

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université Abderrahmane Mira de Bejaia  
de Technologie  
Mines et géologie

Faculté  
Département des

## *Mémoire de fin d'études*

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Exploitation des Mines

Présenté par :

Karim Matoug

Roza Idir

*Thème*

**Elaboration et optimisation d'un plan de tir en vue la  
prédiction des résultats de fragmentation des roches  
dans le calcaire d'Ain el Kebira.**

Soutenu le : 14 / 07 /2022, devant le jury composé de :

Présidente	Mm. BOUZIDI	Pr
Promoteur	Mr. SAADOUN	M.C.B
Examineur	Mr. MAZARI	M.A.B

## Remerciements :

« En premier lieu, nous tenons à remercier ALLAH, nous créateur pour nous avoir donné la force et le courage pour accomplir ce travail ».

« Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu Mr saadoun abderzak, notre encadreur pour son aide précieux, pour ses remarques pertinentes et surtout pour le temps qu'il nous a accordé et ceci malgré ses nombreuses charges ».


« Nous tenons à remercier également tous les membres de jury : Mme Bouzidi pour le grand honneur qu'elle nous a fait en présidant le jury de notre soutenance et l'examineur Mr Mazari d'avoir accepté d'examiner ce travail »

« Un grand merci pour toute l'équipe de la Carrière d'Ain El Kebira, en particulier Mr Hemmoudi, Mr Sofiane et Mr Adel, pour leur accueil et encadrement durant la période du stage pratique ».

« Un grand merci pour tous les enseignants du département des Mines et géologie qui ont contribué à notre formation ».

« Merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ».

**Karim, Roza**



« Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées. »

Je dédie ce modeste travail :

« Mes parents mon père et ma mère : Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi. »

« A ma famille notamment la petite et la grande »

« Mes chères frère Riad et Fouad »

« Mes chères amies Melissa, Ounissa, Kahina, Lynda, et Wissam »

« A tous les amis(es) d'études surtout ceux de ma promotion »

**Merci...**

**ROZA**





Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon professeur de mémoire, Je la remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté de me rencontrer et de répondre à mes questions durant mes recherches.

*Un grand merci à mon grand-père **DOUADI** et ma grand-mère grâce à vous je suis là.*

*A celui qui m'a élevé, me guide et m'instruit, mon père*

**AMMAR**

*Pour ceux qui me le préfèrent, qui s'efforcent de me rendre heureuse, ma mère adorée.*

*A mon très cher frère*

**Mahdi.**

Jà remercie mon ami **Abd AL Hadi (Grilla)** qui ont toujours été là pour moi. Leur soutien inconditionnel et leurs encouragements ont été d'une grande aide.

Enfin, Merci beaucoup d'avoir été là pour moi chaque fois que j'avais besoin de toi, ma femme.

À tous ceux qui ont participé à la préparation d'un mémoire et à tous ceux qui se sont tenus à côté de moi, toute ma famille.

**KARIM**



## List des figures :

Page

### Chapitre I :

<b>Figure I.01</b> : une sondeuse en train de foration des trous.....	12
<b>Figure I.02</b> : détermination du diamètre du trou de forage pour différentes hauteurs de bloc.....	14
<b>Figure I.03</b> : Développement de fracturations.....	15
<b>Figure I.04</b> : influence du diamètre des trous sur le taux des blocs hors 8 la charge discontinue par rapport à la charge continuent.....	16
<b>Figure I.05</b> : Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un minage profond en vertical et avec inclinaison.....	17
<b>Figure I.06</b> : les zones de fragmentation réglée pour la charge discontinue par rapport à la charge continuent.....	18
<b>Figure I.07</b> : l'amorçage latéral.....	20
<b>Figure I.08</b> : l'amorçage ponctuel.....	21
<b>Figure I.09</b> : les éléments d'un schéma de tir.....	22
<b>Figure I.10</b> : Schéma de tir successif pour une seule rangé.....	22
<b>Figure I.11</b> : Schéma de tir avec bouchon pour une seule rangé.....	22
<b>Figure I.12</b> : Schéma de tir par rangée.....	23
<b>Figure I.13</b> : schéma de tir avec bouchon longitudinal.....	23
<b>Figure I.14</b> : Schéma de tir avec bouchon transversal.....	23
<b>Figure I.15</b> : Schéma de tir avec bouchon en coin.....	24
<b>Figure I.16</b> : Schéma de tir utilisé lors de plateforme à largeur réduite.....	24

### Chapitre II :

<b>Figure II.01</b> : photo de l'entreprise.....	31
<b>Figure II.02</b> : Situation géographique du DJEBEL MEDJOUNES.....	32
<b>Figure II.03</b> : Google earth prise le gisement de calcaire « DJ. MEDJOUNES – CODE 12 PXC ».....	33
<b>Figure II.04</b> : Les éléments du gradin de la carrière d'Ain Kebira.....	39
<b>Figure II.05</b> : L'opération de chargement au niveau de la carrière d'Ain Kebira.....	42
<b>Figure II.06</b> : L'opération de transport au niveau de la carrière d'Ain Kebira.....	44
<b>Figure II.07</b> : la connexion lors du débitage secondaire.....	45

<b>Figure II.08</b> : provenance des blocs hors-gabarits.....	46
---	----

### **Chapitre III :**

<b>Figure III.1</b> : schéma de tir .....	51
<b>Figure III.2</b> : Schéma de tir utilisé aux niveau de la carrière d'Ain Kebira.....	51
<b>Figure III.3</b> : forme et dimension du tas abattu .....	52
<b>Figure III.4</b> : Schéma de tir en Proposé.....	61
<b>Figure III.5</b> : Courbes granulométriques représentent les résultats d'abattage obtenus par le paramètre existant.....	69
<b>Figure III.6</b> : Courbes granulométriques représentent les résultats d'abattage obtenus par le paramètre calculé.....	69
<b>Figure III.7</b> : Courbes granulométriques représentent les résultats d'abattage obtenus par Proposition d'un plan de tir 1.....	70
<b>Figure III.8</b> : Courbes granulométriques représentent les résultats d'abattage obtenus par Proposition d'un plan de tir 2.....	71

## List des tableaux :

Page

### Chapitre I :

<b>Tableau I.1.</b> Facteurs qui influent sur la qualité de la fragmentation des roches.....	3
<b>Tableau I.2 :</b> Classification de la forabilité des roches selon l'indice V. REJVSKY.....	5
<b>Tableau I.3 :</b> Classification des discontinuités selon ID.....	6
<b>Tableau I.4 :</b> Choix de sondeuse.....	12
<b>Tableau I.5 :</b> le classement des sondeuses.....	27

### Chapitre II :

<b>Tableau II.01 :</b> coordonnées du périmètre du gisement. Superficie.....	33
<b>Tableau II.02 :</b> les différents matériels de chargement utilisé dans la carrière.....	41
<b>Tableau II.03 :</b> Paramètres de calcul pour l'opération de chargement.....	42
<b>Tableau II.04 :</b> les différents matériels de transport utilisé dans la carrière.....	43
<b>Tableau II.05 :</b> Paramètres de calcul pour l'opération de transport.....	44

### Chapitre III :

<b>Tableau III.1 :</b> classification des roches selon l'indice de tirabilité.....	53
<b>Tableau III.2 :</b> Valeur de Ksd dépend le nombre de surface libre.....	55
<b>Tableau III.3 :</b> Consommation spécifique d'explosif chargé avec le nombre de surface libre.....	55
<b>Tableau III.4 :</b> Comparaison entre les paramètres de tir existants et les paramètres calculés.....	61
<b>Tableau III.5:</b> Facteur de la masse rocheuse en fonction de la dureté.....	61
<b>Tableau III.6 :</b> Formules de calcul du modèle de Kuz-Ram.....	67
<b>Tableau III.7 :</b> Comparaison entre le plan existant et le plan calculé. Pour 5 <sup>eme</sup> gradin.....	68
<b>Tableau III.8 :</b> Proposition d'un plan de tir I et II .....	70
<b>Tableau III.09:</b> Comparaison économique entre les deux plans de tir existant et calculé.....	71
<b>Tableau III.10 :</b> Comparaison économique entre les deux plans de tir Proposé I et propose II.....	71
<b>Tableau III.11 :</b> Comparaison économique entre Plan existant et Plan calculé et Plan proposé I et Plan proposé II Par tir.....	72

## Liste des abréviations :

**ONEX** : Office National des Substances Explosives.

**PVC** : Polychlorure de Vinyle

**UREG** : Unité de Recherche en Energie

**GmbH** : Gesellschaft mit beschänkter Haftung, en français : société à responsabilité limitée.

**CETIM** : Centre d'Etude et de service Technologique de l'Industrie des Matériaux de construction.

**PXC** : Code de carrière

**DMR** : Détonateur a Microretard

**DMR** : Détonateur a retard de demi seconde.

**ONEX** : Office National des Substances Explosives.

**CaO** : la Chaux

**SiO<sub>2</sub>** : Quartz

**TNT** : type d'explosif.



## Table des matières :

**Page**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Introduction.....1**

### **Chapitre I : conception d'un plan de tir**

Introduction.....	3
I.1 Etude des paramètres qui influent sur la qualité de la fragmentation.....	3
I.1.1. Paramètre incontrôlable.....	4
I.1.1.1 Fissuration des roches .....	4
I.1.1.2 Propriétés physico-mécaniques.....	5
I.1.1.3 Résistance à la compression.....	5
I.1.1.4 Résistance à la traction.....	5
I.1.1.5 La tirabilité.....	5
I.1.1.6 La destructibilité.....	6
I.1.1.7 L'indice de forabilité.....	6
I.1.2 Paramètres contrôlables (variables).....	7
I.1.2.1 Paramètres liées aux explosifs.....	7
I.1.2.2 Type des explosives.....	9
I.1.2.3 L'effet des explosives.....	10
I.1.2.4 Accessoires de tir.....	11
I.1.2.5 Les Détonateurs pyrotechnique.....	11
I.1.3 Choix des explosifs.....	11
I.1.3.1 Paramètre lies au forage.....	11
I.1.3.2 Le choix du mode de forage.....	11
I.1.3.3 Le diamètre du trou.....	12
I.1.3.4 L'influence des schémas de tir sur les résultats de l'abattage.....	14
I.1.3.5 Longueur du trou.....	19
I.1.3.6 Paramètre lies aux bourrages.....	19
I.1.3.7 Les schémas de tir.....	21
I.1.3.8 Paramètre lies au plan de tir.....	24
I.1.3.9 les Paramètres des travaux de forage et de tir.....	25

Conclusion.....	29
-----------------	----

## **Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.**

Introduction.....	30
I.1 Historique de la carrière.....	30
II.2 Situation géographique.....	31
II.3 Aperçu géologique du gisement de calcaire.....	32
II.4 Stratigraphie.....	34
II.4.1 Stratigraphie de la région du Djebel Medjounes.....	34
II.4.2 Tectonique du gisement.....	35
II.5 Aperçu sur l'exploitation de gisement de calcaire.....	36
II.6. Méthode et paramètres d'exploitation.....	47
II.6.1.1 Méthode d'exploitation.....	47
II.6.1.2 Paramètres principaux de la méthode d'exploitation.....	48
II.7 Travaux de forages et de tir dans la carrière.....	49
II.7.1 les travaux de forages.....	49
II.7.2 les travaux de tir.....	40
II.7.3 Paramètre des travaux de forage et de tir.....	40
II.8 Chargement et transport.....	41
II.8.1 Chargement.....	41
II.8.2 Transport.....	43
II.9 Débitage secondaire et ses paramètres.....	45
II.9.1 Débitage secondaire au niveau de la carrière.....	45
II.9.2 Etude des causes de provenance des hors-gabarits.....	46
Conclusion.....	46

## **Chapitre 3 : Optimisation des travaux de forages et de tir au niveau de la carrière**

Introduction.....	48
III.1.1 TRAVAUX D'ABATTAGE.....	48
III.1. 2 Travaux de foration.....	48
III.1. 3 Hypothèse de Tir.....	49
III.1.4 Chargement des trous.....	49
III.1.5 Plan de Tir.....	49
III.1.6 PARAMETRES PREALABLE.....	49
III.1.7 PARAMÈTRES POUR ABATTAGE TONNAGE ROCHE DONNE.....	50

III.1.8 Paramètres des travaux de forage et de tir .....	52
III.2 Modèle de Kuz – Ram.....	62
III.2.1 Taille moyenne des fragments.....	62
III.2.2 Indice d'uniformité.....	63
III.2.2.1 Résistance d'explosif (Equation de Tidman).....	65
III.2.2.2 Indice de tirabilité.....	65
III.2.2.3 Consommation spécifique d'explosif.....	66
III.2.2.4 Poids de la charge d'explosif.....	66
III.2.3 Étude de comparaison entre les paramètres existants et les paramètres calculé. Avec le modèle de Kuz-Ram.....	68
Conclusion.....	72
<b>Conclusion général.....</b>	<b>73</b>
<b>Référence bibliographie</b>	
<b>Résumé</b>	

## **Introduction général :**

Dans l'avenir, le potentiel économique de chaque pays sera déterminé sur la base du niveau de production des métaux et diverses substances minérales.

L'exploitation minière représente une activité économique très importante au niveau mondial.

L'Algérie est l'un des pays riches en matériaux naturels et industriels, parmi ces ressources on trouve : les gisements de fer, de cuivre, de plomb, de zinc, l'argile, l'or, le calcaire et d'autres substances à partir lesquelles nos compétences en exploitation se sont développées.

Cependant, comme toutes entreprises, la cimenterie d'Ain El Kebira est l'une des plus importantes sociétés implantées sur le territoire algérien, grâce au rôle qu'elle joue dans l'économie régional et national. Cette dernière, réside toujours comme un problème d'actualité. Elle influe directement sur tous les processus technologiques, allant du chargement et transport jusqu'à la sortie du produit fini (ciment).

Dans notre stage à Ain el Kebira on a présent le plan d'exploitation du gisement de calcaire « Djebel Medjounes » est élaboré en vue d'alimenter la première ligne de production en sur- dosé avec une quantité de 2 500 000 tonnes de calcaire.

Notre travail a donc porté sur l'élaboration d'un plan de tir en vue prédiction des résultats de fragmentation des roches dans la calcaire d'Ain el Kebira.

Notre mémoire est structuré en trois chapitre sont :

- Conception d'un plan de tir.
- Conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF : Il s'agit de faire un rappel des caractéristiques géologiques locales du gisement ainsi que la quantification des réserves exploitables, ouverture du gisement et les méthodes d'exploitation.
  - Optimisation des travaux de forages et de tir au niveau de la carrière d'Ain el Kebira, L'optimisation des paramètres de tir et en particulier la méthode de KUZ-RAM, en vue d'apporter une réflexion sur le schéma de tir le plus adéquat pour cette carrière.

Et nous terminerons par une conclusion générale dans laquelle nous étalerons les résultats obtenus et nos conclusions.

## **Problématique :**

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre général du contrôle de la qualité des processus utilisés dans la Cimenterie d'Ain El Kebira, tels que le tir à l'explosif, le chargement, le transport et le concassage.

Il s'intéresse plus particulièrement à la conception des plans de tirs par la méthode classique et à la quantification de la granulométrie des roches fragmentées par le modèle de KUZ-RAM.

Notre but sera la mise en place d'un nouveau plan de tir opérationnel que suite une prédiction de la fragmentation adéquat répondant aux objectifs ciblés de l'entreprise pour cela nous allons optimiser :

- La maille des trous (diamètre des trous, leur profondeur et inclinaison, espacement entre les trous et la banquette).
- La gestion de l'énergie du tir dans le massif, (type d'explosif, consommation spécifique, construction des charges et leur initiation).

# **Chapitre I : Conception d'un plan de tir.**

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

### Introduction :

La méthode d'abattage à l'explosif est largement utilisée dans les carrières de roches massives et dures, il représente le premier maillon des processus technologiques de l'exploitation des gisements à ciel ouvert, il consiste à modifier l'état naturel des roches dans le but d'améliorer le processus de leur extraction.

En effet, dans le cas de roches dures, les procédés d'extraction continus ne sont pas possibles, l'abattage à l'explosif est alors une alternative qui présente l'avantage de fragmenter des volumes de roche importants, et ce avec des moyens limités en termes d'engins (foreuse et engins de chantiers pour la reprise) et une mise en œuvre assez restreinte.

### I.1 Etude des paramètres qui influent sur la qualité de la fragmentation

La qualité de la fragmentation des roches a une très grande importance dans le domaine minier, car elle influe directement sur tous les processus technologiques (chargement, transport et concassage).

Les facteurs qui influent sur la qualité de la fragmentation des roches sont plusieurs, certains

ont un caractère contrôlable et d'autres incontrôlables. L'ensemble de ces facteurs sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau I.1.** Facteurs qui influent sur la qualité de la fragmentation des roches [1]

Paramètres contrôlables	Paramètres incontrôlables
<b>Paramètres liés à la géométrie</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Diamètre du trou,</li><li>- Longueur de foration,</li><li>- Excès de foration,</li><li>- Inclinaison du trou,</li><li>- Longueur du bourrage</li><li>- Matériau du bourrage,</li><li>- Géométrie de la maille,</li><li>- Rapport de maille,</li><li>- Nombre de faces libres</li></ul>	<b>Paramètres du massif rocheux</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Géologie,</li><li>- Propriétés des matériaux,</li><li>- Discontinuités</li></ul> <b>Paramètres hydrologiques</b> <ul style="list-style-type: none"><li>-Eau</li></ul>
<b>Paramètres liés à l'énergie d'explosif</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Type d'explosif utilisé</li><li>- Energie (choc, gaz)</li><li>- Type d'amorçage</li><li>- Séquence d'initiation</li></ul>	<b>Autres paramètres</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Climat</li></ul>

**I.1.1 Paramètre incontrôlable** : Sont classer comme suit :

### **I.1.1.1 Massifs rocheux**

Le massif rocheux est l'assemblage des blocs de matrices rocheuses et des discontinuités.

#### **1. Matrice rocheuse**

La matrice rocheuse est définie comme un volume de roche intacte qui possède des propriétés homogènes et non coupée par des discontinuités.

La matrice rocheuse fait ainsi référence aux blocs non-fracturés situés entre les discontinuités structurales.

En fonction des caractéristiques du massif rocheux et de son histoire géologique, la taille de ces blocs peut varier de quelques millimètres à plusieurs mètres [2]

#### **2. Discontinuité**

Tout massif rocheux, quelle-que soit son histoire et sa localisation, possède des discontinuités. Celles-ci peuvent être prononcées, invisibles, cimentées ou bien ouvertes, mais elles existent. Elles possèdent en commun les caractéristiques suivantes : faible résistance au cisaillement, résistance à la traction négligeable et grande conductivité hydraulique, tout ceci en comparaison de la matrice rocheuse environnante. En géologie on les regroupe par catégories :

#### **3. Les failles**

Ce sont des fractures identiques aux diaclases mais qui ont entraîné un mouvement relatif des deux parties de la roche encaissante. Un glissement a dans ce Lieu le long de cette faille. Leur longueur varie d'une dizaine de centimètres à plusieurs centaines de kilomètres [3].

### **I.1.1.1 Fissuration des roches :**

La fissuration du massif rocheux influe sur les propriétés mécaniques du massif et sur la stabilité des talus.

C'est le facteur le plus important qui caractérise les roches et les sols.

Elle permet de choisir la méthode d'exploitation, de résoudre le problème de la stabilité des bords de la carrière, du talus ...

La fissurité est égale à la distance moyenne entre les fissures :

$$ID = \frac{L}{N}$$

- L : longueur de la partie étudiée du massif (en m)
- N : nombre de fissures sur la partie mesurée.

Le tableau donne la classification des discontinuités selon les valeurs d'ID.



**Tableau I.2** : Classification des discontinuités selon ID. [4]

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

**I.1.1.2 Propriétés physico-mécaniques** : son classe comme suit :

- a. La masse volumique de minerai extrait
- b. Leur résistance à la compression atteint
- c. Leur humidité naturelle
- d. La broyabilité des roches, déterminée suivant le procédé de broyage ventilé

**I.1.1.3 Résistance à la compression** :

Est une Contrainte maximale admissible par un matériau soumis à une charge d'écrasement.

Définie par la relation suivante :

$$R_c = \frac{F_{max}}{S} ; [\text{Kgf/cm}^2]$$

- F max : la charge à rupture. [Kgf]
- S : surface sur laquelle la charge est appliquée. [Cm<sup>2</sup>]

**I.1.1.4 Résistance à la traction** :

Est la contrainte de traction mécanique maximale avec laquelle une éprouvette peut être chargée

Définie par la relation suivante :

$$R_t = \frac{T_{max}}{S} ; [\text{Kgf/cm}^2].$$

- Tmax : l'effort maximal de traction. Kgf
- S : surface de l'éprouvette sur laquelle est appliqué l'effort de traction, cm<sup>2</sup>

**I.1.1.5 La tirabilité** :

Pour l'appréciation de la tirabilité on peut appliquer la relation suivante dans les conditions de Laboratoire :

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

$$Q_{et} = 0,02 (\sigma_{comp} + \sigma_t + \tau_0) + 2 \gamma \quad ; [g/m^3]$$

- $\sigma_{Comp}$  : la résistance à la compression.  $Kgf/m^2$

### I.1.1.6 La destructibilité :

Avec le développement technologique il est nécessaire de tenir compte d'autres facteurs ; il a été développé une relation entre l'indice de la résistance à la destruction et les contraintes qui apparaissent durant le processus).

$$I_{des} = 0,005 A_i (\sigma_{comp} + \sigma_t + \tau_0) + 0,5 \gamma$$

- $\tau_0$  : Résistance à la cohésion,  $kgf/m^2$ .
- $\gamma$  : La masse volumique

D'après cette méthode toutes les roches dures et semi dures peuvent être divisées selon la destructibilité en 5 classes :

- Roches mi-dures meubles  $I_{des}$  (1-5).
- Roches dures facilement destructible  $I_{des}$  (5,1-10).
- Roches dures moyennement destructible  $I_{des}$  (10,1-15).
- Roches dures difficilement destructible  $I_{des}$  (15,1-20).
- Roches dures très difficilement destructible  $I_{des}$  (20,1-25).

### I.1.1.7 L'indice de forabilité :

Pour l'appréciation de l'indice de forabilité il y a une expression qui se base sur les conceptions analogiques :

$$D_f = 0,007 \cdot (R_c + \delta_{dep}) + 0,7 \gamma$$

- $R_c$  : Résistance des roches à la compression ;  $Kgf/cm^2$

$$F = \frac{R_c}{100}$$

$F$  : Dureté des roches

$\delta_{dep}$  : Résistance des roches au déplacement ;  $Kgf/cm^2$

$$\delta_{dep} = (0,25 \div 0,33) R_c$$

La classification de la forabilité des roches selon l'indice V. REJVSKY

Dans le Tableau suivant :

**Tableau I.3** : Classification de la forabilité des roches selon l'indice V. REJVSKY [4]

Degré de forabilité	$D_f$	Classes	Categories
Forabilité très facile	$\leq 5$	I	1, 2,3 ,4 ,5
Forabilité facile	5.1÷10	II	6, 7, 8, 9,10

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

Forabilité moyenne	10.1÷15	III	11, 12, 13, 14,15
Forabilité difficile	15.1÷20	IV	16, 17, 18, 19,20
Forabilité très difficile	20.1÷25	V	21, 22, 23, 24,25

### I.1.2 Paramètres contrôlables (variables) :

#### I.1.2.1 Paramètres liés aux explosifs :

On désigne sous le nom de substances explosives, des composés définis ou des mélanges de corps susceptibles par une décomposition chimique de libérer leur énergie potentielle en un temps très court.

Généralement, cette libération d'énergie s'accompagne du dégagement d'un important volume gazeux porté, dès lors, à une température élevée et le milieu ambiant est soumis à une pression brutale qui peut atteindre des volumes extrêmement grands.

Cette définition appelle toutefois certaines remarques. En effet, quelques substances explosives appartenant surtout au groupe des explosifs d'amorçage, ne dégagent que très peu ou même pas de gaz lors de leur décomposition et les effets d'explosion sont alors dues à l'échauffement rapide de l'air ambiant par l'énergie de la décomposition de la substance explosive. [5]

#### I.1.2.2 Type des explosives :

##### A. La déflagration :

La déflagration est une combustion explosive se propageant par conductivité thermique. En brûlant, une particule de substance explosive chauffe les particules voisines.

Une fois la température d'auto inflammation atteinte, ces particules brûlent à leur tour et chauffent d'autres particules.

- Les vitesses de propagation de la déflagration s'établissent de quelques centimètres à plusieurs dizaines de mètres par seconde.
- Les vitesses dépendent de nombreux facteurs comme la nature de la substance, le mode d'amorçage, le confinement, les conditions ambiantes, etc.
- Les substances explosives solides dont le régime normal de décomposition et la déflagration sont appelées des poudres.

Elles sont très utilisées sous forme de propergol liquide pour la propulsion des fusées ou de poudre dans les armes à feu à usage militaire ou civil.

Le seul explosif industriel autorisé pour le traitement des roches est la poudre noire comprimée.

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

### **B. La détonation :**

La détonation est une réaction chimique extrêmement rapide, exothermique et auto entretenue.

Cette 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).

C'est cette onde de choc qui assure la propagation de la réaction chimique par effet "points chauds".

Les vitesses de détonation vont de 2000 à 6000 m/s, et varient selon la nature de la substance et les conditions de mise en œuvre. Une substance explosive dont le régime normal de décomposition est la détonation est appelée : explosif.

On dit que l'explosif est brisant lorsque l'effet de l'onde de choc est prépondérant. On parle d'explosif poussant (ou lent), lorsque l'effet de la détente des gaz est prépondérant. [6]

En Algérie, L'Office National des substances Explosives (ONEX) est une entreprise militaire à caractère industriel et commercial, ses missions principales consistent en la production et la commercialisation des produits explosifs, accessoires de tir et cartouches de chasse pour satisfaire les besoins du marché pour les carrières et mines à ciel ouvert. Parmi les principaux explosifs fabriqués en classe

#### **GELANIT :**

La gélanite est un explosif nitré d'une consistance gélante dont la couleur varie du jaune au marron clair.

Ce type d'explosif est caractérisé par une densité élevée traduit par une vitesse de détonation importante.

#### **❖ Utilisation :**

Utilisée dans des terrains à roches dures à semi dures, pour des travaux d'abattage (ciel ouvert ou en souterrain.)

Travaux à ciel ouvert : carrières, travaux publics, fonçage des puits ;

Travaux souterrains : exploitations souterraines, creusement de tunnel

Travaux d'aménagement des ports ...etc.

#### **❖ Avantage :**

- Consistance gélante très résistante à l'eau ;
- Explosif dense traduit par une vitesse de détonation élevée ;
- Capacité d'abattage des roches très dures même en présence d'eau.

#### **MARMANIT :**

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

La m'armant est un explosif pulvérulent de couleur grise, constituée de nitrate d'ammonium et d'un explosif brisant comme le TNT.

### ❖ Utilisation :

- Utilisable dans les terrains secs ou faiblement humides ;
- Elle est adaptée aux terrains à roche tendre à mi-dures ;

### ❖ Avantage :

- Explosif de sureté, peu sensible aux actions mécaniques ;
- Explosif caractérisé par une charge linéaire réduit qui favorise son utilisation pour les terrains mi-durs.

### TEMEX :

Le TEMEX fait partie de la famille des explosifs en émulsions.

Ce type d'explosif fabriqué par l'ONEX par rapport aux explosifs classiques des avantages substantiels à savoir : Produit hydrofuge, utilisé à ciel ouvert et en souterrain, même en milieu subaquatique.

Produit plus sécurisant lors du transport, du stockage et de l'utilisation.

Les caractéristiques techniques, dimensions et conditionnement de ces explosifs sont classés dans des tableaux (**voire l'annexe I.I**).

### **I.1.2.3 L'effet des explosives**

Quand un explosif détone, il se produit simultanément et selon une succession rapide, une série de phénomènes.

Ainsi en se décomposant, l'explosif dégage un très grand volume de gaz porté à une température très élevée. Ses gaz d'explosion atteignent une pression de plusieurs kilo bars et la température le 3000°C.

L'onde de choc parcourt la roche à une grande vitesse de 2000 à 8000 m/s et plus.

Il est souhaitable pour une bonne fragmentation que la vitesse de détonation de l'explosif soit supérieure à la vitesse de référence de la roche. [6]

L'explosif agit en deux temps :

L'onde de choc qui fissure le massif.

L'expansion des gaz qui effectue la majeure partie du travail demandé.

Autour d'une charge se forme la zone de compression (zone de déformations plastiques).

Le diamètre initial des trous s'élargit de près du double.

Dans cette zone de compression est (1 à 1,75) dc ; ou dc est le diamètre de la charge.

L'onde du choc se déplace du centre au périphérique, provoquant dans la roche des

tensions radiales et des tensions tangentielles. [6]

Dans cette zone qui est appelée zone de la formation des fissures, l'énergie du tir est consommée pour surmonter la résistance des roches au déplacement, à la traction et en partie à la compression.

L'onde de choc, lorsqu'elle arrive à la surface libre du gradin, tend à projeter le matériau. Les zones de compression et de la formation des fissures forment ensemble la zone de fragmentation réglée.

Dans la zone de secousses, les roches se détruisent en partie suivant les fissures naturelles. C'est une zone de fragmentation non réglée.

En générale, on cherche toujours d'augmenter au maximum la zone de fragmentation réglée. La distribution de l'énergie du tir dépend des caractéristiques du massif et des roches, du nombre de surfaces dégagées, de la structure de la charge, de l'ordre de tir ainsi que de sa destination.

Le degré de fragmentation de la roche à l'explosif dépend avant tout de sa résistance au tir.

Ce dernier est caractérisé par la consommation spécifique de l'explosif nécessaire pour atteindre le degré exigé de la fragmentation. [6]

### **I.1.2.4 Accessoires de tir**

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 lente, détonateur pyrotechnique, amorce électrique, cordeau détonant etc...

Le succès d'une volée dépend dans beaucoup de cas de ces dispositifs de mise {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. [7]

#### ❖ **La mèche lente :**

La mèche lente est constituée d'une âme de poudre noire, entourée de plusieurs enveloppes de fils tressés, recouverts d'une gaine de PVC.

D'une bonne résistance aux efforts mécaniques, elle offre une résistance élevée à l'eau. Sa vitesse de combustion est de 90 à 120 m/s.

Elle est utilisée pour l'allumage des détonateurs pyrotechniques.

#### ❖ **Le cordeau détonant :**

Le cordeau détonant est flexible, il est composé d'une âme en penthrite.

C'est un explosif très puissant, il est enveloppé de fils tressés recouverts d'une matière

plastique.

Cela lui confère une étanchéité et une résistance élevées à l'eau.

Sa vitesse de détonation est supérieure à 6500 m/s.

Il sert essentiellement à transmettre la détonation à plusieurs charges lors des tirs simultanés. Il peut remplacer, dans certains cas, la charge explosive pour certains types de travaux tels que pré fissuration, découpage et post-découpage de la roche.

### I.1.2.5 Les Détonateurs pyrotechnique :

Pour l'amorçage des charges d'explosifs, ces détonateurs peuvent être classés au vu de leur sensibilité (l'électricité selon trois catégories).

#### ❖ **Détonateurs instantanés :**

Avec l'emploi de détonateurs instantanés, l'amorçage des charges explosives sont parfaitement simultanés.

Il n'y a pas de retard (le numéro de retard est égal à zéro).

#### ❖ **Détonateurs sismiques :**

L'ONEX produit pour la recherche géophysique des détonateurs instantanés dits sismiques spécialement adaptés pour les tirs de sondage (régularité d'allumage, étanchéité, bonne protection).

#### ❖ **Détonateurs à retard.**

#### ❖ **Détonateurs à retard demi-seconde « DER » :**

L'emploi des détonateurs {retard de demi-seconde (DER), l'amorçage de la charge explosive se fait après la combustion de la composition retardatrice.

Les temps de retard varient de 0,5 seconde pour le n°1 jusqu' {6 secondes pour le n°12 ; il existe 12 numéros de retard, soit 13 avec le numéro zéro (détonateur instantané).

#### ❖ **Détonateurs microretard « DMR »**

Ces détonateurs diffèrent des détonateurs à retard par les temps de retard beaucoup plus court de l'ordre de 20 ms.

L'ONEX fabrique des détonateurs à microretard avec 12 degrés de retard.

La durée du retard en ms varie entre 0 à 240 ms. [7]

#### **Le fil de tir :**

Le fil de tir est de diamètre de 0.6 mm et une section de 0.283 mm<sup>2</sup>. Sa résistance électrique pour 100 m est de 6,1Ω. [7]

### I.1.3 Choix des explosifs :

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

### I.1.3.1 Paramètre liés au forage :

La foration de trous est la première étape dans un plan de tir, la production et les capacités économiques, et les propriétés des roches sont les éléments qui contrôlent l'emplacement et dimensions de forage.

### I.1.3.2 Le choix du mode de forage :

Le choix du mode de forage dépend de quelques facteurs, on peut citer

- Les propriétés physico-mécaniques des roches
- Diamètre du trou à réaliser
- Profondeur de trou et la hauteur du gradin

On distingue plusieurs modes de forage :

- Forage rotatif
- Forage percutant
- Forage roto percutant
- Forage thermique

Le choix du mode de forage dépend aussi à des indices de forabilité et de tirabilité. [10]

**Tableau I.4 :** Choix de sondeuse. [6]

Sondeuse	Diameter du trou (mm)	Indice de forabilité
A molette	160	5-10
	190-243	7-12
	243-262	8-14
A vis	125	1-3
	160	1-6
Roto percutant	105-125	6-15
	185	10-25
	200	10-25
Thermique	180-400	12-25





**Figure I.1** : Sondeuse en train de foration des trous.

### I.1.3.3 Le diamètre du trou :

Les résultats des travaux de certains chercheurs montrent qu'avec l'augmentation du diamètre de sondage, le degré de fragmentation diminue.

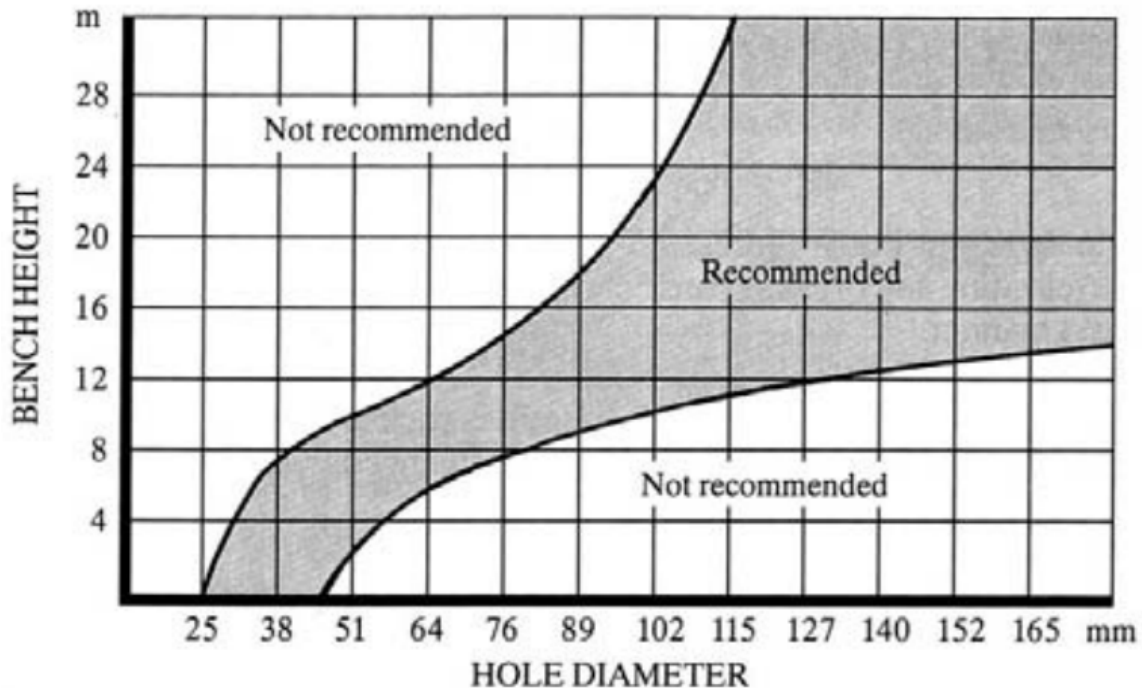
Argumentent qu'avec l'emploi de petits diamètres, on obtient une bonne régularité de distribution de l'explosif et un accroissement du nombre deblocs du massif se trouvant dans la zone d'action de l'explosion.

De même, on signale une diminution de perte d'énergie de charge et un accroissement du travail utile des explosifs. Le diamètre du trou doit être choisi en fonction des objectifs du tir et des conditions d'abattage.

En outre, dans le cas où le massif est assez fracturé, une grande maille, conséquence d'un diamètre plus grand, n'arrivera pas à effectuer la fragmentation désirée.

Le choix du diamètre du trou dépend aussi des certaines données à savoir : [8]

- 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.
- L'engin de chargement qui nécessite un type de fragmentation et de foisonnement ~~par~~ bien fonctionner.
- 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 : permet d'évaluer la zone favorable entre le diamètre de foration des trous et la hauteur du front à abattre.



**Figure I.2 :** détermination du diamètre du trou de forage pour différentes hauteurs de bloc. [5]

### I.1.3.4 L'influence des schémas de tir sur les résultats de l'abattage :

La fragmentation et l'arrachement dans les tirs à l'explosif sont tous deux des phénomènes de rupture dynamique complexes se manifestant généralement par la création de nouvelles surfaces de rupture.

Etudier théoriquement la croissance des fissures une par une, l'interaction entre elles et avec des fissures préexistantes est un problème d'une complexité extrême, qui est ce jour hors d'atteinte des connaissances théoriques et méthodes de modélisation numérique associées.

Effet de la présence d'une face libre :

Lorsque l'onde de choc rencontre une discontinuité, elle se scinde 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 de part et d'autre 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 ; [9]

Ce phénomène bien connu et appelé écaillage.

### Etude de la propagation des ondes de choc dans la roche :

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

- **Cas d'une seule surface libre :**

Pour améliorer la fragmentation, la force dégagée par l'explosion doit être supérieure à la résistance de la roche.

$$\text{Où : } P \gg \sigma_c$$

P : la pression dégagée lors de l'explosion.

- **Cas de deux surfaces libres**

Dans ce cas la présence de deux surfaces libres va améliorer les résultats de fragmentation.

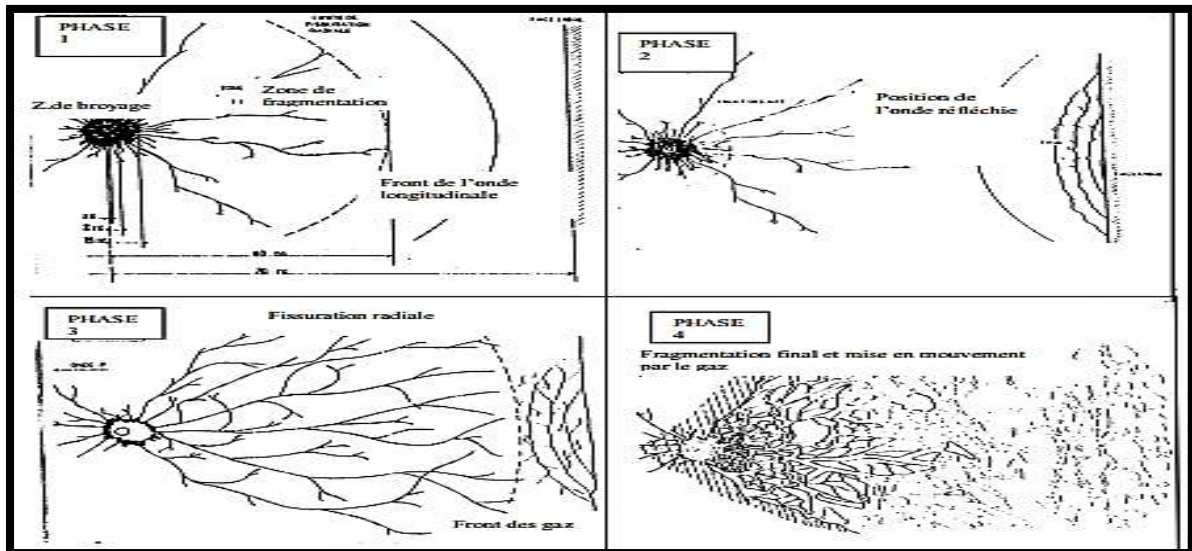
Les ondes réfléchies jouent deux rôles :

- Modification de l'orientation des fissures radiales.
- Initiation de nouvelles fissures.

- **Fragmentation finale :**

Si l'onde émise et l'onde réfléchi sur la surface libre ont pu pré - fissurer, ou affaiblir suffisamment le massif entre cette surface libre et le trou de mine, les gaz emprisonnés vont pouvoir poursuivre leur propagation et leur action.

Ils filtrent dans les fissures, complétant éventuellement la fissuration et mettent les blocs formés en mouvement.



**Figure I.3 :** Développement de fracturations. [6]

### **A. Influence des paramètres technologiques sur le degré de fragmentation des roches**

Généralement on apprécie la qualité de la fragmentation des roches selon les deux critères suivants :

- La granulométrie de la masse rocheuse explosée

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

- Les paramètres du tas des roches abattues, incluant ses dimensions, sa forme et son coefficient de foisonnement.
- Les paramètres cités et principalement la granulométrie conditionnent les indices techniques et économiques des processus technologiques.

Chargement et de transport des roches et leur concassage mécanique.

Dans la pratique et lors des travaux de recherche, pour mieux apprécier la granulométrie de la masse rocheuse tirée, on utilise beaucoup de critères tel que : débit des blocs hors gabarits, diamètre du morceau moyen.

La présence des hors gabarits encombre la plateforme de travail, freine le travail des moyens de chargement et de transport, de plus elle exige le débitage secondaire, qui est lié naturellement avec l'augmentation des temps morts. [10].

### **Influence du diamètre du trou sur le degré de fragmentation des roches**

Le diamètre du trou doit être choisie en fonction des propriétés des roches à abattre et plus particulièrement la dureté.

Selon les travaux expérimentaux des chercheurs le diamètre du trou prédéterminera particulièrement la granulométrie des morceaux abattus à cause de son indice direct sur la maille. [10]

Le diamètre du trou sert à déterminer la quantité d'explosif par unité de longueur et prédétermine presque tous les principaux paramètres des travaux de forage et de tir.

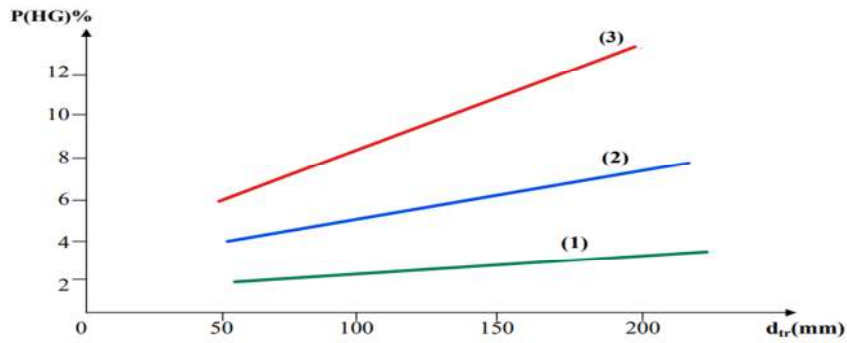
Les résultats de ces travaux montrent qu'avec diminution du diamètre de charge, le débit de fraction de roche sur fragmentée diminue, et par conséquent, les pertes d'énergie de charge au contact avec le massif diminuent, et s'accroît le travail utile pour la fragmentation des roches avec le volume principal de la destruction.

Ce fait s'explique par l'augmentation de la longueur de la charge et par conséquent l'augmentation de la zone de fragmentation réglée.

Les résultats des travaux de certains chercheurs montrent qu'avec l'augmentation du diamètre de forage, le degré de la fragmentation des roches diminue.

Le diamètre du trou influe sur la concentration de l'explosif dans le massif.

Les expériences réalisées en carrières montrent que la diminution du diamètre de la charge provoque une diminution des hors gabarit. [11]



**Figure I.4 :** influence du diamètre des trous sur le taux des blocs hors gabarit. [11]

- (1) pour les roches à faible résistance au tir.
- (2) Pour les roches à moyenne résistance au tir.
- (3) Pour les roches à grande résistance au tir.

### B. Influence de l'inclinaison des trous sur le degré de fragmentation des roches

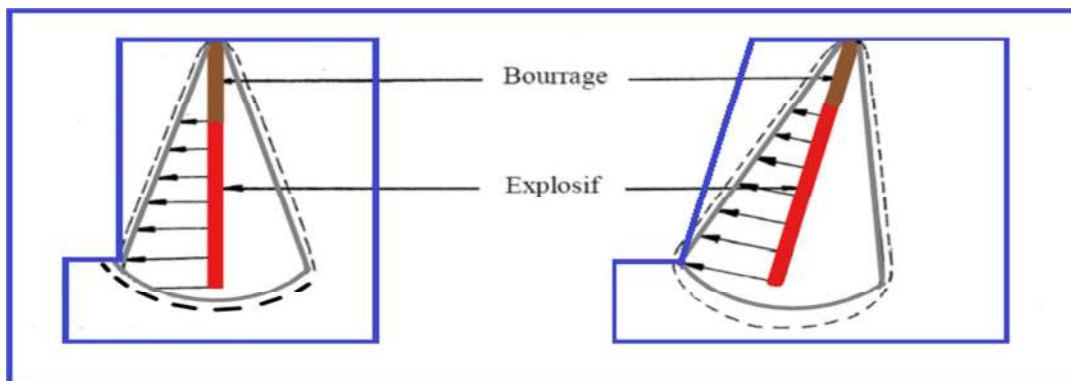
L'inclinaison des trous améliore la qualité de fragmentation des roches sans causer de la complication sur le plan organisationnel des processus de forage et de tir.

L'abattage par trous inclinés contribue à l'amélioration de la sécurité du travail tout en assurant

- **Les avantages des trous inclinés sont les suivants :**
  - La répartition la plus régulière de l'énergie d'explosif ;
  - Améliore la qualité de fragmentation et le traitement du pied du gradin ;
  - La consommation en explosif est optimale ;
  - Le défaut du rebord (pied du gradin) sera éliminé.

Suivant leurs investigations, les auteurs montrent que l'application de trous forés suivant une inclinaison qui varie de  $10^\circ$  et  $30^\circ$  donne une meilleure fragmentation. [12].

Pour améliorer la fragmentation et diminuer la résistance du pied du gradin on propose d'utiliser des trous inclinés à cause des avantages cités ci-dessus.



**Figure I.5:** Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un minage profond en vertical et avec inclinaison. [6]

### Influence de la structure de la charge

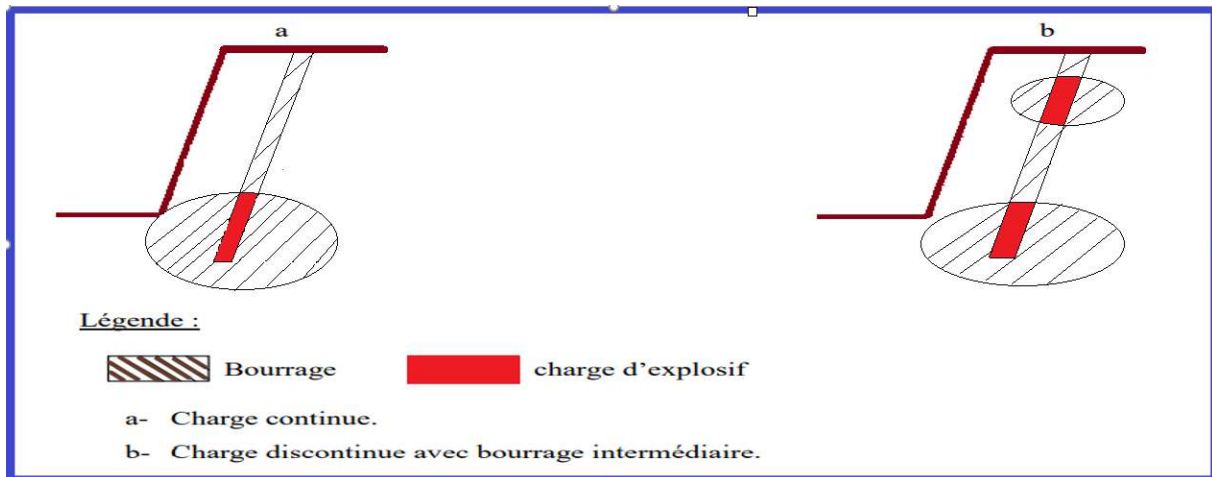
Le degré de fragmentation peut être réglé par le changement de la construction de la charge à l'intérieur du trou.

Au cours du tir d'un mètre de trou et avec la même consommation spécifique, la charge discontinue provoque l'amélioration de la fragmentation en comparaison avec la charge continue suite à l'augmentation de la zone de fragmentation réglée.

D'habitude le tir avec une charge continue est caractérisé par la fragmentation irrégulière du massif abattu puisqu'une charge continue fait son travail uniquement aux limites de la zone de fragmentation réglée, par contre dans la partie supérieure où l'on dispose de bourrage, on obtient souvent des morceaux hors gabarits de différentes dimensions.

Dans le but d'améliorer cette fragmentation on propose d'utiliser des charges discontinues à l'intervalle bourrée. On constate qu'avec l'utilisation de la charge discontinue, la zone de la fragmentation réglée augmente. [10]

**La figure :** montre les zones de fragmentation réglée pour le cas des charges continues et discontinues.



**Figure I.6 :** les zones de fragmentation réglée pour la charge discontinue par rapport à la charge continue. [7]

### Influence du micro retard sur la qualité de la fragmentation des roches

L'introduction du tir à micro retard a été une innovation dans la mesure où il contribua dans de larges limites au perfectionnement du processus de préparation des roches durant l'exploitation des gisements par carrière.

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

Ce procédé se distingue des autres par ses larges possibilités de réglage de la qualité de fragmentation des roches.

L'effet de réglage peut être porté à un niveau maximal lorsque la durée optimale du tir à micro retard est respectée.

L'amorçage instantané facile à réaliser correctement, il présente une grande sécurité contre les ratés de tir, mais il provoque l'ébranlement des terrains avoisinants et de fractionner insuffisamment les roches.

L'emploi des détonateurs à microretards, nous permet de contrôler le processus de la fragmentation de la roche parce que, à la mise à feu de chaque charge un temps mort est créé ce qui vas donner l'avantage à la prochaine charge explosive de travailler suivant plus d'une surface de dégagement. [10]

L'utilisation des tirs à microretard diminue la production des blocs hors gabarits. [11]

L'emploi du micro retard a les avantages suivants :

- Créé une surface libre
- Travail de l'explosif le plus rentable.

### **C. Influence de la consommation spécifique d'explosif sur la qualité de la fragmentation des roches**

On entend par cette notion, la quantité d'explosif nécessaire pour fragmenter un bloc d'un mètre cube ou d'une tonne suivant une loi de fragmentation régie par plusieurs facteurs caractérisant la roche et l'explosif utilisé.

L'expérience des travaux de tir témoigne que la variation de la consommation spécifique de l'explosif dans un massif est très difficile parce que l'anisotropie du milieu est très compliquée. [13]

La pratique des travaux de tir à travers plusieurs mines à ciel ouvert montre que le changement de la consommation spécifique provoque une large variation de la fragmentation. [11]

Cependant l'expérience et les observations sur le terrain permettent de donner une appréciation relative sur la résistance au tir.

Il est dépendu essentiellement : de la hauteur du gradin, de l'inclinaison et de la longueur d'excès.

Elle détermine la distribution de l'énergie dans le volume à abattre. La distribution idéale

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

de la charge est difficile à obtenir pour les trous longs. [8]

### I.1.3.6 Paramètre liés aux bourrages :

#### a) 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 banquette.

Dans les trous profonds, sa longueur doit être égale à la banquette, et il peut descendre à (0,5 de la banquette) 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. [8]

#### b) Qualité du matériau de bourrage :

En général, les produits de foration sont utilisés comme bourrage dans les mines et carrières Algériennes, mais les expériences montrent que dans ces cas toujours il y a des projections et débouillage important au moment du tir.

Les tirs expérimentaux montrent que le bourrage aux gravillons (3/8) donne une meilleure utilisation de l'énergie explosive. [8]

#### c) Types d'amorçages :

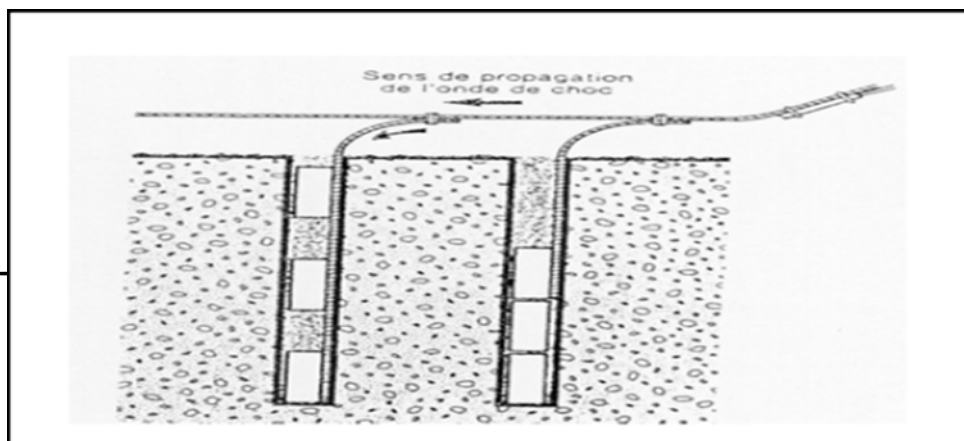
L'initiation de l'explosif primaire se fait généralement par plusieurs systèmes d'amorçage tel que : les détonateurs électriques et non électriques (mèche et cordeau détonant).

Ensuite l'explosif primaire initie en détonation l'explosif secondaire. On peut dire aussi qu'il y a deux types d'amorçage [8] :

- Le premier dit : Amorçage ponctuel (par détonateur électrique).
- Le deuxième s'appelle : Amorçage latéral (par cordeau détonant).

#### Amorçage latéral :

L'amorçage latéral est réalisé par détonation d'un cordeau détonant. Ce cordeau détonant est





## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

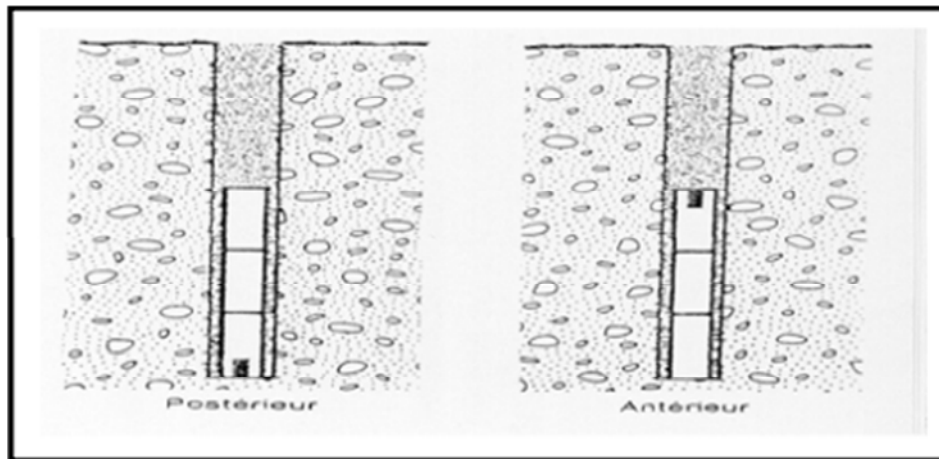
caractérisé par sa densité de penthrite exprimée en g/m (3,5 à 70 g/m) et par sa vitesse de détonation (6000 à 7000 m/s) [14]

**Figure I.7 : L'amorçage latéral. [15]**

### **Amorçage ponctuel :**

Avec un détonateur par trou placé sur la première cartouche mise en place. La détonation est propagée du bas vers le haut par l'explosif.

L'amorçage ponctuel postérieur s'est révélé plus intéressant et plus avantageux que l'amorçage ponctuel antérieur. [8]



**Figure I.8: L'amorçage ponctuel. [15]**

### **I.1.3.7 Les schémas de tir :**

Les trous peuvent être disposés suivant une ou plusieurs rangées.

Les schémas principaux lors du tir à une seule rangée sont les suivants :

- Successif
- Par-dessus un sondage
- D'onde
- Avec le bouchon

Alors que les principaux schémas lors du tir de plusieurs rangées sont :

- Schéma de tirs par rangée
- Schéma de tir avec bouchon longitudinal
- Schéma de tir avec bouchon transversal
- Schéma de tir avec bouchon en coin
- Schéma de tir utilisé lors de plateforme à largeur réduite

L'ordre de tir peut être :

- Instantané

A micro retard

Son classe selon l'ordre comme suit :

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

### 1. Les schémas de tir pour une seule rangée

Dans ce qui suit nous présentant les différents schémas de rattachement des tirs dans le cas général.

#### A. Les éléments d'un schéma de tir

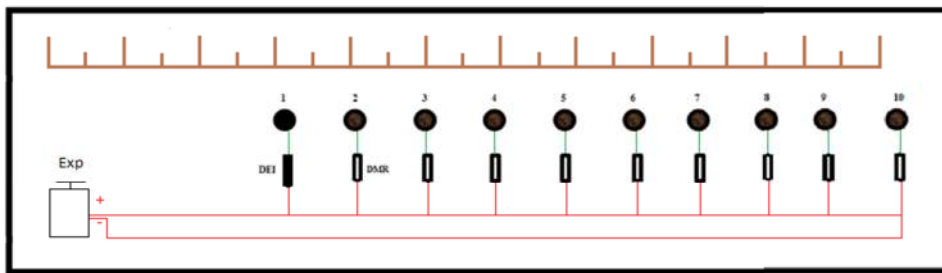


Figure I.9 : les éléments d'un schéma de tir.

**Expo** : Un explosif

**DEI** : Détonateur électrique instantané

**DMR** : Détonateur à microretard

**Trou** : Trou de mine 1,2,.....,10 : l'ordre de tir

#### ▪ Successif

Le schéma qui suit représente un amorçage latéral dont la connexion des trous est d'une façon successive avec une seule rangée.

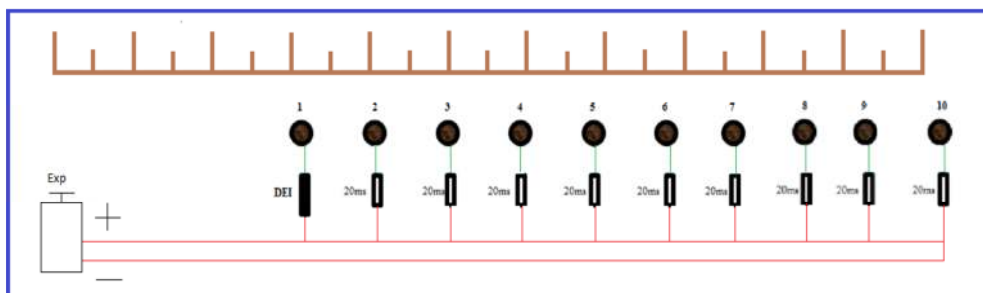


Figure I.10 : Schéma de tir successif pour une seule rangée

#### ▪ Avec bouchon

Le schéma qui suit représente un amorçage latéral dont la connexion des trous est effectuée par plusieurs bouchons avec une seule rangée.

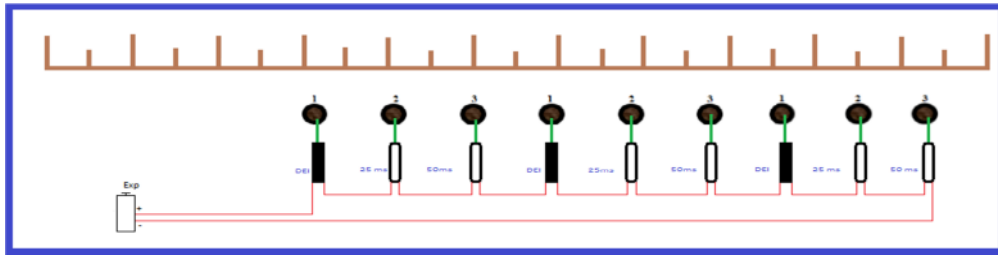


Figure I.11: Schéma de tir avec bouchon pour une seule rangée

On utilise :

- ❖ Le schéma Par-dessus un sondage pour les roches faciles à tirer,
- ❖ Les schémas Successif et D'onde pour les roches à tirabilité moyenne
- ❖ Le schéma Avec bouchon pour les roches difficiles à tirer

## 2. Les schémas de tir pour plusieurs rangées :

- Schéma de tirs par rangée

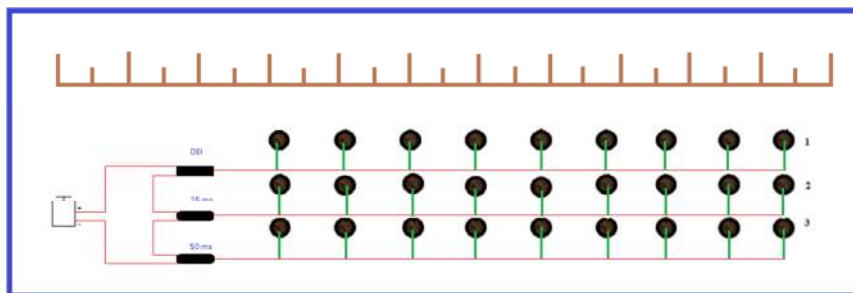


Figure I.12 : Schéma de tir par rangée

- Schéma de tir avec bouchon longitudinal :

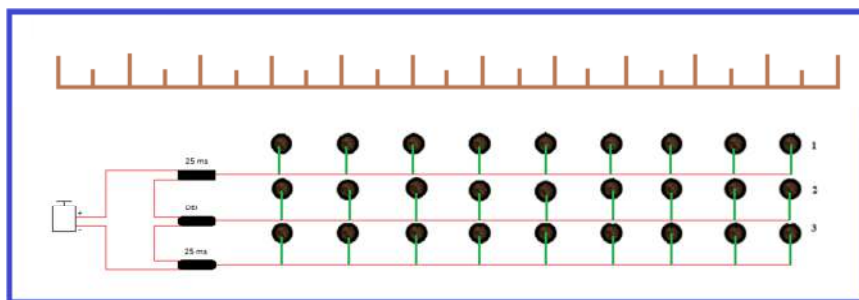


Figure I.13 : Schéma de tir avec bouchon longitudinal.

- Schéma de tir avec bouchon transversal :

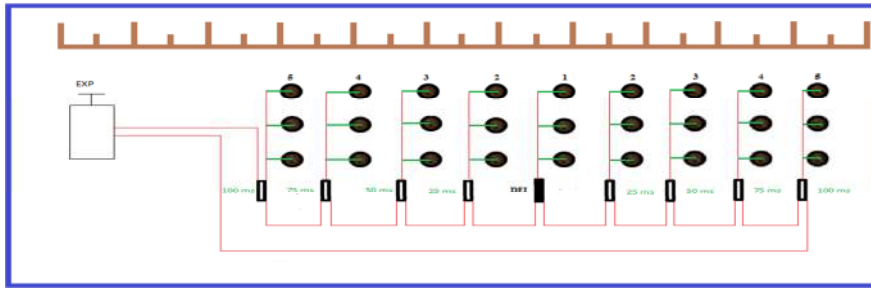


Figure I.14: Schéma de tir avec bouchon transversal.

### ▪ Schéma de tir avec bouchon en coin

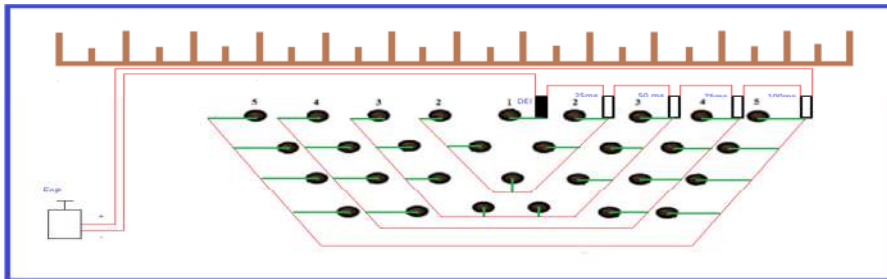


Figure I.15: Schéma de tir avec bouchon en coin

### ▪ Schéma de tir utilisé lors de plateforme à largeur réduite

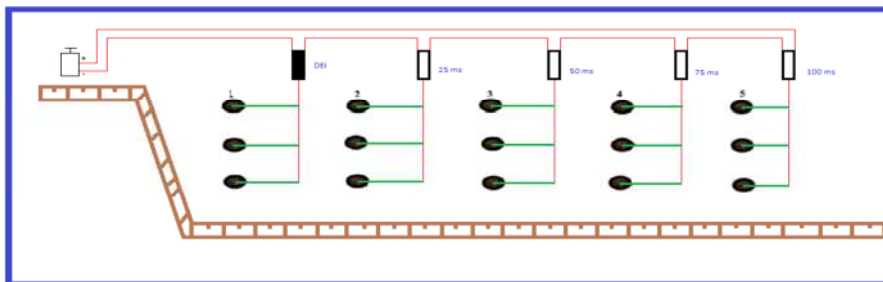


Figure I.16 : Schéma de tir utilisé lors de plateforme à largeur réduite

### I.1.3.8 Paramètre liés au plan de tir :

#### ❖ Banquette :

Cette finale représente la distance entre l'arrêt supérieur du gradin et la première rangée des trous. Dans le cas d'une seule rangée des trous d'abattage, la banquette représente la largeur du volume à abattre par l'énergie explosive contenue dans la rangée. [8]

Les facteurs affectant le choix de la banquette sont : Le diamètre, la hauteur du gradin, l'inclinaison du trou, l'explosivité de la roche et la fragmentation prévue.

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

### ❖ L'espacement :

On entend par Espacement, la distance qui sépare deux trous voisins. En général un espacement égal à 1,25 fois la banquette donne de bons résultats.

Une bonne fragmentation peut être obtenue en variant l'espacement entre (0,8 et 1,5) fois la banquette sans pour autant augmenter l'énergie de la charge spécifique. [8]

### ❖ Rapport de maille :

Le rapport de maille est égal à la valeur de l'espacement sur celle de la banquette.

Pour une bonne fragmentation des roches, le rapport doit être aussi élevé que possible, entre (1,1 et 1,5).

Pour un bon profil du front, ou par commodité, il est souvent voisin de (1).

La production d'enrichissement, recommande de le réduire à une valeur inférieure à 1.

### **I.3.9 les Paramètres des travaux de forage et de tir :**

#### Longueur de trou :

$$L_{tr} = \left( \frac{H_g}{\sin \beta} \right) + l_{ex} ; m$$

Où :

- $H_g$  : hauteur de gradin, m
- Roches tendres  $H_g \leq H_{c\ max}$
- Roches dures  $H_g \leq 1,5H_{c\ max}$

$H_{c\ max}$  : La hauteur de creusement maximal

- $\beta$  : Angle d'inclinaison des trous

Généralement  $\beta = \alpha$  (dans le cas des trous inclinés)

$\alpha$  : Angle d'inclinaison des gradins

- $l_{ex}$  : longueur de l'excès de forage

$$L_{ex} = (10_{15}) * D_{tr} ; m$$

#### Capacité métrique de trou :

$$P = \frac{\pi * D_{tr}^2}{4} * \Delta_{moy} ; (kg/m)$$

$D_{tr}$  :

$\Delta_{moy}$  : Densité moyenne d'explosif utilisé,  $kg/m^3$

$$\Delta_{moy} = \frac{\Delta \text{ Explosif 1} * X \% + \Delta \text{ Explosif 2} * Y \%}{100 \%}$$

Où :

X %.  $\Delta$  Explosif 1: Pourcentage et densité de la charge principale d'explosif  $g/cm^3$

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

Y %. Δ Explosif 2: Pourcentage et densité de la charge d'amorçages d'explosif g/cm

### Capacité métrique de trou :

$$P = \frac{\pi \cdot D_{tr}^2}{4} * \Delta_{moy} ; ; Kg/m$$

$\Delta_{moy}$  : Densité moyenne d'explosif utilisé, kg/m

$D_{tr}^2$  : diamètre des trous foré

$$D_{tr} = 0.32 * C, (m)$$

C : dimension moyenne des morceaux de la roche fragmentée (granulométrie optimale des morceaux abattus après le tir), m.

$$C = 0,17\sqrt{E} \text{ 3, m}$$

### La consommation spécifique :

qp : Est la consommation spécifique d'explosif,

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

Où :

$q_{ét}$  : La consommation spécifique d'explosif étalon

$k_{ex}$  : Coefficient qui tient compte de la différence d'aptitude du travail d'explosif ;

$$K_{ex} = \frac{A_{ét}}{A_{ut}}$$

$A_{ét}$  ;  $A_{ut}$  : Sont respectivement les aptitudes au travail de l'explosif étalon et utilisé ;

$k_f$  : Coefficient qui tient compte de la fissuration d'explosif.

$$K_f = 1.2 * l_m + 0.2$$

- $l_m$  : Dimension moyenne du bloc dans le massif.

La valeur moyenne entre 02 fissures, est estimée à 1 m.

$k_d$  : Coefficient qui tient compte du degré de fragmentation nécessaire.

$$K_d = \frac{0.5}{D_{moy}}$$

- $k_c$  : Coefficient tenant compte de degré de concentration de la charge

Pour les trous de diamètre  $> 100mm$ ,  $k_c$  sera égale respectivement :

- Pour les roches à tirabilité facile,  $k_c = (0,95\_1,0)$  ;
- Pour les roches à tirabilité moyenne,  $k_c = (0,85\_0,9)$  ;
- Pour les roches à tirabilité difficile,  $k_c = (0,7\_0,8)$

Dans notre cas, la tirabilité des roches est difficile, on prend  $k_c = 0.8$

$k_v$  : Coefficient qui tient compte de l'influence du volume des roches à fragmenter par explosif

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

$$Kv = \sqrt[3]{\frac{15}{Hg}} ; m$$

Dans ce projet on va prendre l'ordre de gradin à 15 m

$$Kv = \sqrt[3]{\frac{15}{15}} = 1 ; m$$

$Ksd$  : Coefficient tenant compte du nombre de surfaces dégagées du massif tiré.

**Tableau I.5 :** Valeur de  $Ksd$  dépend le nombre de surface libre.

<i>Number de surface</i>	<i>Ksd</i>
6	1
5	2
4	4
3	6
2	8
1	10

### Ligne de moindre résistance

Pour  $\beta < 90^\circ$  on utilise la formule suivante :

$$W = \frac{\sqrt{P^2 + 4 \cdot m \cdot q \cdot Hg \cdot Ltr \cdot P} - P}{2 \cdot m \cdot q \cdot Hg} ; m$$

$P$  : La capacité métrique d'explosif ; Kg/m

$m$  : Le coefficient de rapprochement entre deux trous

- $m = 0,8$  pour les roches très dures ( $f > 12$ )
- $m = 1$  pour les roches dures ( $6 < f < 12$ )
- $m = 1,2$  pour les roches assez dures ( $f < 6$ )

Distance entre deux trous dans une rangée

$$a = m \cdot w, m$$

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

- $m$  : coefficient de rapprochement des trous

$$m = 1,66 - 0,066f$$

- $W$  : ligne de moindre résistance, m

### Construction de la charge :

#### ❖ Quantité d'explosifs nécessaire dans un trou :

$$Q = q_p * V_{tr}; \text{ kg}$$

#### **Volume de minerai à abattre par un trou :**

$$V_{tr} = W * a * Hg ; \text{ m}^3$$

- $V_{tr}$ : Volume des roches à tirer par un trou
  - Pour la première rangée  $V_{tr} = a * W * Hg$
  - Pour la deuxième rangée et plus  $V_{tr} = b * W * Hg$
- $q_p$  : Consommation spécifique de l'explosif

#### ❖ Longueur de la charge dans un trou :

$$Lch = \frac{Q}{P}; \text{ m}$$

- $Q$  : la quantité d'explosif dans un bloc, kg
- $P$  : La capacité métrique d'un trou, Kg/m.

#### ❖ Longueur de bourrage totale :

$$Lb = Ltr - Lch ; \text{ m}$$

- $Ltr$  : la longueur du trou, m ;
- $Lch$  : la longueur de la charge, m

#### ❖ Volume de bloc à abattre :

Le volume de bloc égale à la production annuelle divisée par le nombre d'intervalle de tir par le nombre des mois ou des semaines

$$Vb = \frac{Pan}{Ns * Nint}; \text{ m}^3$$

$$V_{an} = \frac{Pan}{\gamma}; \text{ m}^3$$

- $Pan$  : Production annuel,  $\text{m}^3/\text{an}$
- $Ns$  :  $N_s$  nombre de semaine
- $Nint$  : nombre de semaine de tir
- $\gamma$  : La masse volumique  $\text{kg} / \text{m}^3$

#### ❖ Nombre de trous dans un bloc :



## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

$$Ntr = \frac{Vb}{Vt}$$

- $Vb$  : volume de bloc,  $m^3$
- $Vt$  : volume de trou,  $m^3$

### ❖ Section de bloc à abattre :

$$Sb = \frac{Vb}{Hg}; m^2$$

- $Vb$  : volume de bloc,  $m^3$
- $Hg$  : hauteur de gradin, m

### ❖ Largeur d'enlevure :

$$A = W + (Nr - 1) * b ; m$$

- $W$  : ligne de moindre résistance, m
- $Nr$  : Nombre de rangée
- $b$  : Distance entre deux rangées de trou
  - Tir a micro retard .....  $b = W$ , [m]
  - Tir instantané .....  $b = 0,8 * a$ , [m]

Le plus souvent on utilise de 1 à 5 rangées maximum.

### ❖ Longueur du bloc :

$$Lb = \frac{Sb}{A}; m$$

- $Sb$  : Surface du bloc à abattre  $m^2$
- $A$  : Largeur d'enlevure (A) m

### ❖ Quantité d'explosif total dans un bloc :

$$Qtot = Q * Ntr ; Kg$$

- $Q$  : la quantité d'explosif dans un bloc, kg
- $Ntr$  : Nombre de trou dans un bloc.

### ❖ Longueur total foré :

$$Ltf = Ltr * Ntr ; m$$

- $Ltr$  : la longueur du trou, m ;
- $Ntr$  : nombre des trous

### ❖ Rayon de sécurité :

$$Rs = 29 * \sqrt{\frac{Qtot}{N}} ; m$$

$N$  : nombre de détonation

## Chapitre I : Conception d'un plan de tir.

### Conclusion :

Ce chapitre nous a renseignés sur les phénomènes associés à l'explosion et les difficultés de contrôler les résultats des tirs à l'explosif qui en résultent.

Il est déjà important de pouvoir identifier les paramètres qui peuvent influencer l'opération et indiquer dans une certaine mesure la manière dont ces paramètres, pris isolément, affectent la fragmentation. Enfin, étant donné un contexte roche-explosif et un plan de tir théorique, la maîtrise de la foration, les variations géométriques des fronts et géo-structurales des gradins jouent un rôle déterminant dans la bonne réussite de l'abattage.

Donc, dans le prochain chapitre, nous allons étudier les conditions géologiques et minières de la carrière d'Ain El Kebira et les différents processus de la chaîne technologique d'exploitation de calcaire.

**Chapitre II : Conditions  
géologique et minières du  
gisement de calcaire de la  
carrière d'Ain el Kebira w  
SETIF.**

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

### Introduction :

Dans ce chapitre, on va faire une étude générale sur le gisement de calcaire de djebel Medjounes de la cimenterie d'Ain el Kebira W. STIF, en mettant en évidence une brève historique sur les travaux de la recherche et d'exploitation et le calcul des différents paramètres du plan de tir réalisé au niveau de la carrière. En fin une description de problème des hors gabarit avec les causes possibles et les travaux de débitage secondaire.

### I.1 Historique de la carrière :

Les études géologiques pour la recherche de gisements de matières premières pour l'implantation d'une cimenterie dans la région de Sétif ont débuté en 1971.

Une dizaine de gisements ont été localisés, mais ceux du Djebel M'edjounes étudiés à partir de septembre 1973, se sont relevé très favorables pour l'implantation d'une cimenterie, que ce soit du point de vue qualité / quantité des roches des calcaires et des marnes, que sur le plan infrastructure (présence d'une rivière à proximité, existence de lignes électriques et de routes). [21]

Les travaux de prospection ont été réalisés par la société Allemande GmbH. Les travaux de construction de la cimenterie de Ain Kebira ont débuté en 1975, et se sont élevé en 1978, année de son inauguration. En janvier 1979, la cimenterie a atteint une capacité de production de 3000T/an.

Le gisement étudié se situe sur le bord Ouest du Djebel Medjounes qui s'étend sur une longueur de 13 km et une largeur de 07km.

Il constitue un promontoire de ce grand massif et est limité à son pied ouest par un oued nommé Chabet Rebiba.

Sa limite Nord est formée par une dépression large d'environ 150m et celle Est consisté en une gorge dite celle de Ben Djedda.

Quant à sa limite Est, celle-ci se trouve non loin d'une vallée qui descend vers le nord.

Les études géologiques pour la recherche de gisements de matières premières pour L'implantation d'une cimenterie dans la région de Sétif a débuté en 1971.

Une dizaine de gisements ont été localisés, mais ceux du Djebel Medjounes, étudiés à partir de septembre 1973 ; se sont révélés très favorables pour l'implantation d'une cimenterie, que ce soit du point de vue qualité/quantité des roches calcaires et des marnes, que

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

sur le plan infrastructure (présence d'une rivière à proximité, existence de lignes électriques et de routes).

Les travaux de prospection ont été réalisés par la société allemande GmbH (Gesellschaft mit beschränkter Haftung « Société à responsabilité limitée »), Les travaux de construction de la cimenterie d'Ain El Kebira ont débuté en 1975, et se sont achevés en 1978, année de son inauguration. En janvier 1979, la cimenterie a atteint une capacité de production de 3000 T/J. [22]

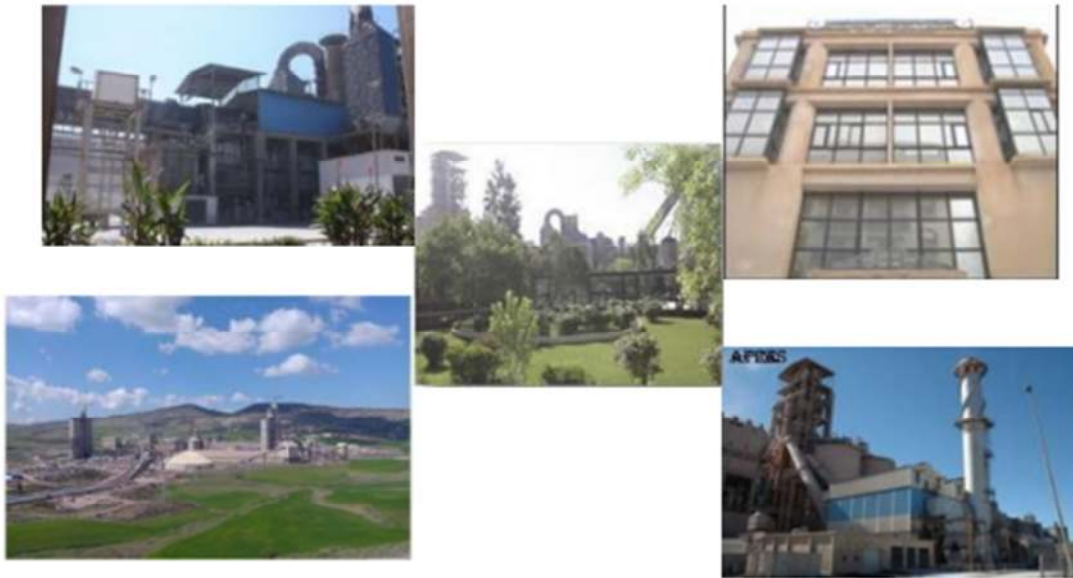


Figure II.01 : photo de l'entrepris. [23]

### II.2 Situation géographique :

Le gisement de calcaire d'Ain El Kebira est situé à environ 20 Km au Nord du chef-lieu de la wilaya de Sétif et à 7 Km au Sud de la daïra d'Ain El Kebira dont il porte le nom. La route Ain El Kebira-Sétif passe à proximité de la carrière.

La cimenterie d'Ain Kebira est située à 200 km environ à l'Est d'Alger, à proximité de la ville d'Ain Kebira depuis laquelle on atteint l'usine après 5 km sur la N9B en direction du Sud-ouest.

Les coordonnées géographiques du centre du gisement sont :

Attitude =  $36^{\circ}19' N$

Longitude =  $5^{\circ}30' E$

Administrativement ce gisement relève de la commune de Beni Fouda, de la daïra de Djemila et de la wilaya de Sétif.

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

Ce massif fait partie morphologiquement des montagnes du tell, par les quelles le bassin de Sétif est située à la bordure Sud à une altitude comprise entre 1070 et 1100 m, La partie centrale du bassin ne débute que dans le Sud de la ville à part quelques montagnes isolées, elle présente une morphologie peu accidentée avec des altitudes comprises entre 900 et 1000 m sur les plaines par contre les montagnes débutant à environ de 10 à 15 km au Nord de Sétif. [24]



Figure II.02 : Situation géographique du DJEBEL MEDJOUNES. [22]

### II.3 Aperçu géologique du gisement de calcaire :

A la base de l'étude géologique réalisée par l'UREG (1985), on appelle calcaire les roches à teneur en CaO supérieure à 45%, et marnes celles renfermant moins de 45% de CaO.

Suivant ce principe, le gisement est divisé en trois couches.

- **Première couche** : Découverte représentée par des calcaires, marnes et argiles détritiques ainsi que par des marnes brunes jaunâtre à inter lits de calcaires gris sombre épais de 0,3 à 0,5m. Les roches stériles ont une extension assez limitée sur le gisement. Leur puissance varie de 0 à 3.5m.
- **Deuxième couche** : Assise utile constituée de calcaires stratifiés, couleur beige à gris foncé. Au sein de l'assise utile, on dénote des passes de marnes gris sombre à noires rapportées à la substance utile pour les raisons suivantes :
  - Leur extraction sélective est difficile.
  - Elles ne nuisent pas sensiblement à la qualité du matériau.

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

Pour cette raison, le plan prévoit leur exploitation dont les réserves sont suffisantes suivant l'étude géologique complémentaire élaborée par l'UREG (1985) et l'actualisation géologique élaborée par le CETIM en mai 2020.

L'épaisseur de cette assise utile est comprise entre 15 et 100m.

- **Troisième couche** : Ce sont des roches sous-jacentes constituées de marnes noires accusant une faible teneur en CaO (< 45%).



**Figure II.03** : Google earth prise le gisement de calcaire « DJ. MEDJOUNES – CODE 120 PXC » [24]

Les coordonnées UTM Nord Sahara Fuseau 31S du permis d'exploitation de carrières (120 PXC) sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau II.01** : coordonnées du périmètre du gisement.  
Superficie

Points	COORDONNÉES		Point	COORDONNÉES	
	X	Y		X	Y
1	724 900	4 022 400	14	723 400	4 021 900
2	724 900	4 021 800	15	723 600	4 021 900
3	724 700	4 021 800	16	723 600	4 022 100
4	724 700	4 021 700	17	723 800	4 022 100
5	724 600	4 021 700	18	723 800	4 022 200
6	724 600	4 021 600	19	724 000	4 022 200
7	724 500	4 021 600	20	724 000	4 022 300
8	724 500	4 021 500	21	724 100	4 022 300
9	724 300	4 021 500	22	724 100	4 022 400
10	724 300	4 021 400	23	724 300	4 022 400

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

11	724 200	4 021 400	24	724 300	4 022 500
12	724 200	4 021 200	25	724 600	4 022 500
13	723 400	4 021 200	26	724 600	4 022 400

### ❖ Substances extraites :

Le projet d'exploitation du gisement calcaire de Djebel Medjounes a été élaboré en vue d'alimenter en sur doser la cimenterie de Ain Kebira. La cimenterie utilise un mélange cru à trois (3) composants intégrant les matières premières suivantes :

- Calcaire du Djebel Medjounes (88 %).
- Marnes argileuses (10 %).
- Minerai de fer (2 %) Ainsi, en plus du calcaire, les marnes sont également extraites dans la Partie ouest de la carrière. [25]

### ❖ Réserves géologiques :

Les réserves ont été calculées par la méthode des coupes géologiques verticales. A cet On distingue six (06) blocs de réserves géologiques.

- Q = quantité des réserves en tonnes.
- V= volume en m<sup>3</sup>
- Le poids volumique pris sur le calcul des réserves est de 2.6 t/m<sup>3</sup>

La quantité des réserves de chaque bloc a été obtenue d'après la formule :

$$Q = V * P_v$$

Restant dans les limites géologiques précédentes des réserves (actualisation 2012 et Effet, sept (07) coupes ont été établies le long des profils d'orientation Nord-ouest, Sud-est, sur la base d'un plan topographique actualisé en Mai 2020 à l'échelle 1/2 000<sup>e</sup>

## II.4 Stratigraphie : [23]

### II.4.1 Stratigraphie de la région du Djebel Medjounes :

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

Les formations du Crétacé et du Tertiaire appartiennent à la nappe de Djemila qui couvre des surfaces considérables sur la moitié nord de la carte géologique de Sétif au 1/200.000.



## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

Le sondage réalisé sur le flanc ouest du Djebel Medjounès donne une colonne stratigraphique du massif.

- **Le Trias** : Au pied du Djebel Medjounès (dans sa partie Sud-Est)affleure le Trias sous forme d'un amas composé d'argiles bariolées, de gypses roses ou rouges et de gros blocs de cargneules et de calcaires dolomitiques.

- **Le Crétacé** : Les roches du Djebel Medjounès appartiennent en majeure partie au Crétacé Supérieur. On distingue les séries suivantes :

❖ **Marnes noires du Campanien-Maestrichtien inférieur** : cette formationaffleure sur le flanc sud-est du Djebel Medjounes, et occupe une faible superficie (2 km<sup>2</sup>), Elle est constituée de marnes noires à boules jaunes.

❖ **Calcaires bien réglés (dits du Matrouna et du Dj. Medjounès) du Campanien supérieur et Maestrichtien** : Il s'agit d'une puissante série (250 m d'épaisseur) de calcaires massifs noirs bien lités en alternance avec des bancs marneux très minces, Les calcaires sont lités en bancs métriques groupés en barres bien individualisées (4 ou 5) atteignant 80 m d'épaisseur. Le gisement calcaire étudié dans ce travail appartient à cette série.

❖ **Marnes noires du Maestrichtien supérieur à Paléocène** : cette série, quiaffleure au pied du Djebel Medjounes, est composée de marnes noires, toujours très froissées, parfois à boules jaunes. Les marnes de cette série quiaffleurent au voisinage de la carrière de calcaire sont exploitées pour l'alimentation de la cimenterie.

- **Le Tertiaire** : Sur le flanc nord du Djebel Medjounès, les marnes noires du Maestrichtien supérieur Paléocène passent sans lacunes stratigraphiques à des calcaires bitumineux blancs de l'Yprésien-Lutétien inférieur.

Cette série est couronnée par des marnes noires ou gris à boules jaunes du Lutétien.

- **Le Quaternaire** : Dans la région d'étude, les sédiments quaternaires ne s'observent que localement et pour la plupart avec une faible puissance. [26]

### II.4.2 Tectonique du gisement :

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

- Du point de vue tectonique, le gisement calcaire fait partie intégrante de l'anticlinal du Djebel Medjounes, dont l'axe de plissement principal s'étend en direction WSW-ESE. Il repose sur le flanc SW de la voûte principale. Un plissement transversal, dont l'axe Prend la

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

direction WSW-ENE, se superpose au premier. Ces plis sont compliqués par Quelques grande set de nombreuses petites failles.

- Le pendage des couches change assez doucement. Il diminue en général de 30° à 10° Depuis le pied W du Krefdj-El-Kerma vers la cime. Un redressement notable des Couches avec changement de direction caractérise le bord Nord du gisement.

Le nombre de failles est considérable, mais celles à forts rejets ne s'observent que Dans des cas isolés.

La faille la plus importante est un effondrement qui s'étend en anneau A se trouve caractérisée par une prédominance de faille de chevauchement, Failles d'affaissement caractérisant la partie Sud de gisement, la plus grande partie du M Celle-ci. Le rejet ne semble pas dépasser 10 m.

Contrairement au grand nombre de Forme de S en direction W-E et qui a été choisie comme limite entre les panneaux A et Deuxième système de failles s'étend à 250 m au sud de cette dernière, parallèlement à B.

La valeur maximale du rejet de cette faille est de l'ordre de 25 à 30 m. o Un Dont le rejet est très faible. La majorité des failles, notamment celles de directions principales de ces failles semblent se présenter par paires selon les chevauchements peuvent être réunies par groupes suivants le sens de leur direction. Les directions suivantes :

- F 120° à 125° N ; 130° à 140° N.
- F 70° à 80° N ; 40° à 50° N.

Ces directions sont aussi celles des diaclases qui caractérisent si souvent les calcaires, se présentant en groupes sensiblement parallèles [27] (annexe II.1).

### II.5 Aperçu sur l'exploitation de gisement de calcaire : [25]

La méthode d'exploitation est la façon rationnelle de pondre le gisement, est une succession des travaux d'extraction de minerai et de stérile dans un ordre bien. La production détermine annuelle planifiée par la carrière, dans cette l'exploitation minier à ci El ouvert en distingue 3 trois types sont :

- Méthode d'exploitation par fosse.
- Méthode d'exploitation par découvert.
- Méthode d'exploitation à flanc de montagne (flanc de coteaux).

Le choix de la méthode d'exploitation dépend de plusieurs facteurs qui sont :

- La dimension du gite ;

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

- La position du gite ;
- Les caractéristiques géologiques et minières du gisement ;
- La puissance du gisement ;
- L'angle de pendage du gisement ;
- Relief de la surface où se dépose le gisement.
- Les propriétés physico-mécaniques des roches.
- Mode d'ouverture du gisement adopté.
- D'extraction du gisement dans le temps et dans l'espace d'une façon organisée et rationnelle.
- La qualité et les réserves exploitables du gisement.
- La caractéristique géologique du gisement.
- La topographie du gisement.
- Des dimensions des engins miniers et de transport. [28]

### II.6 Méthode et paramètres d'exploitation :

#### II.6.1 Méthode d'exploitation :

D'après les données topographiques et géologiques il est donné que le gisement de la carrière de djebel Medjounes est à relief montagneux avec une pente de 25°.

Selon la classification de l'académicien « RJEVSKI » qui est adoptée à ces type de gisement la méthode d'exploitation par fonçage de haut en bas. [25]

L'exploitation commune avec la préparation du sommet a un seul bord exploitable. Afin d'avoir une plateforme suffisante pour l'emplacement des engins et au fur et à mesure qu'on s'enfonce du haut en bas, Selon la classification de « Scheschko » la méthode d'exploitation à adopter est celle par transport au terril extérieur.

Actuellement, le gisement du Djebel Medjounès occupe une superficie de 81 HA. L'angle de pendage varie de 70° à 85°, La longueur de la plateforme de travail, gradins sont en exploitation, la hauteur de chaque gradin est de 15 m, varie de 150 m à 250 m (cela dépend de l'avancement des travaux).

L'exploitation du gisement de calcaire « Djebel Medjounes » se fait par la méthode à ciel ouvert à flanc de montagne (flanc de coteaux), par tirs à l'explosif avec le respect de l'art miniers, sur cinq niveaux successifs +1170 m, +1155 m, +1140 m, +1128 m et +1115 m, comme suite :

- **Poursuit d'exploitation du niveau +1170 m :**

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

Le front d'exploitation du niveau +1170 m aura à se développer dans la direction Sud sur une superficie totale de 1 873 m<sup>2</sup>, La quantité de roche à extraire à partir de ce niveau

### **•Poursuit d'exploitation du niveau +1155 m :**

Le front d'exploitation du niveau +1155 m aura à se développer dans la direction Sud-ouest sur une superficie totale de 6 011 m<sup>2</sup>, La quantité de roche à extraire à partir de ce niveau d'exploitation s'élève à 160 482 tonnes.

### **•Poursuit d'exploitation du niveau +1140 m :**

Le front d'exploitation du niveau +1140 m aura à se développer dans la direction Sud-ouest sur une superficie totale de 26 403 m<sup>2</sup>, La quantité de roche à extraire à partir de ce niveau d'exploitation s'élève à 707 803 tonnes.

### **•Poursuit d'exploitation du niveau +1128 m :**

Le front d'exploitation du niveau +1128 m aura à se développer dans la direction Sud-ouest sur une superficie totale de 16 402 m<sup>2</sup>,

La quantité de roche à extraire à partir de ce niveau d'exploitation s'élève à 469 524 tonnes.

### **•Poursuit d'exploitation du niveau +1115 m :**

Le front d'exploitation du niveau +1115 m aura à se développer dans la direction Sud-ouest sur une superficie totale de 18 388 m<sup>2</sup>, La quantité de roche à extraire à partir de ce niveau d'exploitation s'élève à 689 541 tonnes.

### **II.6.2 Paramètres principaux de la méthode d'exploitation :**

Les paramètres d'extraction sont comme suivis :

- Hauteur du gradin : 15 m
- Angle de talus : 80°
- Plate-forme de travail : 40 X 50 m<sup>2</sup>.
- Piste secondaire d'accès aux fronts de taille : 0,5 à 1 km.
- La largeur d'enlèvement « A »: 6m.
- Largeur de la plateforme de travail : 70m.

D'exploitation s'élève à 59 371 tonnes.

La carrière de djebel Medjounes contient 7gradins, 6gradins de 15m et un gradin de 20m dont sa longueur de forage diffère de celles des autres de 6,5m.



**Figure II.04 : Les éléments du gradin de la carrière d'Ain Kebira. [26]**

## **II.7 Travaux de forages et de tir dans la carrière :**

### **II.7.1 les travaux de forages :**

#### **❖ La Foration des trous de mine :**

- Les travaux de foration et de tir doivent être programmés à l'avance afin de fournir continuellement le calcaire abattu au concasseur.
- La foration des trous de mines se fera par deux machines de forage dotées d'un taillant de diamètre ( $\varnothing$  110 mm).
- Dans les conditions des calcaires de « Djebel Medjounes », quatre Sondeuses (DM25, DM30, CM348 et Roc F6) avec le diamètre indiqué précédemment sont jugées suffisantes vue la cadence et le rendement de foration prévue par la SCAEK.
- La volée d'abattage, lieu d'implantation des trous de mine, doit faire l'objet de préparation et de nivellement par Bulldozer pour permettre l'aisance de déplacement des machines de forage.

#### **❖ Hypothèse de Tir :**

- Le tir proposé sera réalisé sur des hauteurs de gradin de 15 mètres.
- Le calcaire en question fait appel à des énergies considérables pour sa dislocation du massif.
- Le plan de tir prévoit l'utilisation des explosifs brisants qui provoquent un effet de choc ainsi que l'utilisation de l'Anfomil qui dégage une grande énergie de gaz.
- Les paramètres de plan de tir assurent l'extraction d'un volume du calcaire de l'ordre de 9 500 m<sup>3</sup> en place par tir.
- Nombre de tir par mois : 7 tirs/mois. [30]

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

### ❖ Chargement des trous :

- Charge de pied : Marmanit III en cartouche de diamètre 80 mm.
- Charge de colonne : Anfomil en vrac.
- Bourrage : stérile de foration.
- Amorçage des trous de mine : Amorçage latéral par cordeau détonant de 12 g/ml. (ONEX)
- Initiation des trous de mine par détonateur micro retard (DMR).
- Mise à feu : électrique par explodeur.

### ❖ Paramètre principal de tir :

#### GÉOMETRIE :

Hauteur gradin : 15 m  
Diamètre du trou : 110 mm  
Inclinaison du trou / verticale : 10°  
Rapport de Maille : 1.2

#### EXPLOSIF DE PIED :

MARMANIT III : 80 mm  
Vitesse de détonation : 6500 m/s.

#### EXPLOSIF DE COLONNE :

ANFOMIL : En Vrac.  
Vitesse de détonation : 3000m/s.

#### ROCHE :

Calcaire.  
Vitesse de propagation ondes : 3500 m/s

### II.7.2 les travaux de tir :

Dans la perspective d'atteindre les objectifs fixés, l'exploitant peut être orienté par le plan de tir type défini par les paramètres, ces paramètres garantiront une quantité de calcaire abattu égale à 24 704 tonne/tir.

### II.7.3 Paramètre des travaux de forage et de tir [31]

Pour les principales causes qui provoquent le taux élève des hors-gabarits, on peut citer

- La fissuration du massif
- La consommation spécifique insuffisante
- Mauvais choix de l'inclinaison et de diamètre des tous
- Mauvaise construction du chargé

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

- Mauvais mode d'initiation de la charge
- Dimensions de la maille.

Dans notre cas, l'essentiel facteur ciblé sur la qualité de fragmentation des roches sont

### II.8 Chargement et transport :

#### II.8.1 Chargement :

En considérant la variante d'organisation su-motionnée et compte tenu du niveau de production par poste (3 419 m<sup>3</sup> foisonnée/poste), les chargeuses disponibles au nombre de Quatre de 8 m<sup>3</sup> de godet couplée aux Dumpers de 60 tonnes de charge utile répond bien aux conditions techniques.

Au niveau des carrières les engins de chargement et d'excavation utilisée sont les excavateurs à godet unique. Parmi les excavateurs à godet unique on utilise à la carrière d'Ain Kebira les chargeuses sur pneus KOMATSU WA 700 et Caterpillar 990 K pour le chargement des roches dans les camions, son classe suivant leur caractéristique comme suit :

**Tableau II.02** : les différents matériels de chargement utilisé dans la carrière. [29]

Type de chargeuse	Nombre	Capacité du godet (m3)
Komatsu WA 700	01	7 à 8
Komatsu WA 600	01	7 à 8
Caterpillar 990k	06	9

Ceux-ci sont conçus pour les travaux de chargement et de manutention des matériaux en vrac lorsqu'on recherche le coût à la tonne le plus bas possible. [30]

Le calcul des rendements des engins de chargement sont représentés dans le tableau suivant :

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

**Tableau II.03 : Paramètres de calcul pour l'opération de chargement. [22]**

Paramètres	Valeur	Unité
01. Durée d'un poste de travail	660	Mn
02. Durée des travaux préparatoires	30	Mn
03. Durée besoins personnels	30	Mn
04. Temps de travail par poste	600	Mn
05. Durée effectif par poste de travail 45/60mn	450	Mn
06. Capacité du Godet	9	m <sup>3</sup>
07. Taux d'utilisation du Godet	85	%
08. Masse volumique de la matière	2.59	T/m <sup>3</sup>
09. Coefficient de foisonnement	1.5	
10. Masse volumique foisonnée =2.59/1.5	1.73	T/m <sup>3</sup>
11. Volume au Godet	7.6	m <sup>3</sup>
12. Charge utile du camion	65	T
13. Nombre de cycles pour charger un camion	5	Cycle
14. Temps de chargement du camion	7	Mn
15. Nombre de camions à charger par poste	64	Camions
16. Volume de matière dans un camion	37	m <sup>3</sup> foisonné
17. Rendement de la chargeuse	2 368	m <sup>3</sup> foisonné/poste
18. Rendement de la carrière	4701	m <sup>3</sup> foisonné/poste
. nombre de chargeuses	02+01	

### Sécurité de chargement :

- ❖ Il importe d'organiser une plate-forme horizontale pour l'évolution de l'engin.
- ❖ Les blocs hors gabarit doivent être stockés séparément pour le second débitage.

**Durant cette année 2022 :** pour un poste de 11 h de travail et pour un rendement de 4 701 m<sup>3</sup> foisonné/poste, trois (03) chargeuses de 9 m<sup>3</sup> seront satisfaisantes pour cette opération de chargement (dans le cas réel de préférence d'avoir le nombre calculé plus 1 Engin).

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



## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.



**Figure II.05 :** L'opération de chargement au niveau de la carrière d'Ain Kebira. [22]

### II.8.2 Transport :

L'opération de transport est assurée par une flotte de dumper de 60 tonnes de charge utile. Une quantité de 166 667 tonnes par mois sera déplacé au cours des mois de l'exercice 2022 à Partir des fronts de taille d'abattage jusqu'au concasseur primaire, ses materiae son classe suivant Leur caractéristiques comme suit :

**Tableau II.04 :** les différents matériels de transport utilisé dans la carrière. [29]

Type de camion	Nombre	Capacité (tonne)
Hitachi EH 1000	08	60
Hitachi EH 1100	04	60
Caterpillar 796	02	60
Caterpillar 773G	01	60
Komatsu HD 465	01	45

La distance de transport change avec l'avancement de l'exploitation, la distance moyenne prise pour le calcul du rendement des engins est de 3 km.

## Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.

Le calcul de rendement des engins de transport sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.05 : Paramètres de calcul pour l'opération de transport. [22]**

Paramètres	Valeur	Unité
01. Capacité d'un camion	65	Tonne
02. Distance de parcours (moyenne)	5.9	Km
03. Temps de parcours (camion vide)	18	Mn
04. temps de parcours (camion chargé)	14	Mn
05. Temps de chargement	7	Mn
06. Temps de déchargement	1	Mn
07. Durée d'un cycle	40	Mn
08. Temps efficace de travail par poste	520	Mn
09. Nombre maximum de cycles par poste	13	Cycle
10. Volume foisonnée de matière à évacuer par camion	37	m <sup>3</sup>
11. Rendement du camion (Volume foisonnée).	481	m <sup>3</sup> /post
12. volume à transporter par poste ou rendement de la carrière (Volume foisonnée).	4 701	m <sup>3</sup>
13. nombre de camions	10+1	Camions

### Sécurité au transport :

- ❖ Tout conducteur devra respecter le code de la route.
- ❖ L'excès de vitesse n'est pas interdit.
- ❖ Le sens de circulation sera conforme au plan de circulation interne de la carrière préalablement établi.
- ❖ En temps de pluie, la vitesse sera limitée afin d'éviter les accidents.
- ❖ Durant la période sèche, les pistes et le tronçon de route seront périodiquement arrosés afin de minimiser le dégagement des poussières.
- ❖ La circulation des engins à chenilles sur les pistes améliorées est déconseillée.

**Durant cette année 2022 :** pour un poste de 11 h de travail et pour un rendement de 4 701 m<sup>3</sup> foisonné/poste, onze (11) dumpers de 65 tonne de charge utile seront satisfaisant pour l'opération de chargement (dans le cas réel de préférence d'avoir le nombre calculé plus 1 camion),



**Figure II.06 :** L'opération de transport au niveau de la carrière d'Ain Kebira. [22]

## **I.9 Débitage secondaire**

### **II.9.1 Débitage secondaire au niveau de la carrière :**

Après avoir effectué le tir dans la carrière, une partie des roches abattue présente des blocs dont les dimensions ne sont pas admissibles dans la trémie du concasseur (largeur de l'ouverture de notre concasseur est 1200 mm), ces morceaux sont des hors gabarit. Afin de réduire les dimensions de ces blocs on a recourt au débitage secondaire qui se fait par usage d'explosif (Le débitage peut se faire à l'aide d'une ou plusieurs cartouches placées sur le bloc (charge superficielle), ou à l'intérieur des trous forés à cet effet) ou, soit par brise roche destiné spécialement pour ces tâches. (avec frais supplémentaire de chargeuse et camion)



**Figure II.07 :** Processus du débitage secondaire.

### **II.9.2 Etude des causes de provenance des hors-gabarits**

#### **A/ La fissuration naturelle :**

Elle influe directement sur l'effet de tir puisque l'énergie des ondes n'est pas totalement consommée par la fragmentation ce qui diminue la qualité de la fragmentation des roches puisqu'une grande partie s'échappe à travers les fissures et par conséquent, l'apparition d'un taux élevé de hors-gabarits

L'importance pratique de l'étude de la fissuration, dans les conditions de notre carrière et d'autre, consiste à la détermination de la densité de fissure, leurs directions et pendage qui sont des paramètres très importants lors l'élaboration des plans de tir permettant une exploitation optimale des gisements. [31]

#### **B/ Quantité d'explosif dans un trou**

Les roches de dureté moyenne et dures nécessitent les travaux de forage et tir. Pour cela, il faut que la consommation d'explosif soit suffisante pour la fragmentation complète des roches et l'obtention d'un tas de roches de granulométrie souhaitée. A la carrière de Ain El Kebira la quantité d'explosif utilisé n'est pas suffisante, elle est de 100 kg pour un trou de 15m.

#### **C/ Paramètres de la maille :**

Leur mauvais calcul provoque des blocs hors-gabarits, par exemple (a : la distance entre deux trous) qui doit être la même entre tous les trous. Dans la carrière de Ain El Kebira la maille n'est pas réglementaire



**Figure II.8 :** les blocs hors-gabarits

#### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a mené une étude générale sur le site étudié (carrière de calcaire d'Ain

El Kebira), dont on a rassemblé tous les paramètres de la méthode d'exploitation employée. Ainsi on a récapitulé le calcul des paramètres du plan de tir et les travaux de chargement et le transport.

## **Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière d'Ain el Kebira w STIF.**

La réalisation d'un plan de tir adéquat aux conditions de la carrière avec la présence des hors gabarit influe directement sur tous les processus technologiques du chargement jusqu'à l'étape de la préparation mécanique.

Donc, dans le prochain chapitre, nous allons étudier l'optimisation des travaux de tir au niveau de la carrière d'Ain el kebira, afin de proposer un plan de tir optimal.

**Chapitre II : conditions géologique et minières de gisement de calcaire de la carrière  
d'Ain el Kebira w STIF.**

# **Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière**

## Introduction

Le défi majeur à relever dans une opération minière est l'accroissement de la productivité et la minimisation des coûts opératoires globaux. Le contrôle de l'abattage des roches à l'explosif par la modélisation et la simulation offre une meilleure voie à moindre coût et rapide pour augmenter le revenu grâce à une distribution granulométrique optimale pour le processus « chargement, concassage et broyage ».

Cependant l'amélioration de l'abattage minier se résume à la recherche des trois objectifs principaux suivants :

- Quantité de roche abattue maximale ;
- Tailles de fragments obtenus optimales vis-à-vis de leurs utilisations des futures ;
- Impacts environnementaux minimaux.

Les modèles prévoient seulement la taille des passants et ne considère pas la forme des particules ou l'affaiblissement du matériel, dû aux microfissures provenues du taux de chargement élevé de tir. Le modèle de Kuz-Ram.

Enfin, on va faire une étude comparative entre les résultats obtenus par cette méthode.

### III.1.1 TRAVAUX D'ABATTAGE

L'abattage du calcaire « Djebel Medjounes » se fait à l'aide des travaux de foration et le tir à l'explosif.

#### III.1. 2 Travaux de foration (suivant de leur rapport)

- Les travaux de foration et de tir doivent être programmés à l'avance afin de fournir continuellement le calcaire abattu au concasseur.
- La foration des trous de mines se fera par deux machines de forage dotées d'un taillant de diamètre ( $\varnothing$  110 mm).
- Dans les conditions des calcaires de « Djebel Medjounes », quatre Sondeuses (DM25, DM30, CM348 et Roc F6) avec le diamètre indiqué précédemment sont jugées suffisantes vue la cadence et le rendement de foration prévue par la SCAEK.
- La volée d'abattage, lieu d'implantation des trous de mine, doit faire l'objet de préparation et de nivellement par Bulldozer pour permettre l'aisance de déplacement des machines de forage.



### III.1.3 Hypothèse de Tir (suivant de leur rapport)

- Le tir proposé sera réalisé sur des hauteurs de gradin de 15 mètres.
- Le calcaire en question fait appel à des énergies considérables pour sa dislocation du massif.
- Le plan de tir prévoit l'utilisation des explosifs brisants qui provoquent un effet de choc ainsi que l'utilisation de l'Anfomil qui dégage une grande énergie de gaz.
- Les paramètres de plan de tir donnés ci-dessous assurent l'extraction d'un volume de calcaire de l'ordre de 9501 m<sup>3</sup> en place
- Nombre de tir par mois : 7 tirs/mois.

### III.1.4 Chargement des trous : (suivant de leur rapport)

- Charge de pied : Marmanit III en cartouche de diamètre 80 mm
- Charge de colonne : Anfomil en vrac.
- Bourrage : au niveau de la carrière de la cimenterie Ain El Kbira, le stérile de foration est utilisée comme bourrage au trous des mines, l'utilisation de ce produit diminue la qualité de fragmentation des roches par le dégagement d'une charge importante de gaze vers le haut, d'où les tirs donne un très mauvais rendement, et trop de hors gabarit.
- Amorçage des trous de mine : Amorçage latéral par cordeau détonant.
- Initiation des trous de mine par détonateur micro retard (DMR)
- Mise à feu : électrique par exploseur.

### III.1.5 Plan de Tir : (suivant de leur rapport)

Dans la perspective d'atteindre les objectifs fixés, l'exploitant peut être orienté par le plan de tir type défini par les paramètres ci-dessous, ces paramètres garantiront une quantité de calcaire abattu égale à 20833 tonne/tir.

Les principaux paramètres d'un tir à l'explosif sur deux volées sont :

### III.1.6 PARAMETRES PREALABLE

#### ❖ GÉOMETRIE : (suivant de leur rapport)

- Hauteur gradin : 15 m
- Diamètre du trou : 110 mm
- Inclinaison du trou / verticale : 10°

#### ❖ EXPLOSIF DE PIED : (suivant de leur rapport)

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

- MARMANIT III : 80 mm
- Vitesse de détonation : 6500 m/s.
- ❖ **EXPLOSIF DE COLONNE** : (suivant de leur rapport)
- ANFOMIL : En Vrac.
- Vitesse de détonation : 3000m/s
- ❖ **ROCHE** : (suivant de leur rapport)
- Calcaire.
- Vitesse de propagation ondes : 3500 m/s
- ❖ **MAILLE** : (suivant de leur rapport)
- Largeur de la Banquette : 4.8 m.
- Espacement des trous : 3.8 m.
- Longueur totale trous : 16.41 m.
- Dont Sur foration : 1.16m.
- Longueur bourrage : 3.86 m.

### III.1.7 PARAMÈTRES POUR ABATTAGE TONNAGE ROCHE DONNE :

- ❖ **EXIGENCES** : (suivant de leur rapport)
- Tonnage minimum à abattre : 20833 t par mois par jour
- Nombre de rangées : 2
- Nombre de trous /rangées : 19 trous
- ❖ **RÉSULTATS** : (suivant de leur rapport)
- Nombre total de trous : 38 trous
- Quantité d'explosifs de pied : 1252 kg
- Quantité d'explosifs de colonne : 2271 kg
- Quantité totale d'explosifs : 3523 Kg
- Volume abattu effectif : 9501 m<sup>3</sup>
- Consommation spécifique : 135 g/t
- Consommation spécifique : 351 g/m<sup>3</sup>
- La quantité mensuelle d'explosif : 24 661 kg
- La quantité annuelle d'explosif : 295 932 kg

❖ Schéma de tir en (m)

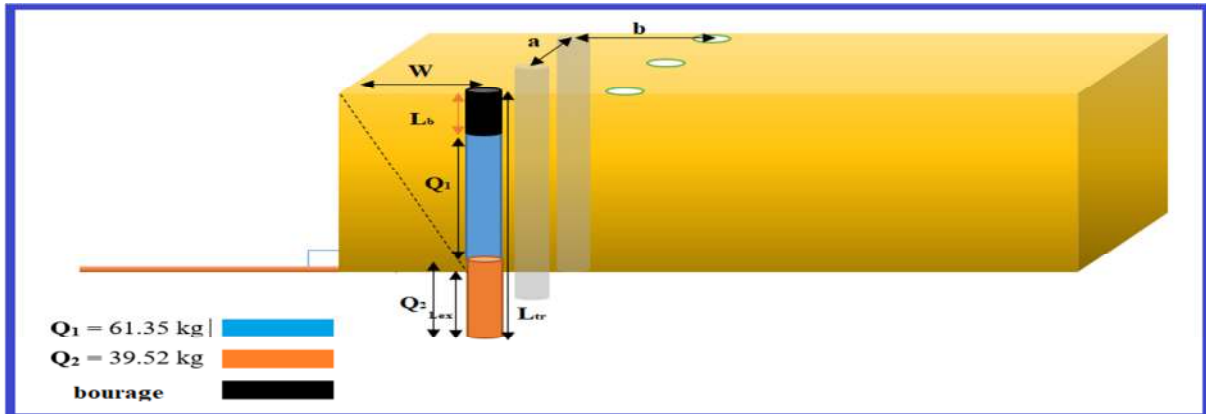


Figure III.1 : Schéma de tir

❖ Plan de tir utilisé :

Dans le cas étudié, ils utilisent un schéma de tir successif a microretards en utilisant des détonateurs a microretards avec un retard de 12 ms.

La figure si dessus montre l'ordre de tir :

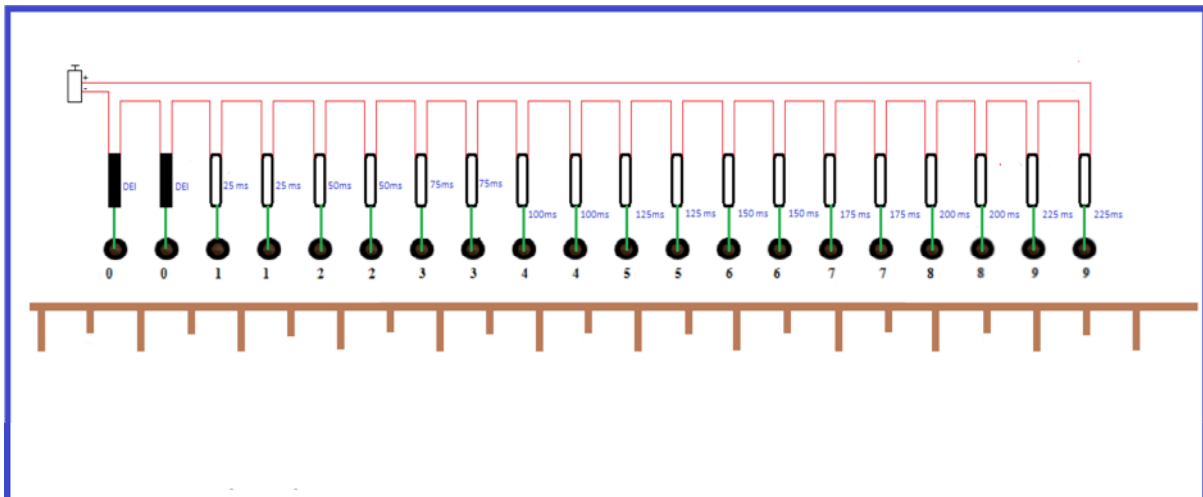


Figure III.2 : Schéma de tir utilisé aux niveau de la carrière d'Ain Kebira.

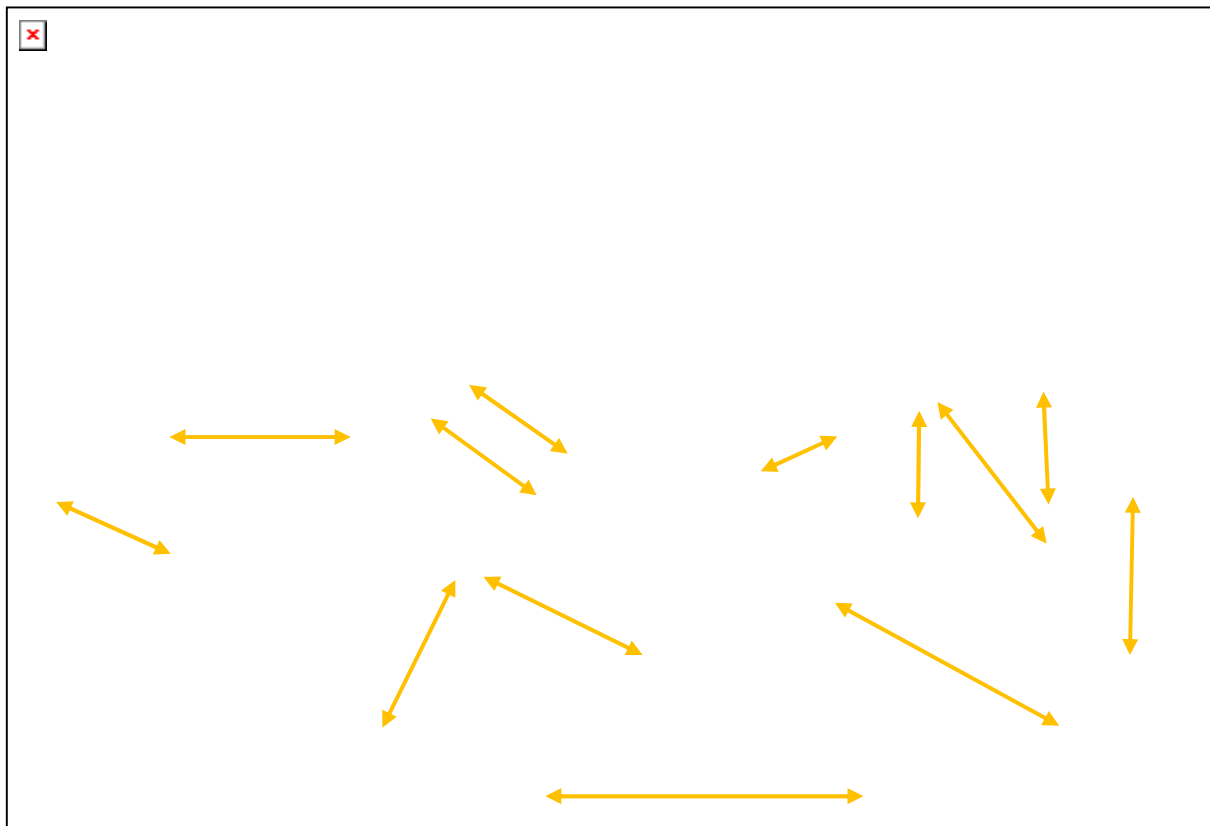


Figure III.3 : Forme et dimensions du tas abattu

### III.1.8 Paramètres des travaux de forage et de tir

#### ❖ Détermination de la résistance des roches au tir (tirabilité)

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

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

$\delta_{comp}$  : limite de la résistance de compression,  $kgf/cm^2$

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

$$\delta_{comp} = 100 * 7.724 = 772.4 ; Kgf/cm^2$$

F : La dureté de la roche,  $f = 7.724$

$\delta_{tr}$  : limite de la résistance à la traction,  $kgf/cm^2$

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

$$\delta_{tr} = 0.1 * 772.4$$

$$\delta_{tr} = 77.24 ; kgf/cm^2$$

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

$\delta_{dép}$  : Limite de la résistance au déplacement,  $\text{kgf/cm}^2$

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

$$\delta_{dép} = 0.265 * 772.4$$

$$\delta_{dép} = 204.686 \text{ Kgf/cm}^2$$

$\gamma$  : la masse volumique de la roche,  $\text{t/m}^3$

$$\gamma = 2.6 ; \text{t/m}^3$$

DONC

$$q_{et} = 0,02 * (772.4 + 77.24 + 204.686) + 2 * 2,6$$

$$q_{et} = 26.28652 ; \text{g/cm}^3$$

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

**Tableau III.1** : classification des roches selon l'indice de tirabilité [13]

Classes	$q_{et}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Type de tirabilité
I	$\leq 10$	facile
II	10,1÷20	moyenne
<b>III</b>	<b>20,1÷30</b>	<b>difficile</b>
IV	30,1÷40	Très difficile
V	40,1÷50	Exclusivement difficile

Le calcaire de la carrière Ain El Kebira est **difficile**.

### ❖ Détermination de la consommation spécifique d'explosif du projet

Dans notre projet, on essaie de déterminer la consommation spécifique d'explosif dans les conditions minières Ain El Kebira est donnée par la formule suivante

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

Où :

$$q_{ét} = 26.28652 ; \text{g/cm}^3$$

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

$$k_{ex} = \frac{A_{ét}}{A_{ut}}$$

$A_{ét}$  et  $A_{ut}$  Sont respectivement les aptitudes au travail de l'explosif étalon et de l'explosif utilisé.

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

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

$$\mathbf{A_{ut}} = \frac{A_{anf} * \% + A_{mar} * \%}{100} ; \text{cm}^3$$

$A_{anf} = 320 \text{ Cm}^3$  (Anfomil) Explosif en colonne.

$A_{mar} = 360 \text{ Cm}^3$  (Marmanit III) Explosif d'amorçage.

$$\mathbf{A_{ut}} = \frac{320 * 62.5 + 360 * 37.5}{100} = 335 ; \text{Cm}^3$$

$$\mathbf{Kex} = \frac{A_{ét}}{A_{ut}} = \frac{360}{335} = 1.075$$

**kf** : Coefficient qui tient compte de la fissuration d'explosif.

$$\mathbf{Kf} = 1.2 * lm + 0.2$$

**lm** : Dimension moyenne du bloc dans le massif.

La valeur moyenne entre 02 fissures, est estimée à **0.9 ; m**.

**Donc ;**

$$\mathbf{Kf} = 1.2 * 0.9 + 0.2 = 1.28$$

**Kd** : coefficient qui tient compte du degré de fragmentation nécessaire.

$$\mathbf{Kd} = \frac{0.5}{D_{moy}}$$

**Avec**

$$D_{moy} = (0.15 \div 0.2) \sqrt[3]{E} ; \text{m}$$

$$D_{moy} = 0.175 * \sqrt[3]{8} = 0.35 ; \text{m}$$

E : capacité du godet ; E = 8 ; m<sup>3</sup>

$$\mathbf{Kd} = \frac{0.5}{0.35} = 1.43$$

**Kc** : Coefficient tenant compte de degré de concentration de la charge

Pour les trous du diamètre >100mm, Kc sera égale respectivement :

Pour les roches à tirabilité facile, Kc = (0,95\_1,0) ;

- Pour les roches à tirabilité moyenne, Kc = (0,85\_0,9) ;

- Pour les roches à tirabilité difficile, Kc = (0,7\_0,8)

Dans notre cas, la tirabilité des roches est difficile, on prend

$$\mathbf{Kc} = 0.75$$

**Kv** : Coefficient qui tient compte de l'influence du volume des roches à fragmenter par explosif

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

$$Kv = \sqrt[3]{\frac{15}{Hg}} ; m$$

Dans ce projet on va prendre l'ordre de gradin à 15 ; m

$$Kv = \sqrt[3]{\frac{15}{15}} = 1 ; m$$

Ksd : Coefficient tenant compte du nombre de surfaces dégagées du massif tiré.

**Tableau III.2** : Valeur de Ksd dépend le nombre de surface libre

Number de surface	Ksd
6	1
5	2
4	4
3	6
2	8
1	10

**Tableau III.3** : Consommation spécifique d'explosif changé avec le nombre de surface libre

[16]

le nombre de surface libre	Consommation spécifique d'explosif q (g/m <sup>3</sup> )
1	467.45
2	373.92
3	280.47
4	186.98
5	93.49
6	46.74

Pour notre cas, on a 2 surfaces libres alors Ksd = 8

$$Qp = 26.28652 * 1.075 * 1.28 * 1.43 * 0.75 * 1 * 8 = 310.34; g/m^3$$

$$Qp = 310.34; g/m^3$$

La consommation spécifique utilisée au niveau de la carrière ;

$$Qp = 351 ; g/m^3$$

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

### ❖ Calcul de la longueur du trou :

$$L_{tr} = \frac{Hg}{\sin \beta} + l_{ex} ; m$$

Où :

$L_{ex}$  : la longueur de l'excès de forage qui est déterminée par la formule suivante :

$$L_{ex} = K_s * D_{tr} ; (m)$$

Où :

$K_s$  : coefficient tenant compte des propriétés des roches et de l'inclinaison des trous :

$$K_s = 10 \div 15$$

- 10 : pour les roches à tirabilité facile.

- 15 : pour les roches à tirabilité difficile.

Dans notre cas la tirabilité est difficile

Donc on prend :

$$L_{ex} = 15 * D_{tr} ; m$$

$$L_{ex} = 15 * 0.11 = 1.65 ; m$$

Alors :

$$L_{tr} = \frac{15}{\sin 80} + 1.65 ; m$$

$$L_{tr} = 16.88 ; m$$

### ❖ Calcul de la capacité métrique du trou :

Elle se détermine par la formule suivante :

$$P = \frac{\pi * D_{tr}^2}{4} * \Delta_{moy} ; (kg/m)$$

$\Delta$  : densité moyenne d'explosif en t/m<sup>3</sup>

$$\Delta_{moy} = \frac{\Delta_{anfo} * 62.5\% + \Delta_{marmanit III} * 37.5\%}{100\%}$$

Où :

$$D_{tr} = 110 ; m$$

$\Delta_{moy}$  : Densité moyenne d'explosif utilisé, kg/m<sup>3</sup>

Carrière d'Ain Kebira utilise 37.5% de **MARMANIT III** et 62.5 % de l'**Anfomil**.

- La densité de Anfomil = 0.9 t/m<sup>3</sup>

$$= 900 \text{ kg/m}^3$$

- La densité de MARMANIT III = 1.005 t/m<sup>3</sup>



## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

$$\Delta_{\text{moy}} = \frac{=1005 \text{ kg/m}^3 \cdot 37.5\% + 900 \text{ kg/m}^3 \cdot 62.5\%}{100\%}$$

Donc

$$\Delta_{\text{moy}} = \frac{900 \cdot 62.5\% + 1005 \cdot 37.5\%}{100\%} = 939.379 \text{ ; kg/m}^3$$

### ❖ Calculé Capacité métrique de trou :

$$P = \frac{\pi \cdot D_{\text{tr}}^2}{4} \cdot \Delta_{\text{moy}} \text{ ; (kg/m)}$$

$$P = \frac{3.14 \cdot (0.11^2)}{4} \cdot 939.379$$

$$P = 8.93 \text{ ; (kg/m)}$$

### ❖ La ligne de moindre résistance :

La ligne de moindre résistance se détermine par la formule suivante :

Pour  $\beta < 90^\circ$  on utilise la formule suivante :

$$W = \frac{\sqrt{P^2 + 4 \cdot (m \cdot q \cdot H_g \cdot L_{\text{tr}} \cdot P)} - P}{2 \cdot m \cdot q \cdot H_g} \text{ ; m}$$

$$W = \frac{\sqrt{79.5664 + 4 \cdot (1 \cdot 0.2813 \cdot 15 \cdot 16.88 \cdot 8.92)} - 8.92}{2 \cdot 1 \cdot 0.217 \cdot 15} = 4.81 \text{ ; m}$$

P : La capacité métrique du trou = 8.93 ; (kg/m)

m : Le coefficient de rapprochement entre deux trous

m = 0,8 Pour les roches très dures (f > 12)

m = 1 Pour les roches dures (6 < f < 12)

m = 1,2 Pour les roches assez dures (f < 6)

Dans notre cas la roche est de dureté f = 7,72.

Donc on prend m = 1

**La valeur utilisée au niveau de la carrière : W = 4.8 ; m**

### ❖ La distance entre deux trous (a)

Elle se détermine par la formule suivante :

$$a = m \cdot W \text{ ; (m)}$$

$$a = 4.81 \text{ ; (m)}$$

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

### ❖ La distance entre deux rangées (b) :

$$b = W \text{ (Tir à micro retard)}$$

$$b = a$$

$$b = 4.81 \text{ ; m}$$

### ❖ Largeur d'enlèvement (A) : Elle se détermine par la formule suivante :

$$A = W + (N - 1) * b \text{ ; (m)}$$

N : nombre de rangée ; N=2

Donc

$$A = 9.62 \text{ ; m}$$

### ❖ Quantité d'explosif par trou

Les résultats d'abattage à l'explosif dépendent de la quantité nécessaire d'explosif à mettre dans chaque trou, cette quantité se détermine par la formule suivante :

$$Q_{ex} = q * a * W * H_g \text{ ; kg/trou}$$

$$Q_{ex} = 0.310 * 4.81 * 4.81 * 15 \text{ ; kg/trou}$$

Donc

$$Q_{ex} = 107.58 \text{ ; kg/trou}$$

### ❖ Quantité de la charge inférieure et supérieure dans un trou :

- Quantité de la charge supérieure  $Q_{ch}^{SUP}$

$$Q_{ch}^{SUP} = (0,3 \div 0,4) * Q_{ex} \text{ ; kg/trou.}$$

$$Q_{ch}^{SUP} = 37.653 \text{ ; kg/trou.}$$

- Quantité de la charge inférieure  $Q_{ch}^{inf}$

$$Q_{ch}^{inf} = (0,6 \div 0,7) * Q_{ex} \text{ ; kg/trou.}$$

$$Q_{ch}^{inf} = 69.927 \text{ ; kg/trou}$$

### ❖ Longueur de la charge dans chaque trou :

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

$$L_{ch} = 12.04 \text{ ; m}$$

### ❖ Longueur de la charge supérieure et inférieure dans un trou

- Longueur de la charge dans la partie en tête :

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

$$L_{ch}^{sup} = \frac{Q_{ch}^{sup}}{p} ; m$$

$$L_{ch}^{sup} = 4.21 ; m$$

- Longueur de la charge dans la base du trou :

$$L_{ch}^{inf} = \frac{Q_{ch}^{inf}}{p} ; m$$

$$L_{ch}^{inf} = 7.83 ; m$$

❖ **Longueur du bourrage intermédiaire :**

$$Lb(int) = (0,17 \div 0,35) * Lch ; (m).$$

$$Lb(int) = 3.13 ; m$$

❖ **Longueur du bourrage du bouchon :**

$$L_{bb} = L_{tr} - (L_{ch} + Lb(int)) ; (m).$$

$$L_{bb} = 1.71 ; m$$

❖ **Volume de bloc à abattre :**

Le volume de bloc égale à la production annuelle divisée par le nombre d'intervalle de tir par le nombre des mois ou des semaines

$$Vb = \frac{Pan}{Ns * Nint} ; m^3$$

On fait 2 tirs par semaine donc  $N_{int} = 2$  ; tirs

$N_s$  : nombre de semaine  $N = 40$ ; semaine

**Pan** : Production annuelle de la carrière de calcaire = 2 000 000 Tonnes

$$V_{an} = \frac{Pan}{\gamma} m^3$$

$$V_{an} = \frac{2\,000\,000}{2.6} = 769\,230,7692 m^3$$

$$V_b = \frac{769230,7692}{40 * 2} = \mathbf{9501 m^3}$$

❖ **Surface du bloc à abattre :**

$$S_{bl} = \frac{V_b}{H_g} = \mathbf{633.4} ; m^2$$

❖ **Longueur du bloc à abattre :**

$$L_b = \frac{S_{bl}}{A} = \mathbf{66} ; m$$

❖ **Nombre de trou dans un bloc :**

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

$$N_{tr} = \left(\frac{L_b}{a}\right) * N ; \text{trou}$$

$$N_{tr} = \left(\frac{66}{4.81}\right) * 2 = 28 ; \text{trou}$$

❖ **Longueur totale forée :**

$$L_{tf} = N_{tr} * L_{tr} ; \text{m}$$

$$L_{tf} = 28 * 16.88 = 472.64 ; \text{m}$$

❖ **Quantité d'explosif totale pour abattre un bloc :**

$$Q_{tot} = Q_{ex} * N_{tr} ; \text{kg/bloc.}$$

$$Q_{tot} = 105.18 * 28 = 2945.31 ; \text{kg/bloc.}$$

- **Quantité de Marmanit III dans un bloc**

$$Q_{marmanite III}^{bl} = \frac{\% Q_{tot}}{100} ; \text{kg/bloc.}$$

$$Q_{marmanite III}^{bl} = \frac{37.5 * 2945.31}{100} = 1104.49 ; \text{kg/bloc.}$$

- **Quantité d'Anfomil dans un bloc :**

$$Q_{anfomil}^{bl} = \frac{\% Q_{ex}}{100} ; \text{kg/bloc.}$$

$$Q_{anfomil}^{bl} = \frac{62.5 * 2945.31}{100} = 1840.8 ; \text{kg/bloc.}$$

❖ **Rayon de sécurité :**

$$Rs = 29 * \sqrt{\frac{Q_{tot}}{N}} ; \text{m}$$

N : nombre de détonation=12

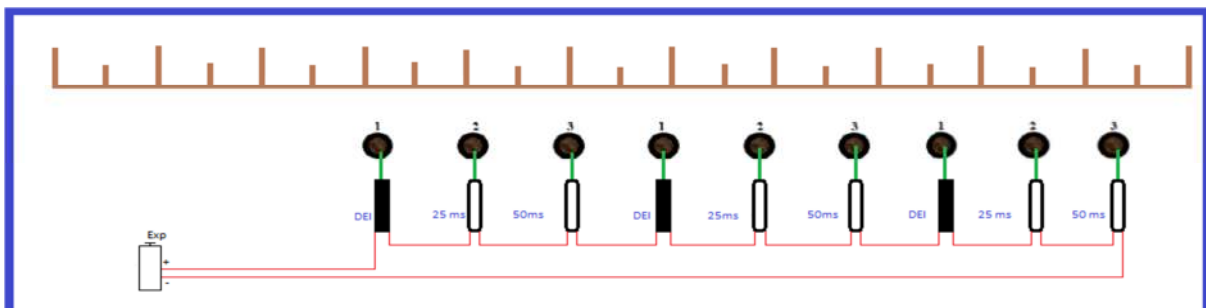
$$Rs = 29 * \sqrt{\frac{2215.5}{12}} = 454.33 ; \text{m}$$

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

**Tableau III.4 :** Comparaison entre les paramètres de tir existants et les paramètres calculés

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs	
			Existantes	Calculées
Diamètre du trou	$D_{tr}$	mm	110	110
Hauteur du gradin	Hg	m	15	15
Longueur de sous – foration	$L_{ex}$	m	1.32	1.65
Inclinaison du trou	A	Degré	80	80
Angle du talus du gradin	$\beta$	Degré	80	80
Longueur du trou	$L_{tr}$	m	16.41	16.88
Consommation spécifique	$Q_p$	Kg/m <sup>3</sup>	0.35	0.310
Ligne de moindre résistance	W	m	3.9	4.81
Distance entre deux rangées	b	m	4.88	4.81
Distance entre deux trous	a	m	3.8	4.81
Quantité d'explosif dans un trou	Q	Kg	88	105.18
Longueur de la charge	$L_{ch}$	m	12.55	12.04
Quantité totale de l'explosif	$Q_{ex}$	Kg	3325.35	2945.31
Volume de bloc à abattre	$V_b$	m <sup>3</sup>	9 501	9 501
Longueur totale de foration (m)	$L_f$	m	623.58	472.64
Nombre des trous dans bloc	$N_{tr}$	trous	38	28

### A. Schéma de tir en Proposé :



**Figure III.4 :** Schéma de tir en Proposé

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

### III.2 Modèle de Kuz – Ram :

Kuz-Ram est la combinaison des équations de Kuznetsov et de Rosin-Rammler, et le modèle empirique de fragmentation. Depuis son introduction par Cunningham,

Le modèle de Kuz-Ram a été utilisé par beaucoup des ingénieurs de mine pour prédire la fragmentation des roches résultant de tir, et beaucoup de chercheurs ont essayé d'améliorer ce modèle de Kuz-Ram pour la prédiction de fragmentation [17]

#### III.2.1 Taille moyenne des fragments

En 1973, Kuznetsov a développé une équation empirique qui relie la taille moyenne des fragments issus d'un tir  $X_{50}$  et charge spécifique d'explosif appliquée en fonction du type de roche et d'explosif. [18]

L'équation de Kuznetsov est donnée sous la forme :

$$X_{50} = A \times \left(\frac{V_{tr}}{Q_{tr}}\right)^{0.8} \times (Q_{tr})^{\frac{1}{6}} ;(\text{cm})$$

$X_{50}$  : la taille moyenne des fragments en cm.

$V_{tr}$  : volume des roches abattues par un trou de mine tiré ( $V_{tr} = W * a * H_g$ ) en m<sup>3</sup>/trou.

$Q_{tr}$  : Masse de TNT contenant l'équivalent d'énergie de la charge explosive dans chaque trou en (kg).

A : Rock Mass Factor (facteur de la masse rocheuse).

Le tableau suivant illustre la relation entre le facteur A et la dureté des roches. :

**Tableau III.5** : Facteur de la masse rocheuse en fonction de la dureté. [18]

Facteur de la masse rocheuse A	Type de la roche	Dureté f
A = 7	Roches moyennement dures	[ 7 ÷ 10 ]
A = 10	Roches dures et très fissurées	[10 ÷14]
A = 13	Roches très dures et moyennement fissurées	[12÷16]

En sachant que l'énergie relative (Relative Wight Streng th, RWS) du TNT comparé à celle d'ANFO (RWS d'ANFO = 100) est 115, une autre formule basée sur l'ANFO au lieu du TNT et proposée :

$$X_{50} = A \times \left(\frac{V_{tr}}{Q_{tr}}\right)^{0.8} \times (Q_{tr})^{\frac{1}{6}} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{\frac{-19}{30}} ;(\text{cm})$$

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

Avec :

$Q_{tr}$  : quantité d'explosif contenue dans le trou de mine, Kg/trou ;

$E$  : Énergie de l'explosif en termes de puissance comparé à celle d'ANFO ; %

$E$  de l'ANFO = 100%.

$$E = \left[ \frac{VOD_e}{VOD_n} \right]^2 \times RWS ; \%$$

Avec :

- $VOD_e$  : vitesse de détonation effective de l'explosif, m/s
- $VOD_n$  : vitesse de détonation nominale de l'explosif, m/s

En introduisant la charge spécifique, l'équation deviendra :

$$X_{50} = A(K)^{0.8} \times Q_{tr}^{1/6} \times \left( \frac{E}{115} \right)^{19/30} ; (\text{cm})$$

Avec :

- $K$  : la charge spécifique d'explosif en kg/m<sup>3</sup>.

L'équation de  $K$  est donnée par :

$$\frac{V_{tr}}{Q_{tr}} = \frac{1}{K}$$

La taille moyenne des fragments ( $X_{50}$ ) en fonction de la charge spécifique de l'explosif ( $K$ ) est donnée par la formule suivante :

$$K = \left[ \frac{A}{X_{50}} \times Q_{tr}^{1/6} \times \left( \frac{115}{E} \right)^{19/30} \right]^{1.25} ; (\text{kg/m}^3)$$

### III.2.2 Indice d'uniformité

Cependant, il est très important de savoir la distribution granulométrique résultante de la conception initiale d'un tir. [17]

Adapté le modèle de distribution de la granulométrie [19] dans la prédiction de la distribution granulométrique du tir.

Il trouva que celui-ci caractérisait mieux la fragmentation du tir. L'équation originale de prédiction [19] se présente sous la forme :

$$R = \exp^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} ; \%$$

La formule peut s'écrire aussi en fonction de pourcentages des fragments  $P(x)$  sous la forme

$$P(x) = 100 \times (1 - R) = \exp^{-\left(\frac{x}{x_c}\right)^n} ; \%$$

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

**R** : pourcentage des fragments dont la taille est supérieure à X (c'est le pourcentage des fragments retenus sur le tamis ou le crible d'ouverture X, (cm))

**P(x)** : pourcentage des fragments dont la taille est inférieure à X (c'est le pourcentage des morceaux passant à travers le tamis ou le crible d'ouverture X)

**X** : ouverture du tamis ou du crible, (cm)

**X<sub>c</sub>** : taille caractéristique, c'est la taille par laquelle passe 69,3 % des fragments, (cm)

**n** : Indice d'uniformité.

A partir de l'équation précédente, on peut trouver la taille caractéristique X<sub>c</sub> :

$$X_c = \frac{X}{\left[\ln \frac{1}{R}\right]^{\frac{1}{n}}}$$

Puisque la formule de Kuznetsov donne la taille moyenne des fragments X (X<sub>50</sub>) par laquelle 50% du matériau passe ; en substituant ces valeurs on aura :  $X = X_{50}$

$$X_c = \frac{X}{[0.693]^{\frac{1}{n}}}$$

L'indice d'uniformité (n) a été déterminé à travers une équation développée par Cunningham à partir des essais sur terrain. Cet indice nous renseigne sur l'uniformité de la courbe de fragmentation. Il est calculé à l'aide des paramètres géométriques du plan de tir :

$$n = (2.2 - 14 \times \left(\frac{b}{D}\right)) \times \left(1 - \left(\frac{w}{b}\right)\right) \times \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{a}{b}}{2}\right)} \times \left(\frac{le}{H_g}\right) \times P$$

Pour les trous de mine contenant une charge de pied et une charge de colonne, l'équation de l'indice d'uniformité peut s'écrire sous la forme suivante :

$$n = (2.2 - 14 \times \left(\frac{b}{D}\right)) \times \left(1 - \left(\frac{w}{b}\right)\right) \times \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{a}{b}}{2}\right)} \times (0.1 + \text{abs}\left(\frac{L_{cp}L_{cc}}{L_e}\right))^{0.1} \times \left(\frac{le}{H_g}\right) \times P$$

**Avec :**

- **b** : banquette en (m) ;
- **a** : distance entre les trous dans une même rangée, (m)
- **D** : diamètre de la charge, (mm)
- **L<sub>cp</sub>** : longueur de la charge du pied en (m)
- **L<sub>cc</sub>** : longueur de la charge de colonne en (m)
- **H<sub>g</sub>** : hauteur du gradin en (m)
- **L<sub>e</sub>** : longueur totale de la charge en (m)



## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

- **P** : facteur de disposition de la maille de tir
- **P** = 1 ; pour une disposition des trous en carré/rectangulaire
- **P** = 1.1 ; pour une disposition des trous en quinconce

D'après Cunningham, la valeur de n varie de [0,8÷2,2] dans la pratique. Les valeurs élevées correspondent à une granulométrie uniforme et les valeurs faibles une granulométrie étalée. La taille maximale des blocs (BDR) correspondant à l'ouverture du crible qui fait passer 98 % des fragments

L'évaluation du BDR se fait par la formule suivante :

$$BDR = X_c \times \left(\ln\left(\frac{1}{0.02}\right)\right)^{\frac{1}{n}}$$

### III.2.2.1 Résistance d'explosif (Equation de Tidman)

Tidman a développé une équation pour calculer la résistance de l'explosif, elle est donnée sous la forme suivante :

$$E = \left[\frac{VOD_e}{VOD_n}\right]^2 \times RWS ;\%$$

Avec :

- **E** : énergie de l'explosif en termes de puissance en % ;
- **VOD<sub>e</sub>** : vitesse de détonation effective de l'explosif, m/s
- **VOD<sub>n</sub>** : vitesse de détonation nominale de l'explosif, m/s
- **RWS** : *Relative Weight Strengh* (puissance relative de l'explosif)

### III.2.2.2 Indice de tirabilité

Cunningham (1987), [17] affirme que dans la plupart des cas le facteur de la roche (A) doit varier entre 8÷12. Ce facteur a été utilisé pour tenir compte de la nature des roches et de l'orientation des structures géologiques par rapport à la direction du tir. Il a été adapté par Cunningham en 1987 par référence à l'indice de tirabilité (blastibility index) développé par Lilly (1986), [20] de la manière

$$A = 0.06 \times (RMD + JF + RDI + HF)$$

Avec :

- **RMD** : description de la masse rocheuse ;
- **RDI** : influence de la densité de la roche ;
- **HF** : facteur de la dureté de la roche ;

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

- **JF** : facteur d'espacement et d'orientation des joints (facteurs de joints) ;

Le facteur de description de la masse rocheuse peut être estimé par l'équation suivante :

$$RMD = 10 + 10 \times F_{50}$$

- **F50** : dimension moyenne du bloc in-situ, (m).

### III.2.2.3 Consommation spécifique d'explosif

La consommation spécifique d'explosif est donnée par la formule suivante :

$$q_p = \frac{Q_{tr}}{b \times a \times H_g} ; (\text{Kg/m}^3)$$

**qp** : consommation spécifique d'explosif en (kg/m<sup>3</sup>)

**b** : banquette (m)

**a** : espacement entre deux trous (m)

**Hg** : hauteur du gradin (m)

**Qtr** : poids de la charge (kg)

### III.2.2.4 Poids de la charge d'explosif

Le poids de la charge d'explosif est donné par la formule suivante :

$$Q_{tr} = 1000 \times PI \times D_{tr}^2 \times L_{ch} \times P_s ; \text{Kg}$$

**Dtr** : diamètre du trou (m)

**Lch** : longueur de la charge (m)

**Ps** : densité de l'explosif (m)

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

**Tableau III.6** Formules de calcul du modèle de Kuz-Ram

Désignation	Formules	unités
Taille moyenne des fragments	$X_{50} = A \times \left(\frac{V_{tr}}{Q_{tr}}\right)^{0.8} \times (Q_{tr})^{\frac{1}{6}}$	Cm
L'indice d'uniformité	$n = (2.2 - 14 \times \left(\frac{b}{D}\right)) \times \left(1 - \left(\frac{w}{b}\right)\right) \times \sqrt{\left(\frac{1 + \frac{a}{b}}{2}\right)}$ $\times \left(\frac{le}{H_g}\right) \times P$	/
taille maximale des blocs	$BDR = X_c \times \left(\ln\left(\frac{1}{0.02}\right)\right)^{\frac{1}{n}}$	Cm
Résistance d'explosif	$E = \left[\frac{VOD_e}{VOD_n}\right]^2 \times RWS$	%
Indice de tirabilité	$A = 0.06 \times (RMD + JF + RDI + HF)$	/
Consommation spécifique	$q_p = \frac{Q_{tr}}{b \times a \times H_g}$	$\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
Poids de la charge d'explosif	$Q_{tr} = 1000 \times PI \times D_{tr}^2 \times L_{ch} \times P_s$	kg

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

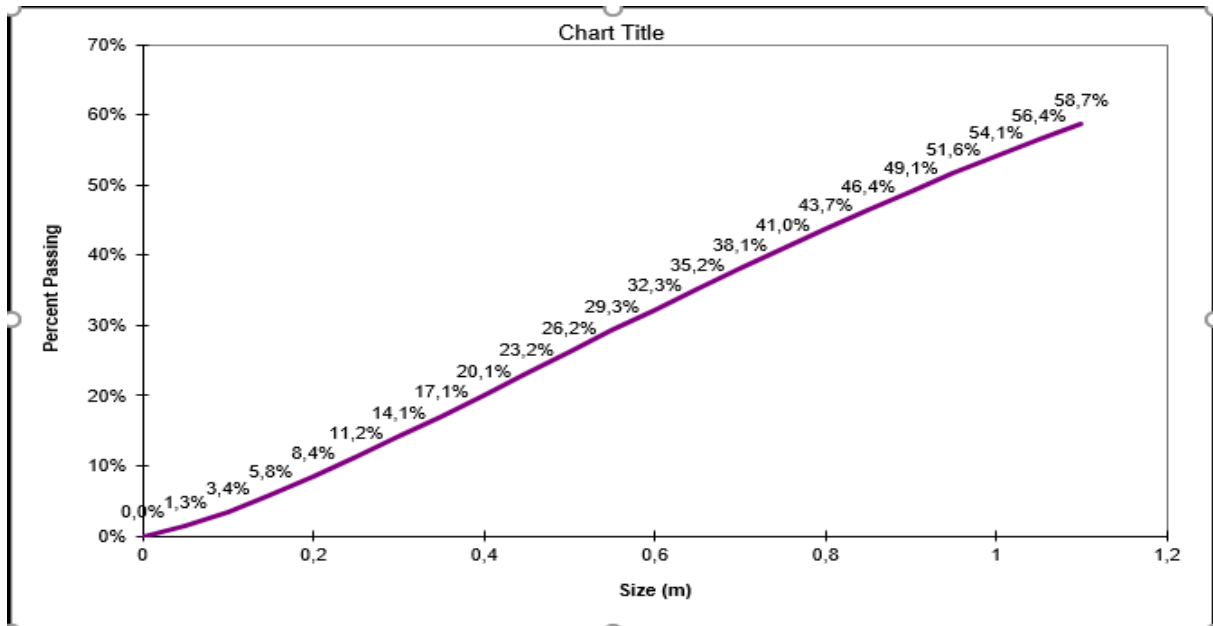
### III.2.3 Étude de comparaison entre les paramètres existants et les paramètres calculé.

Avec le modèle de Kuz-Ram

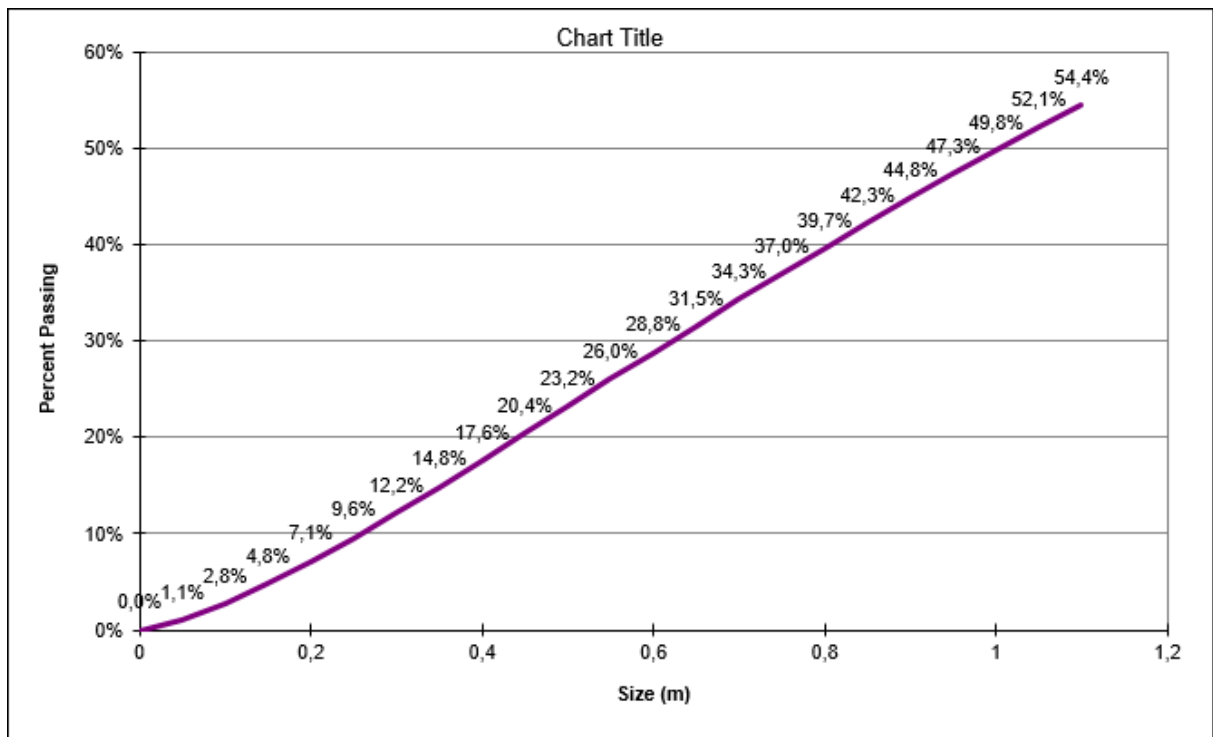
**Tableau III.7:** Comparaison entre le plan existant et le plan calculé. Pour 5<sup>eme</sup> gradin

Les paramètres	Désignations	Existantes	calculé.
Hauteur du gradin (m)	<i>Hg</i>	15	15
Diamètres du trou (mm)	<i>Dtr</i>	110	110
Longueur du trou (m)	<i>Ltr</i>	<b>16.41</b>	<b>16.88</b>
Inclinaison du trou (degré)	<i><math>\alpha</math></i>	<b>80<sup>0</sup></b>	<b>80<sup>0</sup></b>
Angle du talus des gradins (degré)	<i><math>\beta</math></i>	<b>80<sup>0</sup></b>	<b>80<sup>0</sup></b>
Banquette (m)	<i>b</i>	4.88	4.81
Espacement (m)	<i>a</i>	3.8	4.81
Excès de forage (m)	<i>Lex</i>	1.32	1.65
Nombre des trous	<i>Ntr</i>	<b>38</b>	<b>28</b>
Longueur totale de foration (m)	<i>Lf</i>	<b>623.58</b>	<b>472.64</b>
Longueur de la charge d'explosif (m)	<i>Lch</i>	12.55	12.04
Consommation spécifique (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Qp</i>	<b>0.35</b>	<b>0.310</b>
Quantité d'explosif dans un trou (kg/trou)	<i>Q</i>	88	105.18
Quantité totale d'explosif (kg)	<i>Qex</i>	<b>3325.35</b>	<b>2945.31</b>
Volume de bloc à abattre (m <sup>3</sup> )	<i>Vb</i>	<b>9 501</b>	<b>9501</b>
Nature de la charge d'explosif	/	Discontinue	Discontinue
<b>Pourcentage des roches hors Gabarits</b>	/	<b>36.9%</b>	<b>41.2 %</b>

# Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière



**Figure III.5 :** Courbes granulométriques représentent les résultats d'abattage obtenus par le paramètre existant (ANNEX III.1)



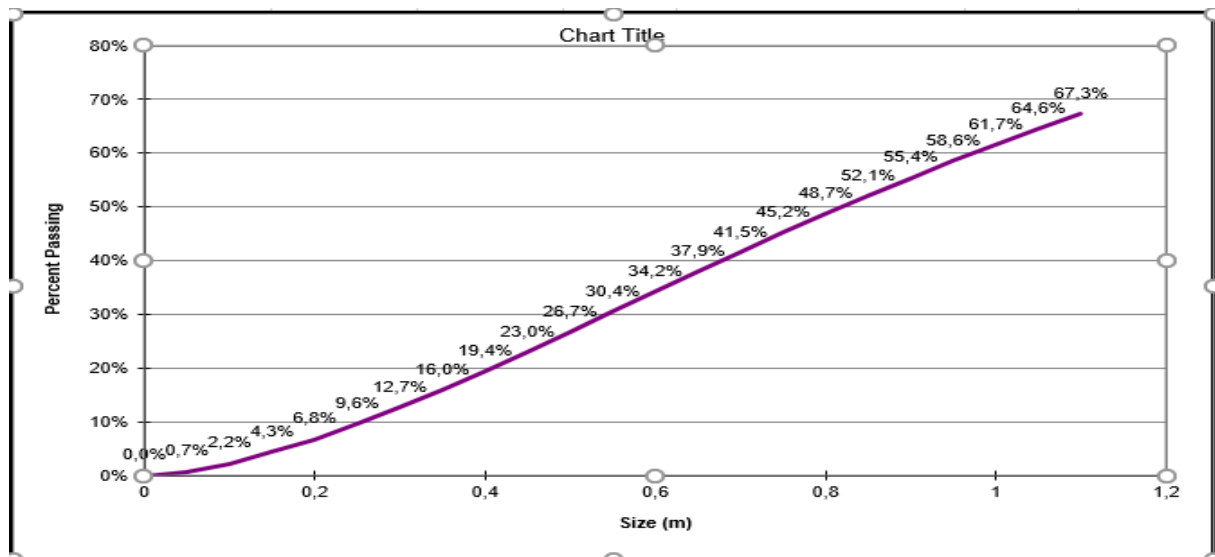
**Figure III.6 :** Courbes granulométriques représentent les résultats d'abattage obtenus par le paramètre calculé (ANNEX III.2)

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

### Proposition d'un plan de tir I et II

**Tableau III.8 : Proposition d'un plan de tir I et II**

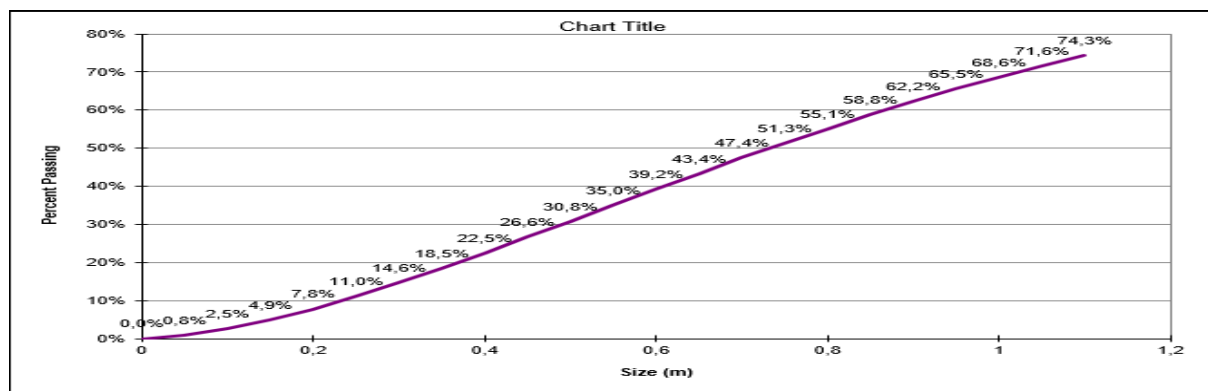
Les paramètres	Désignations	Plan proposé I	Plan proposé II
Hauteur du gradin (m)	<i>Hg</i>	15	15
Diamètres du trou (mm)	<i>Dtr</i>	110	90
Nombre des trous	<i>Ntr</i>	60	40
Banquette (m)	<i>W</i>	3	3.5
Espacement (m)	<i>a</i>	3.5	4.5
Longueur de la charge d'explosif (m)	<i>Lch</i>	12	13
Volume de bloc à abattre (m <sup>3</sup> )	<i>Vb</i>	9450	9450
Consommation spécifique (kg/m <sup>3</sup> )	<i>Qp</i>	0.40	0.43
Quantité d'explosif dans un trou (kg/trou)	<i>Q</i>	63	101.5
Quantité totale d'explosif (kg)	<i>Qex</i>	3780	4063.5
Pourcentage des roches hors Gabarits	/	27.5%	20.8%



**Figure III.7 :** Courbes granulométriques représentent les résultats d'abattage obtenus par Proposition d'un plan de tir 1

(ANNEX III.3)

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière



**Figure III.8 :** Courbes granulométriques représentent les résultats d’abattage obtenus par Proposition d’un plan de tir 2 (ANNEXE III.4)

### ❖ Comparaison économique entre les deux plans de tir

**Tableau III.9 :** Comparaison économique entre les deux plans de tir existant et calculé.

	Le prix	Plan existant		Plan calculé		
		Quantité	Coût (DA)	Quantité	Coût (DA)	
<b>Explosif</b>	<b>Marmanit III (Kg)</b>	150 DA/Kg	<b>1247</b>	187050	<b>1104.5</b>	165675
	<b>ANFO (Kg)</b>	109 DA/Kg	<b>2078.34</b>	226539.06	<b>1840.8</b>	200647.2
	<b>DMR</b>	350 DA/DMR	<b>38</b>	13300	<b>28</b>	9800
	<b>Cordeau Détonant(m)</b>	40 DA/m	<b>623.6</b>	24944	<b>472.6</b>	18904
<b>Le coût total (DA)</b>			451833.06		<b>395026.2</b>	

**Tableau III.10 :** Comparaison économique entre les deux plans de tir Proposé I

Et Proposé II

	Le prix	Plan proposé I		Plan proposé II		
		Quantité	Coût (DA)	Quantité	Coût (DA)	
<b>Explosif</b>	<b>Marmanit III (Kg)</b>	150 DA/Kg	<b>2362.5</b>	213750	<b>2539.68</b>	380952
	<b>ANFO (Kg)</b>	109 DA/Kg	<b>1417.5</b>	154507.5	<b>1523.81</b>	166095.29
	<b>DMR</b>	350 DA/DMR	<b>60</b>	21000	<b>40</b>	14000
	<b>Cordeau Détonant(m)</b>	40 DA/m	<b>1012.8</b>	40512	<b>663.2</b>	26528
<b>Le coût total (DA)</b>			<b>429769.5</b>		<b>587575.29</b>	

## Chapitre III : Optimisation des travaux de forage et de tir au niveau de la carrière

**Tableau III.11** : Comparaison économique entre plan existant et plan calculé et plan proposé I et plan proposé II par tir

Plan	existant	calculé	proposé I	proposé II
<b>Le coût (DA)</b>	451833.06	395026.2	429769.5	587575.29

### Conclusion :

Nous avons utilisés le modèle de prédiction de KUZ-RAM classique pour prédire la fragmentation pour les différentes conceptions données ci-dessus.

D'après les résultats obtenus par le modèle de Kuz-Ram (**Tableau III.9**) et le plan de tir existant et proposer les remarques suivantes :

Les quantités des hors gabarit est élevé dans le résultat du plan de tir de l'entreprise par rapport aux autres  $Hgr_{ex} > Hgr_1 > Hgr_2$

Techniquement à connue une amélioration en terme de récupération des tout-venants, et de réduction du taux des hors gabarit réduction jusqu'à 9.8%.

Encore représente un avantage technique pour une maille plus réduite qui donne plus de performance dans le dégagement et du contrôle de pied du gradin.

Economiquement la réduction des coûts de tir donne plus de gains pour l'entreprise vue l'échelle de l'entreprise.

Le modèle de KUZ-RAM a été largement appliqué dans les conditions minières de l'Afrique du sud, et a donné les conceptions et les analyses qui ont été prouvé dans la réalité sur la gamme complète de diamètre de trou d'abattage et des types d'explosifs.

Pour mettre à jour le modèle il faut tenir compte d'une entrée plus sophistiquée d'information sur l'effet des différents paramètres sur la fragmentation



## Conclusion général :

Dans ce travail nous avons utilisé le modèle empirique de prédiction de KUZ-RAM pour étudier les paramètres de tir qui peuvent influencer la qualité de la fragmentation des roches pour qu'on puisse élaborer un plan de tir rationnel assurant un taux réduit des blocs hors gabarits c'est-à-dire une bonne fragmentation des roches.

D'après les différentes conceptions données ci-dessus et l'analyse granulométrique par le modèle de KUZ-RAM en se rappelant des points suivants :

- La construction de la charge d'explosive est l'une des raisons qui provoque la mauvaise qualité de la fragmentation des roches dans la carrière d'Ain el Kebira.
- La consommation spécifique utilisée est insuffisante, il est remarquable qu'il y a une différence de 0.15/ entre les deux plans de tir, c'est l'une des raisons qui engendre un mauvais résultat de l'abattage des roches.
- Un rapport de maille plus petit implique un taux hors gabarit réduit, par ce qu'il est remarquable que le rapport 1.5 (a/b) nous a permis une bonne prédiction des roches avec une maille de dimension de 5.5 X 3.5
- La maille en quinconce est plus rentable que la maille carrée.

Les spécialistes dans le domaine minier ont montré qu'il n'y a pas de loi de forage et de tir qui permet d'avoir un taux hors gabarit est égal à zéro (surtout dans le cas couplage explosif /roches) mais cependant avec une combinaison de plusieurs méthodes permet de réduire ce taux jusqu'à des valeurs admissibles.

Et par l'obtention d'une réduction des blocs hors gabarits entraînant une réduction des dépenses pour l'achat d'explosifs et une rationalisation du travail par la réduction du temps consacré au débitage secondaire et au processus chargement-transport.

## Références bibliographiques :

[1] : SAOUDI Mohamed, TIGHILT Ibsa, 2016, « prédiction et analyse des paramètres des plans de tirs en vue de l'amélioration des fragmentations des roches abattues », mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia, page 7

[2] HOANG, Thi Thanh Nhan, [2010], « Etude du comportement d'un milieu rocheux fracturé », Thèse doctorat de l'école des ponts Paris Tech.

[3] : LAVASSEUR, M ; « Contribution des systèmes d'information géographique à l'analyse quantitative de l'aléa 'glissement de terrain' Exemple d'application au secteur de Ville de La Baie, Québec », Mémoire de maîtrise de l'université du Québec INRS.E. T ; 213 pages ; 2003.

[4] : KOVALENKO.V & AMBARTSOUMIAN.N & LAHMER K.M. « Exploitation Des carrières ». Edition Office des publications universitaires, 1986]

[5] : BOUAFIA Abdelhamid et HAMZA Benaouda, 28 / 06 /2016, « Adaptation d'un plan de tir afin d'améliorer les résultats de fragmentation (Cas de la carrière d'Ain Kebira) », mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia Faculté de Technologie, page 46

[6] : NEFIS Mouloud, 2010, Thèse « Modèle d'un plan de tir », Université Badji Mokhtar-Annaba

[7] : SAADOUNE. Abderrezak, « Contribution à l'analyse des effets des tirs d'abattage dans les conditions de la carrière de calcaire Chouf-Amar -M'sil a- », Diplôme de Magister en Mines Université Badji Mokhtar Annaba, 2012.

[8]: (Hagan T.N. \_ The influence of Controllable Blast Parameters on Fragmentation and Mining Costs. In Proceedings of the 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, 1983).

[9]: BOUAFIA Abdelhamid et HAMZA Benaouda, « Adaptation d'un plan de tir afin d'améliorer les résultats de fragmentation (Cas de la carrière d'Ain Kebira) », 28 / 06 /2016, mémoire de fin d'Etudes Université Abderrahmane Mira de Bejaia, page 76.

[10] : Hadji, Abdelhakim, [2013], « Amélioration des paramètres des travaux de forage et tir et traitement des résultats par l'analyse bolométrique ». Université Badji Mokhtar Annaba.

[11] : Khelifa Mouaad, Yekhllef Souhib, 24 / 06 /2015, « Amélioration de la fragmentation de la roche à l'explosif dans les conditions de la carrière des granulats d'Adrar Oufernou », mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia, page 46

## Références bibliographiques :

[12] : Berdoudi, Saïd, « Etude de la mécanisation de tir des roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions Algériennes ». Thèse de doctorat d'université de Annaba.

[13] : Khelifa Mouaad, Yekhlef Souhib, 24 / 06 /2015, « Amélioration de la fragmentation de la roche à l'explosif dans les conditions de la carrière des granulats d'Adrar Oufernou », mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia, page 47.

[14] : MAMOUNI Nouredine BENDIB Mahdi, « Analyse et prédiction de la qualité du tir par la méthode Kuz-Ram : Application à la carrière de Kef Azerou Seghir (W-BBA) » 07/2019, mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia, page 37.

[15] : MAMOUNI Nouredine BENDIB Mahdi, « Analyse et prédiction de la qualité du tir par la méthode Kuz-Ram : Application à la carrière de Kef Azerou Seghir (W-BBA) » 07/2019, mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia, page 38.

[16] : Boufatis Oussama Boucheteb Zina, « Amélioration de la qualité de fragmentation (cas du gisement de calcaire Bouzegza Nord » 06 /2016 mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia Faculté de Technologie page 47

[17] : BELHOUS Marzouk, « Elaboration d'un plan de tir pour améliorer la fragmentation des roches Cas de la carrière d'Ain El Kebira W. SETIF » 30 / 06 /2016 mémoire de fin d'études Université Abderrahmane Mira de Bejaia, page 88

[18]: Kuznetsov V.M, 1973 \_ the mean diameter of fragments formed by blasting rock. In Soviet Mining Science, volume 9 (2), pages 144\_148, 1973.

[19]: Rosin Rammler, 1979, "the laws governing the fineness of powdered coal", J. Inst.Fuel, Fuel, 7, 2936.

[20]: Lilly P. 1986\_ an empirical method of assessing rock mass blast ability. In Proc. Large Open Pitt Mining Conférence (AusIMM), pages 89\_92, 1986.

[21] : M'zoughem.K et Chenafa.W, [2006], « Résultats des recherches géologiques réalisées sur djebel Medjounes », Mémoire de fin d'études, Université D'Annaba.

[22] : Société des Ciments de Ain El Kebira « SCAEK » Plan d'exploitation annuel - 2022CODE 5037 PXC - W. SETIF (IMAGE GOOGLE EARTH)

[23] : M'ezoughem kamel et Chenafa Walid, 2006 « Etude géotechnique de la stabilité des talus dans la carrière de Ain el Kebira – Sétif » International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 9, pp. 431-449.

## **Références bibliographiques :**

[24] : Belhous Merzouk, 2016, « Elaboration d'un plan de tir pour améliorer la fragmentation des roches, cas de la carrière d'Ain el Kebira w de Sétif », Mémoire de fin d'études, Université Abderrahmane Mira de Bejaia.

[25] : CETIM, 2014, « Plan topographique actualiser des gisements de calcaire Djebel Medjounes ».

[26] : Héraud H., Leblond J-J., Souchet C., Veronneau J-Y., Bellerepayre J-M., 1994, Minage. Intérêts technique et économique d'une foration de qualité en carrière. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées n°215, pp 33-39

[27] : V. RJEVESKI, Processus des travaux miniers à ciel ouvert. NEDRA, Moscou 1978.

[28] : Plan d'exploitation 2014 de la carrière d'Ain El Kebira.

[29] : CETIM, 2012, « Rapport géologique actualisé du gisement de calcaire Djebel Medjounes Société des Ciment de Ain Kebira(SCAEK) »

[30]: Rosin Rammler, 1979, "the laws governing the fineness of powdered coal", J. Inst.Fuel, Fuel, 7, 2936.

[31] Rosin P., Rammler E. 1933. \_ the laws governing \_ness of powdered coal. In J. Inst. Fuel, volume 7 (31), pages 29\_36, 1933.

**Annexes :**

**Annexes I.1 : Caractéristiques techniques des explosifs produit par ONEX****GELANIT**

Gamme d'explosifs	GELANIT I	GELANIT II
Densité d'encartouchage(g/cm <sup>3</sup> )	<b>1,45</b>	<b>1,50</b>
Vitesse de détonation (m/s)	<b>5800</b>	<b>5500</b>
Essais au bloc de plomb(TRAUZL) 10g /cm <sup>3</sup>	<b>400</b>	<b>360</b>
Puissance RWS sur mortier balistique (%)	<b>85</b>	<b>82</b>
Coefficient d'utilisation pratique (%)	<b>1,33</b>	<b>1,27</b>
Coefficient de self-excitation (mm)	<b>150</b>	<b>100</b>
Ecrasement selon méthode de KAST(mm)	<b>4,7</b>	<b>4,3</b>
Sensibilité au choc (kgm)	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>
Sensibilité au frottement(kgP)	<b>36</b>	<b>36</b>
Volume de gaz (l/kg)	<b>861</b>	<b>808</b>
Résistance { l'eau	<b>Très bonne</b>	<b>Très bonne</b>

**MARMANIT :**

Gamme d'explosifs	MARMANIT 1	MARMANIT 2	MARMANIT 3
Densité d'encartouchage(g/cm <sup>3</sup> )	<b>0,95</b>	<b>1.05</b>	<b>1,00</b>
Vitesse de détonation(m/s)	<b>4400</b>	<b>4500</b>	<b>4200</b>
Essais au bloc de plomb (TRAUZL) 10g /cm <sup>3</sup>	<b>405</b>	<b>370</b>	<b>360</b>
Puissance RWS sur mortier balistique (%)	<b>83</b>	<b>82</b>	<b>80</b>
Coefficient d'utilisation pratique (%)	<b>1,28</b>	<b>1,27</b>	<b>1,18</b>
Coefficient de selfexcitation (mm)	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>30</b>
Ecrasement selon méthode de KAST (mm)	<b>3,25</b>	<b>2,90</b>	<b>2,30</b>
Sensibilité au choc (kgm)	<b>1,50</b>	<b>1,50</b>	<b>2</b>
Sensibilité au frottement(kgP)	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
Volume de gaz (l/kg)	<b>842</b>	<b>868</b>	<b>902</b>
Résistance { l'eau	<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Moyenne</b>

**ANFOMIL :**

	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Nature	Résistance à l'eau	Vitesse de détonation (m/s)	Couleur	Poids(kg)
<b>Anfomil</b>	0,9	Poudre	Faible	4500	blanc	2,5

**TEMEX :**

Gamme d'explosifs	TEMEX 1	TEMEX 2
Densité d'encartouchage (g/cm <sup>3</sup> )	<b>1.22</b>	<b>1.22</b>
Vitesse de détonation (m/s)	<b>4500-5500</b>	<b>4000-5000</b>
Essais au bloc de plomb (TRAUZL) 10g /cm <sup>3</sup>	<b>≥ 320</b>	<b>≥ 260</b>
Puissance RWS sur mortier balistique (%)	/	/
Coefficient de self-excitation (mm)	<b>50-80</b>	<b>40-80</b>
Ecrasement selon méthode de KAST(mm)	/	/
Résistance { l'eau	<b>Très bonne</b>	<b>Très bonne</b>



**Annexes I.2 : Dimensions et conditionnement.**

**GELANIT**

<b>Diamètre (mm)</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>65</b>	<b>80</b>	
<b>Longueur (mm)</b>	<b>130</b>	<b>120</b>	<b>240</b>	<b>360</b>	<b>500</b>	<b>340</b>
<b>Poids (g)</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>860</b>	<b>2150</b>	<b>2150</b>

**MARMANIT**

<b>Diamètre (mm)</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>65</b>	<b>80</b>
<b>Longueur (mm)</b>	<b>135</b>	<b>610</b>	<b>750</b>	<b>500</b>
<b>Poids (g)</b>	<b>100</b>	<b>1250</b>	<b>2500</b>	<b>2500</b>

**TEMEX**

<b>Diamètre (mm)</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>65</b>	<b>80</b>
<b>Longueur (mm)</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>400</b>
<b>Poids (g)</b>	<b>250</b>	<b>1 000</b>	<b>2 000</b>	<b>2 500</b>

**Annexes I.3 : Caractéristiques techniques des cordaux détonants.**

Diamètre (mm)	MILACORD 1	ONACORD	MILACORD 2
Poids de la penthrite (g)	12	20	40
Diamètre du Cordeaux (mm)	5,3	6,9	9
Vitesse de détonation (m/s)	6500	6500	6500
Résistance à la rupture (kg/24h)	40	40	40
Stockage à chaud	+ 50 °C/4h	+ 50 °C/4h	+ 50 °C/4h
Stockage à froid	-20 °C/4h	-20 °C/4h	-20 °C/4h
Transmission de détonation /noeud	Bonne	Bonne	Bonne
Test at choc	Bon	Bon	Bon
Test de sécurité	Bon	Bon	Bon
Étanchéité après 24 hours	Bonne détonation	Bonne détonation	Bonne détonation
Test d'amorçage	positive	positive	positive

**Annexe II.1 : localisation topographique de site de calcaire « dj. Medjounes –coud 120PKC »**

(EXTRAIT D'ASSEMBLAGES ENTRE DEUX CARTES TOPOGRAPHIQUES FEUILLE BOUGAA N° :

NJ - 31 - VI – 5 EST- ÉCHELLE : 1/50.000 FEUILLE FERDJIOUA N° :

NJ - 31 - VI – 6 OUEST- ÉCHELLE : 1/50.000



N° de couche      genre et désignation de la couche ou de l'ensemble de couche

- |    |  |   |
|----|--|---|
| 14 |  | <i>Couche de débris</i>                                     |
| 7  |  | <i>Calcaire principal supérieur</i>                         |
| 6  |  | <i>Roche marneuse intercalée supérieur</i>                  |
| 5  |  | <i>Calcaire principale du milieu</i>                        |
| 4  |  | <i>Roche marneuse intercalée inférieur</i>                  |
| 3  |  | <i>Calcaire principal inférieur</i>                         |
| 2  |  | <i>Série principale du milieu de roche marneuse</i>         |
| 1  |  | <i>Séries sous-jacente de calcaire et de roche marneuse</i> |

Zone d'exploitation du calcaire.

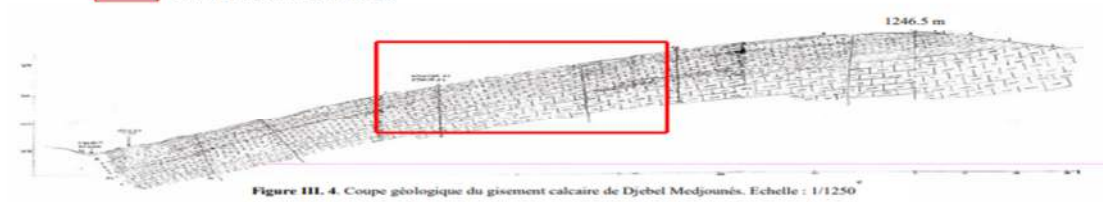


Figure III. 4. Coupe géologique du gisement calcaire de Djebel Medjounés. Echelle : 1/1250





**ANNEXE III.1**

**KUZ-RAM FRAGMENTATION ANALYSIS**

Project: Cimenterie Ain Elkebira -Juin 2022  
 Rock Type: Calcaire

Intact Rock Properties	
Rock Factor	
Rock Type	Granodiorite
Rock Specific Gravity	2,6 SG
Elastic Modulus	27 GPa
UCS	60 MPa

Jointing	
Spacing	0,9 m
Dip	80 deg
Dip Direction	0 deg
In-situ block	1,3 m

Explosives	
Density	0,92 SG
RWS	80% (% ANFO)
Nominal VOD	3350 m/s
Effective VOD	1900 m/s
Explosive Strength	0,2573402

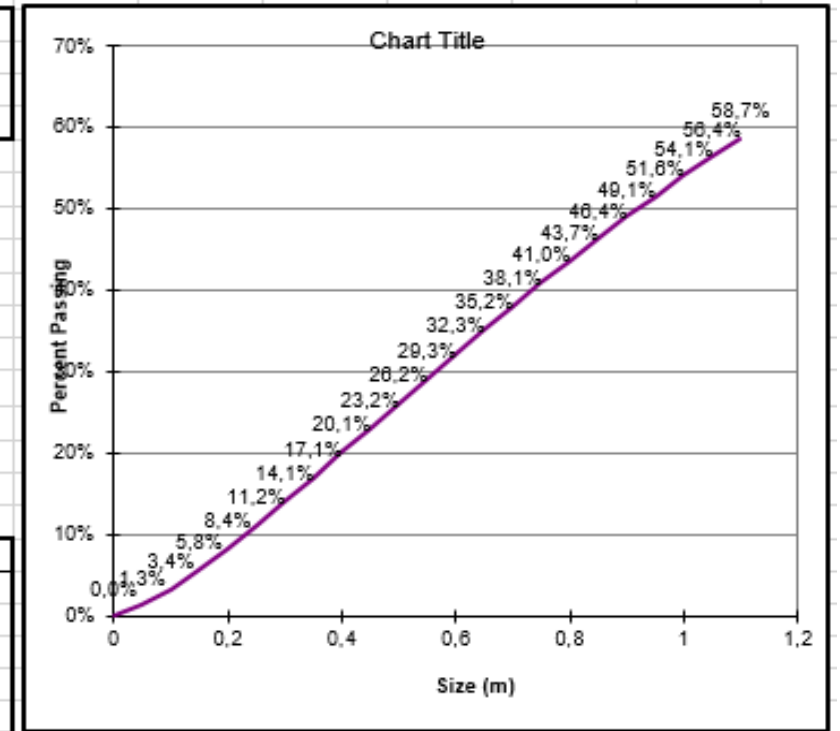
Pattern Design		
Staggered or square		1,1
Hole Diameter		110 mm
Charge Length		12,55 m
Burden		4,88 m
Spacing		3,8 m
Drill Accuracy SD		0,1 m
Bench Height		15 m
Face Dip Direction		10 deg
Powder Factor		0,13 kg/tonne
Charge Density		0,35 kg/m <sup>3</sup>
Charge Weight per hole		109,73 kg/hole

Fragmentation Target Parameters		
Oversize		1,2 m
Optimum		0,6 m
Undersize		0,01 m

Blastability Index	7,02
Average Size of Material	92 cm
Uniformity Exponent	1,36
Characteristic Size	1,20 m

Notes  
 Square pattern = 1, staggered pattern = 1.1

Predicted Fragmentation	
Percent Oversize	36,9% m
Percent In Range	62,9% m
Percent Undersize	0,2% m





**FRAGMENTATION ANALYSIS**

Cimenterie Ain Elkebira -Juin 2022  
Calcaire

Granodiorite
2,6 SG
27 GPa
60 MPa

Pattern Design	
Staggered or square	1,1
Hole Diameter	110 mm
Charge Length	12 m
Burden	3 m
Spacing	3,5 m
Drill Accuracy SD	0,1 m
Bench Height	15 m
Face Dip Direction	10 deg
Powder Factor	0,15 kg/tonne
Charge Density	0,40 kg/m <sup>3</sup>
Charge Weight per hole	104,92 kg/hole

Blastability Index	7,02
Average Size of Material	82 cm
Uniformity Exponent	1,63
Characteristic Size	1,03 m

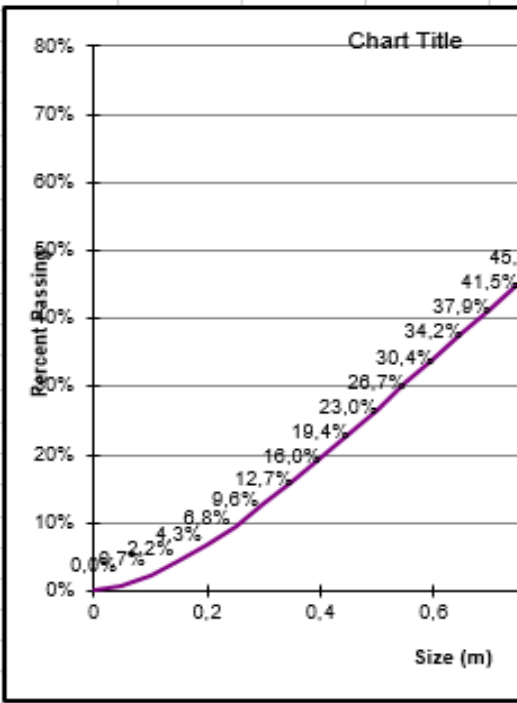
Notes  
Square pattern = 1, staggered pattern = 1.1

0,9 m
80 deg
0 deg
1,3 m

0,92 SG
80% (% ANFO)
3350 m/s
1900 m/s
0,2573402

Fragmentation Target Parameters	
Oversize	1,2 m
Optimum	0,6 m
Undersize	0,01 m

Predicted Fragmentation	
Percent Oversize	27,5% m
Percent In Range	72,4% m
Percent Undersize	0,1% m





ANNEXE III.4

**KUZ-RAM FRAGMENTATION ANALYSIS**

Project: Cimenterie Ain Elkebira -Juin 2022  
 Rock Type: Calcaire

Intact Rock Properties	
Rock Factor	
Rock Type	Granodiorite
Rock Specific Gravity	2,6 SG
Elastic Modulus	27 GPa
UCS	60 MPa

Jointing	
Spacing	0,9 m
Dip	80 deg
Dip Direction	0 deg
In-situ block	1,3 m

Explosives	
Density	0,92 SG
RWS	80% (% ANFO)
Nominal VOD	3350 m/s
Effective VOD	1900 m/s
Explosive Strength	0,25734016

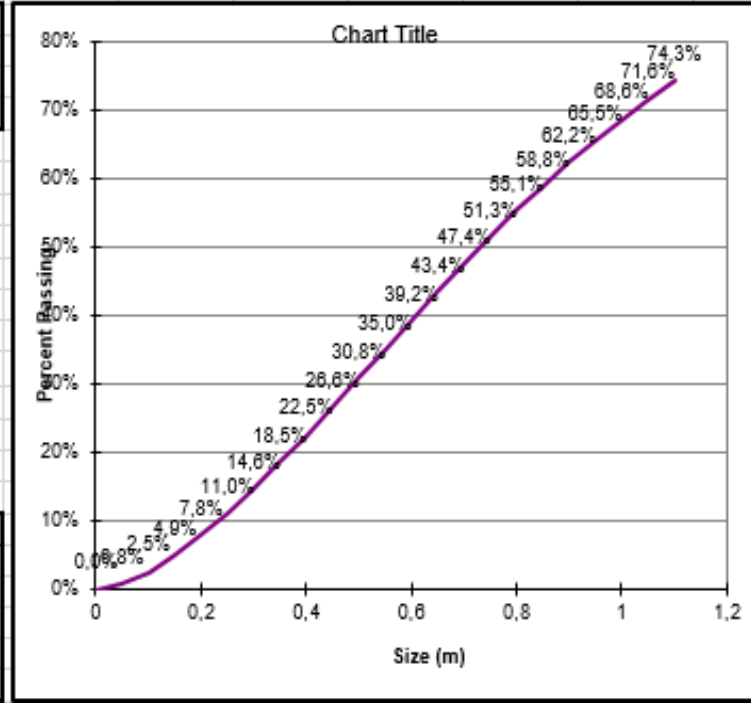
Pattern Design	
Staggered or square	1,1
Hole Diameter	90 mm
Charge Length	13 m
Burden	3,5 m
Spacing	4,5 m
Drill Accuracy SD	0,1 m
Bench Height	15 m
Face Dip Direction	10 deg
Powder Factor	0,17 kg/tonne
Charge Density	0,43 kg/m <sup>3</sup>
Charge Weight per hole	76,09 kg/hole

Fragmentation Target Parameters	
Oversize	1,2 m
Optimum	0,6 m
Undersize	0,01 m

Blastability Index	7,02
Average Size of Material	73 cm
Uniformity Exponent	1,65
Characteristic Size	0,91 m

Notes  
 Square pattern = 1, staggered pattern = 1.1

Predicted Fragmentation	
Percent Oversize	20,8% m
Percent In Range	79,1% m
Percent Undersize	0,1% m



## Résume :

La qualité de la fragmentation obtenue par l'abattage des roches influe directement sur le déroulement des opérations technologiques d'exploitation.

Ce travail de base sur une approche de prédiction et d'analyse de la qualité du tir en vue de l'amélioration de la fragmentation des roches abattues, en utilisant le modèle de KUZ-RAM.

Le gisement de calcaire d'Ain el Kbira été prise comme exemple d'application pour cette étude. Le plan de tir proposé peut contribuer à l'amélioration de la qualité de fragmentation des roches dans les conditions de la carrière d'Ain el Kbira

La prédiction des résultats de la fragmentation montre une amélioration en terme technique et économique.

**Mots Clés :** Plan de tir, explosifs, fragmentation, surface libre, hors gabarit, optimisation, Calcaire –Carrière d'Ain El Kebira.

## Abstract:

The quality of the fragmentation obtained by the felling of rocks has a direct influence on the course of technological mining operations.

This basic work on an approach of prediction and analysis of the quality of the shot with a view to improving the fragmentation of the felled rocks, using the KUZ-RAM model.

The limestone deposit of Ain el Kbira was taken as an example of application for this study. The proposed firing plan can contribute to improving the quality of rock fragmentation in the conditions of the Ain el Kbira quarry

The prediction of the results of fragmentation shows an improvement in technical and economic terms.

**Keywords:** Firing plan, explosives, fragmentation, free surface, out of gauge, optimization, Limestone – Quarry of Ain El Kebira.

## ملخص

إن جودة التشظي الذي تم الحصول عليه عن طريق قطع الصخور له تأثير مباشر على مسار عمليات التعدين التكنولوجية هذا العمل الأساسي على نهج التنبؤ وتحليل نوعية اللقطة بهدف تحسين تجزئة الصخور المقطوعة ، باستخدام نموذج

KUZ-RAM.

تم أخذ رواسب الحجر الجيري في عين الكبيرة كمثال على تطبيق هذه الدراسة. خطة إطلاق النار المقترحة يمكن أن تسهم في تحسين نوعية تشظي الصخور في ظروف محجر عين الكبيرة. ويظهر التنبؤ بنتائج التجزئة تحسنا من الناحيتين التقنية والاقتصادية.

**كلمات مفتاحية:** خطة إطلاق ، متفجرات ، تفنيت ، سطح حر ، خارج المقياس، المثالية ، حجر جيري - مقلع عين الكبيرة.