



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologies

# *Memoire de Fin d'Etudes*

En vue de l'obtention du Diplôme de Master Filière : Génie Minier

Option : Exploitation des mines

Présenté par :

MEKHNACHE Nacera

## **Thème**

***Influence des paramètres géométriques sur la  
qualité de la fragmentation des roches***

Soutenu le 02/ 07 /2025

devant le jury composé de :

Président	Mr. AYADEN Brahim	MCB	U.A.M.B
Promoteur	Mr. FREDJ Mohamed	MCA	U.A.M.B
Examineur	Mr. MAZARI Messaoud	MCB	U.A.M.B

***Année Universitaire : 2024-2025***



## Déclaration sur l'honneur

### Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 Décembre 2020 (\*)  
Fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : MEKHNACHE  
Prénom : Nacera  
Matricule : 202033003296  
Spécialité et/ou Option : Exploitation des mines  
Département : Mines et Géologies  
Faculté : Technologie  
Année universitaire : **2024/2025**

Et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) : Master

Intitulé: **Influence des paramètres géométriques sur la qualité de la fragmentation des roches**

Déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques, et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le 20/10/2025

Signature de l'intéressé

(\*) Lu et approuvé

20.10.2025

# REMERCIEMENTS

*“En premier lieu, nous remercions Allah tout puissant de nous avoir donné la force et le courage d’accomplir ce travail.*

*Concernant ce travail, je tiens à remercier tout d’abord monsieur FREDJ Mohamed, mon encadrant, pour son soutien indéfectible, ses conseils avisés et sa patience tout au long de la réalisation de ce travail.*

*Je tiens également à remercier les membres du jury :*

*Pour leur temps, leur expertise et leur précieuse contribution lors de l’évaluation de ce travail.*

*Je remercie également tout les membres de département Mines Et Géologies pour leur enseignement et leur accompagnement mon parcours académique.*

*Je remercie Monsieur MAHAMMEDI Ahmed, responsable des carrières de l’Enterprise (S.C.SEG), et toutes les personnes de la société de ciment de Sour el Ghozlane particuliers.*

*“Merci à tous ceux qui nous a contribués de près ou de loin à l’élaboration de ce mémoire.”*

# *DIDICAS*

*Je dédie ce mémoire :*

*À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur soutien permanent tout au long de mon parcours.*

*À mes frères Billale, Lakhel, Yougourthen et Abdalmallek et ma sœur et son marier Sidali et leurs petites filles douda et wawa, et mes oncles Taher et Abdanacer et leurs femmes, mes oncles maternel Djamel et Mohandelfoudhil que dieu ait son âme, mes tantes et mes cousines, mes cousins et toutes la famille pour leur présence rassurante, leurs encouragements et leur affection sincère.*

*À mes amis, qui m'ont accompagné, soutenu et encouragé durant toutes les étapes de ce travail.*

*À mes enseignantes ;*

*De primaire jusqu'à l'université pour leur enseignement et leur accompagnement mon parcours académique.*

*À moi même.*

*Merci à vous tous, du fond du cœur.*

## **Table des Matières**

Table de matières	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction général .....	1

### **Chapitre I : ETAT DE L'ART**

Introduction.....	2
I.1 L'abattage .....	2
I.1.1 Type d'abattage .....	2
I.1.2 Définition de l'abattage à l'explosif .....	2
I.2 Définition d'un explosif .....	3
I.2.1 Types d'explosifs utilisés dans les carrières .....	3
I.2.2 Choix d'un explosif .....	3
I.2.3 La déflagration et Détonation .....	3
I.2.4 Effets de l'explosif sur la roche.....	3
I.3 Généralité sur l'amorçage .....	4
I.3.1 La foration .....	4
I.3.2 La forabilité .....	4
I.4 Mécanismes de la fragmentation .....	5
I.4.1 Effet général des ondes de choc dans le massif rocheux.....	5
I.5 Vibration liés ou tir.....	5
I.6 Les paramètres liés influent sur la qualité de la fragmentation.....	5
I.6.1. Les variables contrôlables (Les paramètres géométriques).....	6
I.6.2 Paramètres incontrôlables.....	10
I.7 La granulométrie .....	12
I.8 Les modèles de prédiction de la fragmentation.....	13
Conclusion.....	13

### **CHAPITRE II. DESCRIPTION DU SITE**

Introduction.....	14
II.1 Localisation du site.....	14
II.1.1 Situation géographique régional.....	14
II.1.2 Géomorphologie et climat.....	14
II.2 Géologie locale .....	14
II.2.1 Historique de la cimenterie.....	14
II.2.2 Localisation et historique du gisement.....	15
II.2.3 Propriétés physiques .....	15
II.2.4 Estimation des réserves géologiques.....	16
II.2.5 Organisation des travaux.....	17
II.2.6 Sécurité des travaux en carrière.....	18
Conclusion.....	18

## TABLE DES MATIÈRES

### **CHAPITRE III. EFFET DU RAPPORT DE MAILLE (a/b) SUR LA QUALITE DE LA FRAGMENTATION DES ROCHES**

Introduction.....	19
III.1 Les méthodes classiques de mesure de la granulométrie des roches abattues.....	19
III.1.1 Le tamisage.....	19
III.1.2 L'étude des enrochements.....	19
III.1.3 La blocométrie.....	20
III.2 Fonctions de répartition granulométriques usuelle.....	20
III.2.1 Fonction Swebrec.....	21
III.3 Prédiction de la taille moyenne.....	22
III.3.1 Equation de Kuznetsov.....	22
III.3.2 Modèle de Kuz-Ram.....	22
III.4 Simulation du plan de tir.....	24
III.4.1 Collecte et choix des données d'entrée.....	24
III.4.2 Définition des scénarios de simulation.....	27
III.4.3 Résultats et analyse.....	26
III.4.4 Comparaison des effets de la variation de l'espacement et de la banquette à rapport a/b équivalent.....	29
Conclusion.....	31
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Résumé	

## LISTE DES FIGURES

### CHAPITRE I. ETAT DE L'ART

<b>Figure I-1:</b> Zones d'endommagement et de fissuration radiale autour d'un trou de mine.....	4
<b>Figure I.2 :</b> Sens d'initiation d'une charge explosive.....	4
<b>Figure I.3 :</b> Effet de positionnement des trous par rapport au front d'abattage.....	6
<b>Figure I.4 :</b> Effet de Les déviations de forages.....	6
<b>Figure I.5 :</b> Influence de la poussée axiale sur les déviations des trous.....	7
<b>Figure I.6 :</b> Adéquation diamètre du trou – hauteur du gradin.....	7
<b>Figure I.7 :</b> Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un minage profond en vertical et avec inclinaison.....	8
<b>Figure I.8 :</b> La rupture de la roche au pied du gradin.....	8
<b>Figure I.9 :</b> longueur de trou.....	9
<b>Figure I.10 :</b> Exemple d'un schéma de la maille .....	10
<b>Figure I.11:</b> Dynamique d'abattage.....	11
<b>Figure I.12 :</b> Principaux types de mailles utilisées pour les tirs en ciel ouvert.....	11
<b>Figure I.13 :</b> Effet de rapport a/b sur la distance maximale des trous.....	11
<b>Figure I.14:</b> La consommation spécifique q en fonction de la ligne de moindre résistance....	12
<b>Figure I.15 :</b> graphique de l'optimisation de la production d'une mine à ciel ouvert.....	13

### CHAPITRE II. DESCRIPTION DU SITE

<b>Figure II.1 :</b> Image représentant la Cimenterie de Sour El Ghozlane.....	14
<b>Figure II.2 :</b> Carte topographique de gisement de Col BECCOUCHE.....	15

### CHAPITRE III : EFFET DU RAPPORT DE MAILLE (a/b) SUR LA QUALITE DE LA FRAGMENTATION DES ROCHES

<b>Figure III.1 :</b> Concept de classification granulométrique.....	20
<b>Figure III.2 :</b> Exemple de distribution granulométrique théorique (Fonction de Rosin-Rammler).....	20
<b>Figure III. 3 :</b> Courbes granulométriques de fragmentation pour différentes valeurs de banquette (b), avec espacement fixe (a = 4 m).....	27
<b>Figure III.4 :</b> Courbes granulométriques de fragmentation pour différents espacements (a), avec banquette fixe (b = 4 m).....	29
<b>Figure III.5 :</b> Relations entre le rapport espacement/banquette (a/b) et le pourcentage de blocs surdimensionnés (HG). (a) espacement fixe à 4m et (b) banquette fixe à 4m.....	30

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **LISTE DES TABLEAUX**

#### **CHAPITRE I : ETAT DE L'ART**

<b>Tableau I-1</b> : Paramètres qui influent sur la qualité de la fragmentation des roches.....	5
---	---

#### **CHAPITRE II : DESCRIPTION DU SITE**

<b>Tableau II.01</b> : Les coordonnées UTM de la carrière des calcaires COL BECCOUCHE.....	15
<b>Tableau II.02</b> : Résultats moyens des essais physiques.....	15
<b>Tableau II.03</b> : Calcul des réserves des calcaires CM-2 du gisement SEG.....	16
<b>Tableau II.04</b> : Réserves géologiques en exploitation et couverture .....	17

#### **CHAPITRE III : EFFET DU RAPPORT DE MAILLE (a/b) SUR LES RESULTATS DE LA FRAGMENTATION DES ROCHES**

<b>Tableau III.1</b> : Calcul des paramètres RMD, JF, RDI et HF.....	22
<b>Tableau III.2</b> : Formules de calcul du modèle de Kuz-Ram.....	24
<b>Tableau III.3</b> : Les paramètres constantes.....	25
<b>Tableau III.4</b> : Tableaux récapitulatifs des résultats pour espacement est de 4m et (b= 3 à 5m).....	26
<b>Tableau III.5.</b> :Tableaux récapitulatifs des résultats pour b = 4m et (a= 3 à 5m).....	28



# **Introduction générale**

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## **Introduction générale**

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'influence des paramètres géométriques du plan de tir sur la qualité de la fragmentation des roches. En effet, la fragmentation joue un rôle essentiel dans l'efficacité globale du processus d'abattage, car elle conditionne la facilité de chargement, de transport et de concassage du matériau extrait. Le contrôle des paramètres géométriques, tels que la banquette (b), l'espacement des trous (a), ou encore leur rapport (a/b), permet d'optimiser la taille des fragments obtenus et de réduire les coûts liés aux opérations de minage. Ainsi, ce chapitre est consacré à l'analyse de l'effet du rapport de maille (a/b) sur les résultats de la fragmentation, à l'aide du modèle de prédiction Kuz-Ram et des courbes granulométriques obtenues pour différentes configurations du plan de tir.

Les paramètres de tir d'une mine comprennent la géométrie du plan de tir (hauteur des fronts, espacement des trous), la charge d'explosif par trou, les caractéristiques des explosifs, et le temps de mise à feu, mais ils sont surtout liés à la compréhension des caractéristiques géologiques du terrain, comme sa dureté et sa fragmentation, pour optimiser le résultat du tir. Ainsi, cette étude de recherche se concentre particulièrement sur l'impact des paramètres géométriques en particulier le rapport de maille (distance entre les trous/banquette, a/b) sur la fragmentation des roches.

Afin de réaliser cette recherche, notre choix s'est porté sur la carrière de Beccouche, localisée à Sour El-Ghozlane dans la wilaya de Bouira et exploitée par la Société des Ciments de Sour El-Ghozlane (SPA, une filiale du groupe GICA). Plusieurs campagnes d'études géologiques ont été menées sur ce site, offrant une compréhension détaillée de ses structures et des caractéristiques des massifs exploités.

Nous adoptons une stratégie qui allie théorie et expérimentation. Initialement, nous établissons une revue de la littérature sur les facteurs affectant la qualité de l'abattage et les techniques d'analyse granulométrique, y compris les modèles empiriques comme Kuz-Ram. Par la suite, nous exposons les particularités géologiques du lieu d'étude.

Finalement, nous mettons en œuvre le modèle de Kuz-Ram afin d'analyser l'impact du rapport de maille sur la taille des particules obtenues, dans le but de déterminer les dispositions de tir idéales en fonction du contexte géologique local. Cet effort vise donc à favoriser une compréhension approfondie et une optimisation judicieuse des opérations de tir, qui sont cruciales pour l'efficacité de l'exploitation minière.

# **Chapitre I :**

## **Etat de l'art**

## CHAPITRE I. ETAT DE L'ART

### Introduction

L'abattage des roches 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. Les travaux de tir sont largement utilisés dans les mines à ciel ouvert des roches dures.

Dans ce cas, la roche est séparée du massif à l'aide des explosifs placés dans des trous réalisés à cet effet. La qualité de l'abattage des roches prédétermine en grande partie du rendement des engins miniers, la sécurité de travail, et d'une manière générale l'efficacité des travaux à ciel ouvert. Ce pendant l'obtention de cette dernière dépend de plusieurs paramètres contrôlables et incontrôlables représentant le souci des ingénieurs et les spécialistes des mines.

Nous allons essayer dans ce premier chapitre d'étudier et définir les principaux paramètres contrôlables et incontrôlables spécifiquement la maille (l'espace et banquette) qui peuvent influencer la qualité de la fragmentation.

Parmi les procédures à suivre est l'analyse des courbe granulométriques des roches fragmentées. Ces courbes sont généralement mesurées par criblage à l'aide des modèles empiriques de prédiction de la distribution granulométrique après le tir tel que le modèle de Kuz-Ram, mais pas de manière quantitative. Sur ce point ces méthodes empiriques ne sont pas très précises mais sont encore populaires et utiles.

### I.1 L'abattage

L'abattage des roches est l'un des principaux procédés de la chaîne technologique minière. Il consiste à la destruction des roches au niveau du massif et leur obtention sous forme de morceaux abattus de grosseurs et de volumes différents. Le choix de la méthode d'abattage des roches dépend : [1]

- Type de roches, et leur état naturel ;
- Les propriétés physico – mécaniques et technologiques des roches ;
- De la productivité de l'entreprise minière ;
- Des paramètres techniques des engins et des équipements miniers disponibles et des exigences fixées à la qualité du minerai extrait ;

#### I.1.1 Type d'abattage

- L'abattage à l'explosif ;
- L'abattage mécanique ;
- L'abattage Hydro mécanisé, ... etc.

#### I.1.2 Définition de l'abattage à l'explosif

L'abattage des roches par explosion est très répandu dans les mines à ciel ouvert et c'est une méthode principale pour la préparation des roches dures.

L'abattage à l'explosif est pratiqué dans les milieux rocheux qui ont une densité supérieure à 2,5 et une résistance à la compression de plusieurs centaines de Kg/cm<sup>2</sup>.

Les travaux d'abattage des roches doivent assurer : [1]

- Degré nécessaire et régularité de la fragmentation des roches ;
- État normal du pied du gradin, c'est-à-dire la surface plate sans rebords ;
- Formation du tas de la masse minière explosée avec forme et dimensions nécessaires ;

- Volume nécessaire de la masse minière explosée pour le travail régulier des engins déchargements ;
- Action sismique minimale pour l'installation au jour et l'environnement ;
- Dépense minimale et grande sécurité du travail.

## I.2 Définition d'un explosif

Un explosif est un corps ou un mélange de corps chimiques susceptibles de se décomposer très brutalement en une onde de choc et en un volume important de gaz à hautes pressions et températures [2]

### I.2.1 Types d'explosifs utilisés dans les carrières

On distingue six types d'explosifs : [2]

- **Les dynamites** : les dynamites contiennent de 10 à 90% de nitroglycéroglycol (NGL), mélange de nitroglycérine et dinitroglycol, composant qui assure la qualité antigel de la dynamite.
- **Les explosifs nitrates** : les explosifs nitrates sont à base d'ammonium 80% environ et d'un explosif pur (TNT, pentrite)
- **Les émulsions** : Les émulsions sont des mélanges de deux liquides : du nitrate d'ammonium en solution aqueuse emprisonnées dans une matrice liquide à base d'huile, l'ensemble étant stabilisé par des tensioactifs.
- **Les nitrates fuels (ANFO)** : Les nitrates fuels sont constitués de nitrate d'ammonium 94% en grain et d'huiles minérales en général du fuel domestique 6%.
- **Les explosifs bouillis** : sont constitués par un mélange de combustible (aluminium, huiles minérales, par exemple), de comburants (nitrates organiques, nitrate d'ammonium) et de matière inerte, pouvant contenir un composé chimique explosif, mais contenant au moins 5% d'eau. [3]
- **Les nitrates fuels alourdis** : sont constitués par du nitrate fuel (25 à 75%) enrobé dans une matrice d'explosif bouillie ou d'émulsion (25 à 75%) dont le rôle est d'améliorer les performances et la résistance à l'eau du nitrate fuel sans en accroître la sensibilité. [3]

### I.2.2 Choix d'un explosif

Généralement, l'explosif est choisi essentiellement en fonction de la résistance de la roche, si le massif est fracturé ou consolidé, cela nous met à choisir un explosif qui exerce un effet de poussée bien adéquat. [3]

### I.2.3 La déflagration et Détonation

- **La déflagration**

La déflagration de la substance explosive est provoquée par la décomposition de la molécule suivie par une combustion des atomes de carbone et d'hydrogène contenus dans la matière. La vitesse de décomposition est relativement lente et est comprise entre 10 et 400 m/s. [3]

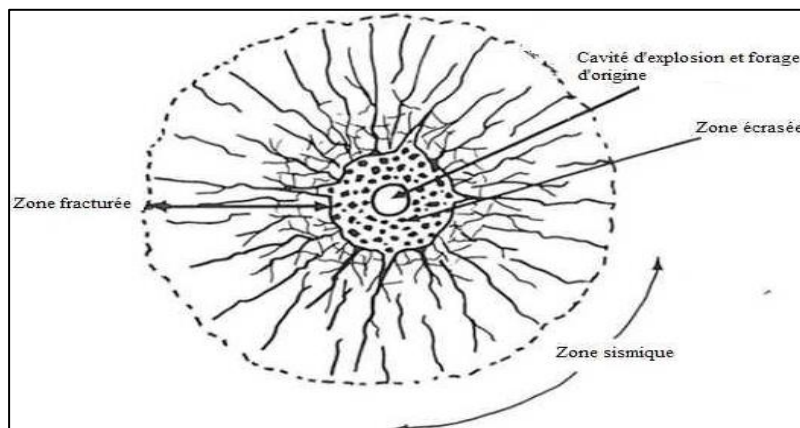
- **Détonation**

Lors de la détonation, la décomposition de la substance explosive est rapide et il y a naissance d'une onde de choc. La vitesse de décomposition est dans ce cas comprise entre 2000 et 9000 m/s. La détonation d'un explosif engendre un choc et une poussée utilisés principalement dans les travaux d'abattage et de démolition

### I.2.4 Effets de l'explosif sur la roche

L'observation expérimentale des résultats de tir en échelle réduite et en échelle permet généralement de consulter un réseau d'endommagement autour des charges explosives ainsi que schématisé. La zone de broyage est à l'interface immédiate entre explosif et roche.

Sa portée est faible et généralement de l'ordre de deux à plusieurs rayons de trou. Dans cette zone, la roche est intensément fragmentée par des mécanismes combinés de compression et de cisaillement. [4]



**Figure I-1:** Zones d'endommagement et de fissuration radiale autour d'un trou de mine[4]

### I.3 Généralité sur l'amorçage

L'amorçage est l'ensemble du dispositif entraînant l'explosion de la charge. Il dépend de la sensibilité de l'explosif, qui correspond à l'énergie nécessaire pour provoquer la détonation du produit ainsi que du diamètre de foration, lorsque nous utilisons des explosifs dont la sensibilité augmente avec le diamètre. [4]

#### I.3.1 La foration

La mise en œuvre de l'explosif selon le plan de tir retenu s'effectue après l'implantation et la réalisation de l'ensemble de trous constituant l'abattage type. Le matériel de foration doit être en rapport avec la production recherchée. Il est nécessaire de forer les trous de mine à partir du bon endroit, avec la bonne orientation, la bonne longueur, et le bon diamètre. [4]

#### I.3.2 La forabilité

La forabilité d'une roche exprime la facilité avec laquelle un outil de forage pénètre dans la roche. Elle dépend d'un certain nombre des paramètres, en particulier de la résistance, dureté et texture de la matrice rocheuse, et de son abrasivité.

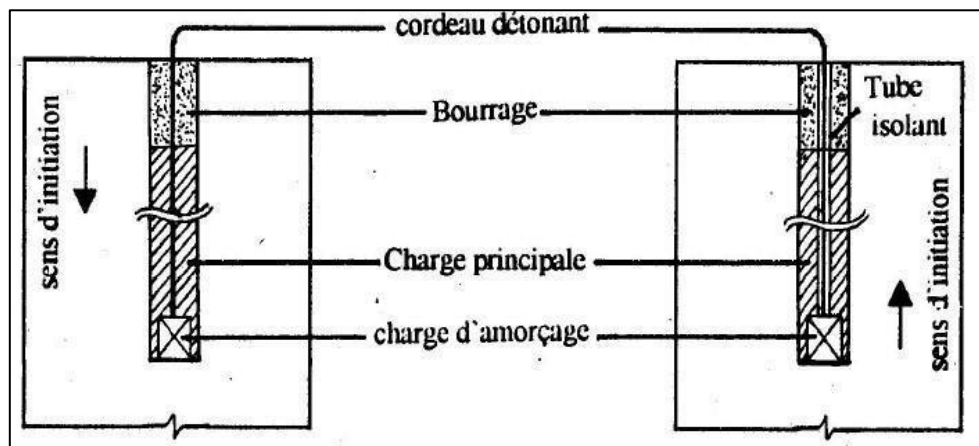


Figure I.2 Sens d'initiation d'une charge explosive [4]

## I.4 Mécanismes de la fragmentation

La détonation de la charge transmet au massif des contraintes pouvant engendrer des déformations transitoires ou bien irréversibles.

### I.4.1 Effet général des ondes de choc dans le massif rocheux

La détonation d'une charge s'accompagne de déformations dans le massif selon trois zones distinctes :

- La zone de broyage ;
- La zone de fissuration radiale
- La zone sismique.

## I.5 Vibration liés ou tir

Les tirs d'explosifs génèrent des vibrations dans le massif rocheux au-delà de la zone d'abattage, sans provoquer de fissures grâce au comportement élastique du massif. Ces vibrations représentent l'énergie non utilisée et peuvent causer des nuisances, d'où l'importance de leur étude et minimisation. On modélise ces vibrations par la superposition des ondes émises par chaque trou de mine, en tenant compte des micro-retards. Cependant, les vibrations dépendent fortement des conditions spécifiques du site et du tir, ce qui rend les modèles simplifiés insuffisants. Des recherches montrent que la vitesse des vibrations ne décroît pas toujours linéairement avec la distance, soulignant la nécessité d'études plus détaillées pour mieux comprendre et maîtriser ces phénomènes.

## I.6 Les paramètres liés influent sur la qualité de la fragmentation

- La qualité de la fragmentation des roches a une très grande importance dans le domaine minier, elle influe directement sur tous les processus technologiques.
- Nous pouvons classer les paramètres qui interviennent selon que ces paramètres sont contrôlables ou non comme indiqués dans le tableau. [4]

Tableau I-1 : Paramètres qui influent sur la qualité de la fragmentation des roches. [4]

Paramètres contrôlables	Paramètres incontrôlables
-------------------------	---------------------------

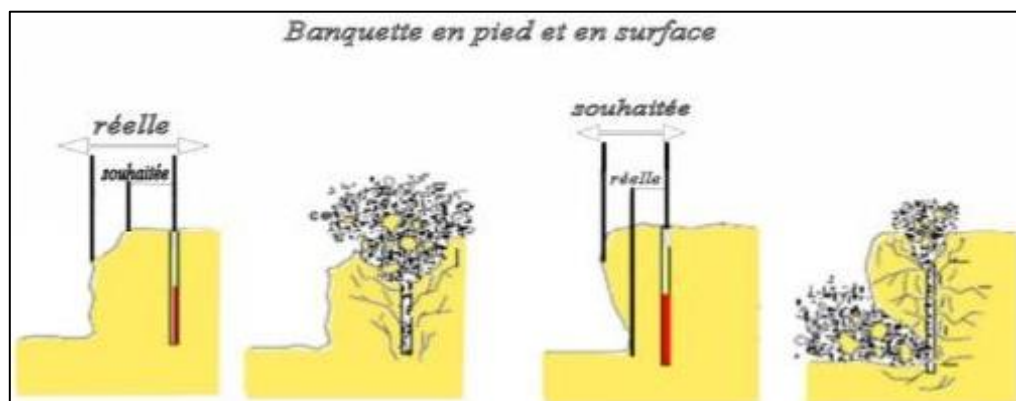
<b>Paramètres liés à la géométrie</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diamètre du trou</li> <li>▪ Longueur de foration</li> <li>▪ Excès de foration</li> <li>▪ Inclinaison du trou</li> <li>▪ Longueur du bourrage</li> <li>▪ Matériau du bourrage</li> <li>▪ Géométrie de la maille</li> <li>▪ Rapport 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 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>Paramètres hydrologiques</b> Eau de surface Eau souterraines

### I.6.1. Les variables contrôlables (Les paramètres géométriques)

- **Paramètres liés aux trous**

- **Le positionnement des trous par rapport au front de travail**

Lorsque le front de taille présente de fortes irrégularités telles que celles représentées ci-dessous, il est indispensable d'établir un profil assez précis de celui-ci. En effet un mesureur approximatif par rapport au sommet apparent du gradin conduit à Surévaluer la ligne de moindre résistance dans le cas de gauche et au sou évaluer dans le cas de droite. On risque des projections verticales importantes dans le premier cas ou horizontales dans le deuxième. [5]



**Figure I.3** Effet de positionnement des trous par rapport au front d'abattage. [5]

- **Les déviations de forage**

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

- Le diamètre de tige ;
- La matière de fabrication de la tige ;
- Mode de forage ;



- Positionnement de la machine.
- Plan de fissuration important ;
- Intercalation de couche suivant le sens de forage ;
- Nature de la roche. [4]

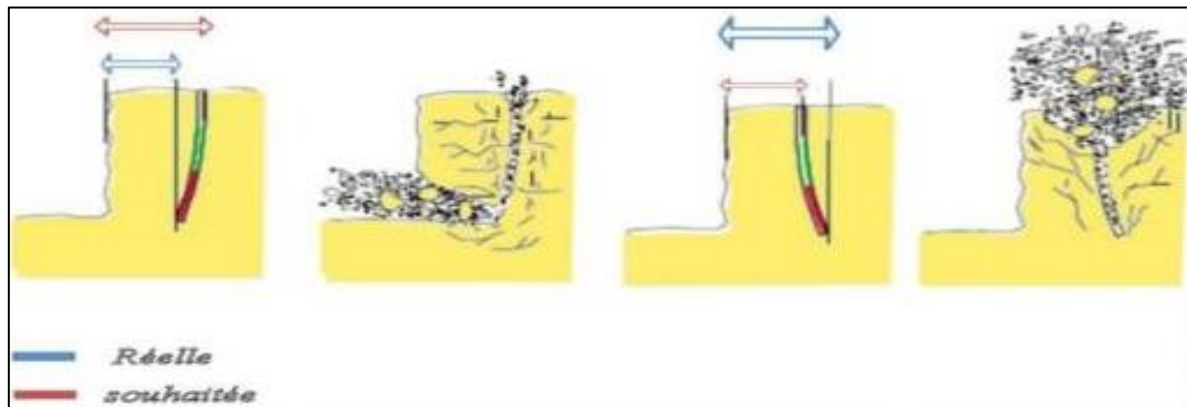


Figure I.4 : Effet de Les déviations de forages. [5]

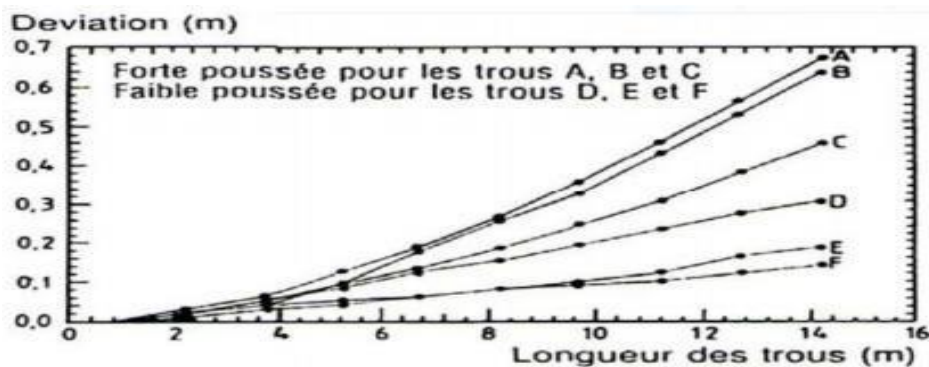


Figure I.5 : Influence de la poussée axiale sur les déviations des trous. [5]

Pour une interprétation de cette courbe en a la valeur de déviation de trou en fonction de la longueur de trou et la valeur de degré de poussé. Donc quel que soit le diamètre de trou la valeur de déviation s'augmente avec l'augmentation de degré de poussée (si en a une poussée forte en va voire une déviation élevée), mais dans les longueurs des trous inférieurs à 2 m la valeur de déviation peuvent être négligeable. [4]

#### • Diamètre de trou

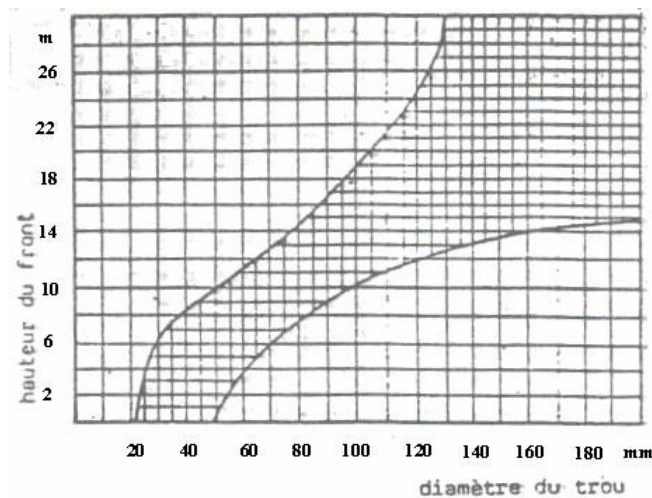
Le diamètre de trou est directement lié avec le degré de fragmentation ciblé ainsi que le type de réalisation d'excavation.

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

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

- L'environnement : le niveau de vibration et de bruit dépend de la charge (qui dans la plupart des cas est celle d'un diamètre du trou de mine).
- La structure du massif qui a un effet fondamental sur la granulométrie, donc qui influencera directement sur le choix du diamètre de sondage.
- La nature de l'explosif qui peut par exemple avoir une vitesse de détonation plus élevée lorsque le diamètre augmente.

- La hauteur du front à abattre : l'abaque ci-dessous permet d'évaluer la zone favorable entre le diamètre de foration des trous et la hauteur du front à abattre. [5]



**Figure.1.6–** Choix du couple diamètre-hauteur de front. [3]

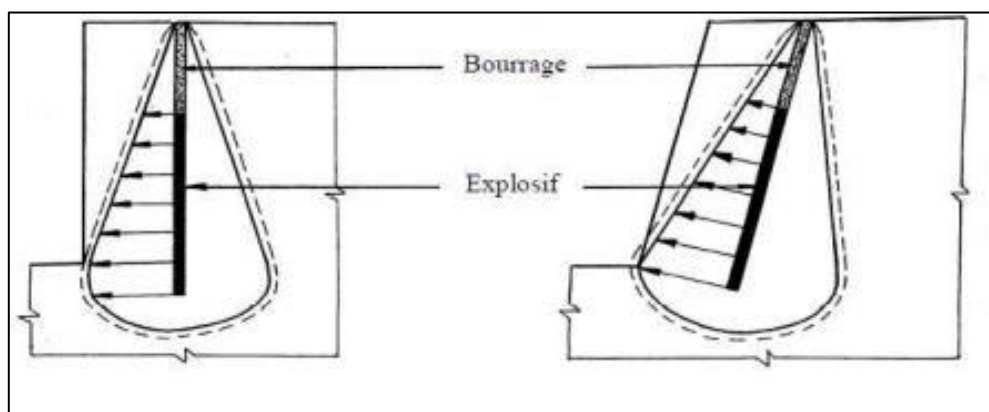
- **Inclinaison de trou**

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

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

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

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



**Figure I.7** Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied d'un minage profond en vertical et avec inclinaison. [5]

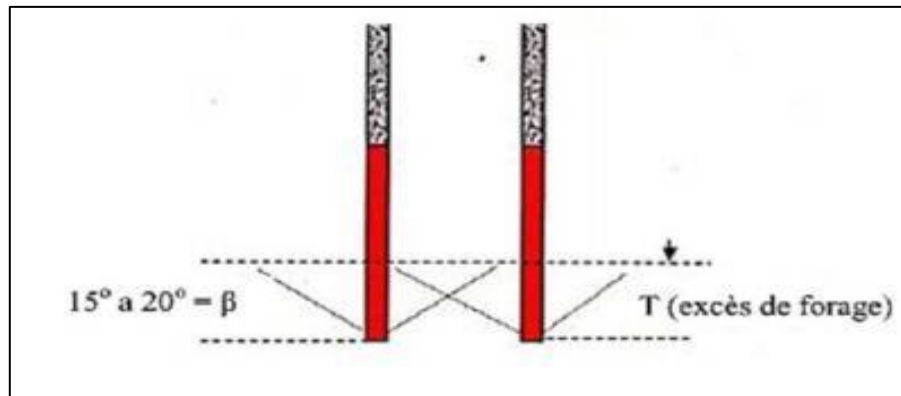
- **L'excès de forage**

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

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

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

D'après la méthode soviétique on peut le calculer selon le diamètre de trou ou il est approximativement 5 à 10 fois le diamètre de trou. [4]



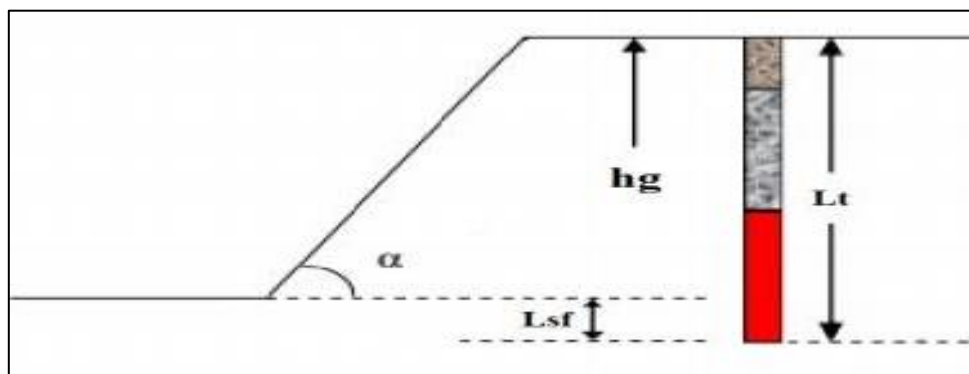
**Figure I.8** La rupture de la roche au pied du gradin [4]

- **Longueur de trou**

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

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

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



**Figure I.9** : longueur de trou. [5]

- Hg : hauteur de gradin ;
- Lsf : longueur de sous forage ;
- Lt : longueur de trou ;
- $\alpha$  : l'angle d'inclinaison du talus du gradin.

- **Paramètres liés au bourrage**

- **Hauteur du bourrage et sa disposition dans les trous**

Le bourrage a pour objectif de diminuer les projections et d'améliorer l'effet de gaz des explosifs. Il doit être suffisant pour éviter le travail "en cratère" de la dernière charge. En général, il dépend de la ligne de moindre résistance. Dans les trous profonds, sa longueur doit être égale à la ligne de moindre résistance, et il peut descendre à (0,5 w) dans les courts trous.

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

Le bourrage intermédiaire permet dans le premier cas d'obtenir un abattage sélectif, dans le second d'éviter la perte d'énergie, et dans le troisième d'éviter une surconsommation d'explosif. [5]

- **Qualité du matériau de bourrage**

Les carrières et les mines algériennes généralement utilisent les débris de forage pour le bourrage mais ces débris posent un problème de projection et débouillage important au moment du tir. Les tirs expérimentaux montrent que le bourrage aux gravillons (4/6) donne une meilleure Utilisation de l'énergie explosive. [4].

- **Paramètres liés au plan de tir**

- **La ligne de moindre résistance**

C'est la distance entre le premier rangé des trous et l'arrêt supérieur du gradin, dans le cas où il y a une seule rangée de trous de mine la ligne de moindre résistance représente la largeur d'enlèvement. Les facteurs qui influent le choix de la ligne de moindre résistance sont [4]:

- Le diamètre de trou ;
- La hauteur de gradin ;
- L'inclinaison de trou ;
- La puissance de l'explosif utilisé.

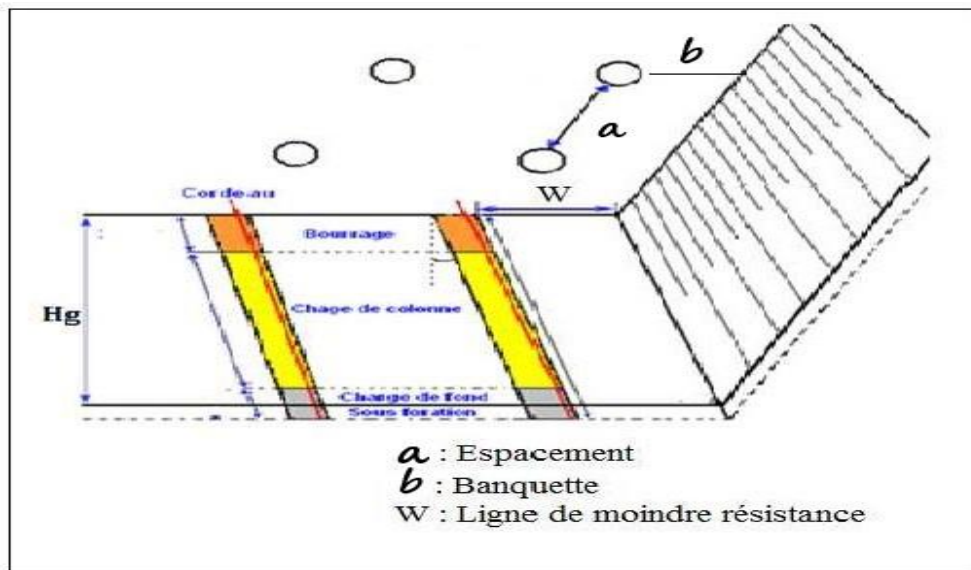
- **L'espacement**

C'est la distance qui sépare deux trous voisins. Pour une bonne fragmentation peut être obtenue en variant l'espacement entre (0,8 et 1,5) fois la ligne de moindre résistance sans pour autant augmenter l'énergie de la charge spécifique. [4]

- **La banquette:**

C'est la distance entre l'arrêt supérieur du gradin et la première rangée de trou. Dans le cas d'une seule rangée des trous d'abattage, la banquette représente la longueur du volume à abattre par l'énergie explosive contenue dans la rangée.

Le choix banquette est influencé par le diamètre, la hauteur du gradin l'inclinaison du trou et la qualité de fragmentation désirée [6].

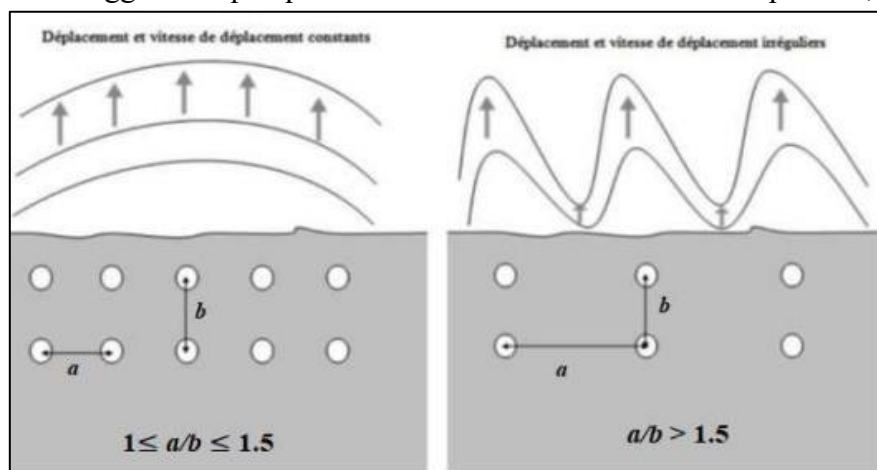


**Figure I.10 :** Exemple d'un schéma de la maille [7]

- **Rapport de maille**

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

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



**Figure I.11:** Dynamique d'abattage. [5]

L'approche en termes de ratio espacement sur ligne de moindre résistance s'appuie sur des observations expérimentales. Elle est parfois critiquée et délaissée en faveur d'une approche plus fondée sur l'énergie disponible en fonction du volume à abattre par trou. [5].

- **Présence des faces libres**

Lorsque l'onde de choc rencontre une discontinuité, elle se divise en une onde transmise et une onde réfléchie. La répartition entre l'énergie transmise et l'énergie réfléchie dépend du rapport des impédances des matériaux d'une part et d'autre part de la discontinuité. Dans le cas de l'interface

(roche-air), la réflexion et presque totale. L'onde de compression se réfléchit alors en une onde de traction qui est responsable de la formation d'une fissuration parallèle au plan d'onde. Ce phénomène bien connu est appelé Ecaillage.[5]

- **Implantation et configuration des trous**

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

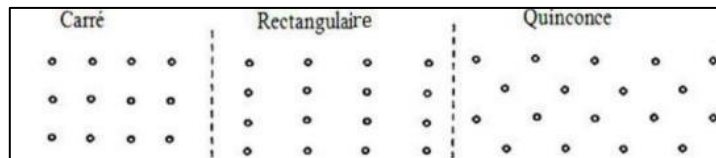


Figure I.12 : Principaux types de mailles utilisés pour les tirs en ciel ouvert. [4]

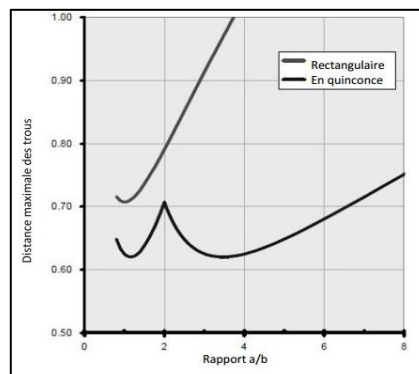


Figure I.13 Effet de rapport  $a/b$  sur la distance maximale des trous[6]

- **Paramètres liés à l'explosif**
  - **Influence de la consommation spécifique de l'explosif**

Le terme de consommation spécifique désigne la quantité d'explosif que l'on charge dans un trou de mine pour abattre  $1\text{m}^3$  de roche (ou 1t), elle est donc donnée en  $\text{kg/m}^3$ . C'est un paramètre à adapter au massif rocheux à abattre et liée à la ligne de moindre résistance comme le montre la figure I.26. [4]

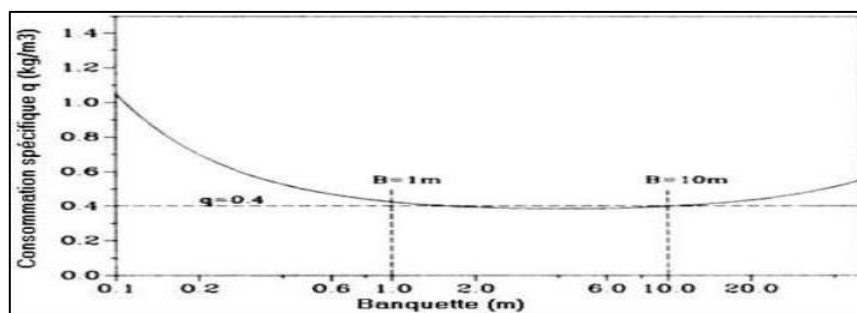


Figure I.14: La consommation spécifique  $q$  en fonction de la ligne de moindre résistance.[5]

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

**Le cas optimal** : la consommation spécifique se reste approximativement stable de la valeur 0.4 ( $\text{kg/m}^3$ ) pour les lignes de moindre résistance  $s$  de 1.0 à 10m.

### I.6.2 Paramètres incontrôlables

- **Le massif rocheux**

Les massifs rocheux sont constitués de matrice rocheuse et de discontinuité. Les discontinuités sont caractérisées mécaniquement par une résistance en traction beaucoup plus faible que l'effort nécessaire pour rompre la roche intacte ; une faible résistance au cisaillement.

#### L'influence des discontinuité

La structure d'un massif a une influence très importante sur le tir, elle détermine tout d'abord la taille des blocs, elle conditionne la mise en œuvre du tir, le fonctionnement même de l'énergie explosive et sa transmission au massif, et peut occasionner des problèmes de stabilité au niveau des trous de tir ou de gradins. [4]

- **Hydraulique**

La présence d'eau dans un terrain est toujours une source de préoccupation pour le mineur, elle influe généralement sur trois paramètres à savoir : [4]

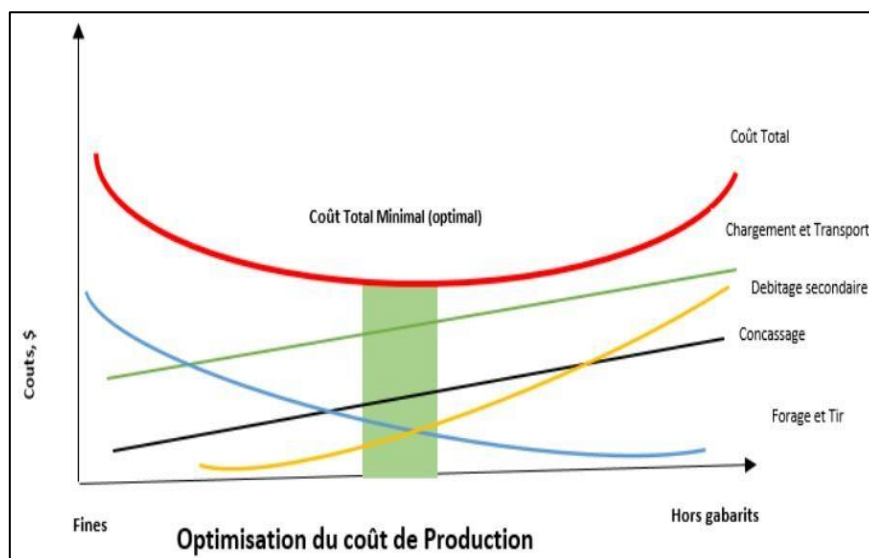
- La foration ;
- Le choix d'explosif ;
- Le processus d'abattage

### I.7 La granulométrie

Une bonne fragmentation évite des hors gabarits nécessitant un débitage secondaire ; permet d'optimiser le prix de revient des opérations suivantes : chargement-transport concassage [8] P84. Les dimensions maximales admissibles ( $d_{max}$ ) des blocs doivent être obtenues en fonction :

- De la capacité du godet de l'excavateur (E) :  $d_{max} \leq 0,8 \sqrt[3]{E}$
- Des dimensions d'ouverture du concasseur (Bouv) :  $d_{max} \leq 0,8Bouv$
- Pour l'équipement de transport (camion) :  $d_{max} \leq 0,5 \sqrt[3]{Vc}$
- De la largeur de la bande du convoyeur (Bc) :  $d_{max} \leq 0,5Bc - 0,1$

La dimension idéale est celle qui permet un bon remplissage du godet de l'engin de chargement. Les opérations de fragmentation dans une exploitation minière sont à la fois un centre de coût et un levier de performance pour l'ensemble du cycle extractif : Ainsi, l'effort de tir optimum sera atteint lorsque les coûts totaux (forage et tir, chargement et transport) sont au minimum. En optimisant la fragmentation par le dynamitage, on peut atteindre des améliorations significatives dans la productivité, le débit du concasseur, la stabilité des talus,[8]



**Figure I.15 :** graphique de l'optimisation de la production d'une mine à ciel ouvert [8]

### I.8 Les modèles de prédiction de la fragmentation

Plusieurs méthodes d'estimation de la fragmentation ont été (et sont encore) développées. Un effort croissant a été réalisé en ce qui concerne la prédiction de la taille des blocs obtenus à partir de tirs à l'explosif.

Des approches très sophistiquées aux plus rustiques, toutes se heurtent à des obstacles majeurs qui traduisent la difficulté d'une représentation réaliste des conditions de tir:

- ✚ L'impossibilité matérielle de cartographier les conditions géologiques de chaque tir,
- ✚ L'existence de paramètres incontrôlables ou difficilement appréciables tels que la déviation des trous de forage,
- ✚ Dans la majorité des cas, on n'accède qu'à une information "de surface", qui n'est qu'un reflet de la granulométrie en volume du tas.

La raison d'être de ces modèles est à la fois technique et économique. En effet, ils permettent, avant un tir, d'en simuler les résultats. Cela permet ainsi de trouver les paramètres du tir qui donnerait les résultats recherchés.

Ces modèles peuvent être classés selon plusieurs types (non exhaustives) :

Modèle algébrique, modèle physique, modèle empirique (Kuz Ram), modèle mécanique.[8]

#### Conclusion

Ce chapitre montre qu'une réalisation d'un plan de tir, il faut d'abord connaître les paramètres contrôlable et non contrôlable, qui influent sur les résultats d'abattage.

La bonne connaissance de ces paramètres de tir, signifie l'amélioration des résultats d'abattage pour atteindre les meilleures qualités avec les moindres problèmes.



## **Chapitre II :**

### **Description du site**

## CHAPITRE II. DESCRIPTION DU SITE

### Introduction

Ce chapitre présente l'étude géologique du gisement de Beccouche 1 de Sour El-Ghozlane, Wilaya de Bouira, exploité par la SPA. Filiale du groupe GICA (groupe industriel des ciments d'Algérie). L'estimation des réserves exploitables de ce gisement, basant sur les considérations la régionale du gisement, notamment ; la structure géologique, la stratigraphie et les caractéristiques des massifs rocheux.

Les travaux géologiques ont été effectués en trois phases :

- Prospection géologique (septembre à octobre 1974).
- Recherches préliminaires (de novembre 1974 à février 1975).
- Recherches détaillées (d'octobre 1975 à février 1976) [9]

### II.1 Localisation du site

#### II.1.1 Situation géographique régional

Située à 120 km à l'Est d'Alger, et 25 km de Bouira, chef-lieu de la wilaya. La société occupe une position géographique stratégique, En effet, implantée aux limites du tell et des hauts plateaux, cette position lui permet de jouer un rôle économique important dans la région du centre du pays. Elle assure ainsi la satisfaction des besoins en ciment de plusieurs wilayas, Au nord : Bouira, Tizi-Ouzou, Bejaia. Au centre : Djelfa, Laghouat. Au sud : Ghardaïa, Illizi, Ouargla.[9]

#### II.1.2 Géomorphologie et climat

La région de Sour el ghozlane subit les influences du climat méditerranéen. Les pluies tombent en grosses averses durant les mois d'hiver et de printemps. Les mois d'été sont pratiquement secs. Cette région est morcelée par un réseau de petits oueds. Ruisseaux et leurs ramifications. Les deux oueds lakehal et zeroua convergent leurs eaux vers une dépression développée au nord de la chaîne de Bibans. [10]

### II.2 Géologie locale

#### II.2.1 Historique de la cimenterie

L'usine de Sour El-Ghozlane est une cimenterie qui a été confiée à une société danoise fondée par F.L. Smith avec laquelle la Société Nationale des Matériaux de construction (S.N.M.C) a signé un contrat le 26 novembre 1979 pour un délai de réalisation de 38 mois, on note ainsi :

- ✓ Le début des travaux qui a été fixé au 26 février 1980.
- ✓ La première production de ciment a eu lieu le 20 octobre 1983[10]



**Figure II.1** Image représentant la Cimenterie de Sour El Ghozlane [11].

## II.2.2 Localisation du gisement



**Figure II.2.** Carte topographique de gisement de Coline BECCOUCHE.[9]

Le gisement couvre une superficie de 17 500 ha dont 100% font l'objet de l'exploitation actuelle. Il s'étend suivant les coordonnées portées ci-après :

**Tableau II.1 :** Les coordonnées UTM de la carrière des calcaires COL BECCOUCHE [10].

Points	1	2	3	4
X	568 000	568 000	566 900	566 900
Y	4 003 300	4 002 700	4 002 700	4 003 000
Points	5	6	7	8
X	567 500	567 500	567 600	567 600
Y	4 003 300	4 003 200	4 003 200	4 003 300

## II.2.3 Propriétés physiques

Le poids volumique et la broyabilité des couches formant le gisement et rentrant dans le processus d'exploitation ont été testés sur des échantillons. Le tableau ci-dessous montre les moyennes des essais physico-mécaniques :

**Tableau II.2 :** Résultats moyens des essais physiques [10]

Matière première	Résultats moyens des analyses		
	Humidité naturelle (%)	Poids volumique (KN/m <sup>3</sup> )	Absorption d'eau (+%)
Marnes (MA-1)	7.07	2.46	-
Calcaire (CM-2)	0.00	2.60	1.1
Marnes (MA-3)	3.52	2.30	-

D'après les résultats :

Le calcaire principal est pratiquement sec. Cependant, l'humidité des autres constituants est plus élevée et il est indispensable de prendre en considération la marne MA-1 notamment pendant les périodes de pluies.

## II.2.4 Estimation des réserves géologiques

Le gisement du calcaire « Coline de BECCOUCHE » est considéré comme étant un gisement moyen quant à ses dimensions et régulier du point de vue de la structure, la puissance et la qualité de la matière première [10].

Le calcul des réserves a été effectué en suivant la méthode des coupes géologiques. Et comme le poids volumétrique des calcaires n'était pas déterminé sur le terrain ni dans le laboratoire, la valeur conventionnelle qui a été associée au poids volumétrique était de 2.6 t/m<sup>3</sup>. Les résultats du calcul des réserves d'après les blocs, les catégories et le terrain en leur ensemble sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II.3 :** Calcul des réserves des calcaires CM-2 du gisement SEG [10].

	Profils	Superficie section (m <sup>2</sup> )	Distance entre profils (m)	Volume des blocs (m <sup>3</sup> )	Densité	Réserves (mille tonne)
I-C1	A-A'	8.460	705.0	6.420.202	2.6	16.692.50
	B-B'	9.710				
	C-C'	9.150				
II-C1	C-C'	9.150	617.5	5.968.138	2.6	15.517.16
	E-E'	10.180				
III-C2	E-E'	10.180	660.0	5.376.000	2.6	13.977.60
	F-F'	10.890				
	G-G'	7.730				
IV-C2	A-A'	8.460	480.0	2.434.560	2.6	6.329.86
	J-J'	2.510				

D'après le tableau ci-dessus, on note que la réserve totale pour le bloc C<sub>1</sub> est de : 32.209.66 tonnes tandis que celle du bloc C<sub>2</sub> remonte à : 20.307.46 tonnes.

Ces analyses ont aussi permis de donner une idée sur le volume des roches de couverture qui était estimé à 5.3 millions de tonnes.

Les calcaires mélangés aux schistes argileux pourraient bien alimenter la cimenterie dont la capacité annuelle est de 1.0 million de tonnes pour un délai de 38 ans. Une certaine augmentation des réserves des calcaires pourrait être assurée dans la partie Est du terrain.

Cependant, à l'issue de l'étude préliminaire, la structure géologique et le relief de cette partie s'avèrent bien compliquée. Les dimensions de la superficie perspective pour l'augmentation des réserves sont à 200 m et les réserves potentielles seront de 6-7 million de tonnes [10].

D'après le calcul approximatif, les réserves potentielles des roches marneuses jusqu'au niveau + 920 m sont comme suit :

- Marne MA-1 : 5.3 millions de tonnes ; soit 5 %des réserves totales.
- Marne MA-3 : 28.1 millions de tonnes ; soit 27 %des réserves totales.

- Marnes MN-5 : 20.8 millions de tonnes ; soit 19 % des réserves totales.

En cas de l'utilisation complexe des marnes et des calcaires dans la production du ciment, la cimenterie serait assurée en matière première pour une durée de 60-65 ans.

**Tableau II.4 : Réserves géologiques en exploitation et couverture [10]**

Matières	Quantité des réserves en million de tonnes			Total
	Catégorie B	Catégorie C1	Catégorie C2	
Marne Supérieure	2.80	3.90	1.00	7.70
Calcaire Principal	22.60	42.70	6.5	71.80
Marne inférieure	3.60	6.50	0.80	11.10

La quantité de la marne argileuse (MA3) à extraire est de 142 550,4 m<sup>3</sup> soit 372 056,544 tonnes.

## II.2.5 Organisation des travaux

L'organisation du travail de l'exploitation du gisement de calcaire est la suivante :

### ➤ Travaux d'abattage

#### • Foration des trous de mine

La foration des trous de mines est réalisée par une machine de forage doté d'un taillant de diamètre 110 mm.

La volée d'abattage lieu d'implantation des trous de mine, doit faire l'objet de préparation et de nivellement pour permettre le déplacement des machines de forage.

#### • Tir à l'explosif

Le tir s'effectue en deux ou trois rangées, le mode de tir effectué du réseau électrique, les principaux paramètres du tir à l'explosif pour une volée sont donnés ci-dessous.

Les paramètres de la méthode d'exploitation sont définis comme suit :

- Hauteur de gradin : 15 m.
- Angle de talus d'exploitation : 85°.
- Couverture superficielle : insignifiante.
- Poids volumique : 2,65 t/m<sup>3</sup>.

### Les travaux préalables :

- Dimensions des blocs abattus ne doit pas dépasser l'ouverture du concasseur Primaire) ;
- Diamètre des trous de mines est pris égal à 110 mm ;
- Chargement continu des trous de mine ;
- Charge d'explosif de pied TEMEXII/80mm ;
- Charge d'explosif de colonne : INFOMIL ;
- Un tir décade pour produire 24 112 tonnes de roches ;
- Le nombre de tir est : 3 tirs par mois.

### ➤ Débitage secondaire

Tout tir d'abattage à l'explosif génère des blocs hors gabarits. (On estime que le volume de ces roches représente 5% du volume abattu foisonné).

Le débitage secondaire des blocs hors gabarit générés par les tirs d'abattage à l'explosif, est réalisé à l'aide d'un marteau brise roche monté sur pelle hydraulique.

➤ **Enlèvement et alimentation du concasseur**

Les opérations de chargement de calcaire et de marne argileuse à partir des tas de roches abattues sont assurées par des chargeuses de 9 m<sup>3</sup> de godet.

Le transport et l'acheminement des roches de calcaire et de marne argileuse du chantier au concasseur est assuré par des dumpers de 70 tonnes de charge.[11]

### **II.2.6 SECURITE DES TRAVAUX EN CARRIERE**

1. Équipements de protection : Le personnel doit obligatoirement porter des EPI (casque, chaussures, lunettes...).
2. Sécurité lors des tirs à l'explosif :
  - Délimitation d'un périmètre de sécurité.
  - Accès limité au personnel et aux engins concernés.
  - Purge des fronts après chaque tir pour prévenir la chute de blocs dangereux.
3. Entretien du matériel roulant :
  - Vérification régulière des freins, direction et pneus.
  - Pistes de roulage larges et bien entretenues (nivellement et arrosage pour limiter la poussière).
4. Plates-formes de travail :
  - Doivent être assez larges pour le déplacement sécurisé des engins.
5. Chargement et transport :
  - Respect du code routier et des règles de conduite.
  - Interdiction de l'excès de vitesse et du stationnement prolongé en charge.
  - La benne doit être vidée à la fin de chaque poste.
6. Consignes spécifiques de chargement :
  - Le camion se positionne sur signal du chargeur.
  - Chargement par le côté ou l'arrière uniquement.
  - Interdiction de passer le godet au-dessus de la cabine.
  - Départ du camion seulement sur signal du chargeur.
7. Réglementation :
  - L'exploitation doit se faire conformément à l'arrêté ministériel du 19 mai 2004.

## **Conclusion**

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi la carrière des calcaires de Sour El Ghozlane en raison de ses caractéristiques géologiques favorables, de sa forte activité industrielle. Ce choix vise à améliorer la qualité d'exploitation en optimisant les paramètres géométriques des tirs de mines afin d'obtenir une meilleure fragmentation et de réduire la proportion de fines et les hors gabarit. Cette étude contribue ainsi à une exploitation plus efficace et mieux maîtrisée des roches calcaires.

**Chapitre II :**  
***Effet du rapport de maille  
(a/b) sur la qualité de la  
fragmentation des roches***

## **CHAPITRE III. EFFET DURAPPORT DE MAILLE (a/b) SUR LA QUALITE DE LA FRAGMENTATION DES ROCHES**

### **Introduction**

Ce chapitre constitue la partie expérimentale et analytique de notre étude. Il vise à passer d'une compréhension qualitative à une évaluation quantitative de l'impact des choix géométriques sur l'efficacité du tir. Ce chapitre est donc dédié à l'application du modèle de Kuz-Ram, un modèle empirique de renommée mondiale qui permet de prédire la distribution granulométrique des matériaux abattus. Ce modèle combine l'équation de Kuznetsov, qui estime la taille moyenne des fragments ( $X_{50}$ ), avec la distribution de Rosin-Rammler, qui décrit la répartition complète des tailles autour de cette moyenne. L'objectif ici est double : premièrement, valider l'applicabilité du modèle aux conditions spécifiques de la carrière ; deuxièmement, l'utiliser comme un simulateur pour analyser de manière systématique l'effet du rapport de maille ( $E/B$ ).

En faisant varier l'espacement ( $E$ ) tout en gardant la banquette ( $B$ ) fixe, puis inversement, nous chercherons à identifier une plage de valeurs optimale pour ce rapport. L'analyse des courbes granulométriques simulées nous permettra de déterminer la configuration qui favorise une fragmentation idéale pour les installations de la cimenterie, c'est-à-dire une fragmentation qui minimise les blocs surdimensionnés et la production de fines, tout en assurant un rendement maximal pour le concasseur primaire.

### **Définitions d'une distribution granulométrique**

La distribution granulométrie d'un matériau non consolidé fait référence aux tailles de fragments en présence et à leurs proportions dans un volume de matériau donné. Cette information ne comporte pas de donnée qualitative sur la forme des fragments, qui varie d'un matériau à l'autre. L'hypothèse de fragments sphériques est toujours faite de manière implicite sauf rares exceptions.

La granulométrie d'un matériau est caractérisée soit par une fonction de répartition, soit par une densité de probabilité ; à chacun de ces deux cas correspond une notion différente.

### **III.1 Les méthodes classiques de mesure de la granulométrie des roches abattues**

Le terme granulométrie désigne l'opération qui consiste à décrire, selon des critères donnés, la distribution des tailles d'un ensemble d'objets. [6]

En ce qui concerne les applications minières, l'estimation de la distribution des tailles par criblage s'inscrit dans un objectif global de contrôle de qualité et de réduction du coût de l'exploitation. Elle répond principalement aux nécessités suivantes :

- L'évaluation du rendement du tir, ce dernier étant caractérisé par les paramètres liés à l'énergie employée et par le schéma utilisé.
- L'évaluation du rendement des opérations du concassage et du broyage.

En fonction de la taille des fragments manipulés et des moyens mis en œuvre pour la mesure de la granulométrie, le criblage peut se diviser en trois principales opérations :

#### **III.I.1. Le tamisage**

Il consiste à faire passer les fragments de roche dans des tamis de plus en plus fins et opérer une mesure sur le contenu de chacun d'eux, il se limite à des tailles d'environ 125 mm. [6]

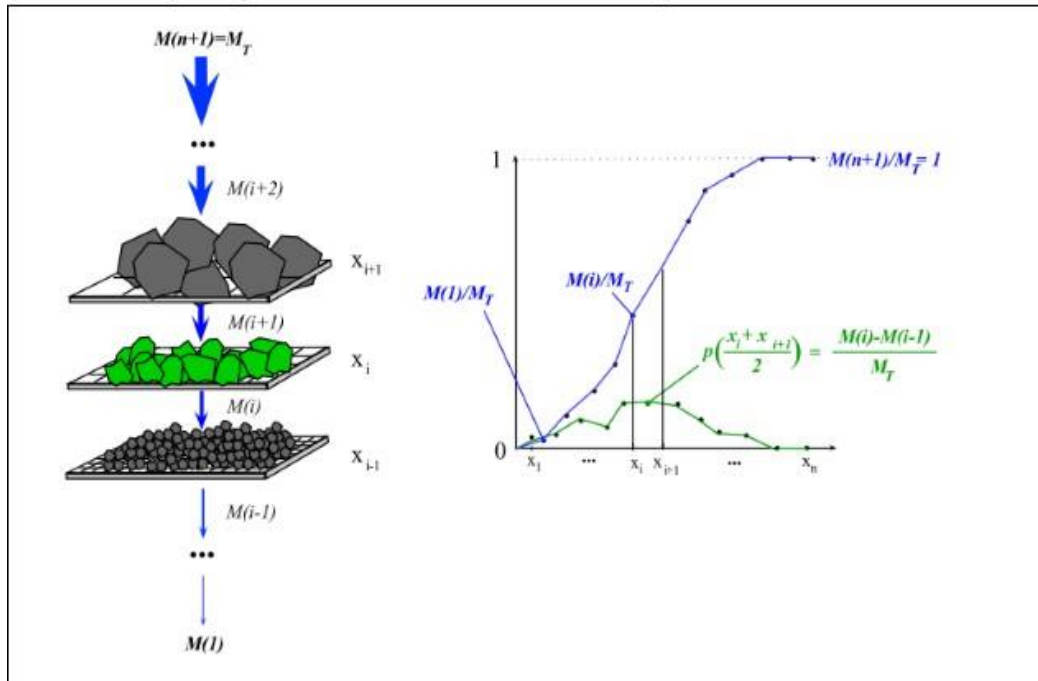
#### **III.I.2. L'étude des enrochements**

On utilise des tables de criblage dont la taille des mailles varie entre 100 et 200 mm,

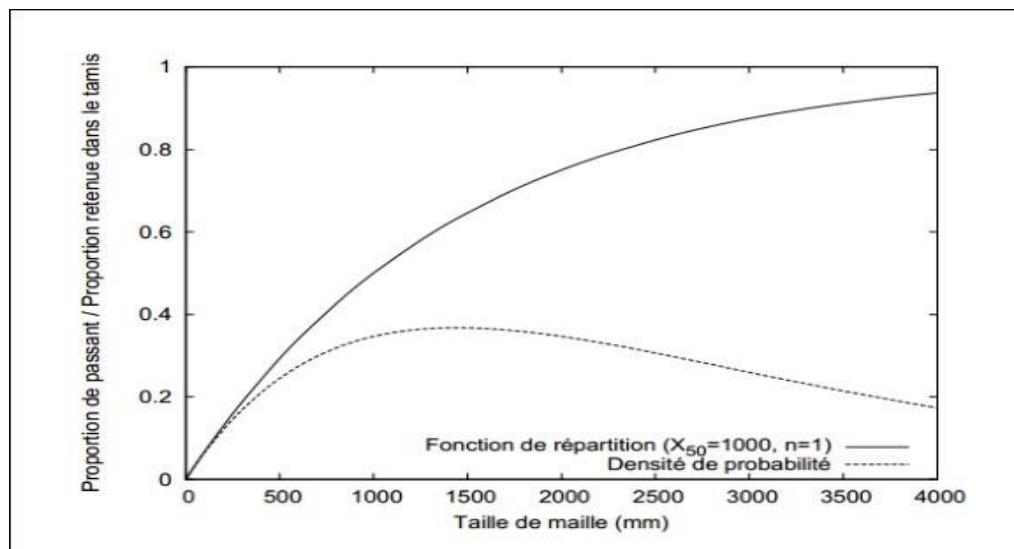


### III.I.3. La blocométrie

Il s'agit des modèles volumiques pour la mesure des tailles (tel que celui des cubes). Les fragments mis en jeu sont de taille supérieure à 200 mm. Il est noté que l'ensemble de ces opérations doivent être réalisées par un matériel normalisé (AFNOR). C'est l'un des moyens simples à mettre en œuvre et le plus utilisé pour établir la distribution des tailles des roches fragmentées. [6]



**Figure III.1.** Concept de classification granulométrique. [6]



**Figure III.2.** Exemple de distribution granulométrique théorique (Fonction de Rosin-Rammler). [6]

### III.2 Fonctions de répartition granulométriques usuelle

La fonction de Rosin-Rammler (1933), est la fonction la plus utilisée pour décrire les distributions granulométriques dans le domaine des tirs à l'explosif. Il s'agit d'une adaptation de la fonction de répartition d'une statistique de Weibull.

$$P(x) = 1 - e^{-\ln 2 \left(\frac{x}{x_{50}}\right)^n} \quad (\text{III.1})$$

Où :

$n$  ; indice d'uniformité

$X_{50}$  : la moyenne des fragments

Cette fonction est critiquée pour deux raisons

- Elle ne prend pas en compte de taille maximale pour les blocs.
- Dans le domaine des fines et en échelle logarithmique, la fonction Rosin-Rammler a un comportement linéaire, ce qui est mis en défaut par les données granulométriques issues de l'expérience pratique.
- La fonction Rosin-Rammler peut être déclinée en une version bimodale, a fin de raffiner la description des granulométries observées. Il s'agit d'une somme pondérée de deux versions de la fonction de base, avec un paramètre de pondération  $a$  :

$$p(x) = a \times P_1(x) + (1 - a) \times P_2(x) \quad (\text{III.2})$$

$P_1$  et  $P_2$  sont les fonctions relatives à chaque mode décrit. La version bimodale de la fonction Rosin-Rammler est décrite par 5 paramètres ;

Donc on écrit :

$$p(x) = (1 - a) \times e^{-\ln 2 \left(\frac{x}{x_1}\right)^{n_1}} - (1 - a) \times e^{-\ln 2 \left(\frac{x}{x_2}\right)^{n_2}} \quad (\text{III.3})$$

On notera que les formes bimodales comportent un nombre plus important de paramètres, et permettent donc de décrire d'autant mieux les granulométries expérimentales ;

### III.2.1 Fonction Swebrec

La fonction Swebrec, du nom du Swedish Blasting Research Centre, est une fonction de répartition granulométrique récemment introduite par Ouchterlony (2005) . Elle est plus pertinente que la fonction Rosin-Rammler pour décrire la partie fine des courbes granulométriques, et a été comparée à de nombreuses courbes granulométriques tamisées, résultant de tirs en échelle réelle, de tirs à l'échelle du laboratoire et d'opérations de concassage/broyage (Ouchterlony, 2010) . Elle possède trois paramètres, dont la taille maximale de bloc qui est introduite.[6].

La fonction Swebrec s'écrit sous la forme suivante :

$$p(x) = 1 / \left( 1 + \left[ \ln \left( \frac{X_{max}}{X} \right) / \ln \left( \frac{X_{max}}{X_{50}} \right) \right]^b \right)$$

Où :  $X_{max}$  : Taille de bloc maximale,  $X_{50}$  : Taille médiane des fragments, et  $b$  : Paramètre de forme ne fonction Swebrec étendue décrite par 5 paramètres, a également été proposée.

La remarque précédente relative aux fonctions à plusieurs modes s'applique bien sûr aussi à cette dernière

$$p(x) = \frac{1}{\left( 1 + a \times \left[ \ln \left( \frac{X_{max}}{X} \right) / \left( \frac{X_{max}}{X_{50}} \right) \right]^b + (1 - a) \times \left[ \frac{\ln \left( \frac{X_{max}}{X} - 1 \right)}{\frac{X_{max}}{X_{50}} - 1} \right]^c \right)}$$

### III.3 Prédiction de la taille moyenne

#### III.3.1 Equation de Kuznetsov

C'est une équation proposée par Kuznetsov (1973) [36], elle a pour but la prédiction de la taille médiane  $X_{50}$  des fragments abattus en fonction de paramètres caractéristiques de la roche et de l'explosif utilisé :

$$X_{50} = A \times Q_{tr}^{1/6} \times \left(\frac{115}{RWS}\right)^{19/30} / q_p^{0.8}$$

Ou :

A : Rock Mass Factor (facteur de la masse rocheuse),  $Q_{tr}$  : Masse de l'explosif par trou (kg), RWS : Relative Weight Strenght (puissance relative de l'explosif) ; RWS= 100 pour l'ANFO, et  $q_p$  : Consommation spécifique (kg/m<sup>3</sup>)

Le facteur de la masse rocheuse (Rock Mass Factor) est estimé par Lilly (1986), il a proposé la formule suivante :

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

**Tableau III.1.** Calcul des paramètres RMD, JF, RDI et HF.[6]

RMD - Rock Mass Description 10 : roche pulvérulente ou friable JF : plans de discontinuités verticaux 50 : roche massive	JPA - joint Plane Angle 20 : pendage en direction du tir 30 : pendage perpendiculaire au front 40 : pendage vers l'intérieur du tir
JF - joint Factor = JPS+JPA	RDI - Rock Density Influence
JPS – joint plane spacing 10 : Espacement moyen des discontinuités $S_j < 0.1m$ 20 : $0.1 m < S_j < \text{taille bloc admissible } x_0$ 50 : $S_j > x_0$	HF : Hardness Factor HF = E/3 si E < 50 MPa HF = $\sigma_c$ (MPa)/5 si E > 50 MPa

Dans la majorité des cas, la taille maximale des fragments est influencée par la nature du massif rocheux et les paramètres du plan de tir utilisé.

En 2005, Ouchterlony propose une formule pour évaluer la taille maximale des fragments produits lors d'un tir à l'explosif

$$X_{max} = \text{Min}(X_{max}/IS, b, a) \quad (\text{III.8})$$

Avec :  $X_{max}/IS$  : la taille maximale des blocs in situ, b : la banquette, et a : l'espacement entre les trous.

En 2010, Ouchterlony a mis le facteur de la consommation spécifique dans sa formule dont il estimé l'évolution de  $X_{max}$  d'une manière similaire à  $X_{50}$ .

#### III.3.2 Modèle de Kuz-Ram [7]

Le modèle empirique de Kuz-Ram est actuellement très utilisé dans le domaine de l'évaluation des résultats des tirs miniers. Le modèle repose sur la loi de KUZNETSOV pour calculer équivalente de 50 % de passants de fragments rocheux, Cette loi s'écrit :

$$X = A \times \left(\frac{V_0}{Q_{ex}}\right)^{0.8} \times (Q_{ex})^{1/6} \quad (\text{III.9})$$

Où :

**A** : est le coefficient de la roche (7 pour les roches moyennement dures, 10 pour les roches dures très fracturées, et 13 pour les roches dures peu fracturées) ; **V<sub>0</sub>** : est le volume spécifique en  $m^3$  de roches abattus par trou, égal à la banquette  $\times$  espacement  $\times$  la hauteur de gradin ; **Q<sub>ex</sub>** : est la masse en  $Kg$  d'équivalent de TNT de l'énergie fournie par la charge en explosif d'un trou.

Si **Q** est la masse en  $Kg$  d'explosif par trou et **E** la puissance relative de l'explosif. L'ANFO étant égal à 100 et le TNT à 115, on a  $Q \times E = Q_{ex} \times 115$  Et  $Q_{ex} = Q \times E / 115$ .

L'équation est donnée :

$$X = A \times \left(\frac{V_0}{Q}\right)^{0.8} \times (Q)^{1/6} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{1/6} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-0.8}$$

donc

$$X = A \times \left(\frac{V_0}{Q}\right)^{0.8} \times (Q)^{1/6} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-19/30} \quad (III.10)$$

Ou :  $V_0/Q$  : C'est l'inverse de l'énergie spécifique  $q_p$  en  $Kg/m^3$  ;

L'équation peut s'écrire donc :

$$X = A \times (q)^{0.8} \times (Q)^{1/6} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-19/30}$$

D'un autre côté de ROSIN-RAMLER décrit la distribution granulométrique de taille de blocs.

Elle s'écrit :

$$y = 1 - e^{-(x/x_c)^n}$$

Avec ; **y** : Le pourcentage de passant à la taille **x**, **x<sub>c</sub>** : La taille caractéristique égale à la taille à 63.2 % de passants, **n** : Indice de forme.

Pour :  $x = x$  (taille moyenne des blocs) on a  $y = 0.50$  et donc

$$x_c = \frac{x}{(0.693)^{\frac{1}{n}}}$$

Il faut alors calculer **n** pour pouvoir décrire complètement la distribution, en utilisant le logiciel de simulation de **Lowds** pour estimer la distribution de taille de blocs dans le tas abattu (voir l'annexe 11 et 12), a obtenu expérimentalement des valeurs de **n** pour différents paramètres géométriques du tir. Il a ensuite fait une régression sur les points pour obtenir un modèle permettant de calculer **n**. Ce modèle, dans sa forme la plus récente (1987), est

$$n = \left(2.2 - \frac{(14)^{D_{tr}}}{b}\right) \times \left[\left(1 + \frac{a}{b}\right)/2\right]^{\frac{1}{2}} \times \left(1 - \frac{w}{b}\right) \times \left(\frac{abs(BCL-CCL)}{L_{ch}+0.1}\right)^{0.1} \times \frac{L_{ch}}{H_g} \quad (III.11)$$

Ou ;

**b** : Banquette en ( $m$ ), **d** : Diamètre du trou ( $m$ ), **a** : Espacement ( $m$ ), **SD** : Standard déviation du trou ( $m$ ), **BCL** : Longueur de la charge du fond ( $m$ ), **CCL** : Longueur de la charge de colonne ( $m$ ), **L<sub>ch</sub>** : Longueur de la charge ( $m$ ), et **H<sub>g</sub>** : Hauteur du gradin ( $m$ ).

**Tableau III.2 : Formules de calcul du modèle de Kuz-Ram**

Désignation	Formules	unités
Taille moyenne des fragments	$X_{50} = A \left( \frac{V_{tr}}{Q_{tr}} \right)^{0.8} \times Q_{tr}^{\frac{1}{6}}$	<i>c m</i>
L'indice d'uniformité	$n = \left( 2.2 - 14 \times \left( \frac{b}{D} \right) \right) \times \left( 1 - \left( \frac{w}{b} \right) \right) \times \sqrt{\left( \frac{1 + \frac{a}{b}}{2} \right) \times \left( \frac{Le}{Hg} \right) \times P}$	/
taille maximale des blocs	$BDR = X_c \times \left( \ln \left( \frac{1}{0.02} \right) \right)^{1/n}$	cm
Résistance d'explosif	$E = \left[ \frac{VOD_e}{VOD_n} \right]^2 \times RWS$	%
Indice de tirabilité	$A = 0.06 \times (RMD + JF + RDI)$	/
Consommation spécifique	$q_p = \frac{Q_{tr}}{b \times a \times Hg}$	kg/m <sup>3</sup>
Poids de la charge d'explosif	$Q_{tr} = 1000 \times PI \times D_{tr}^2 \times L_{ch} \times P_s$	Kg

### III.4 Simulation du plan de tir.

Cette section expose la méthodologie adoptée pour simuler l'influence du rapport de maille sur la fragmentation, en s'appuyant sur le modèle empirique Kuz-Ram implémenté sous Excel. L'approche consiste à faire varier uniquement le rapport de maille (espacement/banquette), tandis que les autres paramètres géométriques et techniques (hauteur de banquette, diamètre des trous, type d'explosif, etc.) sont maintenus constants afin d'isoler l'effet du paramètre étudié. Cette démarche permet d'obtenir des résultats comparables et de bien cerner l'impact du rapport de maille sur la granulométrie des fragments produits.

#### III.4.1 Collecte et choix des données d'entrée

La fiabilité des simulations repose sur l'adéquation des données d'entrée aux conditions réelles de la carrière. Cette étape identifie et valide les paramètres critiques nécessaires au modèle Kuz-Ram, toutes les données nécessaires à l'application de ce modèle (Kuz-Ram) sont rassemblées :

- Paramètres géométriques fixes : hauteur de gradin, diamètre des trous, profondeur de trous, longueur de bourrage, longueur de la charge explosif, etc.
- Caractéristiques de la roche : facteur de roche (A), masse volumique, etc.
- Caractéristiques de l'explosif : type, densité, puissance relative (RWS).

Ces données sont saisies dans la feuille Excel, qui servira de base pour toutes les simulation

**Tableau III.3** : Les paramètres constantes

<b>Caractéristiques de la roche</b>	Densité	2.65 SG
	Module de Young	27 GPa
	Résistance à la compression	91.71 MPa
<b>Paramètre des discontinuités</b>	Espacement entre discontinuités	0.5 m
	Pendage	85°
	Direction de pendage	10°
	Taille de bloc in-situ	1 m
<b>Type de l'explosif utilisé</b>	Densité	1,22 g/cm <sup>3</sup>
	RWS	78 %
	Vitesse de détonation nominale	5500 m/s
	Vitesse de détonation effective	4500 m/s
<b>Paramètres géométriques</b>	Diamètre de trou	110mm
	Longueur de trous	16.55 m
	Précision de forage	0.1 m
	Hauteur de gradin	15 m
	Angle de talus	5°
	Longueur de la charge	12.55 m
	Longueur de bourrage	4 m
<b>Diamètres</b>	Diamètre maximale	1.2 m
	Diamètre moyenne	0,5 m
	Diamètre minimale	0,1 m

### III.4.2 Définition des scénarios de simulation

Dans cette sous-section, on définit les différents scénarios de simulation :

- **Variation de l'espacement (a) à banquette (b) constante** : Plusieurs valeurs d'espacement sont testées et la banquette restant fixe.
- **Variation de la banquette (b) à espacement (a) constant** : Cette fois, l'espacement reste constant et la banquette varie pour obtenir différents rapports a/b.

Pour chaque scénario, seuls 'a' ou 'b' changent dans la feuille Excel, tous les autres paramètres restant identiques. Cela garantit que les variations observées dans les résultats sont uniquement dues au rapport de maille.

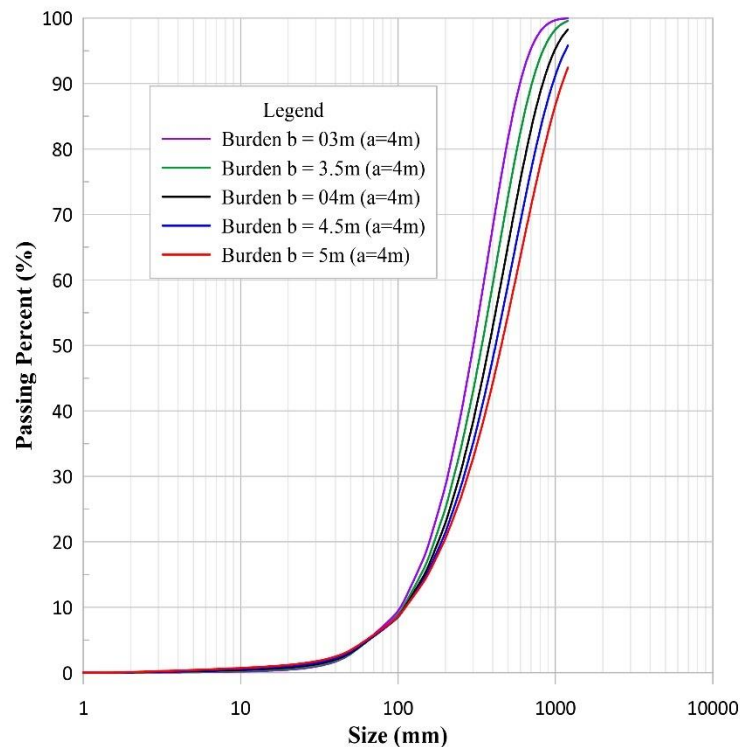
### III.4.3 Résultats et analyse

Cette section présente et analyse les résultats obtenus à partir des simulations réalisées avec la feuille de calcul Excel. L'objectif est de mettre en évidence l'effet du rapport de maille sur la fragmentation, en comparant les tailles moyennes des fragments et la distribution granulométrique pour chaque scénario testé.

Les résultats de chaque simulation (pour chaque valeur du rapport a/b) sont synthétisés dans des tableaux et des graphiques :

**Tableau III.4.** Tableaux récapitulatifs des résultats pour espacement est de 4m et (b= 3 à 5m)

	<b>Espacement=4 m</b>				
Banquette (m)	<b>b=3</b>	<b>b=3,5</b>	<b>b=4</b>	<b>b=4,5</b>	<b>b=5</b>
Rapport E/B	1,33	1,14	1	0,88	0,8
Consommation spécifique (Kg/t)	0,31	0,26	0,23	0,20	0,18
Volume abattus m <sup>3</sup>	264	264	264	264	264
Indice de blastibilité	6,775	6,775	6,775	6,775	6,775
Dimension moyens des morceau (cm)	30	34	38	42	45
Indice d'uniformité	1,76	1,64	1,53	1,44	1,35
Dimension caractérisée (m)	0,37	0,43	0,48	0,54	0,59
<b>Size (mm)</b>	<b>Pourcentage de passants</b>				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	2,87	2,94	3,06	3,24	3,47
100	9,43	8,87	8,60	8,53	8,60
200	28,57	25,12	22,90	21,44	20,50
300	49,73	43,01	38,36	35,09	32,75
400	68,10	59,38	52,85	47,97	44,30
500	81,61	72,72	65,30	59,36	54,66
600	90,33	82,65	75,32	68,96	63,65
700	95,34	89,51	83,00	76,78	71,24
800	97,93	93,96	88,63	82,95	77,52
900	99,16	96,68	92,60	87,69	82,62
1000	99,68	98,25	95,31	91,26	86,70
1100	99,89	99,12	97,10	93,89	89,92
1200	99,96	99,57	98,25	95,79	92,43
<b>Taux des hors gabarit (HG) (Oversize)</b>	<b>0,04</b>	<b>0,43</b>	<b>1,75</b>	<b>4,21</b>	<b>7,57</b>



**Figure III. 3.** Courbes granulométriques de fragmentation pour différentes valeurs de banquette (b), avec espacement fixe ( $a = 4$  m).

Dans la figure III.3, l'axe des abscisses représente la taille des fragments (en mm, échelle logarithmique), l'axe des ordonnées représente le pourcentage de passants (c'est-à-dire la proportion de fragments inférieurs à une taille donnée).

La figure III.3 montre l'évolution du pourcentage passant en fonction de la taille des fragments pour différents banquette ( $b = 3$  m à 5 m) avec un espacement constant ( $a = 4$  m).

Selon les résultats obtenus (Tableau III.1 et Fig. III.3) on constate que : Lorsque la banquette est faible ( $b = 3$  m), la proportion de fines est plus importante égale à 9,43% ;(8,87% pour  $b=3,5$ ) ;(8,60% pour  $b=4$ ) ;(8,53% pour  $b=4,5$ ) et (8,60% pour  $b=5$ ) donc la fragmentation est plus poussée.

À l'inverse, pour une banquette élevée ( $b = 5$  m), la courbe se décale vers la droite : la proportion de gros fragments augmente, la fragmentation est moins efficace.

Les valeurs intermédiaires ( $b = 3,5$  m ; 4 m ; 4,5 m) montrent une progression continue entre ces deux extrêmes.

### Interprétation :

- Une banquette trop faible conduit à une fragmentation excessive, générant trop de fines, ce qui peut être défavorable pour le rendement du concassage et entraîner des pertes.
- Une banquette trop élevée donne des blocs trop gros, difficiles à traiter et à manipuler.
- Un compromis optimal se situe généralement autour de  **$b = 3,5$  m**, où la courbe montre une répartition équilibrée des tailles, adaptée aux besoins du concassage primaire.
- D'après la courbe granulométrique, la proportion de fines atteint environ 10%, ce qui reste relativement élevée et traduit une fragmentation trop poussée. et 10% d'hors gabarits (des blocs de grandes dimensions) dépassant la taille admissible pour le concasseur primaire.



**Tableau III.5.** Tableaux récapitulatifs des résultats pour  $b = 4\text{m}$  et ( $a = 3$  à  $5\text{m}$ )

	<b>Banquette=4 m</b>				
<b>Espacement (m)</b>	<b>a=3</b>	<b>a=3,5</b>	<b>a=4</b>	<b>a=4,5</b>	<b>a=5</b>
<b>Rapport a/b</b>	0,75	0,87	1	1,12	1,25
<b>Consommation spécifique (Kg/t)</b>	0,31	0,26	0,23	0,20	0,18
<b>Volume abattus (m<sup>3</sup>)</b>	198	231	264	297	330
<b>Indice de blastibilité</b>	6,775	6,775	6,775	6,775	6,775
<b>Dimension moyens des morceau (cm)</b>	30	34	38	42	45
<b>Indice d'uniformité</b>	1,43	1,48	1,53	1,58	1,62
<b>Dimension caractérisée (m)</b>	0,39	0,44	0,48	0,53	0,57
<b>Size (mm)</b>	<b>Pourcentage de passants</b>				
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	5,15	3,94	3,06	2,41	1,91
100	13,30	10,63	8,60	7,02	5,77
200	31,97	26,97	22,90	19,54	16,75
300	49,78	43,65	38,36	33,80	29,83
400	64,66	58,47	52,85	47,77	43,19
500	76,12	70,58	65,30	60,31	55,62
600	84,43	79,88	75,32	70,84	66,47
700	90,17	86,67	83,00	79,23	75,43
800	93,97	91,43	88,63	85,64	82,51
900	96,40	94,64	92,60	90,34	87,89
1000	97,91	96,73	95,31	93,67	91,84
1100	98,81	98,05	97,10	95,96	94,63
1200	99,34	98,87	98,25	97,48	96,56
<b>Taux des hors gabarit (HG) (Oversize)</b>	<b>0,66</b>	<b>1,13</b>	<b>1,75</b>	<b>2,52</b>	<b>3,44</b>

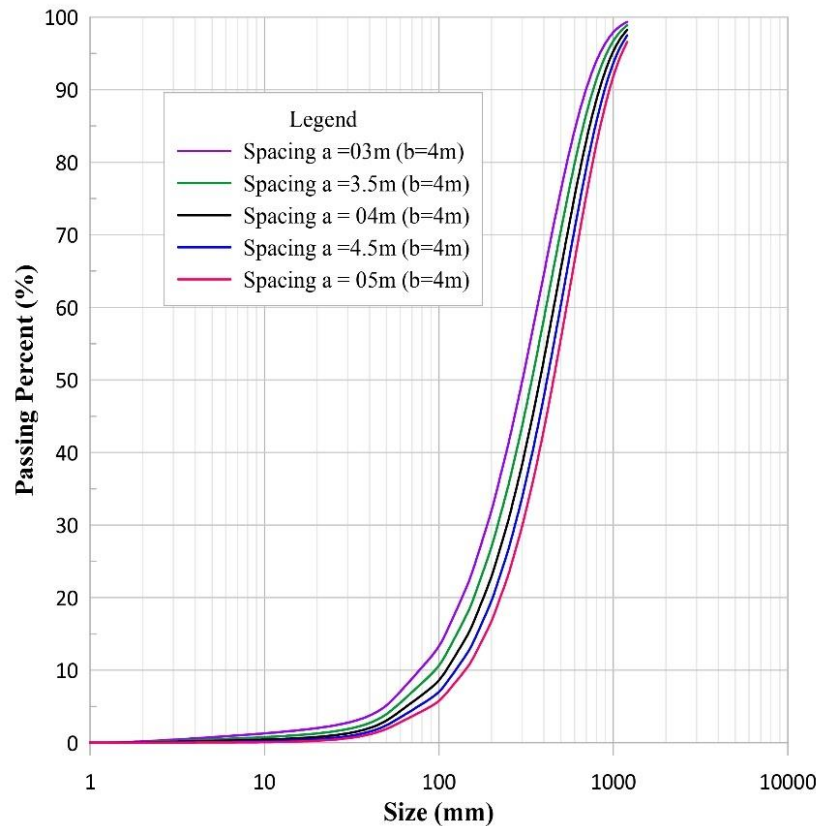
Selon les résultats obtenus (Tableau III.5 et Fig. III.4) on constate que :

- Un espacement faible (13,30% de passants pour  $a = 3\text{ m}$ ) donne beaucoup de fines, fragmentation très poussée.
- Un espacement élevé (5,77% de passants pour  $a = 5\text{ m}$ ) décale la courbe à droite : plus de gros blocs, fragmentation insuffisante.
- Un espacement intermédiaire les pourcentages de passants sont respectivement de (10,63% ; 8,60% ; 7,02%) pour les banquettes ( $a = 3,5\text{ m}$  ;  $4\text{ m}$  ;  $4,5\text{ m}$ ) montre des courbes progressant entre ces deux cas.

#### **Interprétation :**

- Un espacement trop faible (trop de trous rapprochés) augmente le coût du tir et génère trop de fines.
- Un espacement trop grand laisse des volumes de roche mal fragmentés (blocs surdimensionnés).

Dans ce cas, l'espacement optimal se situe autour de  $a = 4\text{ m}$ , où la courbe indique une fragmentation équilibrée, ni trop fine ni trop grossière.



**Figure III.4.** Courbes granulométriques de fragmentation pour différents espacements (a), avec banquette fixe (b = 4 m).

#### III.4.4 Comparaison des effets de la variation de l'espacement et de la banquette à rapport a/b équivalent

L'analyse des courbes granulométriques révèle que la variation de l'espacement (a) et de la banquette (b) produit des effets similaires sur la fragmentation lorsque le rapport a/b est maintenu constant, mais avec des nuances importantes liées à la dynamique de l'énergie explosive.

##### 1- Variation de la banquette (b) :

Une diminution de b augmente la concentration d'énergie par unité de volume, générant une sur fragmentation (excès de fines). À l'inverse, une augmentation de b réduit l'efficacité de la déformation des roches, créant des blocs résiduels.

##### 2- Variation de l'espacement (a) :

Un espacement réduit intensifie le recouvrement des ondes de choc entre trous, favorisant la production de fines. Un espacement accru limite cette interaction, laissant des zones sous-fragmentées.

#### Comparaison à rapport a/b constant

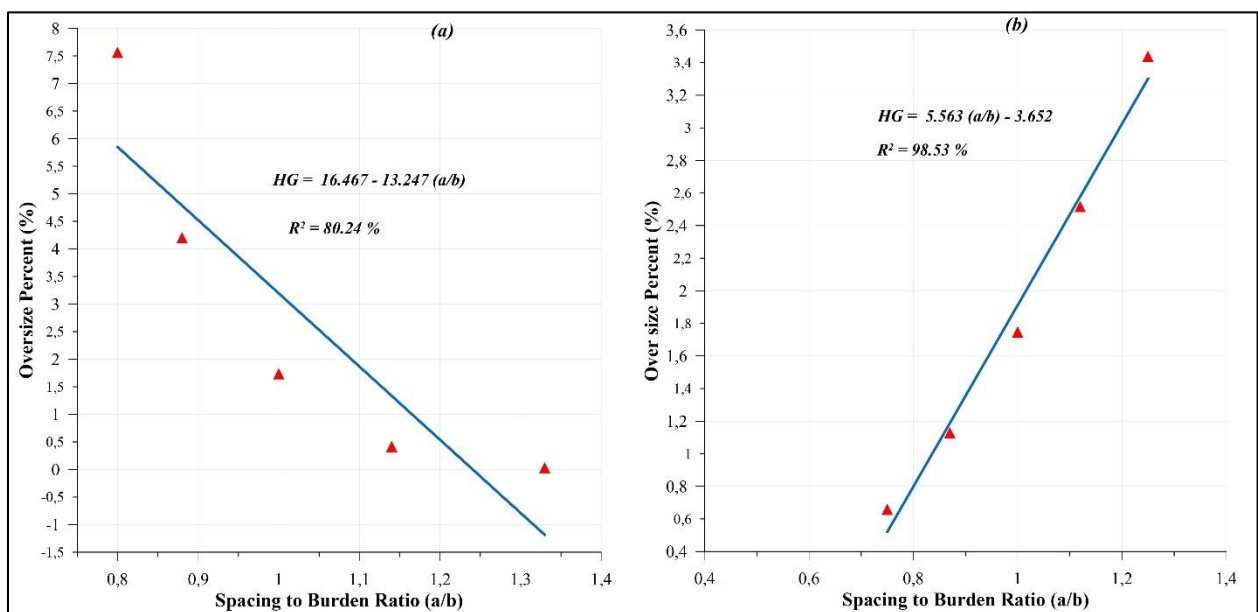
Les effets observés pour un rapport a/b = 1 (valeurs de référence : a=4m, b=4m) sont :

- La banquette augmente et (a) fixe : +20% de blocs >500mm (Réduction de l'énergie disponible par unité de volume).
- La banquette diminue et (a) fixe : +25% de fines <100mm (Concentration excessive de l'énergie).
- L'espacement augmente et (b) fixe : +30% blocs >500mm (Réduction des interactions entre trous).
- L'espacement diminue et (b) fixe : +35% fines <100mm (Recouvrement accru des zones de fracture)

En conclusion : La variation de la banquette (b) affecte plus fortement la taille moyenne des fragments, et la variation de l'espacement (a) influence davantage la distribution des tailles (changement de pente des courbes). Par exemple :

- Pour  $b < 3.5\text{m}$  ( $a/b > 1.14$ ), la production de fines dépasse 40% quel que soit 'a'.
- Pour  $a > 4.5\text{m}$  ( $a/b > 1.12$ ), la proportion de blocs >1m atteint 25% indépendamment de 'b'.

La figures III.5 de régression représentent des relations distinctes entre le ratio espacement/banquette (a/b) et le pourcentage de blocs surdimensionnés, révélant des comportements opposés selon le paramètre maintenu constant.



**Figure III.5.** Relations entre le rapport espacement/banquette (a/b) et le pourcentage de blocs surdimensionnés (HG). (a) espacement fixe à 4m et (b) banquette fixe à 4m.

La figure III.5a (Espacement fixe ( $a = 4\text{m}$ )) montre que la relation est linéaire décroissante avec une pente négative significative (-13.247) et Coefficient de détermination (corrélation est modérément forte)  $R^2 = 80.24\%$ . Lorsque le ratio  $a/b$  augmente (banquette diminue), le pourcentage de blocs surdimensionnés diminue drastiquement.

- Pour  $a/b = 0.8$ , on observe environ 7.5% de blocs surdimensionnés
- Pour  $a/b = 1.3$ , ce pourcentage tombe pratiquement à 0%

La figure III.5b (Banquette fixe ( $b = 4\text{m}$ )) montre que la relation est linéaire croissante avec une pente positive (5.563) et un coefficient de détermination (corrélation est très forte)  $R^2 = 98.53\%$ .

Lorsque le ratio  $a/b$  augmente (espacement augmente), le pourcentage de blocs surdimensionnés augmente proportionnellement.

- Pour  $a/b = 0.75$ , on observe environ 0.65% de blocs surdimensionnés
- Pour  $a/b = 1.25$ , ce pourcentage atteint 3.4%

## Conclusion

Dans ce chapitre nous avons utilisé le modèle de prédiction de KUZ-RAM pour étudier la maille 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 variation de la banquette ( $b$ ) affecte plus fortement la taille moyenne des fragments, et la variation de l'espacement ( $a$ ) influence davantage la distribution des tailles. Les résultats montre que :

La variation de la banquette ( $b$ ) influence directement la taille moyenne des fragments, tandis que l'espacement ( $a$ ) agit principalement sur la répartition des tailles.

Lorsque la banquette est faible ( $b=3m$ ) ,la fragmentation devient excessive et génère une forte proportion de fines. À l'inverse, une banquette élevée ( $b=5m$ ) produit des blocs surdimensionnés traduisant une fragmentation insuffisante.

Les valeurs intermédiaires ( $b=4m$ ,  $a=3,5$  à  $4,5m$ ) offrent un compromis satisfaisant, caractérisé par une fragmentation équilibrée et un taux réduit de blocs hors gabarit.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Après l'étude et l'élaboration de ce projet ainsi que les analyses granulométriques par un modèle de prédiction, on est arrivé aux résultats très intéressants pour l'amélioration des paramètres de forage et de tir dans les conditions de la carrière de coline de beccouche. Cet objectif est atteint avec l'application des méthodes classiques permettant de calculer les paramètres des travaux de forage et de tir et du modèle de KUZ-RAM permettant la prédiction de la fragmentation des roches abattues pour les conditions de la carrière. La nature et les conditions géologiques nécessitent le suivi et le contrôle des résultats de chaque tir et effectuer les corrections nécessaires.

L'analyse des résultats d'abattage obtenus par le modèle de KUZ-RAM pour les conditions de la carrière Coline de beccouche de Sour el ghazlane permet de faire les recommandations suivantes:

**1. Optimisation du rapport :** Maintenir un rapport optimal entre l'espacement (a) et la hauteur de la banquette (b) pour minimiser les effets indésirables tels que les excès de fines et les blocs résiduels. Effectuer des tests préliminaires sur site pour ajuster ce rapport en fonction des caractéristiques géologiques et des contraintes opérationnelles.

**2. Contrôle de la hauteur de la banquette (b) :** Éviter une hauteur de banquette trop faible pour limiter la concentration excessive d'énergie qui pourrait provoquer des hors gabarit. Privilégier une hauteur adaptée pour assurer une déformation efficace des roches sans générer de blocs inutilisables

**3. Gestion de l'espacement (a) :** Réduire légèrement l'espacement pour maximiser le recouvrement des ondes de choc, mais sans aller au-delà du seuil qui entraînerait des sous-fragmentations. Adapter l'espacement en fonction des objectifs de productivité et de granulométrie souhaitée

**4. Analyse granulométrique constante :** Mettre en place un suivi régulier des courbes granulométriques pour ajuster les paramètres géométriques en temps réel et s'assurer de la conformité aux exigences opérationnelles

**5. Formation et expertise :** Former les opérateurs sur l'importance des paramètres géométriques dans la fragmentation pour garantir une application précise sur le terrain

Impliquer des experts en dynamique des explosions pour définir des stratégies optimales en fonction du contexte géologique spécifique.

Les résultats montrent que :

Une banquette faible ( $b = 3$  m) entraîne une fragmentation trop poussée, produisant une forte proportion de fines (poussières et fragments sous-dimensionnés). Ce type de fragmentation, bien que favorisant un concassage facile, peut être défavorable sur le plan économique, car il augmente les pertes et la consommation d'explosifs.

À l'inverse, une banquette élevée ( $b = 5$  m) provoque une fragmentation insuffisante, avec la présence de blocs surdimensionnés difficiles à manipuler et à concasser.

Un rapport de maille intermédiaire, correspondant à  $b = 4$  m et à un espacement compris entre  $a = 3,5$  m et  $a = 4,5$  m, offre un compromis optimal. Dans ce cas, la courbe granulométrique présente une répartition équilibrée des tailles, traduisant une fragmentation ni trop fine ni trop grossière.

Ainsi, il ressort de cette étude que le rapport optimal  $a/b \approx 1$  (soit  $a = 4$  m pour  $b = 3,5$  m) assure la meilleure efficacité du tir de mine, en garantissant une fragmentation homogène, une consommation spécifique d'explosif modérée, et une amélioration du rendement global du concassage primaire.

## Références Bibliographique

- [1] DJARFOUR DJAAFAR (2006) - Projet d'extension de la carrière d'agrégats de calcaire de Djebel Sadjar, mémoire de master, école nationale polytechnique.
- [2] HADJADJ AOUL ELIAS, Prédiction et analyse de la fragmentation des roches dans les conditions algériennes. Thèse de DOCTORAT université d'ANNABA.
- [3] KOUIDRE, GHARBI (2007), L'adaptation du plan de tir à la blocométrie : Un enjeu capital pour un haut rendement minier, Mémoire de master, école nationale polytechnique Alger.
- [4] SEBAIHI RAFIK, (2020-2021), Analyse de la fragmentation des roches par traitement d'image [Wipfrag](cas de la carrière d'Ain EL kebira Wilaya de Sétif-Algérie). Mémoire de master université de Bejaia.
- [5] BENBAHMED YASMINE et BOUKEDJAR BELKACEM (2020-2021), Optimisation des paramètres de tir afin d'améliorer la qualité de la fragmentation lors de la battage d'un massif rocheux, Mémoire de fin de cycle, université de Bejaia.
- [6] SAOUDI MOHAMED et TIGHILT IBSA (2017-2018), Prédiction et analyse des plans de tirs en vue de l'amélioration des fragmentations des roches abattues, Mémoire de master, université de Bejaia.
- [7] BENGUESMIA YUCEF et BAALI ANFEL,(2016-2017), Élaboration d'un plan de tir en vue d'amélioration de la fragmentation des roches abattues-cas de la carrière de Chouf Amar W.M'SILA-Mémoire de master université de Bejaia.
- [8] DIABY CHEIK OUMAR et DIALLO BOURAMA,(2020-2021), Optimisation des paramètres de forage et tir pour améliorer la qualité de fragmentation dans les mines a ciel ouvert cas: de la mine Kef Essenoun a Tébessa. Mémoire de master université d'ANNABA.
- [9] SERIDJ KHALED et TRIKI ALI, (2016-2017), L'ouverture et l'exploitation d'une carrière a ciel ouvert de Sour EL Ghozlane) Mémoire de master université de Bejaia.
- [10] SAHALI SARA (2016-2017), Optimisation des tirs dans une carrière a ciel ouvert cas de la carrière de Sour EL Ghozlane (col de BECCOUCHE). Mémoire de master, université de Bejaia.
- [11] PLAN ANNUEL D'EXPLOITATION (ANNEE 2025), Gisement de calcaire (Col de Beccouche) CODE 1058 PXC COMMUNE DE SOUR EL GHOZLANE \_W. BOUIRA.

## Résumé

L'optimisation et la supervision de l'abattage revêtent une importance cruciale pour le fonctionnement de la carrière. Il est courant de définir une bonne fragmentation comme celle qui permet à la roche abattue d'être aisément extraite par les machines de chargement sans avoir besoin de procéder à des tirs supplémentaires. Toutefois, la récupération de minéraux bénéfiques ne se limite pas à l'extraction, car la fragmentation peut également impacter la production dans d'autres processus. Les résultats du tir ont un impact significatif sur le coût et l'efficacité des opérations de concassage et de broyage. Dans le domaine des carrières, la qualité du produit fini est en partie influencée par la façon dont l'abattage à l'explosif est réalisé.

On peut alors établir une fragmentation adéquate lors du tir afin qu'elle devienne un moyen d'accroître la rentabilité de l'ensemble du processus minier. C'est pour cette raison que la carrière de calcaire de Coline de Beccouche, dans le but d'améliorer les résultats de tir, a proposé le sujet suivant : Influence du rapport de maille sur les résultats de la fragmentation des roches abattues. Suite à l'évaluation granulométrique des résultats de fragmentation des roches dans la carrière de calcaire de Coline de Beccouche à Sour El Ghazlane, effectuée grâce au modèle prédictif Kuz-Ram, nous avons pu suggérer des mesures qui devraient jouer un rôle crucial dans l'amélioration de la qualité de fragmentation, en se concentrant principalement sur le rapport du maille (a/b).

## ملخص

تُعدّ عملية تحسين ومراقبة التفجير ذات أهمية بالغة لسيير العمل في المحجر. من الشائع تعريف التففت الجيد بأنه ذلك الذي يسمح باستخراج الصخور المفجرة بسهولة بواسطة آلات التحميل، دون الحاجة إلى تفجيرات إضافية. ومع ذلك، فإن استرجاع المعادن المفيدة لا يقتصر على الاستخراج فقط، إذ يمكن أن يؤثر التففت أيضًا على الإنتاج في مراحل أخرى من العملية. إن نتائج التفجير لها تأثير كبير على تكلفة وفعالية عمليات التكسير والطحن. وفي مجال المحاجر، تتأثر جودة المنتج النهائي جزئيًا بطريقة تنفيذ التفجير بالمتفجرات. لذلك، يمكن تحقيق تففت مناسب أثناء التفجير ليصبح وسيلة لزيادة ربحية العملية التعدينية ككل. ولهذا السبب، اقترح محجر الكلس في "كول دو بيكوش" موضوعًا لتحسين نتائج التفجير، بعنوان: "تأثير نسبة الشبكة (a/b) على نتائج تففت الصخور المفجرة".

وبعد تقييم التوزيع الحجمي لنتائج تففت الصخور في محجر الكلس بـ "كول دو بيكوش" في "سور الغزلان"، باستخدام نموذج "Kuz-Ram" التنبؤي، تمكّنّا من اقتراح تدابير من شأنها أن تلعب دورًا حاسمًا في تحسين جودة التكسير، مع التركيز بشكل أساسي على الشبكة (a/b).

## Abstract

Optimization and supervision of blasting are of crucial importance for the operation of the quarry. Good fragmentation is commonly defined as that which allows the blasted rock to be easily extracted by loading machines without the need for additional blasts. However, the recovery of valuable minerals is not limited to extraction, as fragmentation can also affect production in other processes. The results of blasting have a significant impact on the cost and efficiency of crushing and grinding operations. In the quarrying sector, the quality of the final product is partly influenced by the way explosive blasting is carried out.

It is therefore possible to achieve adequate fragmentation during blasting so that it becomes a means of increasing the overall profitability of the mining process. For this reason, the limestone quarry at Coline de Beccouche, in order to improve blasting results, proposed the following subject: Influence of the ratio (a/b) on the fragmentation results of blasted rocks. Following the granulometric evaluation of the fragmentation results of rocks in the limestone quarry at Coline de Beccouche in Sour El Ghazlane, carried out using the predictive Kuz-Ram model, we were able to suggest measures that should play a crucial role in improving the quality of fragmentation, focusing mainly on the spacing to burden ratio (a/b).