



Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Faculté de Technologie

Département des Mines et Géologie

Memorie de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Génie Minier

Option : Exploitation des Mines

Présenté par :

Mr OUDJEDI Sid Ahmed

Mr BOUIBAOUNE Abdelhakim

Thème

***Analyse de la fragmentation des roches en vue
d'améliorer le plan de tir : Cas de la carrière
ENG Si-Mustapha. Wilaya de Boumerdes***

Soutenu le 22 / 06 /2023 devant le jury composé de :

Président	Mme KAMLI Ouarda	M.C.A	U.A.M.B
Promoteur	Mr FREDJ Mohamed	M.C.B	U.A.M.B
Examineur	Mr DJEZAIRI Omar	M.A.A	U.A.M.B

Année Universitaire : 2022 - 2023

REMERCIEMENT

Ce travail actuel est le fruit de nos propres efforts ainsi que des contributions de nombreuses personnes, et nous souhaitons exprimer notre gratitude sincère envers eux.

Tout d'abord, nous remercions chaleureusement Allah, le tout-puissant, pour nous avoir donné la force, la sagesse et la guidance tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements à notre encadrant, Mr Fredj.M. Son engagement et son expertise ont été indispensables tout au long de cette collaboration. Son soutien constant, ses conseils éclairés et sa confiance en nos capacités ont grandement contribué au succès de ce projet.

Et nous tenons à remercier toutes l'équipe de la carrière ENG Si-Mustapha pour leur accueil, et on remercie en particulier l'encadrant au sein de l'entreprise Mr Ziane.K. Pour sa patience, sa gentillesse, et son aide précieuse durant toute la période de notre stage pratique.

Nous sommes également reconnaissants envers les membres du jury pour leur temps, leur expertise et leur précieuse contribution lors de l'évaluation de ce travail.

Nous souhaitons témoigner nos enseignants pour leur soutien inestimable et leur dévouement tout au long de notre parcours académique.

Enfin, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers nos chères familles, ainsi que d'autres personnes qui, ont toujours été présentes pour nous encourager et nous aider.

DÉDICACE

Je dédie ce mémoire

Ma très chère mère "Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur."

Mon Père "Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation."

Mes sœurs : "Vous n'avez pas cessé d'être là pour moi, vous m'avez donné de courage et de générosité. Je sais que ma réussite est très importante pour vous. Que Dieu vous paye pour tous vos bienfaits"

Lydia tu es mon plus grand soutien, ta patience et tes encouragements m'ont permis d'atteindre mes objectifs.

A tous mes amis " Zouhir, Smail, Mehdi, Amine, Sara, Rochdine, Halim, Reda".

A mes collègues pour leur préoccupation, et ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail " A/Basset, Sofiane, Thileli, Narimen.

A mon binôme exceptionnel : Bouibaoune A/Hakim.

Aux employés de la carrière de ENG Si-Mustapha qui nous ont bien accueilli et nous ont suivi durant notre stage.

A toute ma grande famille sans exception : Oudjedi et Amirouche.

A tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour réaliser ce travail.

MIDOU

DÉDICACE

Chaque étape de mon parcours académique a été marquée par le soutien inconditionnel de mes proches. Leur amour, leurs encouragements et leurs conseils ont été des éléments essentiels dans ma réussite. À travers cette dédicace, je souhaite exprimer ma gratitude envers ceux qui ont joué un rôle crucial dans mon cheminement.

À mes chers parents, Vos sacrifices et votre amour inconditionnel ont été ma force motrice. Ce mémoire est dédié à vous, pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mes frères et sœurs, Vos conseils et votre soutien constant ont été précieux. Vous êtes mes compagnons de vie et cette réussite est aussi la vôtre.

À mes amis et mes collègues, votre amitié indéfectible et votre soutien inébranlable ont illuminé mon parcours. Ce mémoire est un témoignage de notre lien inestimable.

A mon binôme exceptionnel **Oudjedi Sid Ahmed** Ce travail est dédié à notre partenariat solide, merci d'avoir partagé cette aventure avec moi.

À ma chérie **Ibtissem**, Ta présence dans ma vie a été une source infinie de joie, de soutien et de motivation. Ton amour constant et ta foi en moi m'ont donné la confiance nécessaire pour maintenir. Ce mémoire est dédié à toi, mon amour, pour toutes les fois où tu as été ma muse et ma force.

Et à tous ceux qui ont contribué à ma réussite, Votre présence et vos encouragements ont été des piliers essentiels. Merci de m'avoir inspiré et accompagné tout au long de cette aventure académique.

HAKIM

Liste d'abréviation

ENG : Entreprise National des Granulats.

SNMC : Société National des Matériaux de Construction.

UTM : Universal Transverse Mercator

ONEX : Office National des substances Explosives.

RN : Route National.

DEI : Détonateur Electrique Instantané.

DMR : Détonateur à Micro Retard.

NE : Nord-Est.

AG: Analyse granulométrique.

TUCIPS : Système à traitement d'images de l'université technique de Clausthal).

RQD : Désignation de la qualité de la roche.

2D : Deux dimensions.

3D : Trois dimensions.

MP : Méga Pixel.

MB, MO : Méga octet, Méga baite

UAV : Image par drone.

DEMO : Image d'essai.

Vrm: vertical raw mil.

Lsf: limestone saturation factor.

Table des matières

Introduction générale	8
Chapitre I. Généralités sur la fragmentation des roches	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Les paramètres d'un plan de tir.....	3
I.3 La distribution granulométrique.....	5
I.4 Modèles d'analyse granulométrique.....	6
I.5 Conclusion	14
Chapitre II. Présentation du site	
II.1 Introduction.....	14
II.2 Historique.....	14
II.3 Présentation de site	15
II.4 La production de la carrière	19
II.5 L'exploitation de la carrière.....	19
II.6 Régime de travail de la carrière	20
II.7 Travaux de foration.....	20
II.8 Travaux de tir.....	21
II.9 Chargement de produit.....	25
II.10 Transport de produit.....	25
II.11 Concassage.....	26
II.12 Conclusion	27
Chapitre III. L'analyse de la fragmentation de la roche	
III.1 Introduction.....	26
III.2 Méthodologie de travail	26
III.3 Analyse de la fragmentation de la roche par la méthode empirique (KuzRam)	26
III.4 Discussion des résultats	28
III.5 Analyse de la fragmentation de la roche par la méthode numérique (WipFrag)	29
III.6 Interprétation des résultats d'analyse.....	33
III.7 Comparaison entre les résultats du WipFrag et KuzRam	34
III.8 Comparaison des performances de passants et de refus entre modèles KuzRam et WipFrag avec mailles quinconce et carrée.....	35
III.9 Conclusion	36
Conclusion générale	35
Référence Bibliographique	38
Annexes	41
Résumé	46

Liste des figures

Chapitre I

- Figure 1.** Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied du gradin en vertical et avec inclinaison 4
- Figure 2.** Principaux types de maille utilisée pour les tirs à ciel ouvert 5
- Figure 3.** Schéma illustratif de la distribution granulométrique 5
- Figure 4.** Etape de mesure de la distribution des tailles par analyse d'images..... 12

Chapitre II

- Figure 5.** Schéma représentatif sur la méthode d'inclinaison de l'objectif. 13
- Figure 6.** Vue de ciel montrant la carrière ENG Si-Mustapha. 14
- Figure 7.** Situation géographique de la zone d'étude..... 15
- Figure 8.** Situation géographique de la zone d'étude..... 18
- Figure 9.** La méthode d'exploitation utilise par la carrière (par fosse) (mars 2023) 19
- Figure 10.** Image représentant tranchée d'accès. (mars 2023). 20
- Figure 11.** Chariot de forage SANDVIK (mars 2023). 21
- Figure 12 .** Schéma représente les types d'amorçage 22
- Figure 13.** Image des explosifs utilisés..... 23
- Figure 14.** Les accessoires d'explosif utilisé. 23
- Figure 15.** Disposition du trou dans la volée et mode de chargement du tir 24
- Figure 16.** Schéma représentatif de la maille carrée..... 24
- Figure 17.** Schéma représentatif de la maille quinconce. 25
- Figure 18.** Engin de chargement marque KOMATSU (mars 2023)..... 25
- Figure 19.** Camion de transport TEREK TR60 (mars 2023)..... 26
- Figure 20.** Concasseur à mâchoires (mars 2023)..... 26

Chapitre III

- Figure 21.** Courbe granulométrique des résultats de tir de (maille carrée et maille quinconce). 28
- Figure 22.** Photo du tas abattus..... 29
- Figure 23.** Image illustrative d'importation d'image dans le WipFrag. 30
- Figure 24.** Image illustrative de choix d'image a analysé. 30
- Figure 25.** L'échelle de mesure. 30
- Figure 26.** Générer les bords..... 31
- Figure 27.** La ségrégation des particules. 31
- Figure 28.** Résultat de l'analyse granulométrique. 32
- Figure 29.** Image représentative de la prédiction des deux paramètres Swebrec et Rammler avec la courbe en rouge..... 32
- Figure 30.** Graphe de comparaison des pourcentages de passants et de la fragmentation entre les mailles quinconce et carrée..... 33
- Figure 31.** Graphe de comparaison des pourcentages de passants et de la fragmentation entre les mailles quinconce et carrée avec KuzRam et WipFrag..... 34

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau 1. Explique le calcul des paramètres RMD, JF, RDI et HF..... 8

Chapitre II

Tableau 2. Les paramètres utilisés par la carrière de Si-Mustapha 21

Tableau 3. Les paramètres introduits dans le programme : 27

Chapitre III

Tableau 4. Pourcentage des passants en fonction des dimensions des tas de roches abattues pour la maille carrée et quinconce : 28

Tableau 5. Tableau de comparaison des pourcentages de passants et de la fragmentation entre les mailles quinconce et carrée avec les deux modèles d'analyse. 35

Introduction générale

Introduction générale

Dans le contexte actuel, le potentiel économique d'un pays repose largement sur sa capacité à produire des métaux et des substances minérales. L'Algérie, en tant que pays riche en ressources naturelles et industrielles, possède des gisements de fer, de plomb, de zinc, et d'autres substances,

La maîtrise de toute exploitation minière est basée essentiellement sur la connaissance de la minéralisation exploitée et de son encaissement. Le choix de mode d'ouverture, ainsi que la méthode d'exploitation sont les principales opérations à déterminer avant toute mise en production.

L'extraction des minéraux peut se faire par différentes méthodes, notamment l'abattage à l'explosif. L'abattage à l'explosif consiste à utiliser des explosifs placés dans des trous de forage pour briser les roches en fragments plus petits. Cette méthode est efficace pour les roches dures mais nécessite une expertise et des mesures de sécurité appropriées.

La fragmentation des roches est un aspect crucial de l'exploitation minière et des carrières, car elle influence directement l'économie de ces secteurs. Elle se réfère à la distribution granulométrique des fragments produits lors des opérations de tir, elle doit être mesurée d'une manière rapide et précise. Il est donc essentiel d'explorer de nouvelles techniques et même des outils informatiques pour examiner et résoudre les problèmes liés à ce processus, tels que l'instabilité des talus, les discontinuités des massifs et la qualité de la fragmentation des roches abattues.

Pour répondre à notre problématique de départ nous avons élaboré notre plan de travail qui se repose sur les critères essentiels suivant :

- La collecte de données, y compris des photographies, ainsi que des paramètres de tir.
- L'étude des logiciels d'analyse d'image tels que WipFrag.
- L'étude de modèle d'analyse empirique KuzRam.
- L'analyse de la fragmentation par le traitement d'images à l'aide du logiciel WipFrag 3.3, en démontrant les résultats obtenus pour les tirs réalisés pendant la période de stage effectuée à ENG Si Mustapha.

Notre mémoire se compose de trois parties essentielles, commençant par une introduction générale et se terminant par une conclusion et des recommandations. Les chapitres incluent :

Le premier chapitre est consacré à la bibliographie, qui présente les références utilisées pour la recherche, fournissant ainsi une base solide pour l'analyse et la discussion ultérieures.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation du site, en fournissant des informations détaillées concernant l'ENG Si Mustapha. Cela permet de mieux appréhender le contexte dans lequel la scène a été réalisée.

Enfin, le troisième chapitre est dédié à l'analyse d'images et à l'interprétation des résultats. Cette section met en évidence l'utilisation des logiciels WipFrag 3.3 et KuzRam pour évaluer la fragmentation des roches abattues pendant le stage. L'analyse d'images réalisée à l'aide de ces logiciels permet d'obtenir des résultats précis et pertinents, ouvrant ainsi des perspectives intéressantes pour l'étude.

Chapitre I :
Généralités sur la fragmentation
des roches

Chapitre I. Généralités sur la fragmentation des roches

I.1 Introduction

Le plan de tir dans le domaine minier revêt une importance capitale pour assurer une fragmentation optimale des roches lors des opérations de dynamitage. Une fragmentation adéquate a des répercussions significatives sur les coûts d'extraction, la productivité de l'exploitation minière et l'efficacité du traitement ultérieur des minéraux.

Dans ce premier chapitre, nous exposons les paramètres essentiels d'un plan de tir et l'importance de l'analyse d'image pour évaluer la fragmentation obtenue. En outre, nous nous penchons sur les logiciels WipFrag, largement utilisés dans l'analyse d'image pour évaluer la fragmentation.

I.2 Les paramètres d'un plan de tir

Les paramètres du plan de tir comprennent l'espacement, le diamètre et la profondeur des trous de mines, l'orientation, l'inclinaison du trou, la composition géologique de la roche, la hauteur et le type de bourrage, la hauteur des gradins, la largeur de la banquette, le choix de la taille de maille et les techniques d'amorçage, ainsi que le poids et la nature de l'explosif utilisé.

Pour la volée, le plan de tir spécifique à la disposition des trous de mines par rapport au front de taille, l'intervalle entre chaque trou de mine, ainsi que le dispositif de mise à feu [1].

I.2.1 La hauteur des gradins

La hauteur du gradin est un paramètre très important dans l'exploitation à ciel ouvert.

I.2.2 La longueur des trous

Il dépend 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 de la charge est difficile à obtenir pour les trous longs [1].

I.2.3 Le diamètre des trous

Le diamètre de trou est choisi en fonction de la granulométrie et de la hauteur du gradin.

I.2.4 L'inclinaison des trous

Le trou incliné améliore la qualité de fragmentation et contribue à l'amélioration de la sécurité du travail tout en assurant des résultats stables et désirables, dans le cadre d'une granulométrie planifiée (fig.1).

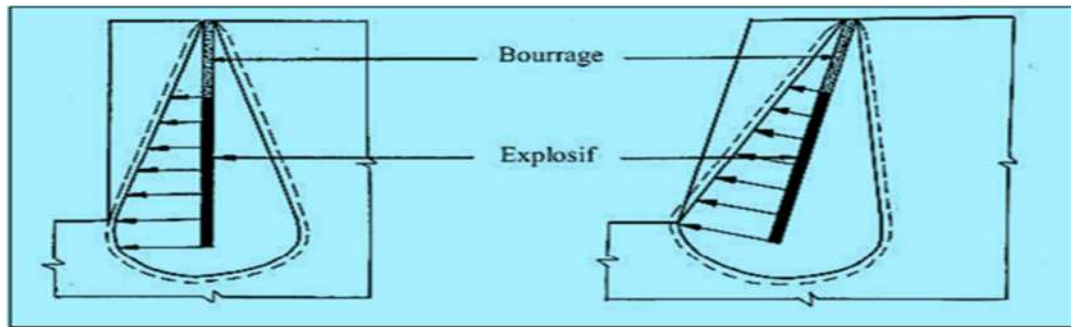


Figure 1. Comparaison schématique de l'action probable des forces dans le pied du gradin en vertical et avec inclinaison [1].

I.2.5 L'excès de forage (sous-forage)

L'excès de forage est nécessaire pour fragmenter la roche au pied du gradin et pour permettre aux engins de chargement de suivre le niveau exigé. Une fragmentation de qualité médiocre à ce niveau, peut conduire à des travaux supplémentaires. La fragmentation excessive, endommage probablement la partie inférieure, et cela implique une réduction dans la stabilité du talus [2].

I.2.6 La longueur de bourrage

Le bourrage a pour objectif de diminuer les projections et d'améliorer l'effet de gaz des explosifs. En général, il dépend de la banquette. 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 [1].

I.2.7 La banquette

La banquette représente la distance entre l'arrêt supérieur du gradin et la première rangée de trous. Elle détermine la grande partie du volume des roches à abattre par l'énergie explosive contenue dans la rangée.

Les facteurs affectant le choix de la banquette sont [1] :

- Le diamètre,
- La hauteur du gradin,
- L'inclinaison du trou,
- L'explosivité de la roche
- La fragmentation prévue.

I.2.8 L'espacement

Espacement, la distance qui sépare deux trous voisins, s'exprime par rapport à la banquette. En général, un espacement égal à 1,5 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 [1].

I.2.9 Le rapport de maille

Le rapport de maille est égal à la valeur de l'espacement sur celle de la banquette. Il s'est avéré important au niveau des résultats du tir (fig.3). Pour une bonne fragmentation des roches, le rapport doit être aussi élevé que possible, entre (1,1 et 1,5) [2].

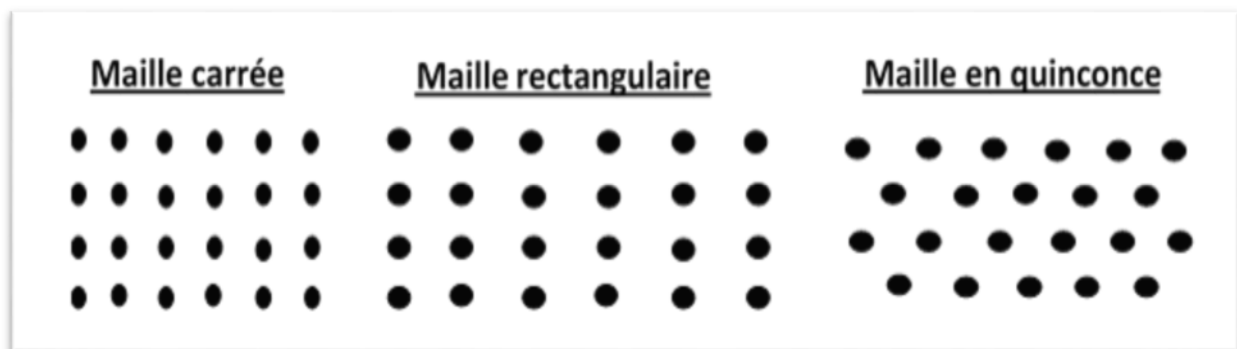


Figure 2. Principaux types de maille utilisée pour les tirs à ciel ouvert [3].

I.3 La distribution granulométrique

La distribution granulométrique se réfère à la répartition des différentes tailles de particules dans un échantillon ou un matériau. Elle décrit la gamme des tailles de particules présente et indique la proportion relative de chaque taille dans l'échantillon.

La distribution granulométrique est les résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique exprimée sous forme tabulaire, numérique ou graphique.

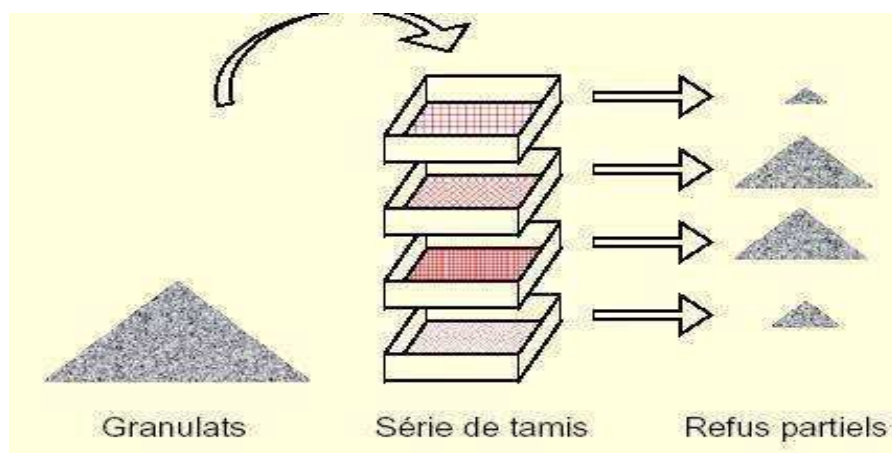


Figure 3. Schéma illustratif de la distribution granulométrique [4].

I.4 Modèles d'analyse granulométrique

Les modèles d'analyse granulométrique sont des outils utilisés pour évaluer la répartition des tailles des particules dans un échantillon. Ils se basent sur deux modèles :

- Modèle empirique,
- Modèle numérique.

I.4.1 Modèle empirique (KuzRam)

KuzRam est une combinaison de deux formules semi empiriques des équations de Kuznetsov et de Rosin-Rammler, dans le but de prédire la distribution des dimensions des fragments de roche abattus. La formule développée par Kuznetsov en 1973, a été utilisée pour prédire le diamètre du morceau moyen du tas de roche abattu.

À son tour en 1982, Cunningham a développé une formulation plus généralisée de l'équation de Kuznetsov valable pour les autres explosifs commercialisés. [5]

Le modèle de KuzRam 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 KuzRam pour la prédiction de fragmentation (Cunningham, 1983 et 1987) [6] [7].

I.4.1.1 Fonction Rosin-Rammler

La fonction de Rosin-Rammler (1933) [8], 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 [9].

La fonction se définit par la formule mathématique (Eq.1) suivante :

$$P(x) = 1 - e^{-\ln^2(x/x_{50})^n} \quad (1)$$

Ou :

X : ouverture du crible (cm);

x_{50} : Taille médiane des fragments ;

n : Indice d'uniformité.

Cette fonction présente des critiques pour deux raisons [10] :

- Elle ne tient pas compte de la taille maximale des 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, afin 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 α [11] :

La fonction se définit sous forme (Eq.2) suivant :

$$P(x) = \alpha \cdot P_1(x) + (1 - \alpha) \cdot P_2(x) \quad (2)$$

P1 et P2 sont les fonctions relatives à chaque mode décrit. La version bimodale de la fonction Rosin-Rammler est décrite par 5 paramètres, donc on écrit (Eq.3) [10] :

$$P(x) = 1 - \alpha \cdot e^{-\ln(x/X_1)^{n_1}} - (1 - \alpha) \cdot e^{-\ln 2(x/X_2)^{n_2}} \quad (3)$$

Il est remarque que la distribution bimodales se sont multipliées de paramètres pour être caractérisées, mais elles permettent ainsi une description plus précise des granulométries.

I.4.1.2 Fonction Swebrec

La fonction Swebrec, du nom du Swedish Blasting Research Centre, est une fonction de répartition granulométrique récemment introduite par Ouchterlony (2005) [12].

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) [13].

Elle possède trois paramètres, dont la taille maximale de bloc qui est introduite [13].

La fonction Swebrec s'exprime comme suit (Eq.4) :

$$P(x) = \frac{1}{(1 + [\ln(\frac{X_{max}}{x}) / \ln(\frac{X_{max}}{X_{50}})]^b)} \quad (4)$$

Ou :

- X_{max} : Taille de bloc maximale.
- X_{50} : Taille médiane des fragments.
- b : Paramètre de forme.

Une 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 (Eq.5) [13].

$$P(x) = 1 / \left((1 + \alpha) \left[\frac{\ln(\frac{X_{max}}{x})}{\left(\frac{X_{max}}{X_{50}}\right)} \right]^b + (1 - \alpha) \left[\frac{\ln(\frac{X_{max}-1}{x})}{\left(\frac{X_{max}-1}{X_{50}-1}\right)} \right]^c \right) \quad (5)$$

I.4.2 Prédiction et évaluation des résultats d'abattage des roches par le modèle de KuzRam

La plupart des modèles d'études de la fragmentation du tir emploie la dimension moyenne des fragments X_{50} (dimension correspondant à 50 % des fragments passants à travers un crible d'ouverture connue).

Dans l'état actuel, tous les modèles utilisés dans l'industrie minière sont basés sur le modèle de KuzRam [14].

I.4.2.1 Prédications de taille médiane

1- Équation de Kuznetsov

L'équation proposée par Kuznetsov (1973) [14], prédit la taille médiane X_{50} des fragments abattus en fonction de paramètres caractéristiques de la roche et de l'explosif utilisé (Eq.6) :

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

Où:

- A: Rock Mass Factor. (kg/m3)(Eq.7).Le facteur de masse rocheuse est estimé par Lilly (1986), [16] :

$$A = 0.06(RMS + JF + RDI + HF) \quad (7)$$

- Q_{tr} : Masse d'explosif par trou (kg) ;
- RWS : Puissance relative de l'explosif (Relative WeightStrength) RWS = 100 pour l'ANFO ;
- q_p : Consommation spécifique (Eq.8).

$$q_p = \frac{Q_{tr}}{b \times a \times H_g} \quad (8)$$

Où :

- q_p : Consommation spécifique (Kg/m3) ;
- b : Banquette (m) ;
- a : Espacement entre deux trous (m) ;
- H_g : Hauteur du gradin (m) ;
- Q_{tr} : Poids de la charge (kg).

Tableau 1. Explique le calcul des paramètres RMD, JF, RDI et HF [14].

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 $S_j \times 0.1m$ 20 : $0.1m < S_j < \text{taille bloc admissible} \times 0$ 50 : $S_j > *0$	HF : Hardness Factor = $E/3$ si $E < 50 \text{ MPa}$ = $\sigma_c \text{ (MPa)}/5$ si $E > 50 \text{ MPa}$

2-Équation de Tidamn

La puissance de l'explosif est calculée à partir d'une équation modifiée développée initialement par Tidaman (Eq.9) [5] :

$$E = \left(\frac{V_{ODe}}{V_{ODn}}\right)^2 \times RWS \quad (9)$$

Où :

- VODe : vitesse de détonation effective de l'explosif, m/s.
- VODn : vitesse de détonation nominale de l'explosif, m/s.
- RWS: Puissance relative de l'explosif (relative weightstrenght).

I.4.2.2 Taille maximale des fragments

La taille maximale de fragments produite dans les tirs est rarement évoquée en détail dans la littérature. Il est communément admis que ce paramètre est fortement influencé par la configuration géologique in situ et la quantité d'explosif utilisée, même si aucune loi quantitative précise n'a été proposée à notre connaissance [12].

Ouchterlony (2005), [12] suggère la relation suivante pour évaluer la taille maximale des fragments produits dans les tirs d'abattage, en fonction des paramètres géométriques et de la blocométrie in situ (Eq.10) [12] :

$$X_{max} = \min(X_{max/IS}, b, a)(10)$$

Où :

- "X_{max/IS}", "b" et "a" sont respectivement la taille maximale de bloc in situ, la banquette et l'espacement entre les trous. Il a été récemment suggéré (Ouchterlony, 2010), [13] que X_{max} évolue avec la consommation spécifique d'une manière qualitativement similaire à X₅₀

I.4.2.3 Le coefficient d'uniformité

Le coefficient d'uniformité est déterminé par le plan de tir et la hauteur du gradin, à travers l'équation suivante (Eq.11), qui inclut le diamètre des trous, la banquette, l'espacement entre les trous, la longueur de la charge, la précision du forage (déviation) et la hauteur du gradin [12].

$$n = 2,2 - [14 \times (B/d)] \times [1 + (R - 1/2) \times 0,5] \times (L/H) \quad (11)$$

Où :

n: Coefficient d'uniformité varie habituellement entre 0,8 et 2. Les valeurs élevées de l'indice d'uniformité indiquent le classement par une taille relativement. Uniforme tandis qu'une faible valeur indique à la fois une forte proportion de fines et de hors gabarits: [12]

d : Diamètre de la charge (mm) ;

B : Banquette (m) ;

R : L'espacement (m) ;

H : Hauteur du gradin (m) ;

L : Longueur de la charge (m).

- La gamme normale de 'n' pour la fragmentation des roches massives est raisonnablement de 0,75 à 1,5 ; avec une moyenne autour de 1. Des roches plus consolidées ont des valeurs plus élevées.
- Les valeurs de 'n' en dessous de 0,75 représentent une situation de poussière (beaucoup de fines) ; qui indique que les conditions de la roche ne favorisent pas l'abattage à l'explosif. Généralement, c'est le cas lors de la découverte dans des terrains altérés.
- Pour des valeurs inférieures à 1, les variations de l'indice d'uniformité (n) sont plus critiques pour les particules fines et grossières. Pour n= 1,5 ; la texture du tas abattu ne change pas beaucoup, et les erreurs sont moins punitives.
- Le facteur de forme (n) a une influence importante sur les résultats des essais de tamisage, comme la maille employée est généralement carrée ; elle maintiendra la majorité des fragments ayant toute dimension plus grande que la maille.

I.4.2.4 Indice de tirabilité

Cunningham (1987), [7] affirme que dans la plupart des cas le facteur de la roche (Q) 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), [15] de la manière (Eq.12) :

$$Q = 0.06(RMD + JF + RDI + HF) \quad (12)$$

Où :

- Q : indice de tirabilité ;
- RMD : description de la masse rocheuse ;
- JF (JPS+JPO) : facteur d'espacement et d'orientation des joints (facteurs de joints) ;
- RDI : influence de la densité de la roche ;
- HF : facteur de la dureté de la roche ;

Le facteur de description de la masse rocheuse peut être efficacement estimé par l'équation suivante (Eq.13) :

$$RMD = 10 + 10 \times F_{50} \quad (13)$$

Où :

- F_{50} : dimension moyenne du bloc in-situ, (m).

I.4.3 Modèle numérique (Traitement d'image)

En général, l'analyse précise de la taille des particules par tamisage est difficile à réaliser sur place lors d'une opération d'abattage. Cela est dû à la taille des fragments à abattre, qui est souvent supérieure à celle traitée en laboratoire. Sur le terrain, différentes méthodes sont utilisées pour analyser les tas abattus, notamment le traitement d'image à l'aide des logiciels tels que TUCIPS, Split-Desktop, Frag-Scan, WipFrag..... etc.

I.4.3.1 TUCIPS

TUCIPS (système à traitement d'images de l'université technique de Clausthal) a été développé pour mesurer la fragmentation de tir à l'université technique Clausthal (Allemagne). Ce système implique des algorithmes généraux d'un traitement d'images et un algorithme particulièrement créé pour l'analyse d'image de tas des roches. Il y a juste cinq pour cent (5%) de déviation dans l'essai pratique avec ce programme, ainsi ce système convient pour l'usage pratique[16].

I.4.3.2 Frag-Scan

Le logiciel Frag-Scan est développé à l'Ecole des mines de Paris et commercialisé par ARMINES, a été conçu initialement pour estimer la distribution des tailles de l'ensemble du tas juste après le tir. L'acquisition se fait en automatique initialement, les images ont été acquises au niveau des engins de transport (Dumpers par exemple). Actuellement, les images sont prises sur les convoyeurs à bandes, et sur les entrées ou sorties des concasseurs ou des stations de chargement [9].

I.4.3.3 Split-Desktop

Split-desktop est un logiciel de traitement d'image développé par l'université d'Arizona durant les années 90.

Les traitements sont automatiques lorsque les images sont acquises sur le convoyeur à bandes, l'analyse en 2D donne généralement des fragments divisés ou fusionnés.

Des critères géométriques basés sur la fonction distance, et qui prennent en compte la taille et la forme des fragments, sont ensuite utilisés pour réduire ces problèmes.

Enfin, les traitements 2D sont complétés par un détourage manuel des fragments [17].

I.4.3.4 WipFrag

Le logiciel d'analyse d'image WipFrag utilise la technique d'analyse d'image numérique de la roche fragmentée pour déterminer la distribution granulométrique dans le tas des roches abattues. Son objectif principal est de fournir une estimation de la distribution de la taille des fragments, ce qui peut aider les ingénieurs et les géologues à mieux comprendre le comportement de la roche lors du dynamitage et à optimiser les processus de fragmentation et améliorer le plan de tir. La fiabilité et la vitesse de la détection des contours de fragments permettent une surveillance à distance entièrement automatique à un rapport de 3 à 5 secondes par image [18].

I.4.3.5 Mode fonctionnement de WipFrag

Le mode fonctionnement du logiciel WipFrag, peut être résumé en quelques étapes pour obtenir les résultats de l'analyse granulométrique de la fragmentation (fig.7).

1. Importer une image.
2. Définissez l'échelle.
3. Générer les bords.
4. La ségrégation des particules.
5. Générer les résultats.

D'une manière générale, la séquence de mesure de la fragmentation par analyse d'images peut être résumée par le diagramme suivant [18] :

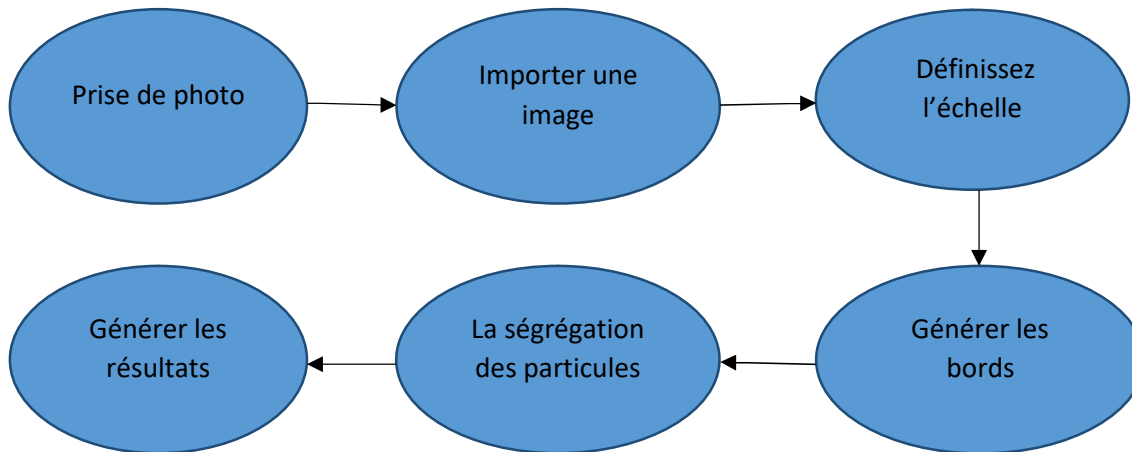


Figure 4. Etape de mesure de la distribution des tailles par analyse d'images.

I.4.3.6 Les paramètres influents sur les résultats du WipFrag

Pour avoir des bons résultats en utilisant le logiciel WipFrag, il existe des paramètres à prendre en considération nous allons citer quelques-uns :

- La résolution d'image

Dans nos jours les appareils photo reflex numériques, avec leurs capteurs plus grands, sont beaucoup plus efficaces pour recueillir des photos dans des situations de faible luminosité, ce qui les rend mieux adaptés, par conséquent, la taille du fichier à traiter par le logiciel prendra plus de temps pour faire ressortir les résultats. Et en choisissant une taille de capture plus petite, on obtient des fichiers plus petits qui s'analysent beaucoup plus rapidement [19].

2.5 MP capture – 1900 x 1300 pixels – 7MB taille de fichier

5MP capture – 2500 x 1800 pixels – 12.9MB taille de fichier

18MP capture – 5100 x 3500 pixels – 51.1MB taille de fichier

- Inclinaison de l'objectif

Pour avoir une bonne photo du tas, on doit positionner l'objectif de la caméra à l'arrière et en face de notre tas à photographier, et en sorte que la caméra soit placée de façon parallèle à l'inclinaison du tas abattu [19].

Emplacement de la caméra

On doit élever la position de la caméra et l'orienter parallèlement à la face ou à l'inclinaison du tas abattu. Cette approche permet d'obtenir la meilleure perspective sur le tas et de produire des images plus représentatives du matériau analysé [19].

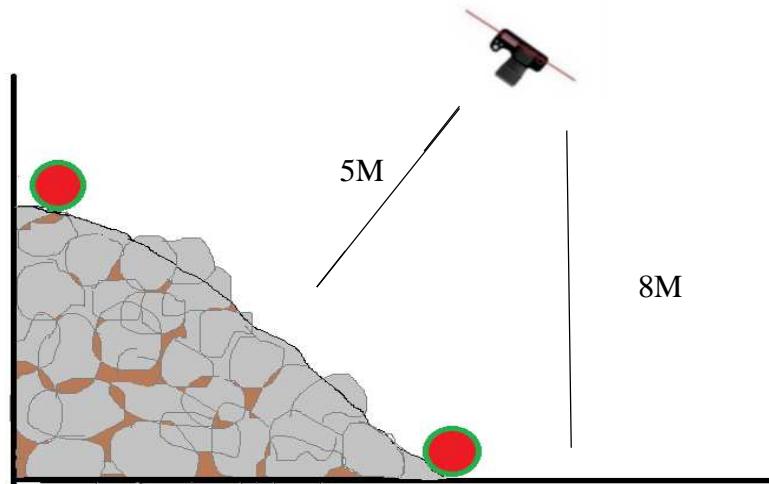


Figure 5. Schéma représentatif sur la méthode d'inclinaison de l'objectif.

- Quantité d'image à prendre

Pour répondre facilement à cette tâche, nous allons simplement dire qu'il faut prendre le plus possible de photo. La réponse pratique de cette tâche dépend de l'objectif recherché, car les quantités de photo prises diffèrent d'un utilisateur à un autre. Nous devons toujours garder à l'esprit le pourcentage valable statistiquement, du pourcentage de particules contenues dans chaque photo et à quelle la décision finale dépend des résultats que nous allons avoir [19].

I.4.3.7 Les avantages d l'analyse granulométrique par logiciel WipFrag

- Interface utilisateur très pratique et simplicité de travail avec ce logiciel.
- Très haute précision dans l'analyse de vos données d'image.
- Très grande vitesse de traitement de vos données d'image.
- Obtenez des résultats instantanés en trois étapes simples.
- Capacité à détecter la corruption et les inexactitudes dans vos données.
- Réduisez la maintenance et améliorez la sécurité [20].

I.4.3.8 Les inconvénients du WipFrag

La mauvaise extraction des contours se manifeste principalement par :

- La fusion des fragments fins.
- La sur-segmentation des fragments.

I.4.4 Quelques domaines d'utilisation des logiciels d'analyse d'image

L'analyse par traitement d'image trouve aujourd'hui de multiples applications, du développement de la technologie pour faciliter les campagnes de reconnaissance, prospection, surveillance, exploitation, etc.

Parmi les domaines d'application on trouve :

- Conception des plans de tir et leur amélioration au fil de plusieurs tirs.
- L'étude des propriétés des massifs rocheux.
- Détermination de la fragmentation et autres paramètres collectés des données des pics consommation.
- Permis de faire une analyse morphologique quantitative.

I.4.5 Les avantages de l'analyse granulométrique par traitement d'image

Les avantages principaux du choix de cette technique de mesure sont :

- Réduction des coûts opératoires ;
- Contrôle continu de la fragmentation sans influence sur la production ;
- Un gain de temps d'exécution.

I.4.6 Les erreurs liées aux systèmes de traitement d'images

Parmi les erreurs qu'on retrouve lors de l'évaluation de la fragmentation des roches avec les systèmes de traitement d'images, on site : L'analyse d'image peut seulement traiter ce qui peut être vu avec l'œil. Les programmes d'analyse d'image ne peuvent pas tenir compte de la roche interne, ainsi les stratégies de prélèvement devraient être soigneusement considérées.

I.5 Conclusion

Dans le premier chapitre de notre étude, nous avons examiné en détail les paramètres essentiels d'un plan de tir ainsi que l'utilisation de l'analyse d'image comme une méthode efficace pour évaluer la fragmentation obtenue.

De plus, nous avons étudié les logiciels WipFrag et Kuz-Ram, deux outils largement adoptés dans le domaine de l'analyse d'image, en mettant en avant leurs avantages spécifiques. Grâce à ces logiciels, il devient possible d'obtenir des données précises concernant la distribution granulométrique, la taille des fragments et d'autres caractéristiques de la fragmentation.

L'analyse d'image fournit ainsi une approche objective et quantitative permettant d'identifier les domaines nécessitant des améliorations et de mettre en œuvre des ajustements appropriés au sein du plan de tir.

Chapitre II

Présentation du site

Chapitre II. Présentation du site

II.1 Introduction

L'objectif de ce chapitre est la présentation de la carrière ENG Si-Mustapha (fig.9) et de donner un aperçu de la situation de gisement de Granodiorite de Djebel Boukhanfer situé à Si-Mustapha, wilaya de Boumerdès, et nous allons décrire la méthode utilisée pour élaborer un plan de tir.



Figure 6. Vue de ciel montrant la carrière ENG Si-Mustapha [21].

II.2 Historique

L'Entreprise National des Granulat « ENG », est agréé le 01/01/1987 à la suite de la restructuration de la société nationale des matériaux de construction « S.N.M.C ». Par le décret N° 86.270. ENG est une société étatique par action avec un capital de 3milliard de dinar son siège est implanté à Gué de Constantine-Alger [22].

Le patrimoine de l'ENG est constitué de:

- ❖ Neuf (09) carrières de granulats.
- ❖ Une usine de carbonate de calcium, mise en service en 1994.

- ❖ Une unité chargée des pierres ornementales appelée Ro.CaAl depuis le 1er janvier 2004.
- ❖ Concassage en substitution aux sables d'oued dont l'extraction sera interdit à partir du mois d'aout 2009 [22]

II.3 Présentation de site

II.3.1 Situation géographique de la carrière

Le gisement de granodiorite est situé dans le territoire de la commune de Si Mustapha au lieu-dit «DJEBEL BOUKHENFER», à 53 km d'Alger, 18 km de Boumerdès 3 km au nord-est de Thénia en plein massif montagneux. De point de vue administratif le gisement est rattaché à la wilaya de Boumerdès, daïra d'Isser commune de Si Mustapha (fig.10) [23].

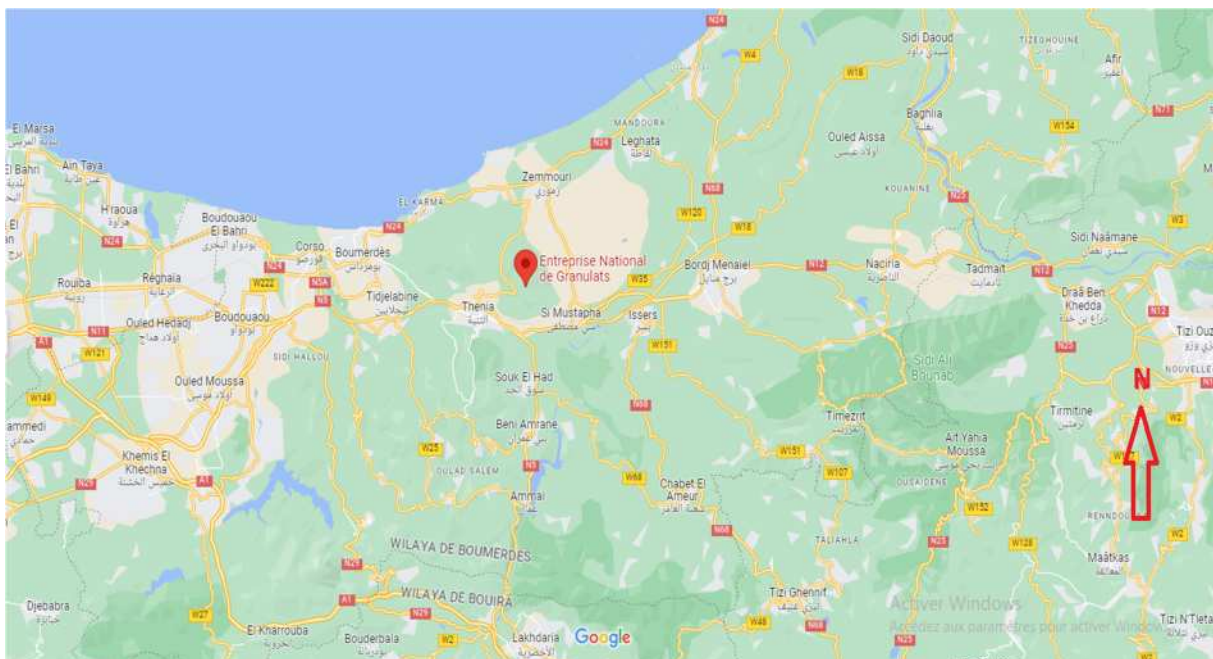


Figure 7. Situation géographique de la zone d'étude [21].

II.3.2 Géologie régionale

II.3.2.1 Stratigraphie

Les formations qui constituent la région du gisement de Granodiorites de Si-Mustapha sont représentées par du Précambrien, du Néogène, du Quaternaire et des roches effusives et intrusives [23].

- Le Précambrien est formé par une série de schistes et de phyllades cristallins affleurant sur les talus et dans le Nord de la crête de "Bou Arous" et renfermant des lentilles et des lits de calcaire marmorisés ;
- Le Néogène est représenté par des dépôts Miocène et Pliocène.

- Les dépôts Miocène comprennent des termes burdigaliens et hélvétiques. Le burdigalien se développe dans la partie Sud-ouest de la région ou il est représenté par des conglomérats rouges à blanc, des marnes bigarrées et des grès calcaires jaunâtres. Les formations hélvétiques bordent, en bande étroite (jusqu'à 2.5km), au Sud au Nord et à l'Est les affleurements précambriens. Elles sont représentées par une série volcano-sédimentaire comprenant des conglomérats, des laves acides et des tufs ; représentées par une série volcano-sédimentaire comprenant des conglomérats, des laves acides et des tufs ;
- Les dépôts Pliocènes dorment, par excellence, des zones de relief qui sont représentées par des marnes argileuses, des marnes calcaires avec rares passées de calcaires d'épaisseur décimétrique (Platonicien) et des marnes gréseuses intercalées de grès calcaires (Astien).
- Le Quaternaire : est constitué de galets villafranchiens pluridimensionnels friables brun-rouge. Les galets sont représentés par les débris schisteux et phylliteux dégradés et de quartz immergés dans du sable argileux à grains non calibrés.

II.3.2.2 Tectonique

Les séries métamorphiques Précambriennes forment un anticlinal orienté sensiblement Est-Ouest dont les flancs sont affectés par des failles longitudinales. Le cœur de l'anticlinal est constitué de phyllades et les flancs de schistes cristallins. L'anticlinal s'étend sur une dizaine de kilomètres avec une amplitude des ailes atteignant [2.5 à 3.5] km. Il est compliqué par des nombreux accidents tectoniques locaux d'extension longitudinale, de zone de schéma intense et de petits plis [23].

Les accidents tectoniques sont orientés essentiellement Nord-Ouest et sensiblement Est-Ouest : certaines failles prennent des directions Nord-est et approximativement Nord-Sud. La fissuration a par ailleurs gagné l'ensemble du massif de Granodiorite par endroit, elle forme un système de fissure faiblement prononcé, distantes de [10-80] cm, qui s'entendent d'agrégats de Granodiorites meubles et altérées ne dépasse pas [5-10] % du volume de ces zones [23].

II.3.3 Géologie du gisement

Le gisement Si Mustapha fait partie du massif de granodiorite, Thenia. Principalement composé de granodiorite à grains fins et moyens de couleur gris et gris foncé à teinte verdâtre souvent porphyroïdes et de diorites quartziques grises ou gris foncé. Il est de couleur verte et a une texture massive. La teinte verdâtre est due à la présence dans la roche Minéraux foncés d'amphibole, de biotite, de chlorite et rarement de pyroxène [23].

II.3.3.1 Tectonique

La région du gisement est caractérisée par un contexte tectonique complexe, du Sud et au Nord, le massif de Granodiorite se trouve en contact tectonique avec les roches encaissantes. La zone étudiée est masquée par la prédominance des accidents tectoniques Est-Ouest, qui dans la partie Nord de l'aire explorée, sont parallèles et distants de [100 à 125] m [23].

La fissuration a gagnée l'ensemble du massif de Granodiorites, cette dernière qui semble être originelle, est accentuée par une autre fissuration secondaire chaotique [23].

II.3.3.2 Pétrographie

D'après l'étude pétrographique, les Granodiorites et les diorites quartziques ont une structure hypidio-morphogrenue ou souvent, porphyroïde et sont essentiellement constituées de feldspaths [52 à 69] %, de plagioclase, en général zoné et maclé (du type d'andésite - oligoclase), d'orthoclase alcaline plus rare de grains irréguliers de quartz [10 à 17] %, de biotite [0 à 10] % de chlorite [5 à 10] % d'amphibole - hornblende [0 à 5] % [23].

Les minéraux métalliques (magnétite et pyrite) et accessoires (apatite, sphène, zircon, tourmaline) sont présents en proportion d'environ 1% de la masse générale de la roche [23].

II.3.4 Morphologie du gisement

Le gisement de granodiorites de Si Mustapha est situé dans la partie centrale du massif plutonique d'Ouled Ben Melah. Il est représenté par une élévation ovale de direction Nord-Ouest dominant le paysage environnant avec une cote absolue de (440m). Le versant Sud-ouest et Nord-est ont des pentes abruptes couvertes de broussailles et d'arbres isolés.

Le versant Sud descend en pente douce jusqu'à la vallée d'Oued Isser. Sa superficie est occupée par des plantations fruitières des oliviers, des potagers et des pâturages. Vers le Nord-Ouest, il est relié par un petit col à une autre élévation culminant à 426 m (Bou khanfar) où se trouve le nouveau gisement [23].

La superficie du périmètre est de 59 Ha.



Figure 8. Situation géographique de la zone d'étude.

Extrait de la Carte Topographique de BORDJ MENAIEL à l'Echelle.1/50 000.

II.3.5 Hydrogéologie du site

La haute perméabilité des Granodiorites fissurées favorise l'infiltration des eaux de pluie. La topographie fortement divisée de la région du gisement facilite l'émergence des eaux souterraines dont la quantité est en fonction des précipitations annuelles qui peuvent atteindre parfois 800 mm [23].

Ce qui permet, alimenter la ville de THENIA à l'exception d'une petite source jaillissant dans la partie Nord-est du site, de l'Unité de concassage, qui semble liée aux accidents tectonique d'extension Nord-ouest. Aucune résurgence d'eaux souterraines ne se manifeste dans le périmètre du gisement [23].

II.3.5.1 Hydrologie

Le secteur d'étude est inclut dans la pleine de Mitidja, la région est sillonnée par un réseau d'Oued bien développé, dont l'Oued Boudouaou et l'Oued Isser sur lesquels deux barrages sont réalisés pour alimenter en eau potable et industrielle les agglomérations d'Alger et de Boumerdes. Avec ses nombreux affluents passant respectivement à 4 Km à l'Ouest du gisement. Leur débitent général faible est tributaire des fluctuations pluviométriques [23].

II.3.6 Infrastructure

Les infrastructures de la région d'étude sont favorables. Les routes nationales N° 5 et 12 passent à 2 km au Sud de gisement [23].

Le gisement est relié à la RN N°12 par la route goudronnée Thénia-Zemmouri et une piste passant sur le versant ouest du massif de Si Mustapha. La région est par ailleurs desservie par un réseau dense de routes locales très dense [23].

II.4 La production de la carrière

La carrière de l'ENG Si-Mustapha produit une quantité de 400 t/jour, et sa production annuelle est de 2000 000 t/an (année 2023 production annuelle 1200 000) [23].

II.5 L'exploitation de la carrière

II.5.1 La méthode d'exploitation

L'exploitation de la carrière Si-Mustapha se fait avec la méthode d'exploitation par fosse. L'exploitation de la roche est menée de haut vers le bas (par fonçage) (fig.12).



Figure 9. La méthode d'exploitation utilise par la carrière (par fosse) (mars 2023)

II.5.2 Schéma d'accès

Le mode d'ouverture utilise dans la carrière de Si-Mustapha est tranchée intérieure commun. Ce mode permette d'accéder à tous les gradins de la carrière d'une manière dépendante et donne la possibilité d'augmenter le nombre de gradins sans investissement supplémentaire (fig.13) [24].



Figure 10.Image représentent tranchée d'accès. (mars 2023).

II.6 Régime de travail de la carrière

Selon la demande de travaux, le régime de fonctionnement de la carrière sera le suivant [23] :

- Nombre de jours ouvrables par an : 230 jours.
- Nombre de jours ouvrable par semaine : 6 jours.
- Nombre de postes de travail par jour : 2.
- Durée d'un poste de travail : 6 h.

II.7 Travaux de foration

Le type de forage utilisé dans la carrière est la roto-percussion à l'aide d'un marteau pneumatique hors de trou, alimenté par de l'air comprimé.

Les machines utilise sont :

- 02 Chariots de forage SANDVIK et FURIKAWA, à 18 bars (fig.14).
- 03 Compresseurs.
- 01Sondeuse TITON 400 FRS 45002 à 24 bars.

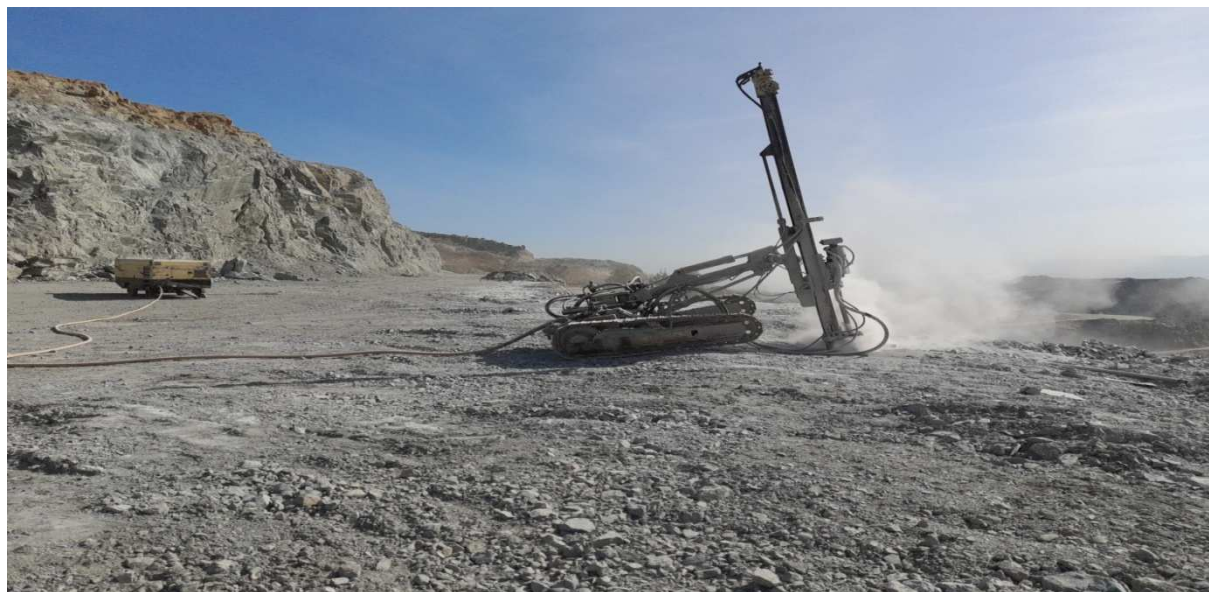


Figure 11. Chariot de forage SANDVIK (mars 2023).

II.8 Travaux de tir

Ils procèdent à 2 tirs par mois d'une charge globale de 49.25 tonnes sur plusieurs volées de la carrière, Le chargement des trous de mines est effectué par une dizaine de personnes. Les tirs sont réalisés par 02 boutefeux, y compris l'ingénieur des mines.

II.8.1 Les paramètres du plan de tir

Tableau 2. Les paramètres utilisés par la carrière de Si-Mustapha [23]:

Hauteur de gradins	14m/12m/9m
Nombre de trous	93trous
Profondeur des trous Lt (m)	15.5m/13m/10m
Banquette W(m)	3.5 m
Plateforme de travail	18 m
Inclinaison des gradins par rapport à la vertical	14°
Espacements des rangées B (m)	3.5 m
Espacement entre les trous A (m)	4 m
Diamètre des trous	Ø 105 mm
Inclinaison des trous	14 °
Nombre de rangées	02/01
Sous-foration	1.5 m
La quantité à abattre	$3.5*4*13*92=16\ 744\text{m}^3$
La consommation spécifique	$294\ \text{g/m}^3$
La maille	Quinconce / Carrée

II.8.2 Le type d'amorçage

Le type d'amorçage utilisé est l'amorçage latéral (avec cordeau détonant et détonateurs électriques instantanés (DEI) et à microretard (DMR)). Le principe de fonctionnement d'une explosion est donné par les étapes suivantes :

- Envoie d'une énergie électrique.
- Transfert de l'énergie électrique en énergie chimique : allumage de l'explosif primaire dans le détonateur électrique.
- Allumage du cordeau détonant.
- Explosion puissante d'explosif mis en œuvre dans les forages

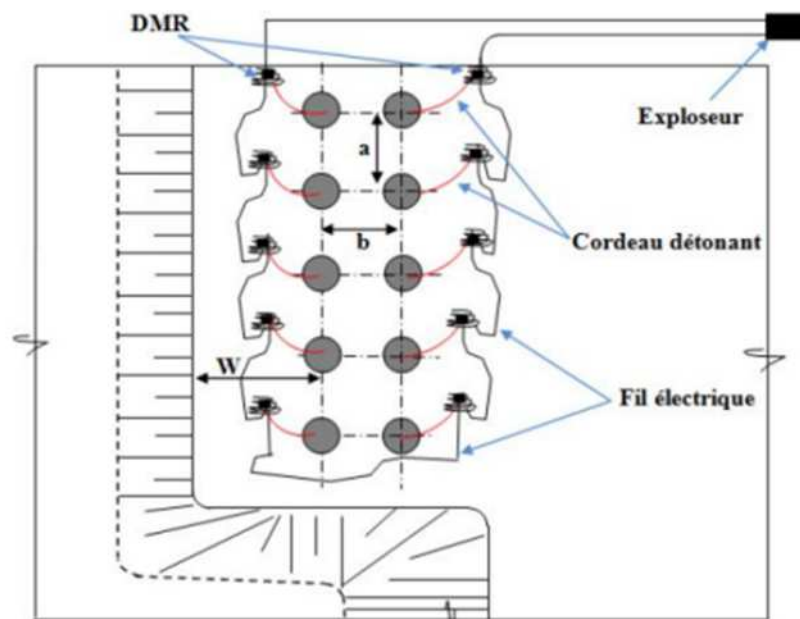


Figure 12 . Schéma représente les types d'amorçage [25].

II.8.3 Les explosifs et accessoires

L'unité de Si-Mustapha utilise deux types d'explosifs avec plusieurs accessoires afin d'effectuer l'abatage à savoir :

- TEMEX 1 (cartouche de 2,5 kg) + L'ANFOMIL (sac de 25 kg).



Figure 13. Image des explosifs utilisés.

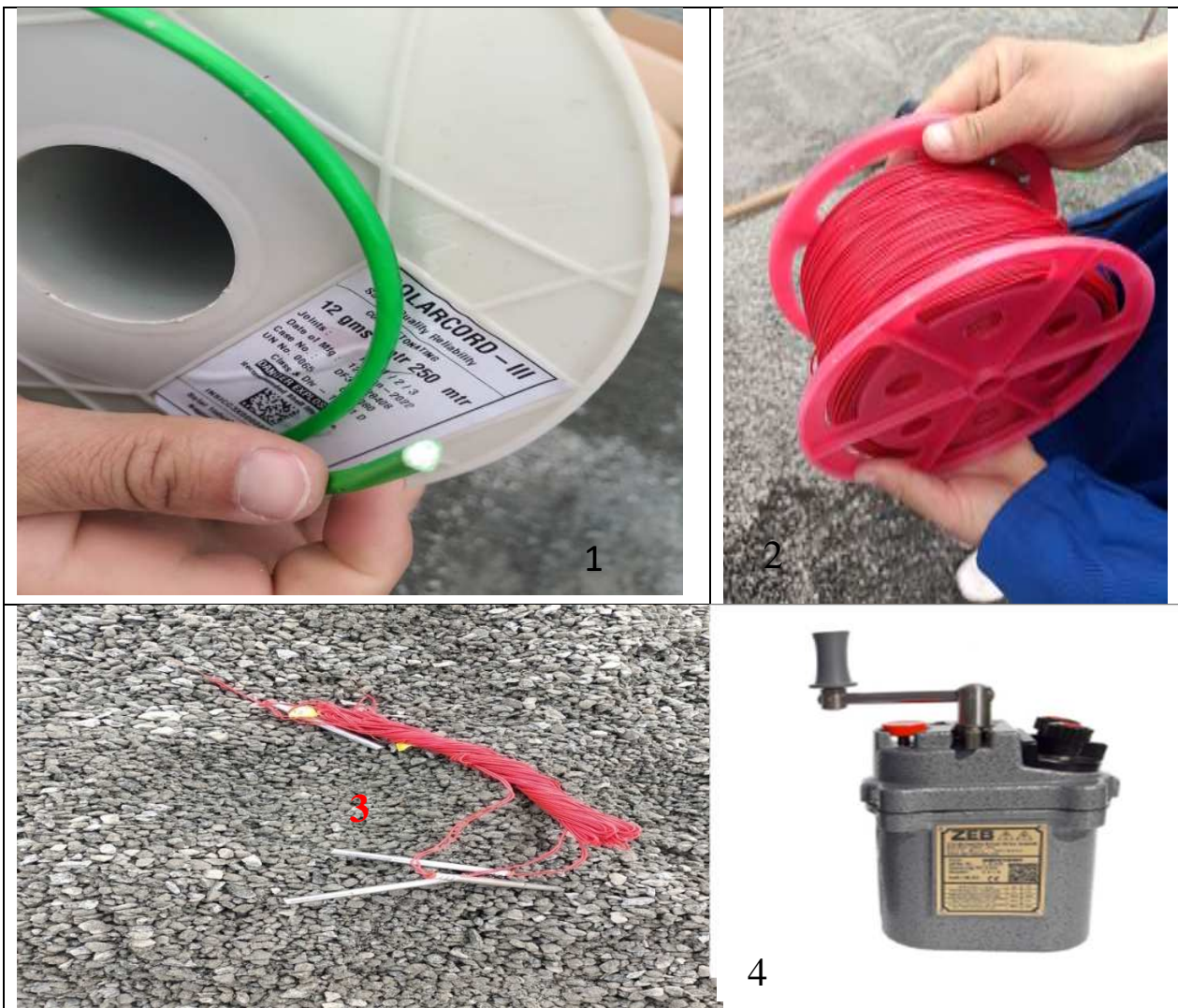


Figure 14. Les accessoires d'explosif utilisé.

Les accessoires utilisés dans la carrière pour le tir :

1-Cordon détonant (de type 12g/m) : une bobine de 250m.

2-Fil électrique de tir de \varnothing : 0,6mm.

3-Le D.M.R : détonateur à micro retard (20 ms, de 1 à 12 DMR) et Le D.E.I : détonateur électrique instantané.

4- L'exploseur à condensateur (résistance max 810Ω , condensateur à 1160 v).

II.8.4 Le chargement des trous des mines

- Charge de pied : Temex
- Charge de colonne: Anfomil
- Bourrage final:Il se fait avec le produit 3/8.

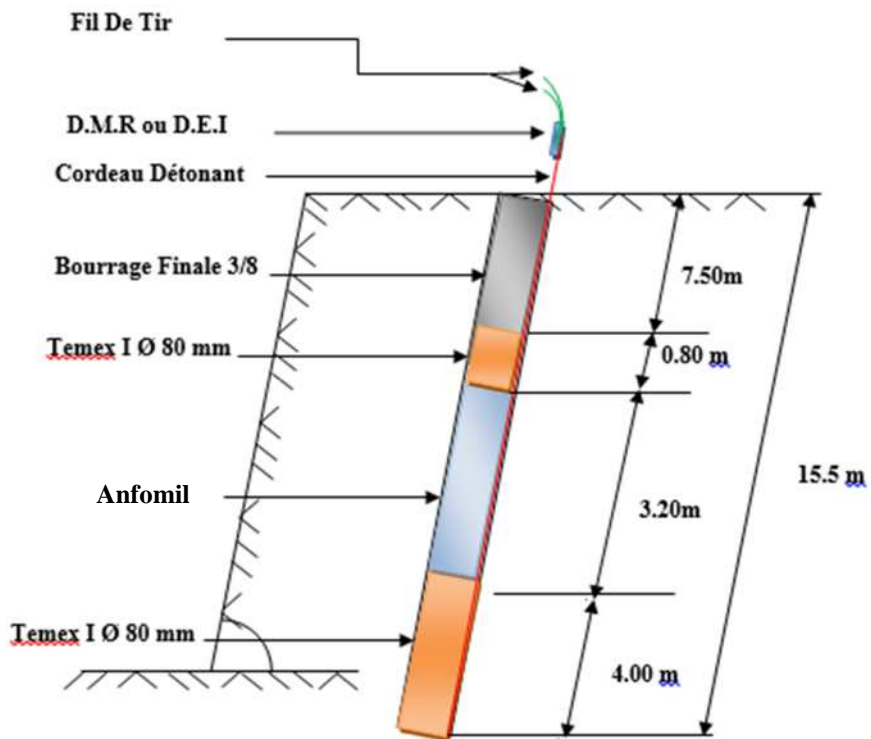


Figure 15.Disposition du trou dans la volée et mode de chargement du tir [23].

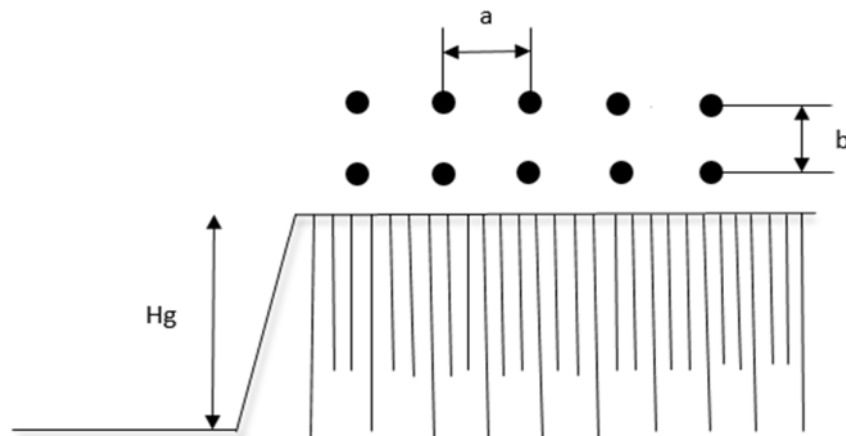


Figure 16. Schéma représentatif de la maille carrée.

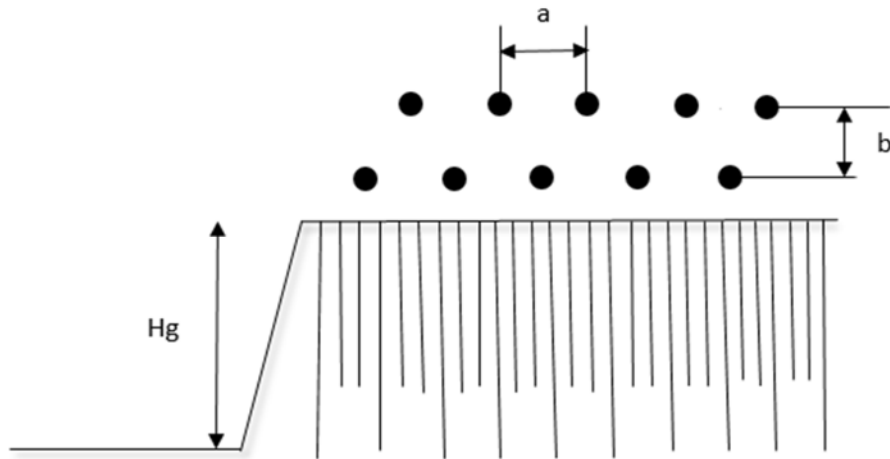


Figure 17. Schéma représentatif de la maille quinconce.

II.9 Chargement de produit

Pour charger les roches abattues, on utilise des chargeuses. La carrière dispose de deux chargeuses de 6 m³ de capacité du godet de la marque KOMATSU. Ces deux engins assurent facilement le chargement dans les deux champs d'exploitation, garantissant ainsi une continuité optimale des travaux sans perte de temps.



Figure 18. Engin de chargement marque KOMATSU (mars 2023).

II.10 Transport de produit

Le transport des roches abattues dans la carrière se fait à l'aide de camions. Les camions sont utilisés uniquement pour le transport entre les points de chargement des roches et le concasseur primaire. Le transport est réalisé à l'aide de tombereaux rigides (dumpers) :

- 5 dumpers TEREX TR60 d'une capacité de 60 tonnes.



Figure 19.Camion de transport TEREX TR60 (mars 2023).

II.11 Concassage

Deux concasseurs disposés en parallèles et fonctionnent d'une manière alternative et sont alimentés par une puissance électrique de 600 kw chacun.

La partie du concasseur primaire se compose de deux cribles superposés : un crible de diamètre 300 mm en haut et un crible de diamètre 40 mm en bas avec un espace de 50 cm entre eux et une inclinaison de 20° par rapport à l'horizontale. Ils sont en mouvement de vibration. Le concasseur à mâchoires est composé de deux mâchoires, l'un mobile et l'autre fixe, et peut traiter des granulométries allant jusqu'à un diamètre de 0-1000 mm, Le produit fini qui sort du concasseur a un diamètre de 0-300 mm, La production de ce concasseur est de 400 t/h.



Figure 20.Concasseur à mâchoires (mars 2023).

II.12 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté de manière détaillée le site de notre stage au sein de la société ENG si Mustapha. Et fourni une vision globale et approfondie du site, en mettant en évidence les aspects clés de son exploitation, de l'abattage et de transport jusqu'à la transformation des roches extraites.

Chapitre III :

L'analyse de la fragmentation de
la roche

Chapitre III. L'analyse de la fragmentation de la roche

III.1 Introduction

Ce chapitre met en évidence les résultats de l'analyse de la fragmentation de la roche en utilisant à la fois la méthode empirique (KuzRam) et la méthode numérique (WipFrag). Ces résultats fournissent des informations précieuses sur les dimensions des tas de roches abattues et la granulométrie de la fragmentation au vus d'amélioré un plan de tir.

III.2 Méthodologie de travail

Pendant l'analyse, nous avons traité plusieurs images de la fragmentation de la roche qui est un élément essentiel de notre domaine d'étude. Au cours de notre période de stage, nous avons identifié un problème persistant : un taux élevé de hors-gabarits observés.

Pour réagir à cette situation, nous suggérons une solution consistant à remplacer la maille carrée par une maille quinconce. Nous avons opté pour ce paramètre car le plan de tir a déjà été confirmé par la direction des mines, ce qui limite notre capacité à modifier les autres paramètres.

Cette approche alternative présente des avantages potentiels en termes de réduction des hors-gabarits. Afin d'améliorer l'efficacité de ce changement, nous faisons appel à deux logiciels bien établis dans l'industrie : KuzRam et WipFrag.

Ces logiciels sont conçus pour prédire les dimensions des fragments de roche abattus. En les utilisant, nous serons en mesure d'analyser et de quantifier de manière précise les résultats obtenus.

Les logiciels KuzRam et WipFrag jouent un rôle essentiel dans l'évaluation de l'impact de notre proposition sur la fragmentation de la roche, et ils nous permettent de prendre des décisions éclairées visant à réduire le taux de hors-gabarits.

III.3 Analyse de la fragmentation de la roche par la méthode empirique (KuzRam)

III.3.1 Principe de fonctionnement du modèle KuzRam

Les étapes de fonctionnement du programme sont :

1. L'introduction des caractéristiques des roches étudiées (densité, module de Yong et la résistance à la compression).
2. L'introduction des paramètres de géologie et géotechnique.
3. L'introduction des caractéristiques des explosifs utilisés pour l'abattage des roches étudiés.

4. L'introduction des valeurs de l'espacement, la banquettes et le coefficient de disposition du plan de tir.
5. Le programme fait le calcul des pourcentages des différentes catégories des fragments (fines, moyennes et hors gabarits).
6. Les résultats seront obtenus sous forme d'un graphe dont il sera interprété.

Tableau 3. Les paramètres introduits dans le programme :

		Maille carrée	Maille quinconce
Caractéristiques de la roche	Densité	2.5 SG	2.5 SG
	Module de Young	12.75 GPa	12.75 GPa
	Résistance à la compression	90.03 MPa	90.03 MPa
Paramètre des discontinuités	Espacement entre discontinuités	0.1 m	0.1 m
	Pendage	74°	74°
	Direction de pendage	45°	45°
	Taille de bloc in-situ	0.31 m	0.31 m
Paramètre de l'explosif	Densité	1.22 SG	1.22 SG
	RWS	88 %	88 %
	Vitesse de détonation nominale	5500 m/s	5500 m/s
	Vitesse de détonation effective	4500 m/s	4500 m/s
	Résistance de l'explosif	0,589090909	0.589090909
Paramètre du plan de tir	La maille	1 (carrée)	1.1 (quinconce)
	Diamètre de trou	105 mm	105 mm
	Longueur de la charge	8.8 m	8.8 m
	Banquette	3.5 m	3.5 m
	Distance entre les trous	4 m	4 m
	Précision de forage	0.1 m	0.1 m
	Hauteur de gradin	14 m	14 m
	Angle de talus	14°	14°
	Consommation spécifique	0.19 kg/t	0.19 kg/t
Densité de la charge	Densité de la charge	0.47 kg/m ³	0.47 kg/m ³
	Quantité de l'explosif par trou	92.96 kg/hole	92.96 kg/hole

III.3.2 Méthode de calcul

- On introduit à l'intérieur du programme les caractéristiques de la roche (densité, module de Yong, et la résistance à la compression).
- On introduit les paramètres des discontinuités ainsi que les caractéristiques de l'explosif.
- On fixe les valeurs de l'espacement, la banquettes et le coefficient de disposition de plan de tir Dans notre cas on a :

$a=4\text{m}$, $b=3.5\text{m}$, $w=3.5$ et $P_1=1.1$ la maille quinconce et $P_2=1$ la maille carrée.

- On obtient des résultats qui sont résumés dans un tableau et représentés dans une figure.
- On conclut les résultats.

III.3.3 Présentation des résultats par KuzRam

Les résultats du KuzRam sont :

Tableau 4. Pourcentage des passants en fonction des dimensions des tas de roches abattues pour la maille carrée et quinconce :

Pourcentage de la fragmentation prédit	Maille carrée	Maille quinconce
Pourcentage maximal	8.6 %	6.1 %
Pourcentage moyenne	89.9 %	92.8 %
Indice d'uniformité	1.11	1.22

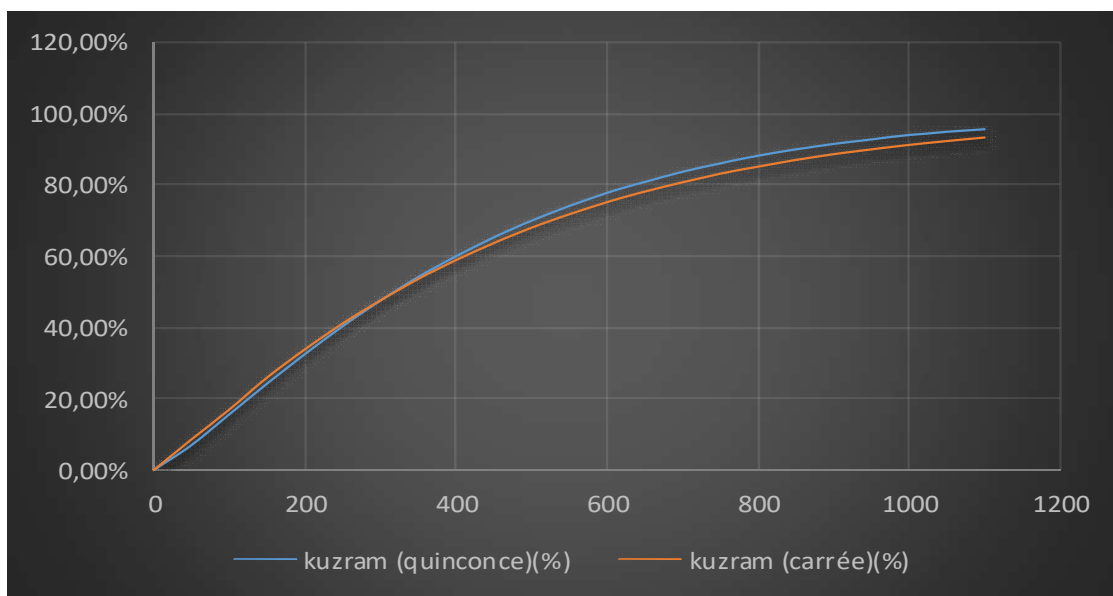


Figure 21. Courbe granulométrique des résultats de tir de (maille carrée et maille quinconce).

III.4 Discussion des résultats

Les résultats de KuzRam pour la maille carrée et la maille quinconce indiquent des pourcentages de fragmentation prévus en fonction des dimensions des tas de roches abattues. Pour la maille carrée, les pourcentages prédits sont de 8,6 % pour la fragmentation maximale, 89,9 % pour la fragmentation moyenne et l'indice d'uniformité est de 1,11. En ce qui concerne la maille quinconce, les pourcentages correspondants sont de 6,1 %, 92,8 % respectivement et l'indice d'uniformité est de 1,22.

La maille quinconce présente généralement une meilleure fragmentation que la maille carrée, comme le montrent les courbes granulométriques. Cependant, la fragmentation maximale prédite est plus élevée pour la maille carrée. Cela est dû à des différences dans la maille des trous utilisés pour le tir.

III.5 Analyse de la fragmentation de la roche par la méthode numérique (WipFrag)

III.5.1 Prise des photos

La première étape pour l'analyse de la fragmentation de la roche avec le logiciel numérique WipFrag, c'est la prise de photo du tas abattu sur site avec un ballon comme échelles de mesure pour l'analyse bloc métrique.

Dans notre cas on a pris plusieurs photos, des tas abattus que la différence entre eux c'est la maille carrée et la maille quinconce.

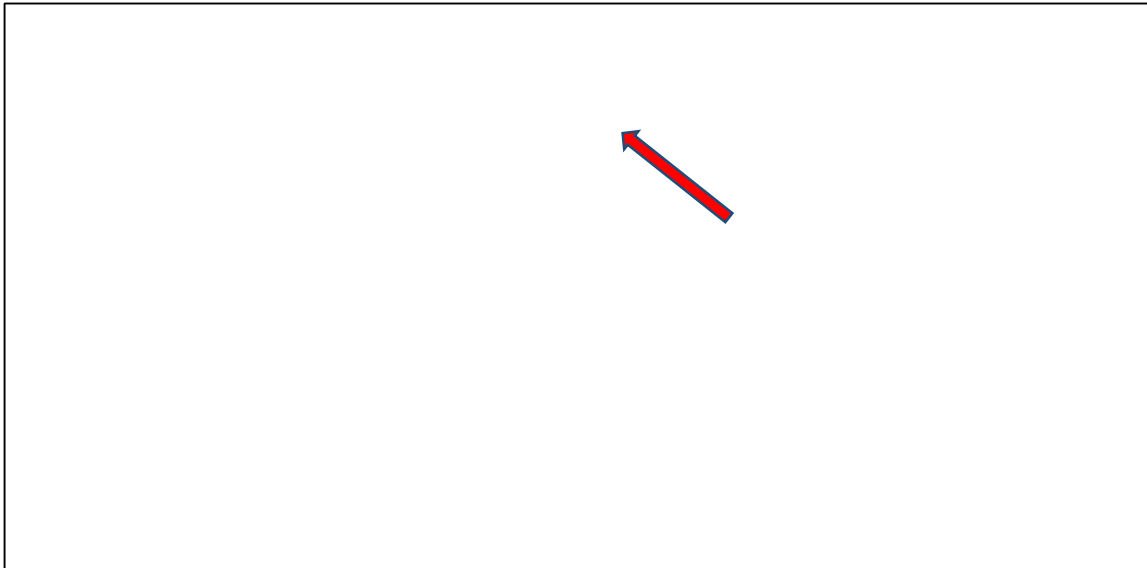


Figure 22. Photo du tas abattus.

III.5.2 Importer une image

Pour choisir une image à importer et l'ouvrir dans la fenêtre WipFrag, on clique sur le signe '+'. On trouvera les fonctions suivantes : une image importée, une image par drone (UAV) et une image d'essai avec le carré écrit 'DEMO' (fig.24) :

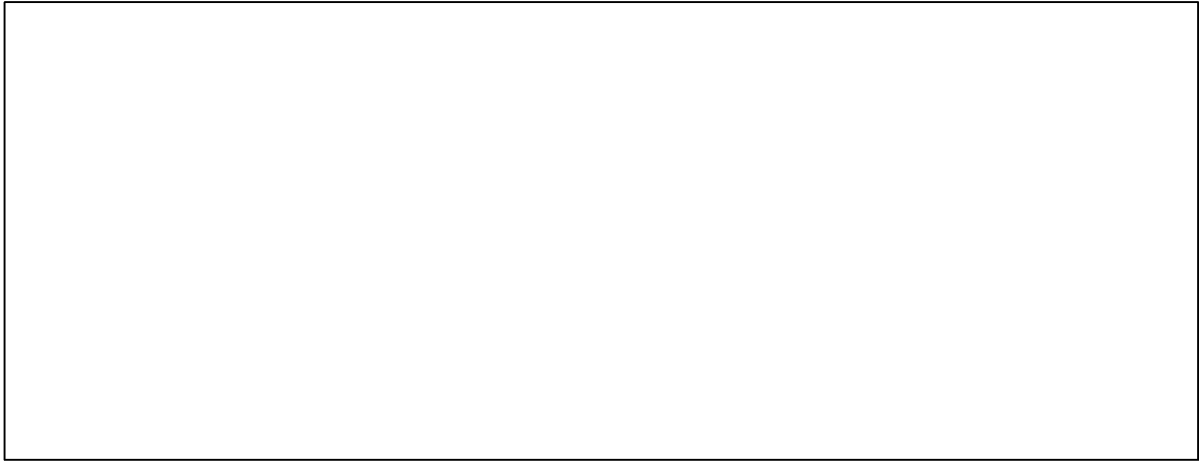


Figure 23.Image illustrative d'importation d'image dans le WipFrag.

Nous allons choisir une image importée pour le traitement et l'analyse comme le montre (fig.25) :

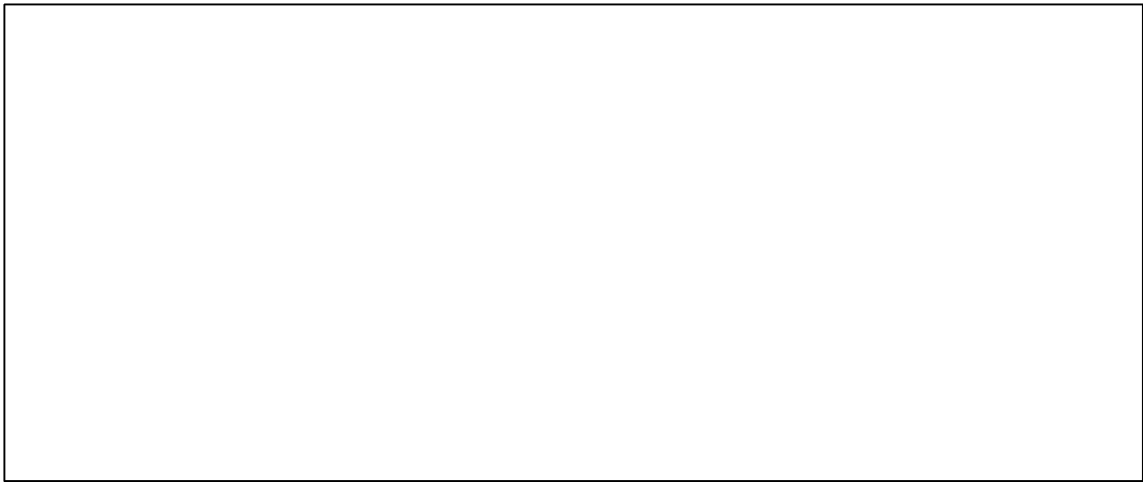


Figure 24.Image illustrative de choix d'image à analyser.

III.5.3 Définissez l'échelle

On va prendre un ballon comme échelle voir (fig.26) :

Figure 25.L'échelle de mesure.

III.5.4 Générer les bords

Après le choix de l'échelle, le réglage de la détection des bords pour segmenter, il est conseillé de segmenter l'image sélectionnée en maintenant un niveau élevé. Il est important de trouver un équilibre, en évitant une segmentation trop faible. Il est préférable que la segmentation soit légèrement supérieure à la moitié de l'image (fig.27) :

Figure 26. Générer les bords.

III.5.5 La ségrégation des particules

Cette étape vise à éliminer les particules qui ne seront pas prises en compte lors de l'analyse de la fragmentation. L'objectif est d'établir la proportion exacte à étudier, comme le montre (fig.28) :

Figure 27. La ségrégation des particules.

III.5.6 Générer les résultats

Dernier étape, appuyer sur l'icône "chart" pour obtenir l'analyse granulométrique (fig.29).

Figure 28.Résultat de l'analyse granulométrique.

On peut également ajouter les paramètres de Swebrec et Rammler en appuyant sur la touche l'icône "Blast-cast", qui nous donne la courbe idéale en rouge voir (fig.30) :

Figure 29.Image représentative de la prédiction des deux paramètres Swebrec et Rammler avec la courbe en rouge.

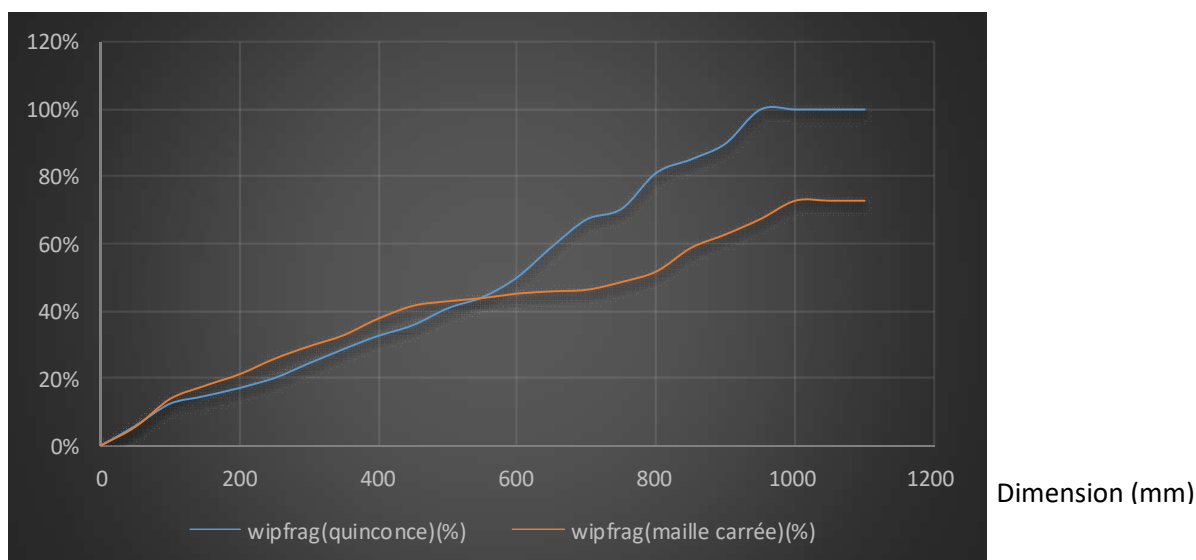


Figure 30. Graphe de comparaison des pourcentages de passants et de la fragmentation entre les mailles quinconce et carrée.

III.6 Interprétation des résultats d'analyse

- Maille carrée :

Pour la maille carrée, jusqu'à une dimension de 400 mm, le pourcentage de passants reste inférieur à 80%. Cela est dû aux blocs, en particulier ceux de plus grande taille. Ce qui peut être dû aux roches hors gabarit inaccessibles au concasseur. Les blocs dont la taille dépasse 1000 mm ne peuvent pas passer à travers le concasseur, ce qui limite le pourcentage des passants à moins de 100%. Cependant, à partir d'une dimension de 500 mm, le pourcentage de passants augmente rapidement et atteint des valeurs proches de 100% pour toutes les dimensions supérieures.

- Maille en quinconce :

La maille en quinconce présente généralement des pourcentages de passants plus élevés que la maille carrée correspondante. Cela suggère que la maille en quinconce favorise une fragmentation plus importante des blocs du tas abattu. À partir d'une dimension de 450 mm, le pourcentage des passants dépasse rapidement 80% et atteint finalement 100% pour toutes les dimensions supérieures. Cela indique que la majorité des blocs de taille inférieure à 1000 mm est fragmentée et passe à travers le concasseur.

- En considérant ces observations, on peut en conclure ce qui suit :

La maille en quinconce semble être plus efficace pour la fragmentation des blocs du tas abattu par rapport à la maille carrée.

L'utilisation de la maille en quinconce conduit à un pourcentage de passants plus élevé, ce qui suggère une fragmentation plus complète des blocs.

Notre objectif est d'obtenir une fragmentation maximale, donc la maille en quinconce peut être considérée comme une meilleure option par rapport à la maille carrée.

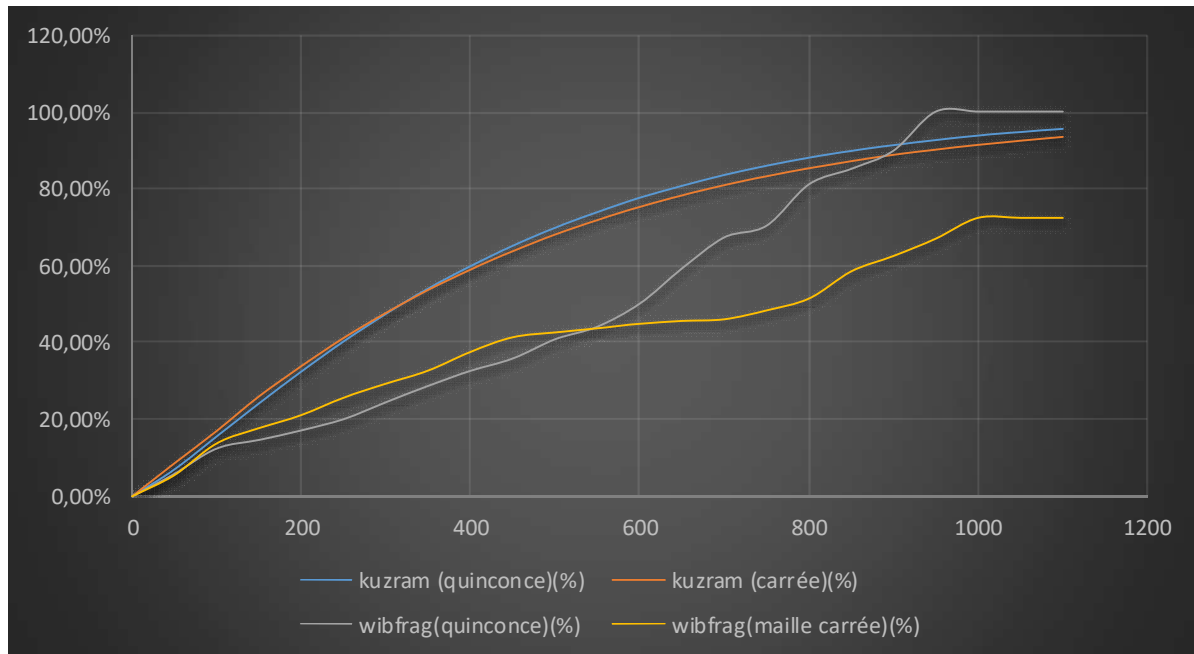


Figure 31. Graphique de comparaison des pourcentages de passants et de la fragmentation entre les mailles quinconce et carrée avec KuzRam et WipFrag.

III.7 Comparaison entre les résultats du WipFrag et KuzRam

Les résultats obtenus par les méthodes empiriques (KuzRam) et numériques (WipFrag) pour l'analyse de la fragmentation de la roche présentent quelques différences.

Selon les résultats de KuzRam, pour la maille carrée, le pourcentage de fragmentation maximal prédit est de 8,6 %, tandis que le pourcentage moyen est de 89,9 %. L'indice d'uniformité est de 1,11. En ce qui concerne la maille quinconce, les valeurs correspondantes sont de 6,1 % pour la fragmentation maximale, 92,8 % pour la fragmentation moyenne et un indice d'uniformité de 1,22. Les courbes granulométriques montrent que la maille quinconce présente généralement une meilleure fragmentation que la maille carrée.

En revanche, avec la méthode numérique WipFrag, les résultats montrent que la maille quinconce favorise des pourcentages de passants plus élevés par rapport à la maille carrée. Pour la maille carrée, jusqu'à une dimension de 400 mm, le pourcentage de passants reste inférieur à 80 % en raison des blocs de plus grande taille qui ne peuvent pas passer à travers le concasseur.

Cependant, à partir d'une dimension de 500 mm, le pourcentage de passants augmente rapidement et atteint des valeurs proches de 100 % pour toutes les dimensions supérieures. Pour la maille quinconce, à partir d'une dimension de 450 mm, le pourcentage de passants dépasse rapidement 80 % et atteint finalement 100 % pour toutes les dimensions supérieures.

En résumé, les deux méthodes produisent des résultats similaires dans l'ensemble, démontrant que la maille quinconce offre une fragmentation supérieure par rapport à la maille carrée. Néanmoins, il peut y avoir de légères variations dans les pourcentages de fragmentation prédits entre les deux méthodes. Globalement, la maille quinconce se révèle plus efficace pour la fragmentation des blocs abattus et peut être considérée comme la meilleure option pour atteindre une fragmentation maximale.

Tableau 5. Tableau de comparaison des pourcentages de passants et de la fragmentation entre les mailles quinconce et carrée avec les deux modèles d'analyse.

	KuzRam		WipFrag	
	Maille carrée	Maille quinconce	Maille carrée	Maille quinconce
Pourcentage des passants	91.4 %	93.9 %	72.76 %	100 %
Pourcentage des refus	8.6 %	6.1 %	27.24 %	0 %

III.8 Comparaison des performances de passants et de refus entre modèles KuzRam et WipFrag avec mailles quinconce et carrée

Le tableau de comparaison présente les pourcentages de passants et de refus pour deux modèles d'analyse utilisant des mailles quinconce et carrée. Les résultats sont les suivants :

➤ **Modèle KuzRam :**

- Maille carrée : 91,4% de passants, 8,6% de refus.
- Maille quinconce : 93,9% de passants, 6,1% de refus.

➤ **Modèle WipFrag :**

- Maille carrée : 72,76% de passants, 27,24% de refus.
- Maille quinconce : 100% de passants, 0% de refus.

Ces résultats indiquent les performances des deux modèles d'analyse dans la mesure des pourcentages de passants et de refus pour les deux types de mailles. Le modèle KuzRam montre des taux de passants légèrement inférieurs à ceux du modèle WipFrag pour les deux types de mailles. Cependant, il est important de prendre en compte le contexte spécifique de l'étude ou de l'analyse pour interpréter pleinement ces résultats.

III.9 Conclusion

Ce chapitre présenté met en évidence les résultats de l'analyse approfondie de la fragmentation de la roche en utilisant à la fois la méthode empirique (Kuz-Ram) et la méthode numérique (WipFrag). Ces résultats fournissent des informations précieuses sur les nouvelles dimensions des tas de roches abattues et la granulométrie de la fragmentation, permettant ainsi d'améliorer la planification des tirs.

L'analyse effectuée avec la méthode empirique (KuzRam) a montré que la maille quinconce présente généralement une meilleure fragmentation que la maille carrée. Les pourcentages de fragmentation prédits pour la maille quinconce étaient de 6,1 % pour la fragmentation maximale, 92,8 % pour la fragmentation moyenne, avec un indice d'uniformité de 1,22. En comparaison, pour la maille carrée, les pourcentages correspondants étaient de 8,6 % et 89,9 % respectivement, avec un indice d'uniformité de 1,11. Les courbes granulométriques ont confirmé cette tendance, montrant une fragmentation plus complète avec la maille quinconce.

L'analyse numérique (WipFrag) utilise des photos des tas de roches abattues. Les résultats montrent que, pour la maille carrée, le pourcentage de passants est inférieur à 80% pour les dimensions inférieures à 400 mm, mais augmente rapidement à partir de 500 mm pour atteindre près de 100% pour les dimensions supérieures. Pour la maille quinconce, le pourcentage de passants dépasse rapidement 80% à partir de 450 mm et atteint finalement 100% pour les dimensions supérieures.

En conclusion, les résultats obtenus indiquent que la maille quinconce est plus efficace pour la fragmentation des blocs du tas abattu par rapport à la maille carrée. Elle favorise une fragmentation plus complète des blocs, ce qui est essentiel pour obtenir une fragmentation maximale. Par conséquent, l'utilisation de la maille quinconce, adaptée aux nouvelles dimensions des tas de roches abattues (0,45 m et 0,4 m), peut être considérée comme une meilleure option pour améliorer la fragmentation et optimiser les plans de tir.

Il convient de noter que l'analyse de la fragmentation de la roche est un processus complexe et dépendant de nombreux facteurs, tels que les caractéristiques de la roche, les paramètres des discontinuités, les caractéristiques de l'explosif et les paramètres du plan de tir. Par conséquent, il est recommandé de continuer à effectuer des analyses approfondies et d'adapter les paramètres en fonction des nouvelles dimensions spécifiques des tas de roches

abattues afin d'optimiser la fragmentation et d'améliorer les performances globales de l'opération de concassage.

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire a examiné en détail l'analyse de la fragmentation de la roche dans le contexte de l'exploitation minière, dans le but d'améliorer les performances du processus de concassage grâce à l'optimisation du plan de tir.

Nous avons commencé par examiner les méthodes empiriques telles que KuzRam, qui utilisent des modèles basés sur des paramètres spécifiques à la roche, aux discontinuités et à l'explosif. Les résultats obtenus ont fourni des informations précieuses sur la fragmentation prévue en fonction des dimensions des tas de roches abattues. Nous avons constaté que l'utilisation de la maille quinconce conduisait généralement à une meilleure fragmentation par rapport à la maille carrée, avec des pourcentages de fragmentation plus élevés et des indices d'uniformité améliorés.

Ensuite, nous avons exploré l'approche numérique en utilisant le logiciel WipFrag. Cette méthode nous a permis d'analyser la fragmentation à partir de photos des tas de roches abattues. Les résultats ont confirmé la supériorité de la maille quinconce, montrant une fragmentation plus complète des blocs. Les courbes granulométriques obtenues ont fourni des informations détaillées sur la distribution des tailles de particules.

Grâce à ces analyses approfondies de la fragmentation de la roche, nous sommes en mesure de formuler des recommandations spécifiques pour l'amélioration du plan de tir. En utilisant des paramètres tels que la géométrie des trous de forage, le chargement des explosifs et la séquence de tir, il est possible d'optimiser la fragmentation de la roche et d'obtenir des résultats plus cohérents.

L'application de ces recommandations permettra d'améliorer les performances globales du processus de concassage, avec des avantages tangibles tels qu'une réduction des coûts d'exploitation, une augmentation de l'efficacité du broyage et une amélioration de la qualité des produits finis.

Il convient de souligner que l'analyse de la fragmentation de la roche est un domaine en constante évolution, avec de nouvelles méthodes et technologies émergentes. Il est donc essentiel de rester à jour sur les avancées dans ce domaine et d'adapter continuellement les plans de tir pour optimiser la fragmentation et maximiser les résultats.

Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire a contribué à une meilleure compréhension de l'analyse de la fragmentation de la roche et a fourni des informations pratiques pour améliorer le plan de tir et les performances du processus de concassage. Les recommandations formulées dans cette étude constituent une base solide pour l'optimisation future de la fragmentation dans l'industrie minière, permettant ainsi d'atteindre des objectifs opérationnels plus efficaces et économiques.

**Référence
bibliographique**

Référence Bibliographique

- [1] M. NEFIS - Modèle d'un plan de tir, mémoire magister en mines, université BADJI Mokhtar Annaba, 2010.
- [2] S. BERDOUDI - Etude de la mécanique de tir des roches par utilisation des modèles réduits dans les conditions algériennes - Thèse de doctorat en mines, université Badji Mokhtar, Annaba-2012.
- [3] NGUYEN, ANH TUAN - Influence des incertitudes géométriques et de la méthode de modélisation dans l'analyse de stabilité des talus rocheux : application aux mines à ciel ouvert. Diss. Université de Lorraine - 2015.
- [4] F. DRADRI et A. KASRI – étude de l'influence de la brique broyée sur la résistance a la compression du béton, mémoire fin d'étude en master, université de Bejaia, 2012.
- [5] Kuznetsov. R, 1973: The mean diameter of fragments formed by blasting rock, soviet mining science, 9, 1973.
- [6] Cunningham C.V.B, 1983_ The Kuz-Ram model for prediction of fragmentation from blasting. In Proceedings of the 1st International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, pages 439_454, 1983.
- [7] Cunningham C.V.B, 1987 _ Fragmentation estimations and the Kuz-Ram model: four years on. In Proceedings of the 2nd International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, pages 475_487.
- [8] Rosin. P., Rammler. E. (1933) : The laws governing neness of powdered coal. In J. Inst. Fuel, volume 7 (31), pages 29-36.
- [9] Rosin Rammler, 1979, "the laws governing the fineness of powdered coal", J.Inst.Fuel, Fuel, 7, 2936.
- [10] Ouchterlony F, (2002) : Influence of blasting on the size distribution and properties of muckpile fragments, a state-of-the-art review. Technical report, Swedish Blasting Research Centre (SWEBREC) - Luleå University of Technology, December 2002. MinFo Project P2000-10: Energioptimizering vid netbrytning / Energy optimization in comminution.
- [11] DELILLE, FLORENT - Recherche d'une prédiction de fragmentation charge par charge pour les tirs à ciel ouvert. Diss. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris - 2012.
- [12] Ouchterlony, (2005,) : The Swebrecfunction:linking fragmentation by blasting and crushing.In Mining Technology (Trans. Inst. Min. Metall. A), volume 114, pages A29-A44.

Référence Bibliographique

- [13] Ouchterlony F, 2010. _ Fragmentation characterization; the Swebrec function and its use in blast engineering. In Proceedings of the 9th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting, pages 3_22
- [14] Kuznetsov V.M, 1973 _ the mean diameter of fragments formed by blasting rock. In Soviet Mining Science, volume 9 (2), pages 144_148, 1973.
- [15] Lilly P. 1986_ an empirical method of assessing rock mass blastability. In Proc. Large Open Pit Mining Conference (AusIMM), pages 89_92, 1986.
- [16] M.BELHOUS - Elaboration d'un plan de tir pour améliorer la fragmentation des roches, mémoire fin d'étude master, université de Bejaia, 2016.
- [17] MANDAL, VENKATESH - Limestone Rock Fragmentation analysis using WipFrag. Diss - 2010
- [18] OUTAL, SOUHAIL - Quantification par analyse d'images de la granulométrie des roches fragmentées : amélioration de l'extraction morphologique des surfaces, amélioration de la reconstruction stéréologique. Diss. École Nationale Supérieure des Mines de Paris – 2006.
- [19] Wipfrag Sampling and Analysis Guide <https://wipware.com/wpcontent/uploads/2018/01/Sampling-and-Analysis-Guide.pdf> pages 10-39
- [20] WipWareWipFrag 3.3 <https://tech-story.net/fr/wipware-wipfrag-3-3-14-0/>
- [21] Google maps, 2023.
- [22] <http://ENG.DZ>, 2023.
- [23] ENG Document interne
- [24] Cours de l'exploitation à ciel ouvert master 1, Mr Djeziari.
- [25] Cours de la fragmentation de la roche master 1, Mr Saadoun.

Annexes

Annexes

Annexe N° 01. Caractéristique techniques des explosifs utilisés dans la carrière

Annexe N° 02. Caractéristique techniques du cordeau détonant utilisé dans la carrière.

Caractéristiques techniques	Valeurs
Nature	Cordeau gainé en matière plastique
Résistance	Très bonne
Poids de la penthrite (g/m)	12
Diamètre du Cordeaux (mm)	5.2 ± 0.3
Vitesse de détonation (m/s)	6500
Résistance à la rupture (kg/24h)	40
Stockage à chaud	+50°C/2h
Stockage à froid	-20°C/2h
Transmission de détonation	Bonne
Test au choc	Bon
Test de sécurité	Bon
Étanchéité après 24 heures	Bonne détonation
Test d'amorçage	Positif
Conditionnement	En bobines de 50m, 100m et 125m
Usage	Détonation à plusieurs

Annexe N° 03. Caractéristique techniques du détonateur utilisé dans la carrière.

Caractéristiques techniques	Valeurs
Type	Microretard
Forme du tube	Conique
Longueur du tube	63 à 88 mm
Diamètre du tube	7.16 mm d'un côté, 7.50 de l'autre coté
Matériau du fil	Conducteur cuivre
Résistance du pont	De 0.06 à 1.5 Ω
Numéro du retard	1 à 12
Temps de réaction	20 ms

Annexe N° 05. Pourcentages des passants et de fragmentation selon les dimensions et les types de mailles

dimension (mm)	kuzram (quinconce)(%)	kuzram (carrée)(%)	wipfrag(q)	wipfrag(n)
0	0,00%	0,00%	0%	0%
50	7,00%	8,60%	5,87%	5,58%
100	15,60%	17,00%	12,46%	13,84%
150	24,20%	26,00%	14,71%	17,81%
200	32,50%	33,90%	17,16%	21,24%
250	40,30%	41,20%	20,11%	25,80%
300	47,50%	47,70%	24,45%	29,47%
350	54,10%	53,70%	28,73%	32,85%
400	59,90%	59,00%	32,65%	37,75%
450	65,20%	63,80%	35,85%	41,57%
500	69,90%	68,10%	40,84%	42,86%
550	74,00%	71,90%	44,14%	43,88%
600	77,70%	75,30%	50,09%	45,13%
650	80,80%	78,30%	59,24%	45,82%
700	83,60%	80,90%	67,29%	46,27%
750	86,00%	83,30%	70,41%	48,60%
800	88,10%	85,30%	81,12%	51,70%
850	89,90%	87,20%	85,13%	58,76%
900	91,40%	88,80%	89,86%	62,78%
950	92,70%	90,20%	100%	67,30%
1000	93,90%	91,40%	100%	72,76%
1050	94,80%	92,50%	100%	72,76%
1100	95,60%	93,50%	100%	72,76%

Annexe N°06. Image des produits finie de la carrière.

KUZ-RAM FRAGMENTATION ANALYSIS

Project: ENG Si-Mustapha
 Rock Type: Granodiorite

Intact Rock Properties	
Rock Factor (Facteur de la roche)	
Rock Type (Type de la roche)	Granodiorite
Rock Specific Gravity	2,5 SG
Elastic Modulus (Module d'young)	12,75 GPa
UCS	90,03 MPa

Jointing (Discontinuité)	
Spacing (Espace)	0,1 m
Dip (pendage)	74 deg
Dip Direction (direction de pendage)	45 deg
In-situ block (dimension des blocs)	0,31 m

Explosives	
Density (Densité)	1,22 SG
RWS	88% (% TEMEX)
Nominal VOD (Vitesse de détonation nominale)	5500 m/s
Effective VOD (Vitesse de détonation effective)	4500 m/s
Explosive Strength (Résistance de l'explosif)	0,58909091

Pattern Design	
Staggered or square(Coefficient de la disposition du plan de tir)	1,1
Hole Diameter (Diametre de trou)	105 mm
Charge Length (Longueur de la charge)	8,8 m
Burden (Banquette)	3,5 m
Spacing (Distance entre les trous)	4 m
Drill Accuracy SD (precision de forage)	0,1 m
Bench Height (Hauteur de gradin)	14 m
Face Dip Direction (angle de talus)	14 deg
Powder Factor (consommation spécifique)	0,19 kg/t
Charge Density (Densité de la charge)	0,47 kg/m ³
Charge Weight per hole (Quantité d'explosif par trous)	92,96 kg/hole

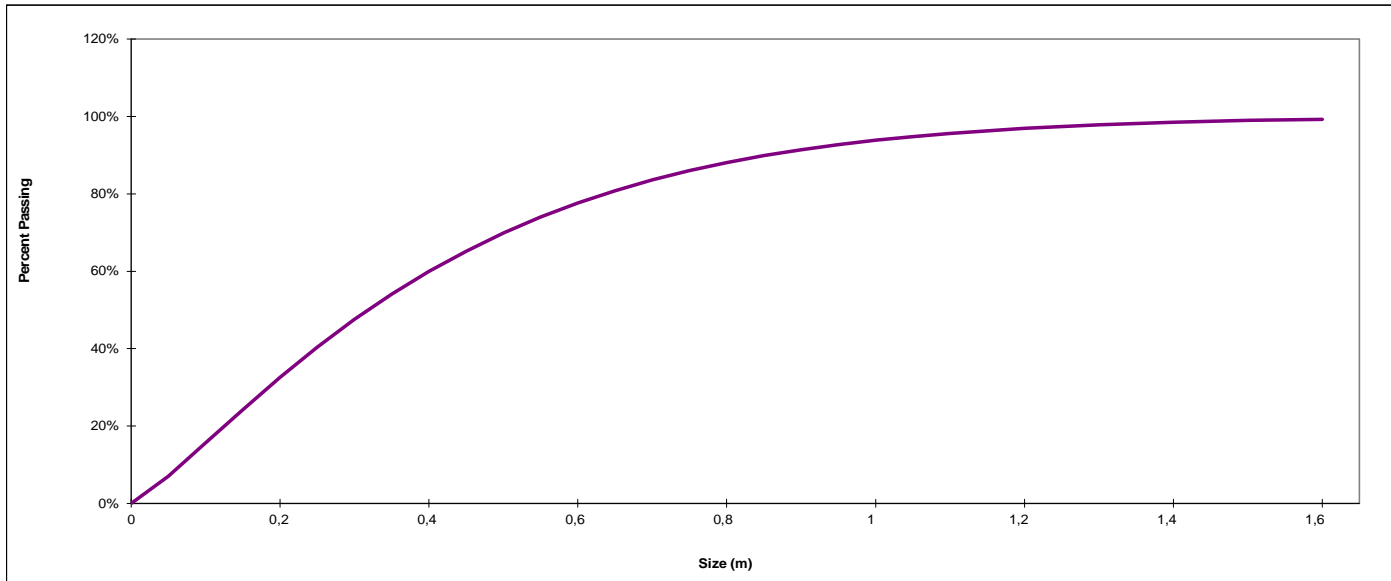
Fragmentation Target Parameters	
Oversize (Diamètre maximal)	1 m
Optimum (Diamètre moyenne)	0,5 m
Undersize (Diamètre minimal)	0,01 m

Blastability Index (Indice de blastabilité)	5,391
Average Size of Material (Dimension moyen des morceaux)	32 cm
Uniformity Exponent (Exposant d'uniformité)	1,22
Characteristic Size (Dimension caractérisée)	0,43 m

Notes

Square pattern = 1, staggered pattern = 1.1

Predicted Fragmentation	
Percent Oversize(Pourcentage maximal)	6,1%
Percent In Range(Pourcentage en moyenne)	92,8%
Percent Undersize(Pourcentage minimal (fin))	1,0%



Percent Passing	Size (m)
0,0%	0
7,0%	0,05
15,6%	0,10
24,2%	0,15
32,5%	0,20
40,3%	0,25
47,5%	0,30
54,1%	0,35
59,9%	0,40
65,2%	0,45
69,9%	0,50
74,0%	0,55
77,7%	0,60
80,8%	0,65
83,6%	0,70
86,0%	0,75
88,1%	0,80
89,9%	0,85
91,4%	0,90
92,7%	0,95
93,9%	1,00
94,8%	1,05
95,6%	1,10
96,9%	1,20
97,8%	1,30
98,5%	1,40
99,0%	1,50
99,3%	1,60

KUZ-RAM FRAGMENTATION ANALYSIS

Project: ENG Si-Mustapha
 Rock Type: Granodiorite

Intact Rock Properties

Rock Factor (Facteur de la roche)		
Rock Type (Type de la roche)	Granodiorite	
Rock Specific Gravity	2,5	SG
Elastic Modulus (Module d'young)	12,75	GPa
UCS	90,03	MPa

Jointing (Discontinuité)

Spacing (Espace)	0,1	m
Dip (pendage)	74	deg
Dip Direction (direction de pendage)	45	deg
In-situ block (dimenssion des blocs)	0,31	m

Explosives

Density (Densité)	1,22	SG
RWS	88%	(% TEMEX)
Nominal VOD (Vitesse de détonation nominale)	5500	m/s
Effective VOD (Vitesse de détonation effective)	4500	m/s
Explosive Strength (Résistance de l'explosif)	0,58909091	

Pattern Design

Staggered or square(Coefficient de la disposition du plan de tir)	1
Hole Diameter (Diametre de trou)	105 mm
Charge Length (Longueur de la charge)	8,8 m
Burden (Banquette)	3,5 m
Spacing (Distance entre les trous)	4 m
Drill Accuracy SD (precision de forage)	0,1 m
Bench Height (Hauteur de gradin)	14 m
Face Dip Direction (angle de talus)	14 deg
Powder Factor (consommation spécifique)	0,19 kg/t
Charge Density (Densité de la charge)	0,47 kg/m ³
Charge Weight per hole (Quantité d'explosif par trous)	92,96 kg/hole

Fragmentation Target Parameters

Oversize (Diamètre maximal)	1 m
Optimum (Diamètre moyenne)	0,5 m
Undersize (Diamètre minimal)	0,01 m

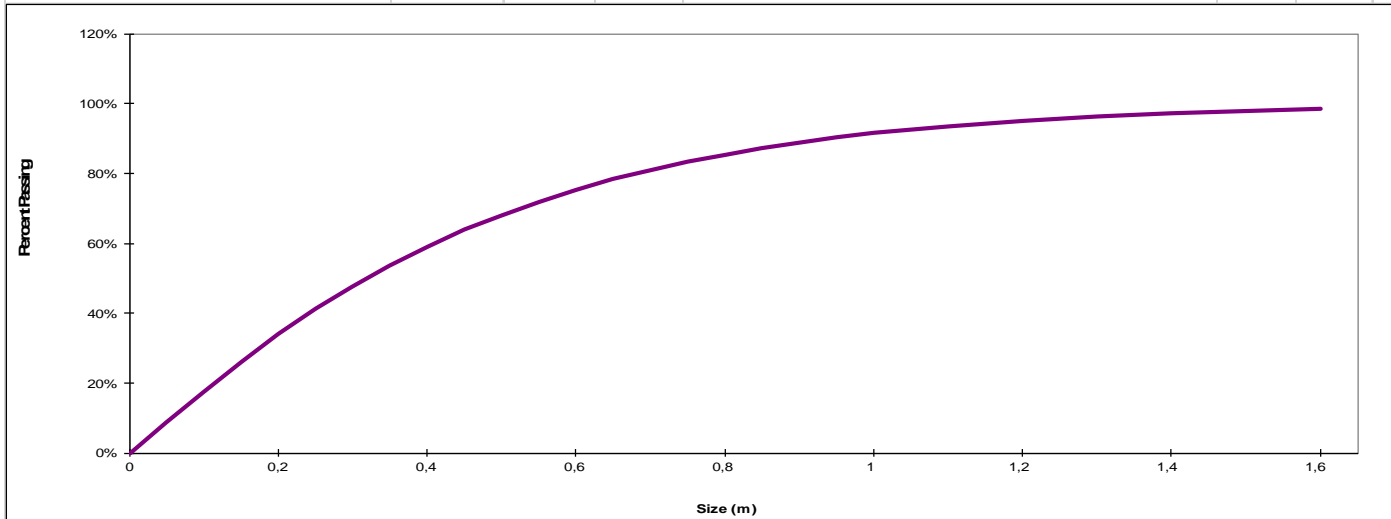
Blastability Index (Indice de blastibilité)	5,391
Average Size of Material (Dimension moyen des morceaux)	32 cm
Uniformity Exponent (Exposant d'uniformité)	1,11
Characteristic Size (Dimension caractérisée)	0,44 m

Notes

Square pattern = 1, staggered pattern = 1.1

Predicted Fragmentation

Percent Oversize(Pourcentage maximal)	8,6%
Percent In Range(Pourcentage en moyenne)	89,9%
Percent Undersize(Pourcentage minimal (fin))	1,5%



Percent Passing	Size (m)
0,0%	0
8,6%	0,05
17,5%	0,10
26,0%	0,15
33,9%	0,20
41,2%	0,25
47,7%	0,30
53,7%	0,35
59,0%	0,40
63,8%	0,45
68,1%	0,50
71,9%	0,55
75,3%	0,60
78,3%	0,65
80,9%	0,70
83,3%	0,75
85,3%	0,80
87,2%	0,85
88,8%	0,90
90,2%	0,95
91,4%	1,00
92,5%	1,05
93,5%	1,10
95,1%	1,20
96,3%	1,30
97,2%	1,40
97,9%	1,50
98,4%	1,60

Résumé

Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur l'analyse de la fragmentation de la roche dans le contexte de l'exploitation minière. Nous utilisons des logiciels d'analyse d'image pour évaluer la fragmentation des roches abattues et proposons des recommandations pour améliorer le plan de tir. L'objectif est d'optimiser la fragmentation de la roche, ce qui conduit à des avantages tels qu'une réduction des coûts et une amélioration de la qualité des produits finis.

Abstract

In this thesis, we focus on the analysis of rock fragmentation in the context of mining. We use image analysis software to assess the fragmentation of blasted rock and offer recommendations to improve the shot plan. The goal is to optimize rock fragmentation, which leads to benefits such as reduced costs and improved quality of finished products.

ملخص

في هذه البحث، نركز على تحليل تفتت الصخور في سياق التعدين. نحن نستخدم برامج تحليل الصور لتقييم تفتت الصخور المنفجرة ونقدم توصيات لتحسين خطة التفجير. الهدف هو تحسين تفتت الصخور، مما يؤدي إلى فوائد مثل تقليل التكاليف وتحسين جودة المنتجات النهائية.