pistes.

En fonction de ces éléments, on choisit la meilleure solution à adopter pour chaque cas particulier, en tenant compte aussi des conditions topographiques du site choisi [12].

Les modes de transport utilisés dans les mines à ciel ouvert comprennent :

- Le camion.
- La voie ferrée.
- Le convoyeur.
- Le skip.
- Le couloir à chute (gravité).
- Le transport combiné.

2.5.2 Mode de transport utilisé à Djebel-Onk (Kef Essenoun)

À la mine de Djebel Onk, le mode de transport utilisé est le transport par camion.

À la mine de Kef Essen Noun, les roches abattues sont transportées par deux types de camions : Caterpillar 773F et Terex TR60. Les minerais sont acheminés vers le concasseur, tandis que les roches stériles sont transportées vers les terrils. Ces camions ont été sélectionnés en fonction de la productivité de la carrière, des caractéristiques des charges à transporter, du type d'engins de chargement et de la distance de transport [12].



Figure 11 : Camion Caterpillar 773F (prise en 20/02/2024)

2.5.3 Calcul du rendement réel d'exploitation pour le camion Caterpillar 773 F

Prenons comme exemple le camion Caterpillar 773 F pour calculer le temps de cycle, puis déterminons le rendement réel du camion.

Tableau 9 : Caractéristiques technique du camion Caterpillar 773 F [14]

Caractéristiques techniques	valeurs	unité
Poids	44,5	t
Longueur de transport	9,3	m
Largeur de transport	5,42	m
Hauteur de transport	4,12	m
Vitesse de déplacement	67,5	
Rayon de braquage à l'extérieur	26.1	m
Hauteur de chargement	3,918	m
Fabricant du moteur	/	Caterpillar
Type de moteur	C27 Acert	
Puissance moteur	509	kW
Cylindrée	27	l
RPM au couple max	1800	rpm

Tableau 10 : chronométrages de la durée de cycle de transport pour le camion

Caterpillar 773 F

N°	Temps de chargement (min)	Temps en marche à charge (min)	Temps de déplacement avec charge (min)	Temps de marche vide (min)	Temps de cycle (min)
1	2 :27	9 :26	0 :12	7 :49	20 :24
2	2 :27	9 :37	0 :20	9 :14	21 :38
3	2 :40	11 :11	0 :28	8 :53	23 :12
4	2 :45	10 :29	0 :26	7 :53	21 :33
5	2 :05	9 :32	0 :18	15 :11	27 :06
6	2 :07	9 :00	0 :19	10 :10	21 :36
Moy	2,56	9,875	0,34	9,86	22.58

➤ **Temps de cycle moyen**

$$TC \text{ moy} = \frac{\sum TC}{nC} = \frac{135,48}{6} = 22.58 \text{ min}$$

➤ **Distance de transport**

La trajectoire du camion jusqu'au point de déchargement « concasseur » est de 0.5 km.

➤ **Rendement du camion**

$$Rch = \frac{60 \cdot G \cdot Kg \cdot Kuc \cdot (Tp - Trc)}{tcc} ; t/poste$$

Où :

G : capacité de charge du camion, G=57 t

Kg : coefficient d'utilisation de la capacité de charge du camion

Tp : durée d'un poste, Tp=8 heures, on prend 6 heures

Kuc : coefficient d'utilisation du camion à cause de l'attente au chargement. La valeur Kuc est déterminée par la relation :

$$Kuc = 1 - Kc$$

Où :

Kc : coefficient du temps mort des camions en attente près des engins de chargement, déterminé par la formule empirique :

$$Kc = 0.126 - 0.018 \cdot L + 0.001 \cdot L^2$$

$$Kc = 0.126 - 0.018 \cdot (0.5) + 0.001 \cdot (0.5)^2$$

$$Kc = 0.11725$$

Donc :

$$Kuc = 1 - 0.117 = 0.88$$

$$Rc = \frac{60 \cdot 57 \cdot 1 \cdot 0.88 \cdot (8 - 2)}{22.58} ; t/poste$$

$$Rc = 799.71 t/poste$$

➤ **Nombre de camions de chargement**

$$Nc = \frac{Rch}{Rc}$$

$$N_c = \frac{3807}{799.71} = 7.7 \approx 8 \text{ camions}$$

➤ **Nombre de camions de réserves**

$$N_{cr} = N_{ct} - N_c$$

N_{cr} : Nombre de camion de réserve

N_{ct} : Nombre de camion total ($N_{ct} = 1.2 N_c$)

$$N_{cr} = (1.2 * 8) - 8 = 1.6 \approx 2 \text{ camions}$$

2.6 Conclusion

Ce chapitre a détaillé l'ouverture et l'exploitation d'un gisement, en se focalisant sur Kef Essenoun. Après avoir défini les concepts et les facteurs influençant le choix du mode d'ouverture, nous avons exploré les méthodes d'exploitation, le forage, le chargement et le transport. Les calculs du temps de cycle et des rendements ont permis d'évaluer l'efficacité opérationnelle et de déterminer les besoins en équipement, comme le nombre de camions nécessaires.

Chapitre 3

Partie spéciale

3.1 Introduction

Dans cette partie, nous aborderons la structure des massifs rocheux et l'importance des discontinuités (fissures, fractures, failles) sur leur comportement mécanique. Nous examinerons les méthodes de classification et d'analyse de ces discontinuités, ainsi que les techniques de forage adaptées aux conditions spécifiques de notre site, avec un accent particulier sur le forage roto-percutant et la foreuse FlexiROC D60. Enfin, nous discuterons des paramètres de plan de tir et des méthodes pour améliorer la qualité de la fragmentation des roches.

3.2 Structure des massifs rocheux

3.2.1 Description des massifs rocheux

Les massifs rocheux sont des structures très complexes, composées de blocs appelés matrice rocheuse, délimités par des discontinuités comme les fissures, les fractures, les failles ou les limites stratigraphiques. Le comportement mécanique des massifs rocheux est crucial pour le dimensionnement des ouvrages. Pour modéliser ce comportement, il est nécessaire de connaître la structure géométrique des fractures et les propriétés mécaniques de la matrice rocheuse et des discontinuités [15].

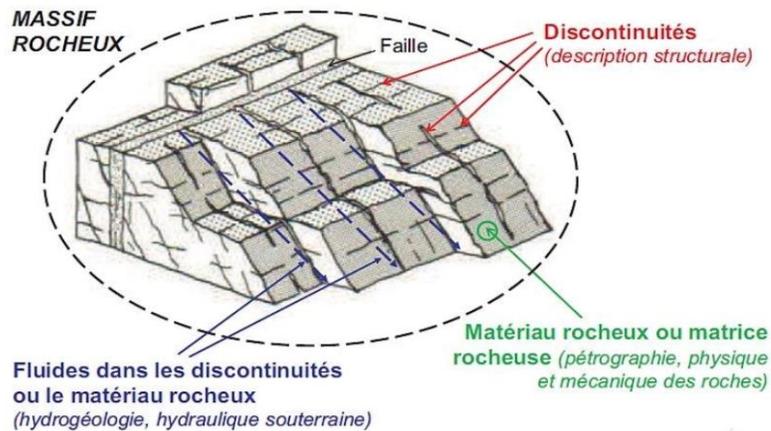


Figure 12 : Description des massifs rocheux [15]

3.2.2 Description des discontinuités

Pour étudier le comportement mécanique ou hydraulique d'un massif rocheux, il est essentiel de connaître son degré de fracturation et la répartition des discontinuités. Les discontinuités se présentent sous forme de différentes familles de fractures avec leurs propres lois de distribution et caractéristiques statistiques, souvent déterminées par la méthode de projection stéréographique. Une étude géométrique des discontinuités vise à déterminer si elles peuvent être classées en familles et si elles structurent le massif en blocs [15].

3.3 Type et classification des discontinuités

On distingue généralement quatre grandes familles de discontinuités pour les falaises calcaires [15]:

- **Les joints de stratification:** Découpent le massif en bancs parallèles de différentes épaisseurs [15].
- **Les diaclases:** Discontinuités sans déplacement relatif des blocs, souvent perpendiculaires aux bancs dans les roches sédimentaires [15].

- **Les failles:** Discontinuités avec déplacement relatif des blocs [15].
- **La schistosité:** Formation de plans de rupture dans les roches métamorphiques sous forte compression [16]



Figure 13 : Discontinuité de type diaclase [15]

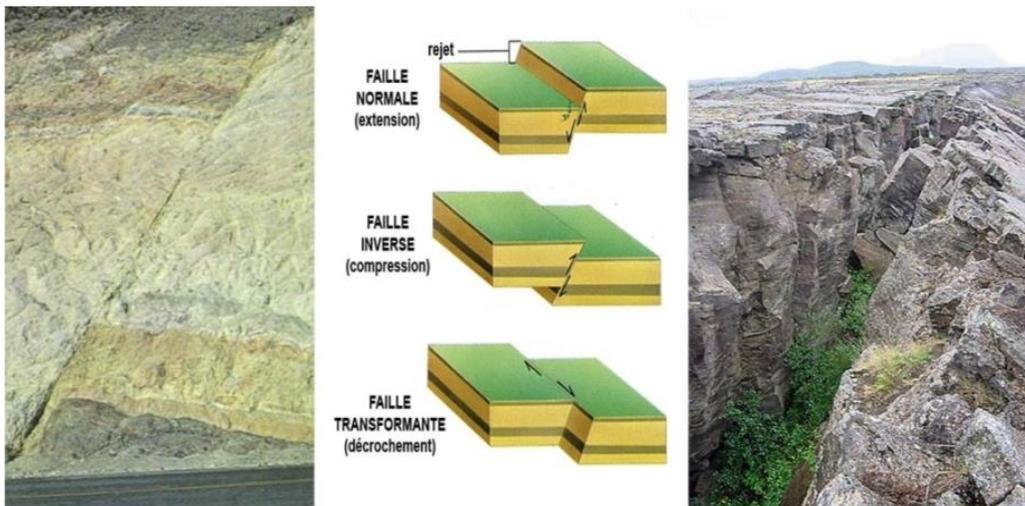


Figure 14 : Discontinuité de type faille [15]



Figure 15 : La schistosité dans les roches métamorphiques [16]



Figure 16 : Les plis [17]

3.3.1 Caractéristiques des discontinuités

- **Orientation:** Orientation du plan de discontinuité.
- **Fréquence:** Inverse de la distance moyenne entre deux discontinuités de la même famille.
- **Morphologie:** Rugosité, altération, et remplissage.
- **Propriétés mécaniques**

[18]

3.3.2 Orientation des discontinuités

Définie par sa direction et son angle de pendage mesurés à l'aide d'une boussole. La direction de pendage est l'intersection du plan avec un plan horizontal, mesurée en azimut. Le pendage est l'angle entre la ligne de plus grande pente et l'horizontale [18].

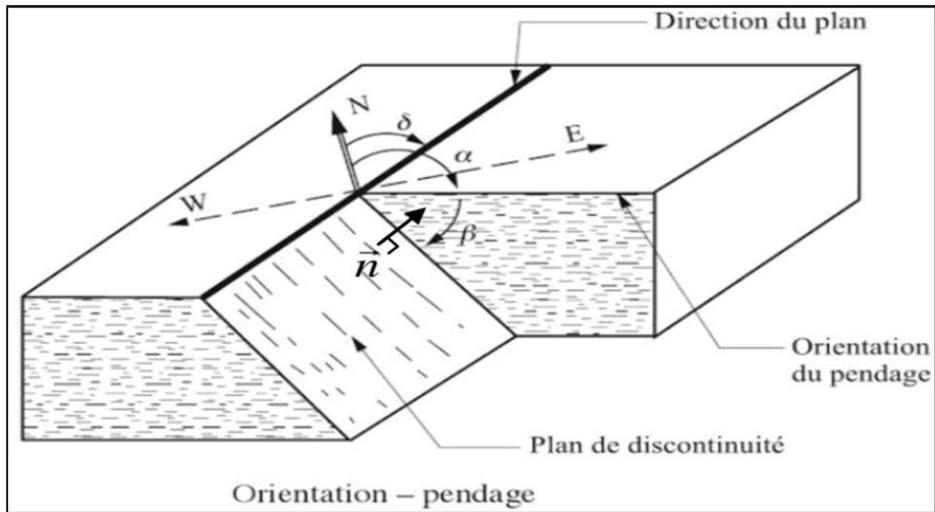


Figure 17 : Définition de la direction et du pendage d'un plan de discontinuité [18]

3.3.3 Espacement

Distance perpendiculaire entre deux plans de discontinuité de la même famille, offrant des informations sur la fragmentation du matériau en blocs et sa capacité à se déformer et à laisser passer les fluides [18]

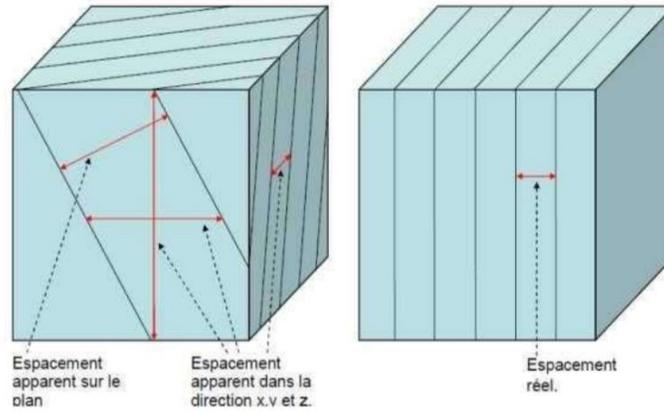


Figure 18 : Mesure de l'espacement (Zhao. J, 2008) [18]

Tableau 11 : Description de l'espacement des discontinuités (Zhao. J, 2008) [18]

Espacement des discontinuités (m)	Description
<0.02	Espacement extrêmement trout
0,02- 0.06	Espacement très étroit
0.06- 0.2	Espacement étroi
0.2- 0.6	Espacement modéré
0.6-2	Espacement large
2-6	Espacement très large
>6	Espacement extrêmement large

3.4 Fréquence des discontinuités (λ)

Déterminée sur le terrain en comptant le nombre de discontinuités le long de lignes tracées perpendiculairement à leur direction. La fréquence (λ) est calculée par la formule $\lambda = N/L$ et l'espacement moyen (x) par la formule $X = L/N$. La fréquence est l'inverse de l'espacement moyen des discontinuités [18].

3.5 Degré de fracturation du massif rocheux

Évalué par l'indice RQD (Rock Quality Designation), rapport entre la longueur des éléments de carottes de forage d'au moins 10 cm et la longueur totale de la passe carottée [18].

3.5.1 La rugosité

Représente la configuration de la surface de discontinuité à petite échelle, évaluée visuellement et sensoriellement [18]

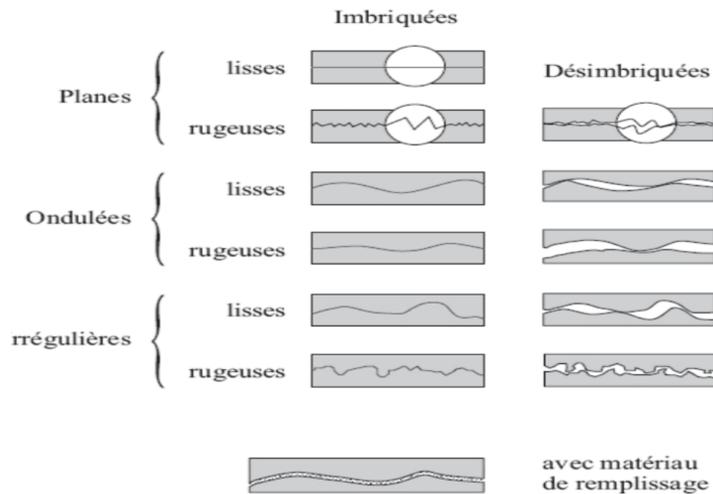


Figure 19 : Définition de la rugosité à différentes échelles [18]

3.6 Observations in-situ

Pendant notre stage pratique et après nos observations sur le terrain, nous avons constaté que la partie supérieure du gradin subit des effets arrière des tirs précédents entraînant une sortie de hors gabarits à partir de cette zone. Le front d'attaque est épaufré en bandes d'escaliers (20,21,22).



Figure 20 : Sortie de hors gabarites (prise en 20/02/2024)



Figure 21 : Les effets arrière de tir sur le massif rocheux (prise en 14/02/2024)



Figure 22 : Les effets arrière dans la partie supérieure du gradin (prise en 14-18/02/2024)

3.7 Augmentation de la qualité de fragmentation dans la partie supérieure du bloc

Les recherches et pratiques de tir montrent que la majorité des fragments > 400 mm proviennent de la première rangée de trous de forage et de la partie supérieure du bloc, représentant entre 3 et 5 % des fragments hors-gabarits, soit 10 à 20 fois plus que le reste du bloc. Cela est dû à la moins fréquente action de détachement de l'onde de contrainte réfléchiée par la surface libre, réduisant ainsi la régularité de fragmentation. Diverses méthodes de dynamitage peuvent être mises en œuvre pour atténuer cet effet [18].

3.7.1 Augmentation de la partie active du trou

Réalisée en répartissant la charge par des intervalles vides ou remplis de matériaux internes, comme le salpêtre d'ammoniac, pour diminuer la pression initiale sur la roche et prolonger l'action de l'explosion. Cela améliore la qualité de fragmentation de la roche dans la partie supérieure du gradin [18].

3.7.2 Application du forage intermédiaire

Après le forage des trous principaux, les trous auxiliaires sont percés de manière à atteindre le même niveau de charge que les trous principaux. Le réseau de trous principaux est légèrement élargi pendant ce processus. Une charge est placée dans les trous auxiliaires à une hauteur comprise entre 35 % et 45 % de la profondeur des trous, avec une hauteur d'explosion inférieure à 3 à 4 mètres.

Le tir des trous raccourcis augmente la production de particules de taille inférieure à 400 mm de 10 à 15 % dans les mines de minerais et de 7 à 8 % dans les carrières de granit, tandis que la production de particules non standard diminue de 5 à 7 fois et de 2 à 3 fois respectivement.

Les trous auxiliaires peuvent être tirés soit simultanément avec les trous principaux, soit avec un décalage temporel spécifique. Pour améliorer la qualité du concassage, il est préférable de tirer les trous auxiliaires avant les charges principales, ce qui aide à créer des conditions de confinement sous la surface des roches [19]

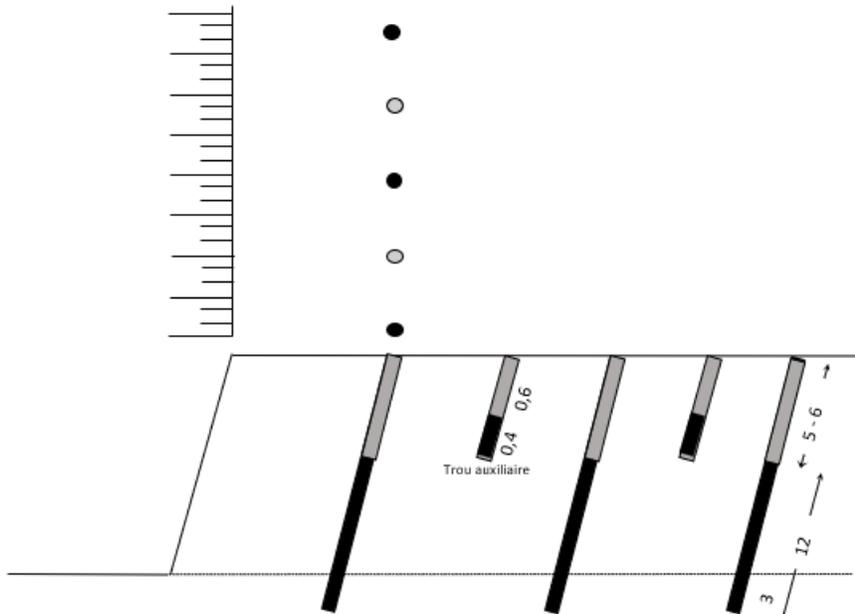


Figure 23 : schéma de méthode d'abattage par trous intermédiaires [19]

3.8 Foration

3.8.1 Choix de mode de foration

Le choix du mode de forage dépend des propriétés physico-mécaniques des roches, de la profondeur à atteindre, du diamètre du forage et de la hauteur du gradin. Pour nos conditions, caractérisées par une dureté de 6, il est préférable d'utiliser le forage roto-percutant, qui est le type de forage en usage dans la carrière.

Ce forage est réalisé à l'aide d'un marteau perforateur monté à l'extrémité inférieure de la colonne de forage. La progression du trépan résulte de l'action combinée de l'effort axial et de la percussion [18].

Les foreuses utilisées sont de marque Ingersoll Rand et B BURG, et l'alimentation en énergie pneumatique est assurée par un compresseur de la même marque. Ces foreuses répondent largement à tous les besoins des travaux de forage, offrant une gamme de capacités très étendue [18].

3.8.2 Caractéristiques technique de la sondeuse

Tableau 12 : Caractéristiques techniques de la sondeuse [20]

Paramètres	Unité	Valeur
Domaine d'application	Mines, carrières	
Diamètre du trou	mm	110 178
Taille du marteau perforateur / marteau fond de trou		4 * 5* 6
Moteur	KW	354
Débit d'air	L / S	405



Figure 24 : sondeuse utilisée dans la mine de djebel-Onk (prise en 21/02/2024)

Le choix du type de foreuse est essentiellement déterminé par :

- La résistance de la roche à forer (Indice de forabilité If)
- Le diamètre de forage.

Les travaux de forage sont réalisés à l'aide d'une foreuse FlexiROC D60.

3.8.3 Rendement pratique de la sondeuse

- **Rendement pratique** : $RP = 12 \text{ m/H}$.
- **Rendement par poste** : $R = NH * KU * RP$

Où :

NH : Nombre d'heures effectif par poste = 8 heures.

KU : Coefficient d'utilisation = 0,9

Donc : $R = 8 \times 0,9 \times 12 = 86,4 \text{ m/j}$

➤ **Nombre de trous par poste**

$$Ntr = R / Ltr.$$

Ltr : Longueur du trou = m.

$$Ntr = 86,4 / 17,18 = 5.2 = 5 \text{ trous / j}$$

➤ **Quantité de T.V. abattu par poste de travail en (tonne)**

$$T = M * Ntr * d * Hg .$$

Où :

M : maille de tir = 3.5 m * 3 m.

d : la densité = 2.3

Hg : Hauteur du gradin = 15 m

$$T = 3.5 \times 3 \times 5 \times 2.3 \times 15 = 1811,25 \text{ tonnes/poste}$$

➤ **Rendement annuel de la foration**

$$Ra = NJ * Np * T$$

NJ : Nombre de jour ouvrable pour le premiers trimestre = 81 j/trimestre.

Np : Nombre de poste de travail par jour 02 poste.

$$Ra = 81 \times 1811,25 \times 2 = 293422,5 \text{ Tonnes /Trimestre}$$

3.9 Paramètres de plan de tir

Trous par inclinés : pour système prédominant

Pour un diamètre du trou : $d = 165 \text{ mm}$

- **Longueur du sous-forage**

lsf : longueur du sous-forage, m

$$\text{lsf} = K_s D, (\text{m}) \quad \text{soit } \text{lsf} = (10 \div 15) D$$

D : diamètre du trou, (m)

$$\Rightarrow \text{lsf} = 10.0 * 165 = 1,65 \text{ m}$$

- **Longueur du bourrage**

$$l_b = (20 \div 30) D, \text{ m}$$

$$l_b = 25 * 0,165 = 4,125 \text{ m}$$

On adopte $l_b = 4,125 \text{ m}$.

- **Longueur du trou**

$$L_{tr} = \frac{H}{\sin \beta} + l_s, \text{ m}$$

Où :

H : hauteur du gradin, $H = 15 \text{ m}$

β : angle d'inclinaison du trou, $\beta = 75$

$$L_{tr} = \frac{15}{\sin(75)} + 1,65 = 17,18 \text{ m}$$

- **Détermination de la ligne de résistance au pied de gradin**

$$W = \frac{\sqrt{0,5P^2 + 4 * m * q * p * H * L_{tr}} - 0,75P}{2 * m * q * H}, \text{ m}$$

Où :

m : coefficient de rapprochement entre des trous = $(0,8 \div 1,4)$, $m = 0,5$

q : consommation spécifique d'explosif,

- **Calcul la consommation spécifique d'explosif q**

Tableau 13 : Classification des roches d'après la tirabilité pour les carrières [21]

Catégorie (classe) des roches selon la tirabilité.	Consommation spécifique calculée, Kg/m ³		Distance entre les fissures naturelles de tous les systèmes dans le massif, m.	Contenu des divisions dans le massif (%), de dimension :		Résistance de la roche à la compression, Pa.	Densité de la roche, t/m ³ .
	Limite des classes	moyenne des classes		+500	+1500		
I	0,12-0,18	0,150	0,10	0-2	0	100-300	1,40-1,80
II	0,18-0,27	0,225	0,10-0,25	2-16	0	250-450	1,75-2,35
III	0,27-0,38	0,320	0,20-0,50	10-52	0-1	300-650	2,25-2,55
IV	0,38-0,52	0,450	0,45-0,75	45-80	0-4	300-900	2,50-2,80
V	0,52-0,68	0,600	0,75-1,00	75-98	2-5	700-1200	2,75-2,90
VI	0,68-0,88	0,780	0,95-1,25	96-100	10-30	1100-1600	2,85-3,00
VII	0,88-1,10	0,990	1,20-1,50	100	25-47	1450-2050	2,95-3,20
VIII	1,10-1,37	1,235	1,45-1,70	100	43-63	1950-2500	3,15-3,40
IX	1,37-1,68	1,525	1,65-1,90	100	58-78	2350-3000	3,35-3,60
X	1,68-2,03	1,855	1,85 et +	100	75-100	2850 et +	3,55 et +

Catégories (groupe) approximatives des roches.	
Selon l'échelle du professeur protodiak onov.	Selon la forabilité
VII-VI VI-V V-IV IV-IIIa IIIa-III III-II II-I I I	V-VIII VI-X IX-XII XI-XIII XIII-XV XIV-XVI XVI-XVIII XVII-XX XIX-XX I

$$q = q_{\text{ét}} * K_{\text{ex}}$$

$q_{\text{ét}}$: consommation spécifique d'explosif étalon (tirabilité des roches).

$$q_{\text{ét}} = 0.225 \text{ Kg/m}^3$$

K_{ex} : coefficient qui tient compte de la différence d'aptitude du travail d'explosif

$$K_{\text{ex}} = \frac{A_{\text{et}}}{A_{\text{ut}}}$$

A_{anf} : Aptitude au travail de l'explosif principale (anfomile)

$$A_{\text{anf}} = 320 \text{ cm}^3 ;$$

A_{amar} : Aptitude au travail de l'explosif d'amorçage)

$$A_{\text{amar}} = 360 \text{ cm}^3 .$$

$$A = \frac{320 \times 90 + 360 \times 10}{100} = 324 \text{ cm}^3$$

A_{et} : Aptitude de travail de l'explosif étalon ; $A_{\text{et}} = 360$

A_{ut} : Aptitude de travail de l'explosif utilisé ; $A_{\text{ut}} = 324$

$$e = \frac{360}{324} = 1,11$$

$$q = 0,225 * 1.1 = 0.25 \text{ Kg/m}^3$$

Où :

P : capacité d'un mètre de trou.

$$P = 0.785 * d^2 * \Delta, \text{ (kg/m)}$$

Δ : densité de l'explosif

$$\text{La densité de marmanit} = 10 \% * (1,5) = 0.15 \text{ g/cm}^3 = 150 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{La densité de l'anfomil} = 90 \% * (0.9) = 0,81 \text{ g/cm}^3 = 810 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta = 150 + 810 = 960 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow P = 0.785 * (0.165)^2 * 960 = 20,51 \text{ kg/m}$$

On adopte $P = 20,51 \text{ kg/m}$

$$W = \frac{\sqrt{0,5 * 20,51^2 + 4 * 0,8 * 0,25 * 20,51 * 15 * 17,18} - 0,75 * 20,51}{2 * 0,8 * 0,25 * 15} = 8,54 \text{ m}$$

- **Calculons W d'après les conditions de sécurité**

$$W \geq H \text{ ctg } \alpha + c$$

$$6,47 \geq 15 \text{ ctg } 75^\circ + 3$$

$$\Rightarrow H \text{ ctg } \alpha + c = 15 \text{ ctg } (75^\circ) + 3 \text{ Car } c = 3 \text{ m (distance de sécurité)}$$

$$\alpha = 75^\circ \text{ (angle d'inclinaison du gradin)}$$

$$\Rightarrow 15 \text{ ctg } (75^\circ) + 3 = 6,94 \approx 7 \text{ m}$$

- **La distance entre les trous de la rangée**

$$a = m * w = 0,8 * 8,54 = 6,83 \text{ m}$$

- **La distance entre deux rangées (b)**

$$b = m * a = 0,8 * 6,83 \text{ m.}$$

$$b = 5,464 \text{ m}$$

Nombre de rangée $n = 2$

- **Longueur d'enlèvement**

Elle se détermine par la formule suivante

$$A = w + (n - 1) * b \dots \text{m}$$

Ou

b = la distance entre les rangées de trou 3m

n : nombre de rangées de trous 2 rangées

$$A = 8,54 + (2 - 1) * 5,46 \text{ m}$$

A= 13,54 m

- **Quantité de charge dans un trou**

Elle se calcul s'après la formule suivante

$$Q_{ex} = q \cdot a \cdot w \cdot Hg ; \text{ kg/trou}$$

donc

$$Q_{ex} = 0,25 \cdot 6,83 \cdot 8,54 \cdot 15 ; \text{ kg/trou}$$

$$Q_{ex} = 218,7 \text{ kg/trou.}$$

On a

Pour le marmanite

$$Q_{mar} = 0,90 \cdot 218,7 = 196,83 \text{ kg/trou}$$

Pour l'Anfomil

$$Q_{anf} = 0,10 \cdot 218,7 = 21,87 \text{ kg /trou}$$

- **Longueur de la charge**

$$L_{ch} = \frac{Q_{ex}}{p} ; \text{ m}$$

Q_{ex} : quantité d'explosif par trou ...m ;

P : la charge linéaire m ;

Donc

$$L_{ch} = \frac{218,7}{20,51} ; \text{ m}$$

$$L_{ch} = 10,66 \text{ m}$$

Longueur de bourage

Elle se détermine par la formule suivante

$$L_b = L_{tr} - L_{ch} ; \text{ m}$$

L_{tr}= longueur du trou ; m

L_{ch}= longueur de la charge ; m

Donc

$$L_b = 17,18 - 10,66 = 6,52 \text{ m}$$

Tableau 14 : Paramètres du schéma de tir proposé

N°	Désignation	Résultant	Unité
01	Ligne de moindre résistance	8,54	M
02	Profondeur du sous forage	6,6	M
03	Profondeur du trou	17,18	M
04	Ligne de moindre résistance pratique	6,15	M
05	Espacement entre les trous de mines	3,5	m
06	Nombre de trous/rangée	3	trous
07	longeure de bourrage	4,12	M
08	Nombre de rangées	2	/
09	Volume de roche abattue	19323	m ³
10	Diamètre de trou	165	mm
11	Inclinaison du trou	75	/
12	Densité du phosphate	2,3	T / m ³

13	Longueur de charge dans un trou intermédiaire	3,912	m
----	--	-------	---

3.10 Schéma de tir

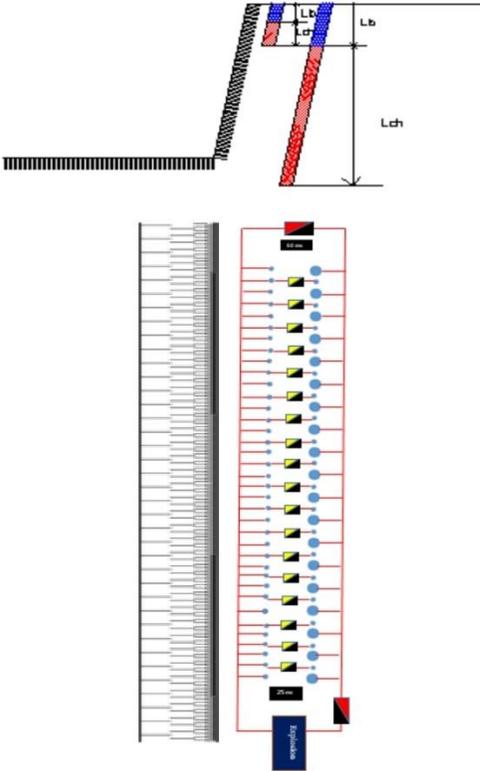


Figure 25 : Schéma de tir par trous intermédiaires [18]

3.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré en détail plusieurs aspects cruciaux des travaux de forage et de dynamitage dans les massifs rocheux. Nous avons commencé par la description des massifs rocheux et l'importance des discontinuités, telles que les fissures et les fractures, sur le comportement mécanique des roches. Nous avons ensuite abordé les méthodes de classification et d'analyse des discontinuités, ainsi que les caractéristiques et le choix des techniques de forage, notamment le forage roto-percutant et l'utilisation de la foreuse FlexiROC D60. Enfin, nous avons discuté des paramètres de plan de tir et des techniques visant à améliorer la qualité de la fragmentation des roches.

Partie sécurité

3.1 Introduction

Dans cette partie, nous abordons les procédures de sécurité essentielles dans le cadre de l'activité minière. La sécurité des travaux, du personnel et des biens est primordiale pour garantir un déroulement optimal et la pérennité des opérations minières. Nous traiterons de la sécurité des chantiers, de la sécurité de la carrière, ainsi que de la sécurité des moyens matériels et du personnel, en détaillant les procédures et les dispositions mises en place pour prévenir les accidents et assurer un environnement de travail sûr. De plus, nous aborderons les accidents de travail récents afin d'illustrer l'importance de ces mesures et d'apprendre des incidents passés [1].

3.2 Sécurité des chantiers

La sécurité des chantiers est une composante essentielle de la sécurité préventive et de la sécurité industrielle. À Kef Essenoun, deux postes avancés ont été créés pour répondre à ces besoins [1] :

3.2.1 Poste avancé de sécurité préventive

Ce poste est responsable du gardiennage et de la sécurité du matériel et du personnel [1]



Figure 26 : Poste avancé de sécurité préventive Kef Essnoun (DSP 4) [1]

3.2.2 Poste avancé de sécurité industrielle

Ce poste est dédié à l'intervention rapide en cas d'accident de travail, tels que les collisions entre engins, les incendies, et les pannes d'équipements lourds, etc. [1].



Figure 27 : Poste avancé de sécurité industrielle Kef Essnoun [1]

3.3 Sécurité des chantiers

La sécurité de la carrière requiert une attention particulière et un suivi rigoureux des travaux d'exploitation pour éviter les risques tels que les éboulements, glissements et affaissements. Pour cela, [1] il est impératif de:

- Exploitation dans la direction du pendage des strates, de la partie Nord vers le Sud.
- Configurer et reconfigurer la carrière selon les normes minières (hauteurs des gradins, plates-formes de travail, bermes de sécurité, etc.).
- Extraire la couche marneuse avec un pendage supérieur à 12° pour assurer la stabilité de la carrière.
- Calculer périodiquement le coefficient de sécurité.
- Laisser une épaisseur de phosphate de 2m au fond de la fosse.
- Surveiller les angles de pente de la carrière.
- Effectuer une surveillance permanente de la paroi Nord, surtout lors de l'extraction de phosphate et de stérile avoisinant cette paroi.
- Continuer l'opération de remblayage de l'ancienne fosse après l'extraction du phosphate composant le stock de protection.
- Clôturer et baliser les zones dangereuses de la carrière.
- Réaliser une cartographie géologique et géotechnique des affleurements.
- Effectuer des statistiques des fissures dans la carrière et la zone d'affleurement.
- Mesurer le pendage des couches.

[1]

3.4 Sécurité des moyens matériels et du personnel

La sécurité des matériels et des personnes joue un rôle crucial, notamment au niveau de la carrière. Les procédures suivantes doivent être respectées [1] :

- Évacuer obligatoirement les engins et les personnes des zones programmées pour les dynamitages à des distances autorisées.

- Purger les gradins d'exploitation après chaque opération de tir.
- Aménager en permanence les pistes de roulage et placer des panneaux de signalisation aux emplacements appropriés (voir photos 11, 12 et 13 ainsi que le plan de circulation de la mine de Kef Essenoun).
- Arroser continuellement les pistes de roulage et les lieux de travail pour assurer une bonne visibilité aux conducteurs et réduire l'impact de la poussière sur la santé et l'environnement.

[1]



Figure 28 : Plaques de signalisation indiquant le sens vers la décharge et l'usine [1]

3.5 Accidents de travail

3.5.1 Définition d'un accident de travail

Tout accident entraînant une incapacité de travail d'au moins un jour (sans compter le jour de l'accident) est considéré comme un accident de travail. Une fiche d'accident de travail doit être établie, et l'accident doit être inclus dans les statistiques annuelles [11].

3.5.2 Comment est défini l'accident ?

Un accident de travail est tout accident ayant causé une lésion corporelle due à une cause soudaine et extérieure, survenue dans le cadre de la relation de travail [11].

Article 3

Est également considéré comme accident de travail, l'accident survenu au cours d'une mission [22].

Accident de trajet (Article 7)

Est considéré comme accident de trajet, l'accident survenu pendant le trajet effectué par l'assuré pour se rendre à son travail ou en revenir, quel que soit le mode de transport utilisé, à condition que le parcours n'ait pas été interrompu ou détourné sauf en cas d'urgence, de nécessité ou de cas fortuit majeur. Ce parcours comprend le trajet entre le lieu de résidence (ou un lieu assimilé, comme celui où le travailleur se rend habituellement pour prendre son repas ou pour des motifs familiaux) et le lieu de travail [22].

Taux de gravité (TG)

Le nombre total des journées calendaires réellement perdues pour mille heures d'exposition [22].

Taux de fréquence (TF)

Le nombre d'accidents par million d'heures d'exposition [22].

Classification des résultats

$Tf < 20$	Très bon résultat	$Tg < 0.5$	Très bon résultat
$20 < Tf < 30$	Bon résultat	$0.5 < Tg < 1$	Bon résultat
$30 < Tf < 40$	Assez bon résultat	$1 < Tg < 1.5$	Assez bon résultat
$Tf > 40$	Résultat moins bon	$Tg > 1.5$	Résultat moins bon

[11]

Un accident mortel équivaut à 7500 jours de perdus [22].

Calcul du Taux de Gravité (TG) :

$$TG = \frac{459 \times 1000}{2312119.58} = 0.20 \text{ [22]}$$

Calcul du Taux de Fréquence (TF) :

$$TF = \frac{24 \times 1.000.000}{2312119.58} = 10.38 \text{ [22]}$$

Tableau 15 : les accidents de travail enregistrés durant le l'année 2023 [22]

Incapacité Causes	1à3	4à8	9à15	16à30	31à60	61à90	N.J.P	Total
Eboulement								
Réparation								
Chute d'objet	01	01		01			40	03
Chute personnel				02			60	02
Fausse manœuvre		03	02	01	01		108	07
Manipulation								
Faux geste	01				01		48	02
Machines outils		01					07	01
Faux mouvement			02	01			46	03
Electrocution								
Explosion								
Heurtée					01		60	01
Ecrasement				01			21	01

Glissade	01		01	02			69	04
TOTAL	03	05	05	08	03		459	24

3.2 Conclusion

En résumé, nous avons examiné les procédures de sécurité essentielles pour l'activité minière, mettant en avant la priorité absolue accordée à la sécurité des travaux, du personnel et des biens. Nous avons détaillé les mesures de sécurité sur les chantiers, dans les carrières et en ce qui concerne les moyens matériels et le personnel. En analysant les accidents récents, nous avons souligné l'importance cruciale de ces mesures pour prévenir les incidents futurs. En conclusion, la sécurité dans l'industrie minière est une obligation légale et morale, nécessitant des procédures robustes pour garantir un environnement de travail sûr et protéger la vie et la santé de tous les travailleurs.

Partie environnement

3.3 Introduction

Dans cette section, nous traiterons de la gestion, du suivi et du contrôle des rejets, des déchets et des effluents dans le cadre de l'activité minière pour protéger les lieux de travail et l'environnement. Nous examinerons les différents types de rejets, y compris les rejets liquides, les effluents gazeux, les poussières, et les rejets grossiers et fins.

Nous aborderons les méthodes de collecte, de manipulation et d'élimination des rejets et des effluents, ainsi que la gestion des stocks de phosphate brut. Enfin, nous expliquerons les mesures mises en place pour assurer une gestion efficace et respectueuse de l'environnement, en optimisant les opérations minières.

3.6 Gestion des rejets et des stocks

3.6.1 Rejets liquides de l'usine de traitement

Le traitement du phosphate par voie humide génère des rejets liquides contenant des matériaux solides. Une retenue de décantation a été créée à Djemidjema Zone II pour gérer ces rejets et récupérer les eaux et les matières solides. L'eau récupérée est utilisée pour l'arrosage et réutilisée dans l'usine de traitement [1].



Figure 29 : Rejets liquides de la voie humide [1]



Figure 30 : Retenue de décantation des eaux usées de Djemidjema (zone II) [1]

3.6.2 Stocks des rejets grossiers

Les rejets grossiers de l'usine de traitement sont stockés pour une éventuelle vente ou utilisation future. Les emplacements des stocks sont choisis à proximité de l'usine, selon les directives du bureau d'études allemand DMT [1].



Figure 31 : Stock des rejets grossiers Djemidjema (zone II) [1]



Figure 32 : Stock des rejets grossiers Kef Essenoun [1]

3.6.3 Décharges stériles

Les roches stériles, principalement composées de calcaire et de marnes, sont stockées dans des décharges internes et externes. Les décharges externes sont situées en dehors du contour final des réserves exploitables pour préserver les ressources potentielles. Les décharges internes sont situées à l'intérieur de la zone d'exploitation minière pour réduire l'empreinte de la mine et les distances de transport [1].

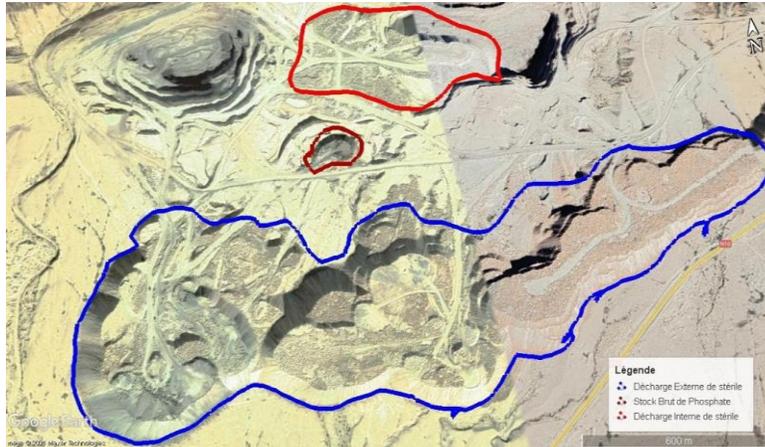


Figure 33 : Décharges internes et externes de stérile Kef Essenoun [1]

3.6.4 Stocks de phosphate brut

Les stocks de phosphate brut sont essentiels pour permettre le mélange du minéral. Le stockage à long terme dépend du calendrier de production de la mine, tandis que le stockage à court terme est situé près de l'usine de traitement. La taille des stocks est estimée en fonction des facteurs de foisonnement appliqués au volume extrait in-situ [1].



Figure 34 : Stock brut de phosphate devant concasseur HAZMAG [1]



Figure 35 : Stock brut de phosphate devant concasseur BABITLESS [1]

3.7 Conclusion

En résumé, cette partie a présenté une vue d'ensemble de la gestion, du suivi et du contrôle des rejets, des déchets et des effluents dans le cadre de l'activité minière. Nous avons exploré les différents types de rejets, y compris les rejets liquides, les effluents gazeux, les poussières, et les rejets grossiers et fins.

Nous avons également abordé les méthodes de collecte, de manipulation et d'élimination de ces rejets et effluents, ainsi que la gestion des stocks de phosphate brut. En conclusion, cette partie fournit des informations détaillées et essentielles pour comprendre les pratiques de gestion environnementale dans le secteur minier, assurant une exploitation respectueuse de l'environnement et optimisée.

Conclusion générale

Le travail étant achevé, nous pouvons conclure que nous avons touché à tout, en répondant aux exigences de contenu et de qualité de mémoire en exploitation des mines. Dense par sa qualité, nous avons tenté de répondre aux critères techniques et technologiques de la partie minière, sans omettre ceux organisationnels mais surtout économiques qui servent d'argumentation aux choix proposés. Nous nous sommes appuyés sur l'analyse, sans abuser dans la critique de ce qui se fait sur le terrain, car nous comprenons les soucis actuels et anciens liés à la maintenance des équipements, leur usure morale et physique, le faible coefficient d'utilisation du complexe minier, et l'absence d'utilisation des méthodes d'abattage contemporaines a fait que nous avons décidé d'appliquer l'une d'elles afin de réduire l'effet de la fissuration engendrée par le tir sur la tenue et stabilité des gradins. Nous proposons d'adapter une consommation spécifique d'explosif de 0.49 kg/m³. Et que nous adoptons des diamètres réduits autour de 104 mm car nous savons que les diamètres réduits (sans risques ici, un volume de production bas par rapport aux standards mondiaux). Géométrisation de la fissurité naturelle est une démarche nécessaire et obligatoire, elle doit accompagner toute conception d'un schéma de tir. Notre travail n'est qu'une contribution, nous déplorons seulement le manque de données économiques récentes qui nous auraient certainement facilité la tâche d'argumentation de nos choix.

Bibliographie

- [1] Plan d'exploitation 2024, Complex minier de Djebel-Onk.
- [2] Kechiched, R., Laouar, R., & Salmi-Laouar, S. (2017). Mise en Évidence d'un Enrichissement des Éléments de Terre Rares dans les Minerais de Phosphates de la Couche Principale du gisement de Kef Essennoun (Djebel Onk), Octobre 2017. Researchgate.
- [3] Centre géologique de l'Algérie
- [4] Mezghache, H. (2012). *Éléments en traces et valorisation des minerais de phosphate du gisement de Kef Essennoun - Dj. Onk (Algérie Orientale)* (Thèse de doctorat). Université de Annaba, Annaba, Algérie.
- [5] Kechiched, R. (2021). Typologie géochimique et géostatistique des minerais de phosphates du gisement de Bled El Hadba – Djebel Onk (Algérie Orientale) (Mémoire de master). Université de Annaba, Annaba, Algérie.
- [6] Krimat, A., & Ankik, S. (2022). Détoxification du phosphate noir de Djebel-Onk en vue d'une utilisation dans le domaine bio médical (Mémoire de master). Université de Bejaia, Bejaia, Algérie.
- [7] Brakni, H. A. (2023). Stability analysis and safety factors prediction of an open pit mine (Kef Essnoun case study) (Mémoire de master). Université de Tebessa, Tebessa, Algérie.
- [8] Étude des réserves de phosphate par la société SOMIPHOS.
- [9] les paramètres géotechniques effectués par DMT
- [10] N, chibka. Exploitation des gisements métallifères. OPU. 1983
- [11] Cours d'exploitation à ciel ouvert, Université de Lubumbashi par N. KAMULETE Mudianga.
- [12] Djebel Onk. (2024). Structure de la mécanisation complexe du gisement du phosphate de Djebel Onk (Cas de Kef Essennoun). Mémoire de Master, Université de Tébessa, Tébessa.
- [13] Optimisation de processus de chargement et de transport au niveau de la mine de l'Ouenza. Mémoire de Master, Université de Tébessa, Tébessa

[14] Lectura Specs. (s.d.). "Caterpillar 773F - Spécifications techniques." Consulté le 11 juin 2024. Disponible à : <https://www.lectura-specs.fr/fr/modele/machines-de-chantier/tombereaux-rigides-caterpillar/773f-1033560>.

[15] Cours de mdr Batna

[16] BENMARCE, Abdelhakim. (Année de soutenance). Stabilité des massifs rocheux. Mémoire de Master, Université 08 Mai 1945 de Guelma, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Civil & Hydraulique, Spécialité Génie Civil, Option Géotechnique.

[17] Wikipédia. (n.d.). "Pli (géologie)." Wikipédia, l'encyclopédie libre. Consulté le 11 juin 2024. Disponible à l'adresse : [https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Pli_\(g%C3%A9ologie\)](https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Pli_(g%C3%A9ologie)).

[18] ADOUANI, Younes et MESSAOUDI, Aimene. (2022). *Gestion de l'énergie de tir dans la partie supérieure du gradin : Cas de la mine de Boukhadra*. Mémoire de Master, Université de [Nom de l'Université], Faculté de [Nom de la Faculté], Département de [Nom du Département].

[19] МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ РУДЫ. 1983. Manuel en russe

[20] Epiroc. (n.d.). "FlexiROC D60." Consulté le 11 juin 2024. Disponible à l'adresse : <https://www.epiroc.com/fr-dz/products/drill-rigs/surface-drill-rigs/flexiroc-d60>.

[21] BELKHIRI, Anissa. (2021). *Analyse des paramètres d'abattage à l'explosif dans les conditions des carrières de calcaire de cimenterie : Cas de la carrière d'Ain El Kebira, W Sétif*. Mémoire de Master, Université de Tébessa

[22] SOMIPHOS. (2023). *Bilan des accidents de travail - Année 2023*. [Rapport ou Document interne].