

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A MIRA-BEJAIA



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa

Faculté de Technologie

Département des mines et géologie



Mémoire de fin de Cycle

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie des mines

Option : Exploitation minière

Thème :

*Optimisation des paramètres de tir afin
d'améliorer la qualité de la fragmentation lors
de l'abattage d'un massif rocheux*




Cas : partie inférieure du gisement d'Adrar Oufernou

Présenté par :

BENBAHMED Yasmine & BOUKEDJAR Belkacem

Soutenu le 10/10/2021

Membres de jury :

-  **Président de jury :** M.A.A. O. DJAZAIRI
-  **Examineur :** M.A.A. M. MAZARI
-  **Encadreur :** M.A.A. A. GUELMAMI

Promotion : 2020-2021

Remerciements

C'est au bon DIEU tout puissant que nous devons tous nos absolus remerciements pour nous avoir donné de la santé, la force, la volonté et surtout la patience tout au long du chemin de nos études et l'exécution de ce mémoire.

Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter nos profondes gratitudes et nos sincères remerciements à notre encadreur

M.A. GUELMAMI pour sa précieuse aide, ses orientations et le temps qu'il nous a accordé pour notre encadrement.

Nous remercierons également les membres du jury Mr.Djezairi et Mr.Mazari qui ont bien voulu consacrer un peu de leur précieux temps pour examiner notre travail, qu'il trouve ici le témoignage de notre reconnaissance.

Et finalement nous remercions nos parents pour leurs aides morales et financières tout au long de nos études et tous ceux qui ont contribué de prêt ou de loin pour la réalisation de ce mémoire



Yasmine & Belkacem -

Dédicace

Je dédie ce travail...

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE,

Autant de phrase aussi expressive soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu ma comblée avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours, tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu étais toujours présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.

A MON TRÈS CHÈRE PÈRE,

Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. Que dieu te préserve et te protège de tout mal.

A MES TRÈS CHÈRES SŒURS, et FRÈRES,

En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments. Votre encouragement et votre soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me rassurée dans les moments pénibles. Merci d'être toujours à mes côtés.

A MON CHÈRE BINOME,

Nous sommes rencontrées sur les bancs de l'institut et avons fait notre parcours ensemble. Tu as toujours su être un ami fidèle et sincère.

Avec toute mon amitié



Yasmine -

Dédicace

Je dédie ce travail...

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE,

Autant de phrase aussi expressive soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu ma comblée avec ta tendresse et affection tout au long de mon parcours, tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu étais toujours présente à mes côtés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.

A MES TRÈS CHÈR ONCLES ET TANTES,

Vous avez su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Vos conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Votre patience sans fin, Votre compréhension et Votre encourageant sont pour moi le soutien indispensable que vous avez toujours su m'apporter. Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que dieu vous préserve et vous protège de tout mal.

A MON TRÈS CHÈRE FRÈRE,

En souvenir d'une enfance dont nous avons partagé les meilleurs et les plus agréables moments. Ton encouragement et votre soutien étaient la bouffée d'oxygène qui me rassurée dans les moments pénibles. Merci d'être toujours à mes côtés.

A MON CHÈRE BINOME,

Nous sommes rencontrées sur les bancs de l'institut et avons fait notre parcours ensemble. Tu as toujours su être une amie fidèle et sincère.

Avec toute mon amitié



Belkacem -

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale 1

Cadre théorique

Chapitre I

Recherche bibliographique

Introduction	6
I.1. Etude sur les explosifs	6
I.1.1. Définition	6
I.1.2. Types d'explosifs	6
I.1.3. Classification des explosifs	8
I.1.3.1. Classification selon les modes de décomposition	8
I.1.3.2. Classification selon la vitesse de détonation	9
I.1.4. Caractéristiques des explosifs	10
I.1.4.1. Vitesse de détonation	10
I.1.4.2. Coefficient de self excitation	10
I.1.4.3. Puissance et brisance	10
I.1.4.4. Densité	10
I.1.5. Catégories d'explosifs	10
I.2. Les Explosifs en Algérie	11
I.2.1 Accessoires de tir fabriqués par l'entreprise	17
I.3. Influence des différentes variables sur le tir	20
I.3.1. Les variables contrôlables	21
I.3.1.1. Paramètres liés aux trous	21

Sommaire

I.3.1.1. 1. Le positionnement des trous par rapport au front de travaille	21
I.3.1.1.2. Les déviations de forage	22
I.3.1.1.3. Diamètre de trou	24
I.3.1.1.4. Inclinaison de trou	25
I.3.1.1.5. L'excès de forage	26
I.3.1.1.6. Longueur de trou	27
I.3.1.2. Paramètres liés au bourrage	27
I.3.1.2.1. Hauteur du bourrage et sa disposition dans les trous	27
I.3.1.2.2. Qualité du matériau de bourrage	28
I.3.1.3. Paramètres liés au plan de tir	28
I.3.1.3.1. La ligne de moindre résistance	28
I.3.1.3.2. L'espacement	28
I.3.1.3.3. Rapport de maille	30
I.3.1.3.4. Présence des faces libres	30
I.3.1.3.5. Implantation et configuration des trous	31
I.3.1.4. Paramètres liés à l'explosif	31
I.3.1.4.1. Influence de la consommation spécifique de l'explosif	31
I.3.2. Les variables incontrôlables	32
I.3.2.1. Propriétés structurales	32
I.3.2.2. Discontinuités stratigraphiques et plans de fracturation	33
I.3.2.3. Les propriétés de la matrice rocheuse	33
I.3.2.4. L'influence des discontinuités	35
I.3.2.5. Effet des discontinuités sur l'abatage	35
I.3.3. Paramètres hydrauliques	36
I.4. Mécanisme de fragmentation	36
I.4.1. Phase 1 : temps-($t_0 + \varepsilon$)	36
I.4.2. Phase 2 : temps $t_0 + 0,7$ ms	37

Sommaire

I.4.3. Phase 3 : temps $t_0 + 1,3$ ms	38
I.5. Schémas de tir	40
I.5.1. Schéma de tir avec leur raccordement	41
I.5.2. Schéma de tir usuel	41
Conclusion	44

Chapitre II

Présentation de l'unité

Introduction	46
II. 1. Présentation de l'entreprise ENOF	46
II.2. Présentation de l'unité	46
II.3. Historique de la carrière	47
II.4. Situation géographique	48
II.5. Stratigraphie du gisement	50
II.6. Tectonique	51
II.7. Géologie locale	52
II.8. Travaux physico-mécaniques et chimiques	53
II.9. Travaux de prospection	53
Conclusion	57

Chapitre III

Travaux actuels

Introduction	59
III.1. Travaux d'ouverture	59
III.1.1. Généralités	59
III.2. Mode ouverture de la carrière d'Adrar Oufarnou	60
III.2.1. Caractéristiques technologiques de la demi-tranchée	61
III.3. Système d'exploitation utilisé dans la carrière	65
III.3.1. Détermination des paramètres de la méthode d'exploitation	67

Sommaire

III.3.1.1. La hauteur du gradin « H_{gr} »	67
III.3.1.2. Largeur de l'enlevure	68
III.3.1.4. Largeur de la plate-forme de travail	68
III.4. Les paramètres de forage et de tir	69
III.4.1. Travaux de Forage	70
III.4.2. Travaux de tir	72
III.5. Plan de tir utilisé dans la carrière	73
III.6. Chargement	76
III.6.1. Description des engins de chargement existant au niveau de la carrière d'Adrar Oufernou	76
III.7. Transport	78
III.8. Concassage	79
III.8.1. Etat des équipements et capacités	80
Conclusion	81
Cadre pratique	82

Chapitre IV

Présentation et discussion des résultats

Introduction	84
IV.1. Analyse des causes	84
IV.2. Calcul des paramètres des travaux de forage et de tir	85
IV.2.1. Résistance des roches au tir (tirabilité)	85
IV.2.2. La consommation spécifique d'explosif du projet	87
IV.2.3. Production hebdomadaire	90
IV.2.4. La surforation du trou	91
IV.2.5. La longueur du trou	91
IV.2.6. Les principaux paramètres de l'emplacement des trous	91
IV.2.6.1. La banquette	91
IV.2.6.2. Distance entre deux trous successifs dans une rangée	92

Sommaire

IV.2.6.3. Distance entre deux rangées	92
IV.2.7. Volume du trou	92
IV.2.8. Quantité d'explosif dans un trou	92
IV.2.9. Charge métrique du trou	93
IV.2.10. Longueur de la charge dans un trou	93
IV.2.11. Longueur du bourrage	94
IV.2.12. Longueur du bourrage de bouchon	94
IV.2.13. Bourrage intermédiaire	94
IV.2.15. Nombre de trous	95
IV.2.17. Rayon de sécurité	95
IV.3. Interprétation des résultats	98
Conclusion	98
Conclusion Générale	99

Liste des références

Les Annexes

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : caractéristiques des explosifs en Algérie	16
Tableau I.2 : paramètres des tirs des mines	20
Tableau I.3 : la consommation spécifique de quelques roches.....	29
Tableau I.4 : influence de la structure du massif rocheux sur les résultats de tir	31
Tableau II.1 : liste des produits disponibles	42
Tableau II.2 : les coordonnées de gisement d'Adrar oufarnou.....	44
Tableau II.3 : Les résultats des analyses physico-mécaniques	48
Tableau III.1 : valeurs des angles des bords des tranchées en fonction de la dureté.....	55
Tableau III.2 : les valeurs des paramètres de tranchées de découpage et demi tranchée d'accès	58
Tableau III.3 : Caractéristiques techniques de la sondeuse ATLAS COPCO 580Y.....	63
Tableau III.4 : paramètres de tir	65
Tableau III.5 : Moyens matériels chargement	68
Tableau III.6 : Caractéristiques techniques de la chargeuse Pelle CAT 345D.....	69
Tableau III.7 : Moyens matériels transport	71
Tableau IV.1 : Classification des roches selon l'indice de tirabilité.....	79
Tableau IV.2 : Catégorie de fissuration des roches	80
Tableau IV.3 : Choix de Ksd en fonction du nombre de surfaces libres	82
Tableau IV.4 : Calcul de la banquette en fonction de la résistance à la destruction.....	83
Tableau IV.5 : Comparaison entre la variante existante et la variante proposée.....	89

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1 types d'explosifs	6
Figure I.2 : GEONIT	11
Figure I.3 : GELANIT	12
Figure I.4 : CARRINIT	13
Figure I.5 : MARMANIT.....	13
Figure I.6 : MILANIT	14
Figure I.7 : N 18.....	14
Figure I.8 : ANFO.....	15
Figure I.9 : poudres noires	16
Figure I.10 : cordeau détonant	17
Figure I.11 : mèche lente	17
Figure I.12 : détonateurs	18
Figure I.13 : fil de tir.....	18
Figure I.14 : exploseur	19
Figure I.15 : schéma du dispositif géométrique d'un tir	19
Figure I.16 : effet de positionnement des trous par rapport au front d'abattage.....	21
Figure I.17 : déviation due aux discontinuités	21
Figure I.18 : effet de la déviation de forage	22
Figure I.19 : influence de la poussée axiale sur les déviations des trous	22
Figure I.20 : adéquation diamètre du trou –hauteur du gradin.....	23
Figure I.21 : comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un minage en vertical et avec inclinaison.....	24

Liste des figures

Figure I.22 : la rupture de la roche au pied du gradin	24
Figure I.23 : longueur du trou	25
Figure I.24 : dynamique d'abattage	27
Figure I.25 : principaux types de mailles utilisées pour les tirs en ciel ouvert	27
Figure I.26 : la consommation spécifique q en fonction de la ligne de moindre résistance ...	28
Figure I.27 : simulation traditionnelle des discontinuités de massifs rocheux	29
Figure I.28 : formes d'arrachement produites en fonction de l'orientation des plans de discontinuités dans le massif, vue en plan (jimeno et al 1995)	30
Figure I.29 : création d'une onde de choc sur l'interface (explosif gaz – roche)	33
Figure I.30 : propagation d'onde de choc et formation des fissures radiales.....	33
Figure I.31 : réflexion d'onde de choc et leur effet	34
Figure I.32 : propulsion des matériaux	34
Figure I.33 : paramètres géométriques d'un plan de tir	35
Figure II.1 : le siège de l'unité en 1975 et en 2015	42
Figure II.2 : carte de situation de la carrière d'Adrar oufernou (source Google earth)	43
Figure II.3 : situation géographique de la carrière d'Adrar oufernou.....	44
Figure II.4 : colone stratigraphique du gisement d'Adrar Oufarnou	45
Figure II.5 : carte géologique N026 de Bejaïa 1/50000.....	47
Figure III.1 : gradin du niveau inférieur de la carrière d'Adrar Oufarnou	54
Figure III.2 : la largeur de la demi-tranchée d'accès (Adrar Oufarnou).....	56
Figure III.3 : méthodes d'exploitation dans la carrière d'Adrar Oufarnou	59
Figure III.4 : présentation des éléments de la plate-forme de travail	62
Figure III.5 : la sondeuse ATLAS COPCO 580Y	64

Liste des figures

Figure III.6 : sondeuse	64
Figure III.7 : schéma de la volée au niveau 290 de la carrière Adrar Oufarnou	66
Figure III.8 : exemple de plan de tir existant au niveau de la carrière Adrar Oufarnou.....	67
Figure III.9 : chargeuse sur pneu Pelle CAT 345D	69
Figure III.10 : camion carrière.....	70
Figure III.11 : vue générale de la station de concassage de l'unité d'Adrar Oufarnou	72
Figure IV.1 : photo du pied du gradin prise sur le terrain.....	76
Figure IV.2 : photo des hors gabarits du gradin prise sur le terrain.....	77
Figure IV.3 : proposition d'un schéma de tir	89

Introduction Générale

Introduction Générale

Une carrière est le lieu d'où sont extraits des matériaux de construction tels que la pierre, le sable ou différents minéraux non métalliques ou carbonifères. Le chantier se fait à ciel ouvert, soit « à flanc de coteau », soit « en fosse », jusqu'à une centaine de mètres de profondeur parfois.

Les deux dernières décennies de nombreux gouvernements ont nationalisé les outils de production, notamment dans le secteur minier à cause du développement considérable de la mécanisation dans les mines, carrières et travaux publics, cela a pour conséquence l'augmentation des besoins. En raison de cela la demande en matière première et matériaux devient de plus en plus importante et l'utilisation des produits explosifs constitue l'une des solutions idoines grâce à l'extraction massive des produits et à des coûts très avantageux par rapport aux autres moyens techniques d'extraction.

L'exploitation minière par l'explosif correspond à une méthode commune utilisée pour briser les « bancs » de roche (fragmentation), afin d'envoyer les petits morceaux de pierre contenant du minerai vers l'usine de traitement, où le précieux minerai est ensuite séparé de la roche stérile. Les sociétés minières surveillent de près la quantité d'explosifs qu'elles utilisent pour extraire chaque unité de minerai. L'objectif est d'utiliser le moins d'explosifs possible et d'envoyer le moins de roche stérile possible à l'usine de traitement pour augmenter la productivité, minimiser les coûts et améliorer la fragmentation et le rendement environnemental grâce à une efficacité énergétique accrue.

L'objectif principal des tirs dans les mines est d'avoir une meilleure fragmentation de la roche. Le degré de fragmentation de la roche joue un rôle très important dans le but de réduire le coût global de production y compris le chargement, le transport de la matière première. Une fragmentation optimum détermine l'efficacité du broyage et d'énergie.

L'industrie Minière continue à travailler sur l'optimisation du processus de la fragmentation. La recherche systématique de tir des roches a fourni une bonne compréhension des nombreux facteurs qui influencent la fragmentation. Par conséquent, l'obtention d'un contrôle précis de ces facteurs est un défi constant.

En se basant sur cette préoccupation, nous avons essayé de cerner le problème de la fragmentation et d'établir les principaux facteurs intervenant dans le but d'optimiser cette opération technologique.

Introduction Générale

Dans le premier chapitre. Nous traiterons de la connaissance actuelle de la fragmentation des roches à l'explosif et nous expliquerons en détail l'influence des principaux paramètres.

Le deuxième décrira le site, il est consacré pour une étude géologique de la carrière d'Adrar Oufernou.

Dans le troisième chapitre nous allons parler sur les processus technologiques de l'exploitation qui sont :

- ✓ Le mode d'ouverture d'un gisement exploitable à ciel ouvert et la manière de creusement de la demi-tranchée d'accès.
- ✓ La méthode d'exploitation adoptée dans la carrière d'Adrar Oufernou, et les paramètres de forage et de tir.
- ✓ Chargement et transport.

Dans le quatrième chapitre, nous proposons une partie spéciale qui consiste à analyser et étudier tous les paramètres des travaux de forage et de tir, dont le but de trouver une méthodologie pour optimiser et améliorer la fragmentation des roches par l'explosif, ainsi pour diminuer le volume des hors gabarits.

Nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Cadre théorique

Chapitre I
Recherche bibliographique

Introduction

L'utilisation d'explosifs à la fragmentation des roches dans l'exploitation minière est souvent désignée comme une science et un art. Dans les premières années, les chimistes s'efforçaient à développer les explosifs et de mettre au point stable et puissant des mélanges explosifs pour plusieurs variétés. Ces dernières années, le besoin de minimiser les coûts de tir et de contrôler l'effet de ces paramètres sur la qualité de la fragmentation ont fait des études appropriées.

I.1. Etude sur les explosifs

I.1.1. Définition

On appelle explosif une combinaison chimique ou un mélange mécanique qui, sous l'action d'une impulsion extérieure (réchauffement, étincelles, chocs), est apte à exploser, c'est-à-dire qu'il peut se transformer instantanément en d'autres combinaisons chimiques avec dégagement de chaleur et formation de gaz capables de produire un travail mécanique.

On appelle explosion une réaction chimique très exothermique et extrêmement rapide libérant une grande quantité de gaz qui, sous l'effet de la température élevée instantanément, produit un travail mécanique et engendre dans le milieu environnant des ondes de choc. [1]

I.1.2. Types d'explosifs

Les explosifs sont classés en trois catégories : les explosifs industriels, militaires et ceux de fabrication artisanale. A titre de comparaison, pour obtenir un même effet, il faut :



Figure I.1 : types d'explosifs [1]**▪ Les explosifs industriels**

Les explosifs industriels sont des produits définis pour leur sécurité de fabrication et d'utilisation. Les quantités produites sont importantes et de l'ordre de 50 000 tonnes par an. Ils ont des durées de vie limitées, de l'ordre d'une année.

Ces explosifs représentent une partie importante du marché des explosifs. Ils sont utilisés pour extraire des minéraux, percer des roches, la destruction d'ouvrage ou déclencher des avalanches. Les plus connus sont les dynamites (dynamites gomme, dynamites plastiques, dynamites pulvérulentes) qui sont commercialisées sous la forme de cartouches cylindriques soit en papier soit en film plastique. Toutefois, à l'heure actuelle les explosifs de type Gel-Bouillie-Emulsion (mélange à base de nitrate d'ammonium) sont les plus utilisés. Ceux-ci sont également commercialisés sous la forme de cartouches cylindriques mais peuvent être livrés en vrac par camion-citerne directement sur les chantiers. Les emballages portent des inscriptions permettant d'identifier l'origine et la date de fabrication, le numéro d'agrément et le numéro de lot. Il existe aussi les explosifs nitrates-fiouls ou ANFO. [1]

▪ Les explosifs militaires

Les explosifs militaires sont des produits d'autant plus sophistiqués qu'ils sont employés dans des systèmes d'armes coûteux. Ils ont une durée de vie importante. Il existe une gamme très variée de produits (produits purs ou mélanges explosifs) destinés à répondre à des besoins militaires précis.

Les principaux explosifs qui forment les constituants de base de ces mélanges sont : le trinitrotoluène (TNT), l'hexogène (RDX), la pentrite (PETN), l'octogène (HMX) et le Tétryl.

Ces explosifs peuvent être employés sous forme de pain de plastic (pentrite additionnée d'un plastifiant) ou de pain de tolite. Ils sont également utilisés pour le chargement de nombreuses munitions : grenades, obus, roquettes, mines.

Ces explosifs purs peuvent être mélangés :

- Soit entre eux pour obtenir des produits plus performants (exemple de la pentolite qui est un mélange de tolite et pentrite),

- Soit avec des corps inertes (lubrifiants, plastifiants, ...) qui permettent de pouvoir être malaxés (pain de plastic, octocire, ...)

- soit avec des minéraux comme l'aluminium pour accroître l'effet de souffle (hexal). [1]

▪ **Les explosifs artisanaux**

Les explosifs artisanaux sont des explosifs « fait maison » à partir de produits précurseurs (produits disponibles dans le commerce pouvant être utilisés d'une manière détournée pour la fabrication illicite d'explosifs).

Ces substances explosives de fabrication artisanale peuvent prendre toutes les formes et leur qualité est fonction des personnes qui les fabriquent. Ce sont des produits dangereux du fait que presque aucun contrôle de faisabilité/fiabilité n'est effectué sur des « recettes » qui sont diffusées notamment par le biais d'internet.

Ces explosifs peuvent faire long feu ou s'auto-amorcer de manière non contrôlée. Certaines « recettes » sur internet sont fausses et uniquement destinées à faire exploser l'engin artisanal dans les mains de la personne qui tente de confectionner un tel explosif. [1]

1.1.3. Classification des explosifs

1.1.3.1. Classification selon les modes de décomposition

Les différents modes de décomposition des explosifs sont dus à leur vitesse de transformation. On distingue :

▪ **La combustion**

Les substances explosives, enflammées à l'air libre ne font que brûler sans produire d'effets mécaniques. La vitesse de transformation est très faible moins d'un mètre par minute. [1]

▪ **La déflagration**

La déflagration est une combustion rapide de la substance explosive, qui se traduit par une onde de choc dans l'atmosphère. On dit que l'explosif déflagre. La vitesse de transformation est supérieure à 340 mètres par seconde dans l'air. [1]

▪ La détonation

La détonation est une réaction de décomposition extrêmement rapide qui engendre une onde de choc dans la substance elle-même. La vitesse de transformation est généralement comprise entre 2 000 et 9 000 mètres par seconde dans l'air. [1]

1.1.3.2. Classification selon la vitesse de détonation

Deux types d'explosifs sont à différencier.

▪ Les primaires

Les explosifs primaires constituent la pierre angulaire d'une formulation explosive. Ces composés brûlent ou détonnent lorsqu'ils sont exposés à la chaleur, une étincelle ou un choc et sont fréquemment utilisés dans des dispositifs d'amorçage. Leur décomposition étant exothermique, l'énergie libérée est mise à profit pour provoquer l'explosion d'un explosif secondaire. [1]

- Ils prennent facilement le régime de la détonation sous l'effet d'une faible action (Choc, fils rougis, étincelle...);
- Leur vitesse de détonation est de l'ordre de 5000 m/s ;
- Ils constituent l'élément essentiel des amorces, des détonateurs ;
- Leur rôle est de provoquer la détonation des explosifs secondaires.

Les principaux explosifs primaires sont :

- Le fulminate de mercure ;
- L'azoture de plomb ;
- Le styphnate de plomb ;
- Le tétrazène.

▪ Les secondaires

- Ils sont disposés, dans toute chaîne explosive, à la suite d'un explosif primaire
- Leur vitesse de détonation varie entre 2000 et 9000 m/s ;
- Ils prennent le régime de la détonation sous l'action initiale de cet explosif primaire ;

Les principaux explosifs secondaires sont :

- La pentrite (Pain de plastic) ;
- La tolite ;
- L'hexogène ;
- Les dynamites ;
- Les Gel-Bouillie.

1.1.4. Caractéristiques des explosifs

1.1.4.1. Vitesse de détonation

L'ONEX fabrique des explosifs dont la vitesse de détonation varie entre 2500 m/s et 7000 m/s. [1]

1.1.4.2. Coefficient de self excitation

Le coefficient de self excitation est important lors du bourrage des trous de mine. Pour les explosifs de l'ONEX, le C.S.E varie entre 0 et 18 cm. [1]

1.1.4.3. Puissance et brisance

Elle est déterminée au laboratoire par des essais et est exprimée couramment par le coefficient d'utilisation pratique CUP ou encore par l'essai TRAWZL. [1]

1.1.4.4. Densité

L'ONEX produit une gamme d'explosifs dont la densité varie entre 0,95 et 1,5. C'est ainsi qu'on peut avoir les cartouches de même volume mais des poids différents, ce qui permet au mineur d'avoir des densités de chargement variables. [1]

1.1.5. Catégories d'explosifs

Les explosifs fabriqués par l'ONEX sont des explosifs brisants qui comprennent :

- Les dynamites de consistance gélatineuse identifiés sous une appellation commerciale de géonit et gélanit I et II contenant beaucoup d'huile (plus de 12% de nitroglycérine). Ce sont des explosifs brisants insensibles à l'eau et utilisés dans la

recherche sismique et dans les travaux en roches dures (calcaire cristallin, grès durs et granit).

• Les explosifs nitrates, sous forme pulvérulente reconnus sous une appellation commerciale de CARRINI et MARMANITI, II et III ainsi que l'ANFOMIL et N18 BIS. Ils sont hygroscopiques et utilisés pour les roches tendres à mi-dures (schistes, molasse, marnes). [1]

1.2. Les Explosifs en Algérie

Les explosifs en Algérie sont fabriqués par l'office national des substances explosives (ONEX).

L'ONEX est une entreprise militaire à carrière industriel et commercial, ses missions principales consistent en la production et la commercialisation des produits explosifs, accessoires de tir pour satisfaire les besoins du marché national. [2]

L'ONEX produit une gamme très variée d'explosifs et accessoires de tir parmi ses explosifs :

▪ Geonit

- D'un aspect gélatineux, légèrement plastique ;
- De couleur noire ;
- Explosif à base de nitrate d'ammonium ;
- De teneur intermédiaire en huile explosive ;
- Explosif brisant par excellence ;
- Excellente résistance à l'eau.

La géonit est parfaitement adaptée aux roches dures en milieu humide. Elle est très



utilisée dans l'industrie pétrolière (sismique, off-shore jusqu'à 1000 m de profondeur). [3]

Figure I.2 : geonit [3]

▪ **GELANIT 1,2 et 3**

- Aspect gélatineux ;
- Couleur varie de jaune au marron clair ;
- Contient une faible teneur en huile explosive ;
- Teneur en TNT plus élevée ;
- Excellente résistance à l'eau ;

Utilisée dans des terrains à roches dures.

À semi dures, pour des travaux d'abattage à ciel ouvert (carrières) ou en souterrain (galeries). [3]



FigureI.3 : GELANIT. [3]

▪ **CARRINIT**

Explosif à base de nitrate d'ammonium

- Sensibilisé avec de la NGL ;
- De couleur jaune à marron clair ;
- D'un aspect pulvérulent ;
- Très sensible à l'humidité ;
- De densité moyenne ;
- Utilisé pour la destruction de roches dures à semi- dures.

Il est parfaitement adapté dans les carrières où il est très utilisé ainsi que dans les travaux agricoles et forestiers. [3]



Figure I.4 : CARRINIT. [3]

▪ **MARMANIT 1, 2 et 3**

- Explosif à base de nitrate d'ammonium ;
- Sensibilisé au moyen d'un explosif brisant ;
- De couleur grise ;
- Aspect pulvérulent ;
- Considéré comme un explosif de sûreté ;
- Sensible à l'eau Utilisés dans les régions sèches. Ils sont adaptés aux terrains à roches tendres ou de dureté moyenne.



Figure I.5 : MARMANIT. [3]

▪ MILANIT

- Couleur grise tirant vers le noir ;
- Aspect pulvérulent.

La MILANIT est insensible au détonateur n° 8 et doit, de ce fait, être amorcée par le truchement d'un explosif brisant. Cet explosif convient en terrains à roches tendres. [3]



Figure I.6 : MILANIT.[3]

▪ N 18

- Explosif nitraté sensibilisé par du TNT ;
- Couleur jaune à marron clair ;
- Aspect pulvérulent ;
- Explosif de sûreté.

Particulièrement adapté au traitement des roches tendres, le N 18 ne convient qu'en milieu sec ou très utilisé dans la recherche sismique. [3]



Figure I.7 : N 18. [3]

▪ ANFO

- Couleur blanc rose ;
- Aspect pulvérulent ;
- Il est amorcé au moyen de cordeaux détonants ;
- Peu sensible aux actions mécaniques ;
- Considéré comme explosif de sûreté ;
- Très facile à manipuler ;
- Mauvaise résistance à l'eau ;
- Sa vitesse de détonation diminue avec le diamètre des trous.

Cet explosif est particulièrement recommandé en milieu sec pour des terrains à roches tendres et des travaux à ciel ouvert. [3]



Figure I.8 : ANFO. [3]

TABLEAU I.1 : Caractéristiques des explosifs (O.N.E.X. Algérie). [4]

DESIGNATION COMMERCIALE	RESISTANCE A L'EAU	DENSITE	VITESSE DE DETONATION (M/S)	PUISSANCE C, U, P	C, S, E (CM)	VOLUME GAZ L/Kg
GEONIT	Très bonne	1,50	5800	1,15	18	733
GELANIT I	Bonne	1,40	6300	1,33	8	865
GELANIT II	Bonne	1,45	6000	1,27	6	808
CARRNIT	Médiocre	1,00	4500	1,27	10	892
MARMANIT I	Médiocre	0,95	4000	1,28	5	842
MARMANIT II	Médiocre	0,98	4100	1,27	2	68
MARMANIT III	Médiocre	0,95	3800	1,18	2	907
N 18	Médiocre	0,95	2500	1,16	4,5	
MILANIT			4100	1.16		915
INFOMIL	Médiocre	0,90	3000	1,15	0	975

1.2.1 Accessoires de tir fabriqués par l'entreprise

➤ **Poudre**

La poudre noire, parfois dénommée poudre à canon ou poudre à fusil, est le plus ancien explosif chimique connu. De couleur noire, elle est constituée d'un mélange déflagrant de soufre, de nitrate de potassium (salpêtre) et de charbon de bois. [2]

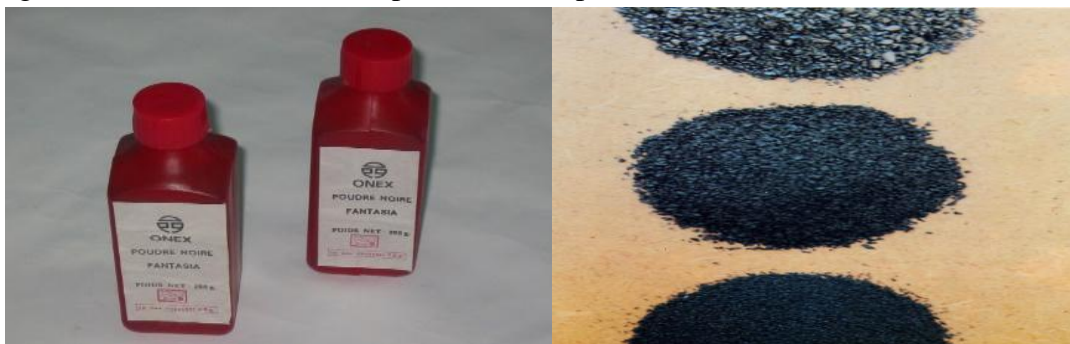


Figure I.9 : poudres noires. [3]

▪ Cordeaux détonants

Il est constitué d'une âme de penthrite en poudre enrobée dans du textile puis dans une gaine en matière plastique. Le cordeau détonant rend de grands services lors des



travaux de minage. [2]

Figure I.10 : cordeau détonant. [3]

▪ La mèche lente ou de sûreté

Elle est fabriquée à partir de poussière de poudre noire enveloppée dans du papier, de textile et de la matière plastique. Elle sert principalement à la mise à feu d'une charge de poudre noire ou la mise à feu du détonateur pyrotechnique n°8.

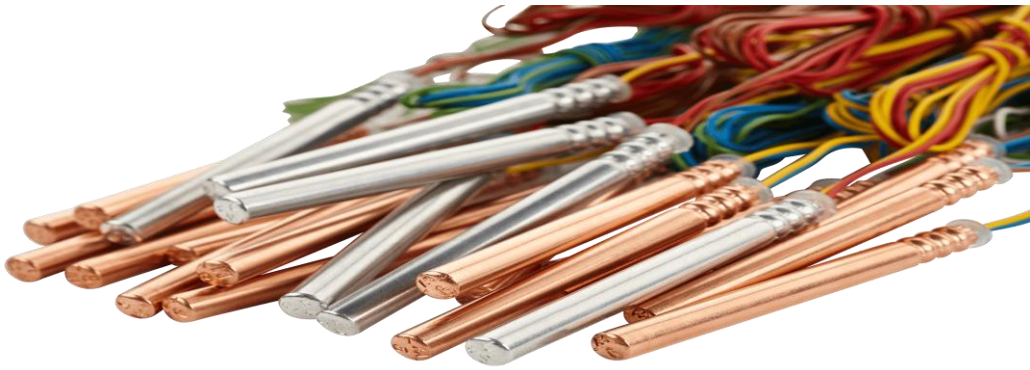
- La durée de combustion de la mèche lente est de 120 secondes/m \pm 10%. [2]



Figure I.11 : mèche lente. [3]**• Détonateurs**

Pour la mise à feu des différentes charges explosives, il est nécessaire de recourir à des moyens d'inflammation spécialement conçus pour les travaux de mine tels que : mèche, détonateur pyrotechnique, amorce électrique, cordeau etc.

Le succès d'une volée dépend dans beaucoup de cas de ces dispositifs de mise à feu, de leur mise en œuvre et de l'emploi judicieux qu'on en fait. Leur choix joue un rôle aussi important que celui de l'explosif. [2]

**Figure I.12 : détonateurs. [3]****• Fil de tir**

L'ONEX produit le fil électrique de tir de Ø 0,6 mm gainé par du P.V.C antistatique. [2]

**Figure I.13 : fil de tir. [3]**

- **Exploseur** : Générateur de courant utilisé pour la mise à feu de charges explosives

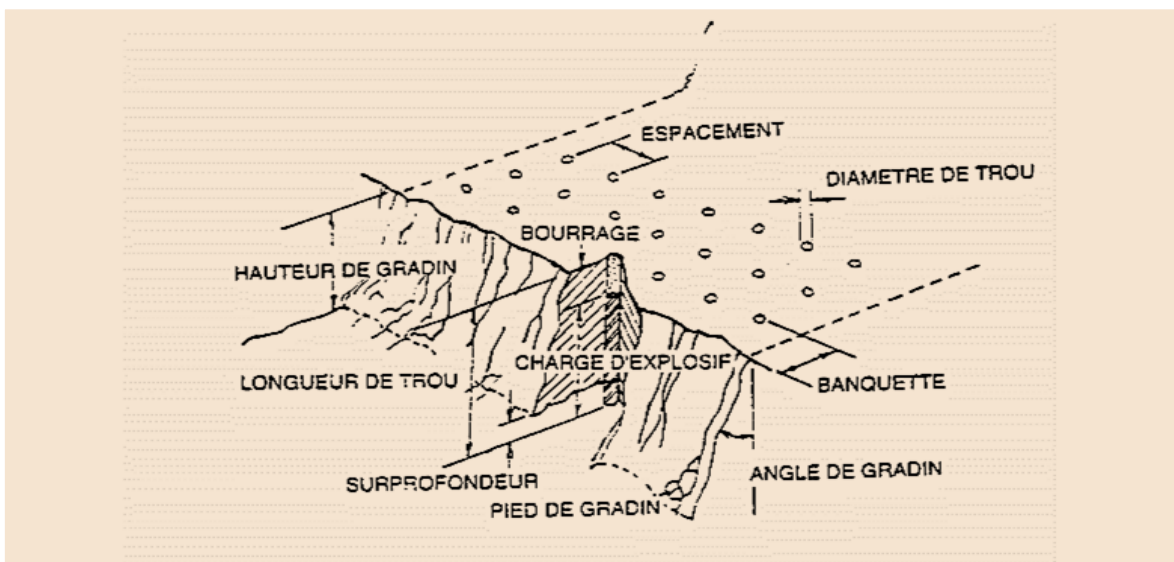


à l'aide de détonateurs électriques. [2]

Figure I.14 : exploseur. [3]

I.3. Influence des différentes variables sur le tir

Dans une mine la qualité de fragmentation des roches est liée directement à des variables qui sont parfois contrôlable et parfois non contrôlable. Pour plus expliquer les variables contrôlables se sont les variables que nous pouvons facilement changer et parfois et nous avons la possibilité de les améliorer, par contre les variables non contrôlables sont



des variables que nous ne pouvons pas les modifier, les changer ou les éliminer. [4]

La Figure I.15 : schéma du dispositif géométrique d'un tir. [4]

Tableau I.2 : Paramètres de tir de mines. [4]

Contrôlables	Incontrôlables
Paramètres liés géométrie Diamètre du trou Longueur de foration Inclinaison du trou Surforation du trou Longueur du bourrage Géométrie de maille Rapport espacement/banquette Configuration globale de la Géométrie du tir Direction de tir Nombre de faces libres Taille de volée	Paramètres du massif en place Géologie Résistances et propriétés des Matériaux Discontinuités préexistantes dans le Massif Paramètres hydrologiques Eau (quelquefois maitrisable)
Paramètres liés à l'énergie explosive Type d'explosif utilisé Energie (choc, gaz) Configuration de chargement Type d'amorçage Séquence d'initiation	Autres Temps

1.3.1. Les variables contrôlables

1.3.1.1. Paramètres liés aux trous

1.3.1.1. 1. Le positionnement des trous par rapport au front de travail

Lorsque le front de taille présente de fortes irrégularités telles que celles représentées ci-dessous, il est indispensable d'établir un profil assez précis de celui-ci. En effet un mesureur approximatif par rapport au sommet apparent du gradin conduit à

surévaluer la ligne de moindre résistance dans le cas de gauche et au sou évaluer dans le cas de droite. On risque des projections verticales importantes dans le premier cas ou horizontales dans le deuxième. [5]

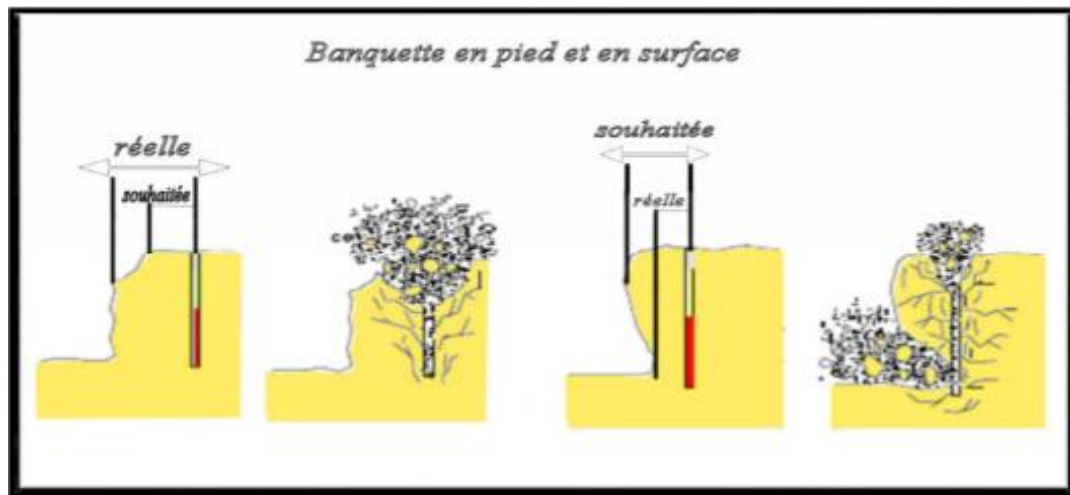
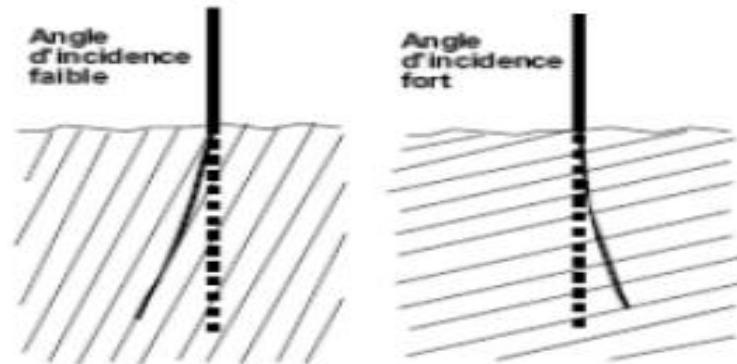


Figure I.16 : Effet de positionnement des trous par rapport au front d'abattage. [5]

1.3.1.1.2. Les déviations de forage

La déviation de la tige de la sondeuse pendant le forage est un problème commun dans les Mines car il y a des paramètres qui ont une influence directe sur la déviation des tiges en cite :

- **Causes relatives à l'outil de forage**
 - Le diamètre de tige ;
 - La matière de fabrication de la tige ;
 - Mode de forage ;
 - Positionnement de la machine.
- **Causes relatives aux massifs**
 - Plan de fissuration important ;
 - Intercalation de couche suivant le sens de forage ;



– Nature de la roche. [5]

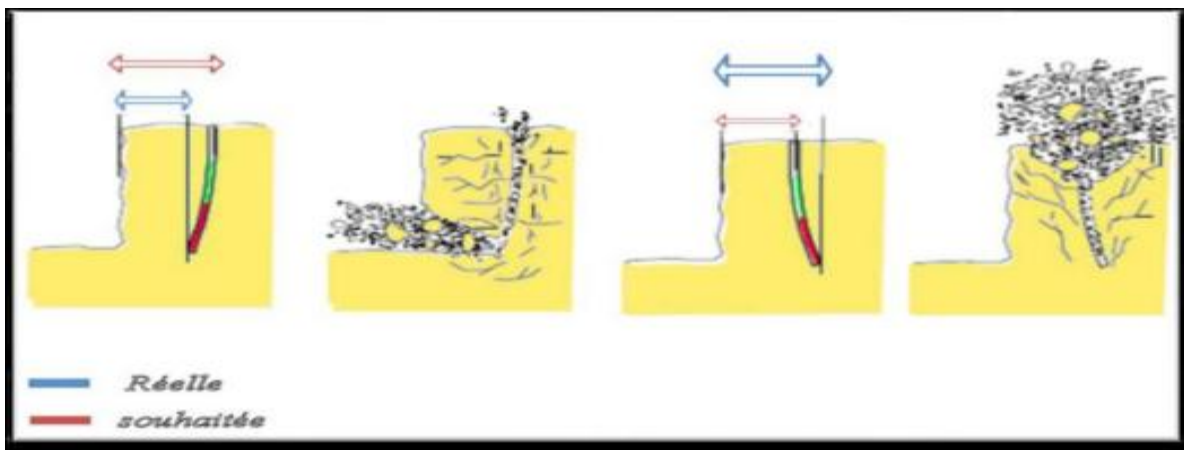


Figure I.17: Déviation due aux discontinuités. [5].

Figure I.18 : Effet de Les déviations de forages. [5]

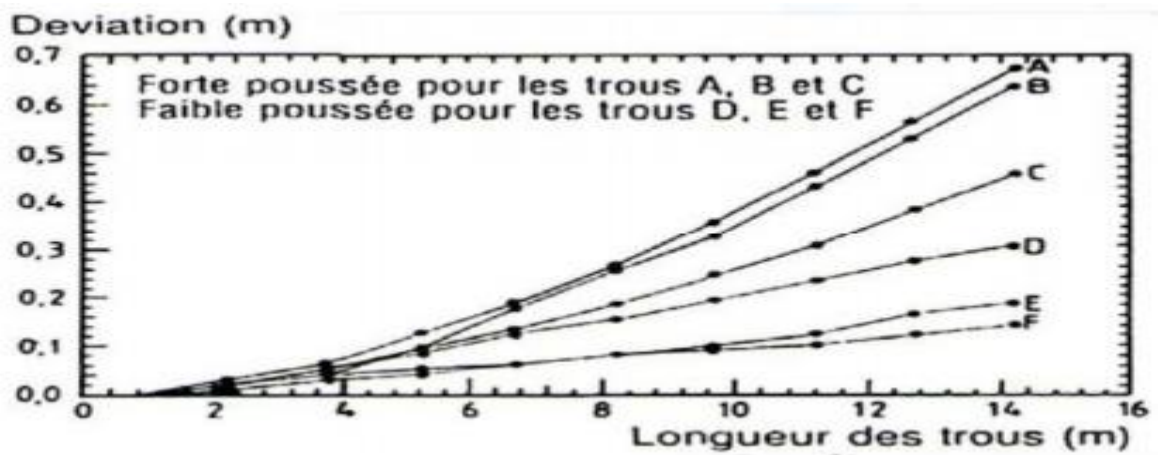


Figure I.19 : Influence de la poussée axiale sur les déviations des trous. [5]

Pour une interprétation de cette courbe en a la valeur de déviation de trou en fonction de la longueur de trou et la valeur de degré de poussé. Donc quel que soit le diamètre de trou la valeur de déviation s'augmente avec l'augmentation de degré de poussée (si en a une poussée forte en va voire une déviation élevée), mais dans les longueurs des trous inférieurs à 2 m la valeur de déviation peuvent être négligeable. [5]

1.3.1.1.3. Diamètre de trou

Le diamètre de trou est directement lié avec le degré de fragmentation ciblé ainsi que le type de réalisation d'excavation.

Pour choisir le diamètre de trou il prend en considération les facteurs qui influent sur le choix de ce dernier.

Le choix du diamètre du trou dépend aussi des certaines données à savoir :

- L'environnement : le niveau de vibration et de bruit dépend de la charge (qui dans la plupart des cas est celle d'un diamètre du trou de mine).
- La structure du massif qui a un effet fondamental sur la granulométrie, donc qui influencera directement sur le choix du diamètre de sondage.
- La nature de l'explosif qui peut par exemple avoir une vitesse de détonation plus élevée lorsque le diamètre augmente.
- La hauteur du front à abattre : l'abaque ci-dessous permet d'évaluer la zone favorable entre le diamètre de foration des trous et la hauteur du front à abattre. [6].

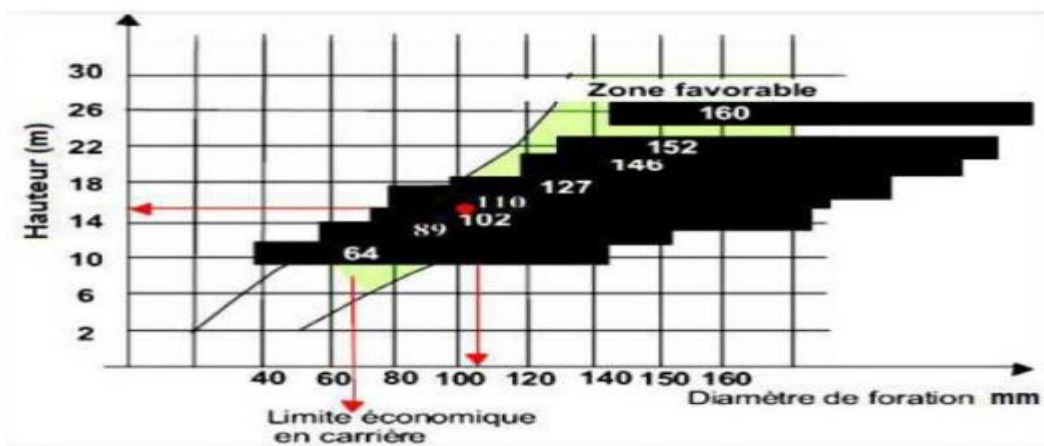


Figure I.20 : Adéquation diamètre du trou – hauteur du gradin. [5]

1.3.1.1.4. Inclinaison de trou

Le trou incliné améliore la qualité de fragmentation des roches sans causer une hausse sensible des dépenses matérielles ou complication sur le plan organisationnel des processus de forage et de tir.

Les trous inclinés contribuent une optimisation générale concernant la sécurité de travail et les résultats sur le terrain stable et désirable, d'autre avantage d'inclinaison de trou sont :

- Optimisé la quantité d'explosif utilisé ;
- Elimination de l'inconvénient du rebord ;

Les trous inclinés sont utilisés généralement dans les mines à ciel ouvert. [5]

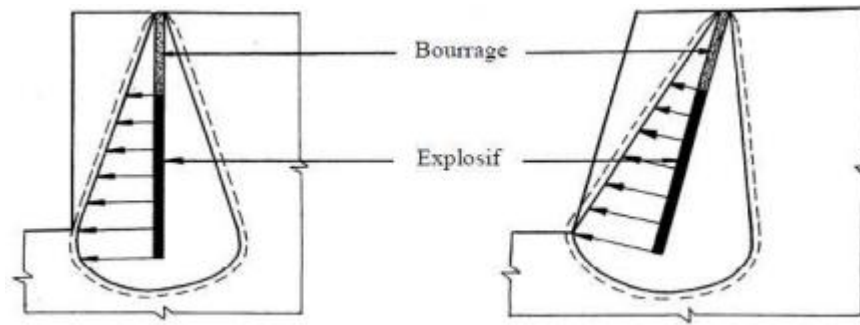


Figure I.21 : Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un minage profond en vertical et avec inclinaison. [5]

1.3.1.1.5. L'excès de forage

L'excès de forage a un rôle majeur pour l'augmentation de l'action de tire dans la partie inférieure du gradin pour assurer une bonne destruction des roches au pied de gradin, en créant des conditions favorables pour les moyens de chargement.

La longueur de l'excès de forage dépend de la hauteur du gradin, du diamètre du trou, des propriétés d'explosif, des propriétés physiques et mécaniques des roches, etc.

Celle-ci est liée essentiellement à la ligne de moindre résistance. Elle doit être voisine de 0.2 à 0,3 fois la ligne de moindre résistance.

D'après la méthode soviétique on peut le calculer selon le diamètre de trou ou il est approximativement 5 à 10 fois le diamètre de trou. [5]

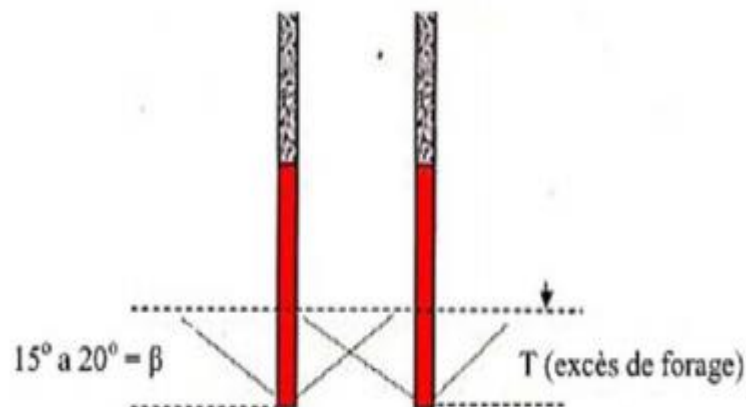


Figure I.22 : La rupture de la roche au pied du gradin [5]

1.3.1.1.6. Longueur de trou

La longueur de trou est liée essentiellement avec la hauteur du grain et qui est un paramètre très important pour l'exploitation à ciel ouvert.

Car la longueur de trou sa dépend est lie directement ave la hauteur de gradin donc elle est déterminée par le critère de choix de hauteur de gradin qui sont :

- Propriétés de la roche physique et mécanique ;
- Moyens d'extraction ;
- Production annuelle ;
- Donc la valeur de la longueur de trou est la somme de la hauteur de gradins et la longueur de l'excès de forage. [5]

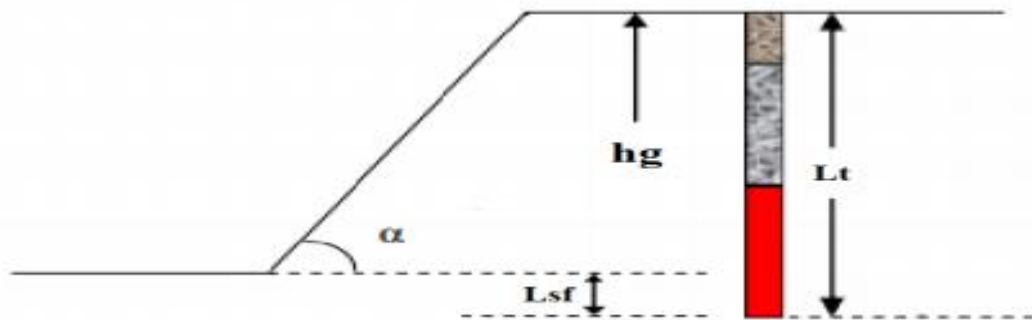


Figure I.23 : longueur de trou. [5]

Avec :

- H_g : hauteur de gradin ;
- L_{sf} : longueur de sous forage ;
- L_t : longueur de trou ;
- α : l'angle d'inclinaison du talus du gradin.

1.3.1.2. Paramètres liés au bourrage

1.3.1.2.1. Hauteur du bourrage et sa disposition dans les trous

Le bourrage a pour objectif de diminuer les projections et d'améliorer l'effet de gaz des explosifs. Il doit être suffisant pour éviter le travail "en cratère" de la dernière charge. En général, il dépend de la ligne de moindre résistance. Dans les trous profonds, sa

longueur doit être égale à la ligne de moindre résistance, et il peut descendre à (0,5 w) dans les courts trous.

Dans la majorité des cas en mines et carrières à ciel ouvert, le bourrage se dispose en fonction de fissures, de l'hétérogénéité du gradin et de l'utilisation de gros diamètres des trous.

Le bourrage intermédiaire permet dans le premier cas d'obtenir un abattage sélectif, dans le second d'éviter la perte d'énergie, et dans le troisième d'éviter une surconsommation d'explosif. [6]

1.3.1.2.2. Qualité du matériau de bourrage

Les carrières et les mines algériennes généralement utilisent les débris de forage pour le bourrage mais ces débris posent un problème de projection et débouillage important au moment du tir.

Les tirs expérimentaux montrent que le bourrage aux gravillons (4/6) donne une meilleure Utilisation de l'énergie explosive. [5].

1.3.1.3. Paramètres liés au plan de tir

1.3.1.3.1. La ligne de moindre résistance

C'est la distance entre le premier rangé des trous et l'arrêt supérieur du gradin, dans le cas où il y a une seule rangé de trous de mine la ligne de moindre résistance représente la largeur d'enlèvement. Les facteurs qui influent le choix de la ligne de moindre résistance sont:

- Le diamètre de trou ;
- La hauteur de gradin ;
- L'inclinaison de trou ;
- L'explosivité. [5]

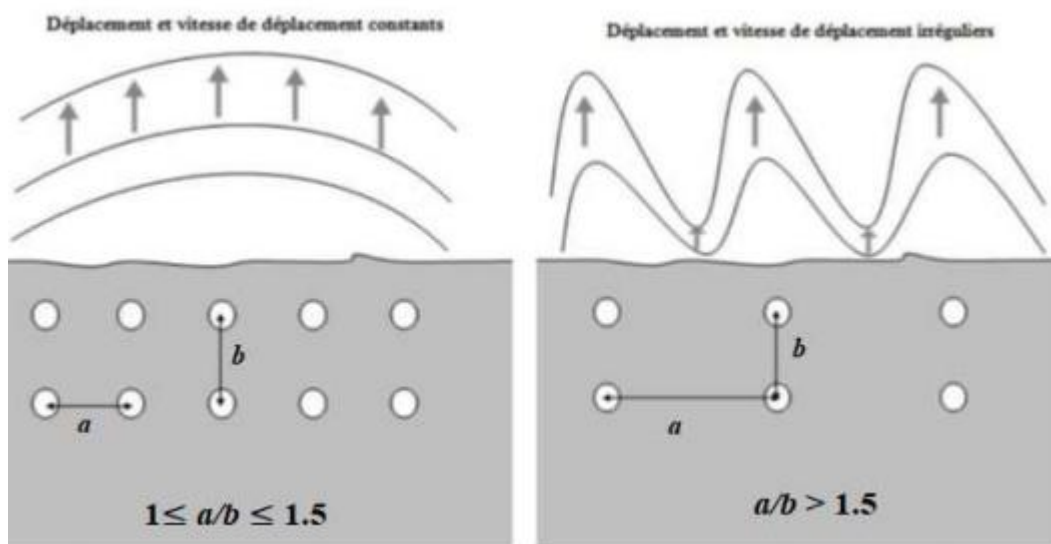
1.3.1.3.2. L'espacement

C'est la distance qui sépare deux trous voisins. Pour une bonne fragmentation peut être obtenue en variant l'espacement entre (0,8 et 1,5) fois la ligne de moindre résistance sans pour autant augmenter l'énergie de la charge spécifique. [5]

1.3.1.3.3. Rapport de maille

C'est le rapport entre l'espacement entre les trous et l'espacement entre les rangées (a/b), des chercheurs ont introduit une part de dynamique pour tenter de justifier l'effet du ratio du rapport de maille sur la fragmentation. La distance entre les trous d'une même rangée et la distance entre deux rangées va conditionner la densité de fragmentation due à l'onde de choc, ainsi que la mise en mouvement du massif, sa facilité de dégagement et sa vitesse.

Le rapport de maille suggère en quelque sorte une zone d'influence de chaque trou,



un travail judicieux sur la maille pourrait permettre d'ajuster ces paramètres. [6].

Figure I.24 : Dynamique d'abattage. [5]

L'approche en termes de ratio espacement sur ligne de moindre résistance s'appuie sur des observations expérimentales. Elle est parfois critiquée et délaissée en faveur d'une approche plus fondée sur l'énergie disponible en fonction du volume à abattre par trou. [6].

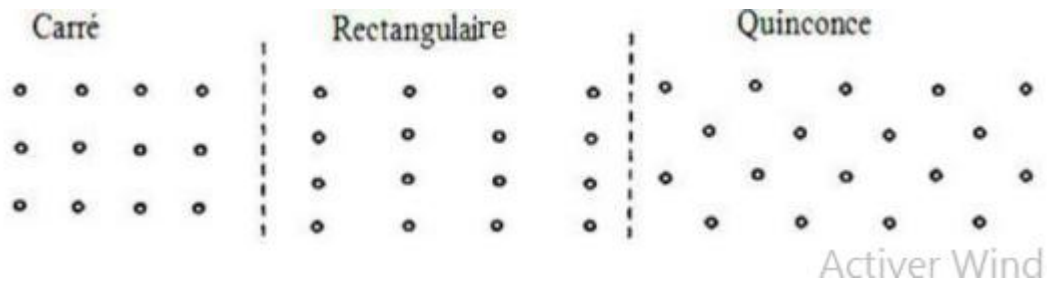
1.3.1.3.4. Présence des faces libres

Lorsque l'onde de choc rencontre une discontinuité, elle se divise en une onde transmise et une onde réfléchie. La répartition entre l'énergie transmise et l'énergie réfléchie dépend du rapport des impédances des matériaux d'une part et d'autre part de la discontinuité. Dans le cas de l'interface (roche-air), la réflexion est presque totale. L'onde de compression se réfléchit alors en une onde de traction qui est responsable de la

formation d'une fissuration parallèle au plan d'onde. Ce phénomène bien connu est appelé Ecaillage.[6]

1.3.1.3.5. Implantation et configuration des trous

Généralement les trous sont disposés avec des manières classique avec des configurations parallèles (carré ou rectangulaire) ou bien une configuration quinconce



(comme la figureI.25). [6]

Figure I.25 : Principaux types de mailles utilisées pour les tirs en ciel ouvert. [5]

1.3.1.4. Paramètres liés à l'explosif

1.3.1.4.1. Influence de la consommation spécifique de l'explosif

Le terme de consommation spécifique désigne la quantité d'explosif que l'on charge dans un trou de mine pour abattre 1m³ de roche (ou 1t), elle est donc donnée en kg/m³.C'est un paramètre à adapter au massif rocheux à abattre et liée à la ligne de moindre résistance comme le montre la figure I.26. [5]

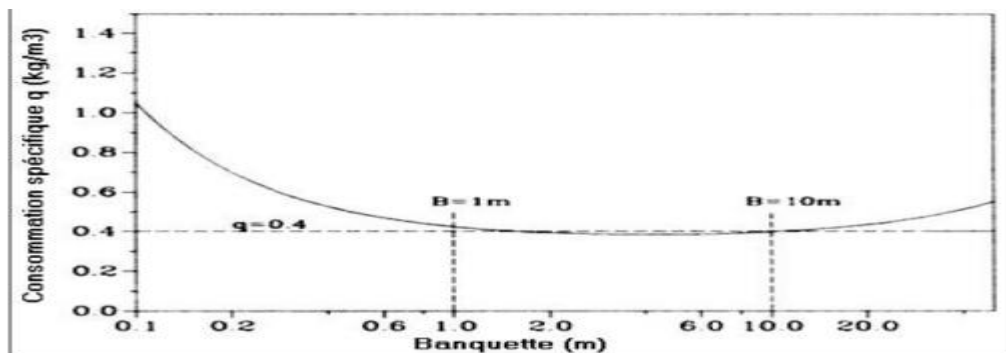


Figure I.26 : La consommation spécifique q en fonction de la ligne de moindre résistance.

[5]

D'après cette figure se présente la consommation spécifique d'explosif en fonction de la ligne de moindre résistance il y a trois cas pour l'interprétation de cette courbe :

Le cas optimal : la consommation spécifique se reste approximativement stable de la valeur 0.4 (kg/m³) pour les lignes de moindre résistance s de 1.0 à 10m.

Tableau I.3 : La consommation spécifique de quelques roches. [5]

Roche	Consommation spécifique kg/m³
Basalte	0.33
Calcaire crayeux	0.25
Calcaire moyen à dure	0.35/0.40
Granite dure	0.45
Grés fins	0.40
Quartzite pate fine	0.53
Quartzite fracturé	0.30

1.3.2. Les variables incontrôlables

1.3.2.1. Propriétés structurales

Il est connu que les roches se diffèrent suivant chaque texture et composition de chaque type des roches même les roche du même type en peut dire que chaque massif a une empreinte spéciale des discontinuités et caractéristiques géologiques qui influent l'abattage de la roche et qui sont les moins contrôlables dans l'abattage à l'explosif.

Les discontinuités sont des interruptions de la roche qui résultent de la formation du massif. Ces derniers ont le rôle d'arrêter la propagation des fractures dans la roche, et les microstructures de ces discontinuités influencent et compliquent le processus de fracturation dynamique. [5]

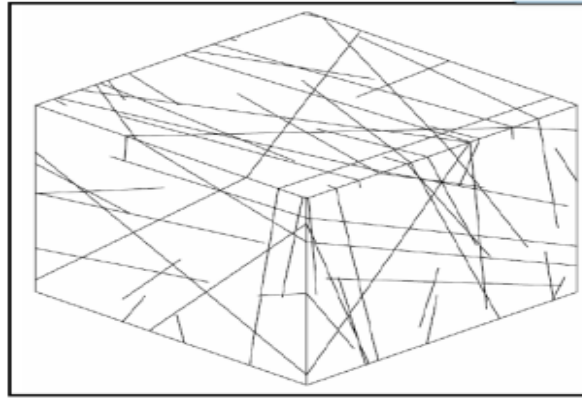


Figure I.27 : Simulation tridimensionnelle des discontinuités du massif rocheux. [5]

1.3.2.2. Discontinuités stratigraphiques et plans de fracturation

Après le tir les discontinuités stratigraphiques ou autrement dit les plans de fracturation a un impact très important sur la forme finale de front de taille et l'arrachement des roches après le tir selon l'angle de directions des plans de fracturation sure le front de taille comme démontrer par (figure I.28) si dessous.[5]

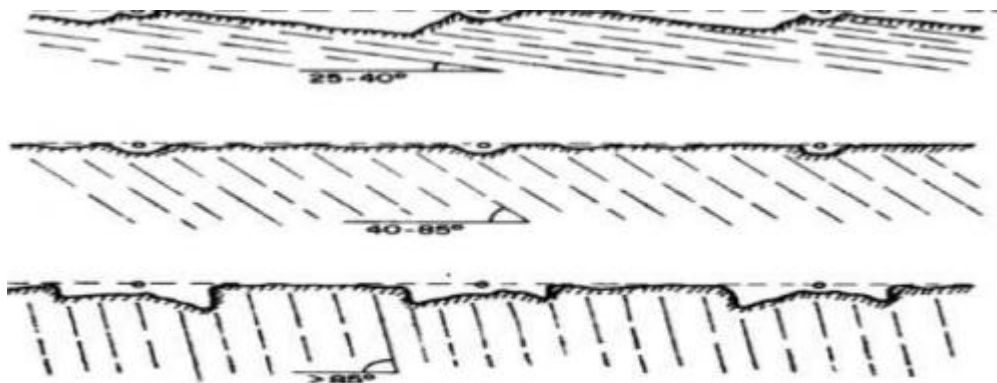


Figure I.28 : Formes d'arrachement produites en fonction de l'orientation des plans de discontinuité dans le massif, vue en plan (Jimeno et al. 1995). [5]

1.3.2.3. Les propriétés de la matrice rocheuse

Les propriétés de la matrice rocheuse ici mise en jeu sont les propriétés physicomécaniques, acoustiques et à moindre degré, hydrologiques. Spécifiquement, ces propriétés sont : la densité, les résistances à la traction et à la compression, le module de Young, le coefficient de poisson et l'impédance acoustique.

La résistance à la traction est théoriquement la propriété mécanique la plus importante de la matrice rocheuse pour l'abattage. En effet, il est généralement admis que la fissuration et la fragmentation de la roche se réalisent surtout sous un régime de contrainte de traction. Par ailleurs, les essais au laboratoire de Rustan et Al (1983) sur les matériaux naturels et synthétiques ont indiqué une relation entre la banquette critique et la résistance à la traction. [5]

Tableau I. 4 : Influence de la structure du massif rocheux sur les résultats du tir. [6]

Structure du massif	Avantages	Inconvénients
Front en travers banc par rapport à la stratification	<ul style="list-style-type: none"> • Bon travail de l'énergie explosive • Bonne orientation des discontinuités 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de glissement des blocs
Tir contre le pendage	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction des effets arrière 	<ul style="list-style-type: none"> • Tas moins étalé et plus haut
Front ouvert en direction	<ul style="list-style-type: none"> • Tir recoupant les mêmes formations 	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilités d'effets arrière

1.3.2.4. L'influence des discontinuités

La structure d'un massif a une influence très importante sur le tir, elle détermine tout d'abord la taille des blocs, elle conditionne la mise en œuvre du tir, le fonctionnement même de l'énergie explosive et sa transmission au massif, et peut occasionner des problèmes de stabilité au niveau des trous de tir ou de gradins. [5]

1.3.2.5. Effet des discontinuités sur l'abatage

Plusieurs études ont démontré les effets importants des discontinuités naturelles sur les résultats des tirs miniers ; Dans les cas extrêmes, elles conditionnent même les résultats des tirs plus que les propriétés physico-mécaniques du massif ou de l'explosif Belland, (1966) ; Just, (1971), Ash, (1973) ; Burkle (1979) ; Winzer, et Al (1979) ; Bouden R (1987). Ces discontinuités peuvent intervenir selon leur orientation, fréquence, continuité, matériaux de remplissage et épaisseur et caractéristique mécaniques.

Il est donc clair qu'il faudrait les prendre en compte dans la mise en œuvre des tirs miniers ; malheureusement, aucune règle explicite n'est aujourd'hui disponible pour pouvoir tenir compte quantitativement de leurs effets dans les tirs miniers. Aux mieux, des règles de l'art existent, basées sur des expériences (réduites en nombre), pour aider l'exploitant. [5]

1.3.3. Paramètres hydrauliques

La présence de l'eau dans un terrain constitue toujours une source de procuration pour le mineur, elle pose trois problèmes liés :

- Au choix de l'explosif ;
- Au forage ;
- A son rôle dans le processus d'abattage. [5]

1.4. Mécanisme de fragmentation

Lors de la décomposition de l'explosif la réaction s'accompagne d'un dégagement en un temps très court d'un grand volume de gaz chaud couplé à une onde de choc (discontinuité brusque de pression), l'effet de choc est proportionnel à l'importance de la discontinuité de pression. L'abattage à l'explosif est aujourd'hui la technique la plus simple et la plus répandue dans les carrières de roches massives.

Décomposition de la matière explosive en gaz à haute pression et hautes températures, propagation d'ondes de contrainte dans le massif, rupture ou endommagement de la roche, détente des gaz à travers les zones de fragilité créées, ouvrant de manière franche des fissures et finalement, la mise en mouvement et l'éjection des fragments de matériaux. [7]

Le mécanisme général de fragmentation des roches à l'aide d'explosifs peut se résumer à l'enchaînement des phénomènes suivants :

1.4.1. Phase 1 : temps- $(t_0 + \epsilon)$

La colonne d'explosif est transformée en quelques millisecondes en colonne de gaz animée d'une vitesse C . Ces gaz à haute pression et haute vitesse entrent violemment en contact avec la paroi et créent une onde de choc sur l'interface explosif gaz - roche. [7]

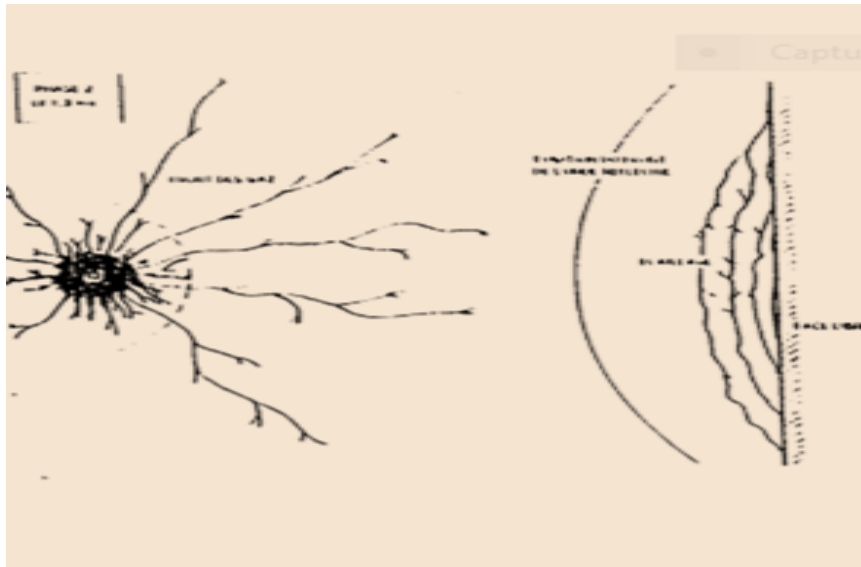
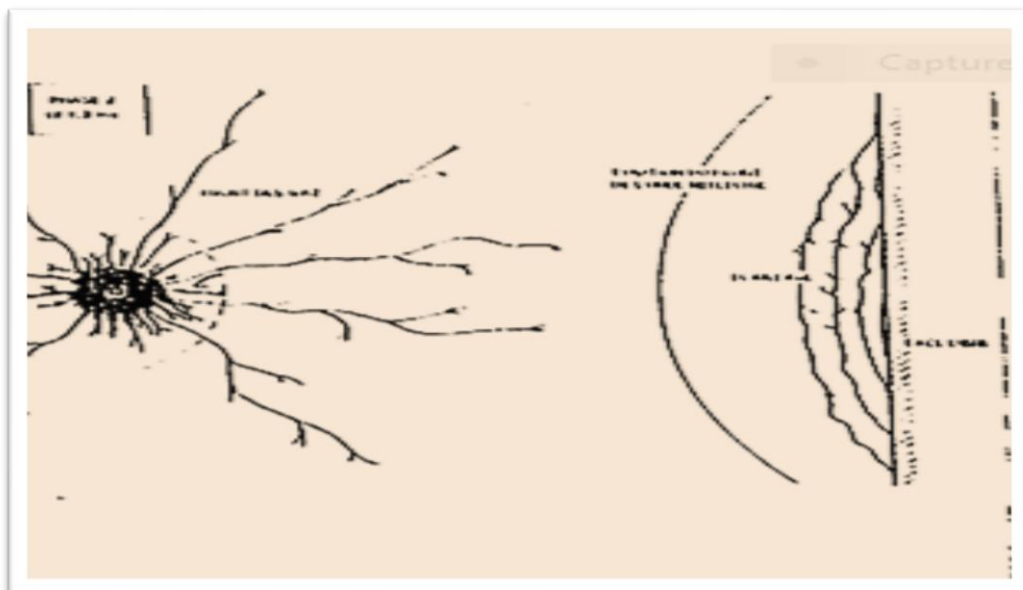


Figure I.29 : Création d'une onde de choc sur l'interface (explosif gaz – roche). [7]

1.4.2. Phase 2 : temps $t_0 + 0,7 \text{ ms}$

Cette onde de choc se propage dans la roche en s'amortissant rapidement. Au voisinage direct du trou on est largement au-dessus de la résistance à la compression (R_c). Entre $6b$ et $12b$ (b : rayon du trou), on dépasse la zone de pré rupture. Cela induit des fissurations radiales (B) qui ne dépassent pas la limite (C) (Fig. 2). Au-delà de $6b$ à $12b$ (limite C), on est en zone élastique, l'onde de choc traverse le massif à la vitesse C_0

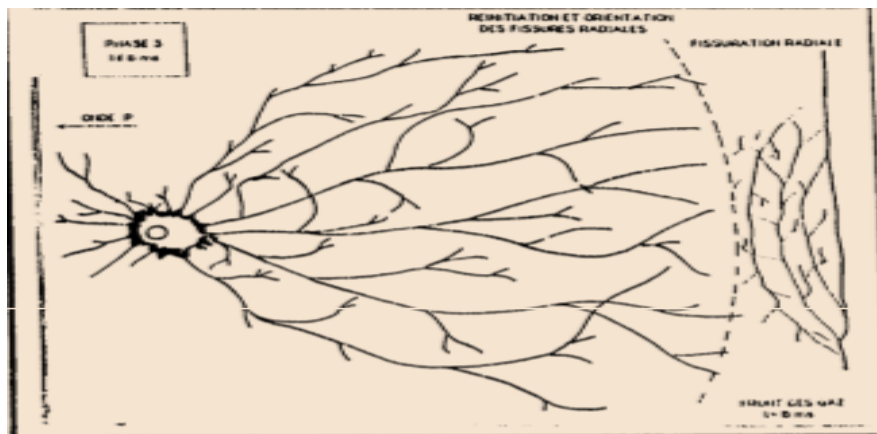


(vitesse du son dans la roche) sans la détruire. [70]

Figure I.30: Propagation d'onde de choc et formation de fissures radiales. [7]

I.4.3. Phase 3 : temps $t_0 + 1,3$ ms

Lorsque l'onde de choc atteint le front de taille, elle se réfléchit. La roche étant très résistante à la compression mais peu à la traction ($R_t = R_c/20$), l'onde réfléchie dépasse largement R_t , elle provoque un phénomène de fissuration sensiblement parallèle au front de taille ou écaillage. Cette onde réfléchie se propage vers l'arrière et va croiser le réseau de fissurations radiales précédemment formé. Pratiquement dans le même temps, les gaz

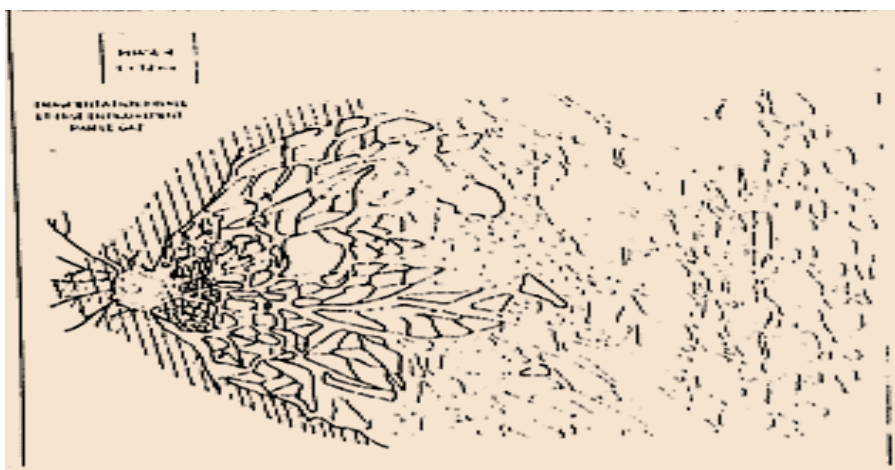


résiduels pénètrent dans les fissures et les écarte. La pression diminue. [7]

Figure I.31: Réflexion d'onde de choc et leur effet. [7]

I.4.4. Phase 4 : temps $t_0 > 15$ ms

La roche est maintenant fragmentée par l'effet combiné de la fracturation radiale et



de la fracturation réfléchie. Les gaz résiduels propulsent les matériaux hors de la cavité.

Figure I.32 : Propulsion des matériaux. [7]

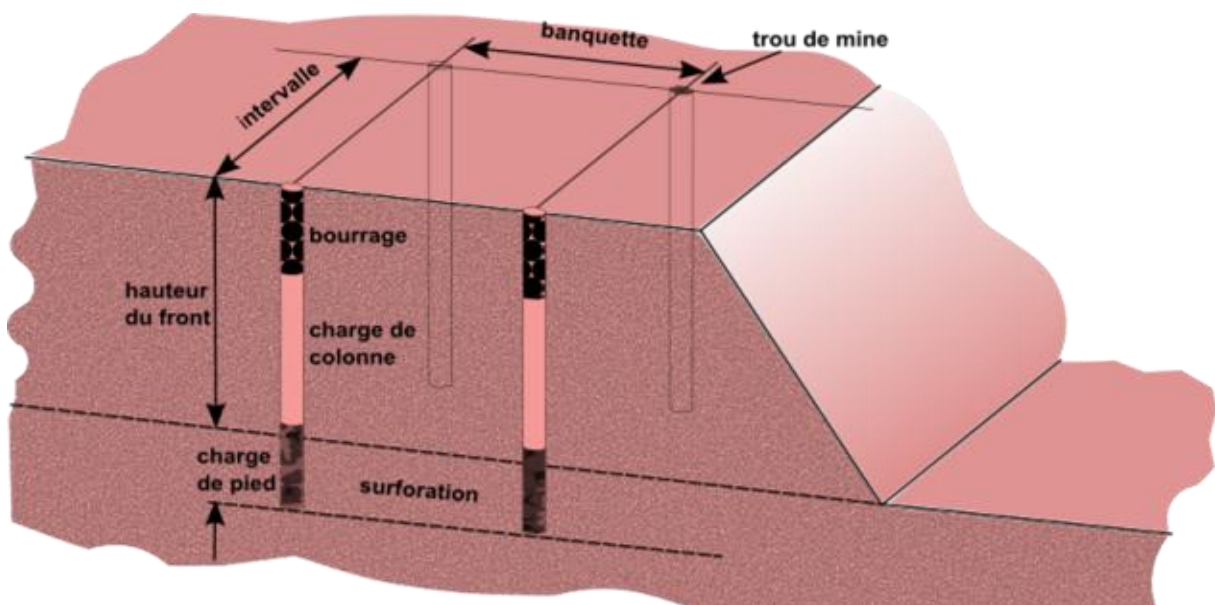
I.5. Schémas de tir

En résumé, la démarche logique pour concevoir un schéma de tir peut se faire en quatre étapes que nous rappelons :

- Recensement des données quantifiées de chantier et des équipements et formulation des objectifs poursuivis par le tir.
- Détermination des paramètres de base du tir : géométrie du front, diamètre de foration, nombre de rangées.
- Etablissement des conditions de réussite du tir : banquette, amorçage séquence d'initiation.
- Etablissement des paramètres secondaires du tir : rapport de maille, sur profondeur, bourrage.

Les principaux paramètres de la géométrie d'un plan de tir sont :

- Les banquettes = $40 \times$ diamètre de foration (entre 1,5" (38 mm) et 15" (380 mm))
- Les espacements (intervalles entre les trous de mines) = $1 \times$ banquette $<$ espacement $<$ $1,3 \times$ banquette.
- La hauteur du front,



- La surforation. [8]

Figure I.33 : paramètres géométriques d'un plan de tir. [7]***1.5.1. Schéma de tir avec leur raccordement***

Le plan de minage et la détermination des conditions de succès d'un tir sont soigneusement liés aux exigences des résultats de la foration primaire qui sont :

- La profondeur et le diamètre des trous de mines
- Le nombre de rangées

Ces exigences complètent les conditions de réussite d'un tir qui reposent principalement sur le respect de la banquette, du bourrage, de la maille de forage, de l'amorçage et la séquence d'initiation de tir.

Rappelons que la banquette est aussi considérée comme la base du prisme d'éboulement. C'est la distance maximum soit entre la première rangée des trous de mine et la surface libre du gradin pour le tir en brute dégagée (ou il n'y a pas de matelas), soit entre la première rangée de trous de mine et le matelas de roche mère pour le tir en ferme

1.5.2. Schéma de tir usuel

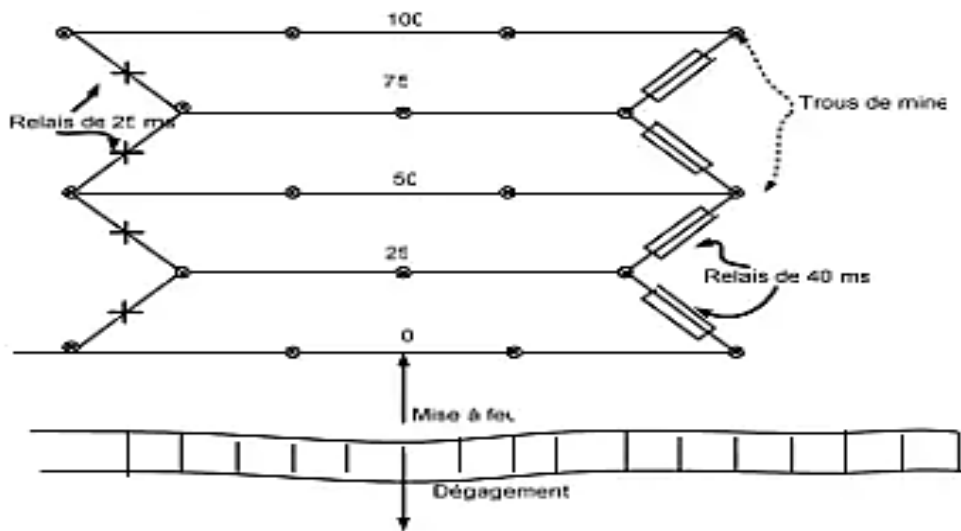
Les schémas de tirs couramment utilisés tiennent compte des contraintes du lieu où se trouve et des résultats escomptés :

- Le pendage de couche ou du gisement pour souci de sélectivité
- La présence des matériels à sauvegarder (environnement)
- Le tir en butte dégagée ou avec matelas
- Les tirs spéciaux : creusement d'un puisard

Ci-dessous nous donnons quelques types de schémas de tirs avec leurs caractéristiques. Ces derniers sont aussi valables pour des tirs au cordeau détonant et pour les tirs au nonel. [8]

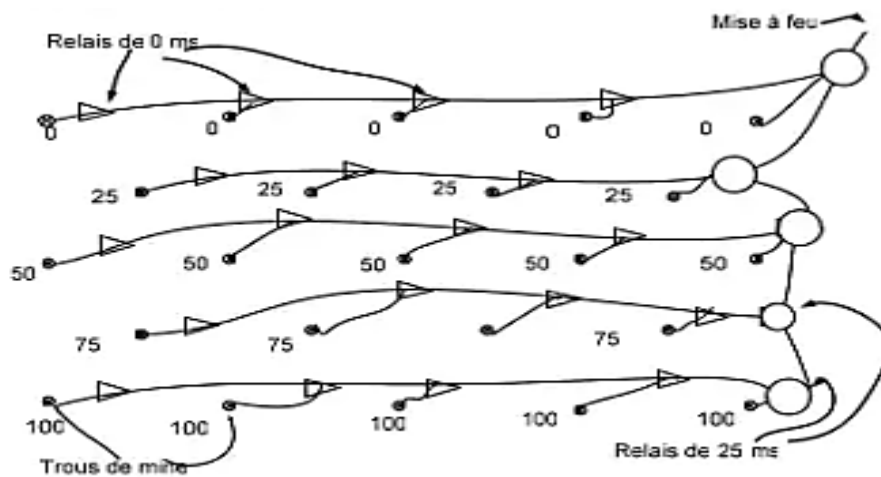
a. Schéma de raccordement rangé par rangée

- Facilité de raccordement. D'où gain de temps
- En butte dégagée entraîne trop d'étalement et de projection [8]



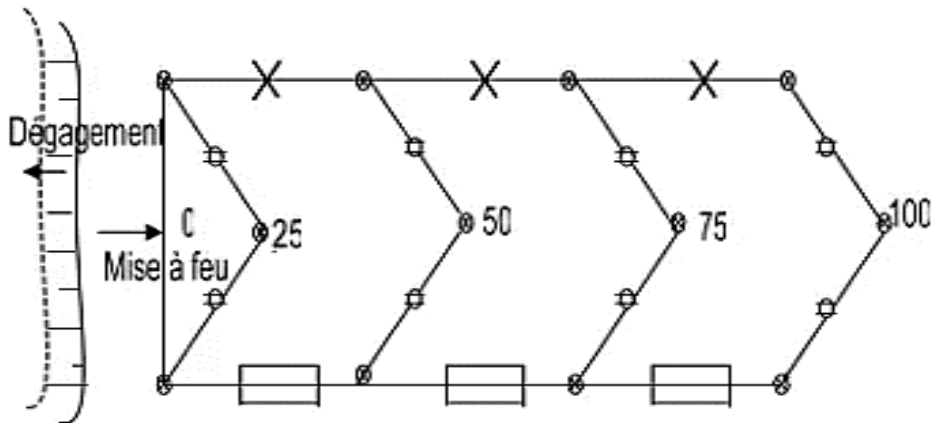
▪ Schéma de tir usuel au cordeau détonant [8]

▪ Schéma de tir usuel au Nonel [8]

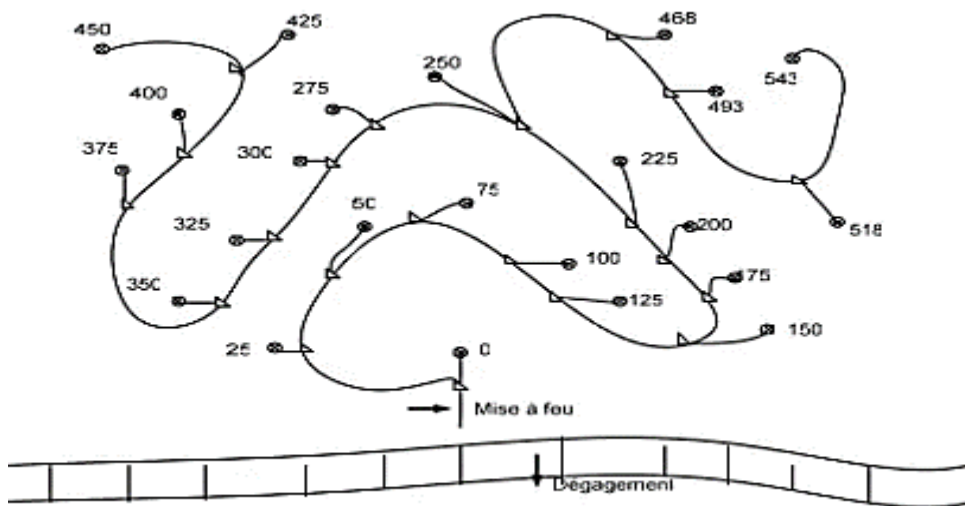


C'est un minage en ferme c'est-à-dire sans aucune surface de dégageant. Il s'applique bien dans le cas de défoncement pour la réalisation des puisards. [8]

▪ Schéma de tir usuel au cordeau détonant



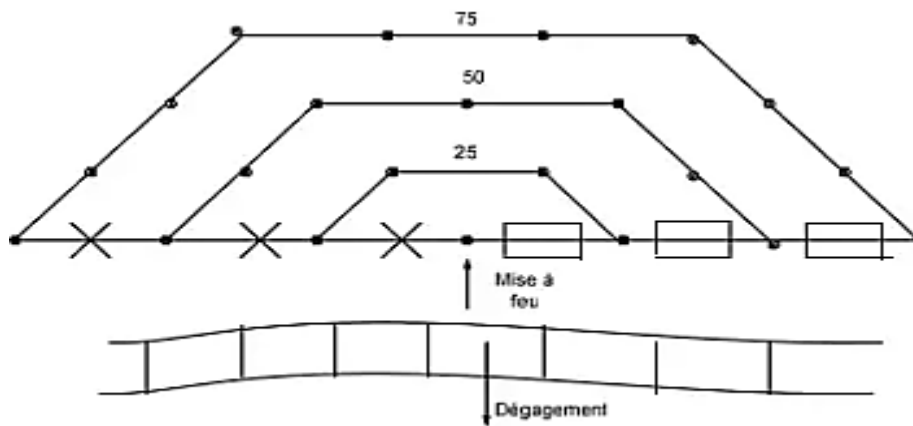
▪ Schéma de tir séquentiel trou par trou au Nonel. [8]



b. Schéma de raccordement en bouchon trapèze :

Ce schéma présente un meilleur équilibre de minage .il donne lieu à très peu ou pas de projection. [8]

▪ Schéma de tir usuel au cordeau détonant. [8]



▪ Schéma de tir usuel au Nonel

Un excellent minage se caractérise par peu ou pas de gros blocs pas de fines et de ratés, pas de pierres ou des bosses. Cela se constate d'abord à distance à partir d'un lieu où l'on puisse apercevoir les tirs. Puis sur terrain, pour se rendre compte de la diminution des blocs, des effets arrière, de l'étalement des produits (minage en butte dégagée) ; de l'effet canon, enfin au moment de l'excavation, pour compléter le constat fait après vision par appréciation de l'existence des bosses, des gros blocs et du pied de butte.[8]

Conclusion

Dans cette étude bibliographique relative aux tirs de mines on peut conclure que la fragmentation des roches est une notion complexe dans le contexte de l'exploitation des carrières qui dépend de nombreux facteurs.

Les connaissances actuelles suivant la fragmentation à l'explosif des massifs est assez limitées. En face des spécialistes des mines des exigences se posent, d'un cote fournir de grandes quantités de roche bien fragmentée pour le processus de traitement et de l'autre cote minimiser le coût. Un compromis raisonnable entre ces deux exigences incompatibles ne peut être accompli que sur la base d'une compréhension très poussée des facteurs qui contrôlent la fragmentation des roches.

Chapitre II

Présentation de l'unité

Introduction

Ce présent chapitre est consacré à l'étude géologique du gisement de calcaire d'Adrar Oufarnou, Wilaya de Bejaia, exploité par la SPA ENOF Concassage ainsi que l'estimation des réserves exploitables de ce gisements, on prend en considération la régionale du gisement, notamment ; la structure géologique, la stratigraphie.

II. 1. Présentation de l'entreprise ENOF

Le groupe ENOF (Entreprise Nationale des Produits Miniers Non Ferreux et des Substances Utiles) exploite 18 mines et carrières et produit une gamme variée de minerais, il est organisé en 6 filiales depuis le 1er janvier 2001.

Spécialisé dans l'exploitation des mines souterraines et à ciel ouvert pour la production des minerais non ferreux et des substances utiles non métalliques, le groupe ENOF a pour vocation : la production, la commercialisation et le développement des produits miniers. La diversité et la qualité de ses produits font du groupe ENOF un partenaire de choix pour les industries nationales et internationales.

Sa progression est marquée par les investissements qu'il engage chaque année dans les opérations de développement et de la mise en valeur de nouveaux gisements.[9].

II.2. Présentation de l'unité

La carrière de ADRAR OUFERNOU est la seule unité de production d'agrégats à l'échelle industriel situé sur le territoire de la wilaya de BEJAIA, elle est mise en exploitation en 1974, l'unité est axée sur la production de l'enrochement et des produits pour les projets maritimes. [10]



Figure II.1 : Le siège de l'unité en 1975 et en 2015. [10]

Tableau II.1 : liste des produits disponibles. [10]

Liste de produit	
Produit	Granulométrie
Sable	<3mm
Gravier	3/8mm
Gravier	8/15mm
Gravier	15/25mm
Ballast	25/40mm
Ballast	40/70mm
Mélange	0/40mm
TVS	

II.3. Historique de la carrière

Dans le cadre de la reconnaissance de ce gisement, l'EREM A réalisé des travaux de recherche et de prospection durant la période de 1974 à 1977. Ces travaux se résument en :

- 04 sondages carottant de différentes profondeurs ;
- Des travaux géophysiques ;
- Des levés topographiques ;

- Des prélèvements d'échantillons en surface et aux différentes profondeurs ;
- Des essais chimiques et physico-mécaniques au laboratoire ;
- Etude géologique ;
- Le calcul de réserves.

Actuellement, des essais périodiques sont réalisés pour le suivi de qualité des granulats et des mises à jour topographiques et des calculs de réserves sont réalisés annuellement. [10]

II.4. Situation géographique

Le gisement d'Adrar Oufarnou est situé à une distance de 06 km au Nord de la ville de Bejaia. Il est limité au Nord et au Nord-est par la mer méditerranéenne, au Sud par la RN24, à l'Est par Djebel Gouraya et Adrar Tabourt à l'Ouest. La carrière est accessible à partir de la route nationale RN24 par un accès de 02 km passant par le village d'Adrar Oufarnou. [10]



Figure II.2 : Carte de situation de la carrière Adrar Oufarnou (source : Google earth)

Les coordonnées du gisement d'Adrar Oufarnou sont les suivantes :

Tableau II.2 : Les coordonnées du gisement d'Adrar Oufarnou. [10]

Coordonnées de gisement					
Point	X	Y	Point	X	Y
1	681200	4073100	7	681700	4072800
2	681500	4073100	8	682000	4072800
3	381500	4073000	9	682000	4072300
4	681600	4073000	10	681400	4072300
5	681600	4072900	11	681400	4072600
6	681700	4072900	12	681200	4072600

La superficie du gisement est de 46 ha/Titre minier N° 1056 PM du 25/12/2013.



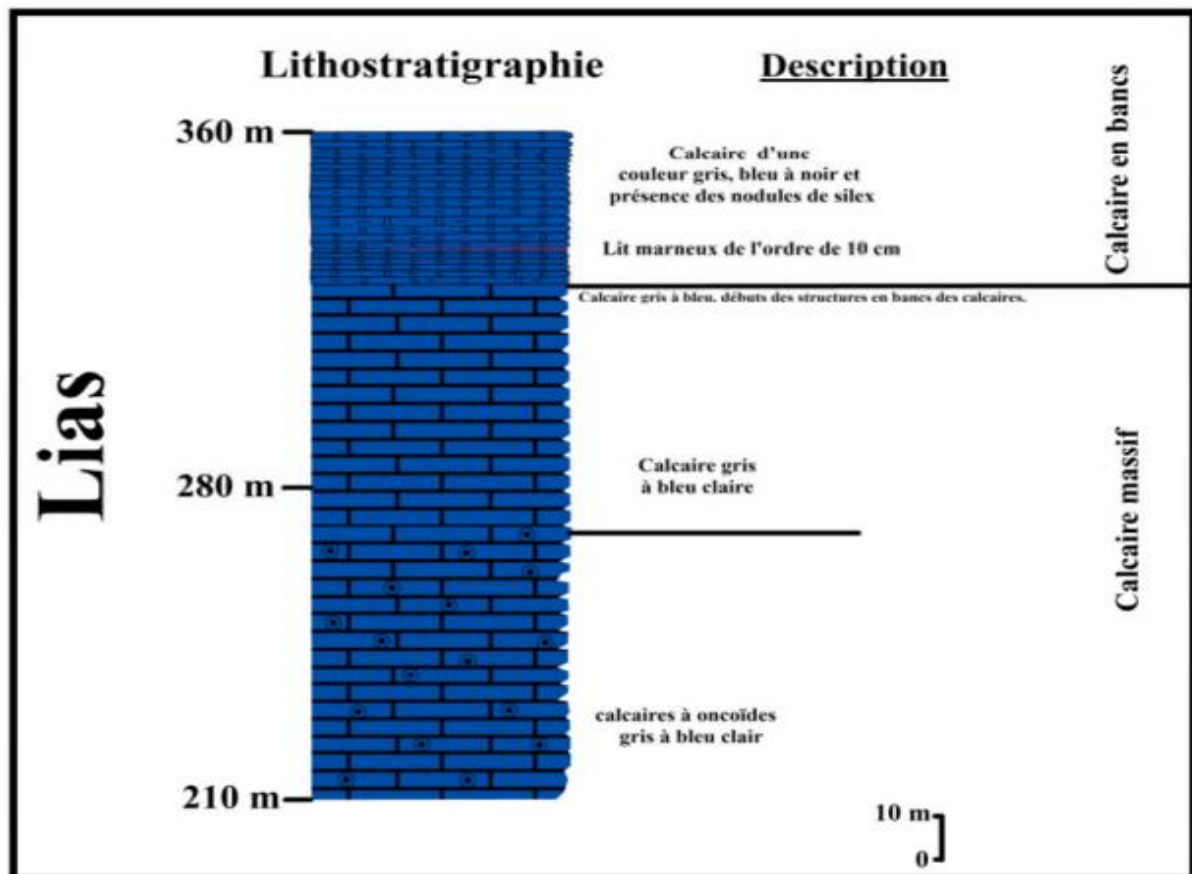
Figure II.3 : Situation géographique de la carrière Adrar Oufarnou. [10]

II.5. Stratigraphie du gisement

Les formations du territoire sont constituées essentiellement de roches sédimentaires stratifiées. Elles sont formées à la base par des calcaires massifs et dolomies du lias inférieur et par des marnes et marno-calcaires vers le sommet.

Le gisement de calcaire d'Adrar Oufarnou est caractérisé par deux structures distinctes : une structure massive à la base et une structure stratifiée vers le sommet.

- A la base : Le niveau massif est formé de roches micritiques de couleur gris clair, caractérisé par des passages fossilifères riches en pseudo oolithes et débris de fossiles (brachiopodes, foraminifères, et lamellibranches). [10]
- Au sommet : Le niveau stratifié est caractérisé par des bancs de calcaires gris bleuâtre renfermant des nodules du silex de taille millimétriques à centimétriques, vers le sommet,



les bancs de calcaires sont parfois soulignés par des interfaces marneuses. [10]

Figure I.4 : Colonne stratigraphique du gisement d'Adrar Oufarnou. [10]

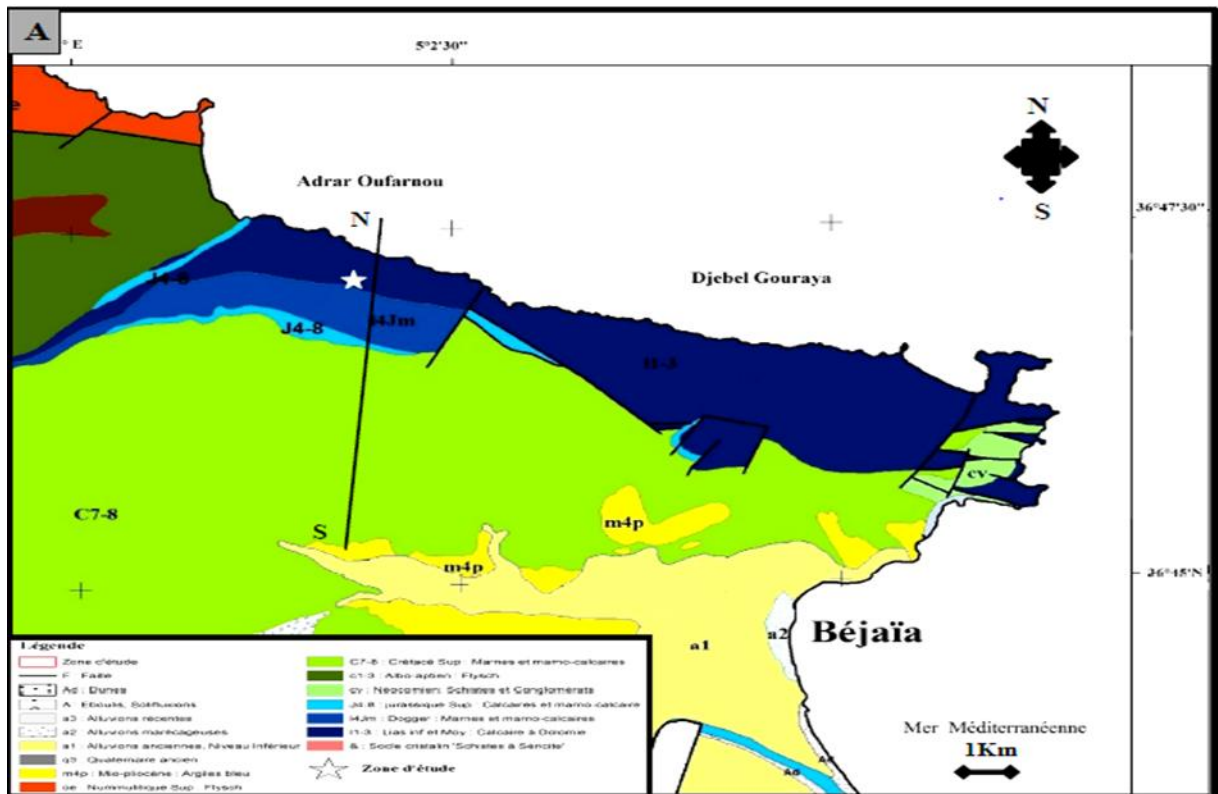
II.6. Tectonique

Le gisement d'Adrar Oufarnou représente la partie Est du grand synclinal de direction subméridionale. Il est limité à l'Ouest par l'accident d'Aghbalou qui le sépare d'Adrar Imoula d'âge Crétacé. Dans la partie Est, une faille importante d'orientation NE le sépare du massif calcaireux de Djebel Gouraya. Les calcaires du gisement ont un pendage monoclinal vers SW. Les roches sont régulières suivant la direction et le pendage. L'étude géophysique a mis en évidence deux petites failles dans la partie centrale et Est du gisement.

Deux types de fissures sont observés :

- Fissure parallèle à la stratification ;
- Fissure perpendiculaire au premier type et remplies par des filonnets de calcite ayant une puissance moyenne de 1m.

Le gisement est caractérisé aussi par la présence du phénomène karstique qui est observé sur toute l'assise exploitable. Il est plus développé dans sa partie Ouest. L'exploitation des niveaux inférieurs (240m, 230m et 220m) a mis en évidence la présence d'une poche importante à remplissage de calcite. [10]



A : Carte géologique N°26 de Béjaïa 1/50 000 ; 2ème édition réalisée par Duplan (1962)

B : Coupe géologique NS

Figure II.5: Carte géologique N026 de Bejaia 1/50000. [10]

II.7. Géologie locale

Le Djebel Adrar Oufarnou forme un anticlinal de direction E-W à flanc nord érodé. Il est formé de terrains d'âge Jurassique inférieur et moyen. Il est constitué essentiellement de calcaire massif du lias inférieur. Il est limité par deux accidents tectoniques ; un à l'Est qui le sépare du Djebel Gouraya et l'accident de Aghbalou à l'Ouest qui le sépare d'Adar Imoula. [10]

II.8. Travaux physico-mécaniques et chimiques

La moyenne des résultats des analyses physico-mécaniques effectuées sur des échantillons prélevés aux différentes profondeurs au niveau des sondages carottés sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau I.3 : Les résultats des analyses physico-mécaniques. [11]

Echantillons (une moyenne de 9 essais)	Résistance en compression (kg/cm ²)		Masse volumique absolue (t/m ³)	Porosité (%)
	Sec	Humide		
Moy.1	480	434	2.65	1.45
Moy.2	501	466	2.7	0.72
Moy.3	802	611	2.64	2.28
Moy.4	591	511	2.69	1.02
Moy.5	303	264	2.59	4.19
Moy.6	252	/	2.48	8.34
Moy.7	493	/	2.59	4.79
Moy.8	696	621	2.67	1.86
Moy.9	700	455	2.63	2.04
Moy.10	732	665	2.68	1.15
Moy.11	824	690	2.68	0.82
Moy.12	1038	914	2.67	1.04

II.9. Travaux de prospection

Dans le cadre de la reconnaissance de ce gisement, l'EREM a réalisé des travaux de recherche et de prospection durant la période de 1974 à 1977. Ces travaux se résument en :

- 04 sondages carottant de différentes profondeurs, dont le volume total est de 395,3 ml
- Des travaux géophysiques ;
- Des levés topographiques (voir annexe 1) ;
- Des prélèvements d'échantillons en surface et aux différentes profondeurs ;

- Des essais chimiques et physico-mécaniques au laboratoire ;
- Etude géologique ;
- Le calcul de réserves.

Actuellement, des essais périodiques sont réalisés pour le suivi de qualité des granulats et des mises à jour topographiques et des calculs de réserves sont réalisés annuellement. [11]

Les travaux de découverte réalisés Au niveau 290m se résument comme suit :

- La réouverture du gradin 280 m dont l'avancement des travaux est de 172 ml soit 80%. [12]



- Le dégagement de volume des stériles situé aux niveaux supérieurs ainsi que l'élargissement des plates formes 320m, 310m et 300m) avec un volume de 3 190 m³. [12]
- Le nettoyage des gradins (280m – 250m) couverts par les argiles au fur et à mesure de l'avancement de l'exploitation. [12]



- Dégagement des zones de TVC ferrugineux, altérées et des argiles aux niveaux



inférieurs de la carrière 230m, 220m ,210m estimé à 2 800 m³. [12]

Conclusion

L'unité Adrar Oufarnou est située à environ six (06) kilomètres au nord-ouest de la ville de Bejaia, sur un relief montagneux fortement boisé et escarpé, longeant la mer méditerranée et elle est entourée à l'est par le cap carbone, à l'ouest par la contrée de Boulimat et au sud en arrière-pays, par les hameaux d'Adrar Oufarnou et d'Ighil el bordj dont les constructions sont éparses. Elle est reliée par un unique accès bitumé de longueur de deux (02) kilomètres à la route nationale RN24, joignant Bejaia et Alger via la ville balnéaire d'Azzefoun et la grande métropole de Tizi Ouzou. Elle est en outre mitoyenne du Parc Naturel de Gouraya.

L'unité d'Adrar Oufarnou exploitant depuis 1978 un gisement de calcaire d'origine Sédimentaire et produisant des matériaux destinés pour un usage large : la construction, les Travaux publics et hydrauliques dans la wilaya de Bejaia et même les wilayas limitrophes pour Répondre aux besoins de ses clients tout en assurant une exploitation rationnelle de son.

Chapitre III
Travaux actuels

Introduction

L'ouverture d'un gisement a pour but de réaliser l'accès aux moyens du transport de la surface vers les niveaux des fronts, elle consiste à creuser des tranchées ou des demi tranchées qui donnent l'accès au gisement et des tranchées de découpage qui permettent de réaliser un front initial pour les travaux d'exploitations. Lors de l'exploitation d'un gisement à ciel ouvert, il est rationnel de choisir le mode d'ouverture répondant aux conditions les plus efficaces de l'exploitation. Généralement l'ouverture d'un gisement exploitable à ciel ouvert dépend des facteurs dont les principaux sont : les facteurs géologiques, miniers et économiques.

III.1. Travaux d'ouverture

III.1.1. Généralités

Après avoir élaboré le projet d'exploitation sur la base des documents géologiques et topographiques et après avoir défini la profondeur finale d'exploitation du gisement et les contours supérieur et inférieur du champ de la carrière, on passe à la réalisation qui consiste en un premier temps à la construction de la carrière à ciel ouvert. [13]

L'ouverture du gisement consiste à construire des ouvrages permettant d'accéder à un premier niveau. Cette étape comprend deux phases principales :

- La réalisation des tranchées d'accès.
- La réalisation des tranchées de découpages.

L'évolution dans le temps et dans l'espace des tranchées de découpage donne naissance aux gradins. La réalisation de ces tranchées se fait par des travaux de forage et de tir pour les gisements constitués de roches dures et très dures ou à l'aide d'excavateurs directement pour les roches de faible dureté. [13]

Lors de l'exploitation des gisements à ciel ouvert le mode d'ouverture dépend de certains facteurs qui sont :

- Les facteurs géologiques (le relief du terrain, la forme et les dimensions de la carrière, la puissance, la profondeur et le pendage du gisement).
- Les facteurs organisationnels (la productivité et la durée de vie de la carrière, durée de service des équipements adoptés, et la sécurité de travail des moyens de mécanisation).

- Les facteurs économiques (le rendement et les dépenses consenties pour la construction de la mine). [13]
- L'ouverture choisie doit assurer ;
- L'exploitation du gisement la plus rentable ;
- Le bon fonctionnement de la carrière.

III.2. Mode ouverture de la carrière d'Adrar Oufarnou

Etant donné que le gisement d'Adrar Oufarnou à Bejaia est un relief montagneux, alors le mode d'ouverture choisi pour ce type de gisement est l'ouverture par demi tranchée d'accès à partir de niveau 210 m jusqu'au sommet.

Le choix de la forme du tracé dépend de la pente, des dimensions du flanc de couteau, et de la demi-tranchée dans la carrière montagneuse ; on utilise les tracés en forme spirale.

La largeur du fond de demi-tranchée est définie par le type de transport utilisé ou par le mode de creusement, elle ne doit pas être inférieure à la somme de la largeur des moyens de transport, de la distance de sécurité, de la largeur de rigole. [14]

Le type de transport à utiliser dans la carrière d'Adrar Oufarnou est le transport par camion, la circulation se fait à doubles voies.



Figure III.1 : gradins du niveau inférieur de la carrière d'Adrar Oufarnou.

Le schéma d'ouverture du gisement d'Adrar Oufarnou (voir l'annexe2).

III.2.1. Caractéristiques technologiques de la demi-tranchée

Les demi-tranchées sont caractérisées par les paramètres suivants :

- La longueur de la demi-tranchée ;
- La largeur de la demi-tranchée ;
- La pente longitudinale ;
- L'angle du talus de la demi-tranchée ;
- Le volume de la demi-tranchée d'accès ;
- Le volume de la tranchée de découpage. [14]

a. L'angle du talus de la demi-tranchée

L'angle du talus de la demi-tranchée d'accès dépend des propriétés physiques et mécaniques des roches dont la principale la dureté des roches.

L'angle du talus de la demi-tranchée (d'accès et de découpage) est déterminé d'après le tableau suivant :

	Angle des bords des tranchées
---	--------------------------------------

Tableau III.1 : valeurs des angles des bords des tranchées en fonction de la dureté. [14]

	Dureté des roches			
Type de tranchée	2-4	5-9	10-14	14-20
Tranchée d'accès	60°	65°	70°	80°
Tranchée de découpage	60°	70°	75°	80°-85°



D'après la dureté des roches dans la carrière d'Adrar Oufernou et d'après le tableau II.1 : L'angle du talus de la demi-tranchée d'accès est de 65

b. La longueur de la demi-tranchée

D'après la topographie de la carrière d'Adrar Oufernou, la longueur de la demi-tranchée d'accès moyennement calculée est de 1,5km.

➤ **La largeur de la demi-tranchée**

Elle est définie par le type de transport utilisé, dans la carrière d'Adrar Oufernou le type de transport utilisé est le camion. [14]

Figure III.2 : la largeur de la demi- tranchée d'accès (Adrar Oufernou)

La formule selon laquelle on détermine la largeur de la demi-tranchée d'accès est la suivante :

$$b_{tr} = 2 \cdot l_c + 2 \cdot B_c + m ; (m)$$

Où :

- l_c : largeur du camion ;
- B_c : l'accotement ;
- m : la distance de croisement (distance entre les camions).

➤ **La pente longitudinale**

La pente longitudinale de la demi-tranchée d'accès est généralement déterminée en fonction du type de transport utilisé, dans le cas du transport par camion la pente varie de 6 à 12%. Dans le cas de la carrière d'Adrar Oufernou la pente est de l'ordre de 12%. [14]

➤ **Le volume de la demi-tranchée d'accès**

Le volume de la demi-tranchée d'accès est déterminé d'après la formule suivante :

$$V_{dt} = \frac{b_{tr}^2 \cdot \sin \alpha_d \cdot \sin \beta_f \cdot L_d}{2 \cdot \sin(\alpha_d - \beta_f)} m^3$$

Où :

- b_{tr} : largeur de la demi-tranchée d'accès ;
- α_d : l'angle du talus de la demi-tranchée d'accès ;
- β_f : l'angle du flanc de coteau ;
- L_d : longueur de la demi-tranchée d'accès.

➤ **Le volume de la tranchée de découpage**

La tranchée de découpage est la tranchée qui dessert les gradins. Elle permet à partir de la tranchée d'accès de relier le gradin afin de procéder à l'extraction du minerai. [14]

$$V_{trd} = \frac{b_{trd}^2 \cdot \sin \alpha_d \cdot \sin \beta_f \cdot L_d}{2 \cdot \sin(\alpha_d - \beta_f)} m^3$$

Où :

- $b_{déc}$: largeur de tranchée de découpage ;
- $b_{déc} = 2 \cdot (R_b + 0,5 \cdot l_c + B_c)$
- R_b : rayon de braquage de camions ;

- l_c : largeur de camions ;
- B_c : L'accotement ;
- $\alpha_{\text{déc}}$: Angle de bord de la tranchée de découpage ;
- L : longueur de tranchée de découpage ; β : L'angle du flanc de coteau.

Tableau III.2 : les valeurs des paramètres de tranchée de découpage et demi-tranchée d'accès. [14]

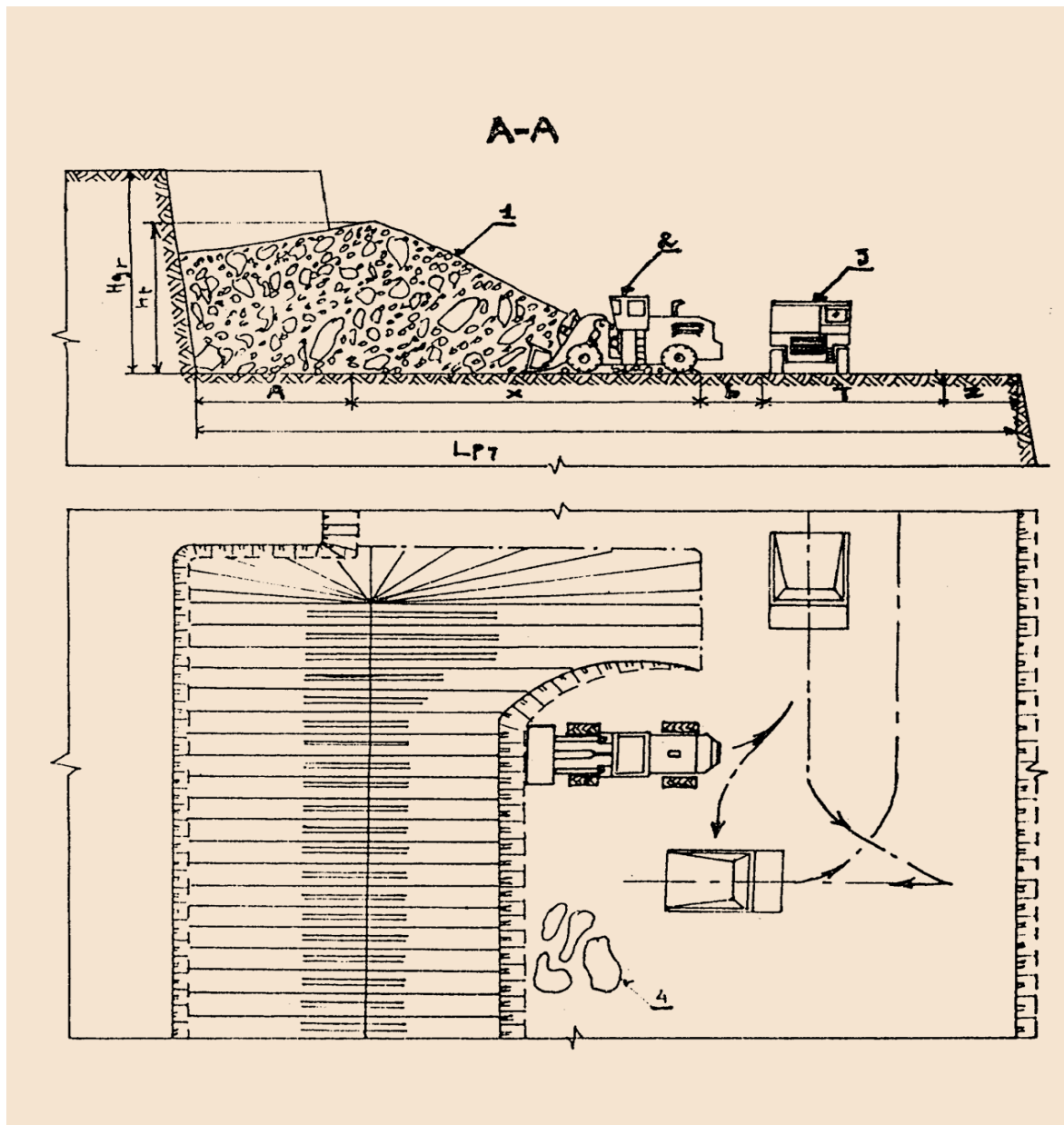
Paramètres	Symboles	Valeurs	Unités
L'angle du talus de la demi-tranchée d'accès	Ad	60	Degré
L'angle du talus de la tranchée de découpage	Adéc	70	Degré
Longueur de la demi-tranchée d'accès	L _d	1500	M
Longueur de la tranchée de découpage	L	200	M
Largeur de la demi-tranchée d'accès	b _{tr}	11	M
Largeur de la tranchée de découpage	Bdéc	24	M
Volume de la demi-tranchée d'accès	V _{dt}	54075,82	m ³
Volume de la tranchée de découpage	V _{trd}	32349,79	m ³

III.3. Système d'exploitation utilisé dans la carrière

D'après les données topographiques et géologiques, le gisement de calcaire de la carrière d'Adrar Oufarnou est à relief montagneux, avec un angle de pendage $\alpha = 28\%$ ce qui fait 25° .

Dans la carrière d'Adrar Oufarnou la méthode d'exploitation appliquée est avec transport, la pratique d'exploitation dans les conditions du gisement d'Adrar Oufarnou est de haut en bas, les travaux d'extraction sont caractérisés par un avancement du chantier et des fronts du travail dans le temps et dans l'espace.

La figure au-dessous définit de manière brève la méthode d'exploitation par forçage dans la carrière d'Adrar Oufarnou. [15]



Légende :

- 1 : tas de roches abattues ;
- 2 : chargeuse sur pneus ;
- 3 : camions ;
- 4 : blocs hors gabarits.

Figure III.3 : Méthode d'exploitation dans la carrière d'Adrar Ouferrou. [15]

III.3.1. Détermination des paramètres de la méthode d'exploitation :

III.3.1.1. La hauteur du gradin « H_{gr} »

Lors de la détermination de la hauteur des gradins, il faut tenir compte les principaux facteurs tels que :

- Les propriétés physiques et mécaniques des roches (stériles et minéral) ;
- Les puissances des couches du stériles et du minéral ;
- Les paramètres des équipements miniers et surtout des équipements de chargement à employer ;
- La stabilité des roches ;
- La hauteur du gradin doit assurer ;
- La sécurité de travail ;
- Le rendement efficace des équipements miniers ;
- La production de la carrière.

D'après la dureté des roches, la hauteur des gradins dépend de la hauteur de creusement de l'engin d'excavation et de chargement. [15]

- Pour les roches qui ne nécessitent pas des travaux de forage et de tir :

$$H_g \leq H_c^{\max} ; m$$

- Pour les roches qui nécessitent des travaux de forage et de tir :

$$H_g \leq 1.5 H_c^{\max} ; m$$

Où :

- H_g : hauteur du gradin.
- $H_{c_{\max}}$: Hauteur de creusement maximum de l'engin d'extraction.

Dans la carrière d'Adrar Oufernou, l'abattage des roches se fait par travaux de forage et de tir, dont la hauteur du gradin varie entre 10 et 12m.

III.3.1.2. Largeur de l'enlevure

Lors du choix de la largeur d'enlevure, on prend en considération :

- Les propriétés des roches
- Mode d'abattage des roches
- Type et dimensions des engins de chargement

Lors de l'exploitation de roches dures avec l'abattage à l'explosif la largeur d'enlevure se détermine par la formule suivante :

$$A=W+(n-1) *b, m.$$

Où :

- W : La ligne de moindre résistance ;
- n : Nombre de rangées ;
- b : Distance entre 2 rangées successive ;

III.3.1.4. Largeur de la plate-forme de travail

La largeur de plateforme de travail est déterminée en fonction de :

- Dimensions du tas des roches abattues ;
- Paramètres techniques des engins de chargement et transport.

Dans les carrières, on essaye toujours de réaliser les plates-formes de largeur suffisante pour assurer des bonnes conditions de travail aux équipements miniers afin s'obtenir un bon rendement et d'assurer la sécurité de travail.

Lors de l'abattage des roches par l'explosif, et transport par camion la largeur de plateforme de travail est déterminée par la formule suivante :

$$L_{pt} = A + X + C + T + B_a + Z ; m$$

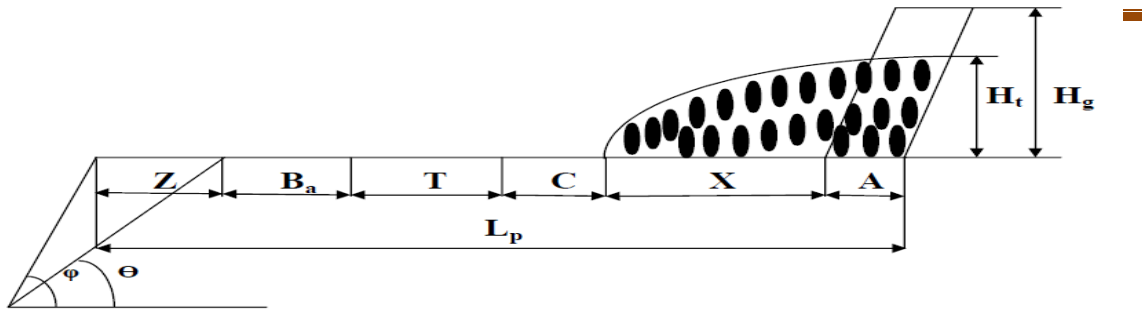


Figure III.4 : présentation des éléments de la plateforme de travail. [15]

Où :

- **A**: largeur d'enlevure
- **X**: largeur réduite du tas de roches abattues :

$$X = A \times \left(\frac{2 \times K_f \times H_g}{H_t} - 1 \right) ; m$$

Avec:

- **K_f** : coefficient de foisonnement, $K_f = [1,4 \div 1,9]$;
- **H_t** : hauteur du tas abattu ;
- **C**: Distance entre l'arête inférieur du gradin et de la berme de transport.

$$C = 0,2 \times H_g ; m$$

- **T** : Largeur de la chaussée de transport ;
- **Ba**: largeur de la bande auxiliaire destinée pour l'emplacement des engins ou installations auxiliaire ($B_a = 0,4 \text{ à } 1$) ;
- **Z** : largeur du prisme d'éboulement.

$$Z = H_g \times (\tan^{-1}\theta - \tan^{-1}\varphi) ; m \text{ [V. 7]}$$

Avec:

- **φ** : angle de talus de gradin avant l'éboulement ($\varphi = 80^\circ$) ;
- **θ** : angle de talus de gradin après l'éboulement ($\theta = 65^\circ$) ;

La largeur de la plateforme au niveau de la carrière d'Adrar Oufernou est égale à :

$$L_{pt} = 37,33 \approx 38m.$$

III.4. Les paramètres de forage et de tir

III.4.1. Travaux de Forage

Le choix du mode de forage dépend des propriétés physico-mécaniques des roches, de la profondeur du forage à réaliser et de son diamètre.

Dans les conditions de la carrière d'Adrar Oufernou, on utilise la sondeuse de type ATLAS COPCO 580Y avec un diamètre de forage égal à 89mm.

Les engins de forage utilisés dans la carrière d'Adrar Oufernou sont deux types : la sondeuse ATLAS COPCO 580Y et le chariot de forage, les deux ont le mode de forage roto percutant.

La sondeuse ATLAS COPCO 580Y est la plus utilisée car elle est plus performante que le chariot de forage. La sondeuse est utilisée pour la foration des trous inclinés sur des plates formes de travail bien nivelées. Ces caractéristiques sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.3 : Caractéristiques techniques de la sondeuse ATLAS COPCO 580Y. [15]

Marque	ATLAS COPCO
Type	ECM-580Y
Puissance du moteur	127 KW
Diamètre du trou	89 mm
Direction de forage	60°-90°
Vitesse de rotation	0-132 tr/min
Vitesse de déplacement	3Km/h
Profondeur maximale de forage	30m
Force de traction	78,5KN
Poids	10,5t



Figure III.5 : La sondeuse ATLAS COPCO580Y



Figure III.6 : sondeuse

III.4.2. Travaux de tir

Tous les paramètres des travaux de forage et de tir réalisés à la carrière d'Adrar Oufernou sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : tableau récapitulatif des Paramètres des travaux de forage et de tir (variante proposée). [15]

Désignation	Mesure	Symbole	Gradin Niv.290 m
Diamètre	(mm)	D	89
_Hauteur du front de taille « Gradin »	(m)	H _{gr}	12
Angle de Foration	(degré)	β	90°
Profondeur de trou de mine	(m)	L	13
Ligne de moindre résistance	(m)	W	3

Distance la plus proche du tir	(m)	-----	500
Distance entre les trous	(m)	a	3.5
Distance entre les rangées	(m)	b	3.3
L'inclinaison du gradin	Degré		75
Surforation	(m)	Sf	01
Hauteur de bourrage supérieur	(m)	Hb _{sup}	03
Hauteur de la charge	(m)	Hf	09
Charge d'un trou	(Kg)	Qt	37.5
Nombre de trous total	-	NT	50
Nombre de rangées	--	Nr	02
Nombre de trous par rangées	--	Nrang / Ntr	1/29 ; 2/21
Charge d'explosif ANFOMIL	(Kg)	Vrac	1000
Charge d'explosif MARMANIT	(Kg)	Diamètre 65	875
Cordeau détonant	(12g)	MI	700
Charge instantanée	(Kg)	Qi	160
Consommation spécifique	(g/t)	Qs	150
Profondeur de trou de mine	(m)	L	03

III.5. Plan de tir utilisé dans la carrière

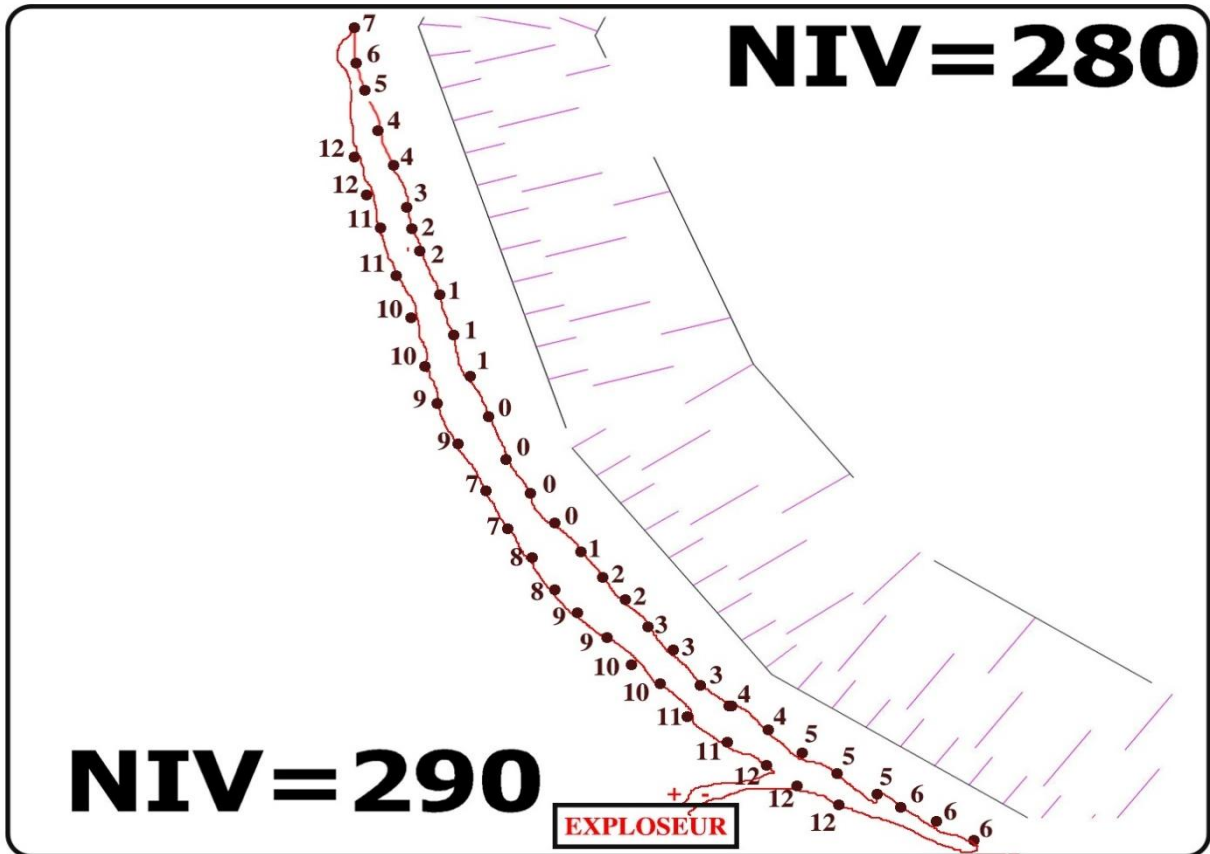


Figure III.7. Schéma de la volée au niveau 290 de la carrière Adrar Oufarnou

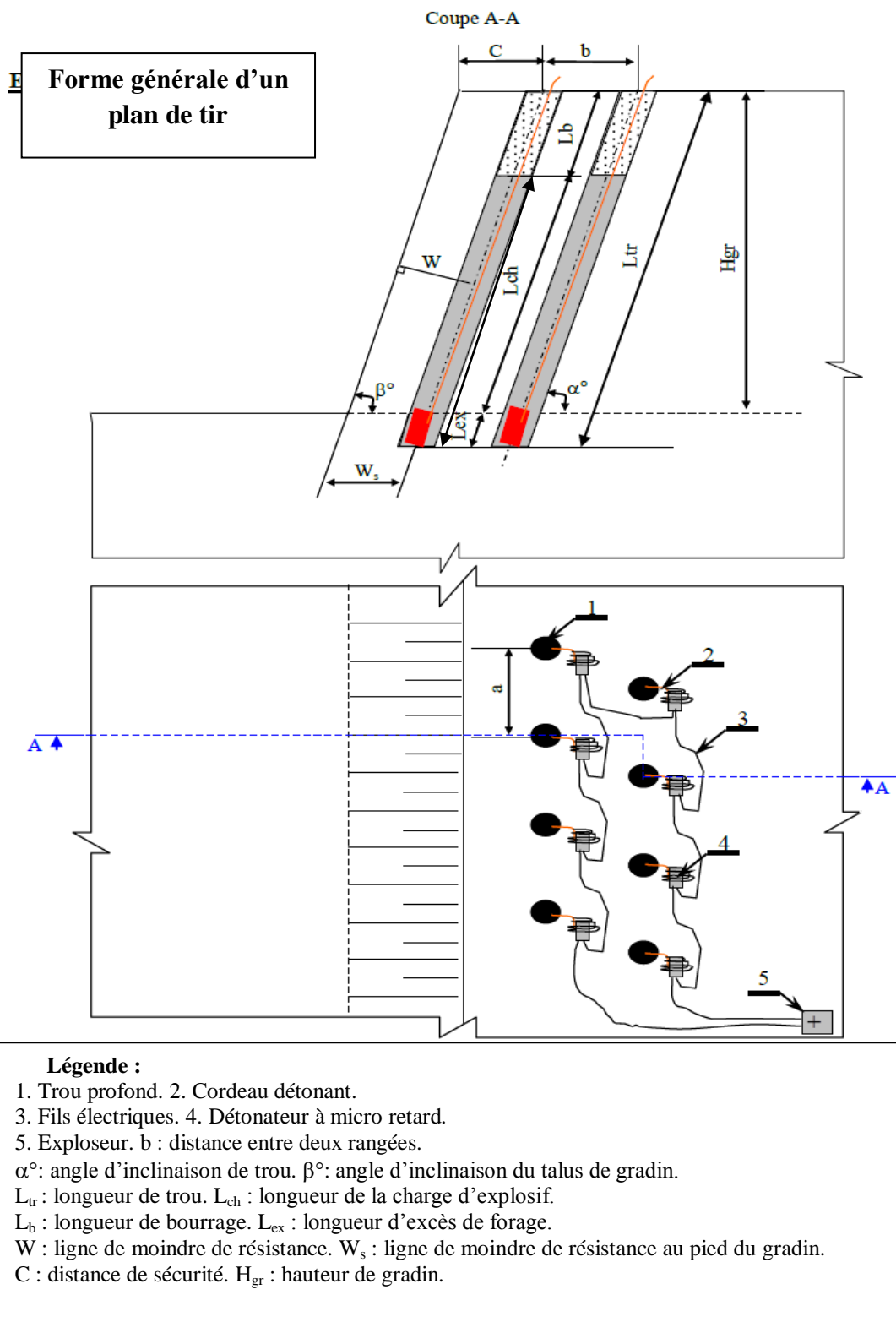


Figure III.8 : Exemple de plan de tir existant au niveau de la carrière d'Adrar Oufernou.

[15]

III.6. Chargement

La production de la carrière est conditionnée par les engins de chargement. Le choix de ces engins dépend essentiellement de la production escomptée. Il s'avère comme le principal poumon de la chaîne technologique de l'exploitation minière à ciel ouvert. On constate l'obsession des entreprises à produire plus, ce qui les pousse à accroître considérablement les capacités des engins de chargement. Les engins de chargement et d'excavation utilisés dans les carrières sont les excavateurs à godet unique (ou multiple). [16]

III.6.1. Description des engins de chargement existant au niveau de la carrière d'Adrar Oufernou

Le moyen matériel utilisé pour assurer le chargement au niveau de la carrière est donné dans le tableau ci-dessous selon disponibilité :

Tableau III.5: Moyens matériels chargements

<i>Désignation des équipements</i>	<i>Affectation</i>	<i>Capacité En tonne</i>	<i>Année D'acquisition</i>	<i>Taux de dispo %</i>	<i>Rendement tonne /poste</i>
Pelle CAT 345D	Carrière	5	2011	41	1 395
Pelle J – DEERE	Carrière/ station	8	2013	65	2457

A la carrière d'Adrar Oufernou, il existe la chargeuse sur pneus : Pelle CAT 345D. Ces caractéristiques techniques sont notées dans le tableau suivant :

Tableau III.6: caractéristiques techniques de la chargeuse Pelle CAT 345D

Marque	CAT
Type	345D
Capacité du godet	3,2
Largeur du godet	1,5m
Hauteur de diversement	7,041m
Puissance du moteur	283 Kw
Vitesse de rotation du moteur	1800 tour/min
Force d'extraction	235 KN
Poids	57,87t



Figure III.9 : chargeuse sur pneu Pelle CAT 345D

III.7. Transport

Le transport est un processus d'une importance capitale dans les travaux miniers, car il assure la liaison entre le lieu d'extraction de la matière première et le lieu de la transformation, mais son choix est basé sur des calculs selon les conditions d'utilisation et le lieu de travail. [16]

Le transport de TV Carrière au niveau de l'unité est assuré par les camions carrière avec des capacités de bennes différentes :

- 01 Terex400 de 32 tonnes.
- 02 Terex35 de 28 tonnes.
- 01 Dumper RD32 de 25 tonnes.
- 01 Dumper RD28 de 22 tonnes.



Figure III.10 : camion carrière

<i>Désignation des équipements</i>	<i>Affectation</i>	<i>Capacité En tonne</i>	<i>Année D'acquisition</i>	<i>Taux de dispo %</i>	<i>Rendement tonne /poste</i>
TerexTA 400	Carrière	32	2013	73	357
Terex TR 35-1	Carrière	28	2015	73	278
Terex TR 35-2	Carrière	28	2015	95	362
ASTRA RD 32	Carrière	25	2007	40	136
ASTRA RD 28	Carrière	22	2004	45	135

Tableau III.7: Moyens matériels transport

III.8. Concassage

Les capacités théoriques de traitement de la station de concassage de la carrière sont de l'ordre de 200 tonnes /heure. Elles ont été installées pour l'essentiel durant le projet 1978 avant de subir au fur et à la mesure d'évolution du marché local des granulats des modifications structurelles importantes.

C'est ainsi que :

- En 1986-1988 l'unité a procédé au renouvellement du concasseur tertiaire GARNIER CAH500 par des concasseurs de type ALSTHOM.
- En 2003, l'unité s'est vue renforcée ses capacités de production par l'acquisition d'un broyeur à sable de marque KRUPP pour pouvoir honorer ses engagements face à une demande de plus en plus importante. [15]
- En 2008, un nouveau concasseur à percussion (secondaire) de marque ARJA, est livré à l'unité pour réhabiliter de façon durable ses capacités de traitement et elle a été mise.

– En jonction avec le concasseur primaire GRANIER qui subit à son tour une rénovation importante.

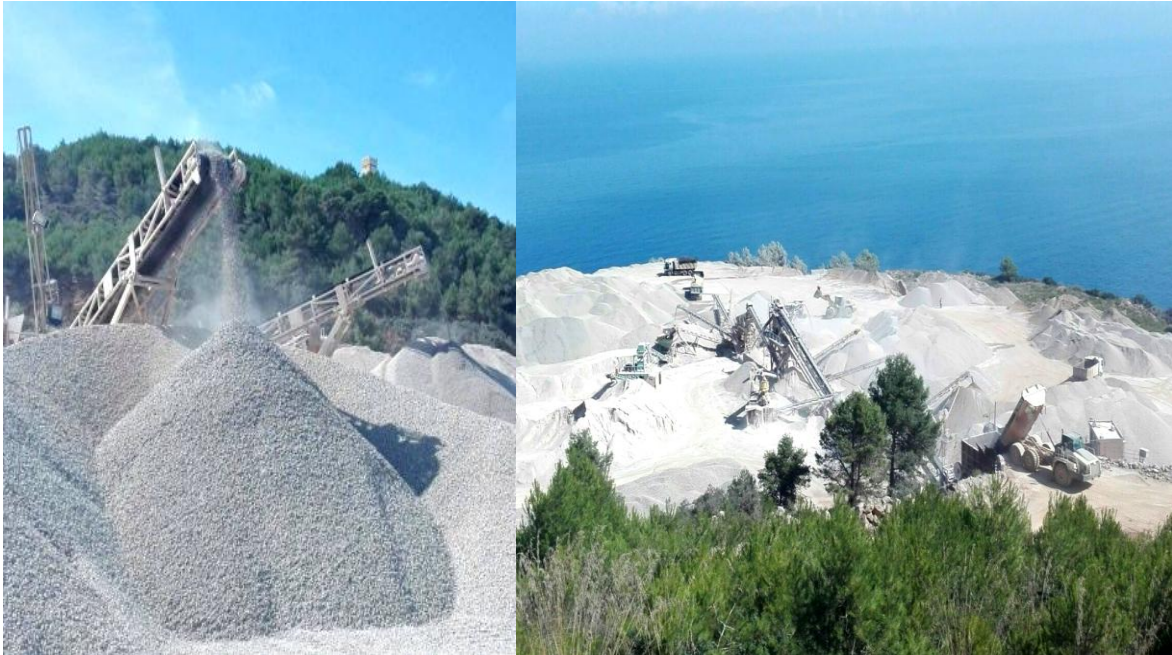


Figure III.11 : Vue générale de la station de concassage de l'unité Adrar Oufarnou

III.8.1. Etat des équipements et capacités

➤ **Capacité et taux de disponibilité des installations fixes**

Les capacités théoriques des installations fixes sont comme suit :

Concasseur à mâchoire (primaire)	: 200 t/h
Percuteur ARJA (secondaire)	: 200 t/h
Concasseur ALSTHOM (tertiaire)	: 54 t/h
Broyeur KRUPP (tertiaire)	: 50 t/h

Conclusion

Généralement l'ouverture d'un gisement exploitable à ciel ouvert dépend des facteurs dont les principaux sont : les facteurs géologiques, miniers et économiques.

La méthode d'exploitation adoptée dans la carrière d'Adrar Oufernou se fera en partant du haut à partir du niveau 360 m jusqu'au niveau inférieur par des gradins de hauteur $H_{gr} = 10$ m. c'est une méthode d'exploitation simple selon les travaux de forage et de tir a un bord exploitable.

Les travaux de chargement et de transport représentent l'un des principaux processus lors de l'exploitation des carrières ou des mines à ciel ouvert, car ils influent sur le prix de revient des minéraux utiles. Pour cette raison, Le fonctionnement de la carrière est organisé autour des engins choisis pour le chargement et le transport des roches abattues.

Cadre pratique

Chapitre IV

Présentation et discussion des résultats

Introduction

Dans le but de bien mener notre étude d'optimisation des paramètres de tir afin d'améliorer la fragmentation lors de l'abattage d'un massif rocheux, en recalculant quelque paramètre influençant ce dernier au niveau de la carrière d'Adrar Oufarnou.

Les sorties de terrain pour la partie inférieure du gisement a permis de détecter des problématiques pour une meilleure fragmentation des roches dont les hors gabarits et les pieds de gradins.

Dans ce qui suit la présentation des résultats, leur interprétation et une timide étude comparative.

IV.1. Analyse des causes

Etude des causes de provenance des hors-gabarits et pied de gradin, pour les principales causes qui provoquent le taux élevé de ces derniers, on peut citer :

- La foration des tous verticalement ;
- Mauvaise construction de la charge ;
- Mauvais mode d'initiation de la charge ;
- Dimensions de la maille ;
- L'excès de forage.



FigureIV.1 : photo du pied de gradin prise sur le terrain



Figure IV.2 : photo des hors gabarits prise sur terrain

IV.2. Calcul des paramètres des travaux de forage et de tir

Dans le calcul des paramètres du plan de tir que nous proposons pour la carrière d'Adrar Oufarnou, nous prendrons en considération la hauteur du gradin ($H_g=12m$), le diamètre du trou adapté dans la carrière ($D_{tr}=89mm$) pour une production annuelle de ($P_{an} = 600000t$), dont la dureté de roche qui est de ($f=12$).

IV.2.1. Résistance des roches au tir (tirabilité)

La résistance des roches au tir est caractérisée par l'indice de la consommation spécifique d'explosif étalonné, cet indice a été proposé par l'académicien RJEVSKY. Elle se détermine par la formule suivante :

$$q_{et} = 0,02 * (\delta_{comp} + \delta_{tr} + \delta_{dép}) + 2 * \gamma \text{ (g/cm}^3\text{)} \text{ (III.1)}$$

Où :

- δ_{comp} : limite de la résistance de compression, kgf/cm^2

$$\delta_{\text{comp}} = 100 * f$$

$$\delta_{\text{comp}} = 100 * 7$$

$$\delta_{\text{comp}} = 700 \text{ kgf/cm}^2$$

- f : la dureté de la roche, f=7 ;
- δ_{tr} : limite de la résistance à la traction, kgf/cm² ;

$$\delta_{\text{tr}} = (0,08 \div 0,12) \delta_{\text{comp}}$$

$$\delta_{\text{tr}} = 0,1 * 700$$

$$\delta_{\text{tr}} = 70 \text{ kgf/cm}^2$$

- $\delta_{\text{dép}}$: limite de la résistance au déplacement, kgf/cm² ;

$$\delta_{\text{dép}} = (0,2 \div 0,33) \delta_{\text{comp}}$$

$$\delta_{\text{dép}} = 0,25 * 700$$

$$\delta_{\text{dép}} = 175 \text{ kgf/cm}^2$$

- γ : la masse volumique de la roche, t/m³, $\gamma = 2,7 \text{ t/m}^3$;

Donc :

$$q_{\text{et}} = 0,02 * (700 + 70 + 175) + 2 * 2,7$$

$$q_{\text{et}} = 24,3 \text{ g/cm}^3$$

Suivant la valeur de la consommation spécifique d'explosif étalon, les roches sont classées selon le tableau suivant :

Tableau IV.1: classification des roches selon l'indice de tirabilité.

Classes	q_{et} (g/cm ³)	Type de tirabilité
I	≤10	Facile
II	10,1÷20	Moyenne
III	20,1÷30	Difficile
IV	30,1÷40	Très difficile
V	40,1÷50	Exclusivement difficile

Le calcaire de la carrière d'Adrar Oufernou est difficile.

IV.2.2. La consommation spécifique d'explosif du projet

Dans notre projet, on essaie de déterminer la consommation spécifique d'explosif dans les conditions minières d'Adrar Oufernou est donnée par la formule suivante :

$$q_p = q_{ét} * k_{ex} * k_f * k_d * k_c * k_v * k_{sd} ; g/m^3$$

Où :

$$q_{ét} = 24.3 \text{ g/cm}^3$$

k_{ex} : coefficient qui tient compte de la différence d'aptitude au travail de l'explosif étalon à celle de l'explosif utilisé.

$$K_{ex} = \frac{A_{ét}}{A_u}$$

– $A_{ét}$ et A_u sont respectivement les aptitudes au travail de l'explosif étalon et de l'explosif utilisé.

$$A_{ét} = 360 \text{ cm}^3 \text{ (Ammonite).}$$

$$A_{ét} = \frac{A_{info} * 63 + A_{mar} * 37}{100}$$

- $A_{anf} = 320 \text{ cm}^3$ (ANFOMIL) explosif en colonne ;
- $A_{mar} = 360 \text{ cm}^3$ (MARMANITIII) explosif d'amorçage.

$$A_{et} = \frac{320 * 63 + 360 * 37}{100}$$

$$A_{ut} = 334.8 \text{ cm}^3$$

Donc :

$$K_{ex} = \frac{360}{336}$$

$$k_{ex} = 1,07$$

- k_f : coefficient qui tient compte de la fissuration d'explosif.

$$k_f = 1,2 * l_m + 0,2$$

Où :

- l_m distance moyenne entre deux fissures, pour notre cas elle est de 1m.

Tableau IV.2: catégorie de fissuration des roches

Catégorie	Roches	Distance entre les fissures	Densité de fissuration Nombre de fissures par mètre linéaire
I	Extrêmement fissurées	<0,1	>0,1
II	Très fissurées	0,1-0,5	20-10
III	Fissuration moyenne	0,5-1,0	1,0-2,0
IV	Peu fissurées	1,0-1,50	1,0-0,65
V	Monolithe, non fissurées	>1,50	<0,65

$$k_f = 1,2 * 1 + 0,2$$

$$k_f = 1,4$$

- k_d : coefficient qui tient compte du degré de fragmentation nécessaire.

$$Kd = \frac{0.5}{c}$$

$$Kd = \frac{0.5}{dm}$$

$$dm = 170 * \sqrt[3]{E}$$

$$\mathbf{Dm = 0,25 m}$$

Avec :

- d_m : la dimension moyenne des morceaux de la roche fragmentée ; (m).

Alors :

$$\mathbf{k_d=2}$$

- k_c : coefficient qui tient compte du degré de concentration réelle de la charge.

Pour les roches à tirabilité moyenne ; $k_c=0,7\div 0,8$

On prend :

$$\mathbf{k_c=0,8}$$

k_v : coefficient qui tient compte de l'influence du volume de la roche fragmentée avec la hauteur de gradin.

On a :

$$Hg \leq 15 \text{ donc } K_v = \sqrt[3]{(15/Hg)}$$

$$K_v = \sqrt[3]{(15/12)}$$

$$\mathbf{k_v=1,08}$$

k_{sd} : Coefficient qui tient compte du nombre de surface libre ; pour notre cas il y a trois surfaces libres qui correspondent à la valeur 6.

Tableau IV.3 : Choix de Ksd en fonction du nombre de surfaces libres.

Nombre de surfaces libres	Ksd
06	01
05	02
04	04
03	06
02	08
01	10

ksd =8

Donc :

$$q_p = q_{ét} \cdot k_{ex} \cdot k_f \cdot k_d \cdot k_c \cdot k_v \cdot k_{sd}$$

$$q_p = 24.3 \cdot 1,07 \cdot 1,4 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 1,08 \cdot 8$$

$q_p = 503.21 \text{ g/m}^3$

IV.2.3. Production hebdomadaire

$$Ph = \frac{Pan}{Ns/an} \cdot 1 / \gamma ; \text{ m}^3$$

$$Ph = \frac{600000}{52.14 \cdot 2.7} ; \text{ m}^3$$

Ph = 4262.03 m³

IV.2.4. La surforation du trou

$$Lex = Ks * Dtr \text{ (m)}$$

Avec :

$$Ks = [10 ; 15]$$

Donc :

$$Lex = 12 * 0.089$$

$$\mathbf{Lex = 1.07m}$$

IV.2.5. La longueur du trou

$$Ltr = (Hg / \sin \beta) + Lex \text{ (m)}$$

$$Ltr = (12 / \sin 85) + 1.07$$

$$\mathbf{Ltr = 13.13m}$$

*IV.2.6. Les principaux paramètres de l'emplacement des trous**IV.2.6.1. La banquette*

Tableau VI.4 : Calcul de la banquette en fonction de la résistance a la destruction.

Résistance à la destruction Ides	W = ; [m]
Facile	45*Dtr
Moyenne	40*Dtr
Difficile	35*Dtr

$$W = 35 * Dtr$$

$$W = 35 * 0.089$$

$$\mathbf{W = 3.11 m}$$

IV.2.6.2. Distance entre deux trous successifs dans une rangée

$$a = m \cdot W ; [m]$$

– **m** : coefficient de rapprochement des trous

Avec :

$$m = 1.66 - 0.066 \cdot f$$

$$\mathbf{m = 1.2}$$

Donc :

$$a = 0.868 \cdot 3.11$$

$$\mathbf{a = 3.72 \text{ m}}$$

IV.2.6.3. Distance entre deux rangées

$$b = W$$

$$\mathbf{b = 3.11 \text{ m}}$$

IV.2.7. Volume du trou

$$V_{tr} = H_g \cdot a \cdot W$$

$$\mathbf{V_{tr} = 139.04 \text{ m}^3}$$

IV.2.8. Quantité d'explosif dans un trou

$$Q_{tr} = q \cdot V_t$$

$$Q_{tr} = 503.21 \cdot 139.04$$

$$\mathbf{Q_{tr} = 69.93 \text{ kg/trou}}$$

IV.2.9. Charge métrique du trou

$$P = 0.785 * D_{tr}^2 * \Delta ; [\text{kg/m}]$$

Avec :

– Δ : la densité moyenne des explosifs

$$\Delta = \frac{\Delta_{info} * x\% + \Delta_{mar} * y\%}{100}$$

La construction de la charge dans la carrière d'Adrar Oufarnou est de 63% pour l'ANFOMIL et 37% pour la MARMANIT. Pour notre calcul on prendra les mêmes valeurs.

$$\Delta = \frac{0.85 * 63 + 1 * 37}{100}$$

$$\Delta = 0.9$$

Donc :

$$P = 0.785 * 0.089^2 * 0.9 ; [\text{kg/m}]$$

$$P = 5,59 [\text{kg/m}]$$

IV.2.10. Longueur de la charge dans un trou

$$L_{ch} = \frac{Q_{tr}}{p} ; [m]$$

$$L_{ch} = \frac{69,93}{5,65} ; [m]$$

$$L_{ch} = 12,37 \text{ m}$$

IV.2.11. Longueur du bourrage

$$L_b = L_t - L_{ch}$$

$$L_b = 13.13 - 10.07$$

$$\mathbf{L_b = 3.06 ; m}$$

IV.2.12. Longueur du bourrage de bouchon

$$L_{bb} = 0.87 * W ; [m]$$

$$\mathbf{L_{bb} = 2.64 m}$$

IV.2.13. Bourrage intermédiaire

$$L_{bi} = L_{bb} - L_b$$

$$\mathbf{L_{bi} = 1.88m}$$

L'application d'un bourrage intermédiaire est applicable, pour notre but qui est l'amélioration de la fragmentation de la roche ce dernier est obligatoire afin d'avoir une meilleure fragmentation

IV.2.14. Volume du bloc à abattre

Pour le cas d'Adrar Oufarnou le tir se fait une fois par semaine donc :

- V_b = la production hebdomadaire (Ph).

$$\mathbf{V_b = 4262.03 ; m^3}$$

IV.2.15. Nombre de trous

$$N_{tr} = \frac{V_b}{V_{tr}}$$

$$N_{tr} = \frac{4262.03}{139.04}$$

$$\mathbf{N_{tr} = 31 \text{ trous}}$$

➤ **Pour deux rangers de trous**

$$N_{tr}/\text{rangers} = 31/2$$

$$N_{tr}/\text{rangers} = 16 \text{ trous}$$

– Le nombre de trous est :

$$\mathbf{N_{tr} = 32 \text{ trous}}$$

IV.2.16. Quantité totale de l'explosif

$$Q_{tot} = Q_{tr} * N_{tr} ; [\text{kg}]$$

$$Q_{tot} = 69.93 * 32$$

$$\mathbf{Q_{tot} = 2237.76 \text{ kg}}$$

IV.2.17. Rayon de sécurité

Tira à microretard donc :

$$R_s = 29 * \sqrt{(Q_{tot}/N)}$$

$$R_s = 29 * \sqrt{(2237.76/11)}$$

$$\mathbf{R_s = 413.62m}$$

Dans notre cas l'habitation la plus proche est à 500m on a $R_s = 451.7 < 500m$ donc l'habitation est en dehors du rayon de sécurité.

Tableau VI.5 : Comparaison entre la variante existante et la variante proposée.

Désignation	Mesure	Symbole	Valeurs existantes	Valeurs proposées
Diamètre	(mm)	D	89	89
Hauteur du front de taille « Gradin »	(m)	H _{gr}	12	12
Angle de Foration	(degré)	β	90°	85°
Profondeur de trou de mine	(m)	L	13	13.13
Ligne de moindre résistance	(m)	W	3	3.11
Distance la plus proche du tir	(m)	-----	500	500
Distance entre les trous	(m)	a	3.5	3.72
Distance entre les rangées	(m)	b	3.3	3.11
Surforation	(m)	Sf	01	1.07
Hauteur de bourrage	(m)	Hb	03	2.64
Hauteur de la charge	(m)	Hf	09	12.37
Charge d'un trou	(kg)	Qt	37.5	69.93
Nombre de trous total	-	NT	50	32
Nombre de rangées	--	Nr	02	2
Nombre de trous par rangées	--	Nrang / Ntr	1/30 ; 2/20	1/17 ; 2/17
Consommation spécifique	(g/m³)	Qs	400	503.21

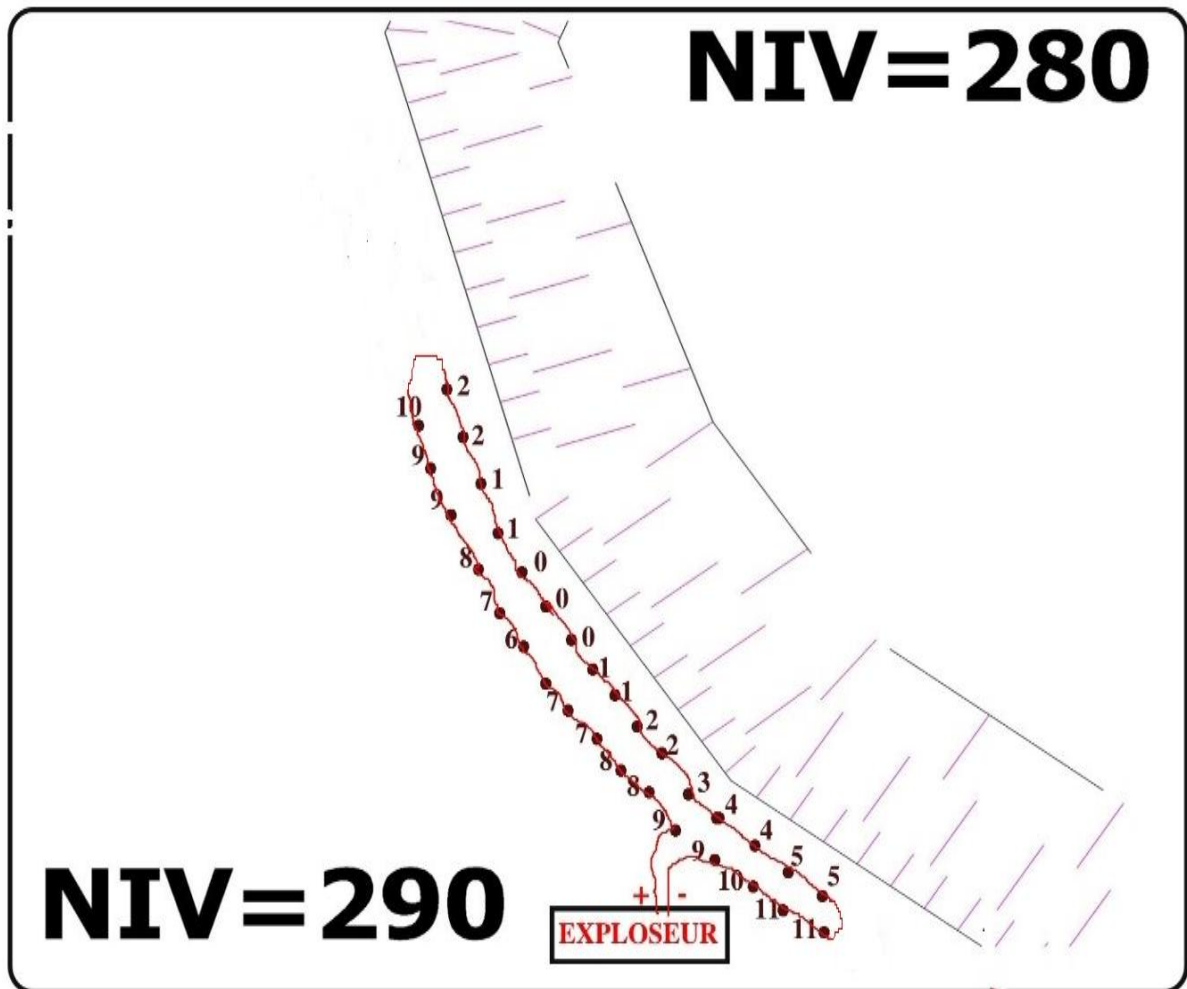


Figure IV.3. Proposition d'un schéma de tir

IV.3. Interprétation des résultats

D'après les résultats obtenus, on remarque que presque tous les paramètres ont changé par rapport aux valeurs utilisés dans la carrière. Les résultats remarquables sont donc :

Le nombre de trou est réduit de 18 trous et La charge d'explosif par trou est plus grand que celle utilisé actuellement à Adrar Oufarnou pour une quantité total d'explosif plus supérieure et donc une consommation spécifique plus élevée , pour la carrière elle est de l'ordre de 400 g/m³, C'est une valeur nettement plus basse que la valeur calculée qui est de 503.24 g/m³, laissent donc à penser que cette valeur calculer est optimal pour éliminer le pied du gradin et déduire le tas des hors gabarits .

Pour ce qui concerne la longueur de la charge elle va augmenter avec un changement de 2.37m.

La longueur de surforation dépend de la hauteur du gradin, du diamètre du trou, des propriétés d'explosif, des propriétés physiques et mécaniques des roches, dans ce cas une surforation est négligée.

Conclusion

Les résultats issus du calcul d'optimalisation permettent d'imaginer des conceptions de tirs pour améliorer la fragmentation dans la carrière d'Adrar Oufarnou qui n'est pas optimal, il est préférable d'appliqué une inclinaison des trous de 85°.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'abattage à l'explosif est une opération technologique assez importante dans l'industrie minière, vu l'importance des paramètres de tir sur et son influence sur l'efficacité de la fragmentation de la roche, ces derniers se divisent en deux paramètres contrôlables et incontrôlables

Les paramètres contrôlables sont les paramètres qu'on peut modifier selon les paramètres incontrôlables tel que le choix de type d'explosif qui dépend de la nature du massif et les objectifs de fragmentation et de foisonnement. Le diamètre du trou doit être choisi en fonction des objectifs du tir et des conditions d'abattage, une longueur déterminée par la longueur de la charge et la distribution de l'énergie explosive, une inclinaison suivant l'angle du talus du gradin, l'excès de forage évite le pied de gradin en augmentant l'action du tir dans la partie inférieure du gradin, ainsi la hauteur de bourrage et sa qualité sont responsables de l'utilisation de l'énergie d'explosif.

Au terme de notre projet de fin d'études : "**Optimisation des paramètres de tir afin d'améliorer la qualité de la fragmentation lors de l'abattage d'un massif rocheux**" dans les conditions de la carrière d'Adrar Oufernou, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

- La consommation spécifique ne semble pas réaliste car il faut rajouter la quantité d'explosif nécessaire pour abattre le pied de gradin et également le débitage secondaire des roches hors gabarie
- L'inclinaison des trous a un effet considérable sur la fragmentation résultante des tas abattus. Influence d'une manière flagrante sur l'importance de l'onde de choc lors de la fragmentation des roches afin d'éviter l'apparition du pied du gradin.

Liste des références

Liste des références

- [1]. Gendarmerie.inter.gouv.fr
- [2]. ONEX : « guide technique d'utilisation des explosifs et les accessoires de tir»
- [3]. OFFICE NATIONAL DES SUBSTANCES EXPLOSIVES
- [4]. Hadjadj aoul elias, "PREDICTION ET ANALYSE DE LA FRAGMENTATION DES ROCHES DANS LES CONDITIONS ALGERIENNES". Université Badji Mokhtar Annaba.
- [5]. MENACER Kamel, [2011], " Influences des discontinuités et de l'emplacement du détonateur sur les résultats de l'abattage des calcaires sur modèle réduit (cas de ChoufAmar M'SILA)", mémoire magister en mines, Université Badji Mokhtar Annaba
- [6]. NEFIS Mouloud, [2010], " modèle d'un plan de tir ", mémoire magister en mines,
- [7]. Mesbah, Abdelhalim, [2009/2010], "Simulation des vibrations d'un tir de mines à l'aide de MINESEIS ". Ecole Nationale Polytechnique.
- [8]. Cours d'exploitation des mines à ciel ouvert Dr kamulete MUDIANGA Nsensu pierre.
- [9]. MINISTERE DE L'INDUSTRIE ET DES MINES MANAL Spa, ENTREPRISE NATIONALE DES PRODUITS MINIERES NON - FERREUX ET DES SUBSTANCES UTILES
- [10]. ALGRAN Bejaia Unité Adrar Oufarnou Plan d'exploitation [2015] (documentation de l'entreprise).
- [11]. Kerimov, [1977], "concernant les travaux de recherche et de prospection exécutés sur le Gisement de calcaires d'Adrar Oufarnou". Rapport géologique EREM 1977.
- [12]. ENOF Béjaia Unité Adrar Oufarnou, Plan d'exploitation 2021.
- [13]. Kherbachi, Hamid, "Amélioration de la qualité de fragmentation des roches fissurées lors de l'abattage à l'explosif dans les mines à ciel ouvert". Université de Bejaia.
- [14]. Hadji, Abdelhakim, [2013], "amélioration des paramètres des travaux de forage et tir et traitement des résultats par l'analyse blocométrique". Université Badji Mokhtar Annaba.

Liste des références

[15]. Travaux de forage et de tir, carrière d'Adrar Oufarnou.

[16]. Cours, "exploitation à ciel ouvert". Université Abderrahmane Mira Bejaia.

Les Annexes

Les Annexes

Annexe 01

Annexe 02

Annexe 03

Annexe 04

Optimisation des paramètres de tir a fin d'améliorer la qualité de la fragmentation lors de l'abattage d'un massif rocheux

Résumé

La fragmentation des roches est une notion complexe dans le contexte de l'exploitation des carrières. Les principaux facteurs intervenant dans le but d'optimiser cette opération sont : - La consommation spécifique de l'explosif ; - L'inclinaison des trous ; - La construction de la charge à l'intérieur du trou ; - Mode d'initiation des charges.

Le but essentiel de ce travail est de trouver une méthodologie relative de l'optimisation. Des paramètres de tir permettant d'améliorer la qualité de la fragmentation lors de l'abattage d'un massif rocheux. Une telle méthodologie aidera à l'analyse systématique des paramètres influençant le plan d'un tir et à une meilleure compréhension des mécanismes de fragmentation des roches à l'explosif et, par conséquent, contribueront dans l'optimisation des performances du tir à l'explosif.

Pour cela, nous avons proposés un plan de tir avec des paramètres d'après les conditions de la carrière.

Mots clés : Tir, Paramètres, Processus, Fragmentation, Roche, Explosif.

المخلص

تجزئة الصخور هو مفهوم معقد في سياق المحاجر. العوامل الرئيسية المستخدمة من أجل تحسين هذه العملية هي: الاستهلاك المحدد للمتفجرات؛ - ميل الحفر؛ - بناء الحمولة داخل الحفرة؛ - وضع بدء الشحن.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو إيجاد منهجية نسبية للتحسين معلمات إطلاق النار لتحسين جودة التنشيط أثناء تفجير كتلة صخرية. ستساعد هذه المنهجية في التحليل المنهجي للمعايير التي تؤثر على خطة اللقطة وفي فهم أفضل لآليات إطلاق النار. تفتت الصخور بالمتفجرات، وبالتالي، سيساعد في تحسين أداء التفجير. لذلك، توصلنا إلى خطة إطلاق مع معلمات بعد ظروف المحجر.

الكلمات الرئيسية: طلقة، معلمات، عملية، تجزئة، صخرة، متفجرة.

Abstract

Rock fragmentation is a complex notion in the context of quarrying. The main factors involved in order to optimize this operation are: - The specific consumption of the explosive; - The inclination of the holes; -The construction of the load inside the hole; - Charge initiation mode.

The main goal of this work is to find a relative methodology of optimization. Firing parameters to improve the quality of fragmentation during the felling of a rock mass. Such a methodology will help in the systematic analysis of the parameters influencing the plan of a shot and in a better understanding of the mechanisms of fire.

Fragmentation of rocks with explosives and, therefore, will help in optimizing the performance of blasting. For that, we came up with a shooting plan with parameters according to the conditions of the quarry.

Keywords : Shot, Parameters, Process, Fragmentation, Rock, Explosive.